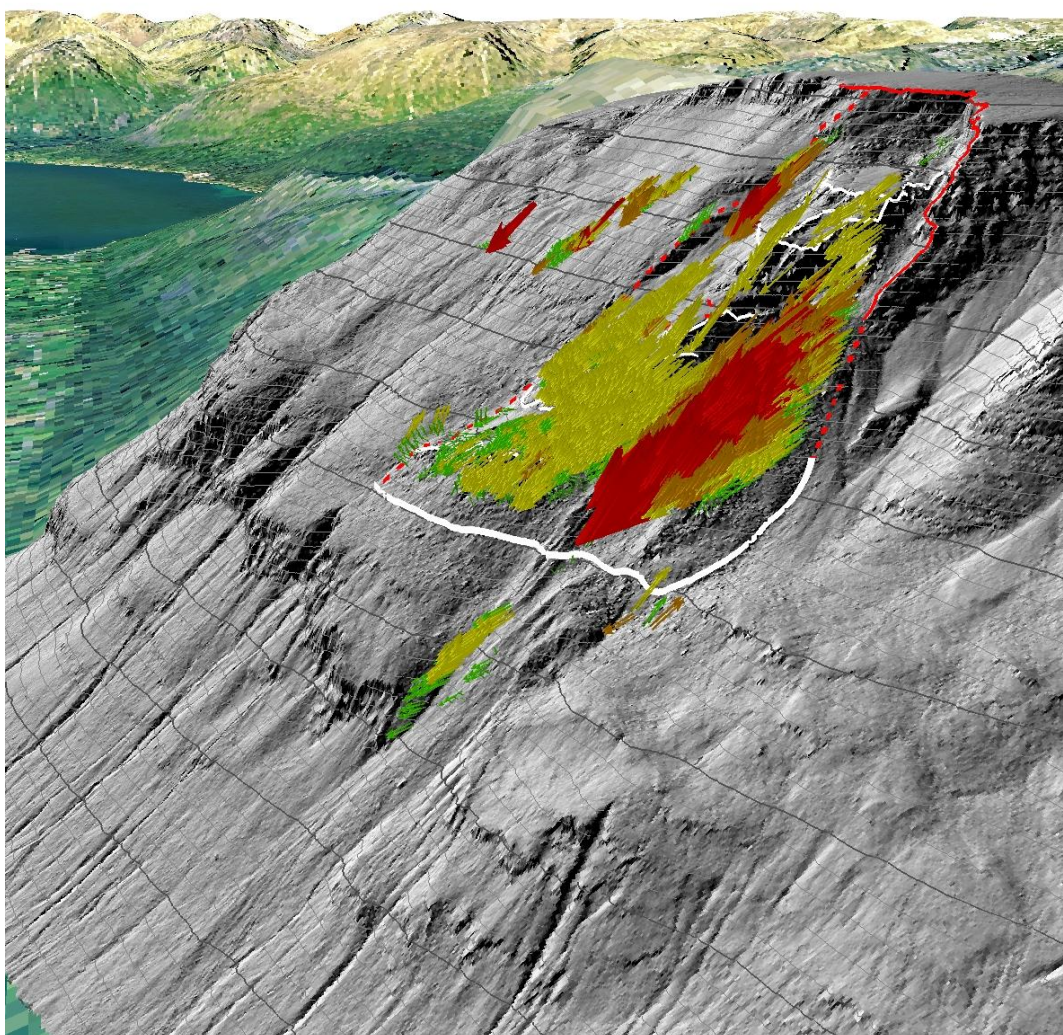


RAPPORT

14/2017
ISBN 978-82-7492-360-7
ISSN 2535-304

KARTLEGGING AV 3D-BEVEGELSESMØNSTRE PÅ GÁMANJUNNI 3, KÅFJORD, TROMS



Forfatter: Harald Øverli Eriksen, Yngvar Larsen, Heidi Hindberg og Tom Rune Lauknes.

PROSJEKTNAVN: KARTLEGGING AV 3D-BEVEGELSESMØNSTRE, OG VIDEREFØRING AV TEMPERATUROVERVÅKING PÅ GÁMANJUNNI 3, KÅFJORD, TROMS Prosjektnr.:
OPPDRAGSGIVER(E): Fjellskredseksjonen i Norges vassdrags- og energidirektorat Oppdragsgivers ref.: gumd

Dokumentnr.: 14/2017

Dokumenttype: Rapport

Status: Åpen

ISBN: 978-82-7492-360-7

ISSN: 2535-304

Ant. Sider: 25

Prosjektleder: Harald Øverli Eriksen

Dato: 06.12.2017

FORFATTER (E): Harald Øverli Eriksen, Yngvar Larsen, Heidi Hindberg og Tom Rune Lauknes.
TITTEL: Kartlegging av 3D-bevegelsesmønstre på Gámanjunni 3, Kåfjord Troms.

Resymé / Summary:

Denne rapporten dokumenterer framgangsmåte og resultater i tilknytning til 3D-prosessering av satellitt- og bakkebasert radardata for det ustabile fjellpartiet Gámanjunni 3 i Kåfjord, Troms. Produserte 3D-bevegelsesvektorer gir terrengets bevegelsesretning og hastighet. I rapporten presenteres det kart og 3D-plott som visualiserer pågående bevegelsesmønstre, samt at resultater sammenlignes med målinger fra GPS/GNSS. Videre diskuteres effekter som kan ha påvirket resultatet. Datafiler og resultat etter 3D-prosessering er gjort tilgjengelig for NVE, samt beskrevet i appendiks vedlagt rapporten.

Emneord: Kombinerte radardata, 3D-bevegelser, Satellitt- og bakkebasert radar, Kartlegging, Ustabilt fjellparti

Noter:

Innhold

1	INNLEDNING	3
2	MATERIALER OG METODE	4
2.1	BAKKEBASERT RADAR.....	4
2.2	SATELITTBASERT RADAR.....	4
2.3	3D-PROSESSERING.....	5
2.4	REFERANSEPUNKT.....	6
3	RESULTATER	7
3.1	INNDATA.....	7
3.2	KONDISJONSTALL FOR 3D-INSAR PROSESSERING.....	9
3.3	3D-INSAR DATA.....	10
3.4	SAMMENLIGNING AV GPS- OG 3D-INSAR DATA.....	17
3.5	ARCMAP SHAPEFIL.....	19
4	DISKUSJON	21
5	KONKLUSJON	22
6	VEDLEGG	23
7	LITTERATUR	25

Forord

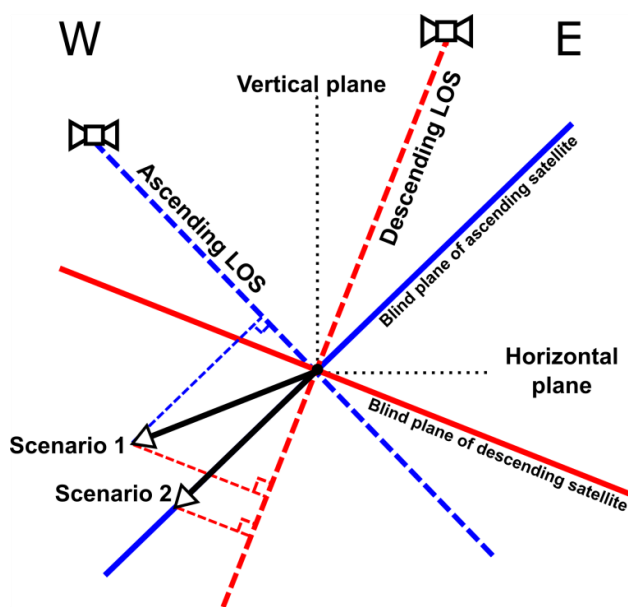
Denne rapporten beskriver 3D-bevegelsesmønster for den ustabile fjellsiden Gámanjunni 3 etter gjennomføring av prosjektet «Kartlegging av 3D-bevegelsesmønster, og videreføring av temperaturovervåking på Gámanjunni, Kåfjord Troms.»

Avdekkede 3D-bevegelser av terrenget er basert på et bakkeradardatasett fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og satellittbaserte TerraSAR-X radardatasett (Norut) fra den tyske romfartsorganisasjonen DLR (TerraSAR-X AO prosjekt #GEO0565, GEO0764 og GEO2497).

1 INNLEDNING

Bruk av radar (Syntetisk Aperture Radar – SAR) for fjernmåling av ustabile fjellpartier blir stadig vanligere. Disse instrumentene sender ut og måler reflektert energi uavhengig av lys- og værforhold. Radar kan brukes i utilgjengelige og ustabile fjellsider, som er farlig eller vanskelig å bevege seg i. Ved å sammenligne gjentatte målinger, såkalt interferometrisk SAR (InSAR), kan bevegelser i radarens sikteretning avdekkes. I våre nordlige områder gir satellittbaserte radarinstrumenter i polare baner tilnærmet daglige observasjoner. Bakkebaserte radarinstrumenter observerer mindre områder, men gir full frihet til å velge sikteretning samt hyppigere måleintervall. Begge teknikker detekterer terrengets bevegelser på millimeternivå i instrumentets sikteretning.

Hvis derimot terrengets bevegelse avviker fra instrumentets sikteretning (Line-Of-Sight, LOS), angitt med stiplede rød og blå linjer i Figur 1, vil målt bevegelse bli underestimert som i Scenario 1 i Figur 1. I Scenario 1 er målt bevegelse underestimert målt både fra radarsatellitt i ascending (stigende) bane og fra radarsatellitt i descending (synkende) bane. I ekstreme tilfeller vil bevegelsen være vinkelrett på instrumentets LOS og dermed være usynlig for radaren, som angitt i Scenario 2 for satellitt i ascending bane i Figur 1. Bevegelsen har da en retning som er parallell med instrumentets blinde plan (se rød linje i Figur 1 og rødt rektangel i Figur 2). Noe som resulterer i at viktig bevegelsesdynamikk i en ustabil fjellside kan forbli uoppdaget ved bruk av enkeltstående InSAR-datasett. Dette kan unngås ved å kombinere InSAR data fra flere radarinstrumenter. Vi har derfor i dette delprosjektet fremstilt tredimensjonale (3D) bevegelsesdatasett (3D-InSAR) for den ustabile fjellsiden Gámanjuni 3 i Manndalen i Troms ved å kombinere bakke- og satellittbaserte InSAR data.



