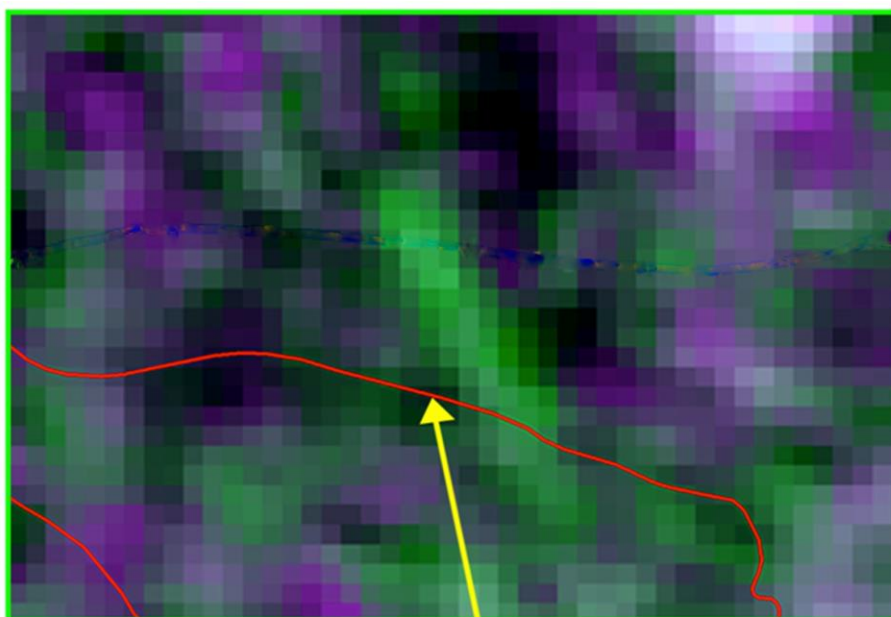


RAPPORT

2/2016
ISBN 978-82-7492-324-9
ISSN 1890-5226

DETEKSJON AV SØRPEKRED MED RADARSATELLITT

Utredning av muligheter basert på SAR data fra reelle sørpeskred



Forfatter: Eirik Malnes, Markus Eckerstorfer og Monica Sund

PROSJEKTNAVN: Sørpeskred

Prosjektnr.: 608

OPPDRAGSGIVER: NVE

Oppdragsgivers ref.: MOSU/HF

Dokumentnr.: 2/2016

Dokumenttype:

Status: Åpen

ISBN: **978-82-7492-324-9**

ISSN: **1890-5226**

Ant. Sider: 41

Prosjektleder: Eirik Malnes

Dato: 21.01.2016

FORFATTER (E): Eirik Malnes, Markus Eckerstorfer og Monica Sund

TITTEL: Deteksjon av Sørpeskred med radarsatellitt

Resymé / Summary:

Rapporten utreder mulighetene for å bruke radarsatellitter til å detektere sørpeskred. Dette ble gjort ved å analysere tilgjengelige bilder fra sensorene, Sentinel-1A, Radarsat-2 og Envisat ASAR for kjente skredposisjoner og tidspunkt i perioden 2010-2015 (i hovedsak samlet inn av jordskredvarslinga i NVE).

Rapporten konkluderer med at det er mulig å detektere forholdsvis store sørpeskred gitt at datagrunnlaget er godt. Her forutsettes det at SAR bildene må ha god oppløsning i forhold til størrelsen på skredet, samt at bildene må være tatt forholdsvis kort tid etter skredhendelsen. Det bør også forefinnes referansebilder tatt med samme SAR geometri for å kunne gjøre endringsdeteksjon. Automatisert deteksjon ansees å være vanskelig på nåværende tidspunkt.

Emneord: Sørpeskred, SAR, deteksjon, Sentinel-1

Noter:

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

Innhold

1	INNLEDNING	2
1.1	OPPDRAGET FRA NVE	2
1.2	SØRPESKRED.....	2
2	FJERNMÅLING AV SØRPESKRED.....	3
2.1	LITTERATURSTUDIE	3
2.2	METODER FOR DETEKSJON AV SØRPESKRED	3
2.2.1	<i>Interferometri</i>	4
2.2.2	<i>Radar backscatter analyse</i>	4
3	METODER	5
3.1	PROSESSERING AV SAR BILDER	5
3.1.1	<i>Endrings deteksjon</i>	5
4	RESULTATER	7
4.1	OVERSIKT OVER SØRPESKREDHENDELSER	7
4.2	DETEKSJON AV SØRPESKRED MED SENTINEL-1A	8
4.2.1	<i>Sørpekred #1</i>	9
4.2.2	<i>Sørpekred #2</i>	10
4.2.3	<i>Sørpekred #3</i>	11
4.2.4	<i>Sørpekred #4</i>	12
4.2.5	<i>Sørpekred #5</i>	13
4.2.6	<i>Sørpekred #6</i>	14
4.2.7	<i>Sørpekred #7</i>	15
4.2.8	<i>Sørpekred #8</i>	16
4.2.9	<i>Sørpekred #9</i>	17
4.2.10	<i>Sørpekred #10</i>	18
4.2.11	<i>Sørpekred #11</i>	19
4.2.12	<i>Sørpekred #12</i>	20
4.2.13	<i>Sørpekred #13</i>	21
4.3	DETEKSJON AV SØRPESKRED MED RADARSAT-2	22
4.3.1	<i>Sørpekred #25</i>	23
4.3.2	<i>Sørpekred #30</i>	24
4.3.3	<i>Sørpekred #32</i>	25
4.4	DETEKSJON AV SØRPESKRED MED ENVISAT ASAR.....	26
4.4.1	<i>Sørpekred #39&40</i>	27
4.4.2	<i>Sørpekred #51</i>	27
4.4.3	<i>Sørpekred #53</i>	28
4.4.4	<i>Sørpekred #54</i>	30
4.4.5	<i>Sørpekred #55</i>	31
4.4.6	<i>Sørpekred #56</i>	31
4.4.7	<i>Sørpekred #57</i>	33
4.4.8	<i>Sørpekred #59</i>	33
4.4.9	<i>Sørpekred #64</i>	35
5	DISKUSJON	36
5.1	DETEKSJON AV SØRPESKRED MED CHANGE DETECTION	36

5.1.1	<i>Sentinel-1A</i>	36
5.1.2	<i>Radarsat-2</i>	37
5.1.3	<i>Envisat ASAR</i>	38
5.2	DETEKSJON AV SØRPESKRED MED INTERFEROMETRI.....	39
5.3	AUTOMATISK DETEKSJON AV SØRPESKRED MED CHANGE DETECTION	39
6	KONKLUSJON	39
7	REFERANSER	41

1 INNLEDNING

1.1 OPPDRAGET FRA NVE

Denne rapporten er skrevet på oppdrag av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) basert på kontrakt undertegnet 9. november 2015.

Oppdraget fra NVE er :

Norut skal teste ut muligheter for å detektere sørpeskred ved hjelp av radarsatellitter. Dette gjøres ved å analysere tilgjengelige bilder fra sensorene, Sentinel-1A, Radarsat-2 og Envisat ASAR for kjente skredposisjoner og tidspunkt i perioden 2010-2015 (i hovedsak samlet inn av jordskredvarslinga i NVE). Norut skal teste ut ulike deteksjonsmetoder innenfor automatisk deteksjon, spesielt med tanke på bruk av Sentinel-1. Hvis Sentinel-1 data viser seg å ikke kunne brukes, skal data fra andre sensorer (Radarsat-2 høyoppløste modi eller Envisat ASAR) brukes til å detektere kjente sørpeskred av større omfang i perioden 2000-2014.

