

RAPPORT

26/2015

ISBN 978-82-7492-317-1

ISSN 1890-5226

NORDNES: INSAR PROSESSERING VED BRUK AV TERRASAR-X OG RADARSAT-2 BILDER (2009–2015)

Oppsummeringsrapport

Forfattere: Line Rouyet, Harald Øverli Eriksen, Tom Rune Lauknes

PROSJEKTNAMN: Geohazard

PROSJEKTNR.: 369

OPPDRAGSGIVER(E): Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Documentnr.: 26/2015

Dokumenttype: Rapport

Status: Åpen

ISBN: 978-82-7492-317-1

ISSN: 1890-5226

Ant. Sider: 24

Prosjektleder: Kjell-Arild Høgda

Dato: 29.12.2015

FORFATTER (E): Line Rouyet, Harald Øverli Eriksen, Tom Rune Lauknes

TITTEL: Nordnes: InSAR prosessering ved bruk av TerraSAR-X og RADARSAT-2 bilder (2009–2015) - Oppsummeringsrapport.

RESYMÉ:

Rapporten presenterer satellittbaserte InSAR resultater fra Nordnes (Troms, Norge) ved bruk av TerraSAR-X (2009–2014) and RADARSAT-2 satellittbilder (2009–2014). Den inkluderer kart med gjennomsnittlige årlig bevegelseshastighet (stacking) fra ascending og descending satellittbane, to-dimensjonale dekomponert InSAR bevegelser (2D InSAR), SBAS og PSI tidsserier for områder nær stasjonære GPS-stasjoner, samt tidsserier fra utplasserte satellittreflektorer.

Emneord: SAR satellitter, SAR interferometri, InSAR, geofare, fjellskred, reflektorer

Noter: -

UTGIVER: Norut, P.O. BOX 6434, N-9294 Tromsø, Norway

INNHold

1	INNLEDNING	1
2	STUDIEOMRÅDE	1
3	SATELLITTDATA	2
4	STACKING OG 2D INSAR DEFORMASJONSKART	5
5	SBAS DEFORMASJONSKART	9
6	HISTOGRAMMER OG PROFILER.....	11
7	PSI RESULTATER.....	14
8	SBAS/PSI TIDSSERIER.....	15
9	REFLEKTORENE	19
10	KONKLUSJON & PROSPEKT	22
11	REFERANSER.....	22
12	VEDLEGG.....	24

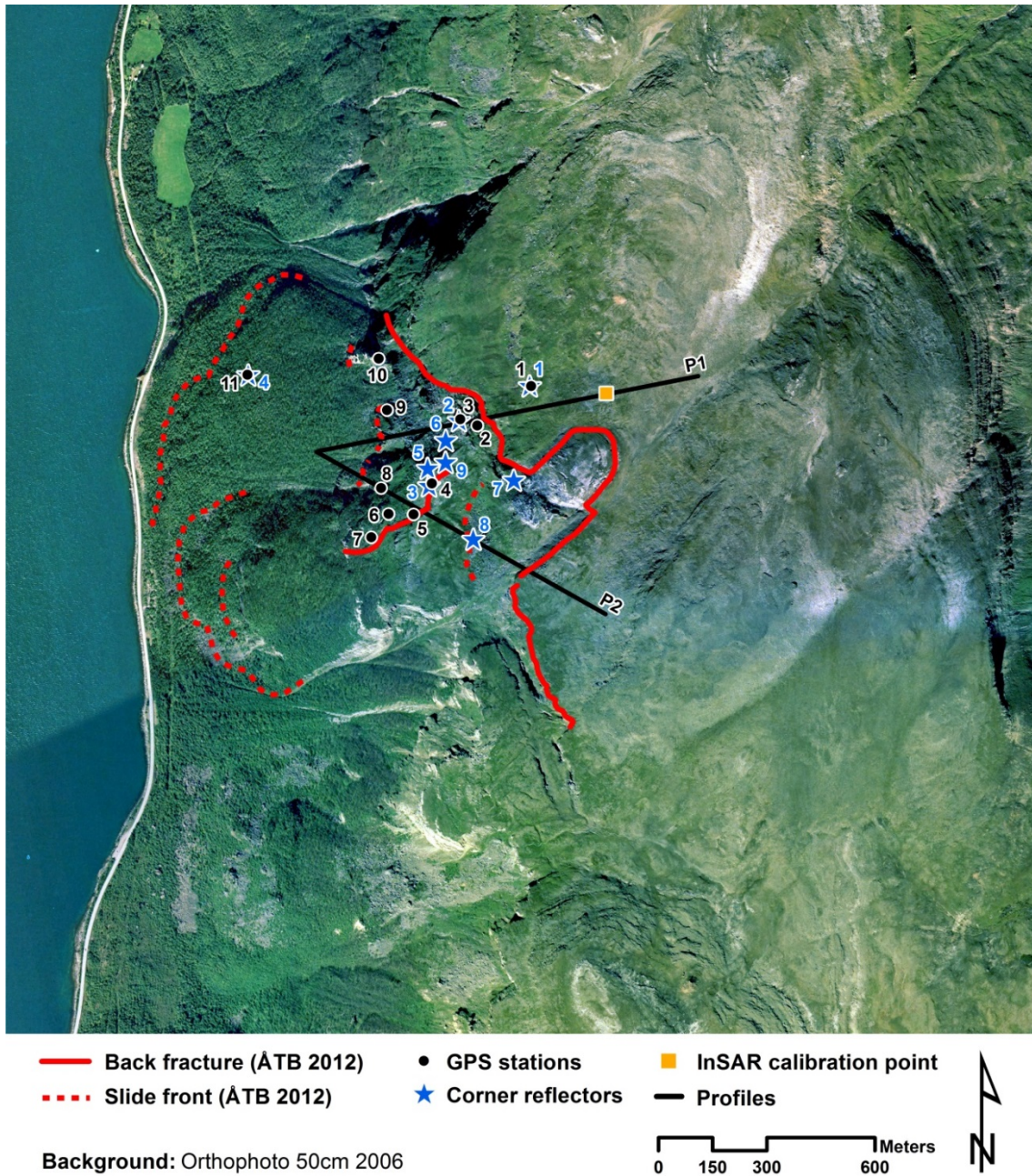
1 INNLEDNING

Denne rapporten presenterer en oppsummering av satellittbasert Synthetic Aperture Radar Interferometry (InSAR) analyser som har vært utført på området rundt Nordnes, Kåfjord kommune, Troms fylke, ved bruk av TerraSAR-X (TSX) og RADARSAT-2 (RSAT2) data fra 2009 til 2015. Utfyllende informasjon om nylig forskning gjort av Norut finnes i Eckerstorfer et al., 2015 [in review], Eriksen, et al., 2015 [submitted], Eriksen, et al., 2016 [in prep].

Kapittel 2 og 3 gir informasjon om studieområdet og satellittdata som er brukt. Teoretisk bakgrunn for prosesseringen blir ikke gjennomgått her men kan finnes i tidligere Norut rapporter til NVE (Rouyet, et al., 2013a, 2013b, 2015a, 2015b). Kapittel 4 og 5 inneholder deformasjonskart framskaffet etter prosessering med stacking og 2D InSAR metoden (kapittel 4), samt SBAS metoden (kapittel 5). Sammenligninger av histogrammer og profiler finnes i kapittel 6. Deformasjonskart ved bruk av PSI metoden presenteres i kapittel 7. Noen tidsserier fra SBAS og PSI finnes i kapittel 8 og prosessering på reflektorene i kapittel 9. Diskusjon og konklusjon presenteres i kapittel 10.

2 STUDIEOMRÅDE

Denne studien fokuserer på området rundt Nordnes/Jettan i Kåfjord kommune i Troms fylke. Figur 1 viser utstrekningen av området som ble valgt ut for InSAR analyse i kapittel 4–7 av denne rapporten. Den øvre røde heltrukne linjen viser skredets bakkant, altså grensen mellom stabilt og ustabil område. Den heltrukne røde linjen midt i raset markerer hovedsprekken der mye av deformasjonen finner sted. I tillegg vises plasseringen av GPS-stasjoner og satellittreflektorer, samt to profiler (P1 og P2) brukt for å sammenligne InSAR resultatene. Tidsserier og profiler som presenteres i kapittel 5–7 refererer til disse stedene.



Figur 1: Oversiktskart over Nordnes som viser avgrensingen av det ustabile området og plasseringen av GPS-stasjoner, satellitreflektorer og profiler (bakgrunn: orthophoto 50cm).

3 SATELLITTDATA

Resultatene som presenteres i kapittel 4-9 er basert på følgende satellittdatasett:

- 63 bilder fra TerraSAR-X/TanDEM-X StripMap mode i descending geometri (**TSX-desc**) mellom 2009 og 2014;
- 64 bilder fra TerraSAR-X/TanDEM-X StripMap mode i ascending geometri (**TSX-asc**) mellom 2009 og 2014;

- 40 bilder fra RADARSAT-2 Ultrafine mode (**RSAT2-UF**) i descending geometri mellom 2008 og 2015;
- 34 bilder fra RADARSAT-2 Fine mode (**RSAT2-F**) i descending geometri mellom 2010 og 2015.

Hovedkarakteristikkene av satellittdatasettene er beskrevet i Tabell 1. Prosessering av data har blitt utført ved bruk av GSAR (Norut utviklet programvare, Larsen, et al., 2005).

Tabell 1: Hovedkarakteristikkene av satellittdata

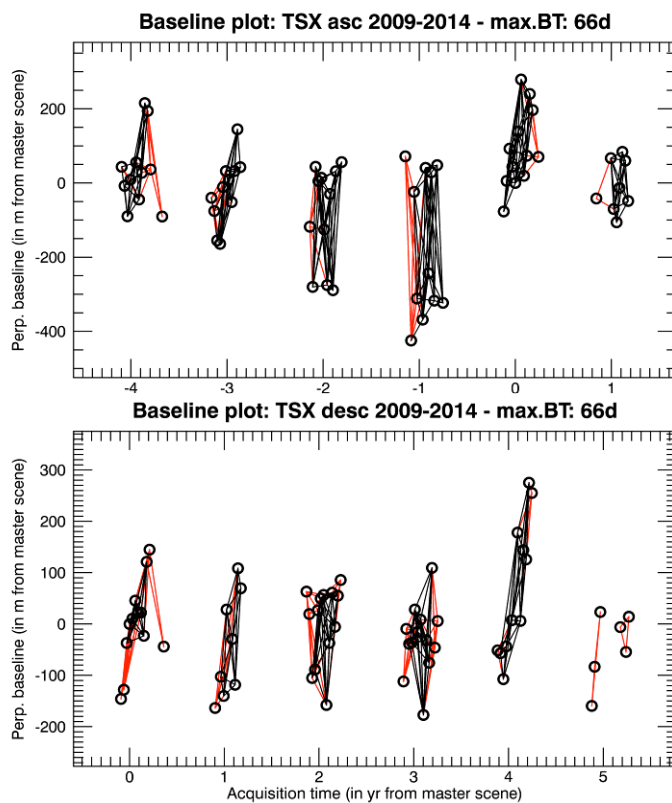
Dataset	Band	Time period	Repeat-pass interval	Number of scenes	Stack/SBAS full/multilooked resolution [m]	LOS / incid. angle [°]
TSX-desc	X (λ : 3.11 cm)	06.2009 – 10.2014	11 days	63	2.5x2.1 12.4x12.4	285.5 / 35.9
TSX-asc	X (λ : 3.11 cm)	06.2009 – 09.2014	11 days	64	2.0x1.9 11.9x11.3	78.2 / 44.1
RSAT2-UF	C (λ : 5.55 cm)	09.2008 – 09.2015	24 days	40	2.6x2.1 10.5x10.4	285.7 / 31.5
RSAT2-F	C (λ : 5.55 cm)	05.2010 – 09.2015	24 days	34	8.1x5.1 24.4x25.3	283.8 / 36.2

Figur 2 til Figur 4 viser den temporale distribusjonen vs. den romlige avstanden mellom satellittens bane for de forskjellige scenene (baseline plot), samt genererte interferogrammer brukt i stacking og SBAS prosesseringene. De svarte linjene er interferogrammer som ble valgt ut, de røde viser interferogrammer som ble fjernet på grunn av lav kvalitet.