Figur 1 – Skisse som viser et Vest-Øst vertikalt plott av en radarsatellitt i ascending (stigende) bane som flyr inn i papirplanet og descending (synkende) bane som flyr ut av papirplanet, og forskjell i sensitivitet i to bevegelses scenarier. Radarenes sikteretning (LOS) er gitt med tykke stiplede rød og blå linjer. Terrang som beveger seg vinkelrett på LOS er ikke mulig å oppdage med radar er markert med blå og rød strek (blinde planes). Figuren er hentet fra (Eriksen, 2017).

2 MATERIALER OG METODE

2.1 BAKKEBASERT RADAR

Bakkebasert radardata brukt i 3D-prosesseringen kommer fra en kampanje utført av NVE. De brukte en bakkebasert radar levert av det italienske selskapet Ellegi LiSALab s.r.l. Radardata ble prosessert av NVE med programvaren Ellegi (Ellegi srl, 2009: LISALab Technology: Methods and feasibility). Radaren var plassert i dalbunnen (34W 481491 7707136 UTM) med synsvinkel opp mot raset og dekket en sektor fra øst til nordøst. NVEs kampanje varte fra 1. juni 2016 til 1. november 2016 med opptak av nye scener hvert 8 minutt. Forskjellen mellom scenene (interferogramer) ble beregnet og bidrag fra atmosfærisk forhold (tetthetsforskjeller i lufta som følge av varierende mengde vanninnhold) ble modellert og fjernet. For å fjerne ytterligere atmosfærisk bidrag, ble alle interferogrammer innenfor en femdagersperiode statistisk prosessert og midlet til et interferogram. Disse ble så brukt for å beregne kumulativ bevegelse i tidsperioden mellom 1. juni 2016 og 1. november 2016. Dette datasettet ble så ved hjelp av en digital terrengmodell geokodet til et bevegelsesdatasett med bakkeoppløsning (piksel) på 2.7 x 2.7 m.

2.2 SATELITTBASERT RADAR

Ved å bruke programvaren GSAR fra Norut (Larsen et al., 2005), ble snøfrie TerraSAR-X scener fra månedene, juni–september fra 2009–2014 prosessert til 153 interferogramer fra stigende (ascending) bane og 166 interferogramer fra synkende (descending) bane. Det ble valgt en temporal baseline på mindre enn 55 dager for å få tilstrekkelige antall interferogramer samt for å tilpasse prosesseringen til hastighetene som skulle studeres.

Støy i interferogrammene ble fjernet ved å bruke Goldstein filtrering (Goldstein and Werner, 1998). Bidrag fra atmosfæren ble filtrert ut ved å beregne høydeprofiler for faseforsinkelsen for hvert interferogram (Cavalié et al., 2007). Fasen i hvert interferogram ble så rullet ut (unwrapped) ved å bruke programvaren SNAPHU (Chen and Zebker, 2001), før interferogrammer ble inspisert manuelt og interferogrammer med unwrappingsfeil ble fjernet. Ved å anta at bidraget fra atmosfæren er ukorrelert i tid, ble det utført en midling (stacking) av interferogrammer fra ascending og descending bane som beskrevet i (Peltzer et al., 2001). Resultatet av dette er to datasett som viser gjennomsnittlig faseforskjell for snøfri periode basert på alle år observert fra ascending og descending satellittbaner. Til slutt ble gjennomsnittlig faseforskjell målt fra ascending og descending bane konvertert til gjennomsnittlig årlig hastighet (mm år^{-1}) og geokodet til en bakkeoppløsning (piksel) på 7.5 x 7.5 m.

2.3 3D-PROSESSERING

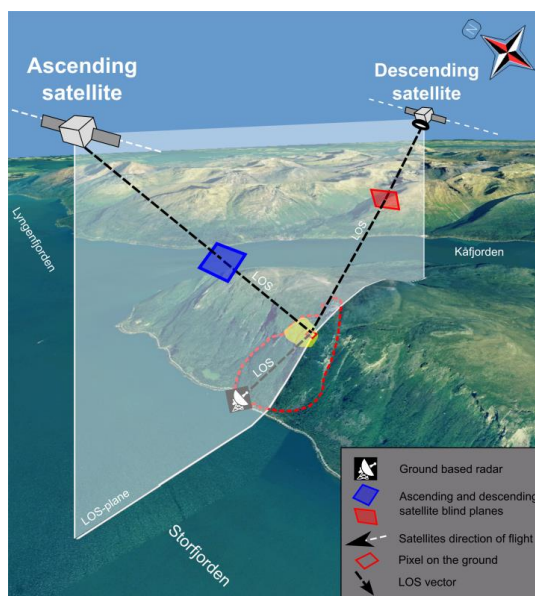
Basert på georefererte bakkeradardata og radarens posisjon i dalen beregnet vi enhetsvektorer for bakkeradarens sikteretning (Line-Of-Sight, LOS) for hvert piksel i fjellsiden. Videre beregnet vi enhetsvektorene til LOS basert på radargeometrien fra TerraSAR-X data hentet fra ascending og descending satellittbane.

Prosessering av bakkeradardata, TerraSAR-X data fra ascending og descending satellittbane forklart over, ga hastigheten i fjellsiden målt langs LOS fra tre ulike posisjoner (Figur 2). Med kunnskap om LOS-enhetsvektorer og hastighetene observert langs disse for alle datasett kunne tre lineære ligninger med tre ukjente settes opp:

$$\begin{aligned} \mathbf{A} * \mathbf{x} &= \mathbf{b} \\ \mathbf{x} &= \text{inv}(\mathbf{A}) * \mathbf{b} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 1})$$

For hvert piksel i fjellsiden, som var dekket av alle tre inputdatasettene (bakkeradar, TerraSAR-X i ascending og TerraSAR-X i descending satellittbane) kunne vi nå beregne kombinerte deformasjonshastigheter. \mathbf{A} er en matrise representert av LOS enhetsvektorene til inputdatasettene som kolonner, \mathbf{b} gir inputdatasettenes deformasjon langs deres respektive LOS, og den ukjent er gitt med matrise \mathbf{x} som gir 3D-retning og deformasjonshastigheten i mm år^{-1} .

Før data kan kombineres er det nødvendig at romlig oppløsning av bakkeradar- og satellittbaserte data er lik. Dette ble oppnådd ved resampling av bakkeradardata fra 2.7×2.7 m til satellittdatas grovere oppløsning på 7.5×7.5 m ved å bruke en nærmeste-nabo-interpolasjon.



Figur 2 – Eksempel fra Jettan på hvordan sikteretningen til bakkebasert og satellittbaserte radarinstrumenter varierer. Blå og røde flater representerer bevegelsesretninger som instrumentene hver for seg ikke kan oppdage (blinde plan). Områder i fjellsiden der det er dekning av alle radarinstrumenter er angitt med gult. Figur er hentet fra (Eriksen, 2017).

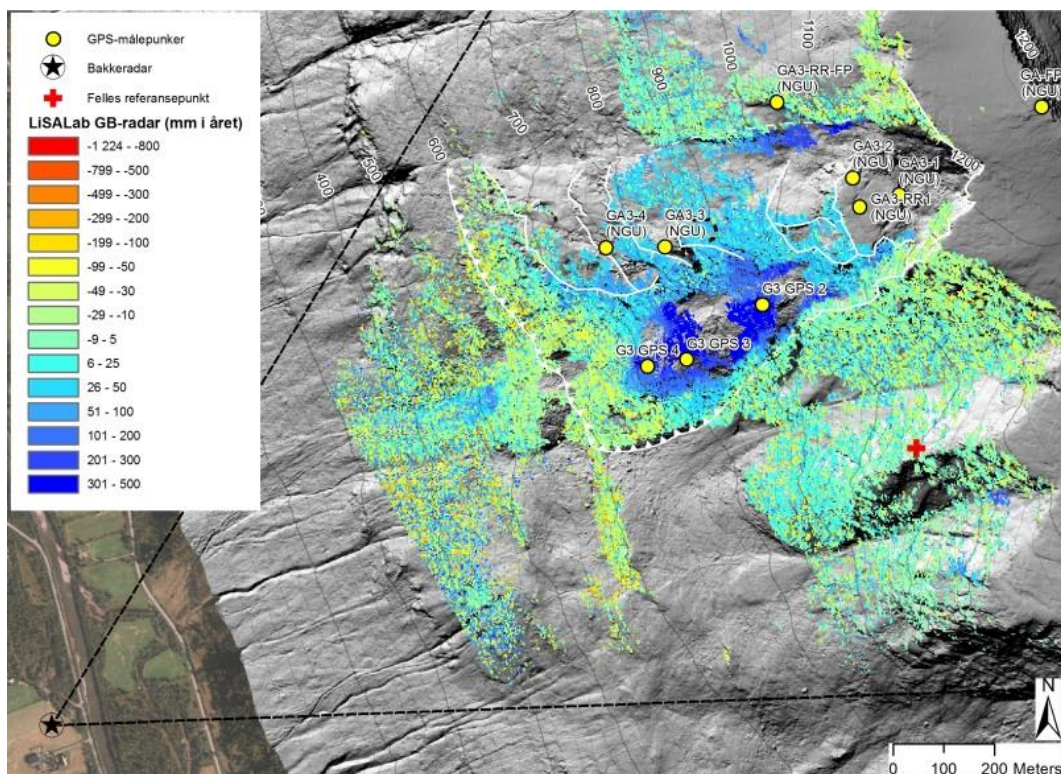
2.4 REFERANSEPUNKT

InSAR data er relative i den forstand at de må refereres til et punkt med kjent bevegelseshastighet. Dette punktet må ha dekning i alle inndatasett. Vi valgte å bruke et område i en nordvestvendt skrent sørøst for raset (34W 483242 7707513 UTM) (se rødt kors i Figur 3, Figur 4 og Figur 5). Her har alle inndatasett dekning og området oppfører seg stabilt i alle tre datasettene.