1.2 SØRPESKRED

Sørpeskred – flytende masser av vann og snø – er en stor fare i Norge (Hestnes and Bakkehøi, 2004). Sørpeskred har stort skadepotensial på infrastruktur og mennesker fordi massene har stor tetthet. Sørpeskred kan forekomme alle steder i Norge, men kyst- og fjordstrøkene er mest utsatt (NGI, 2014).

For at sørpeskred skal bli utløst trengs det stor tilførsel av vann til snødekke. Det skjer enten som følge av intenst regn eller av snøsmelting, eller en kombinasjon av begge. Sørpeskred kan derfor forekomme hele vinteren (NGI, 2014).

Lokalt sett, er fjellsider med svaberg og bare fjelloverflater er mest utsatt for sørpeskredaktivitet. Utløsningsområdene ofte er forsenkninger og myrer som samler vann. Sørpeskred løsner som oftest langs bekke- eller elveløp, der det samles opp vann. Det forutsetter at terreng er slakt med helning mellom 5-25°, i motsetning til andre skredtyper (Hestnes, 1998). I tillegg utløses sørpeskred helst i terreng som vender mot vinden, fordi vinden tilfører varme. I fjellsider som vender mot vinden regner det også mest, og det øker sannsynligheten for sørpeskred (Hestnes, 1998). Regionalt sett er også tele i bakken og høy grunnvannstand avgjørende til sørpeskredaktivitet.



Figur 1-1: Sørpeskred på Larsbreen på Svalbard, 26 Juni 2004. Photo: ME

2 FJERNMÅLING AV SØRPESKRED

2.1 LITTERATURSTUDIE

Det fins ingen vitenskapelig litteratur om fjernmåling av sørpeskred. Et litteratursøk ga kun ett relevant treff. Wikström (2012) forsket på potensial av SAR deteksjon av små sørpeskred i en BSc-oppgave. Hun brukte Radarsat-1 FN1 mode data (6.25 m romlig oppløsning) og konkluderte at oppløsningen var for dårlig for deteksjon av små sørpeskred.

I en litt bredere kontekst er arbeid med fjernmåling av snøskred, både våt- og tørrsnøskred, relevant. En aktuelt studie fra Eckerstorfer et al. (2016) vurderer potensialet til ulike satellittbaserte sensorer i deteksjon av snøskred. Forfatterne konkluderer at satellittbaserte radarsensorer er det beste valget, siden særlig SAR sensorer har høyt romlig oppløsning og gir mulighet for 'all-weather' overvåking. Eckerstorfer et al. (2016) konkluderer videre at Sentinel-1A og Sentinel-1B (fra 2016) vil kunne brukes til operasjonelt overvåking av skredaktivitet på grunn av hyppig og stort dekning og gratis datatilgang.

2.2 METODER FOR DETEKSJON AV SØRPESKRED

SAR (Syntetisk Aperture Radar) er en avbildende radar med høy romlig oppløsning. To fysiske egenskaper kan måles med SAR: Radarfase og radar tilbakespredning (radar backscatter). Radarfase gir informasjon om tidsdifferanse mellom utsendt og innkommende signal, mens radar backscatter er et mål for hvor mye energi som spres

tilbake fra bakken. For å analysere de to egenskapene benyttes to temmelig forskjellige analysemetoder (hhv. interferometri og radar backscatter analyse).

2.2.1 INTERFEROMETRI

Interferometri måler endring i fase for to SAR bilder med samme radargeometri. Et interferogram viser hvordan fasen har endret seg mellom to SAR bilder. En viktig forutsetning for at interferometri skal virke er at fasen ikke endrer seg for mye mellom to avbildninger (helst ikke mer enn ca $\frac{1}{4}$ bølgelengde, tilsvarende 1 cm for C-bånd). I tillegg bør det være romlig koherens mellom de to bildene. Snø er imidlertid ikke gunstig i interferometri-sammenheng siden det fører til dekorrelasjon. Martinez-Vazquez and Fortuny-Guasch (2008) brukte en LISA (linear SAR) bakke basert SAR for å detektere snøskred. I denne studien viste de at snøskred representerer en fysisk endring i radar backscatter som resulterte i temporalt dekorrelasjon. Bakkebasert SAR har imidlertid mye hyppigere oppdateringsrate (noen minutter) sammenlignet med satellittbåren SAR (12 dager eller mer), og en forventer ikke å detektere snøskred med satellittbasert interferometri.

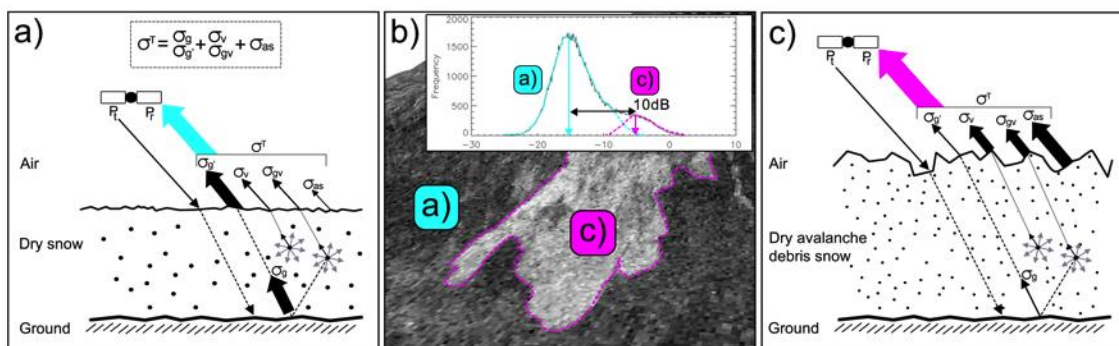
Det er vanskelig å se for seg en metode for å detektere sørpeskred med interferometri. For sørpeskredavsetninger kan man tenke seg at et interferometri-par med et bilde før skredet (sannsynligvis sommeren før) og et bilde etter skredet kan vise fase-endringer. En kan også tenke seg at koherensen for skredområdet endrer seg siden vegetasjonen sommeren før ofte skrelles bort av sørpeskred. Koherensen vil da være større etter skredet enn før skredet. Det vil likevel være vanskelig å skille om avsetningene er et resultat av et sørpe eller flomskred, med mindre man har tilleggsinformasjon. På grunn av omfanget av prosjektet ser vi ikke muligheter til å studere dette i denne omgangen.

2.2.2 RADAR BACKSCATTER ANALYSE

Radar backscatter fra snø kan modelleres som summen av bidragene fra spredning av signalet fra overflata, volum-spredning i snøpakken og fra spredning på bakken under snøen (Figur 2-1a). De fysiske snøegenskaper vil i stor grad påvirke radar signalet (Ulaby et al., 1986).

Snøskredavsetninger viser høyere overflateruhet, dypere snødybde, høyere snøtettheter og mindre kornstørrelser i kontrast til de omkringliggende snødekket. Snøskredavsetninger kan detekteres på grunn av økt radar backscatter (Figur 2-1a).

