

RAPPORT

15/2015

ISBN 978-82-7492-307-2

ISSN 1890-5226

# **MANNEN/BØRA: INSAR PROSESSERING VED BRUK AV TERRASAR-X OG RADARSAT-2 BILDER**

---

**Utfyllende resultater til Norut rapport 05/2013**

**Forfattere:** Line Rouyet, Tom Rune Lauknes, Kjell-Arild Høgda



---

**PROSJEKTNAMN:** Geohazard

**PROSJEKTNR.:** 369

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

---

Documentnr.: 15/2015

Dokumenttype: Rapport

Status: Åpen

ISBN: 978-82-7492-307-2

ISSN: 1890-5226

Ant. Sider: 21

Prosjektleder: Kjell-Arild Høgda

Dato: 11.09.2015

**FORFATTER (E):** Line Rouyet, Tom Rune Lauknes, Kjell-Arild Høgda

**TITTEL:** Mannen/Børa: InSAR prosessering ved bruk av TerraSAR-X og RADARSAT-2 bilder - Utfyllende resultater til Norut rapport 05/2013

---

**RESYMÉ:**

Rapporten presenterer InSAR resultatene på Mannen/Børa (Vestlandet, Norge) ved bruk av TerraSAR-X bilder (2010–2013) og RADARSAT-2 bilder (2009–2014). Den er et utfyllende dokument til Norut rapport 05/2013. SAR bilder er prosessert med Stacking, SBAS og PSI metoder og gir romlig og temporal informasjon om bevegelser i studieområdet. Det blir vist i form av deformasjonskart, profiler og tidsserier i rapporten.

---

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

Noter: -

---

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



# INNHOOLD

<b>1</b>	<b>INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>STUDIEOMRÅDE</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>SATELLITTDATA</b> .....	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>STACKING OG SBAS RESULTATER</b> .....	<b>5</b>
	4.1 Deformasjonskart .....	5
	4.2 Profiler .....	8
	4.3 Tidsserier .....	9
<b>5</b>	<b>PSI RESULTATER</b> .....	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>DISKUSJON &amp; KONKLUSJON</b> .....	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>REFERANSER</b> .....	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>VEDLEGG</b> .....	<b>14</b>



# 1 INNLEDNING

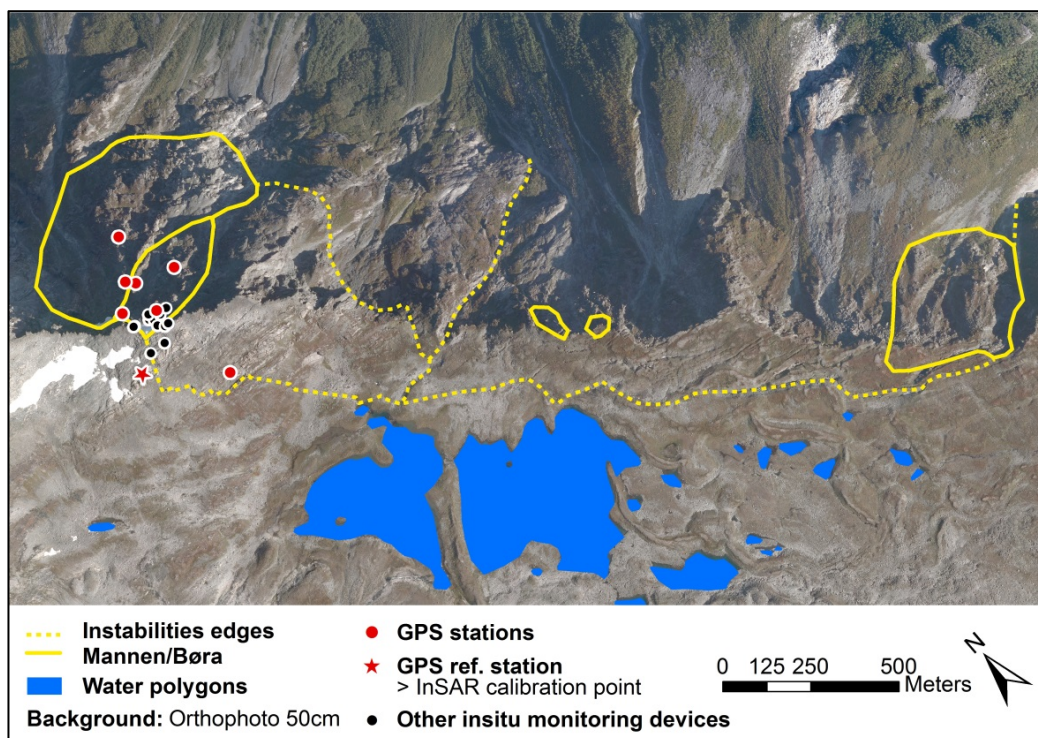
Denne rapporten presenterer utfyllende resultater til Norut rapporten 05/2013 (Rouyet, et al., 2013) om InSAR prosessering ved bruk av TerraSAR-X (TSX) og RADARSAT-2 (RSAT-2) bilder på Mannen/Børa (Vestlandet, Norge).

Kapittel 2 og 3 gir informasjon om studieområdet og satellittdata som er brukt. Resten av konteksten og teorien presenteres i Norut rapport 05/2013. Kapittel 4 og 5 presenterer InSAR resultatene ved bruk av Stacking, SBAS og PSI metoder. Diskusjonen og konklusjonen om resultatene presenteres i kapittel 6.

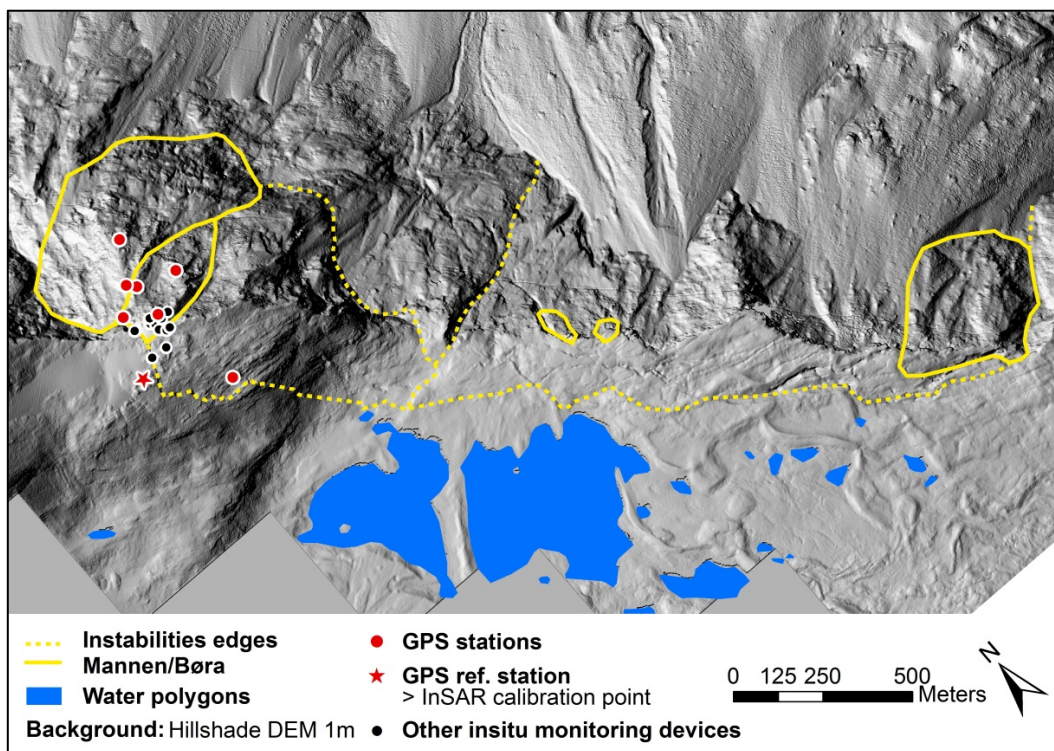
# 2 STUDIEOMRÅDE

Studieområdet er blitt introdusert i kapittel 3 av rapporten 03/2013. Figur 1 og Figur 2 viser utstrekningen av området som ble valgt ut for InSAR analyse i kapittel 4 og 5 av denne rapporten. I tillegg vises den estimerte avgrensningen av de ustabile hovedsektorene og plasseringen av in situ overvåkingsinstrumenter på Mannen.