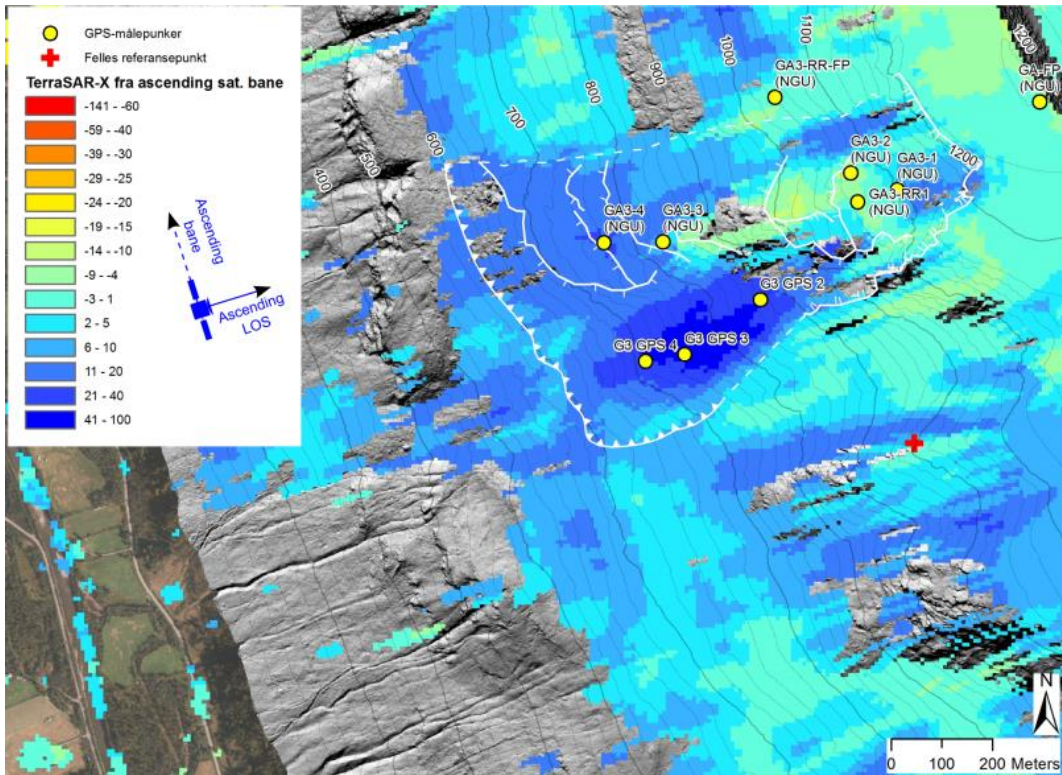
3 RESULTATER

3.1 INNDATA

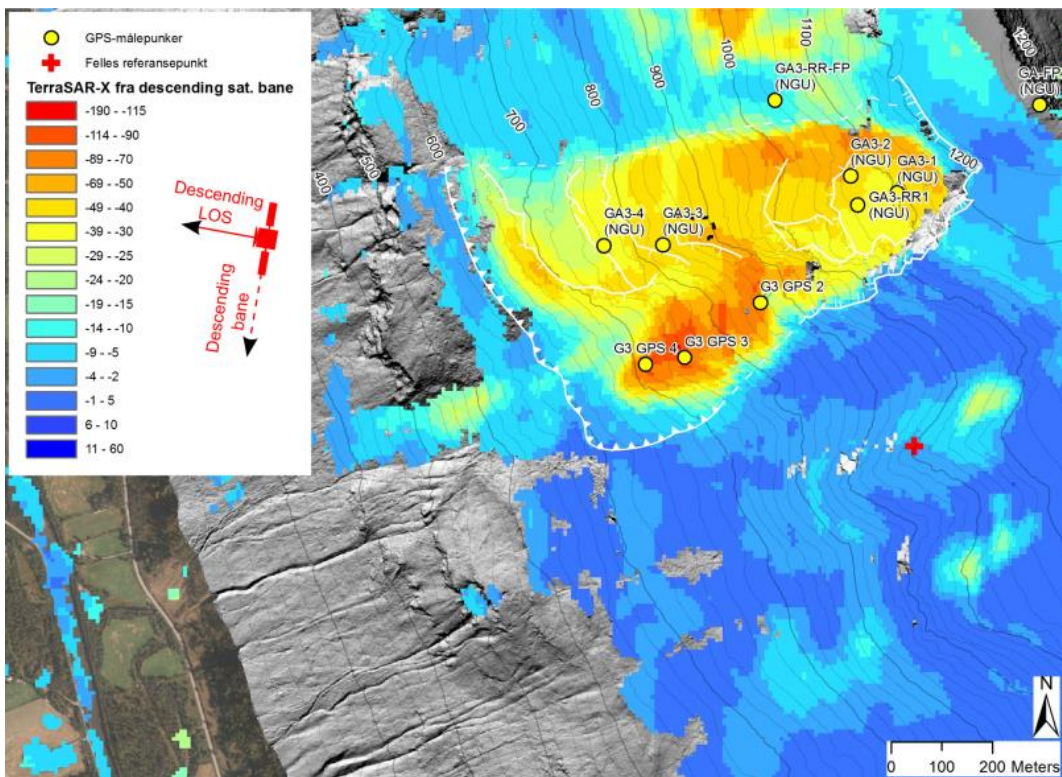
Inndata til 3D-prosesseringen vises i figurene Figur 3, Figur 4 og Figur 5. 3D-prosesseringen er avhengig av dekning i alle InSAR-datasett som benyttes om inputdata. I TerraSAR-X fra descending satellitt bane er det god dekning helt ned til tregrensen (Figur 4), men InSAR data basert på TerraSAR-X fra ascending satellitt bane (Figur 5) og særlig InSAR data fra LiSALab bakkebasert radar introduserer romlige hull i datasettet (Figur 3) på grunn av skyggeeffekter fra terrenget.



Figur 3 – InSAR data fra LiSALab bakkebasert radar plassert i dalen, markert med stjerne. Positive verdier betyr bevegelse mot radar. Måleperioden var fra kampanje varte fra 1. juni 2016 til 1. november 2016.



Figur 4 – TerraSAR-X InSAR fra ascending satellitt bane. Negative verdier betyr bevegelse fra radar. Se skisse i legende for satellittens sikteretning (LOS) og flyretning.

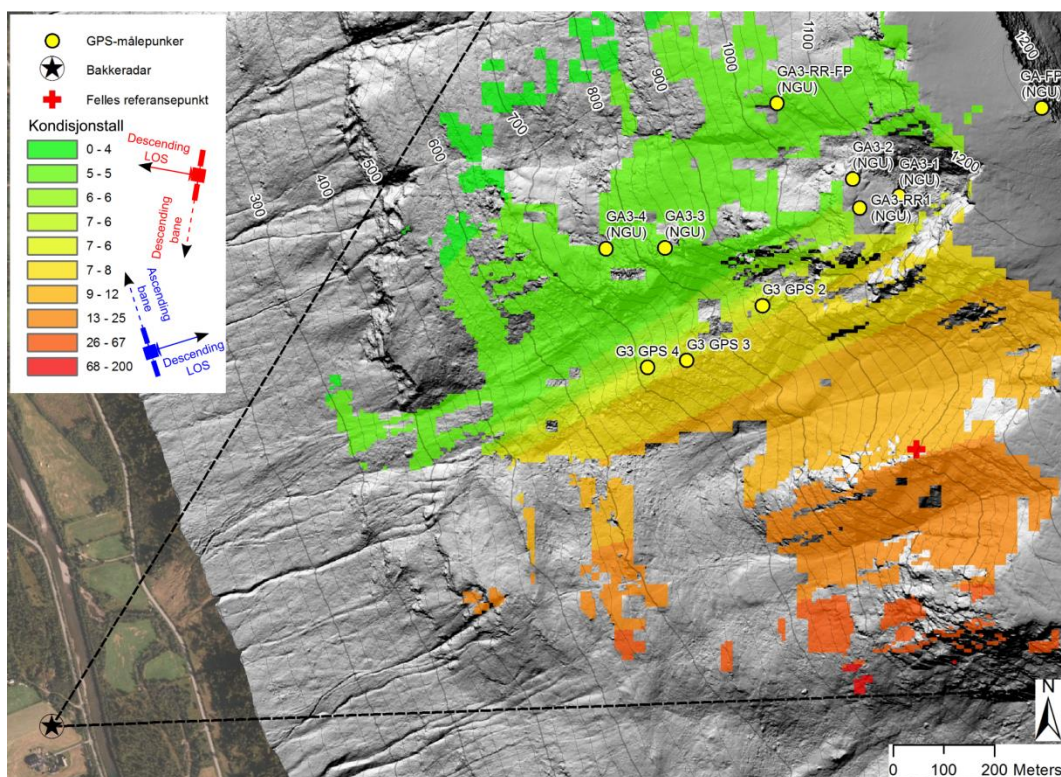


Figur 5 – TerraSAR-X InSAR fra descending satellitt bane. Negative verdier betyr bevegelse fra radar. Se skisse i legende for satellittens sikteretning (LOS) og flyretning.

3.2 KONDISJONSTALL FOR 3D-INSAR PROSESSERING

Videre er resultatet av 3D-komponeringen avhengig av LOS-retningene til inputdatasettene. Det er større sannsynlighet at 3D-komponeringen stemmer med terrengets virkelige bevegelse hvis det er stor forskjell mellom LOS-retningene til inputdatasettene som benyttes. Skulle f.eks. LOS-retningene være for like og danne en flate i rommet, ville sensitiviteten til bevegelsen vinkelrett på denne flata bli svært lav.

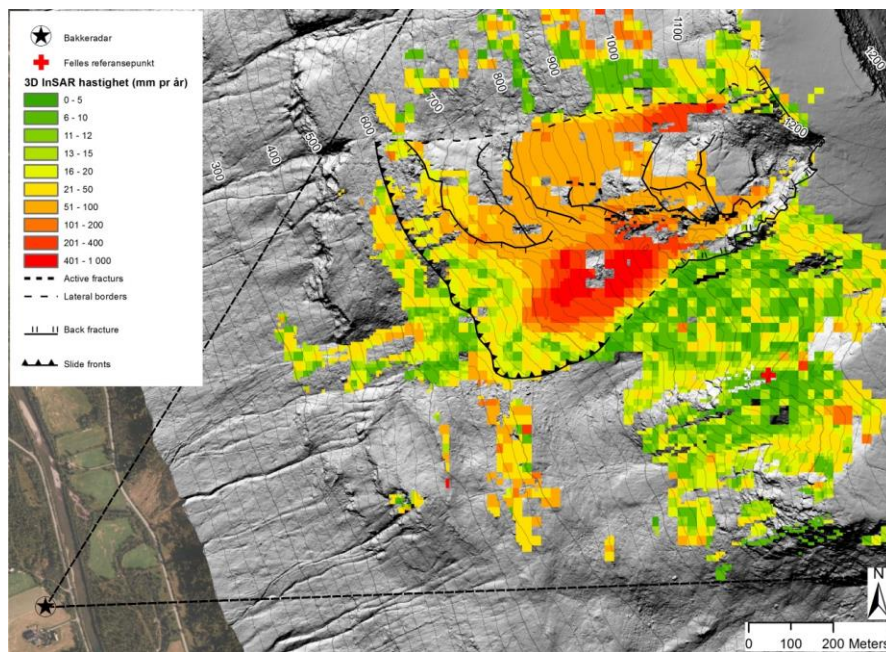
Mens LOS til radardata fra TerraSAR-X satellitt i ascending og descending bane varierer minimalt over rasområdet, varierer LOS til bakkeradaren fra nordøst til øst (Figur 6). Denne variasjonen gjør at vi kan stole mest på 3D-InSAR data i de nordlige områdene. Kondisjonstallet fra 3D-komponeringen sier noe om hvor mye en feil i inndata i et piksel (bevegelseshastighet fra bakkeradar, TerraSAR-X i ascending eller descending bane) vil påvirke det endelige 3D-InSAR-resultatet (Figur 6). Piksler med kondisjonstall under 30 er ansett for å være pålitelig. 3D-InSAR-vektorer i kart og plott med kondisjonstall over 30 er i denne rapporten er derfor maskert ut.