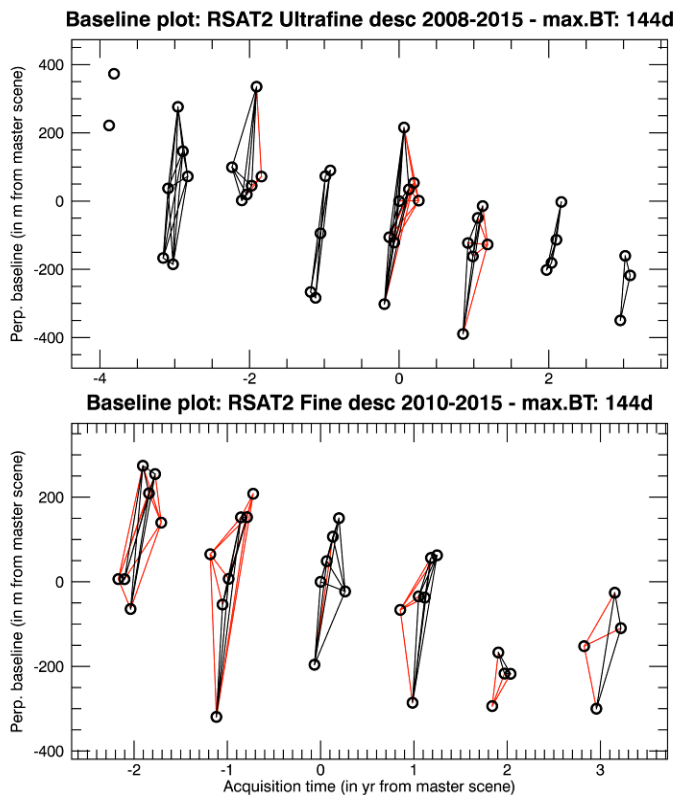
For TSX-desc og TSX-asc ble genererte interferogrammer basert på scener tatt med maksimalt 66 dagers mellomrom (temporal baseline BT) (Figur 2). Det umuliggjør koblingen av data fra flere år. Men ved å prosessere hvert år for seg, unngås dekorrelasjon og underestimert hastighet i tilfelle et område beveger seg hurtigere enn en halv bølgelengde (ca. 16 mm for TSX) fra sommersesong til sommersesong (mellom to piksler).

For RSAT2-UF og -F brukes to forskjellige BT terskler: 144 dager (Figur 3) og 360 dager (Figur 4). Den første brukes for å sjekke om 360d er ikke påvirket av dekorrelasjon og fasetvetydighet, den andre muliggjør SBAS prosessering ved koblingen av hver sommersesong og tidsserier analyse.

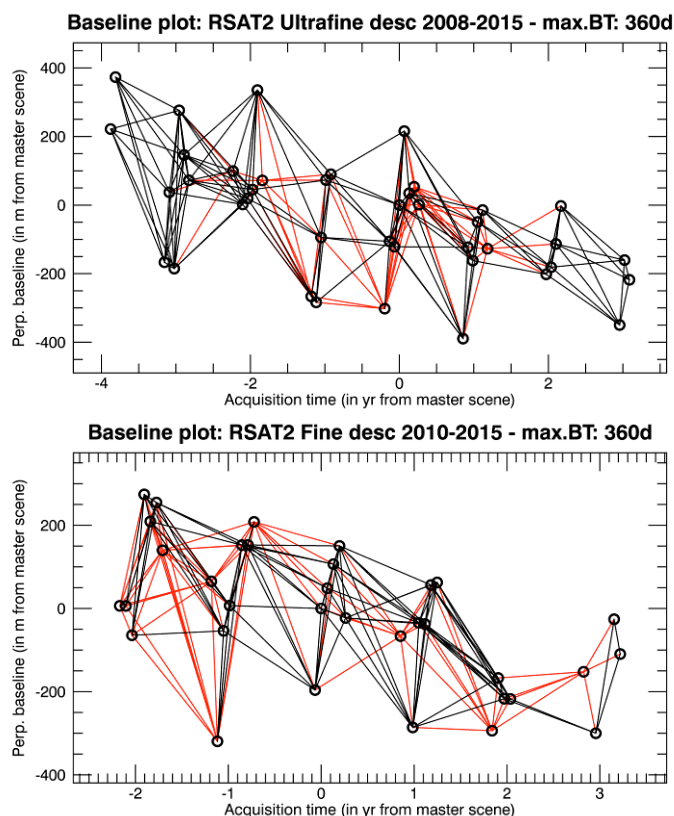
I tillegg har TSX-desc og RSAT2-UF data vært også prosessert ved bruk av PSI (Persistent Scatterers Interferometry) metoden.



Figur 2: Baseline plot av TSX-desc (topp) og TSX-asc (bunn) scener (svarte sirkler) og genererte interferogrammer (svarte linjer: utvalgte, røde linjer: fjernede). Maks. 66 dagers mellomrom (BT).



Figur 3: Baseline plot av RSAT2-UF (topp) og RSAT2-F (bunn) scener (svarte sirkler) og de genererte interferogrammer (svarte linjer: utvalgte, røde linjer: fjernede). Maks. 144 dagers mellomrom (BT).



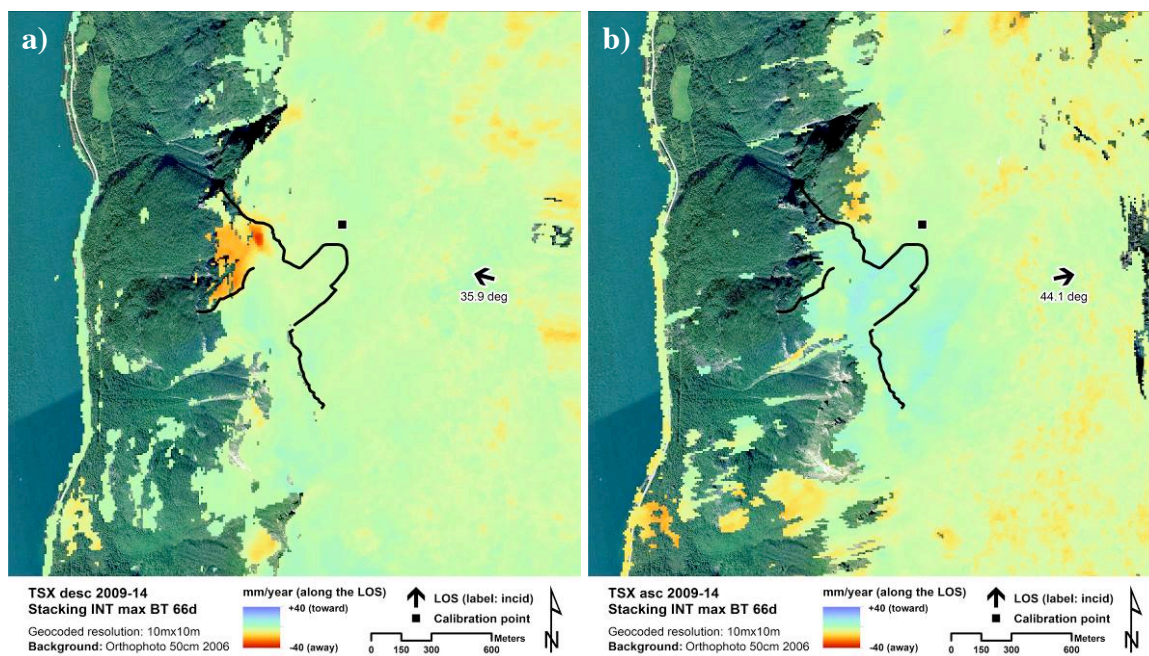
Figur 4: Baseline plot av RSAT2-UF (topp) og RSAT2-F (bunn) scener (svarte sirkler) og de genererte interferogrammer (svarte linjer: utvalgte, røde linjer: fjernede). Maks. 360 dagers mellomrom (BT).

De begrensende faktorene for hvor InSAR kan brukes er topografien, radarens sikteretning (line-of-sight: LOS) og terrengets beskaffenhet. Topografien avgjør om områdene påvirkes av skygge (spesielt i descending geometri på Nordnes) og layover effekt (spesielt i ascending geometri på Nordnes). I tillegg vil LOS geometri og forventet bevegelsesretning bestemme hvor mye av bevegelsen som vil detekteres. Bakkens beskaffenhet avgjør temporal stabilitet av signalet, som vanligvis uttrykkes i form av koherens. For begge satellittene avtar koherensen sterkt i de nedre delene av skråningene på grunn av vegetasjon. Figur 29 og Figur 30 (i vedlegg) illustrerer disse begrensingene.

4 STACKING OG 2D INSAR DEFORMASJONSKART

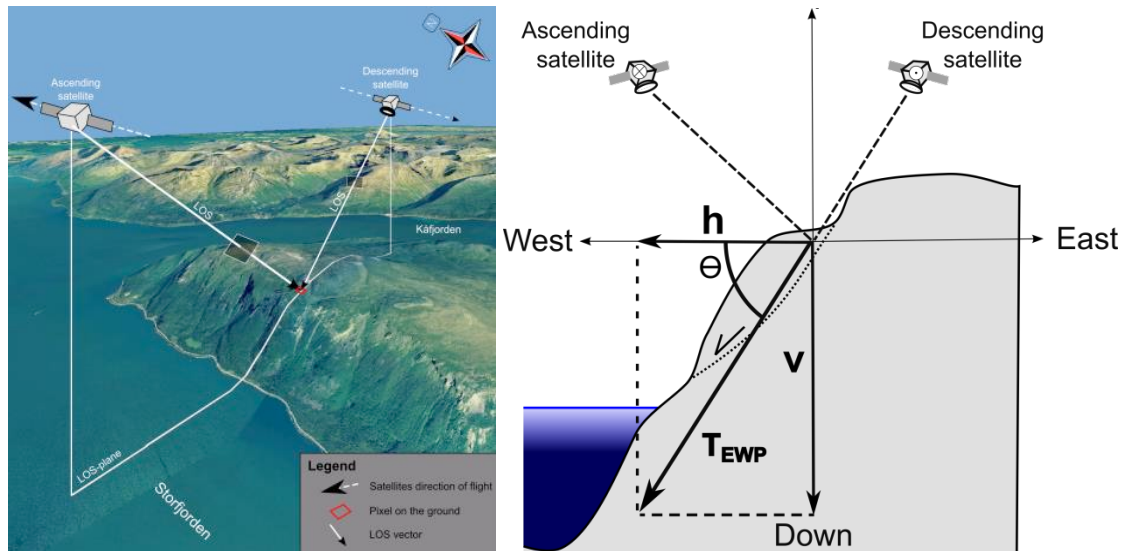
Dette kapitlet beskriver InSAR resultatene som har blitt prosessert med stacking metoden. Stacking er enkel vektet midling av interferogrammene fra alle år. Stacking bruker kun interferogrammer som ikke kobler ulike år i måleserien (se baseline plots i Figur 2 og Figur 3). Teknikken forutsetter at det atmosfæriske signalet varierer i tid og ved bruk av mange interferogrammer kan det være estimert og fjernet. Resultatet blir et kart som viser gjennomsnittlig årlig bevegelse. Stacking-prosesserte TSX-desc og TSX-asc resultatene fremhever to hovedelementer (Figur 5):

- I descending resultatene ser vi klare utstrekninger av det bevegelige området som passer godt med skredets bakkant og aktiv hovedsprekk (svarte linjer).
- Forskjellen mellom descending og ascending (lavere hastighet men større utstrekning av området i bevegelse) gjør det interessant å beregne vertikal og horisontal bevegelse, samt orientering (dip) av deformasjonen ved hjelp av 2D InSAR-teknikken.