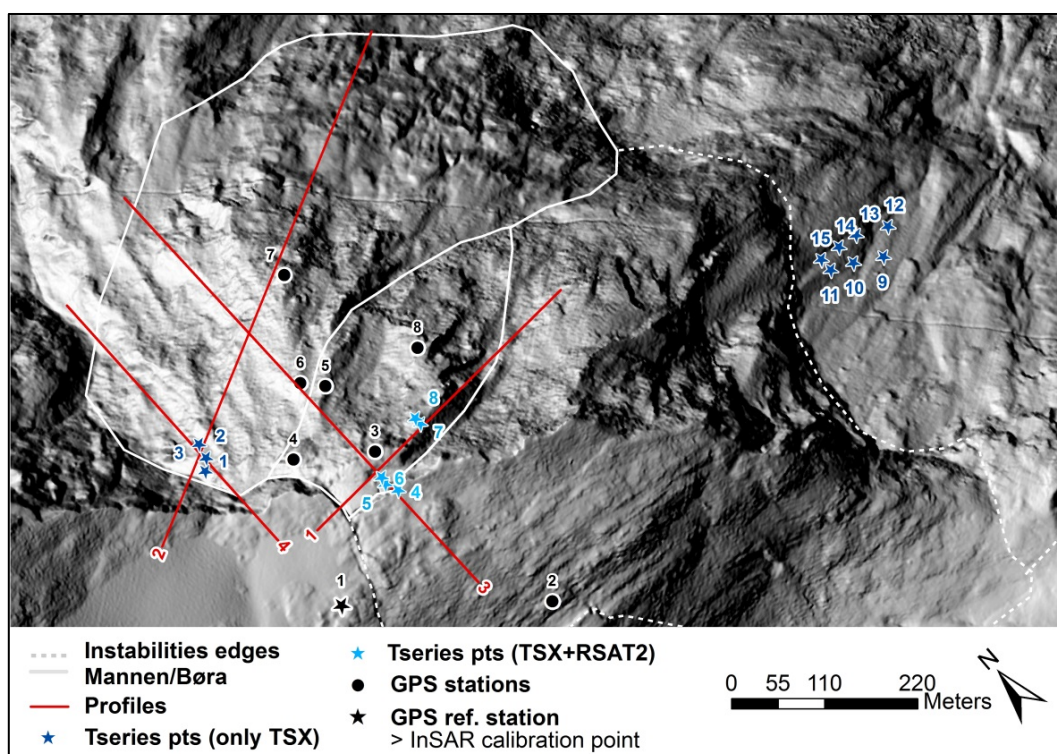
Denne studien fokuserer på fjellskredet Mannen og spesielt hovedscenarier skissert av de gule heltrukne linjene i den nordlige delen av studieområdet (til venstre i Figur 1 og Figur 2). En forstørrelse av dette området vises i Figur 3. Den viser også plasseringen av profiler og tidsserier som presenteres i kapittel 4 og 5.



Figur 1: Oversiktskart over Mannen/Børa som viser avgrensningen av de ustabile sektorene og plasseringen av in situ overvåkingsinstrumenter (bakgrunn: orthophoto 50cm).



Figur 2: Oversiktskart over Mannen/Børa som viser avgrensningen av de ustabile sektorene og plasseringen av in situ overvåkingsinstrumenter (bakgrunn: hillshade DEM 1m).



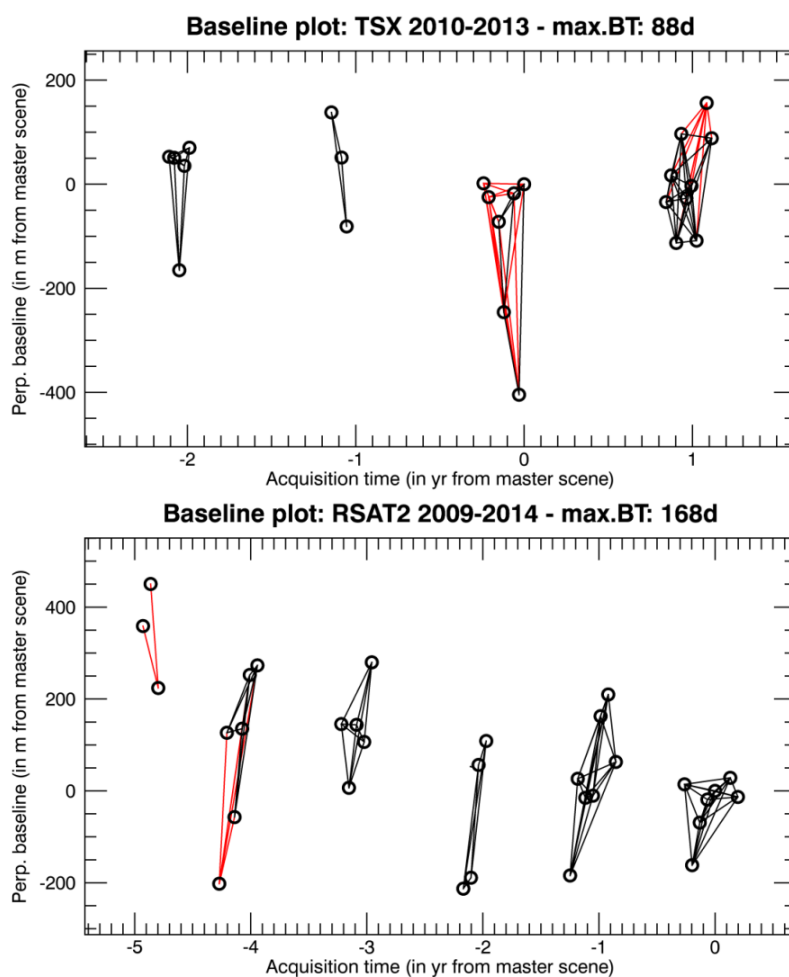
Figur 3: Forstørrelse av hovedscenarier på Mannen og plasseringen av profiler og tidsserier (se resultatene i kapittel 4 og 5).



### 3 SATELLITTDATA

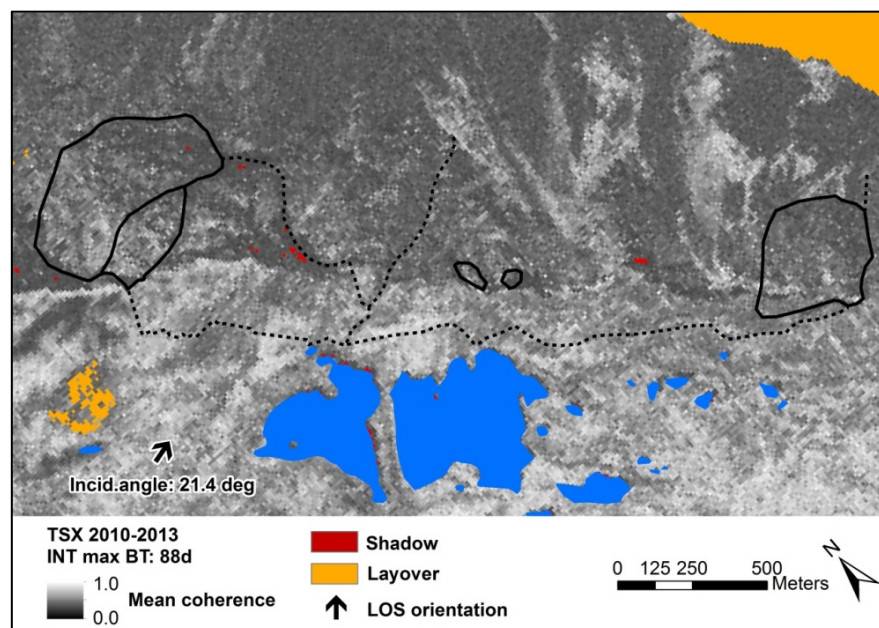
To satellittdatasett er tilgjengelige for studien: ett sett av 24 bilder fra TerraSAR-X (TSX) mellom 2010 og 2013, og ett sett av 32 bilder fra RADARSAT-2 (RSAT-2) mellom 2009 og 2014. Karakteristikkene av data brukt fra de to satellittene har blitt beskrevet i kapittel 4 av rapporten 05/2013. Sammenlignet med den forrige rapporten er det ingen ekstra TSX bilde tilgjengelig, men et ekstra år ble lagt til prosessering ved bruk av RSAT-2. InSAR prosessering ble uansett utført en gang til for begge satellitter for å ta oppdateringer av GSAR (Norut utviklet programvare) med i betraktningen.

Figur 4 viser den temporale distribusjonen av scener vs. den romlige avstanden mellom dem (baseline plot). Linjene illustrerer de genererte interferogrammene. De svarte linjene ble valgt ut for å illustrere sluttresultatene, de røde linjene ble fjernet på grunn av lav kvalitet. En terskel av 88 dager for TSX og 168 dager for RSAT-2 brukes for å generere interferogramer. Det umuliggjør koblingen av hver sommersesong, men dekorrelasjon og fasetvetydighet på grunn av for raske bevegelser unngås.