Figur 6 – Kondisjonstall som viser variasjon i kvalitet på 3D-InSAR data. Line-Of-Sight (LOS) for bakkeradar, og TerraSAR-X satellitt i stigende (ascending) og synkende (descending) bane er angitt.

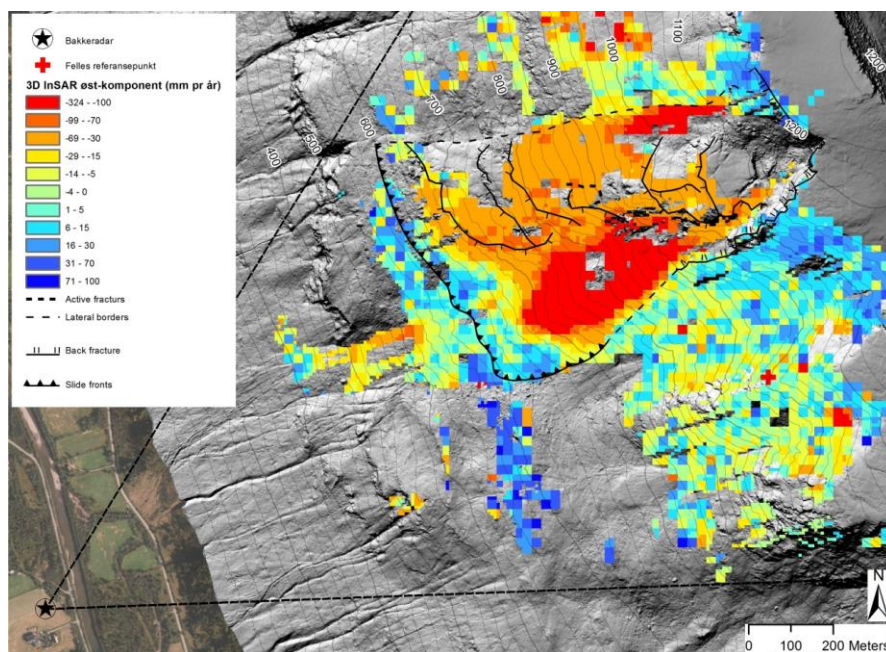
3.3 3D-INSAR DATA

Etter 3D-prosesseringen viser lengden til 3D-InSAR-vektorene (hastighet i mm per år) at det er mest aktivitet på steinbreen, men at rasområdet også trer tydelig fram med hastigheter mellom på 50–100 mm per år (Figur 7).



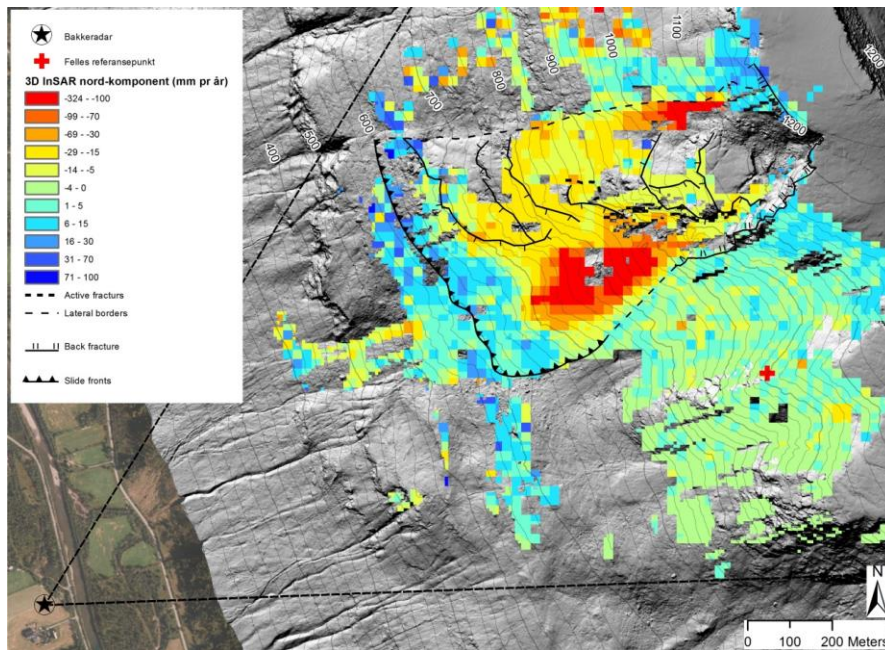
Figur 7 – Hastigheten (lengden) til 3D-InSAR-vektorene.

3D-InSAR-vektorene har en stor komponent i vestlig retning (negativ øst-komponent). Dette er naturlig da fjellsiden heller mot vest (Figur 8).



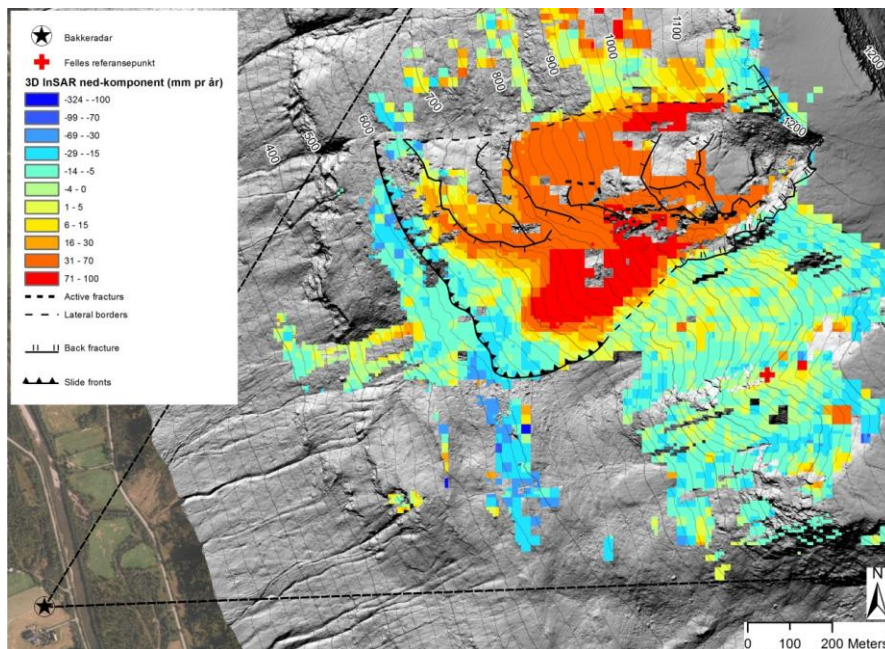
Figur 8 – Øst-komponenten til 3D-InSAR-vektorene.

Nord-komponenten er mindre, men også negativ, og indikerer bevegelse mot sør (Figur 9).



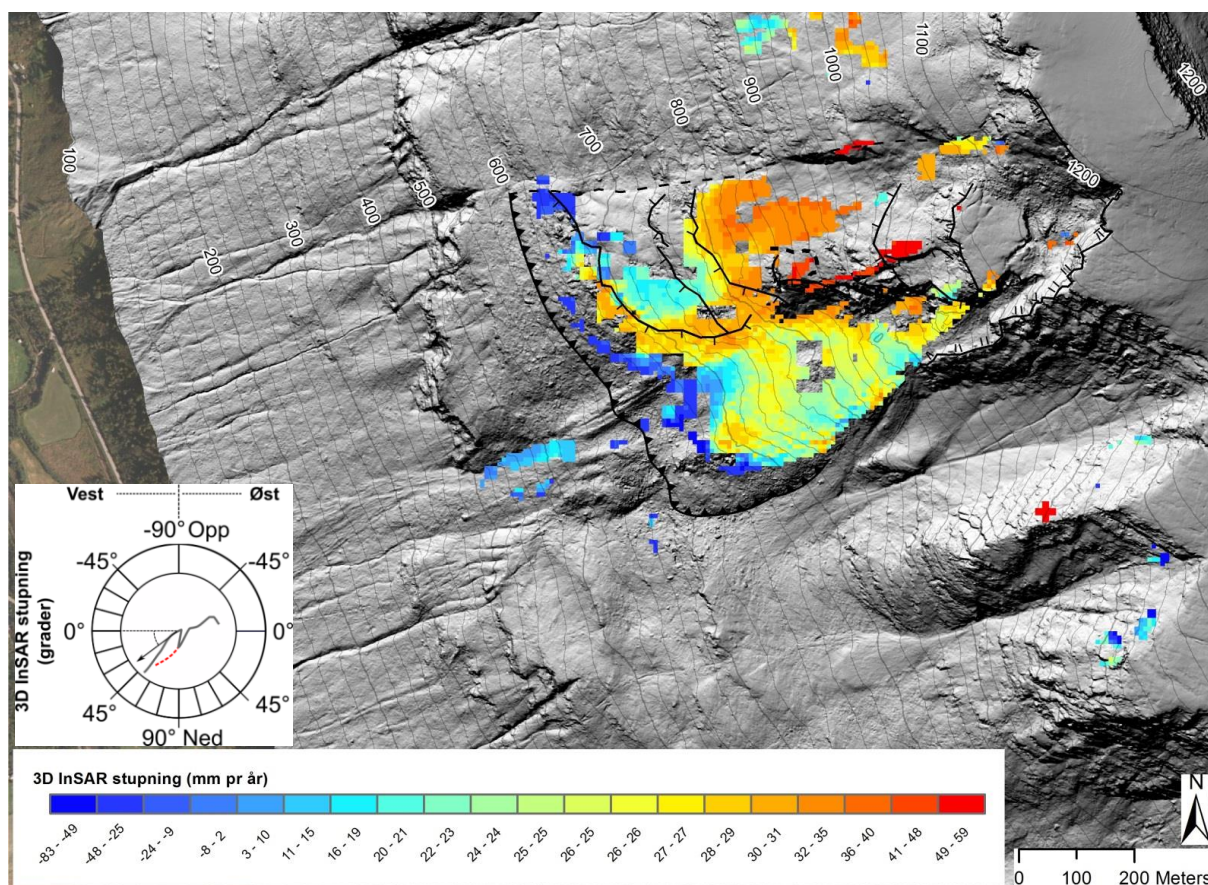
Figur 9 – Nord-komponenten til 3D-InSAR-vektorene

Det er relativt mindre forskjell mellom vertikal-komponentene på steinbreen og i raset (Figur 8) sammenlignet med forskjell i øst-komponentene for de samme områdene (Figur 10). Dette indikerer brattere stupning på observert bevegelse i raset og slakere stupning på steinbreen. Se også Figur 11.