Eckerstorfer and Malnes (2015) utviklet en kvalitativ modell av radar backscatter fra både våt og tørr snøskredavsetning, basert på kvantifisering av tilbakespredning fra 467 manuell detekterte snøskred ved hjelp av C-bånd SAR data. De foreslo at høyere radar backscatter fra skredet for det meste stammer fra øket spredning i skred-overflata på grunn av økt overflateruhet. I Figur 2-1c viser vi radar backscatter fra et våtsnøskred og det omkringliggende uforstyrrede snødekket (Figur 2-1a). Snøskredavsetning viser høyere total backscatter og de to populasjonene avviker med 10dB (Figur 2-1b). Igjen er det imidlertid også betydelig overlapp mellom begge fordelinger med 6dB, noe som gjør feil-deteksjon mulig.



Figur 2-1: Fysisk modell av elektromagnetisk radar backscatter fra a) uforstyrret snø (Ulaby et al., 1986), og c) snø i snøskredavsetning (Eckerstorfer og Malnes, 2015). C-Band mikrobølger er ikke i stand til å penetrere gjennom våt snø betydelig. Således i tilfelle av våt snø, spredning på snøskred-overflata dominerer. b) Eksempel på et snøskred deteksjon ved hjelp av Sentinel-1A data. Histogrammet viser fordelingen av radar backscatter for uforstyrret snø (a) og snøskredavsetning (c). Middelerdien øker med 10dB, mens fordelingene overlapper med 6dB.

3 METODER

3.1 PROSESSERING AV SAR BILDER

Norut bruker sin egenutviklede GSAR programvare til å prosessere SAR bilder (Larsen et al., 2005). Denne er koblet til en database for satellittbilder. Når vi oppgir senterpunkt for skred (UTM-posisjon) og data, finner programvaren automatisk bildene som er nærmest i tid av skredet. Hvert bilde blir geokodet til UTM 33N med en oppløsning som er tilpasset sensor-moden og en utstrekning av 4x4km, sentrert rundt sørpeskredposisjon (Figur 3-1a). De geokodete bildene leveres i geotif-format. Vi bruker Kartverkets Norges DEM (20m horisontal oppløsning) for å terreng-korrigere og presisjons geokode bildene. I tillegg til geokodet radar backscatter (sigma) leveres også et maske-bilde som viser hvilke piksel som er affektet av layover og radarskygge (Figur 3-1b).

Vi brukte følgende sensorer for de ulike tidspunktene (Tabell 3-1):

Tabell 3-1: Satellittbaserte SAR sensorer brukt i prosjektet

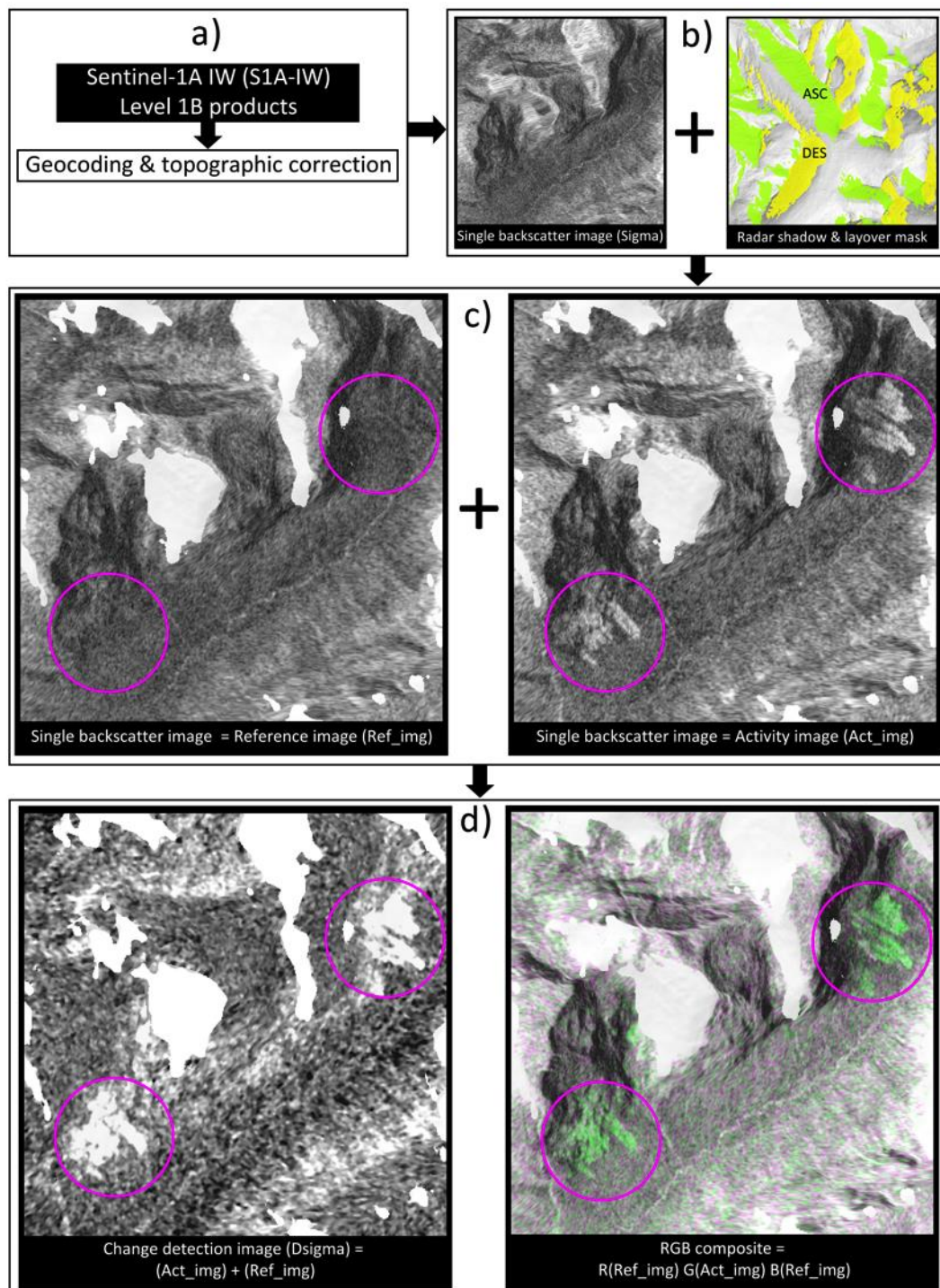
Perioden	Sensor	Romlig oppløsning	Polarisasjon
2010-2012	Envisat ASAR Wideswath	75m	VV, HH
2013	Radarsat-2 U & SCNA	3m & 25m	HH, HH, VH, VV
2014-2015	Sentinel-1A IWH	10m	VV, VH

3.1.1 ENDRINGS DETEKSJON

Wiesmann et al. (2001) var de første som viste potensialet til satellittbasert radardeteksjon av snøskred. De brukte en endringsdeteksjon metode (Figur 3-1c) for å detektere et snøskred med bruk av ERS ½ data. 'Change detection images' (dsigma) viser endring i radar backscatter mellom to SAR bilder med samme geometri, av hvilke det første bildet er et referansebilde uten snøskredaktivitet og den andre er en

aktivitetsbilde med snøskredaktivitet (Figur 3-1c, d). Siden snøskred betyr en økning og derfor forandring i radar backscatter, blir tungeformer synlige og kan detekteres.

For manuelt deteksjon, kompilerer vi RGB bilder med referansebilde i R og B kanal og aktivitetsbilde i G kanal. Snøskredene blir derimot synlig som grønne 'features' (Figur 3-1d).