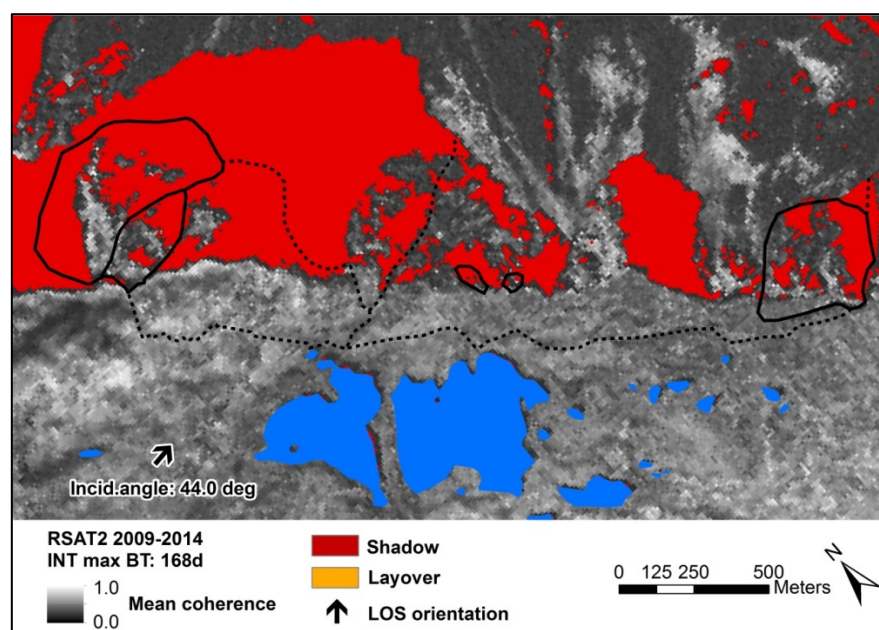


**Figur 4: Baseline Plot av TSX (topp) og RSAT-2 (bunn) scener (svarte sirkler) og de genererte interferogrammer (svarte linjer: utvalgte interferogrammer, røde linjer: fjernede interferogrammer).**

De begrensende faktorene for hvor InSAR kan brukes er topografien og orienteringen av radarmålingene (line-of-sight: LOS) og terrengets beskaffenhet. Topografien avgjør om områdene påvirkes av skygge og layover effekt. 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. Figur 5 og Figur 6 illustrerer disse begrensingene. De viser at deler av interesseområdet er i radarskygge ved bruk av RSAT-2. For begge satellittene avtar koherensen sterkt i de nedre delene av skråningene på grunn av vegetasjon.



Figur 5: TSX gjennomsnittlig koherenskart og områder påvirket av skygge og layovereffekt.



Figur 6: RSAT-2 gjennomsnittlig koherenskart og områder påvirket av skygge og layovereffekt.

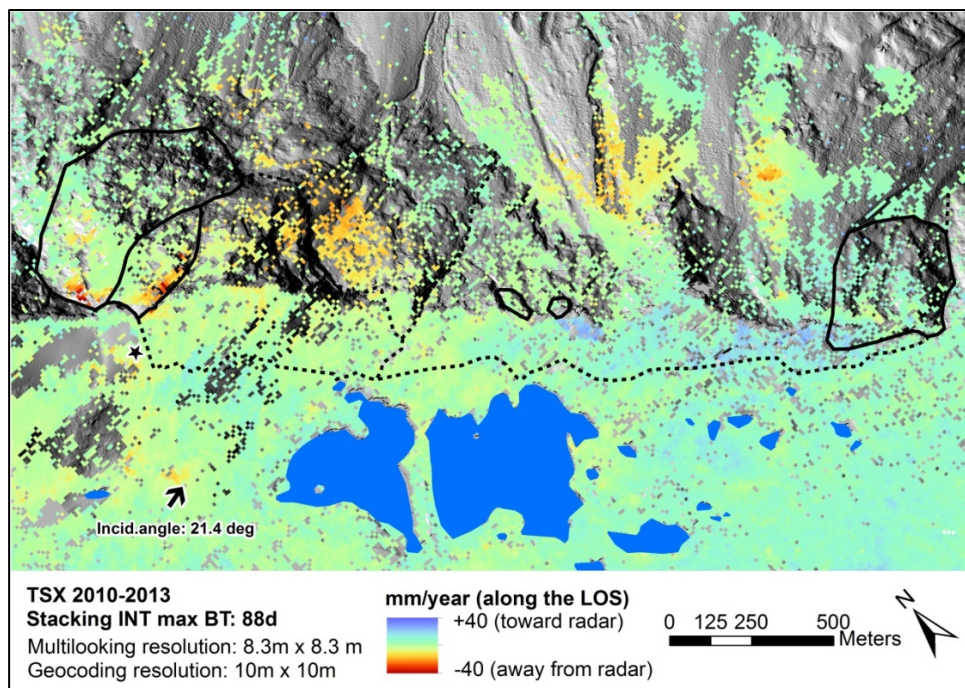
## 4 STACKING OG SBAS RESULTATER

Dette kapittelet beskriver InSAR resultatene som har blitt prosessert med Stacking og SBAS metoder. Det trengs Stacking for å prosessere alle interferogramer tilsammen når det ikke er noen kobling mellom år. Resultatene blir uttrykt i form av deformasjonskart (kapittel 4.1) og profiler (kapittel 4.2). For å få tidsserier kan SBAS metoden anvendes på et koblet datasett (innad i et år). Året med de fleste interferogramer (2013) ble valgt ut i dette tilfellet (kapittel 4.3). For mer teoretisk informasjon om prosessering, se kapittel 2 i Norut rapport 05/2013.

### 4.1 DEFORMASJONSKART

TSX Stacking resultatene fremhever fem hovedelementer (Figur 7):

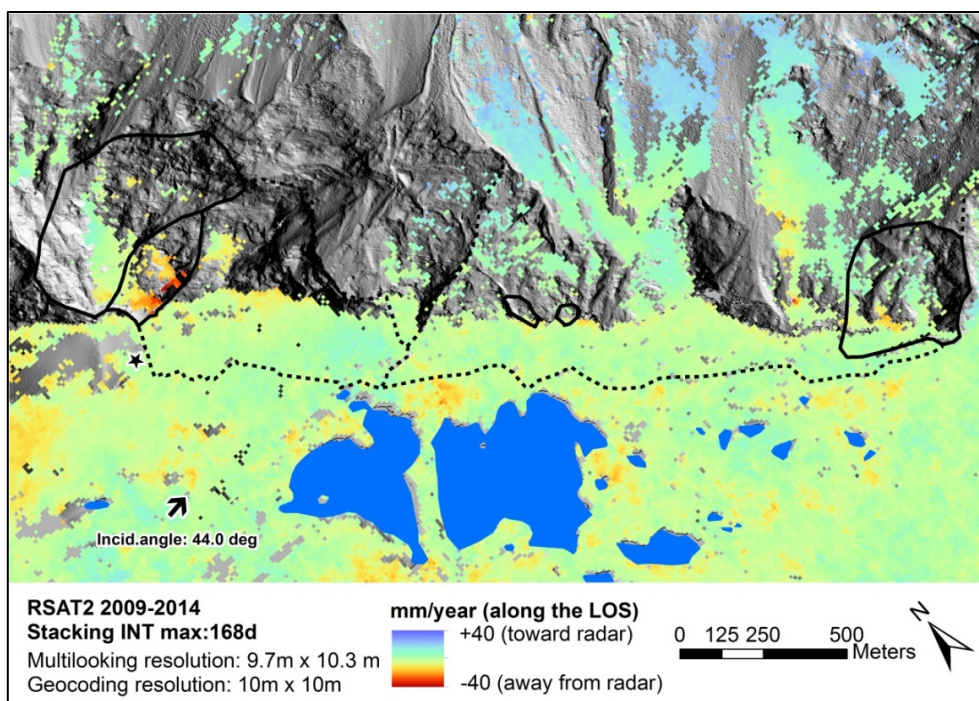
1. Bevegelser over 58 mm/år på den vestlige avgrensingen av Mannen skredet. Det nevnes nå som Veslemannen (Skrede, et al., 2015);
2. Bevegelser opp mot 39 mm/år på den sørlige avgrensningen av Mannen skredet;
3. Bevegelser opp mot 28 mm/år i området som er blitt plassert utenfor de ustabile områdene, sør-øst for Mannen avgrensningen. I dette området er det bevist 'rock slope breathing' (Rouyet, et al., 2015 [submitted]);
4. Bevegelser opp mot 26 mm/år på Børa skråningen. Signifikante erosjonsprosesser påvirker dette området;
5. Noen variasjoner med bevegelser oppover, er synlige på plataet. De kan delvis være på grunn av ukorrigerede fasekomponenter, eller referansepunkt som ikke er stabilt.



Figur 7: TSX deformasjonskart fra flerårig Stacking prosessering (gjennomsnittlig årlig hastighet fra 57 interferogramer i 4 år, maksimal temporal baseline = 88 dager).