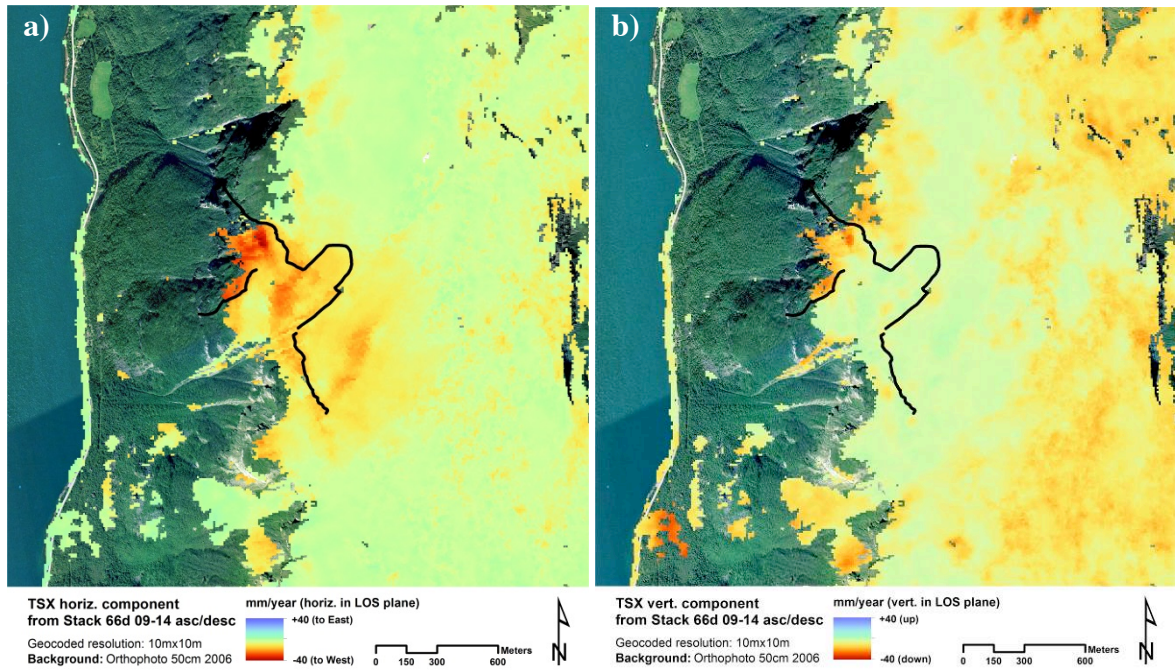
Figur 5: Deformasjonskart fra Nordnes produsert med stacking metoden basert på **a)** flerårige TSX-desc data og **b)** TSX-asc data. Pilene viser LOS-retning (labell: incidence angle).

Når datasett fra to geometrier (ascending og descending) er tilgjengelige kan de sammenstilles (dekomponeres) for å finne horisontal og vertikal komponent samt helningsvinkel på bevegelsen i punkter dekket av begge datasett. Teknikken er kun sensitiv til overflatebevegelse som har en komponent i planet spent opp av ascending og descending LOS-retning, altså vest-øst retning (Figur 6) (Eriksen, et al., 2015 [submitted]).

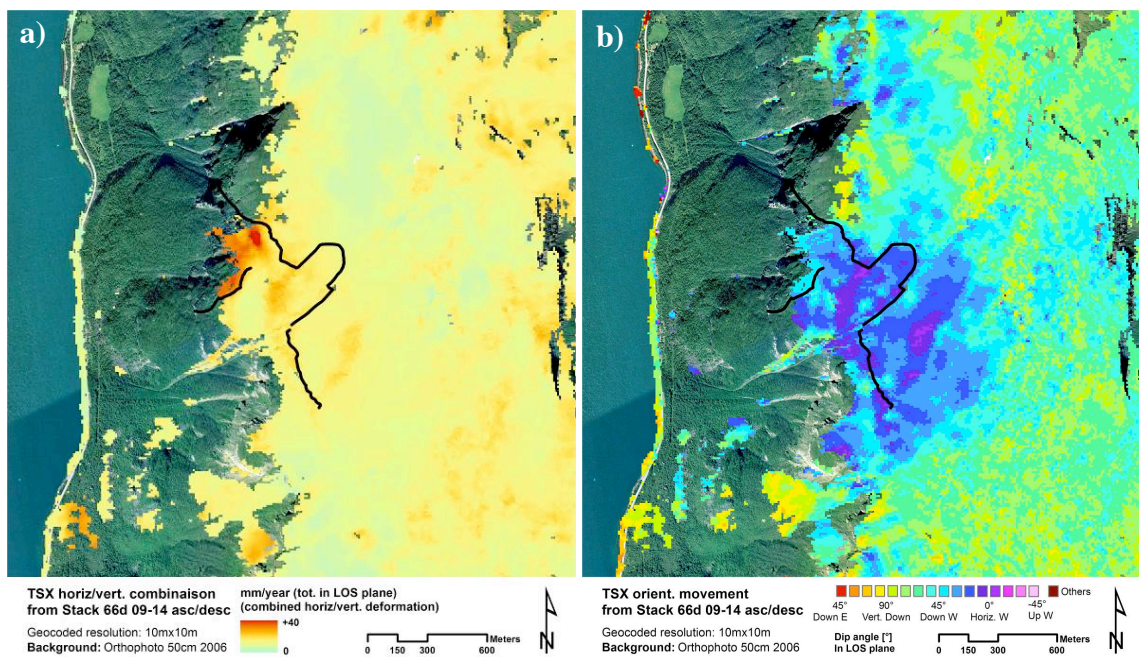


Figur 6: Til venstre: skjema av line-of-sight (LOS)-retninger fra ascending og descending TSX bane for Nordnes skredet. Til høyre: Vest-øst profil med dekomponering av horisontal (h), vertikal (v), og kombinert bevegelse LOS-flate (T_{EWP} = Kombinert bevegelse i, θ = Helningsvinkel på T_{EWP} bevegelse). From Eriksen, et al., 2015 [submitted].

Figur 7 viser horisontale og vertikale bevegelser etter dekomponering med 2D InSAR-metoden. Figur 8 viser 2D kombinert bevegelse og helningsvinkel på deformasjon i LOS-flate. Den horisontale komponenten er større enn den vertikale i skredet. Den sørlige delen påvirkes hovedsakelig av horisontale bevegelser, mens områdene oppe på platået hovedsakelig av vertikale bevegelser. Det kan forklares med sesongeffekter som er relatert til fryse/tine-prosesser. Med 66d BT prosessering blir bare sommerperiodene utvalgt og det medfører at vi plukker opp vertikale setninger på grunn av tineprosess. Kartet som angir helningsvinkelen på deformasjon viser at retningen på skredmassene ikke er homogen.



Figur 7: Dekomponerte resultater fra TSX-desc og TSX-asc datasett. **a)** Horizontal deformasjon. **b)** Vertikal deformasjon.

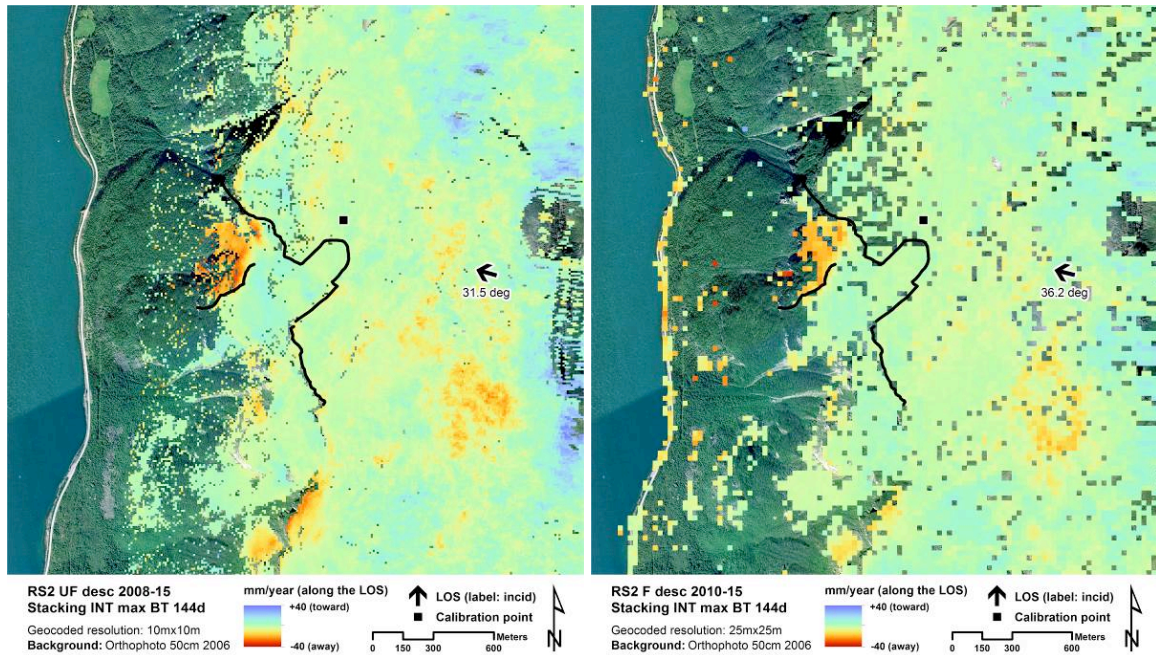


Figur 8: Dekomponerte resultater fra TSX-desc og TSX-asc datasett. **a)** 2D kombinert deformasjon (T_{EWP}). **b)** Helningsvinkel på deformasjon i LOS-flate (dip angle Θ)

I RSAT2-UF og -F resultatene ser vi følgende hovedtrender i forhold til TSX descending stacking (Figur 9):

- Resultatene viser generelt omtrent de samme mønstrene og hastighetene på skredet.
- Utenfor skredområdet er resultatene mer påvirket av støy. Det kan forklares ved færre interferogrammer i bruk enn for TSX-desc, atmosfære effekter som ikke helt har latt

seg fjerne ved hjelp av stacking-metoden, samt delvis ukorrigerede feil i den Digital ElevasjonModellen (DEM) som ble brukt under prosesseringen.



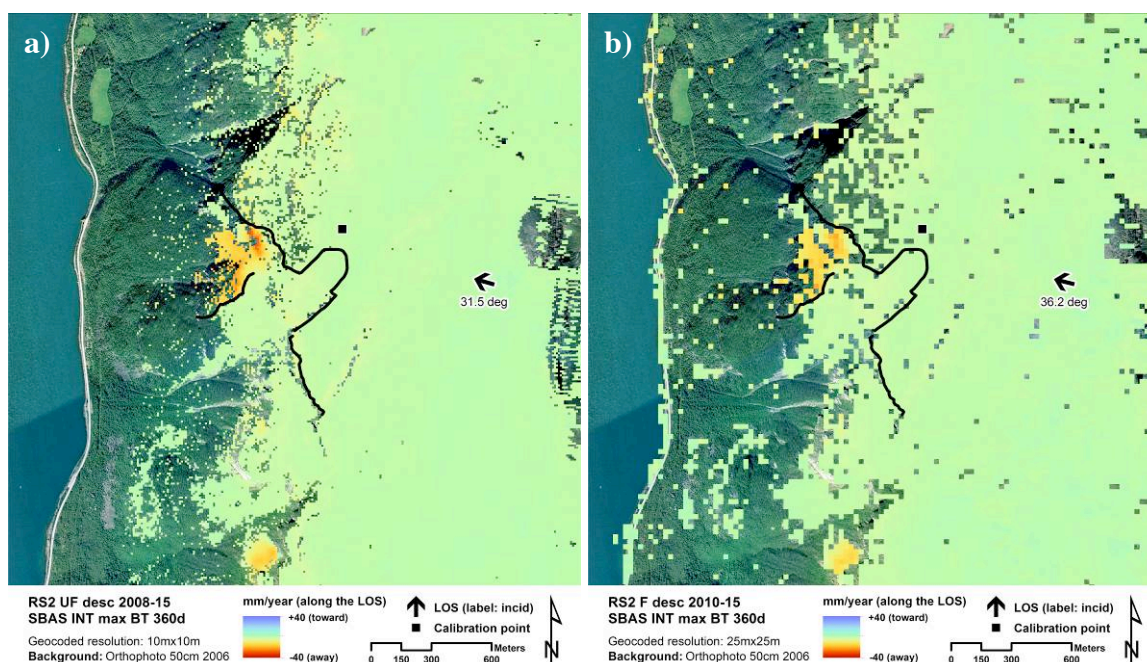
Figur 9: a) RSAT2-UF og b) RSAT2-F deformasjonskart fra Nordnes prosessert ved å bruke stacking-metoden på flerårige datasett. Pilene viser LOS-retning (label: incidence angle).