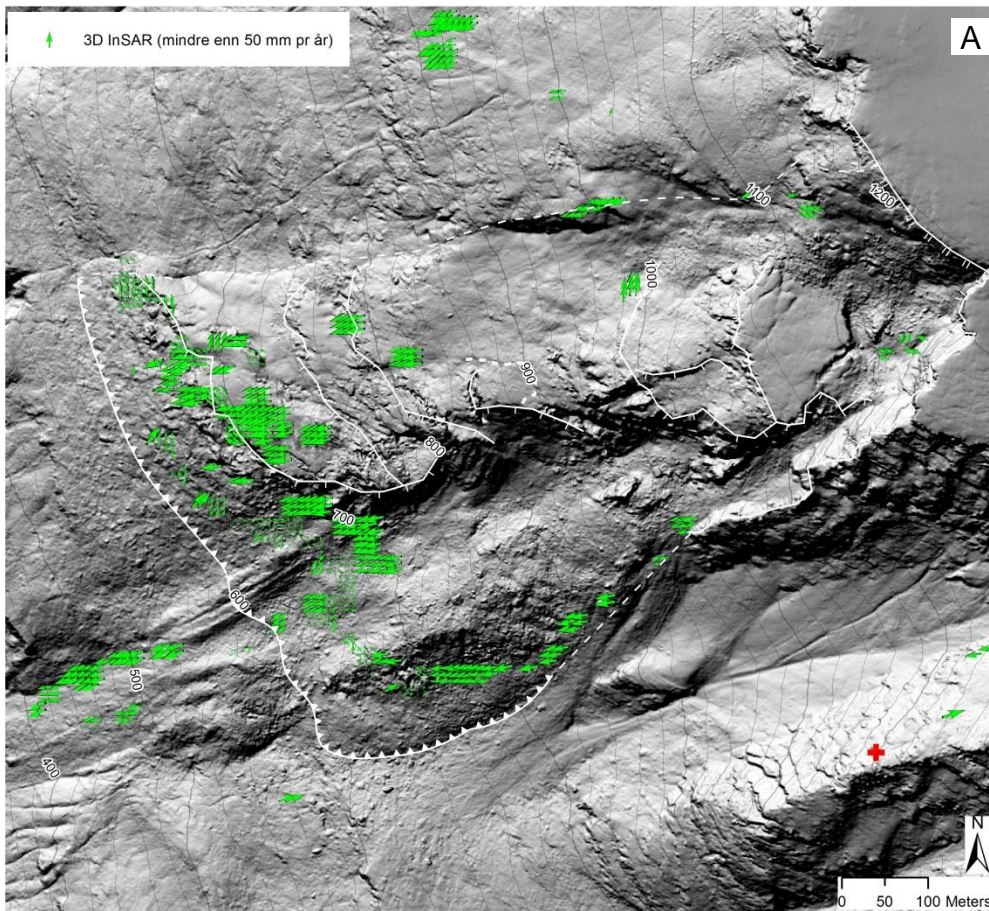
Figur 10 – Vertikal-komponenten til 3D-InSAR-vektorene

Ved å plote stupningen til 3D-InSAR-vektorene som fargeforskjeller i kartprojeksjon kan man studere hvordan forskjellige deler av raset beveger seg inn i og ut av fjellsiden (Figur 11). Noen områder har lav hastighet kombinert med lav sensitivitet til rasets hovedretning i inndatasettene, dette gjelder særlig TerraSAR-X fra ascending satellittbane. Da blir retning på resulterende 3D-vektorer vilkårlig. For å unngå dette er 3D-InSAR-vektorer basert på inndata med lavere hastighet enn 8 mm per år maskert ut i stupningsplottet for 3D-bevegelsen (Figur 11).



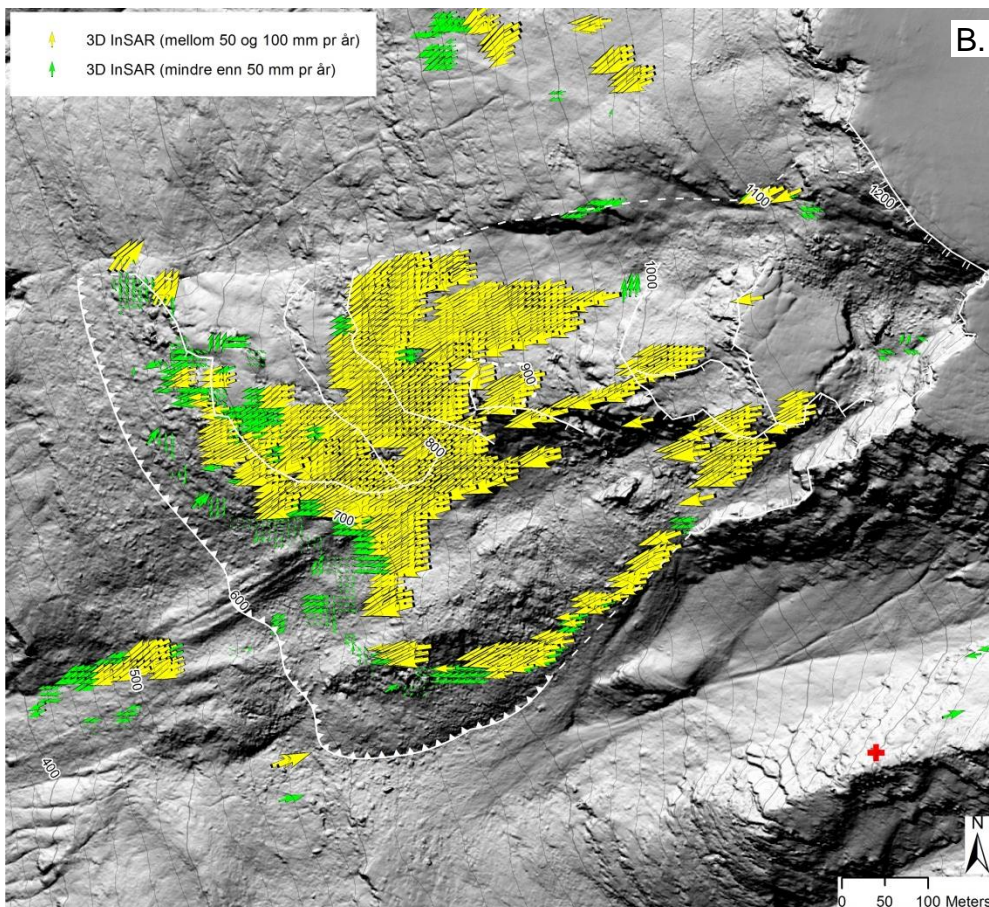
Figur 11 – Stupning (grader) til 3D-InSAR-vektorer basert på inndata med høyere hastighet enn 8 mm per år.

I Figur 12, Figur 13 og Figur 14 vises 3D-InSAR-vektorene som piler med retning (azimuth). Størrelsen på pilene angir hastighet, men de er delt opp i kategorier 0-50 (grønn), 50-100 (orange), 100-300 (gul) og 300-1000 (rød) mm per år for å vise forskjell i hastighet. Dette er gjort fordi det er vanskelig å skille størrelsen på piler fra hverandre i kartprojeksjon. Den samme maskeringen av inndata med hastigheter under 8 mm per år, som forklart over, er brukt i Figur 12, Figur 13 og Figur 14.

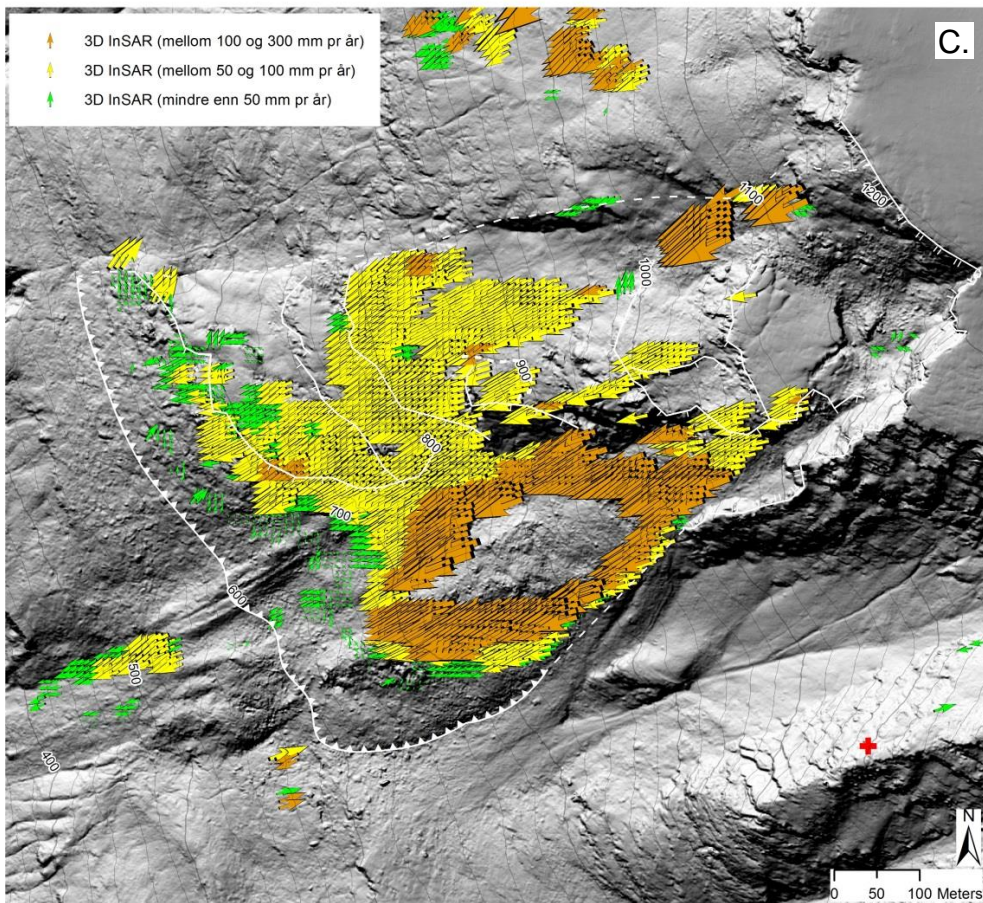


Figur 12 – 3D InSAR vektorer fra Gámanjinni 3 som viser hastighet og retning som piler.