I forhold til TSX blir ulike elementer fremhevet ved bruk av RSAT-2 (Figur 8):

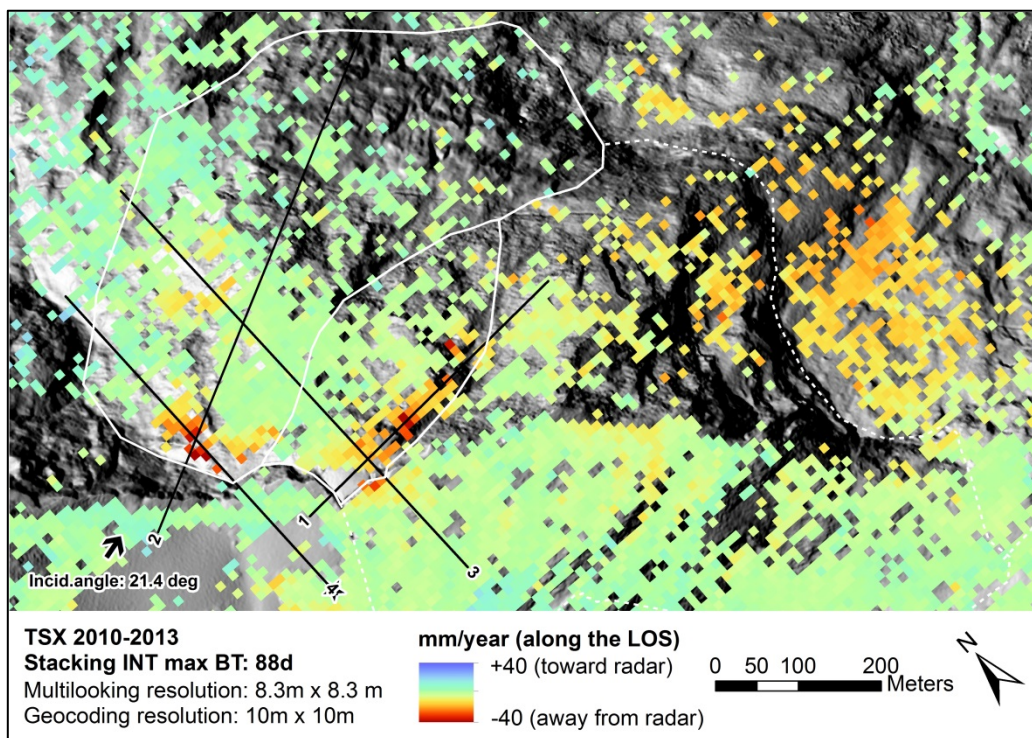
1. Ingen informasjon er tilgjengelig på Veslemannen fordi området er i skyggen for RSAT-2 (se Figur 6);
2. Bevegelser opp mot 40 mm/år på den sørlige kanten av Mannen skredet;
3. Ingen informasjon er tilgjengelig i området med bevis for 'rock slope breathing' fordi området er i skyggen for RSAT-2 (se Figur 6);
4. Nedad- og oppadgående bevegelser ble oppdaget på Børa skråningen. Signifikante erosjonsprosesser påvirker dette området;
5. Noen variasjoner på platået og på skråningen er sannsynligvis på grunn av ukorrigert fasekomponenter, eller referansepunkt som ikke er stabilt.



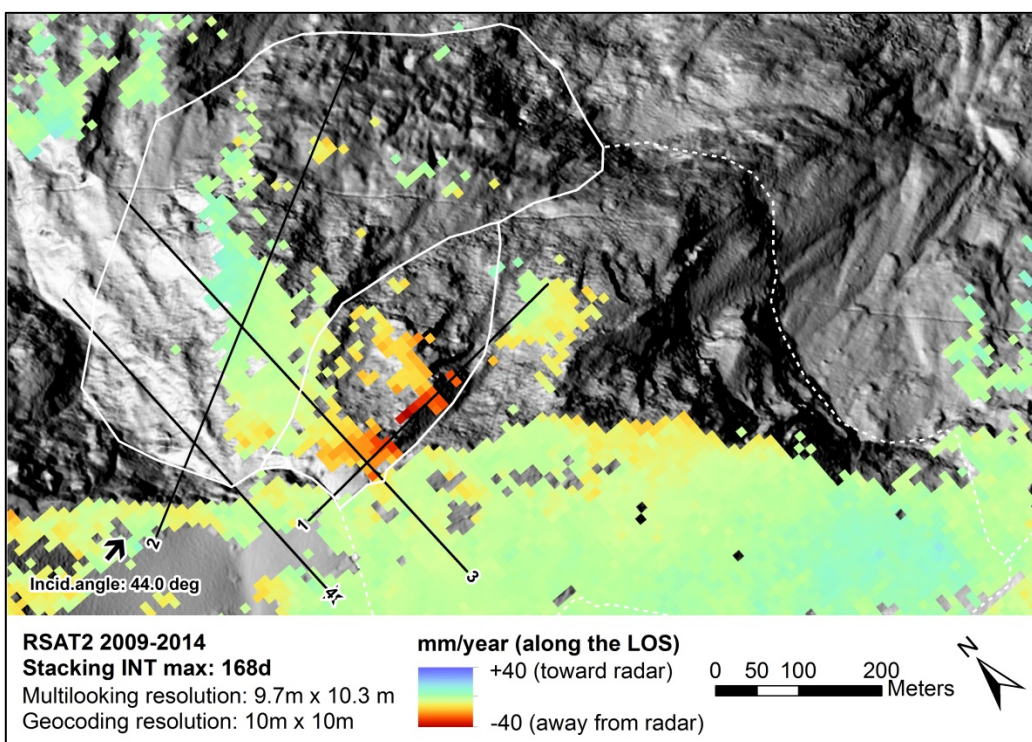
**Figur 8: RSAT-2 deformasjonskart fra flerårig Stacking prosessering (gjennomsnittlig årlig hastighet fra 68 interferogramer i 6 år, maksimal temporal baseline = 168 dager).**

Punktene 1–3 er det viktigste fokuset i denne rapporten og kan ses mer i detalj ved forstørrelse av det ustabile hovedområdet på Mannen (Figur 9 og Figur 10).

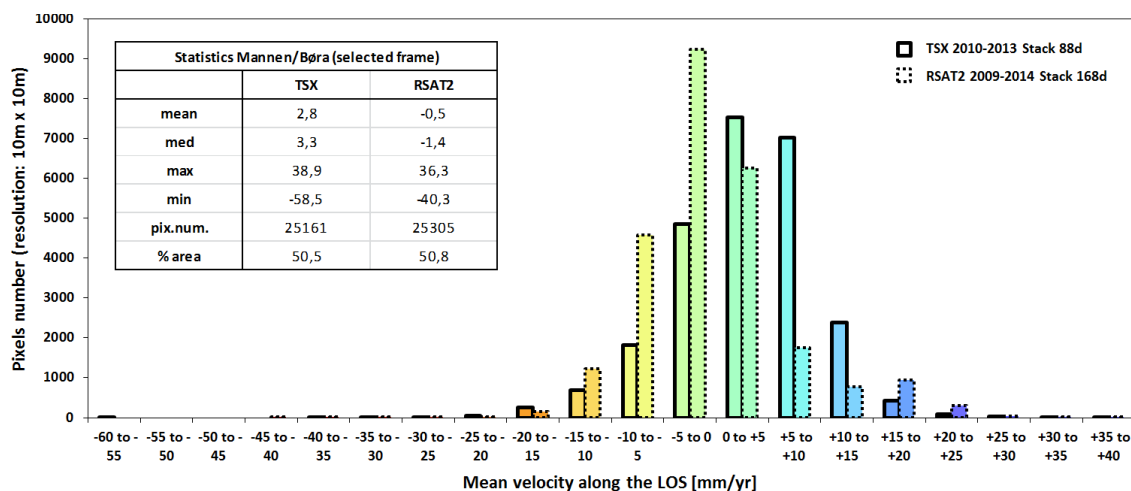
Figur 11 og Figur 12 viser statistikk og histogrammer av gjennomsnittlige hastighetsverdier både på hele området og på det ustabile hovedområdet av Mannen. Verdiene er godt distribuert rundt null for begge satellittene. Maksimale bevegelsene finnes på Mannen, på Veslemannen for TSX (-58,5 mm/år) og på den sørlige avgrensningen for RSAT-2 (40,3 mm/år).