5 SBAS DEFORMASJONSKART

For å bruke SBAS-metoden for å prosessere tidsserier som dekker flere år (se kapittel 8) ble en maksimal baseline temporal som spenner fra sommersessong til sommersessong brukt slik at interferogrammer kobler år i måleserien sammen. For RSAT2-UF og -F brukte vi en maksimal temporal baseline på 360 dager (se baseline plot i Figur 4). SBAS-prosesserte resultatene fremhever de forrige hovedelementene (Figur 10):

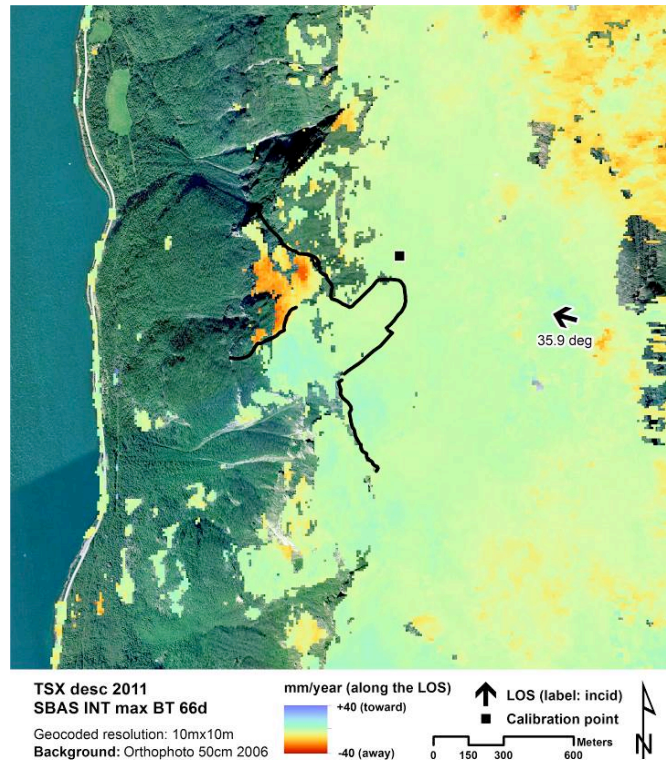
- Deformasjonskart viser generelt de samme mønstrene på skredet som stacking resultatene.
- Bevegelseshastighetene fra skredet er litt mindre enn fra når stacking-metoden ble brukt på TSX-asc og desc data (se kapittel 4). Det kan forklares med: (1) mulig underestimering ved bruk av maksimalt 360 dagers mellomrom; (2) mulig overvurdering av årlig gjennomsnittlig hastighet fra stacking-metoden som beregner en årlig gjennomsnittlig bevegelse basert på snøfri sesong som er den tida på året med raskest bevegelse; (3) forskjellig sikteretning og dermed sensitivitet til bevegelse i skredet for RSAT-2 og TSX satellittene.
- Området utenfor skredet er ganske stabilt i forhold til stacking resultatene. Dette skyldes reduserte påvirkning av sesongeffekter (fryse/tine-effekter) da disse filtreres bort ved bruk av flerårige interferogrammer. I tillegg blir det flere interferogrammer tilgjengelige når flerårige data benyttes. Dette gir bedre mulighet til å fjerne støy.

- Fine mode resultatene viser mindre hastighet som kan forklares ved den dårligere multilooked oppløsningen (25 m) som induserer en gjennomsnitt av potensielle små men raske bevegelige områdene.



Figur 10: a) RSAT2-UF og b) RSAT2-F deformasjonskart fra Nordnes basert på fra flerårig SBAS prosessering. Pilen viser LOS-retning (label: incidence angle).

For TSX-desc ble et år (2011) valgt ut og prosessert ved hjelp av SBAS-metoden med maksimalt 66 dager mellomrom. Atmosfæriske effekter kan ses utenfor skredområdet. Bortsett fra dette ser vi generelt de samme bevegelsesmønstrene og hastighetene som i prosesseringer over (Figur 11).



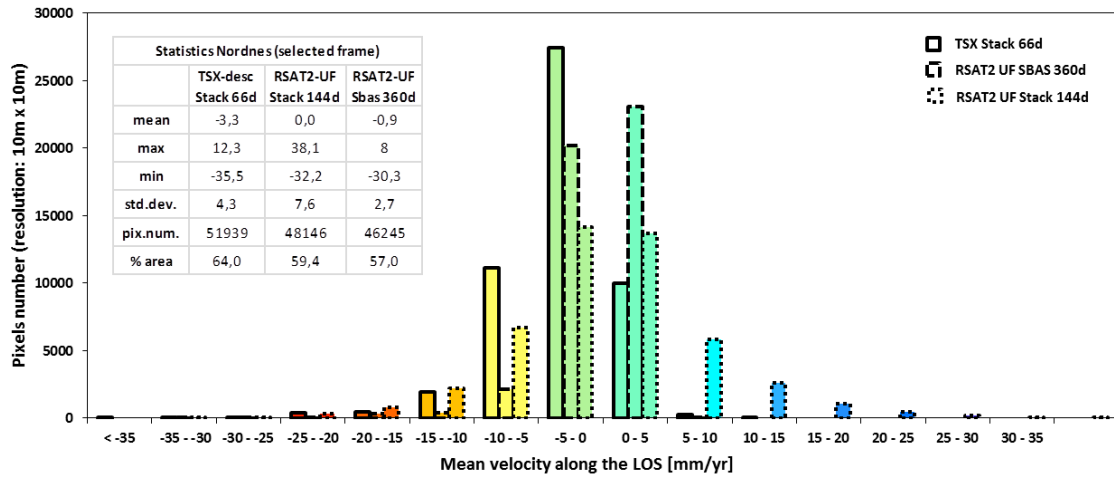
Figur 11: TSX-desc deformasjonskart fra Nordnes basert på 1 år (2011) SBAS prosessering. Pilen viser LOS-retning (labell: incidence angle).

6 HISTOGRAMMER OG PROFILER

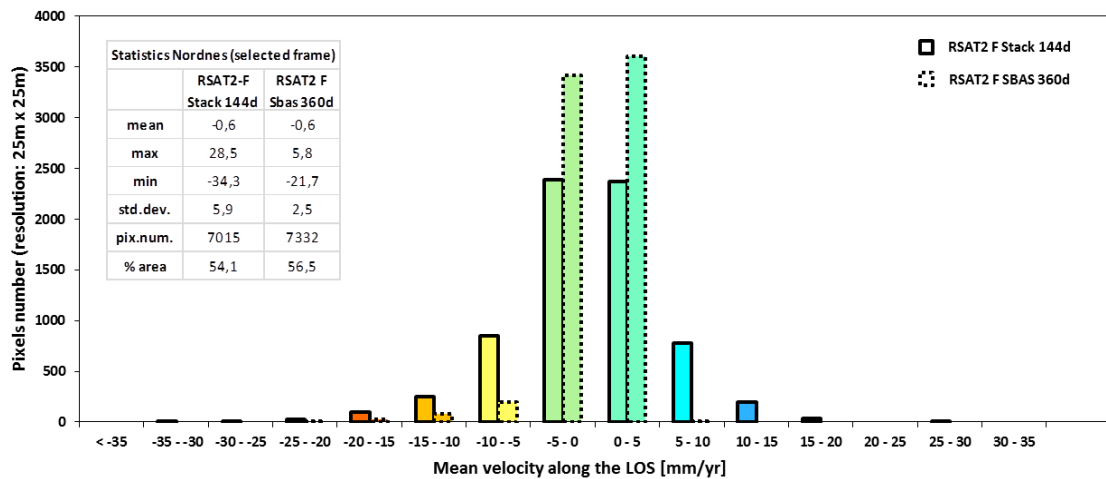
Statistikk av årlige gjennomsnittshastigheter fra hele studieområdet (samme utstrekningen som i Figur 8 – Figur 11) og på det ustabile området (i omtrentlige utstrekninger vises med røde linjer i Figur 1) blir presentert som histogrammer i Figur 13 – Figur 16. Her sammenlignes 5 sett av resultatene i descending geometri:

- Stacking-prosesserte TSX-desc med maks. 66 dagers interferogrammer (10 m);
- Stacking-prosesserte RSAT2-UF med maks. 144 dagers interferogrammer (10 m);
- SBAS-prosesserte RSAT2-UF med maks. 360 dagers interferogrammer (10 m);
- Stacking-prosesserte RSAT2-F med maks. 144 dagers interferogrammer (25 m);
- SBAS-prosesserte RSAT2-F med maks. 360 dagers interferogrammer (25 m).

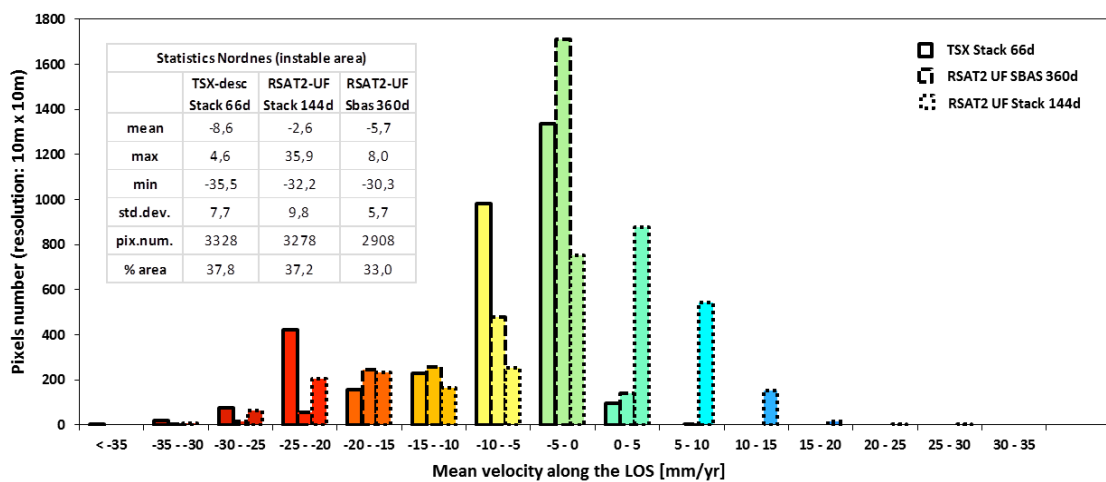
I hele studieområdet (Figur 12 og Figur 13) er en stor andel av hastighetsverdiene rundt null med maksimale bevegelser i skredområdet på mellom -36 og -30 mm/år. Histogrammer av RSAT2-UF og -F stacking med 144 dagers interferogrammer har en overrepresentasjon av positive verdier, altså bevegelse mot radar (Figur 12 og Figur 14), dette er mest sannsynlig et støyproblem, som forklarte i Kapittel 4. Histogrammer fra det ustabile området (Figur 14 og Figur 15) viser en tydelig og forventet forskyvning av distribusjon til negative verdier, altså bort fra radar.