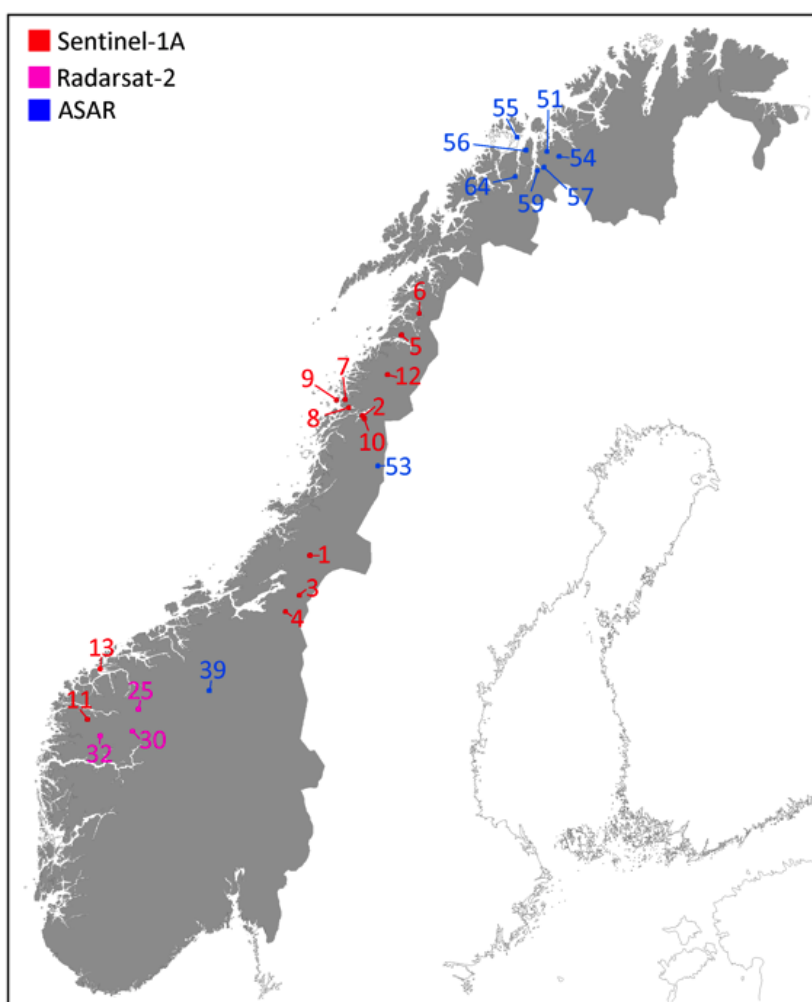
Figur 3-1: Workflow som viser metodikken vi bruker i prosjektet. a) Pre-prosessering av Sentinel-1A data som resulterer i b) single backscatter bilder (sigma) og tilsvarende mask filer. c) Input til endringsdeteksjonsmetoden er en

referansebilde og en aktivitetsbilde med samme geometri. d) Resultat er en endringsdeteksjonsbilde (dsigma) som viser relativt radar backscatter. For manuelt deteksjon kompilerer vi RGB bilder, hvor snøskred vises som grønne features.

4 RESULTATER

4.1 OVERSIKT OVER SØRPEKREDHENDELSE

Figur 4-1 viser en oversikt over alle sørpeskredhendelser vi behandler i dette prosjektet. Totalt prosesserte vi SAR bilder av 64 sørpeskred. I det følgende presenterer vi 25 forsøk til å detektere sørpeskred, med hovedfokus (13 sørpeskred) på bruk av Sentinel-1A data.



Figur 4-1: Oversikt over sørpeskredhendelser vi behandler i dette prosjektet

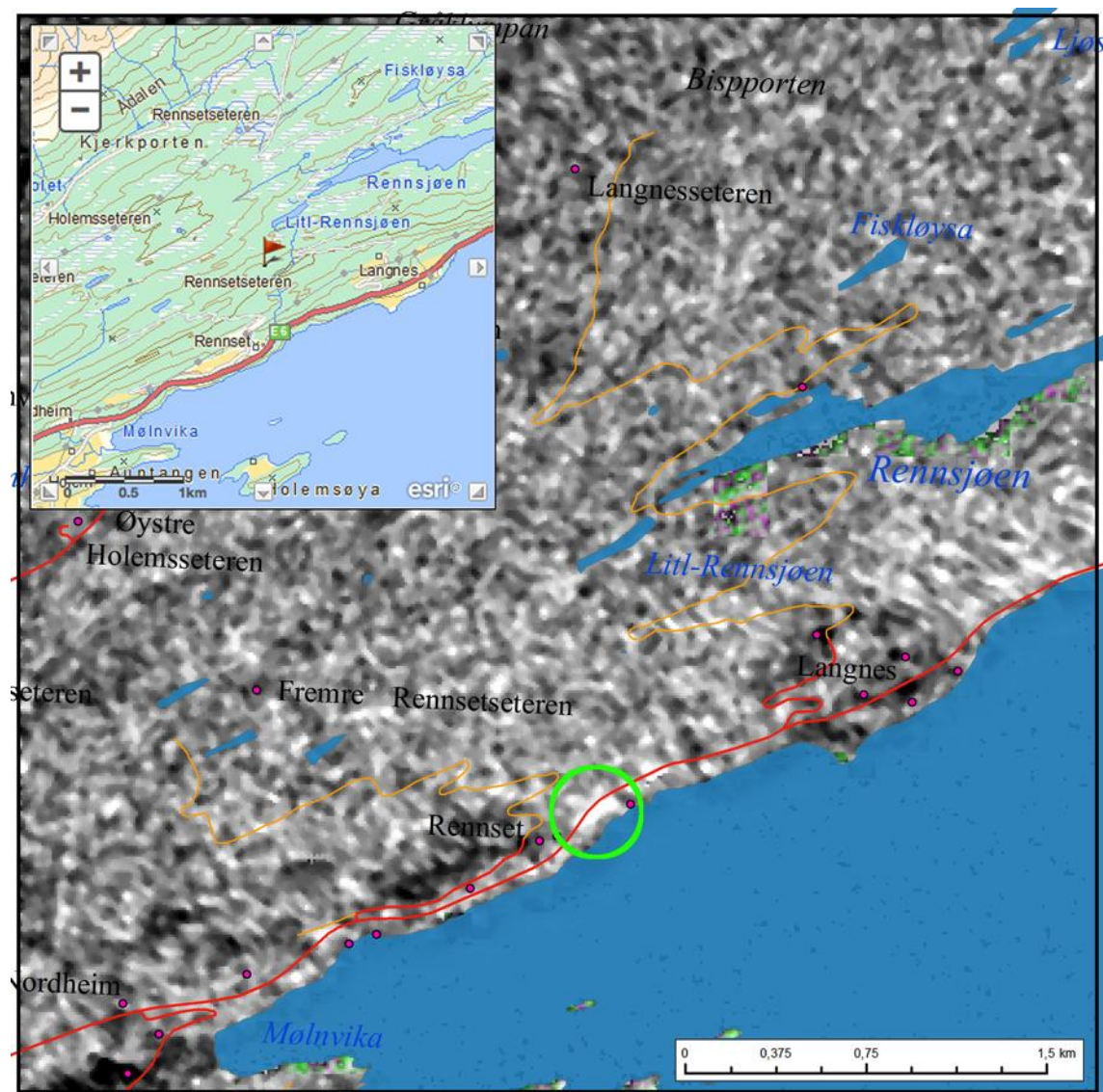
4.2 DETEKSJON AV SØRPESKRED MED SENTINEL-1A

I Tabell 4-1 vises sørpeskredhendelser oppgitt fra NVE i perioden 2014-2015. I de videre underavsnitt gjennomgås Sentinel-1A bilder som er funnet i arkivene for disse sørpeskredene. Vi referer til løpenummer (kolonne 1 i Tabell 4-1) for hvert enkelt sørpeskred.