A. Grønne piler viser bevegelse opp til 50 mm per år.

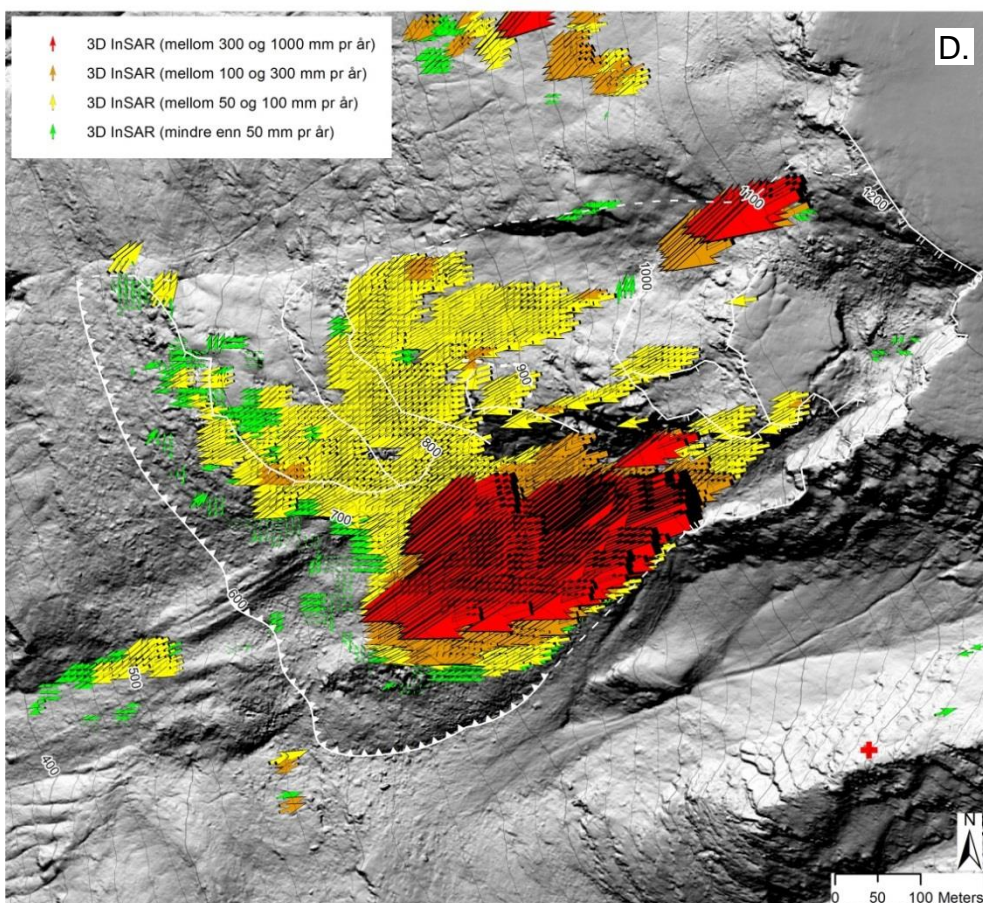


B. Gule piler viser bevegelse mellom 50 og 100 mm per år.



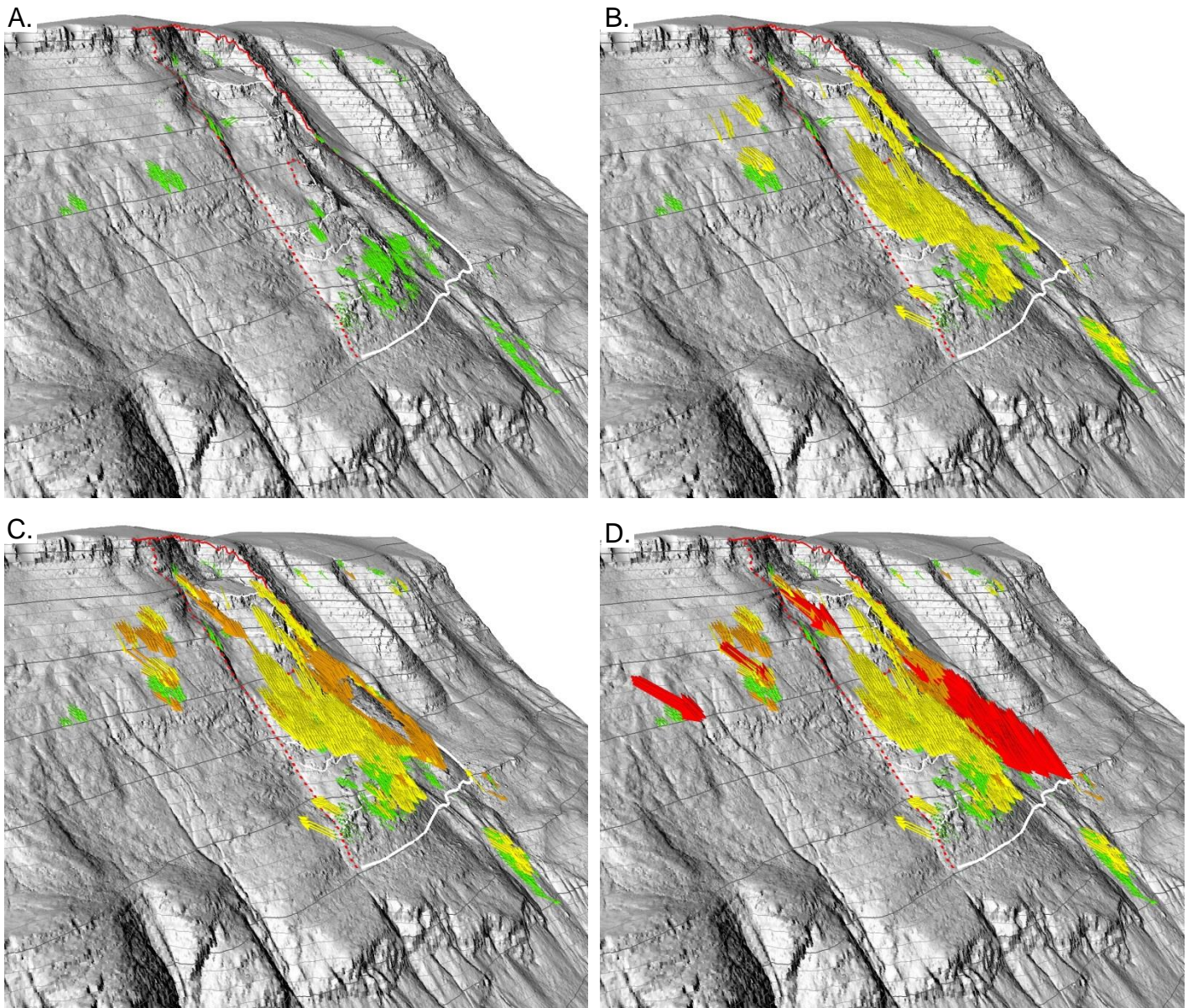
C.

C. Orange piler viser bevegelse mellom 100 og 300 mm per år.

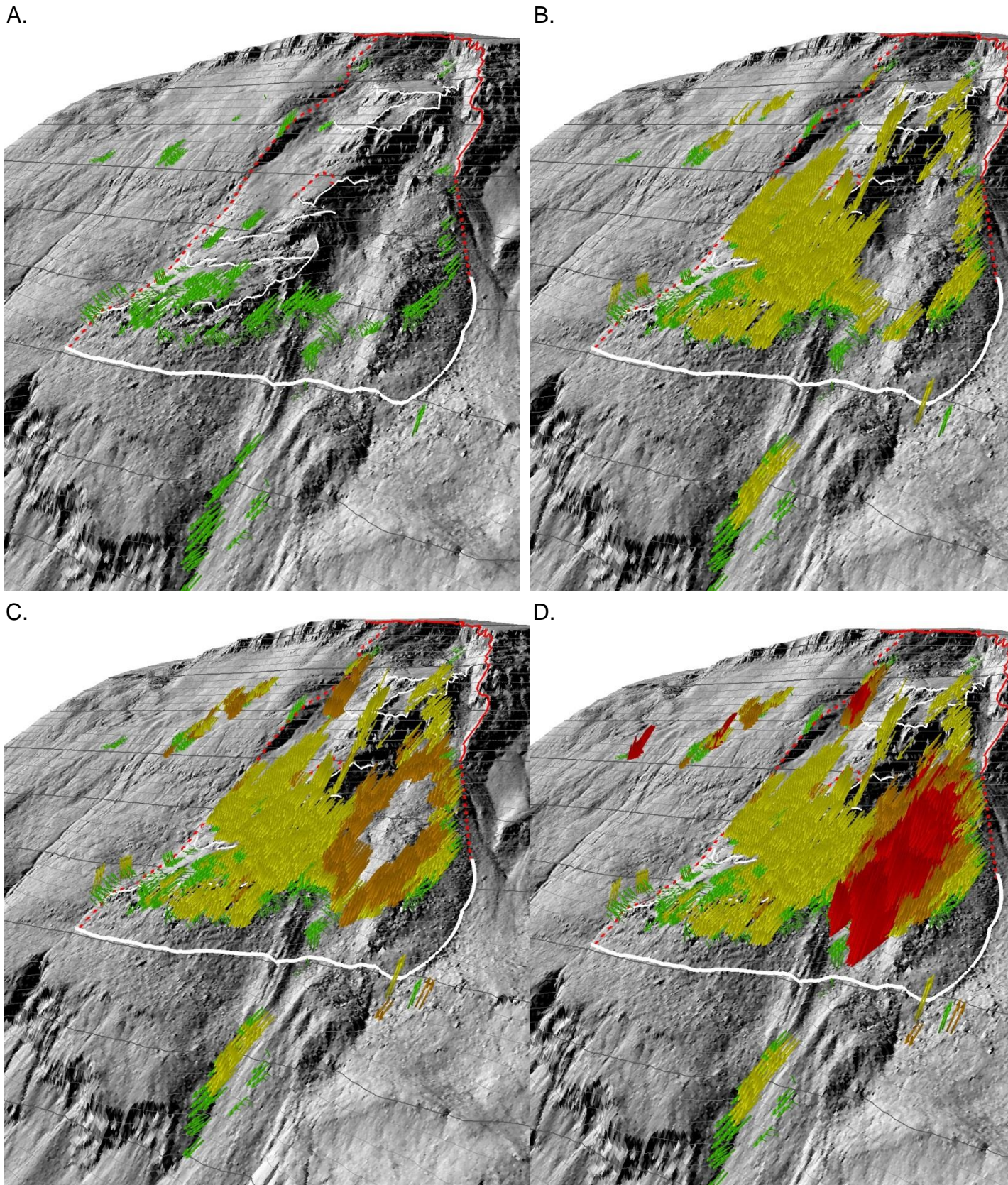


D.