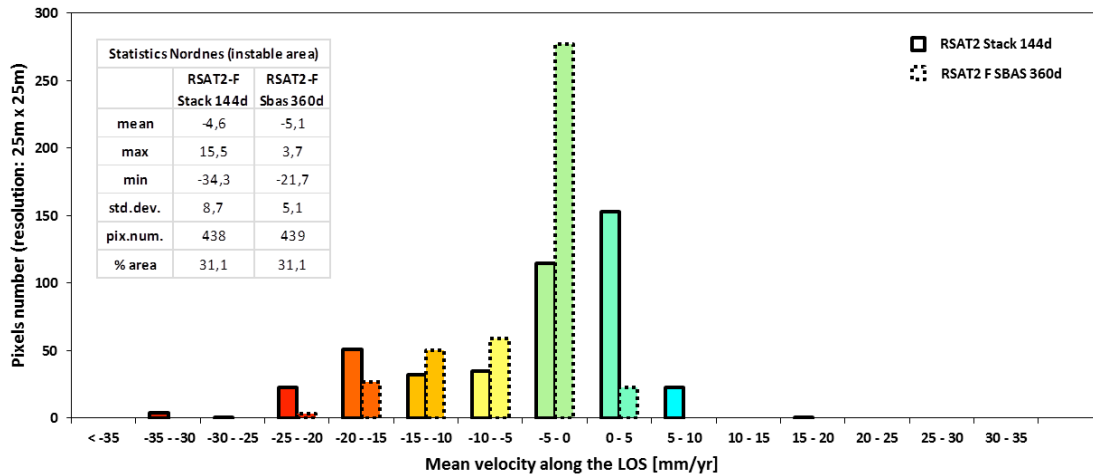
Figur 12: Statistikk og histogram av gjennomsnittlige hastighetsverdier fra TSX-desc og RSAT2-UF resultater (oppløsning: 10 m) fra hele studieområdet (samme utstrekningen som i Figur 1).



Figur 13: Statistikk og histogram av gjennomsnittlige hastighetsverdier fra RSAT2-F resultater (oppløsning: 25m) fra hele studieområdet (samme utstrekningen som i Figur 1).



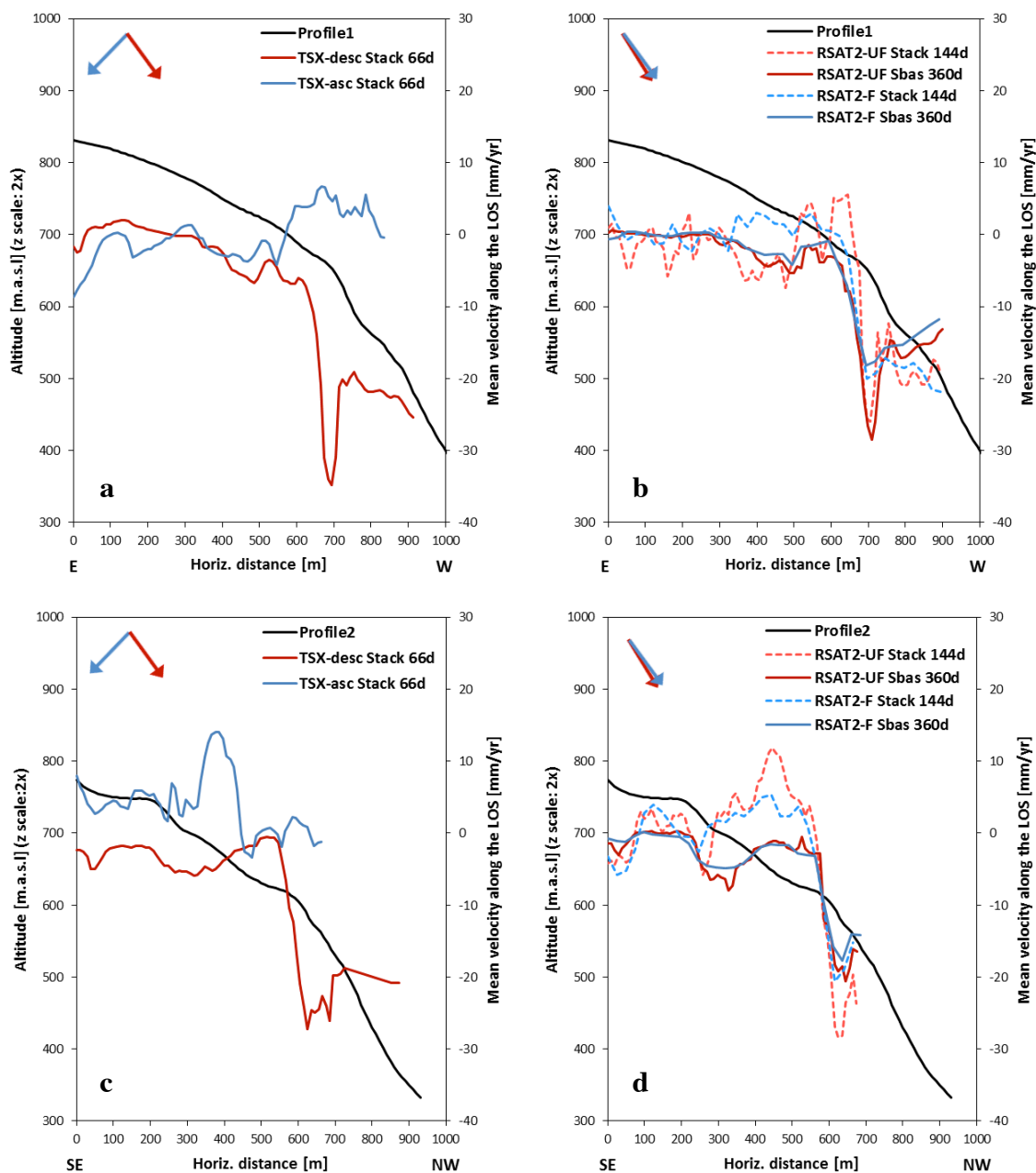
Figur 14: Statistikk og histogram av gjennomsnittlige hastighetsverdier fra TSX-desc og RSAT2-UF resultater (oppløsning: 10m) fra skredområdet (i røde linjer i Figur 1)



Figur 15: Statistikk og histogram av gjennomsnittlige hastighetsverdier fra RSAT2-F resultater (oppløsning: 25m) fra skredområdet (i røde linjer i Figur 1)

Bruk av profiler er nyttige for å sammenligne resultater fra forskjellige datasett og illustrere hvordan den gjennomsnittlige hastigheten varierer i forhold til topografien (Figur 16). Plasseringen av profiler vises i Figur 1.

Det er en god sammenheng mellom de forskjellige datasettene med høye hastigheter (-30 til -35 mm/år i området mellom 650–750 m i profil 1 (Figur 16, a og b) og litt lavere hastigheter mellom 750–900 m. Et interessant poeng er at området mellom 250–550 m i profil 2 (Figur 16, c og d), viser en stor forskjell i bevegelse når prosessering basert på flerårige interferogrammer sammenlignes med prosessering basert på sesong-interne interferogrammer (Figur 16, d). I prosessering med sesong-interne interferogrammer (maksimalt 66 og 144 dagers mellomrom) viser i dette området en betydelig bevegelse mot radar. Dette peker mot at området sannsynligvis påvirket av sesongeffekter. Dette er det samme området som er klassifisert som en steinbre av Blikra & Christiansen, et al., 2014.

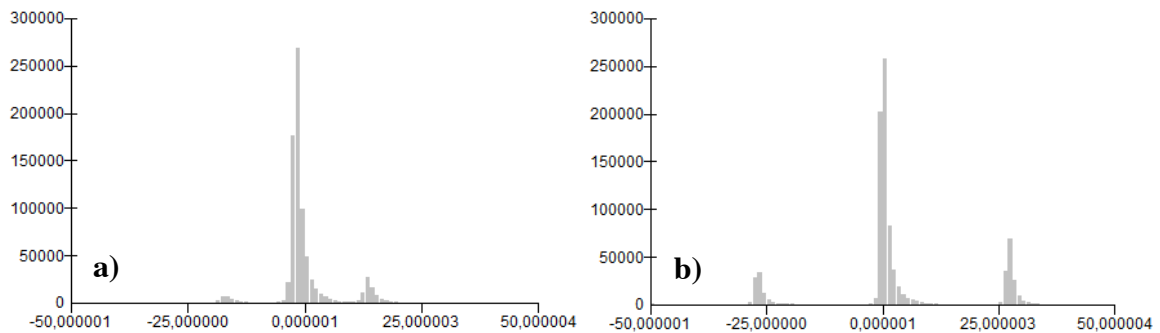


Figur 16: Topografiprofiler 1–2 med gjennomsnittlig hastighet oppdaget ved bruk av TSX og RSAT2. Plassering vises på Figur 1. Notere den vertikale overdrivelsen (2x). Pilene viser LOS-retning.

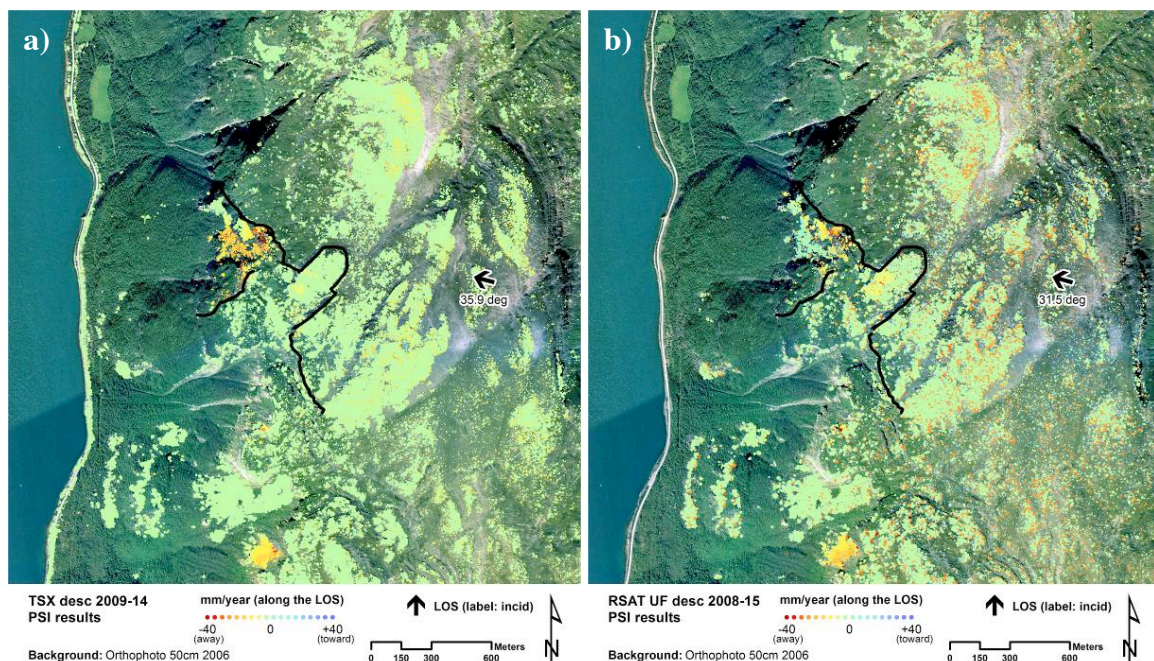
7 PSI RESULTATER

TSX-desc og RSAT2-UF descending datasettene ble prosessert med PSI-metoden. Resultatene er påvirket av en fasevetydighet på grunn av en ikke regulær opptaksfrekvens fordi bakken er dekket av snø om vinteren (Lauknes, et al., 2015). Figur 17 viser hastighetsdistribusjonen av alle punkter fra studieområdet etter PSI-prosessering av TSX-desc og RSAT2-UF datasettene. De forskjellige toppene blir skift av halve bølgelengden til sensoren (ca. 16 mm for TSX og 28 mm for RSAT2) på grunn av fasevetydighet. Deformasjonskartene etter PSI-prosesseringen vises i Figur 18. PSI-prosesserte TSX-desc

resultatene viser de samme generelle romlige bevegelsesmønstrene som ble resultatet etter SBAS og stacking prosessering (Kapittel 4 og 5). Flere punkter i oransje kan uansett ses på plataet over skredet og tilsvarer resultater som er skiftet en halv bølgelengde. RSAT2-UF prosessering klarer ikke å få like gode resultater i skredetområdet som TSX sannsynligvis på grunn av lavere opptaksfrekvens.



Figur 17: Histogrammer av gjennomsnittlig hastighetsverdier av PSI resultatene som viser problemet med fasetvetydighet. **a)** Distribusjon av TSX-desc verdier. **b)** Distribusjon av RSAT2-UF verdier.

