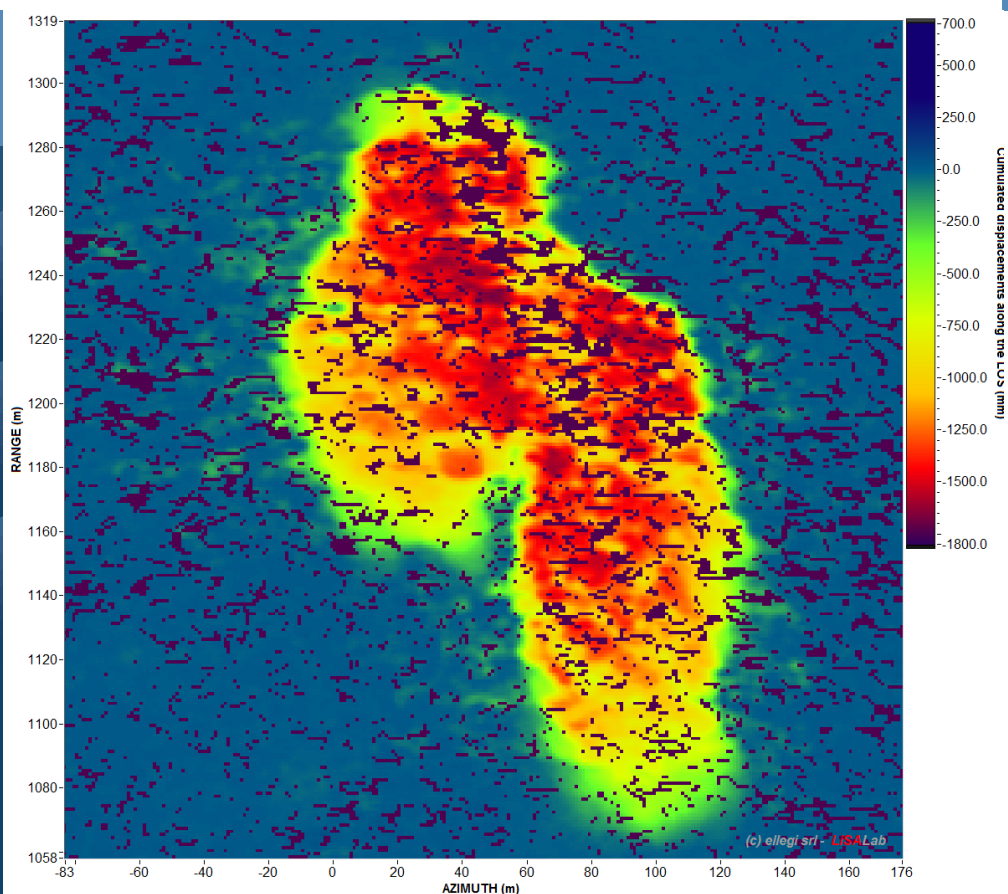




Måling med bakkebasert radar (InSAR) av Stavbrekka, Skjåk kommune

Naturfareprosjektet: Delprosjekt 4
Overvåkning og varsling

12
2016



R
A
P
P
O
R
T

Rapport nr 12-2016

Måling med bakkebasert radar (InSAR) av Stavbrekka, Skjåk kommune

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Ingrid Skrede og Tore Humstad

Forfattere: Ingrid Skrede og Lene Kristensen

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: P.O.D

Forsidefoto:

ISBN 978-82-410-1202-0

ISSN 1501-2832

Sammendrag: Våren 2015 utførte fjellskredseksjonen i NVE målinger med bakkebasert radar (InSAR) av Stavbrekka på Strynefjellet i Skjåk kommune. Føremålet var å undersøke om metoden er eigna til å måle bevegelsar i glideskred, og å finne ut om desse kan varslast. Denne rapporten dokumenterer arbeidet som er gjort, resultatata og konklusjon etter utført forsøk.

Emneord: Glideskred, 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

Innhald

Samandrag	4
1 Introduksjon.....	5
2 Stavbrekka	5
3 Bakkebasert radarinterferometri	7
4 Resultat	10
4.1 Stavbrekkfonna	10
4.1.1 Vestflanken.....	11
4.1.2 Austflanken.....	15
4.2 Andre områder	16
5 Evaluering av målemetoden på glideskred	17
6 Konklusjon	19
7 Referansar	20

Samandrag

Mellom 16. april og 22. april 2015 utførte fjellskredseksjonen i NVE målingar med bakkebasert radar (InSAR) av Stavbrekka. Dette vart gjort for å undersøke om det er mogleg å måle bevegelsen til glideskred, og for å finne ut om slike skred kan varslast. Glideskred er definert som snøskred der heile snødekket glir mot underlaget. Allereie frå dei første radarbildeta var det klart at det er mogleg å måle bevegelse av snø. Det blei registrert bevegelse i tre områder, der det eine var losneområdet til glideskredet Stavbrekkfonna. Bevegelsen var fordelt på to flankar som dekkar eit areal på om lag $19\,000\text{ m}^2$. Snømassane bevega seg relativt homogent, men hastigheitene var mindre nedover og mot sidene. I starten av målekampanjen var det registrert hastigheiter opp mot 100 mm/time , men ettersom hastigheitene steig, blei farta høgare enn det målemetoden i prinsippet kan registrere. Dette førte til fasehopp i delar av området, noko som skjedde allereie etter 20 timar. I arbeidet med rapporten er det forsøkt å korrigere for fasehoppa. Dette er basert på tolking av data, og dette gir større usikkerheit i resultatet. Ut i frå korrigererte data var det ei generell hastigheitsauke i vestflanken under måleserien, men det var frå ettermiddagen den 19. april at hastigheita auka vesentleg. Klokka 05:17 den 20. april gjekk det eit skred frå vestflanken. På det tidspunktet hadde vestflanken glidd oppimot 20 m sidan føremiddagen den 16. april og hastigheita var opp mot 25 mm/minutt like før skredet. Sjølv skredet varte i fem minutt og skredbana er tydeleg på radarbileta. I austflanken blei det registrert ein total bevegelse opp mot 30 m i måleperioden. Bevegelsesmønsteret var relativt likt som for vestflanken i starten av målinga, men frå kvelden den 19. april endra dette seg. Då var det generelt stabil fart i austflanken med nokre døgnvariasjonar fram til kvelden den 21. april. Då var det ei kort akslerasjonsfase, før hastigheita avtok raskt den 22. april. Dette var samanfallande med minkande temperaturar. Flanken rasa etter at radarkampanjen var avslutta, den 6. mai.

Når det kjem til spørsmålet om å kunne varsle skred er det både utfordringar og potensiale i målemetoden. Når hastighetene er så høge som her, blir det eit høgare støynivå i data og manuell korrigering må utførast for å rette opp fasehopp. Dette gir rom for feiltolking, i tillegg til at det er ein tidkrevjande manuell prosess. Det eignar seg difor dårleg i ein akuttsituasjon. Ved lågare hastigheiter vil saken vere ein anna, og det vil vere interessant å gjere forsøk der ein kortare del av radarskinna blir nytta slik at det vil vere mogleg å følgje bevegelsar med høgare hastigheiter. Det er ei akslerasjonsfase før skredet, så i prinsippet burde det vere mogleg å varsle glideskred, enten med bruk av bakkebasert radar eller andre deformasjonsmålingar. Hastigheitene endrast likevel raskt, så det er sannsynlegvis mest aktuelt å varsle skredfare, framfor eit presist skredtidspunkt. Det er berre utført måling på ein stad over eit kort tidsrom, så det anbefalast å utføre fleire målingar, både ved denne lokaliteten og andre stadar, for å undersøke det fulle potensialet til målemetoden.

1 Introduksjon

I Noreg blir nokre vegar vinterstengde med omsyn til sikkerheit for skred. Dette fører til omkjøringar som kan gi samfunnsøkonomiske og -sosiale belastningar for stadane som blir påverka. Av denne grunn er det ønskeleg å redusere varigheita vegane er stengt.

Enkelte stadar skuldast stenginga glideskred som går om lag same stad kvart år.