Tabell 4-1: Sørpeskredhendelser oppgitt fra NVE i perioden 2014-2015.

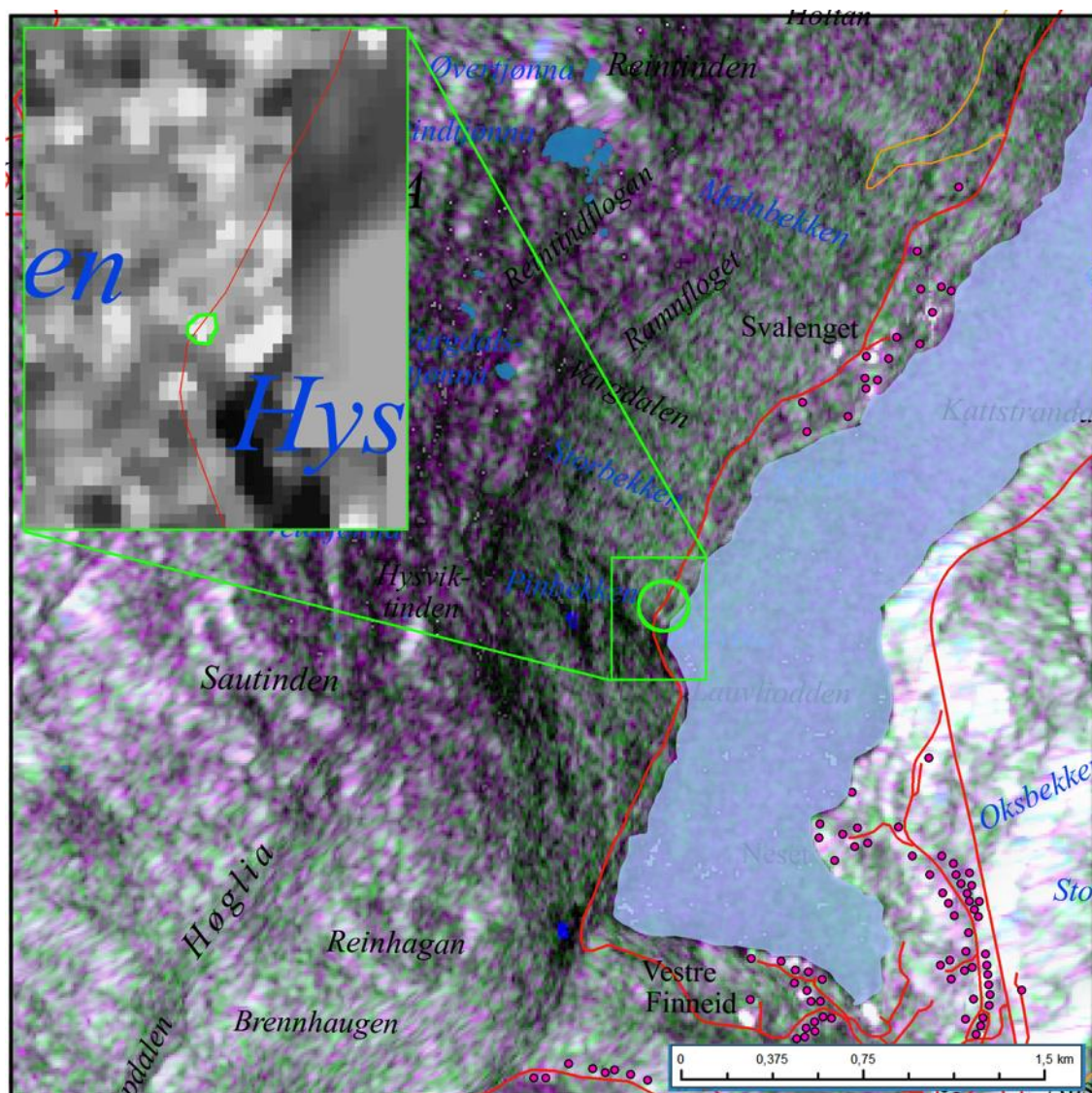
#	Tidspkt.	Sted	Fylke	Y	X	UP [m]
1	31/12/14	Snåsakroa, Snåsavatnet, E6	N-Trøndelag	712867	363622	1000
2	31/12/14	Pinbekken og (naboelva Pinflågan)	N-Trøndelag	7343362	444199	100
3	30/12/14	Inndalen, Verdal, RV72	N-Trøndelag	7067386	347231	> 1000
4	31/12/14	Reinåa, Stjørdal, E14	N-Trøndelag	7042054	325903	500
5	30/12/14	Kistrand, Fauske, RV80	Nordland	7467553	504167	500
6	31/12/14	Bonådalen, Sørfold, FV613	Nordland	7500844	531280	1000
7	30/12/14	Lia, Lurøy, RV17	Nordland	7368329	417464	>1000
8	30/12/14	Mellom Sila og Flostrand, Rana	Nordland	7356075	423070	2000
9	30/12/14	Lurøya, Lurøy, FV 402	Nordland	7367527	404119	>1000
10	30/12/14	Hemnes	Nordland	7339271	447233	1000
11	20/03/14	Fv691 V/Hyen	S&F	6876282	21584	500
12	11/07/15	Trollbergdalselva	Nordland	7399443	47284	50
13	29/01/15	Flesjehornet, Sulafjellet	M & R	6953452	42215	200