D. Røde piler viser bevegelse mellom 300 og 1000 mm per år.



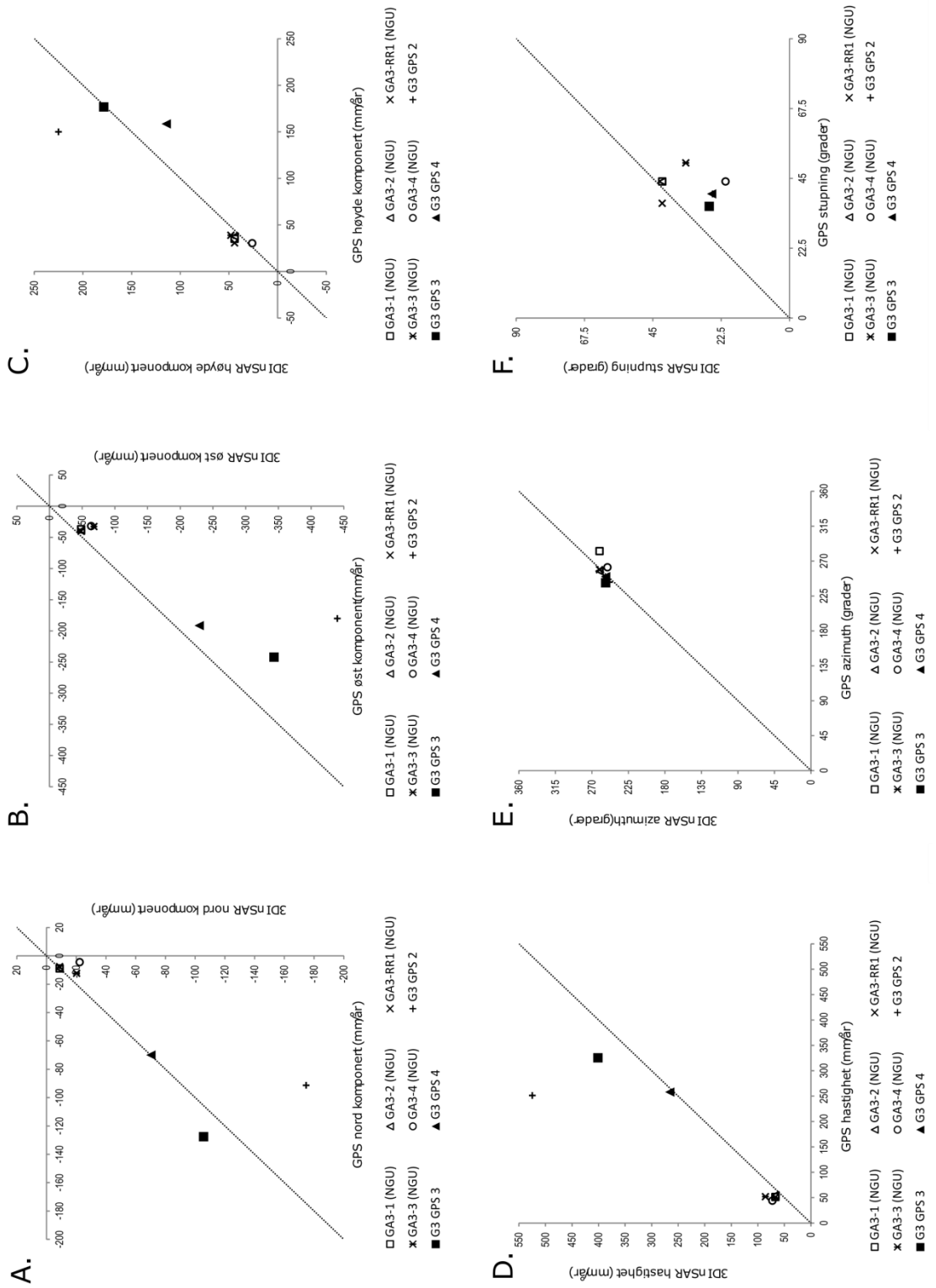
Figur 13 – 3D-InSAR-vektorer som viser retning og bevegelseshastighet for Gámanjuni 3. A. Grønne vektorer angir med hastighet fra 0 til 50 mm per år B. Gule vektorer angir med hastighet fra 50 til 100 mm per år. C. Orange vektorer angir med hastighet fra 100 til 300 mm per år. D. Røde vektorer angir med hastighet fra 300 til 1000 mm per år. Synsvinkel er mot sørvest.



Figur 14 – 3D-InSAR-vektorer som viser retning og bevegelseshastighet for Gámanjunni 3. A. Grønne vektorer angir med hastighet fra 0 til 50 mm per år B. Gule vektorer angir med hastighet fra 50 til 100 mm per år. C. Orange vektorer angir med hastighet fra 100 til 300 mm per år. D. Røde vektorer angir med hastighet fra 300 til 1000 mm per år. Synsvinkel er mot nord.

3.4 SAMMENLIGNING AV GPS- OG 3D-INSAR DATA

Sammenligning er gjort ved å beregne gjennomsnittsverdier av 3D-InSAR-vektorer i nærheten av NGUs og Noruts innmålte GPS-bolter. Da GPS er en teknikk som måler en enkelt blokk og 3D-InSAR er basert på radardata som gir et gjennomsnitt av bevegelsen i et større område, vil verdiene avvike noe. Det er naturlig at avvikene i retning og stupning (Figur 15e og f) er store for stasjoner med liten hastighet (Figur 15d), som for eksempel GA3-RR-FP (NGU). Store avvik i områder med høyere hastigheter kan indikere kaotisk bevegelsesmønster der GPS-stasjon ikke er representativ for omkringliggende områders bevegelse. Se vedlagt excel-fil «3D-InSAR compared to GPS-data.xlsx» for flere detaljer.



Figur 15 – Sammenligning av GPS og 3D InSAR data plottet. **A.** Nord-komponent i mm per år. Positive verdier er oppover. **B.** Øst-komponent i mm per år. Positive verdier angir østlige retninger. **C.** Høyde-komponent i mm per år. Positive verdier angir bevegelse nedover. **D.** Hastighet (lengde på vektor) i mm per år. **E.** Bevegelsesretning i grader. **0** grader er nord, **90** grader øst. **F.** Stupning i grader. Positive verdier angir stupning nedover.

3.5 ARCMAP SHAPEFIL

For videre analyse følger det vedlagt denne rapporten en ArcMAP shapefile som inneholder input til og resultater av 3D-InSAR prosessering. Shapefilen angir egenskaper for hvert piksel i 3D-InSAR datasettet.

Disse egenskapene er beskrevet i Tabell 1.

Tabell 1 – Beskrivelse av felter i shapefile med 3D-InSAR data. Hver linje i shapefilen beskriver et piksel med en 3D-InSAR-vektor (hastighet og retning) samt input data som ble brukt for å beregne denne vinkelen.

Feltnavn	Beskrivelse
latitude	Posisjon på piksel i UTM 33W koordinater.
longitude	Posisjon på piksel i UTM 33W koordinater.
height	Pikselets høyde over havet.
north	Nord-komponenten til 3D-InSAR-vektor gitt i mm per år.
east	Øst-komponenten til 3D-InSAR-vektor gitt i mm per år. Negative verdier angir bevegelsesretning mot vest, positive mot øst. 3D-InSAR data.
down	Opp-ned-komponenten til 3D-InSAR-vektor gitt i mm per år. Negative verdier angir bevegelsesretning oppover, positive oppover.
cond_nr	Kondisjonstallet for 3D-InSAR-vektor.
tot_vel	Lengde på 3D-InSAR-vektor gitt i mm per år.
azimuth	Kompassretning på 3D-InSAR-vektor gitt i grader, null mot nord.
plunge	Stupning på 3D-InSAR-vektor gitt i grader. Null gir horisontal bevegelsesretning. Negative verdier betyr stupning oppover og positive verdier stupning nedover.
uasc_az	Input til 3D- prosessering. Kompassretning på enhetsvektoren (Line-Of-Sight) til TerraSAR-X InSAR input data fra <i>ascending</i> satellittbane gitt i grader.
uasc_dip	Input til 3D- prosessering. Stupning på enhetsvektoren (Line-Of-Sight) til TerraSAR-X InSAR data fra <i>ascending</i> satellittbane gitt i grader. Null gir horisontal bevegelsesretning. Negative verdier betyr stupning oppover og positive verdier stupning nedover.
udesc_az	Input til 3D-prosessering. Kompassretning på enhetsvektoren (Line-Of-Sight) til TerraSAR-X InSAR fra <i>descending</i> satellittbane gitt i grader.
udesc_dip	Input til 3D-prosessering. Stupning på enhetsvektoren (Line-Of-Sight) til TerraSAR-X InSAR data fra <i>descending</i> satellittbane gitt i grader. Null gir horisontal bevegelsesretning. Negative verdier betyr stupning oppover og positive verdier stupning nedover.
ugb_az	Input til 3D-prosessering. Kompassretning på enhetsvektoren (Line-Of-Sight) til InSAR data fra LiSALab bakkebasert radar gitt i grader.

ugb_dip	Input til 3D-prosessering. Stupning på enhetsvektoren (Line-Of-Sight) til InSAR data fra LiSALab bakkebasert radar gitt i grader. Null gir horisontal bevegelsesretning. Negative verdier betyr stupning oppover og positive verdier stupning nedover.
e_w_dip	Stupning av 3D-InSAR-vektor redusert til 2D InSAR ved å projisere inn i opp-ned – vest-øst planet. Null betyr stupning rett opp, 90 betyr stupning mot øst, 180 betyr stupning ned og 270 betyr stupning mot vest. Verdier er oppgitt i grader. Dette omtales som 2D InSAR og er beskrevet nærmere med eksempler i Eriksen et al. (2017b).
e_w_tot	Lengde på 3D-InSAR-vektor redusert til 2D InSAR-vektor ved å projisere inn i opp-ned – vest-øst planet. Gitt i mm per år. 2D InSAR og er beskrevet nærmere med eksempler i Eriksen et al. (2017b).
asc_input	Input til 3D-prosessering. Hastighet for piksel i mm per år målt fra TerraSAR-X <i>ascending</i> satellittbane.
desc_input	Input til 3D-prosessering. Hastighet for piksel i mm per år målt fra TerraSAR-X <i>descending</i> satellittbane.
gb_input	Input til 3D-prosessering. Hastighet for piksel i mm per år målt av LiSA-Lab bakkeradar fra dalen.
grid_x	Pikselets x-posisjon i radardata før geokoding.
grid_y	Pikselets y-posisjon i radardata før geokoding.