Glideskred er snøskred som skjer etter at heile snøpakken har glidd langs bakken (In der Gand og Zupančič, 1966). Desse losnar heilt nede ved bakken og består av våte og tunge snømassar som beveger seg ned fjellsida. Det er mykje krefter i slike skred og dei kan føre til store skader. Slike skred går vanlegvis om våren, men datoen dette skjer kan variere mykje frå år til år.

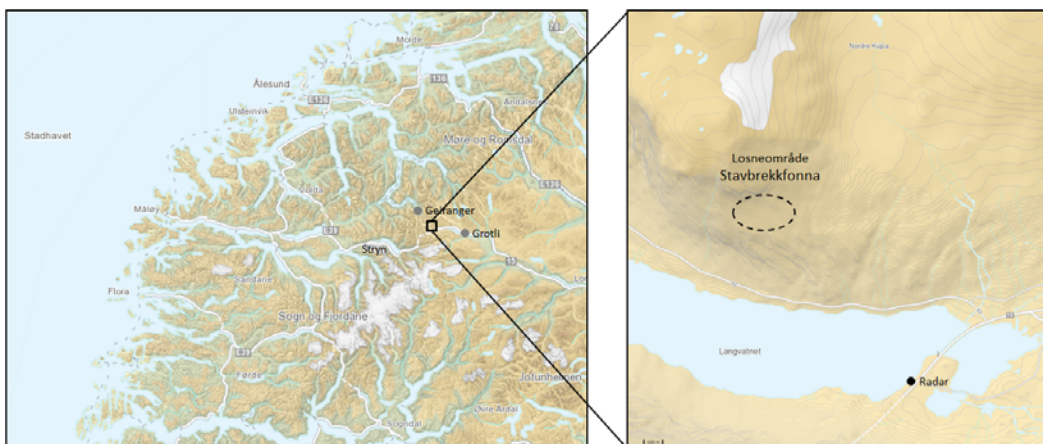
Dei siste åra har Statens vegvesen (SVV) gjort fleire forsøk knytt til glideskred i håp om å kunne opne vegar tidlegare. Både preventive metodar og aktive metodar har blitt forsøkt (www.vegvesen.no), utan at dette har gitt resultat som har ført til tidlegare opningsdato av vegar (Norem i Venås 2015). Den siste tida er det gjort meir forskning i retning av overvaking i håp om å kunne varsle desse skreda betre. I samband med dette utførte fjellskredseksjonen i NVE (Norges vassdrags- og energidirektorat), som eit ledd i NIFS-prosjektet (naturfare-infrastruktur-flom-skred), målingar med bakkebasert radar av eit glideskred våren 2015. Dette er ikkje prøvd i Noreg tidlegare, men det er gjort liknande forsøk i Alpane (Caduff m. fl., 2015). Formålet med forsøket var å sjå om metoden, som i hovudsak er brukt til å måle deformasjonar i fjell, også kan måle kryp/bevegelse i snø, og om det i tilfelle er mogleg å varsle glideskred. Om dette let seg gjere kan vegar bli stengt i kortare tidsrom og ikkje heile vinteren som er praksisen no. I tillegg kan ryddearbeidet planleggast betre. Forsøket blei utført ved «Stavbrekkfonna» på Strynefjellet i Skjåk kommune.

2 Stavbrekka

Stavbrekka er ei fjellside som ligg under fjelltoppen Stavbrekknovi på Strynefjellet i Skjåk kommune (sjå figur 1). Nesten årleg går det eit eller fleire skred frå same plass i denne fjellsida om våren. Skredmassane kryssar vanlegvis fylkesveg 63 og dette er bakgrunnen for at det vinterstengte vegstrekket mellom Grotli og Geiranger ofte blir opna først seint på våren, etter at skredet har gått og vegen er rydda. Dette er ei av dei mest populære turistrutene i Noreg.

Mykje er kjent om utviklinga til glideskredet etter fleire år med undersøkingar av Statens vegvesen (personleg kommunikasjon vegvesenet; (Venås, 2015). Bevegelsane startar vanlegvis når snøpakken er isotherm, det vil seie når temperaturen er 0°C frå botnen til overflata av snøen. Då byrjar snømassane som ligg mellom 1100 moh og 1300 moh å gli på det underliggande svaet. Her er terrengprofilen konkavt og hellinga er rundt 37 grader i øvre delar og 29 grader i nedre delar, noko som er svært gunstig helling for utløysing av store snøskred. Det utviklar seg sprekkar i bakre del av snømassane som er i bevegelse, og ettersom bevegelsen held fram blir det utvikla to lober (figur 2). Desse blir etterkvart splitta i to flankar som følgje av topografien i losneområdet, og dei ulike delane vil bli kalla vest-flanken og aust-flanken vidare i teksten. Desse kan rase samstundes, på ulike tidspunkt eller ingen eller berre ein av flankane kan utvikle seg til skred. Skredmassane er

vanlegvis tunge og vasshaldige, og dei kryssar fylkesveg 63 og blir avsett i skråninga og på isen eller i Langevatnet.



Figur 1: Kartet viser plasseringa av losneområdet til Stavbrekkfonna og kvar radaren var plassert (modifisert frå norgeskart.no).



Figur 2: Bilete frå losneområdet til Stavbrekkfonna, tatt med drone av Halgeir Dahle (SVV) den 17.04.15.

3 Bakkebasert radarinterferometri

Målingane av Stavbrekka blei utført mellom 16. april og 23. april 2015. Det blei nytta eit LiSA LAB GBInSAR system (Ground-Based Interferometric Synthetic Aperture Radar) frå Ellegi srl, og data blei prosessert i programvaren «Lisa Main Mobile» frå same produsent. I denne perioden var det i hovudsak skiftande vær, periodevis med sol, periodevis med snø. Temperaturane steig i første del av perioden, men frå den 22. april sank dei raskt. Dette kan sjåast i figur 4 som viser data frå klimastasjonen Grotli III, som ligg 15,1 km frå Stavbrekka og 300 høgdemeter lågare. Vinden var tidvis kraftig.

Den bakkebaserte radaren måler endring av avstanden til reflekterande punkt i terrenget over tid. Dette skjer ved at elektromagnetiske bølger blir sendt frå ei antenne, treff fjellsida og blir reflektert tilbake til ein mottakar. Ved å studere dei mottatte signala kan informasjon om avstanden til punkta 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. Ein serie av interferogram kan brukast til å sjå total deformasjon og utviklinga gjennom måleserien. Ein fordel med metoden er at den ikkje er avhengig av sikt til objektet slik at det blir gode data til tross for mørke og tåke. Presisjonen er som regel ned til millimeter-skala, avhengig av innstillingar og støy. I tillegg blir vanlegvis større områder dekkja, slik at det blir ei god oversikt over bevegelsen i ei fjellside. Noko som kan forårsake støy på målingane, er atmosfærisk stratifisering og endring av overflate som følgje av vegetasjon eller snø og is. Om endringane mellom to radarbilete er store kan pikslane bli usamanliknbare, noko som kallast å miste koherens.