4.2.1 SØRPEKRED #1



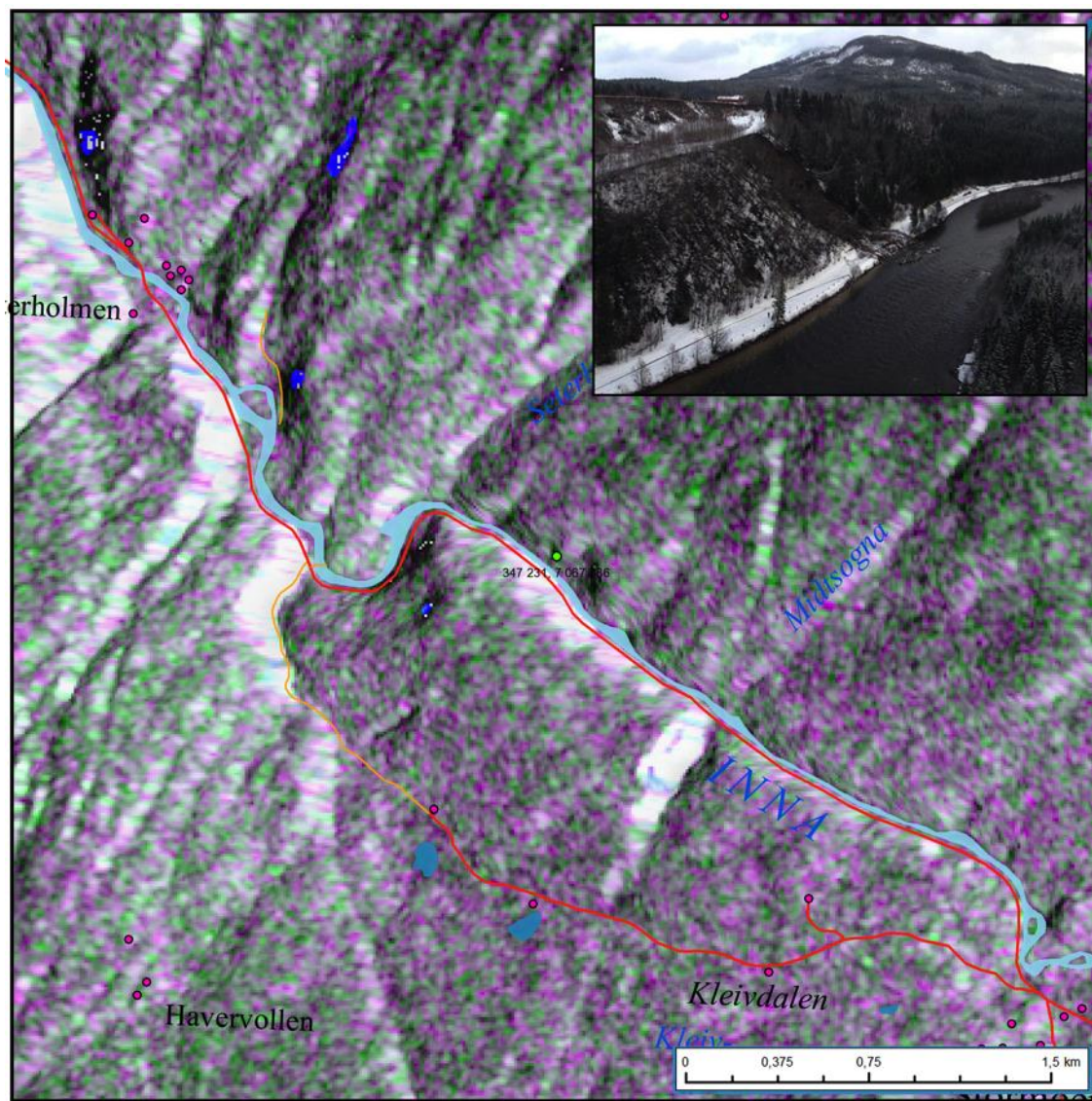
Figur 4-2: Change detection bilde med referanse bilde fra 20141226 og aktivitetsbilde fra 20150107. Path 137, VH polarisasjon.

4.2.2 SØRPESKRED #2



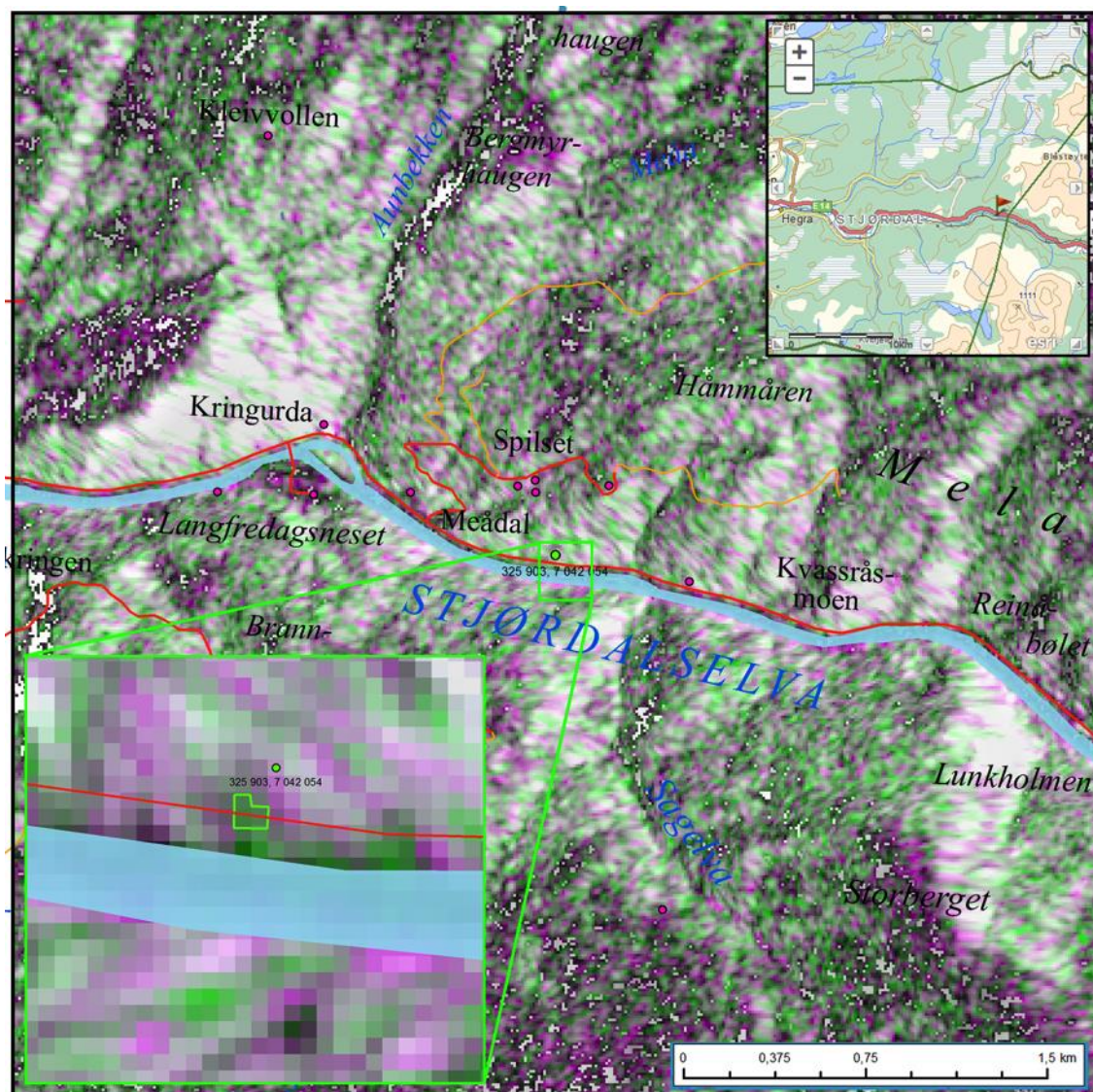
Figur 4-3: Change detection bilde med referanse bilde fra 20141223 og aktivitetsbilde fra 20150104. Path 102, VV polarisasjon.