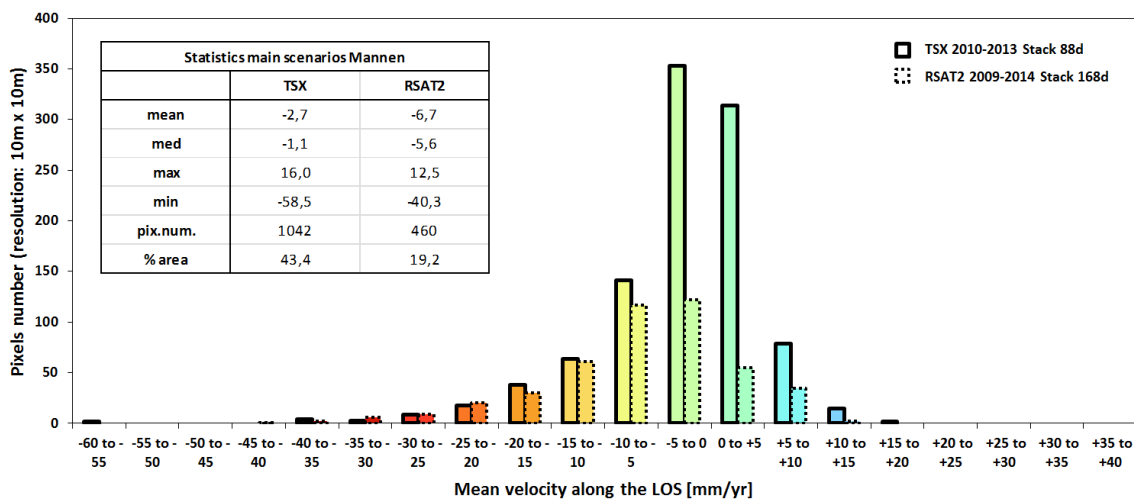
**Figur 9: Forstørrelse av det ustabile hovedområdet på Mannen: TSX deformasjonskart fra flerårig Stacking prosessering (se større utstrekning i Figur 7).**



**Figur 10: Forstørrelse av det ustabile hovedområdet på Mannen: RSAT-2 deformasjonskart fra flerårig Stacking prosessering (se større utstrekning i Figur 8).**



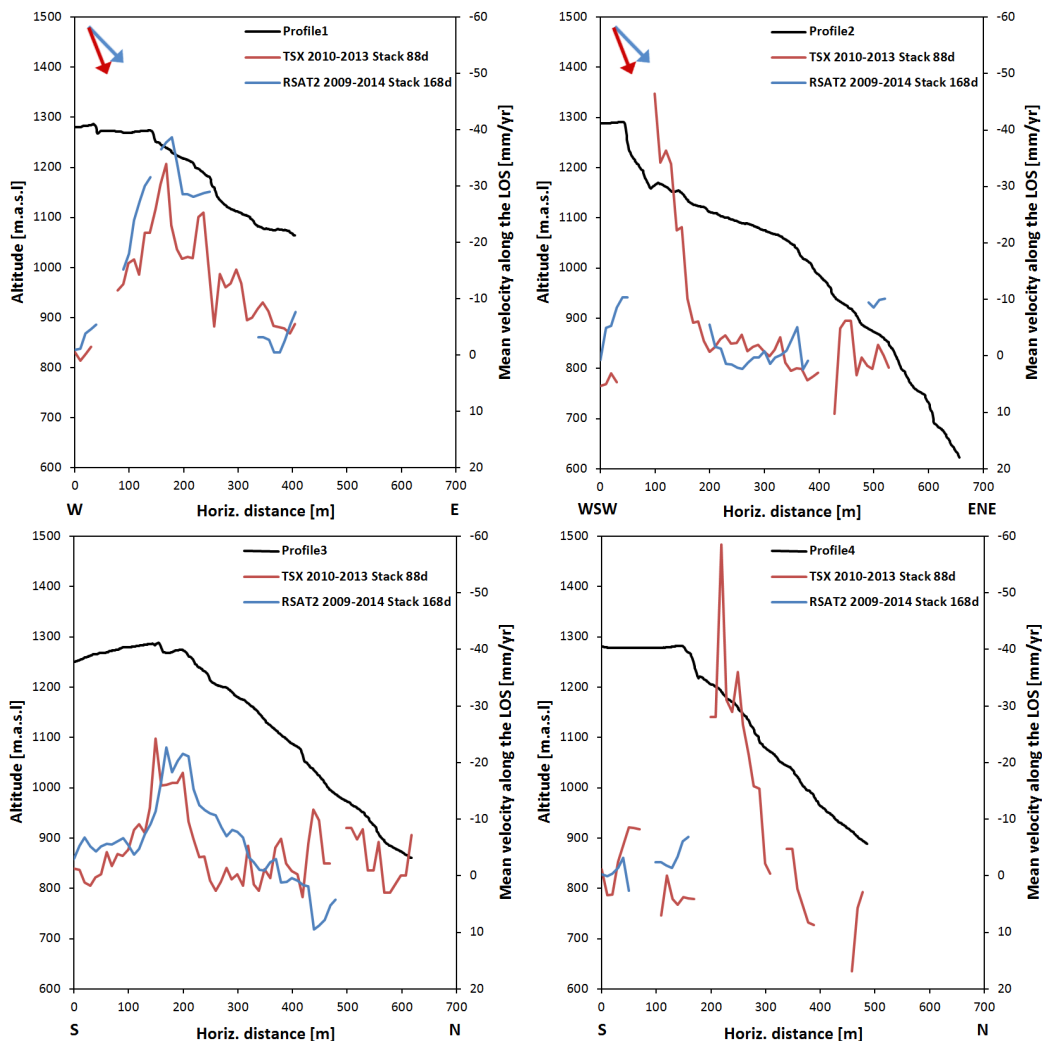
Figur 11: Statistikk og histogram av gjennomsnittlige hastighetsverdier (flerårig Stacking prosessering) av hele området (vises i Figur 7 og Figur 8).



Figur 12: Statistikk og histogram av gjennomsnittlige hastighetsverdier (flerårig Stacking prosessering) på det ustabile hovedområdet (i sammenhengende linjer i Figur 9 og Figur 10)

## 4.2 PROFILER

Profiler er nyttige for å illustrere hvordan den gjennomsnittlige hastigheten varierer i forhold til topografien. Plasseringen av profiler vises i Figur 3, Figur 9 og Figur 10. Fire profiler ble laget gjennom de hovedområdene som viser bevegelser (Figur 13). Profilene 1 og 2 orienteres fra vest til øst mens profilene 3 og 4 er fra sør til nord. Det svarer til de to hovedbevegelsesretningene dokumentert ved hjelp av GPS. Med unntak av Veslemannen som er i skyggeområdet for RSAT-2, viser profilene et godt samsvar mellom de to satellittene. Variasjonene kan forklares med forskjellen av LOS-vinkel. På denne måten er profilen 3 et godt eksempel: TSX oppdager større bevegelser ved baksprekken på grunn av større vertikalkomponent og mindre bevegelser i nedre deler av skredet, der RSAT-2 bedre fanger opp horisontalkomponenten.

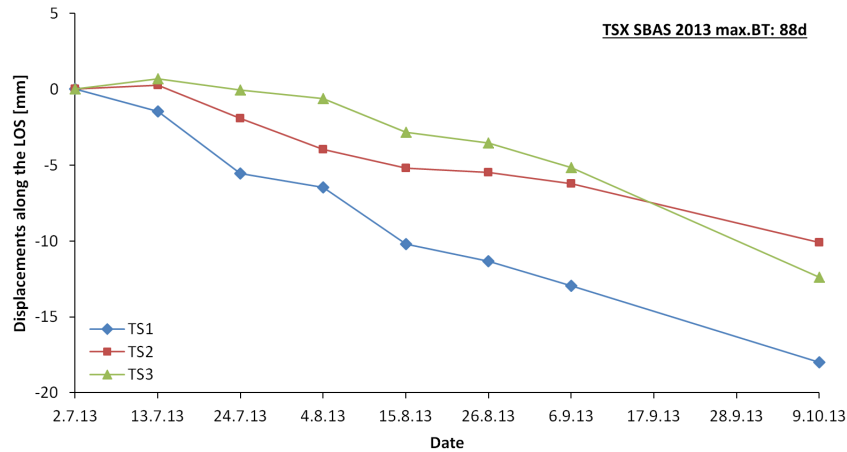


**Figur 13: Topografiprofiler 1–4 med gjennomsnittlig hastighet oppdaget ved bruk av TSX og RSAT-2 (flerårig Stacking prosessering). Plassering vises på Figur 3, Figur 9 og Figur 10.**