Ei anna begrensing er at bevegelsane i prinsippet ikkje kan vere større enn +/- 4,4 mm i eit interferogram. Dette skuldast bølgjelengda som blir nytta. Om bevegelsane er større enn dette blir neste fase i bølga registrert og det blir eit fasehopp. Om dette skjer vil dei registrerte verdiane fortsatt ligge mellom +4,4 mm og -4,4 mm, til tross for at bevegelsen i realiteten er større. Då er det umogleg å vite den faktiske bevegelsen om ikkje fasen er kjent. Om det eksisterer andre bevegelsesmålingar kan desse brukast til å korrigere for fasehoppa. Det går også ann å få informasjon om fasen dersom utviklinga av bevegelsen skjer så gradvis at det er mogleg å sjå om bevegelsen aukar eller minkar, og på denne måten vite når fasehoppa skjer. Då er det ei føresetning at det ikkje plutsleg skjer store endringar i hastigheiter som ikkje blir oppdaga. Når kvart interferogram blir studert er det fleire forhold som må stemme for at det ikkje skal bli oppdaga. For det første må bevegelsen skje på eit kortare tidsrom enn interferogrammet dekker, slik at de ikkje blir synleg i interferogrammet. For det andre bør bevegelsen etter hastigheitsendringa ha om lag same verdi som i interferogrammet før, sidan gradvis endring blir brukt som kriterium for å følgje fasehoppa. I tillegg må overflata ikkje endrast så mykje at det blir mangel på koherens. Det kortaste intervallet eit interferogram kan dekke når heile radarskinna blir brukt er 1 minutt og 20 sekund. Ved ei fasekorrigering er det rom for feiltolking i tillegg til at det blir lagt visse føringar på data. Validiteten til resultatet må difor vurderast nøye. Grunna desse utfordringane blir tidsintervallet som interferogrammet dekker om mogleg justert til å unngå fasehopp, men å fortsatt ha minst mogleg støy i data. Dette avhenger av farta til radaren og talet på målingar som blir brukt i radarbileta i eit interferogram. Ved

bruk av enkeltbileter og maksimal hastigheit kan radaren måle snitthastigheiter opptil 4,7 m/døgn.

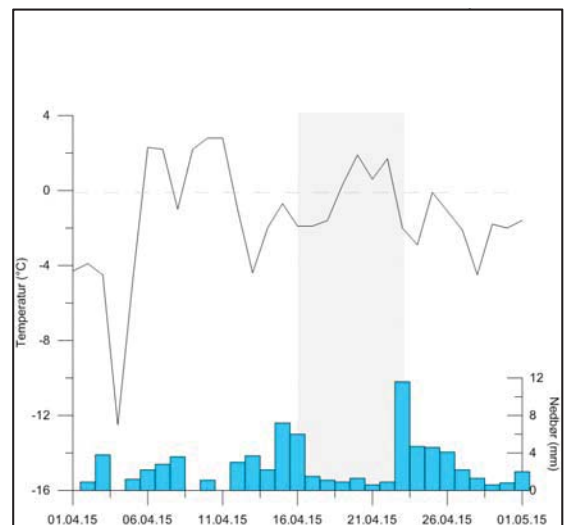
Måling med bakkebasert radar blir mellom anna brukt til å måle bevegelsar i stein- og fjellskred, eller deformasjon i byggverk som dammar, bruer, gruver og liknande. I Noreg er det ikkje tidlegare forsøkt å bruke bakkebasert radar til å måle deformasjonar i snø, men liknande forsøk er kjent frå Alpane (Caduff m. fl., 2015). NORUT (Northern Research Institute) forskar på å bruke radarinterferometri frå satellitt til å registrere snøskred.

I denne radarkampanjen var radaren plassert på eit flyttbart fundament på lasteplanet til ein lastebil (sjå figur 3). Dette var dekkja av eit telt og sto i ei veglomme langs riksveg 15 ved utgangen av Oppljostunnellen (sjå figur 1). Nøyaktig posisjon til radarskinna blei målt med differensial GPS når den blei satt opp den 16.04.15. Dette vart gjort for å kunne georeferere interferogram og akkumulerte interferogram, som gjer det mogleg å finne den nøyaktige plasseringa av områder i bevegelse, og kalkulere arealet meir nøyaktig. Parameterane som blei brukt kan sjåast i tabell 1. Sidan vinkelen til siktelinja frå radaren er 18 grader medan hellinga til terrenget er 29-37 grader vil om lag 88 % av den reelle bevegelsen i siktelinja bli registrert. Om bevegelsesretninga er i ein vinkel til radaren blir storleiken til bevegelsen ytterlegare underdrive. Grunna den raske bevegelsen i dette forsøket blei enkeltbileter brukt i analyser, og hastigheita til radaren blei oppjustert til maksimum i 19-tida den 18. april 2015. Det blei likevel fasehopp og desse er det forsøkt å korrigere med manuelle metodar.



Figur 3: Radaren var plassert på lasteplanet av ein lastebil, dekkja av eit telt. Stavbrekka er i bakgrunnen.

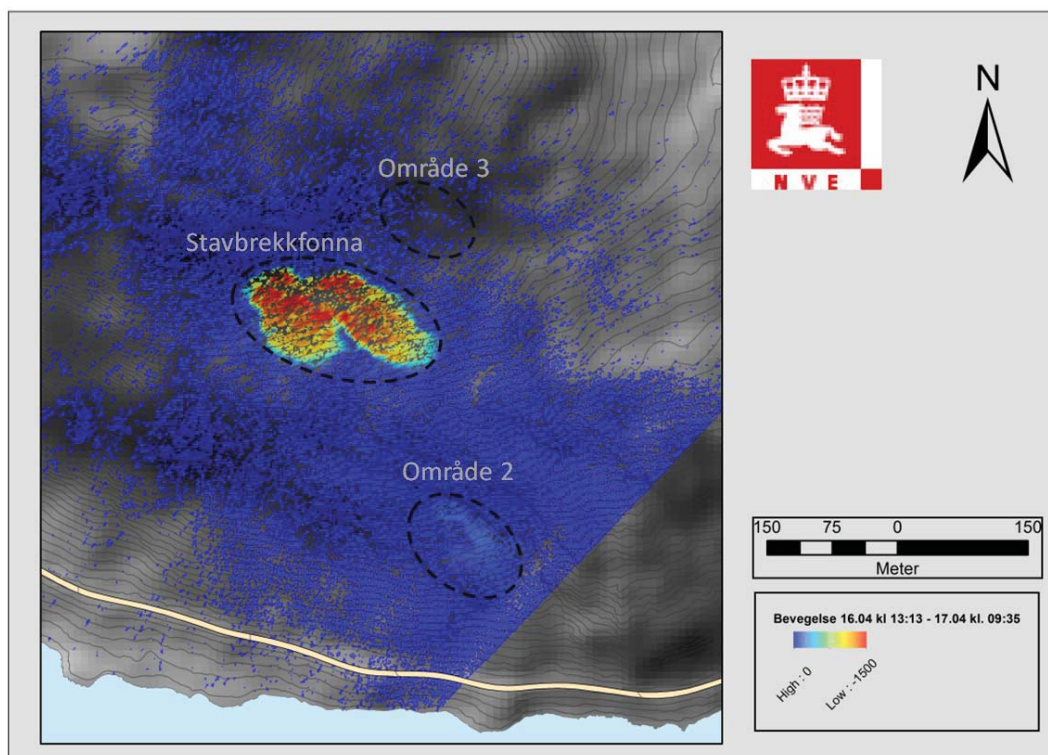
Parameter	Verdi
N° freq:	2001
Start frekvens:	17.15
Stopp frekvens:	17.25
Sentral frekvens:	17.2 GHz
Båndbredde:	100 MHz
N° positions:	501
N° aquisition:	530
Lengde av syntetisk aperature:	3 m
Utgangseffekt:	22 dBm
Fart:	3500/5000
Retur fart:	5000
IF:	20 000
Vinkel antenne:	18°



Tabell 1: Tabellen viser parameterane som blei brukt i målekampanjen.

4 Resultat

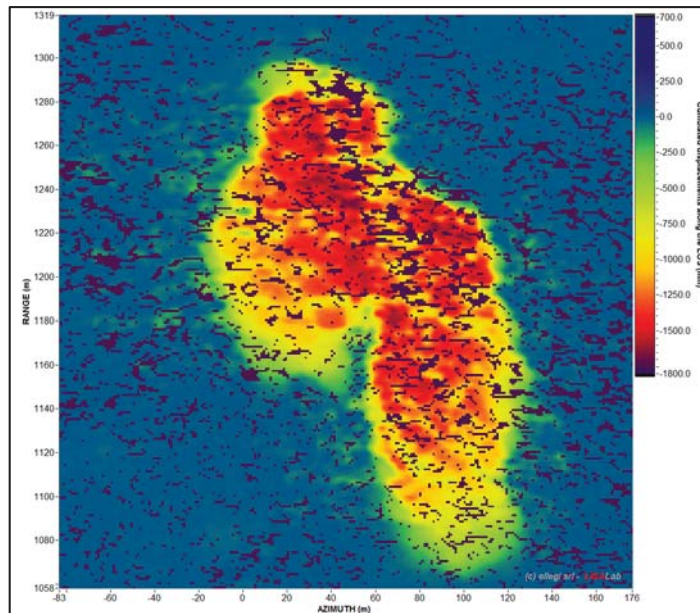
Allereie frå dei første radarbileta var det tydeleg at det var mogleg å måle bevegelse på snøoverflater. Det blei registrert bevegelse i tre områder i synsfeltet til radaren og det største området, som også bevega seg mest, var losneområdet til Stavbrekkfonna (figur 5). Eit anna områda med bevegelse var lengre ned i fjellsida, medan det siste var på same høgde som losneområde til Stavbrekkfonna, men litt lenger mot nordaust.