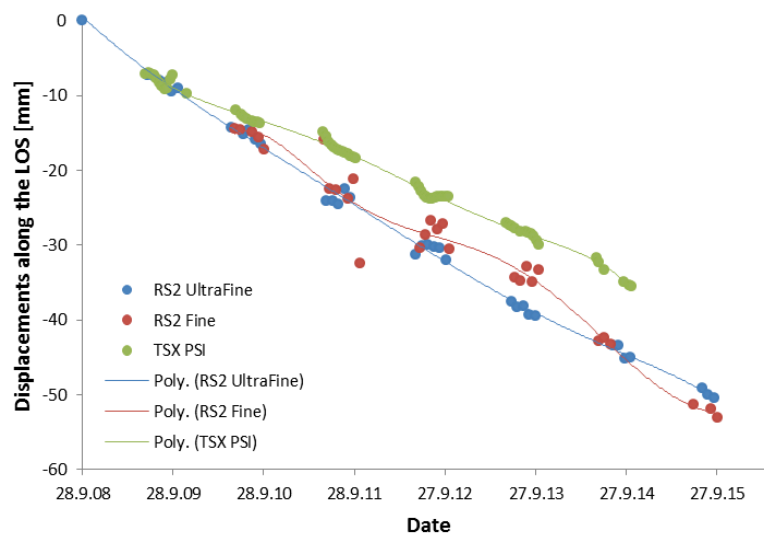


Figur 18: **a)** TSX-desc og **b)** RSAT2-UF deformasjonskart fra PSI prosessering. Pilen viser LOS-retning (label: incidence angle).

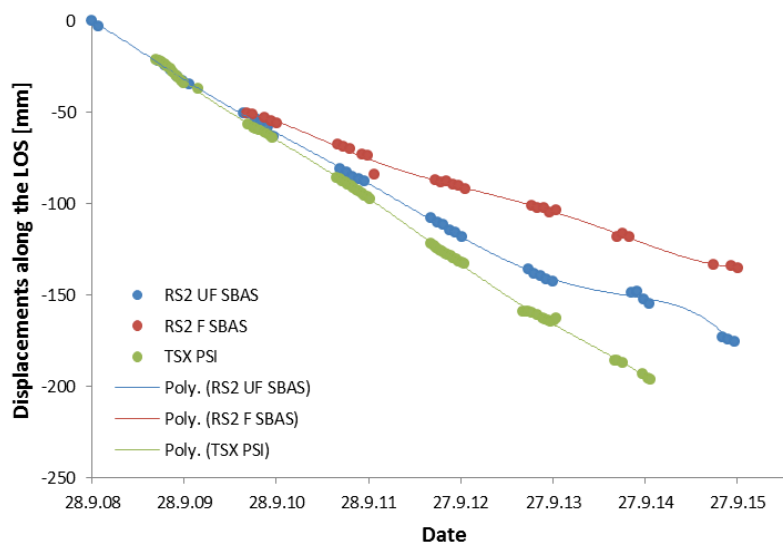
8 SBAS/PSI TIDSSERIER

SBAS/PSI prosessering av satellittbasert InSAR gir informasjon om den temporale bevegelsesutviklingen i studieområdet. Vi har sammenlignet SBAS/PSI-bevegelsesutviklingen for områder i skredet basert på data fra GPS-stasjoner. Området i nærheten av GPS-stasjon 2, 3, 4 og 9 (Figur 1) ble valgt ut på grunn av høy hastighet og høy InSAR koherens (temporal stabilitet av signalet). Tidsserier InSAR-data har blitt

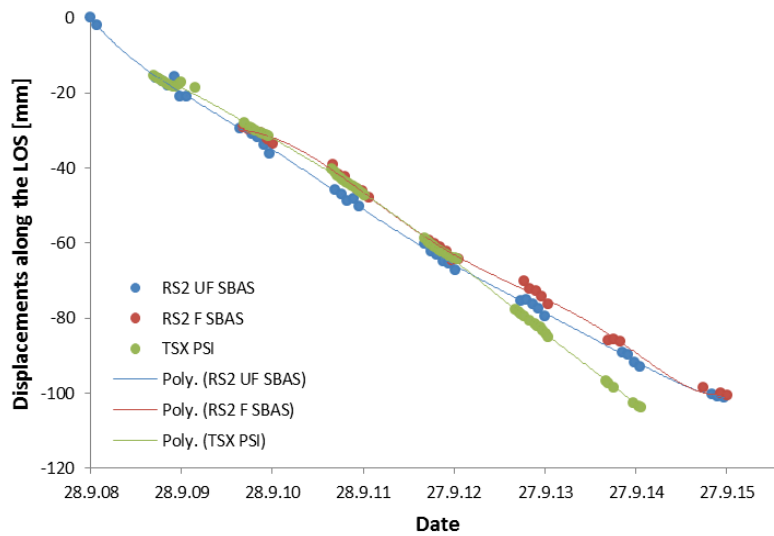
hentet ut fra SBAS-pikselen/PSI-punktet nærmest GPS-stasjonen eller SBAS-pikselen/PSI-punktet med den høyeste koherensen/amplitude dispersion nær GPS-stasjonen (maksimalt: 5m avstand for PSI-prosessert TSX-desc, 10m avstand rundt for SBAS-prosessert TSX-desc/RSAT-UF, 25m avstand rundt for SBAS-prosessert RSAT2-F). Figur 19-Figur 22 viser forskjellen mellom TSX og RSAT2 resultatene. Resultatene vises i radarenes respektive sikteretninger (LOS). Starten av tidsserier fra PSI-prosessert TSX (2009) og SBAS-prosessert RSAT2-F data (2010) har blitt skiftet ned for å kunne sammenlignes med RSAT2-UF tidsserier som begynner tidligere (2008). Figur 22–23 viser godt samsvar mellom datasettene mens Figur 20–21 viser større variasjoner av hastigheter og temporale variasjoner. Grunnen til dette kan være mange: store lokale variasjoner som påvirker resultatene på ulike posisjoner, forskjellige romlige oppløsninger, effekter av temporal filter på tidsserier, osv.



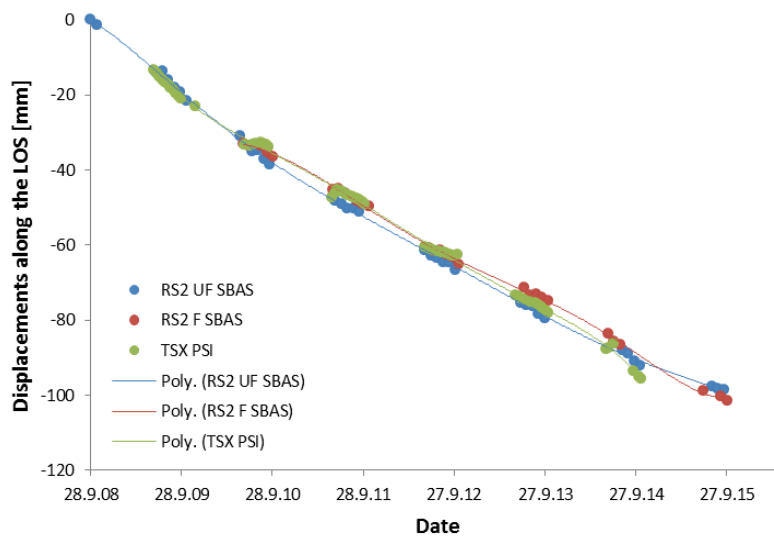
Figur 19: InSAR tidsserier fra SBAS-prosessert RSAT2-UF, -F og PSI-prosessert TSX-desc (deformasjon langs respektive LOS) i nærheten av GPS 2 (plassering i Figur 1).



Figur 20: InSAR tidsserier fra SBAS-prosessert RSAT2-UF, -F og PSI-prosessert TSX-desc (deformasjon langs respektive LOS) i nærheten av GPS 3 (plassering i Figur 1).

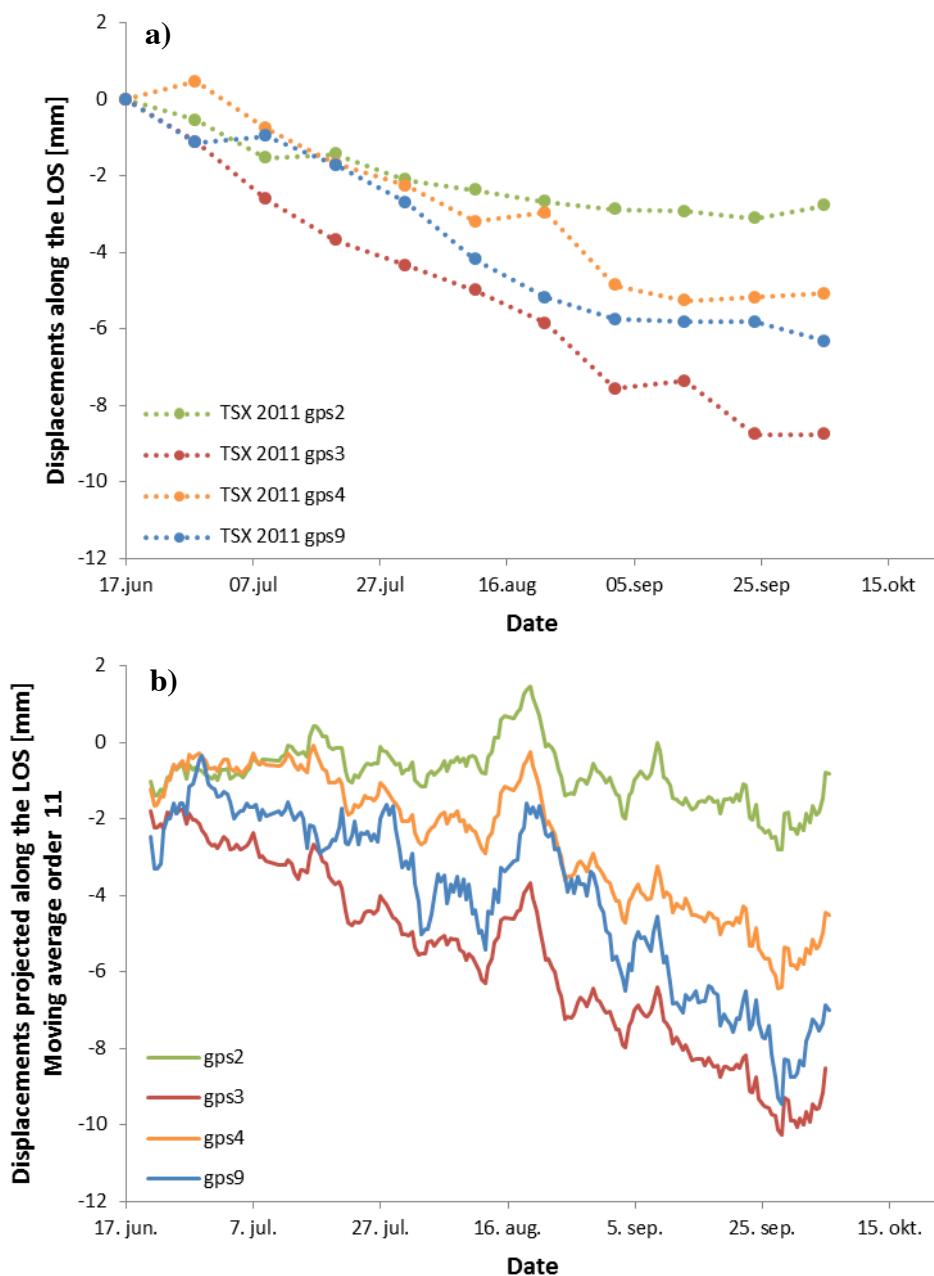


Figur 21: InSAR tidsserier fra SBAS-prosessert RSAT2-UF, -F og PSI-prosessert TSX-desc (deformasjon langs respektive LOS) i nærheten av GPS 4 (plassering i Figur 1).