### 4.3 TIDSSERIER

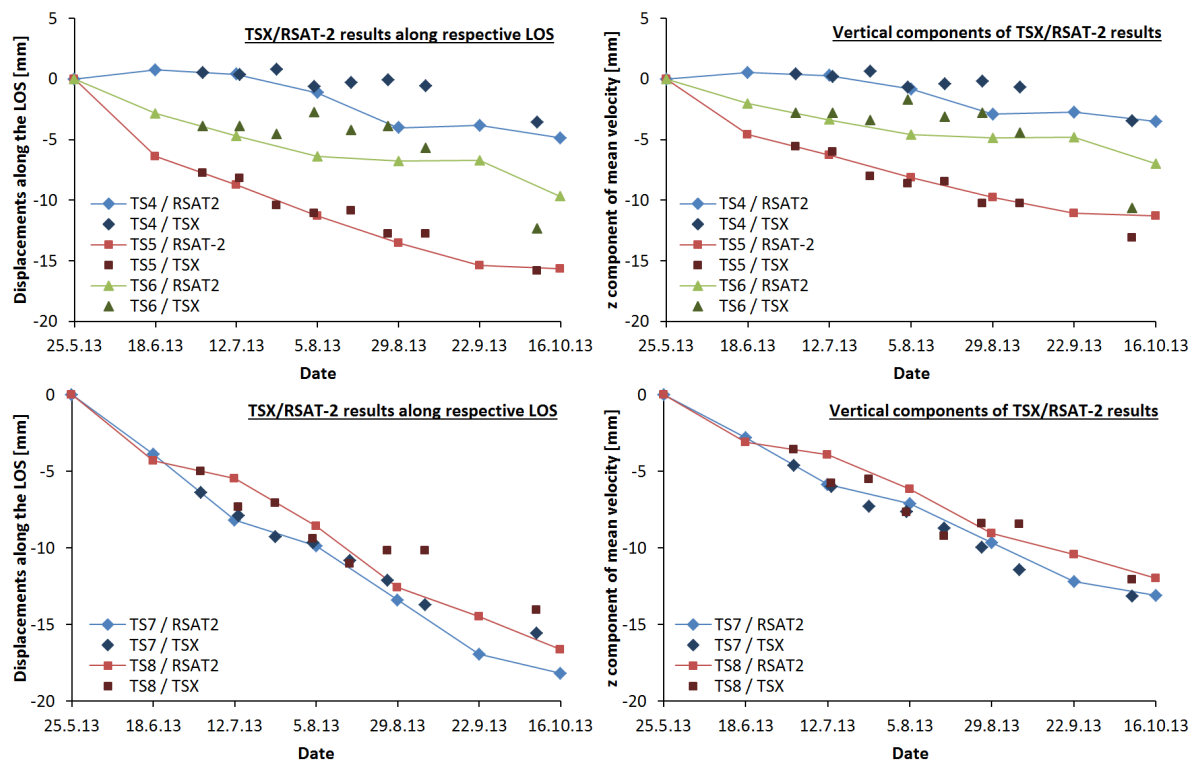
For å bruke SBAS for å prosessere tidsserier må interferogramene kobles sammen til et sett. Et år med godt kvalitet av interferogramer velges ut. Det beste året er 2013, som inkluderer 27 utvalgte interferogramer for TSX og 21 for RSAT-2. Resultatene i form av deformasjonskart (Figur 21 - Figur 24 i vedlegg) viser mer støy for SBAS enn for Stacking, på grunn av mengden interferogramer. Det tillater uansett å få informasjon om den temporale utviklingen på forskjellige steder i studieområdet. Plasseringen av punktene 1–15 vises på Figur 3. Punktene 1–3 er på Veslemannen, punktene 4–6 ved bakksprekken, punktene 7–8 nede på det ustabile hovedområdet av Mannen, punktene 9–15 på området påvirket av ‘rock slope breathing’.

Figur 14 viser store bevegelser på Veslemannen i 2013 med en nedgang fra topp til bunn (punktet 1 til 3). Tidsseriene er ganske lineære med forskjellige små trender i henhold til punktene.



Figur 14: SBAS tidsserier på punktene 1–3 ved bruk av TSX data (plassering på Figur 3).

Figur 15 viser tidsserier på punktene 4–8 for begge satellittene langs deres respektive LOS (til venstre) og etter konvertering til vertikale komponenten for lettere sammenligning (til høyre). Tilsvarende hastigheter og generelle trender vises.

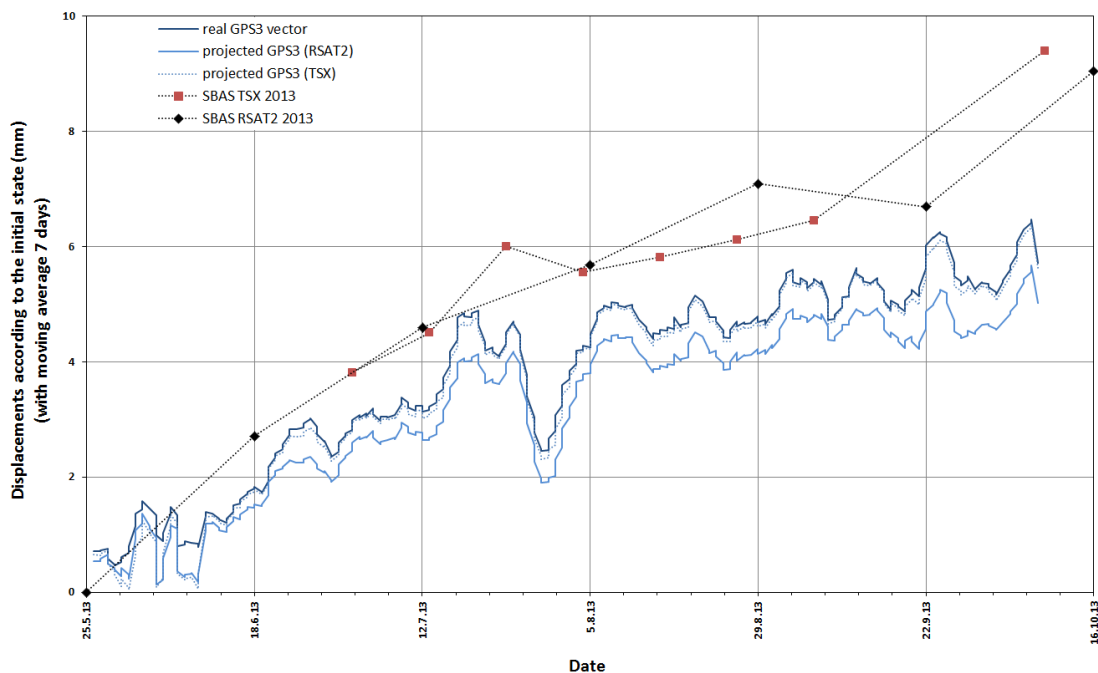


Figur 15: SBAS tidsserier på punktene 4–8 ved bruk av TSX og RSAT-2 data (plassering på Figur 3). TSX resultatene blir forskjøvet for å sammenligne med RSAT-2. Grafene til venstre viser vertikale komponentene på grunn av sammenligning.

I det samme området står GPS3 som måler de raskeste deformasjonene på Mannen. Verdier for sommer 2013 blir sammenlignet med InSAR resultatene og vist i Figur 16. Trenden er ganske lik med raskere deformasjon mellom slutten av mai og midten av juli enn på slutten av perioden. Det virker som om satellittene overestimerer bevegelsene litt

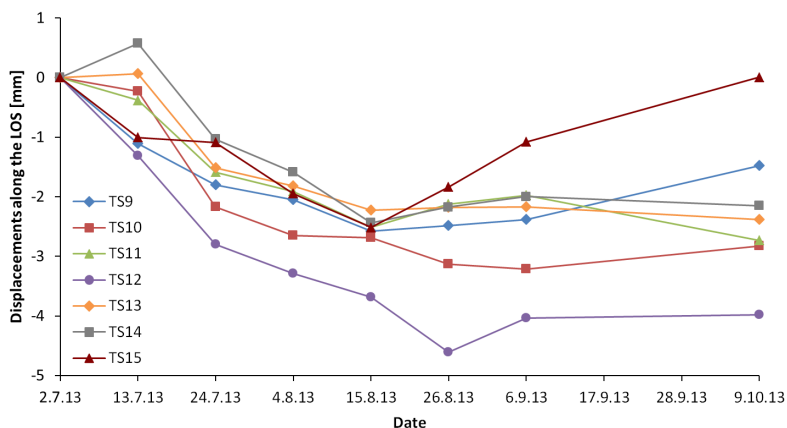


i forhold til GPS. Det kan være på grunn av forskjellen i romlig oppløsningen av de to instrumentene (punktmåling for GPS vs. ca. 10 m romlig oppløsning for satellitt). Økningen i oktober ble oppdaget av de to satellittene. Det kan være reelle bevegelser men også delvis et artefakt av prosessering i forbindelse med vanskeligheten i å gjennomføre den temporale filtreringen på slutten av serien. Det skulle være sammenligne videre med GPS data (ikke tilgjengelig på Norut etter begynnelsen av oktober).



**Figur 16: SBAS tidsserier ved bruk av TSX og RSAT-2 data sammenlignet med data målt ved kontinuerlig GPS3 (plassering på Figur 3).**

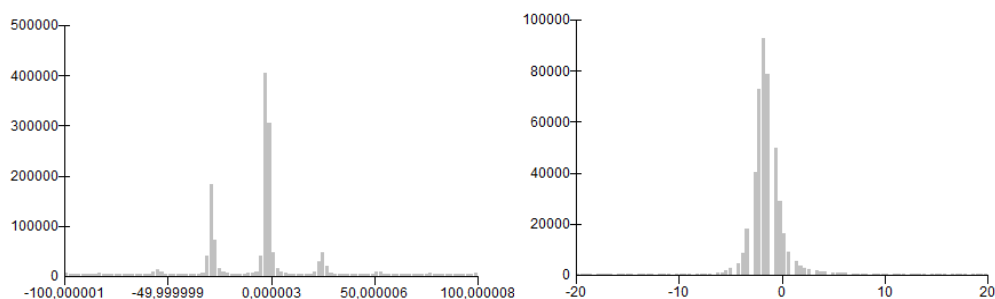
Figur 17 viser tidsseriene for de forskjellige punktene på området som viser ‘rock slope breathing’ og som har blitt dokumentert med GB-InSAR (Rouyet, et al., 2015 [submitted]). Selv om satellitt-LOS har dårligere LOS enn GB-InSAR viser også tidsseriene at en inversjon av bevegelser oppstår i midten av sommer.