Figur 5: Det blei registrert bevegelse i tre områder under målekampanjen. Plasseringa til desse er illustrert i figuren som viser akkumulert bevegelse dei første 20 timane av radarkampanjen.

4.1 Stavbrekkfonna

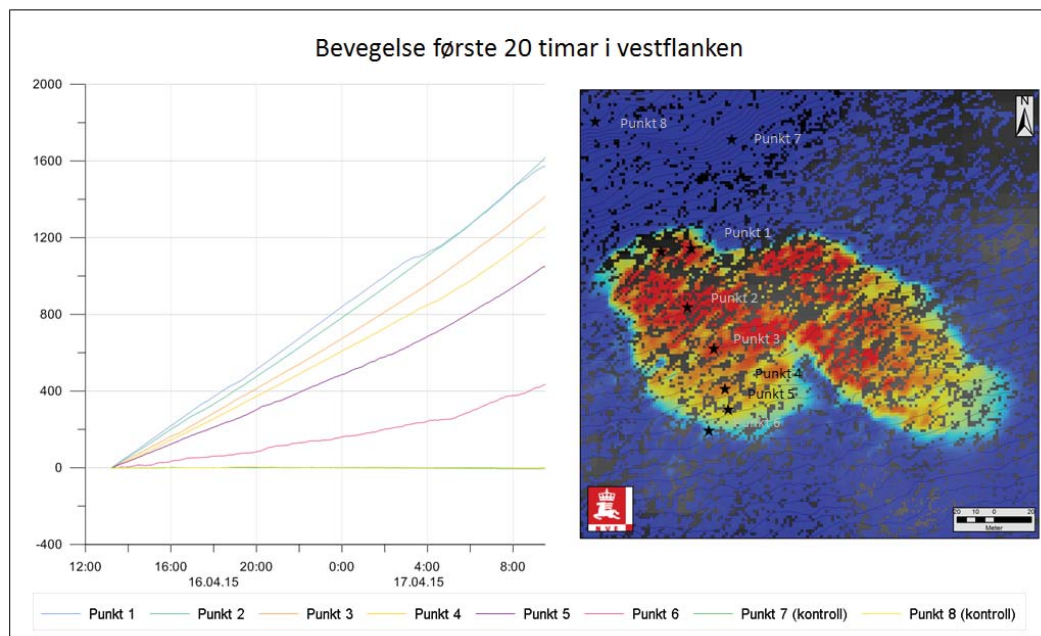
I losneområdet til Stavbrekkfonna blei det registrert bevegelse i eit område som låg mellom 1200 moh og 1300 moh. Dette var rundt 120 m langt og 170 m bredt og hadde eit areal på om lag 19 000 m². Bevegelsen var fordelt i to lobber som var knytt saman på midten, der vestflanken var noko mindre enn austflanken. Sams for flankane var at hastigheita var størst i øvre delar av området og minka nedover og mot sidene. Dei første 20 timane i måleperioden var hastigheita under 4 m/døgn, men den auka slik at det blei fasehopp i enkeltpikslar etter dette. Det same var tilfellet etter at farta til radaren blei justert den 18. april. Utbreiinga og det generelle bevegelsesmønsteret er derfor best illustrert dei første 20 timane og kan sjåast i figur 6. Den første del av måleperioden bevega flankane seg relativt likt, men frå 19-tida den 19. april endrar dette seg. Grunna det ulike bevegelsesmønsteret til flankane vil dei bli omtala kvar for seg.



Figur 6: Akkumulert radarbilete som viser bevegelsen i Stavbrekkfonna dei første 20 timane av måleserien.

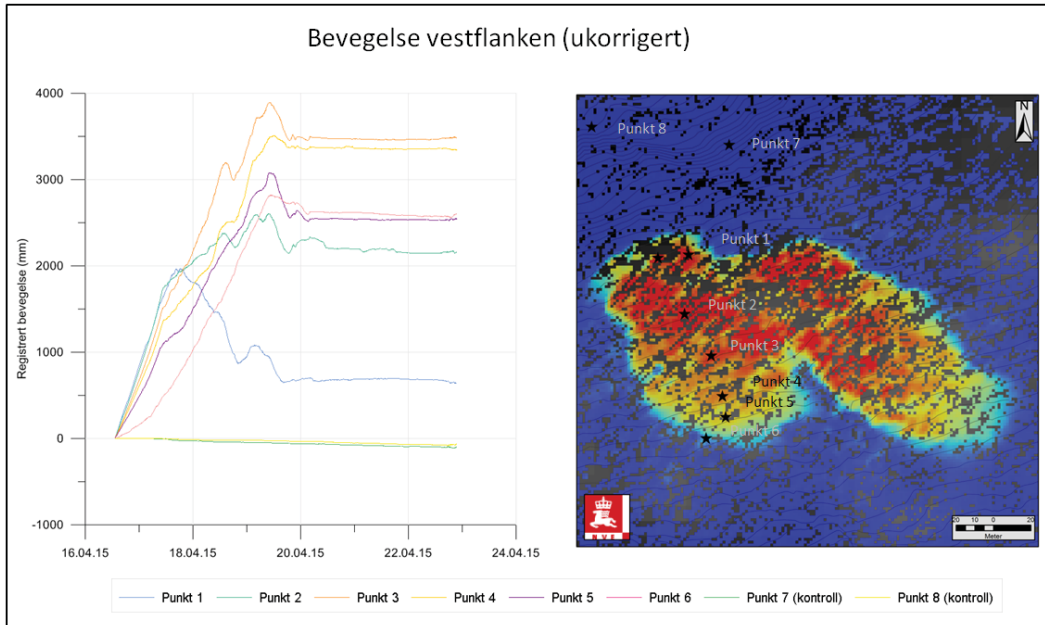
4.1.1 Vestflanken

Arealet til vestflanken var om lag 9000 m². Bevegelsen var størst i øvre delar av området og snømassane bevega seg relativt homogent. Hastigheita var mindre i nedre delar og mot sidene. Dei første 20 timane var det ikkje fasehopp så resultatata frå denne perioden treng ikkje korrigerering. Det blei registrert ein total bevegelse oppimot 1,7 m i dette tidsrommet, og det var ei svak auke i hastighet, som kan sjåast i tidsserien i figur 7.



Figur 7: Figuren viser bevegelsar for bestemte punkt i vestflanken dei første 20 timane målingar blei utført. Plasseringa av punkta er illustrert til høgre i figuren. Punkt 7 og 8 er seg utanfor området og er kontrollpunkt.