4.2.3 SØRPESKRED #3



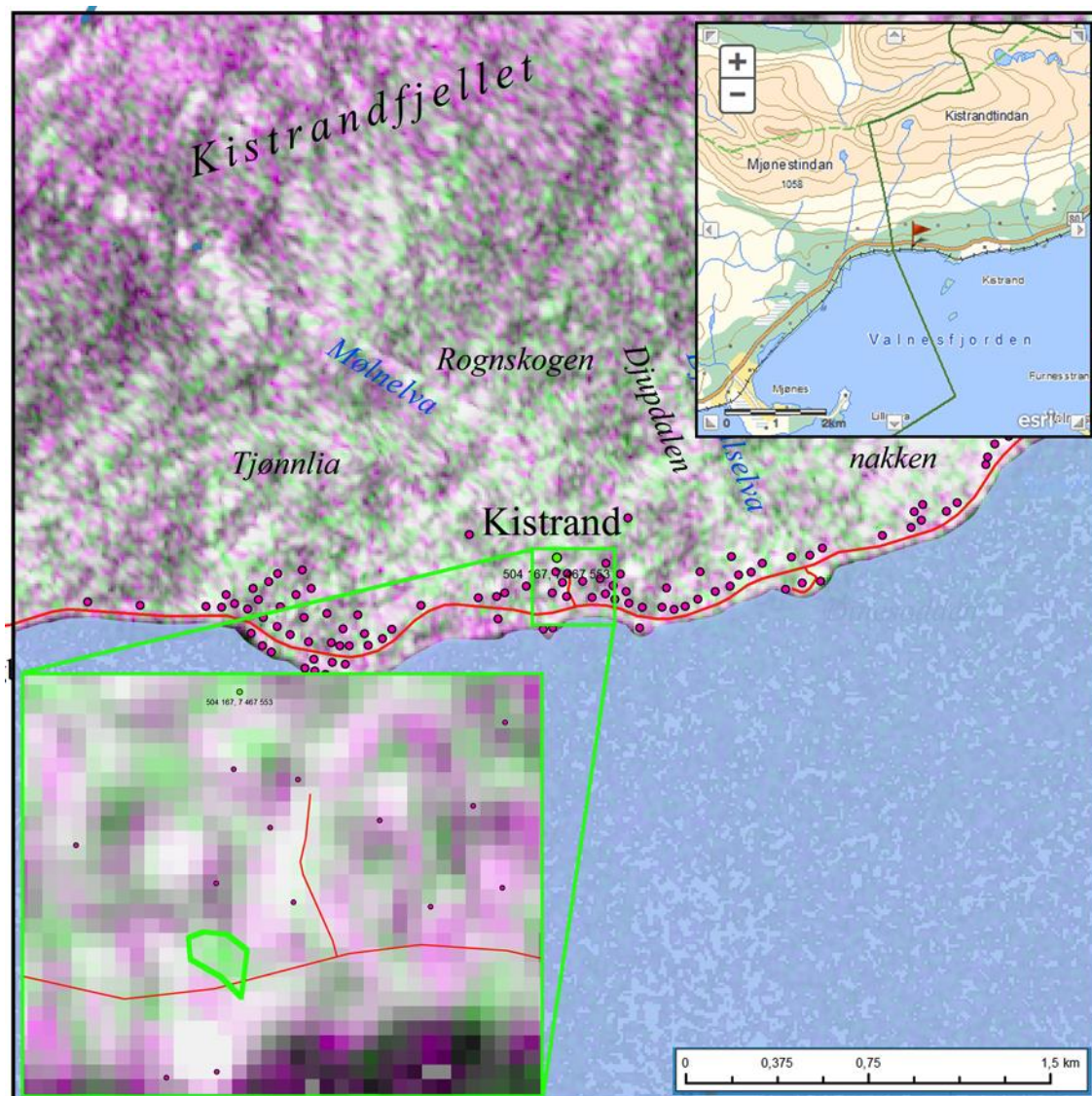
Figur 4-4: RGB bilde med referanse bilde fra 20141226 og aktivitetsbilde fra 20150107. Path 139, VV polarisasjon.

4.2.4 SØRPESKRED #4



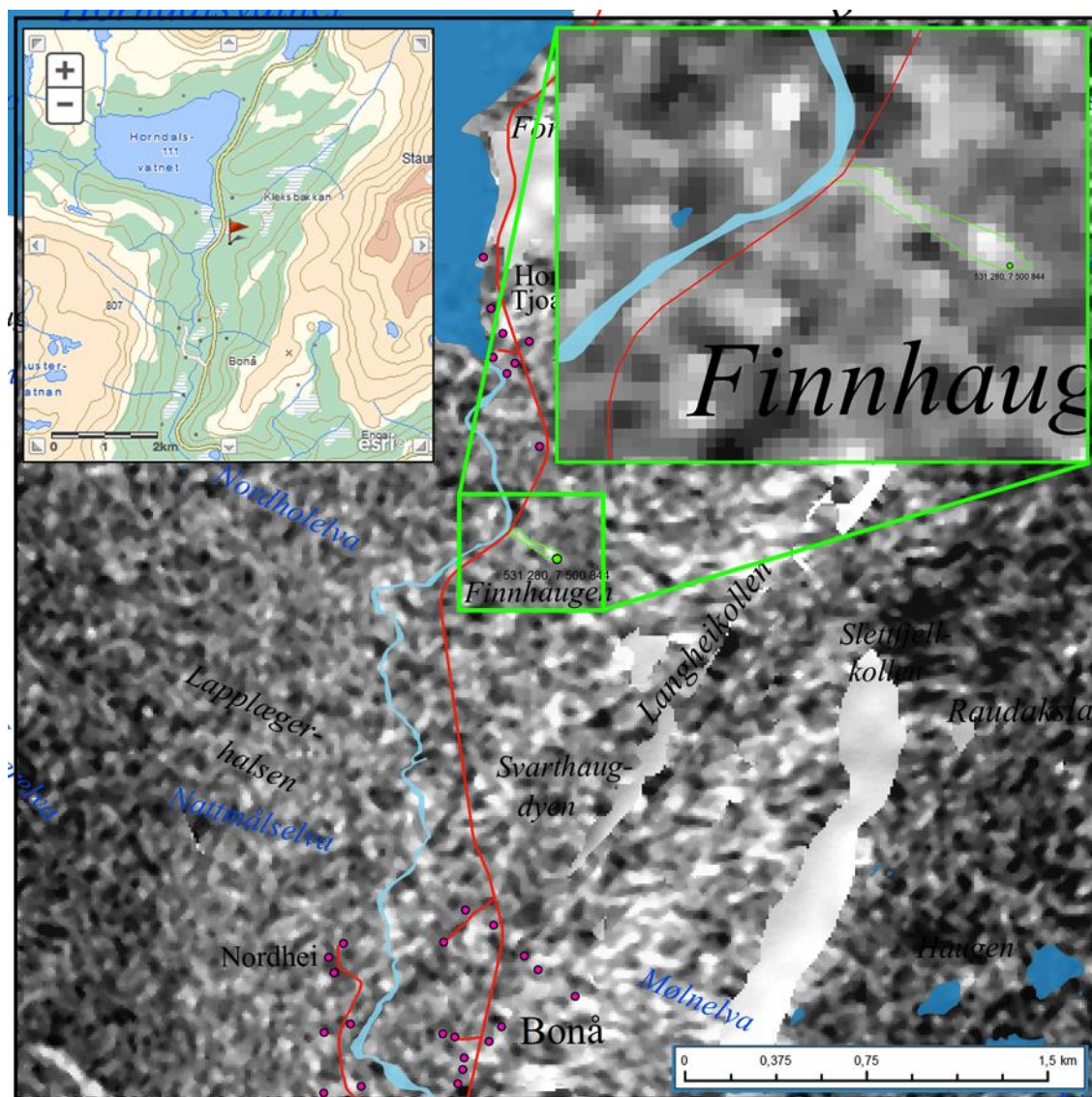
Figur 4-5: RGB bilde med referanse bilde fra 20141226 og aktivitetsbilde fra 20150107. Path 139, VH polarisasjon.