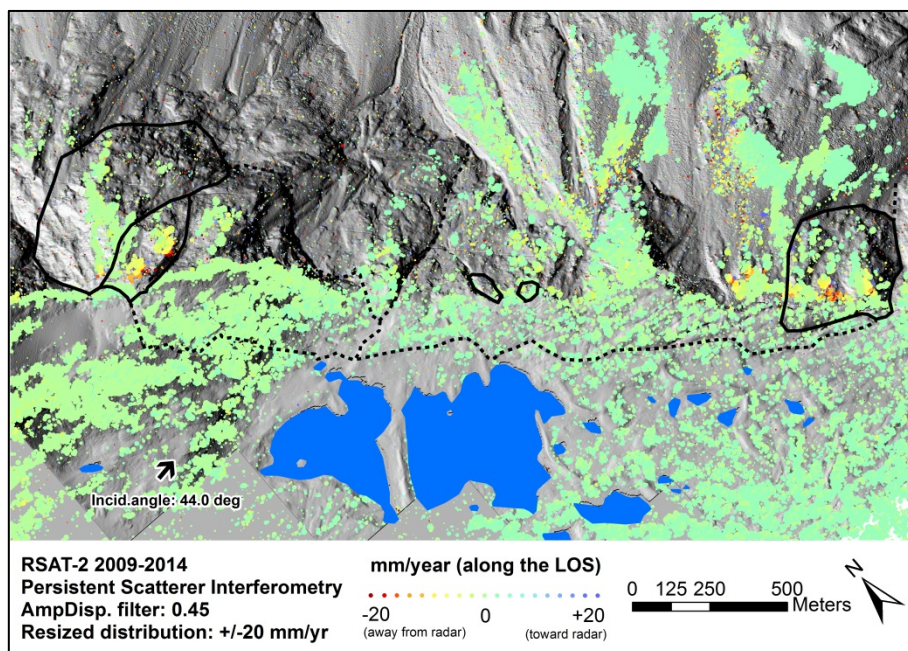
**Figur 17: SBAS tidsserier på punktene 9–15 ved bruk av TSX data (plassering på Figur 3).**

## 5 PSI RESULTATER

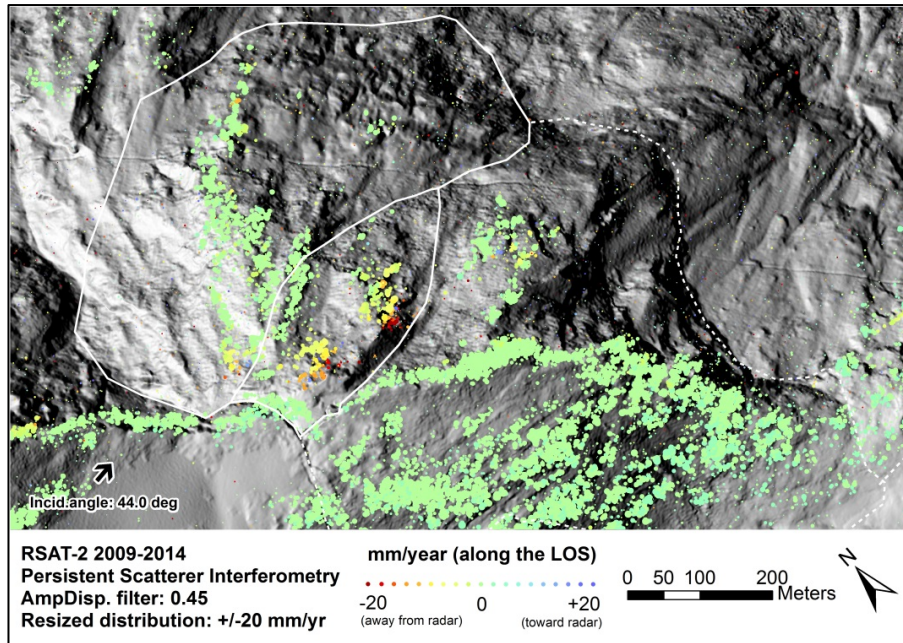
PSI resultatene for begge satellittene påvirkes av en fasetvetydighet som kommer av ikke regulær opptaksfrekvens (kan ikke måle om vinteren). Problemet er større for TSX som har en kortere bølgelengde. Av den grunn blir TSX resultatene ikke presentert her. For RSAT-2 viser Figur 18 distribusjonen av resultatene for alle punkter som ble funnet i prosessering (til venstre). De forskjellige toppene blir atskilt av halve bølgelengden til sensoren (27 mm). For å vise verdiene som blir sannsynligvis ikke påvirket av dette skiftet har alle punktene med hastighet > 20 mm/år blitt fjernet (Figur 18, til høyre). Deformasjonskart i stor utstrekning og en forstørrelse av det ustabile hovedområdet vises i Figur 19 og Figur 20. De generelle romlige mønstrene tilsvarer de forrige Stacking resultatene, men vi har ingen informasjon om områder som beveger seg raskere enn 20 mm/år.



**Figur 18: Histogrammer av gjennomsnittlig hastighetsverdier av PSI resultatene. Til høyre: initial distribusjonen som viser problemet med fasetvetydigheten. Til venstre: den nye distribusjonen etter fjerning av punktene med hastighet > 20 mm/år.**



**Figur 19: RSAT-2 deformasjonskart fra PSI prosessering (i henhold til Figur 18 har alle punktene med hastighet > 20 mm/år blitt fjernet).**



**Figur 20:** Forstørrelse av det ustabile hovedområdet på Mannen: RSAT-2 deformasjonskart fra PSI prosessering (se større utstrekning i Figur 19).

## 6 DISKUSJON & KONKLUSJON

InSAR resultatene på Mannen/Børa presentert i denne rapporten er utfyllende informasjon til Norut Rapporten 05/2013 (Rouyet, et al., 2013). Nye bilder for RSAT-2 og oppdateringene av GSAR programvaren har gitt Stacking resultater med mindre påvirkning av støy. I tillegg gjorde SBAS prosessering ved bruk av bilder fra 2013 det mulig å få fram tidsserier. Både de romlige og temporale mønstrene stemmer bra med annen tilgjengelig informasjon (fra in situ instrumentene og GB-InSAR). PSI resultatene fremhever samme problemet som i den forrige rapporten, men viser generelt de samme romlige mønstrene som Stacking resultatene. På Veslemannen, som var et stort fokus for NVE i 2014, klarer RSAT-2 ikke å gi ekstra informasjon på grunn av bratt terreng og radarskygge. TSX resultatene dokumenter dette området og antyder at det var aktivt før 2014. Vi anbefaler å ta opp nye data med TerraSAR-X i dette området.

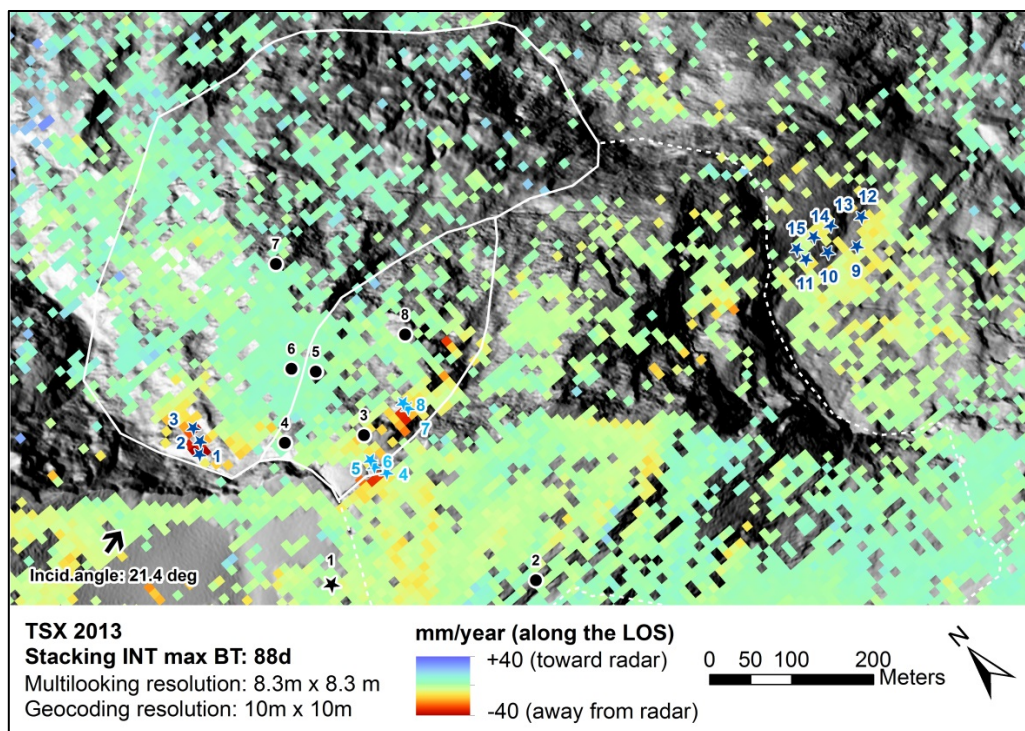
## 7 REFERANSER

Rouyet, L., Lauknes, T. R., Dehls, J. 2013. SBAS and PS InSAR Processing of Mannen rockslide using RADARSAT-2 (2009-2014) and TerraSAR-X/TanDEM-X (2010-2013) satellite data. Report 05/2013. Norut.