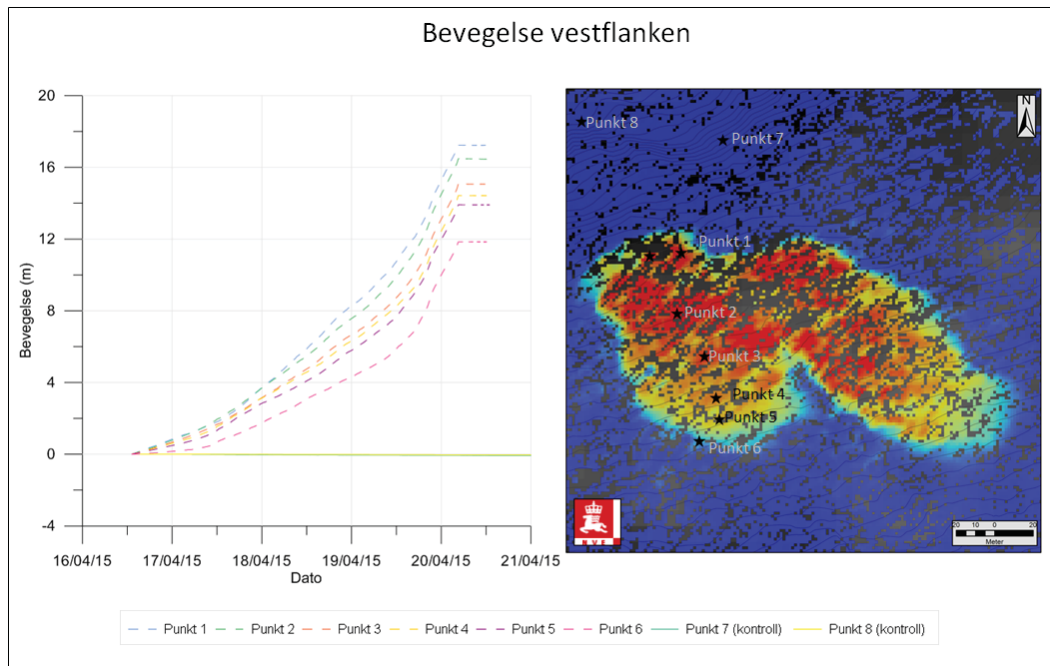
Etter dette tidsrommet blei det fasehopp i enkelte delar av området. Dette kan sjåast på figur 8, som viser ein tidsserie for heile måleperioden. Her kjem fasehoppa fram ved at punkta tilsynelatande beveger seg vekk frå radaren eller får lågare hastigheiter. Dette er usannsynlig sidan snømassar sjeldan beveger seg oppover ei fjellside. Etter nøye studie av interferogramma er det likevel mogleg å seie mykje om utviklinga av bevegelsen, til tross for fasehoppa, sidan utviklinga skjedde gradvis. Med så store hastigheiter som her, vil mangel på koherens kunne påverke resultatene i tillegg til at støynivået blir relativt høgt. Resultatene kan brukast kvalitativt og det kvantitative resultatet kan sjåast på som veileiande.



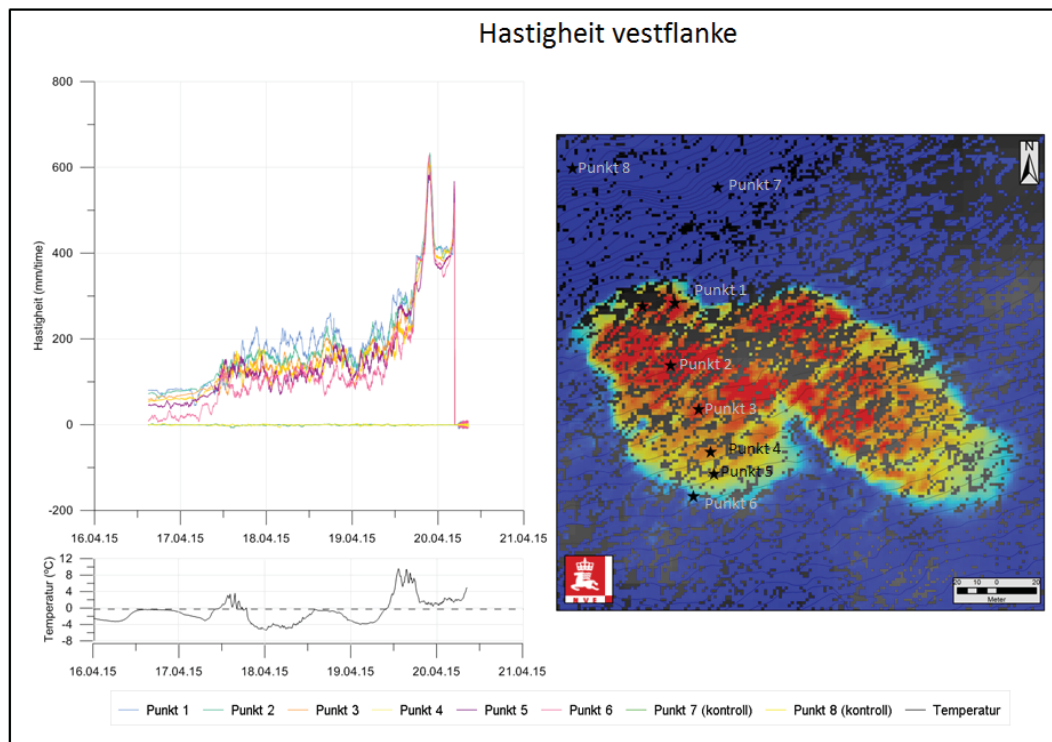
Figur 8: Diagrammet som viser utviklinga til gitte punkt (indikert til høgre i figuren) viser at på morgonen den 17. april blir det fasehopp i enkeltpunkt som kan sjåast ved at punkta beveger seg frå radaren eller med lågare hastigheiter. Dei lågare hastigheitene utover føremiddagen den 17. april skuldast at punkt ligg og vippar mellom to faser.

Det var generelt auka hastigheiter igjennom heile måleserien, sjå figur 10 som viser hastigheit som løpande snitt per time. Etter den auka hastigheita i starten av målinga heldt farta seg relativt stabil ei periode. Det var noko reduserte hastigheiter på kvelden og natta. Hastigheita auka ytterlegare frå formiddagen den 19. april, og det var akslerasjon utover dagen og kvelden, fram til midnatt. Då var det ein roligere periode før snømassane igjen akselererte hurtig frå 03.30 den 20. april. Dette heldt fram til skredet gjekk klokka 05.17 same dag. Skredet varte i ca. 5 minutt og kan sjåast som mangel på koherens i radarbileta (figur 11). Mangelen på koherens gjer også at skredbana kjem fram i radarbilete. Det er tydeleg at skredmassane kryssa vegen, men sidan nedre del av fjellsida ikkje var i dekningsområdet til radaren er ikkje avsetningsområdet synleg. Frå starten av målingane til skredet skjedde var den registrerte bevegelsen opp mot 18 m. Dette utgjer om lag 20,5 m i reell bevegelse mot radaren, noko som samsvarar relativt godt med estimert bevegelse frå fotoanalyser (Venås, 2015). Like før skredtidspunktet var hastigheita rundt 25 mm/minutt. Etter at skredet hadde gått var det ikkje meir bevegelse i eller rundt losneområdet. Figur 10 viser også måling av lufttemperatur, og det er ein tydeleg samanheng mellom bevegelse og temperatur. Hastigheita blei redusert i kaldare periodar