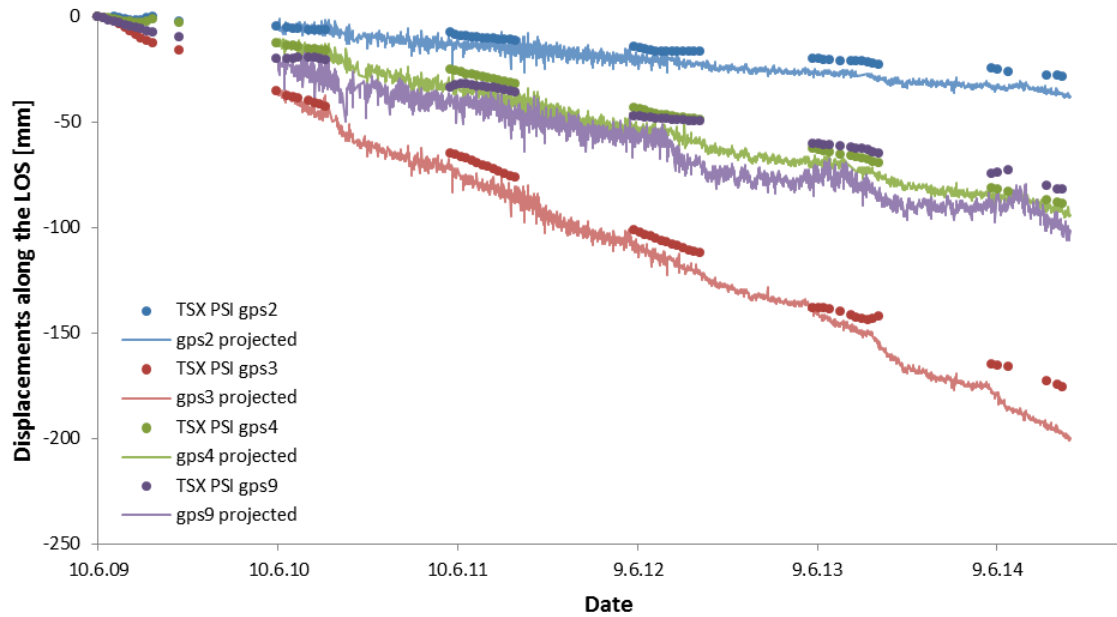
Figur 22: InSAR tidsserier fra SBAS-prosessert RSAT2-UF, -F og PSI-prosessert TSX-desc (deformasjon langs respektive LOS) i nærheten av GPS 9 (plassering i Figur 1).

Figur 23 viser sammenligning av bevegelse målt med SBAS-prosessert TSX-desc (Figur 23, a) og bevegelse målt med GPS-stasjoner (Figur 23, b) i 2011. GPS-data er projisert inn i TSX-desc LOS-retning. Selv om et glidende gjennomsnitt (order 11) har vært brukt for å glatte ut kortsiktige trender i GPS data, er det her mye større variasjoner enn i InSAR data. Uansett, resultatene viser omtrent samme bevegelser (mellom -2 og -10 mm mellom juni og oktober) og samme generelle forskjeller mellom GPS (hastighet er største på GPS 3 og mindre og mindre på GPS 9, 4, 2).



Figur 23: a) 2011 tidsserier fra SBAS-prosesserte TSX-desc resultatene sammenlignet med b) projiserte data fra GPS-stasjon 2, 3, 4 og 9 (glidende gjennomsnitt order 11).

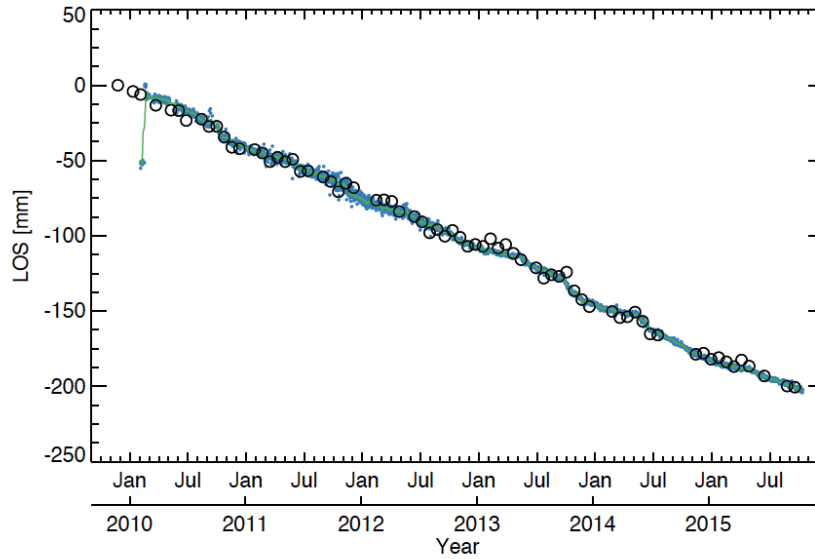
Sammenligning mellom PSI-prosesserte TSX-desc og projiserte GPS data viser generelt samme deformasjon og klarer delvis å måle de samme variasjonene i snøfri tidsperiodene (Figur 24). Likevel er InSAR resultatene alltid litt lavere enn GPS deformasjonene og PSI-prosesserte data følger ikke GPS-data i perioder med større bevegelseshastigheter (se for eksempel GPS 3 i 2013 og GPS 9 i 2012). Det er sannsynligvis på grunn av fasevetydighet.



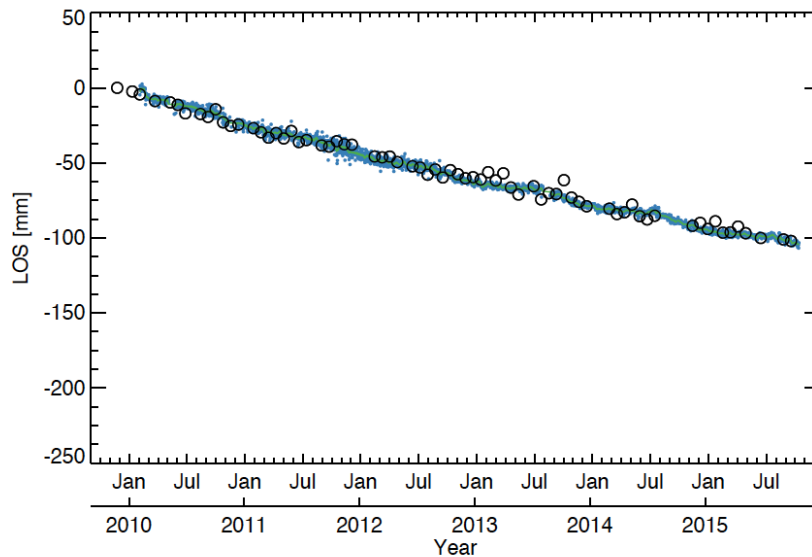
Figur 24: PSI TSX-desc resultatene sammenlignet med projiserte data fra GPS 2, 3, 4 og 9.

9 REFLEKTORENE

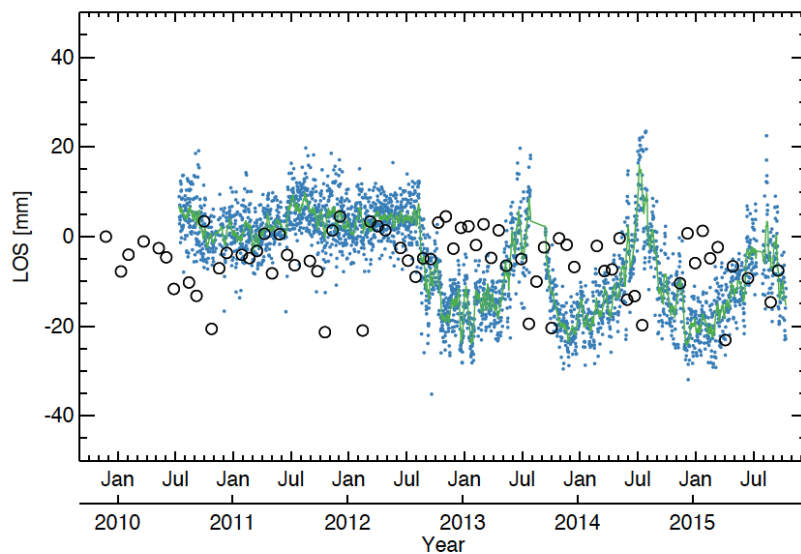
På Nordnes har 9 hjørnereflektorer blitt satt opp for å muliggjøre InSAR prosessering hele året inkludert vinter. Plassering av reflektorer vises på Figur 1 (blå stjerner). Reflektor 1 brukes som referansen (ment som stabil). Det betyr at resultater svarer til differensiell deformasjon mellom 1–2, 1–3, 1–4, osv. Kontinuerlige InSAR deformasjoner på reflektorene 2–9 har blitt separat prosessert ved bruk av RSAT-2 scener (descending geometri) mellom 2010 og 2015. Resultatene vises i Figur 25–28. På reflektorer 2, 3 og 4 har resultater blitt sammenlignet med tilgjengelige kontinuerlige GPS data (projiserte langs LOS). Det viser at det er en veldig god tilpasning på reflektorer 2 og 3 (Figur 25–26). På reflektor 4 er både InSAR og GPS tidsserier påvirket av mye støy (Figur 27). Det kan forklares av atmosfære effekter på grunn av den store forskjellen i høyde mellom referansepunktet (reflektor eller GPS 1) og reflektor 4. På reflektorer 5–9 (Figur 28) er ingen GPS tilgjengelig for å sammenligne resultater og tidsserier er kortere fordi reflektorer har blitt satt opp senere.



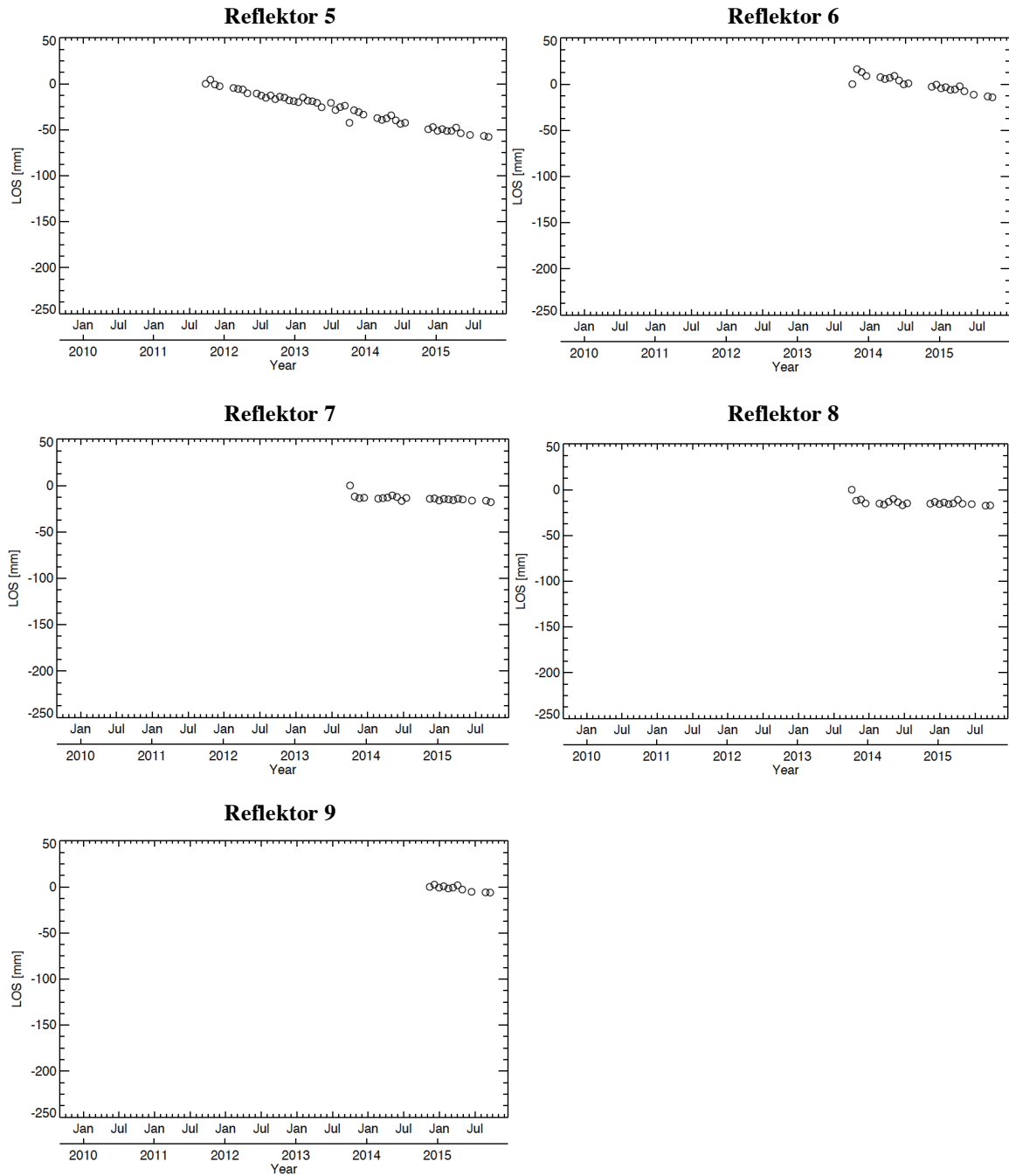
Figur 25: Differensial deformasjon langs LOS på reflektor 2 (ref: reflektor 1): InSAR (svart) vs. GPS (blå).