4 DISKUSJON

I vegeterte områder (gress, trær og blader) vil overflatens tilbakespredningsevne endres mellom hver scene, noe som gjør at kvaliteten på interferogrammene (koherensen) blir dårlig. Dette er en grunn til at det ikke er dekning i input InSAR-datasett i enkelte deler av fjellsiden (se figurene Figur 3 og Figur 5). En annen grunn til redusert dekning er at topografiske variasjoner skaper radar-skygge i enkelt områder. Denne effekten påvirker det bakkebaserte radardatasettet mest (Figur 3). I forbindelse med prosessering av de satellittbaserte InSAR-datasett kan faseutrullingsfeil som har omgått den manuelle kontrollen bidra til å introdusere feil i områder med store romlige variasjoner i hastigheter. For steinbreen er hastighetene så høye at TerraSAR-X data med samplingsraten på 11 til 55 dager blir underestimert (Figur 4 og Figur 5, sammenlignet med Figur 3). På grunn av tett samplingsrate (8 minutter) gir bakkeradaren et retttere bilde i disse områdene (Figur 3). Konsekvensen er at retning på produserte 3D-InSAR vektorer blir lik bakkeradarens LOS for disse områdene. Retningen til bevegelsesvektorene kan derfor avvike fra virkelig bevegelse i områder med høyest hastighet (steinbreen) fordi input fra bakkeradar er overrepresentert i 3D-prosesseringen. Denne effekten er ikke virksom i raset da både satellitt og bakkeradar klarer å fange opp bevegelsen her. Vi ser derfor at det er større variasjon i bevegelsesretninger i raset enn på steinbreen.

En siste effekt man skal være klar over er at nær skrenter vil bakkeradar måle blokker med brattere og raskere bevegelse på ned siden av skrenten, mens de satellittbaserte radarene måler mer av området på toppen av skrenten der bevegelsene er langsommere. Når disse observasjoner sammenstilles i en 3D-prosessering kan dette kan gi overestimering av 3D-hastighet og for bratt stupning nær skrenter (Eriksen et al., 2017a).

5 KONKLUSJON

I denne rapporten presenteres overflatebevegelser basert på kombinerte datasett fra satellitt- og bakkebasert radar, også kalt 3D-InSAR for den ustabile fjellpartiet Gámanjunni 3 i Manndalen i Troms. 3D-InSAR sammenlignes med bevegelser basert på årlige innmålinger av GPS-bolter i raset. Det er ikke gjort noen tolkning av bevegelsesmønstre, men mulighetene for dette er mange, f.eks. ved å benytte geologiske profiler gjennom raset slik det er gjort med 2D- og 3D-InSAR i Eriksen et al. (2017a), (Eriksen et al., 2017b) og Böhme et al. (2016).

6 VEDLEGG

Filnavn	Beskrivelse
3D InSAR compared to GPS-data.xlsx	Excel-fil med sammenligning av 3D-InSAR data og årlige målinger av bolter med GPS.
3D InSAR hastighet (mm pr år).lyr	Visningsfil. Kobles sammen med rasterfil 3D-InSAR hastighet (mm pr år).tif.
3D InSAR (mindre enn 50 mm pr år).lyr	Visningsfil. Kobles til shapefilen 3D_InSAR.shp.
3D InSAR (mellom 50 og 100 mm pr år).lyr	Visningsfil. Kobles til shapefilen 3D_InSAR.shp.
3D InSAR (mellom 100 og 300 mm pr år).lyr	Visningsfil. Kobles til shapefilen 3D_InSAR.shp.
3D InSAR (mellom 300 og 1000 mm pr år).lyr	Visningsfil. Kobles til shapefilen 3D_InSAR.shp.
3D InSAR hastighet (mm pr år).lyr	Visningsfil. Kobles til shapefilen 3D_InSAR.shp.
3D InSAR ned-komponent (mm pr år).lyr	Visningsfil. Kobles sammen med rasterfil 3D-InSAR ned-komponent (mm pr år).tif.
3D InSAR nord-komponent (mm pr år).lyr	Visningsfil. Kobles sammen med rasterfil 3D-InSAR nord-komponent (mm pr år).tif.
3D InSAR øst-komponent (mm pr år).lyr	Visningsfil. Kobles sammen med rasterfil 3D-InSAR øst-komponent (mm pr år).tif.
Bakkeradar.lyr	Visningsfil. Kobles til shapefilen Bakkeradar.shp.
Bakkeradars LOS.lyr	Visningsfil. Kobles til shapefilen Bakkeradar_LOS.shp.
Felles referansepunkt.lyr	Visningsfil. Kobles til shapefilen Felles_referansepunkt.shp.
GPS-målepunker.lyr	Visningsfil. Kobles til shapefilen GPS-målepunker.shp.
GPS hastighet (mm i året).lyr	Visningsfil. Kobles til shapefilen GPS_hastighet_(mm_i_året).shp.
3D InSAR compared to GPS-data.xlsx	Inneholder en sammenligning av GPS og 3D-InSAR-vektorer. I filen vises små kart som angir posisjon av punktene som er brukt i sammenligningen.
GPS hastighet (mm i året).lyr	Visningsfil. Kobles til shapefilen GPS_hastighet_(mm_i_året).shp.
GPS-målepunker.lyr	Visningsfil. Kobles til shapefilen GPS-målepunker.shp.

LiSALab GB-radar (mm i året).lyr Visningsfil. Kobles til rasterfilen LiSALab GB-radar (mm i året).tif.

TerraSAR-X fra ascending bane (mm i året).lyr Visningsfil. Kobles til rasterfilen TerraSAR-X fra ascending bane (mm i året).tif.

TerraSAR-X fra descending bane (mm i året).lyr Visningsfil. Kobles til rasterfilen TerraSAR-X fra descending bane (mm i året).tif.

Kondisjonstall.lyr Visningsfil. Kobles til rasterfilen Kondisjonstall.tif.

NB.

- Filene med .tif.aux.xml, .tif.ovr, .tfw, .cpg, .dbf, .prj, .sbn, .sbx og .shx må ligge i sammen mappe som .tif og .shp filene beskrevet over.
- .lyr filer kobles til .tif filer ved å hente inn en .lyr fil i et ArcMAP eller ArcSCENE-prosjekt, for så å høyre-klikke på fila, velge properties, og sette source til riktig fil. Se tabell over for hvilke filer som skal kobles.

7 LITTERATUR

- Böhme, M., Bunkholt, H., Dehls, J. F., Hermanns, R. L., Oppikofer, T., Eriksen, H. Ø., Lauknes, T. R., Eiken, T., and Kristensen, L., 2016, Using multiple displacement data to understand the deformation mechanism of the unstable rock slope Gamanjinni 3, northern Norway: 12th International Symposium on Landslides (ISL 2016), 12 - 19 June 2016, Napoli, Italy.
- Cavalié, O., Doin, M. P., Lasserre, C., and Briole, P., 2007, Ground motion measurement in the Lake Mead area, Nevada, by differential synthetic aperture radar interferometry time series analysis: Probing the lithosphere rheological structure: *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, v. 112, p. 18.
- Chen, C. W., and Zebker, H. A., 2001, Two-dimensional phase unwrapping with statistical models for nonlinear optimization: *Proceedings of the Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000.* , v. 7, p. 3213-3215.
- Eriksen, H. Ø., 2017, Combining Satellite and Terrestrial Interferometric Radar Data to Investigate Surface Displacement in the Storfjord and Kåfjord Area, Northern Norway: PhD dissertation, University of Tromsø.
- Eriksen, H. Ø., Bergh, S. G., Larsen, Y., Skrede, I., Kristensen, L., Lauknes, T. R., Blikra, L. H., and Kierulf, H. P., 2017a, Relating 3D Surface Displacement from Satellite- and Ground-Based InSAR to Structures and Geomorphology of the Jettan Rockslide, Northern Norway. (Accepted): *Norwegian Journal of Geology*.
- Eriksen, H. Ø., Lauknes, T. R., Larsen, Y., Corner, G. D., Bergh, S. G., Dehls, J., and Kierulf, H. P., 2017b, Visualizing and interpreting surface displacement patterns on unstable slopes using multi-geometry satellite SAR interferometry (2D InSAR): *Remote Sensing of Environment*, v. 191, p. 297-312.
- Goldstein, R. M., and Werner, C. L., 1998, Radar interferogram filtering for geophysical applications: *Geophysical Research Letters*, v. 25, no. 21, p. 4035-4038.
- Larsen, Y., Engen, G., Lauknes, T. R., Malnes, E., and Høgda, K. A., A generic differential interferometric SAR processing system, with applications to land subsidence and snow-water equivalent retrieval, *in* *Proceedings Fringe 2005, ESA ESRIN, Frascati, Italy, November 28-December 2 2005, European Space Agency*, p. 6.
- Peltzer, G., Crampé, F., Hensley, S., and Rosen, P., 2001, Transient strain accumulation and fault interaction in the Eastern California shear zone: *Geology*, v. 29, no. 11, p. 975-978.