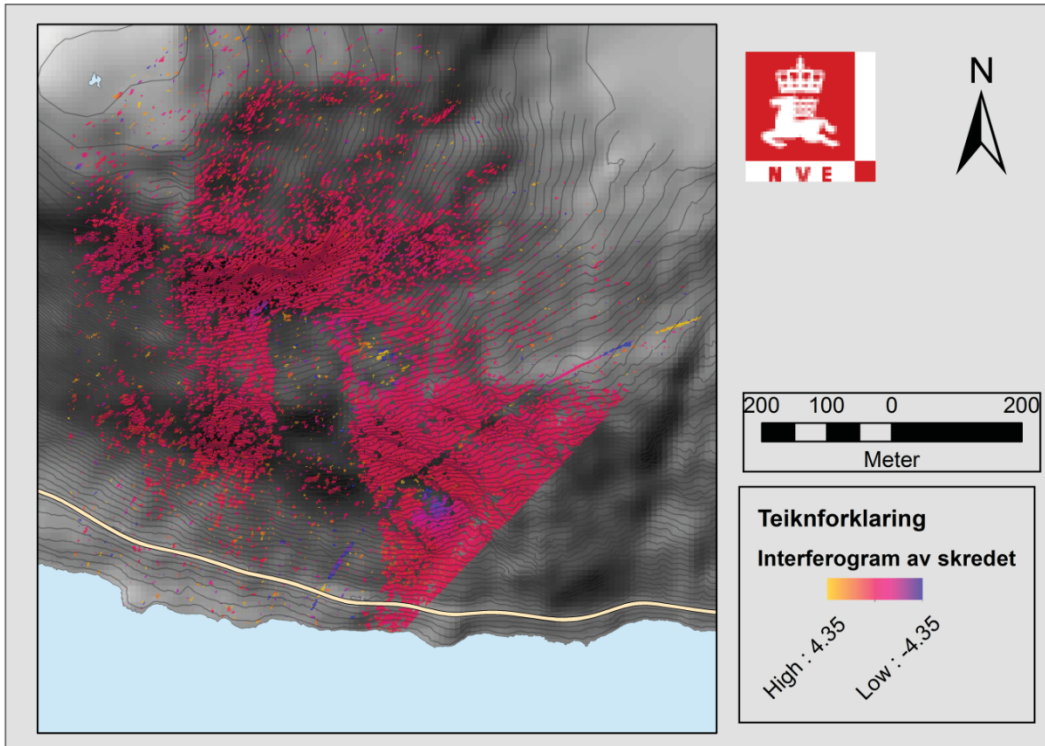
og auka i varmare periodar. Det var først når temperaturen hadde vore positiv ei periode at skredet gjekk.



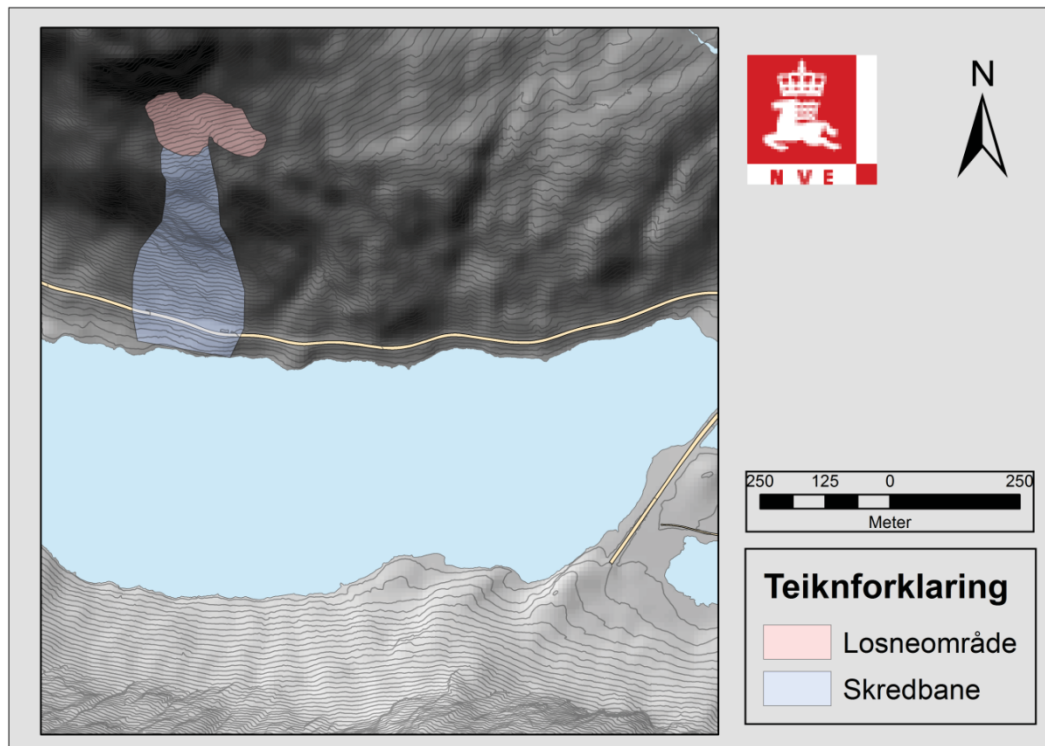
Figur 9: Estimert bevegelse i gitte punkt i vestflanken av Stabbrekkfonna etter manuell korrigering.



Figur 10: Figuren viser hastigheita til dei ulike punkta til etter raset. Det er ein tydeleg akslerasjon i forkant av raset og det er ein tydeleg samanheng mellom hastighet og temperatur. Temperaturmålingane er frå vegvesenet, og viser temperaturane 1 m over snøoverflata ved Stabbrekkfonna. Temperaturmålaren har ikkje vore beskytta mot sollys, og dette påverkar resultatata noko.



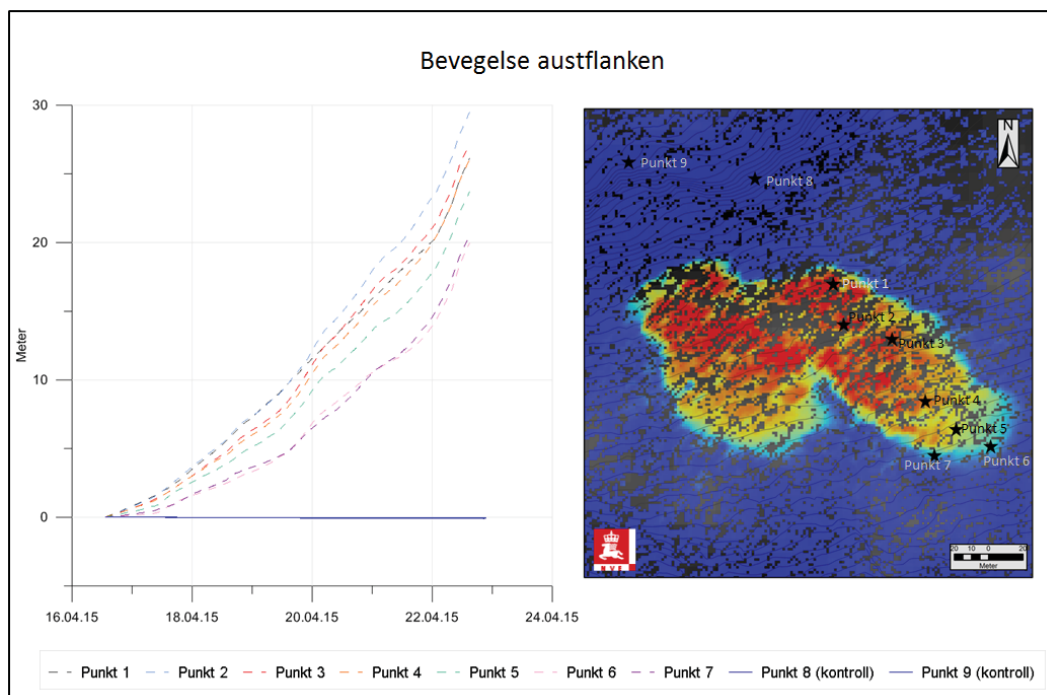
Figur 11: Interferogram frå tidsrommet skredet går gir ein god indikasjon på omrisset av skredbana.