Figur 26: Differensial deformasjon langs LOS på reflektor 3 (ref: reflektor 1): InSAR (svart) vs. GPS (blå).



Figur 27: Differensial deformasjon langs LOS på reflektor 4 (ref: reflektor 1): InSAR (svart) vs. GPS (blå).



Figur 28: Differensial deformasjon langs LOS på reflektor 5, 6, 7, 8 og 9 (ref: reflektor 1): InSAR (svart) vs. GPS (blå).

11 KONKLUSJON & PROSPEKT

Norut har i mange år samlet inn ulike typer satellittdata fra Nordnesfjellet. I denne rapporten oppsummerer vi de viktigste resultatene fra ulike typer av InSAR prosessering, både SBAS, PSI og bruk av reflektorer. Resultatene er generelt sett veldig konsistente og bidrar til å gi ny informasjon om den romlige og tidsmessige utviklingen av bevegelser i skredområdet.

Derimot viser resultatene forskjellige variasjoner. Hovedårsakene som forklarer variasjoner i resultatene kan oppsummeres i 4 grupper:

- **Ulik oppløsning:** avhengig av bildemodus (for eksempel: Ultrafine vs. Fine) og prosesseringsmetode (punktvis PSI vs. multilooked SBAS-InSAR). Stacking/SBAS-prosesserte resultater viser for eksempel generelle mindre hastigheter enn for PSI/Reflektorsprosessering.
- **Ulik tidsrom:** avhengig av dato på scener og av maksimal BT (temporal baseline) terskel brukt for å lage interferogrammer (sesong interferogrammer vs. årlige interferogrammer). Prosesseringer uten mellomårlege interferogrammer fokuserer på perioden med høyere hastigheter og er påvirket av sesong effekter.
- **Ulik geometri:** avhengig av line-of-sight. Det påvirket layover/skygge området og følsomhet for å detektere bevegelser. Tilsammen med ulik oppløsning for de ulike sensorerne påvirker det hvilket område på bakken vi prøver å sammenligne og kan forklare mange variasjoner, spesielt i et komplekst skredområde som Nordnes.
- **Ulik bølgelengde/opptaksfrekvens:** avhengig av satellittsensor. Det påvirket følsomhet for overflate spredning endringer (temporal dekorrelasjon) og følsomhet for å detektere bevegelser.

Selv om vi er overbevist over verdien av satellittbasert InSAR for deteksjon, kartlegging og overvåking av fjellskred, så er det nødvendig å huske at InSAR resultatene er begrenset av definerte vilkår i henhold til datasettene og prosesseringsmetodene.

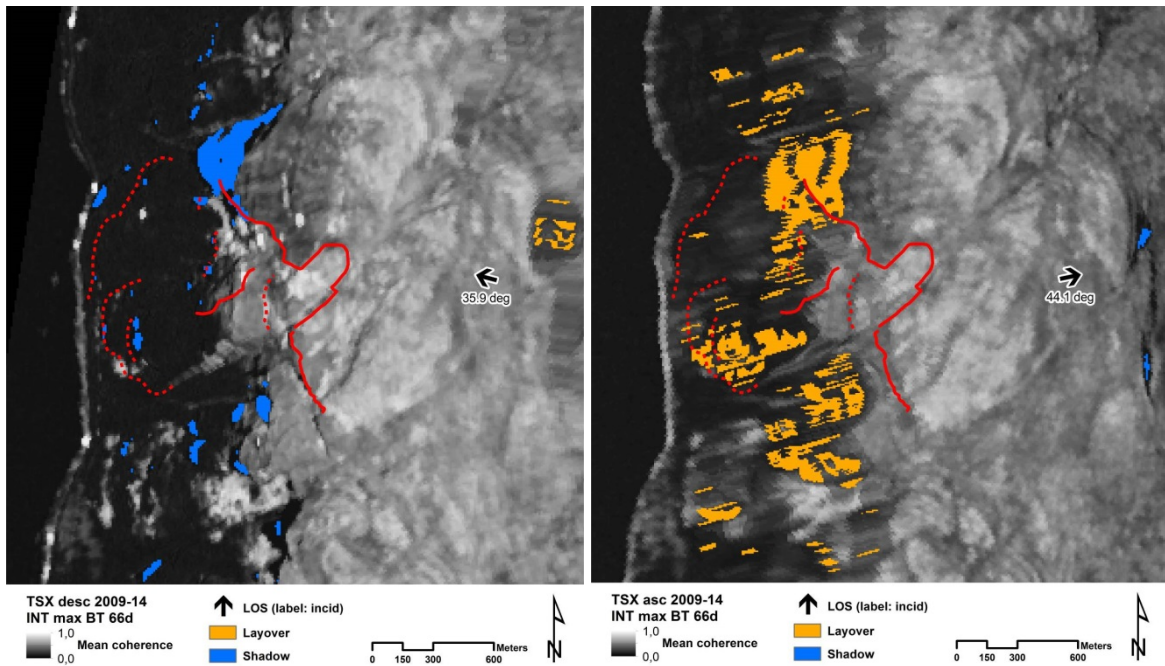
I fremtida er vårt mål å forbedre integrasjonen og tolkningen av ulike typer InSAR data. Arbeidet vil blant annet inkludere prosessering og dekomponering for RSAT-2, analyse og atskillelse av årlige/sesongeffekter, dypere analyse av tidsserier.

12 REFERANSER

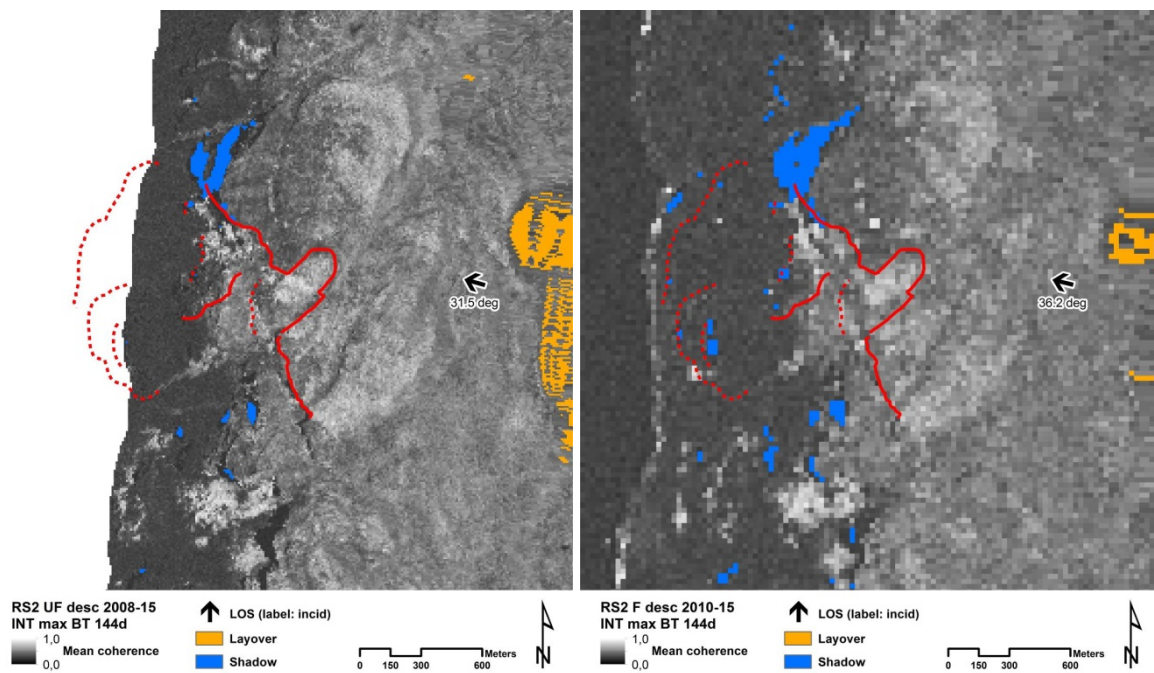
- Blikra, L.H. & Christiansen, H.H. 2014. A field-based model of permafrost-controlled rockslide deformation in northern Norway. *Geomorphology*, 208, pp. 34–89. DOI:10.1016/j.geomorph.2013.11.014.
- Eckerstorfer, M., Eriksen, H.Ø., Christiansen, H., Lauknes, T.R., Rouyet, L., Blikra, L.-H. 2015 [in review]. Comparing geomorphological field- and InSAR mapping of the periglacial landscape at Nordnesfjellet, Northern Norway. *Earth Surface Processes and Landforms*.
- Eriksen, H.Ø., Lauknes, T.R., Larsen, Y., Corner, G.D., Bergh, S.G., Dehls, J. 2015 [submitted]. Visualizing Surface Displacement Patterns Using Multi-Geometry Satellite SAR Interferometry. *Remote Sensing and Environment*.

- Eriksen, H.Ø., Lauknes, T.R., Larsen, Y., Rouyet, L., Corner, G.D., Bergh, S.G., Blikra, L.-H. 2016 [in prep.]. Multi-geometry InSAR integration and interpretation on Nordnes rockslide, Northern Norway.
- Larsen, Y., Engen, G., Lauknes, T. R., Malnes, E., & Høgda, K.-H. 2005. A generic differential SAR processing system, with applications to land subsidence and SWE retrieval. Proc. ESA Fringe 2005, ESA ESRIN, Frascati; Italy, November 28–December 2.
- Lauknes, T.R., Larsen, Y., Dehls, J. 2015. InSAR Processing challenges in Artic landscapes. *Oral presentation. Fringe Workshop*, Frascati, Italy.
- Rouyet, L., Lauknes, T. R. & Dehls, J. 2013a. SBAS and PS InSAR Processing of Åknes rockslide using RADARSAT-2 (2008–2013) and TerraSAR-X/TanDEM-X (2010–2012) satellite data. *Report 04/2013*. Norut.
- Rouyet, L., Lauknes, T. R. & Dehls, J. 2013b. SBAS and PS InSAR Processing of Mannen rockslide using RADARSAT-2 (2009-2013) and TerraSAR-X/TanDEM-X (2010–2013) satellite data. *Report 05/2013*. Norut.
- Rouyet, L., Lauknes, T. R. & Høgda, K.-A. 2015a. Spaceborne radar interferometry (InSAR) for natural hazards, landslides and infrastructure: limitations and potential. *Report 05/2015*. Norut.
- Rouyet, L., Lauknes, T. R. & Høgda, K.-A. 2015b. Mannen/Børa: InSAR prosessering ved bruk av TerraSAR-X og RADARSAT-2 bilder – Utfyllende resultater til Norut rapport 05/2013. *Report 15/2015*. Norut.

13 VEDLEGG



Figur 29: TSX-desc / TSX-asc gjennomsnittlig koherenskart og områder påvirket av skygge og layovereffekt.



Figur 30: RSAT2-UF / RSAT2-F gjennomsnittlig koherenskart og områder påvirket av skygge og layovereffekt.