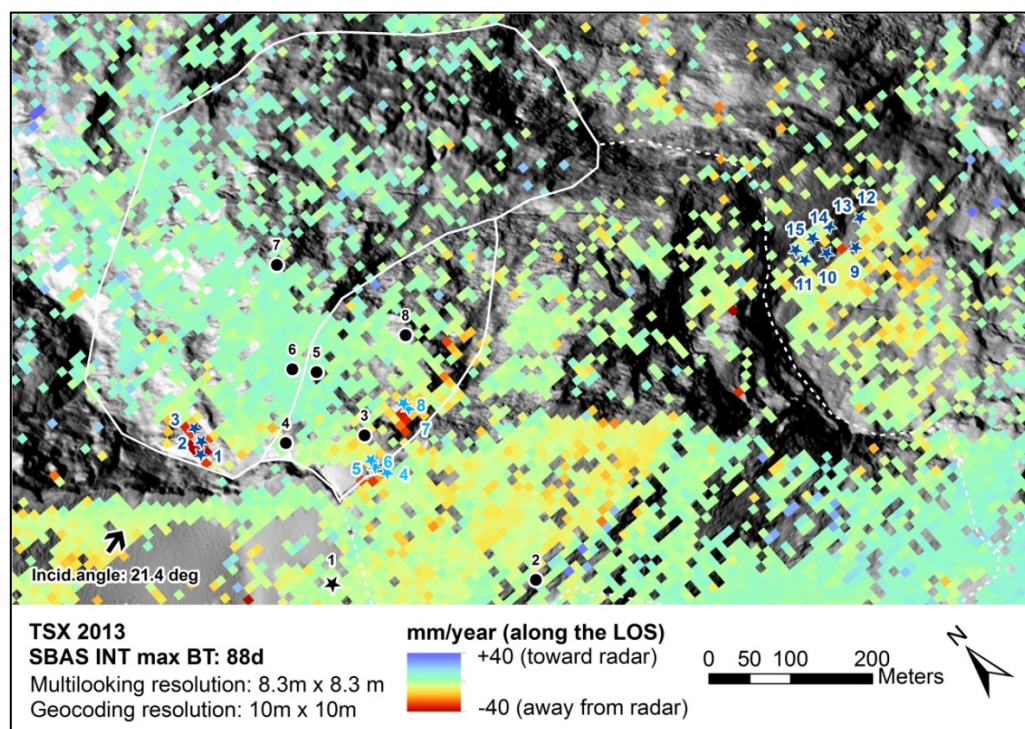
Rouyet, L., Kristensen, L., Derron, M.-H., Michoud, C., Blikra, L.-H., Jaboyedoff, M. & Lauknes, T. R. 2015 [submitted]. Evidence of rock slope breathing using Ground-Based InSAR. *Geomorphology*.

Skrede, I., Kristensen, L., Hole, J. 2015. Geologisk evaluering av Veslemannen – eit mindre fjellskred i utvikling. Rapport nr 41-2015. Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).

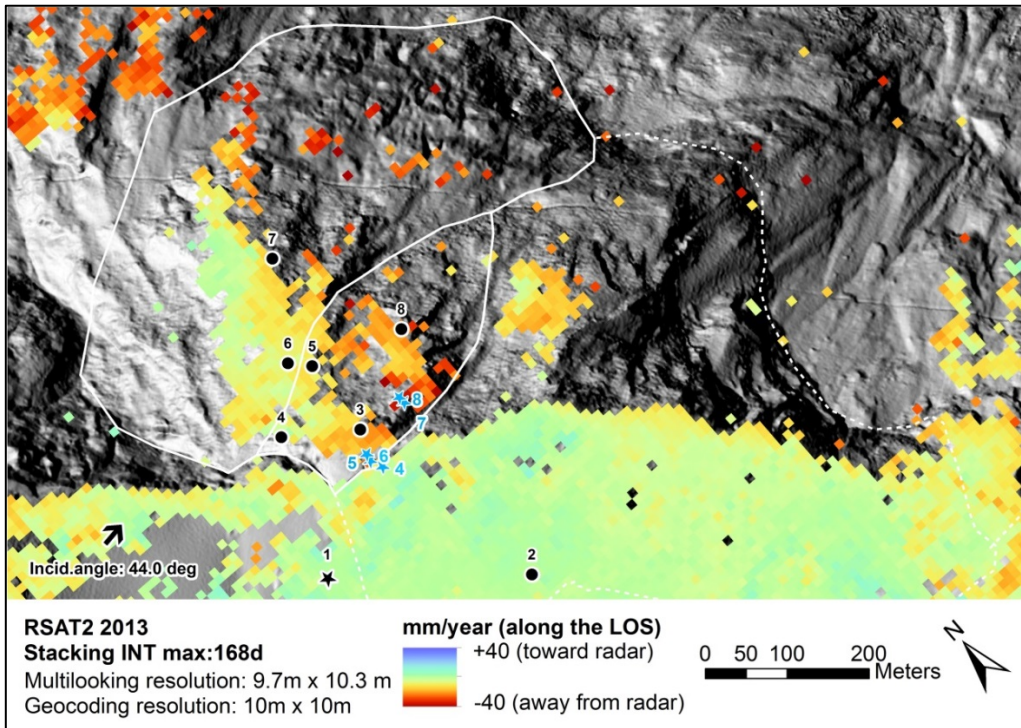
## 8 VEDLEGG



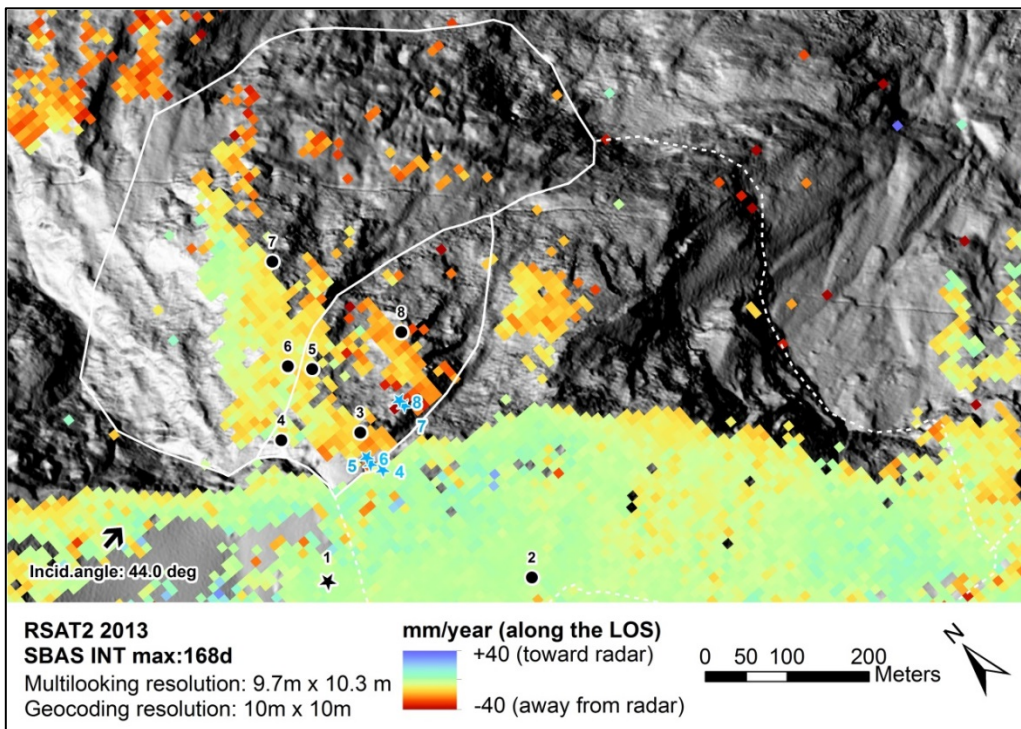
Figur 21: TSX deformasjonskart fra 1 år (2013) Stacking prosessering (27 interferogramer, maksimal temporal baseline = 88 dager).



Figur 22: TSX deformasjonskart fra 1 år (2013) SBAS prosessering (27 interferogramer, maksimal temporal baseline = 88 dager).



Figur 23: RSAT-2 deformasjonskart fra 1 år (2013) Stacking prosessering (21 interferogramer, maksimal temporal baseline = 88 dager).



Figur 24: RSAT-2 deformasjonskart fra 1 år (2013) SBAS prosessering (21 interferogramer, maksimal temporal baseline = 88 dager).