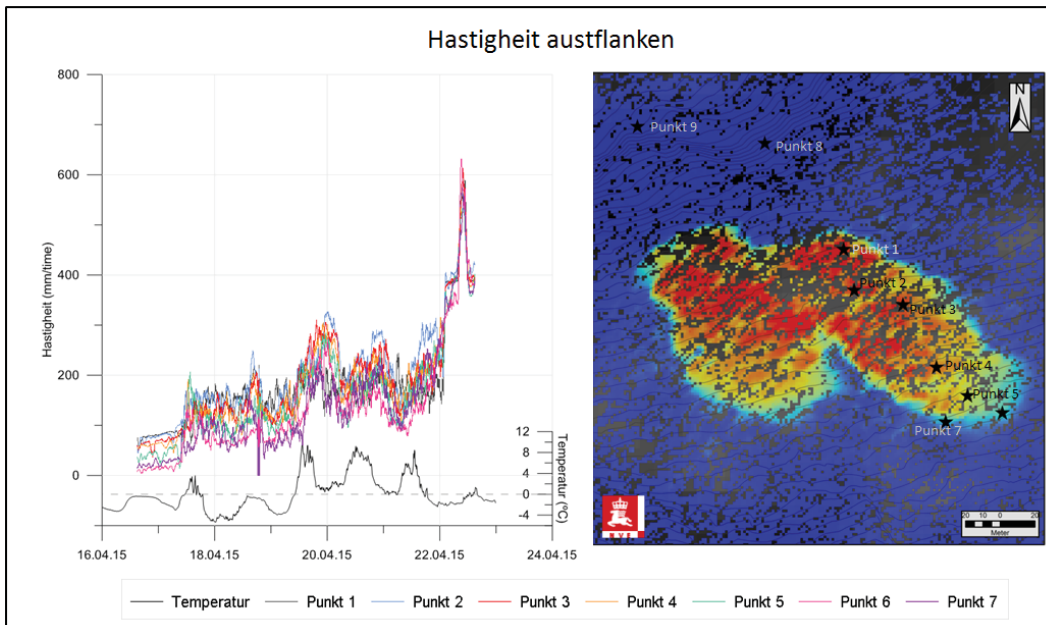
Figur 12: Oversikt over fjellsida med losneområdet og skredbana til skredet frå vestflanken markert.

4.1.2 Austflanken

Austflanken omfattar den austlege loben der om lag 9700 m² snø var i bevegelse. Også her var bevegelsen størst i øvre delar og minka nedover og mot sidene. I første del av måleserien var bevegelsesmønsteret i austflanken tilsvarande bevegelsesmønsteret til vestflanken. Fram til det hadde gått 20 timar var målingane utan fasehopp, og i dette tidsrommet flytta snømassane seg oppimot 1,7 m. Hastigheitene auka med tida. Det var først rundt klokka 19 den 19. april at bevegelsesmønsteret i aust- og vestflanken skilde seg frå kvarandre. Då akselererte vestflanken fram til raset. Det var også litt auka hastigheiter i austflanken, men ikkje like mykje. Litt før skredet bevegde austflanken seg saktare og det heldt seg på eit stabilt nivå nokre dagar, men det var visse dagsvariasjonar. Frå kvelden den 21. april var det igjen auka hastigheit og dette heldt fram til føremiddagen den 22. april. Då gjekk hastigheita raskt ned, og dette var samanfallande med minkande temperaturar som blei negative. Frå ettermiddagen den 22. april var det ruskete vær som førte til at teltet til radaren blei dekkja av snø og gjorde at det blei mykje støy på målingane. I perioden fram til dette blei det registrert bevegelse oppimot 30 m i siktelinja til radaren (figur 13). Også her stemmer det godt overeins med estimering av bevegelse frå fotoanalyse (Venås, 2015). Ved austflanken var det større daglege variasjonar enn ved vestflanken, og hastigheita var over 600 mm/time på det raskaste (figur 14). Skredet skjedde den 6. mai 2015.



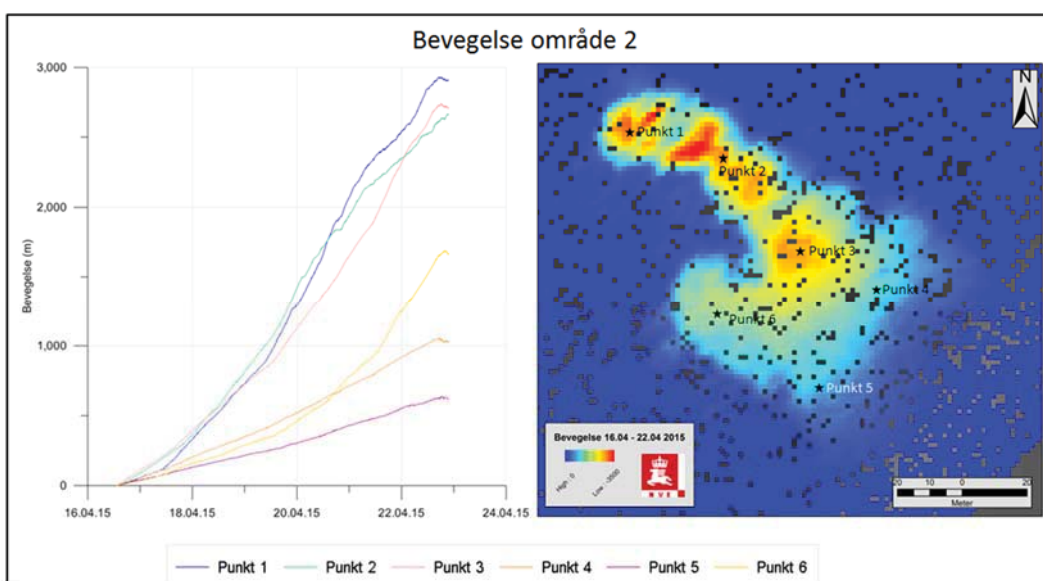
Figur 13: Korrigert bevegelse til punkt i austflanken.



Figur 14: Hastigheter for punkt i austflanken basert på korrigerte verdiar. Dei er framstilte som løpande snitt over ein time. Hastigheita har ein korrelasjon til temperatur. Temperaturmålingane er frå vegvesenet, og er målt 1 m over snøoverflata ved Stavbrekkfonna. Temperaturmålaren har ikkje vore beskytta mot sollys, og dette påverkar resultatane noko.

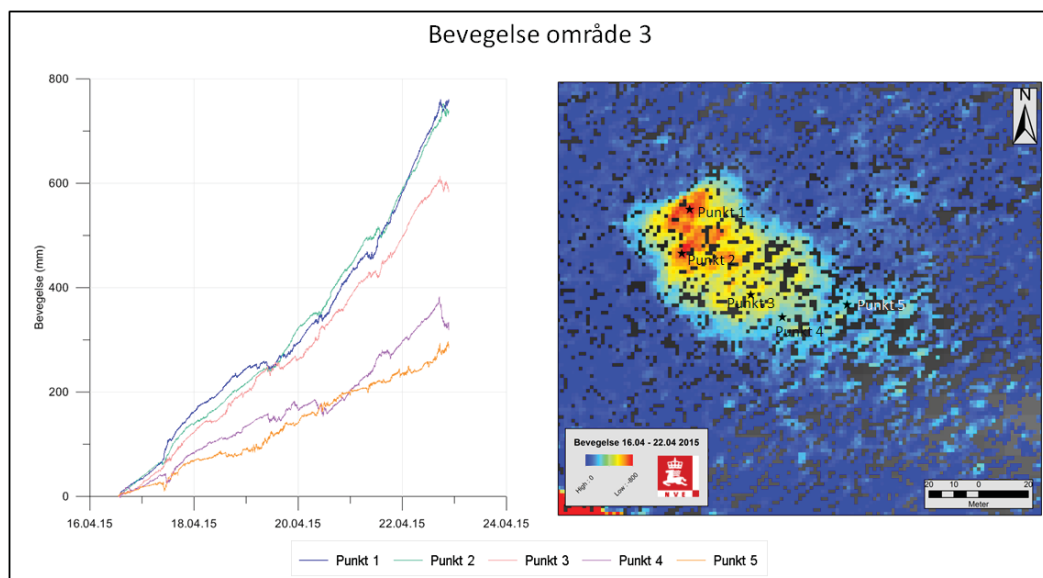
4.2 Andre områder

I to andre områder i fjellsida det blei registrert bevegelse i snømassane. Det eine var under losneområdet til «Stavbrekkfonna» mellom 1000 moh og 1085 moh, og omfatta eit areal på ca. 8000 m² (figur 5). Under måleperioden var den totale bevegelsen oppimot 3,5 m i delane av området som bevega seg mest. Hastigheita var mindre nedover og mot sidene. Det var visse variasjonar i hastigheita også her. Dette kan sjåast i figur 15 som viser utviklinga over tid i punkt 1-5. Som det går fram av figuren var det også her ein form for akslerasjon gjennom måleserien for alle punkta. Frå den 21. april minka hastigheita i øvre delar av området (punkt 1 og 2).



Figur 15: I området det blei registrert bevegelse i under Stavbrekkfonna blei det registrert bevegelse oppimot 3,5 m under radarkampanjen. Som tidsserien viser var det hastigheitsaukning under tidsserien. Bilete til høgre viser distribusjonen av bevegelsen.

Det andre området med registrert bevegelse var nordaust for Stabbrekkfonna (figur 5). Dette var eit mindre området som låg mellom 1250 moh og 1325 moh og hadde eit areal på om lag 5000 m². Under måleserien blei det registrert bevegelse opp mot 80 cm, og som for dei andre områda var bevegelsen størst i øvre midtre delar av området, og den var mindre nedover og mot sidene. Bevegelsen over tid kan sjåast i figur 16, som viser at hastigheita varierte i løp av måleserien. Også her er det ein tendens til auka hastigheit.



Figur 16: I området nordaust for Stabbrekkfonna var det bevegelse i underkant av 80 cm under målekampanjen og det var auka hastigheit, særleg i slutten av målinga. Bilete til høgre viser fordelinga av bevegelsen.

5 Evaluering av målemetoden på glideskred

Etter forsøket er det heilt klart at det er mogleg å bruke bakkebasert radar (InSAR) til å måle deformasjon i snø. I dette tilfellet blei det registrert bevegelse i tre områder og eit skred blei registrert. Eit potensielt problem er om det er store snøfall under målingane som endrar overflata. Det same gjeld om det er kraftig vind og stor transport av snø. Også setning og smelting av snø påverkar overflata og vil reflekterast i målingane, men denne faktoren er så liten samanlikna med bevegelsane at det ikkje vil bety så mykje for resultatet. I dette forsøket blei det ikkje avsett store snømengder i det aktuelle området, og det var truleg ikkje stor endring av overflata som følge av kompresjon av lagpakken eller vindtransport då den allereie var isoterm.

Den største utfordringa var at dette glideskredet hadde så store hastigheiter at det i prinsippet var større enn det denne type bakkebasert radar kan måle. Dette førte til fasehopp tidleg i måleserien, noko som gjer det problematisk å dokumentere deformasjonen med sikkerheit. I tillegg blir det meir støy i målingane når det blir brukt enkeltbilete og maksimal hastigheit på radaren. Det er mogleg å endre innstillingane til radaren slik at den brukar ein mindre del av radarskinna under målingane. Då tek det kortare tid å få eit radarbilete, og dermed kan bevegelse med høgare hastigheiter

registrerast. Opplysinga til radarbileta vil då bli dårlegare, men i dette tilfellet vil ikkje det ha så stor betydning sidan det er store områder med relativ homogen oppførsel som er av interesse. Om berre ein meter av radarskinna blir brukt vil det vere om lag 30 sekund mellom kvart radarbilete, og det er då mogleg å måle snittbevegelsar oppimot 14-15 m/døgn, altså tre gongar meir enn ved bruk av heile radarskinna. I dette tilfellet var hastigheitene så høge at det uansett ville blitt fasehopp i løpet av måleserien, sjølv med desse innstillingane, men det ville gått mykje lenger tid før dette skjedde. I tillegg ville ei eventuell korrigering vore enklare.

Med analyser av data i ettertid har det vist seg at det er mogleg å korrigere for fasehoppa manuelt. Dette er mogleg sidan progresjonen i glidebevegelsen er så jamn at det er mogleg å vite kva fase av bølgiene radaren registrerar, og korrigere resultata basert på dette. Når dette blir retta opp blir det gitt visse føringar for data som kan føre til feil og unøyaktigheiter, i tillegg til at tolkinga kan vere feil. Meir truverdige vil det bli om det er andre deformasjonsmålingar som data kan korrigerast mot, som til dømes bildeanalyser eller lidar-data. Lidar har i motsetnad til radar ikkje restriksjonar på størrelsen av deformasjonen mellom kvar måling, men metoden er meir følsam for dårleg sikt. Prosessen for korrigering er tidskrevande og er ikkje ideell i ein «akuttsituasjon».

Under føresetnaden om at korrigeringa av fasehoppa i dette forsøket stemmer, er det ein tydeleg akslerasjonsfase før raset inntreffer, og det er slike observasjonar som blir brukt til å varsle skred. I prinsippet verkar det difor mogleg å varsle glideskred. Dette vil likevel vere enklare om hastigheitene er lågare, om ein mindre del av radarskinna blir brukt, eller ved bruk av andre målemetodar der fasehopp ikkje er eit problem. Hastigheitene endrar seg på si side raskt, og både på vest- og austflanken var det periodar med retardasjon. Dermed vil det truleg vere meir reelt å varsle skredfare, framfor sjølv skredtidspunkt. Med fleire målingar og eit større datagrunnlag er det kanskje mogleg å få ei betre forståing for styrande parameterar for skreda og dermed varsle dei med større sikkerheit. Det er ein tydeleg samanheng mellom bevegelse og temperatur, men det finnast kanskje også samanhengar med hastigheit eller total deformasjon før skredet som kan oppdagast med fleire målingar.

Det er utført målingar i eitt skredområde i ein kort tidsperiode og det er difor ikkje eit tilstrekkeleg empirisk grunnlag for å kunne konkludere og stadfeste potensialet til målemetoden ut frå desse målingane. Det blir difor anbefalt at det blir gjort fleire forsøk både på same stad og på andre glideskred for å undersøke dette betre. Om dette skjer er det fleire forbetringar som kan gjerast. Det vil vere nyttig å starte målingane tidligare slik at det var mogleg å følgje deformasjonen over lenger tid før eit eventuelt skred. Det bør også takast omsyn til værforhold, og på vêrharde plassar som på Strynefjellet ville eit fast fundament med eit overbygg der vindauge/opninga heldt seg fri for snø vere gunstig. Betre internettsamband er nødvendig om ein skal følgje bevegelsane i sanntid, og dette vil dessutan gi ein fordel med at innstillingar på radaren kan endrast utan å fysisk vere til stade. Sidan hastigheitene er så raske vil det truleg vere betre å bruke ein kortare del av radarskinna, då dette gjer at ein kan følgje bevegelsar med raskare hastigheiter.

6 Konklusjon

Etter forsøket med bakkebasert radar (InSAR) ved Stavbrekkfonna, har det vist at det er mogleg å registrere deformasjon på snøoverflater. Det blei registrert bevegelse i tre områder og eit skred. Hastigheitene til snømassane var likevel større enn det målemetoden i prinsippet kan registrere. Manuell korrigering har vist seg å fungere i dette tilfellet med relativt stor overtyding om at resultatet er truverdig. Slik korrigering er tidskrevjande og vil ikkje eigne seg i ein akuttsituasjon. Det var ein akslerasjonsfase før skredet frå vestflanken, noko som i prinsippet kan bety at eit glideskred kan varslast ved hjelp av deformasjonsmålingar. Hastigheitene endrast på si side raskt, og etter akslerasjonsfaser har det vist seg at snømassane igjen kan få lågare fart. Med bakgrunn i dette verkar det som skredfare er det som er mest reelt å varsle, framfor nøyaktig skredtidspunkt. Det er i denne studien berre gjort eit forsøk over nokre få dagar, og fleire målingar, både her og på andre glideskred, bør utførast for å få betre kunnskap om potensialet til målemetoden. Særleg interessant vil det vere å bruke ein kortare del av radarskinna for å kunne følgje bevegelsar med høgare hastigheit.

7 Referansar

Caduff, R., Wiesmann, A., Bühler, Y., & Pielmeier, C. (2015). Continuous monitoring of snowpack displacement at high spatial and temporal resolution with terrestrial radar interferometry. *Geophysical Research Letters*, 42(3), 813-820.

Venås, M. (2015). Overvåkning og varsling av glideskred ved Stavbrekka i Skjåk. (Master thesis), Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

www.vegvesen.no. Problemfonna Stavbrekka. Retrieved 12. april, 2016, from http://www.vegvesen.no/_attachment/59618/binary/8060?fast_title=Problemfonna+Stavbrekka



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