4.2.5 SØRPESKRED #5



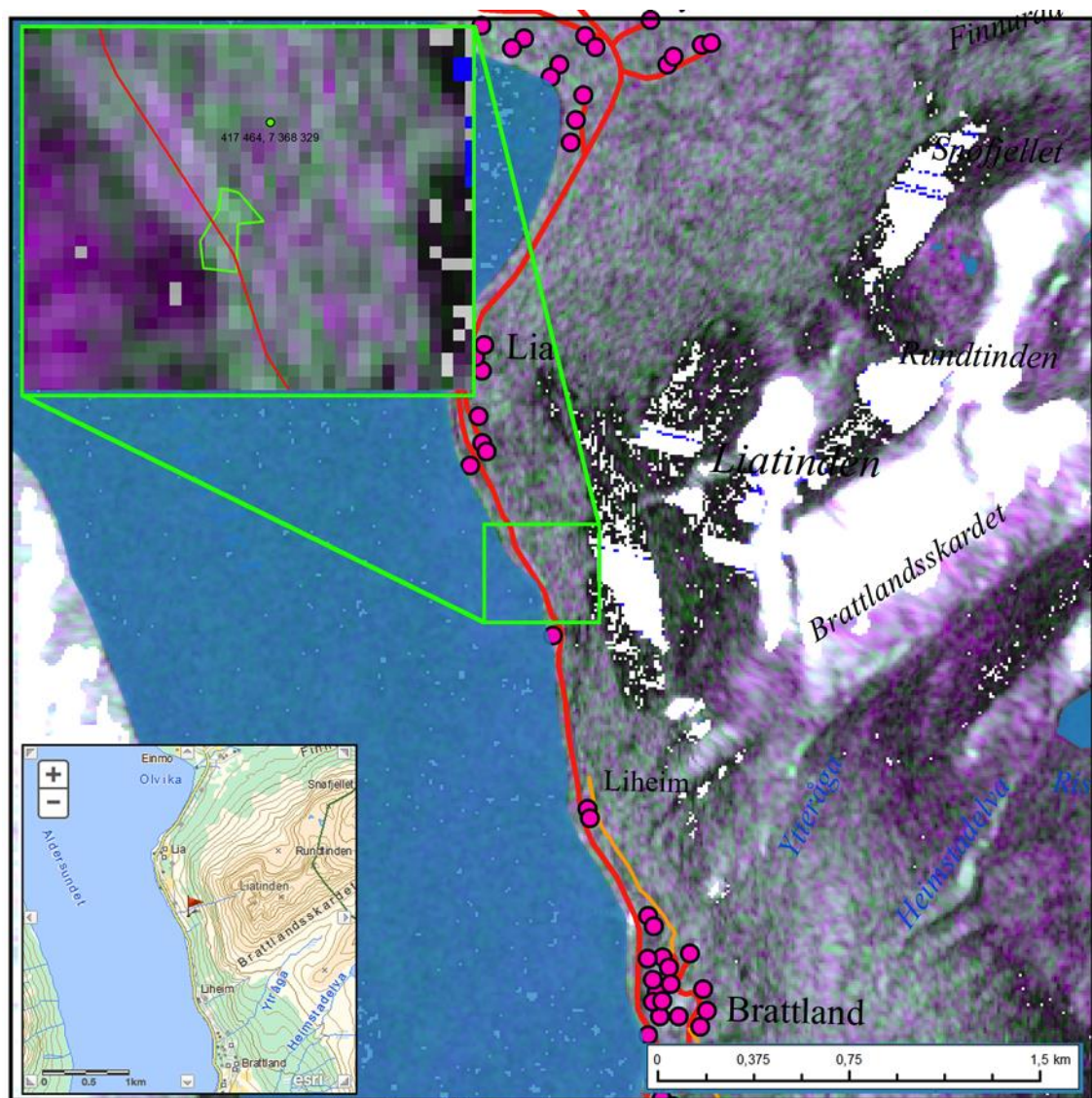
Figur 4-6: RGB bilde med referanse bilde fra 20141228 og aktivitetsbilde fra 20150109. Path 168, VV polarisasjon.

4.2.6 SØRPESKRED #6



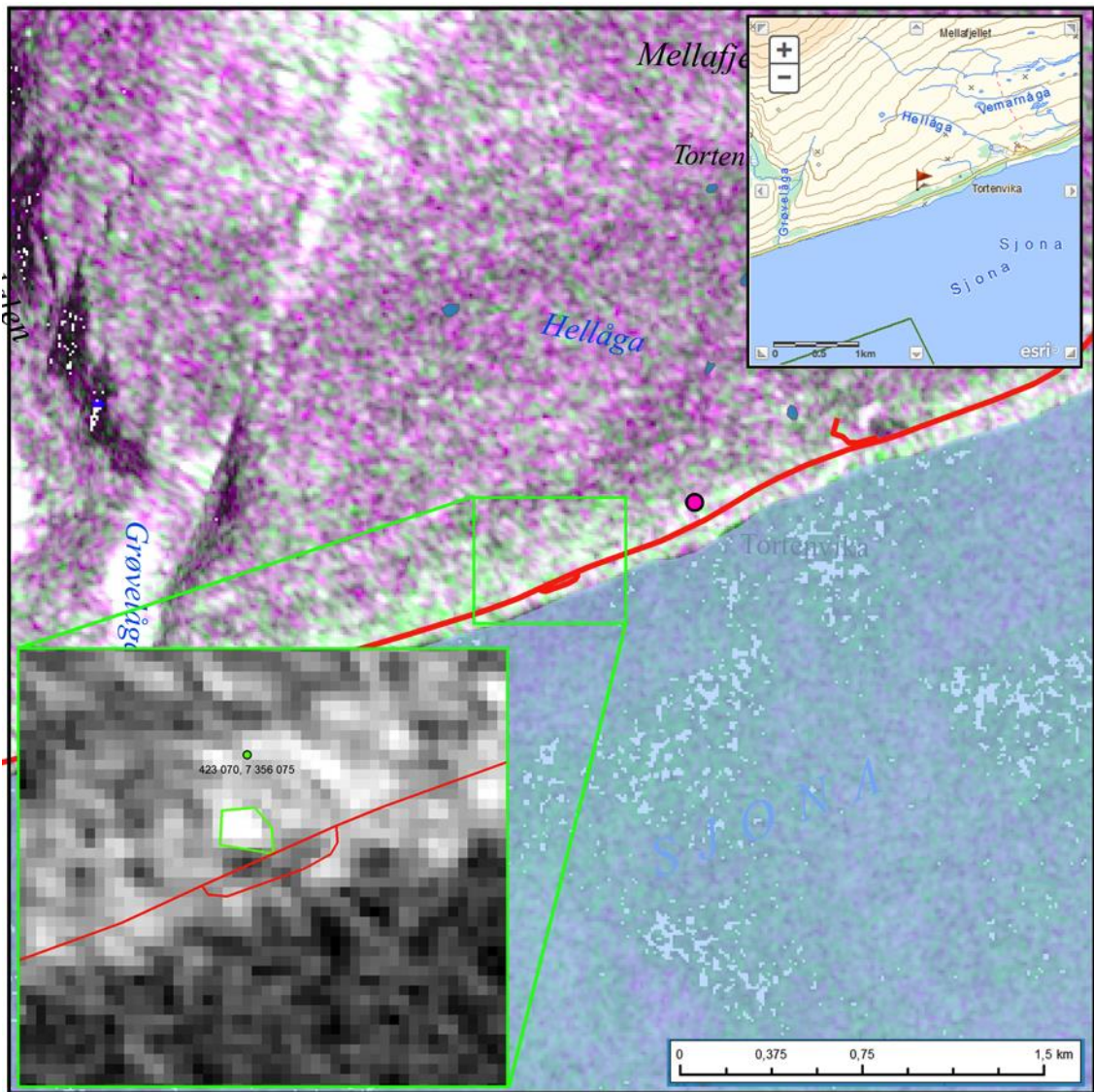
Figur 4-7: Change detection bilde (dsigma) med referanse bilde fra 20141225 og aktivitetsbilde fra 20150106. Path 131, VV polarisasjon.

4.2.7 SØRPESKRED #7



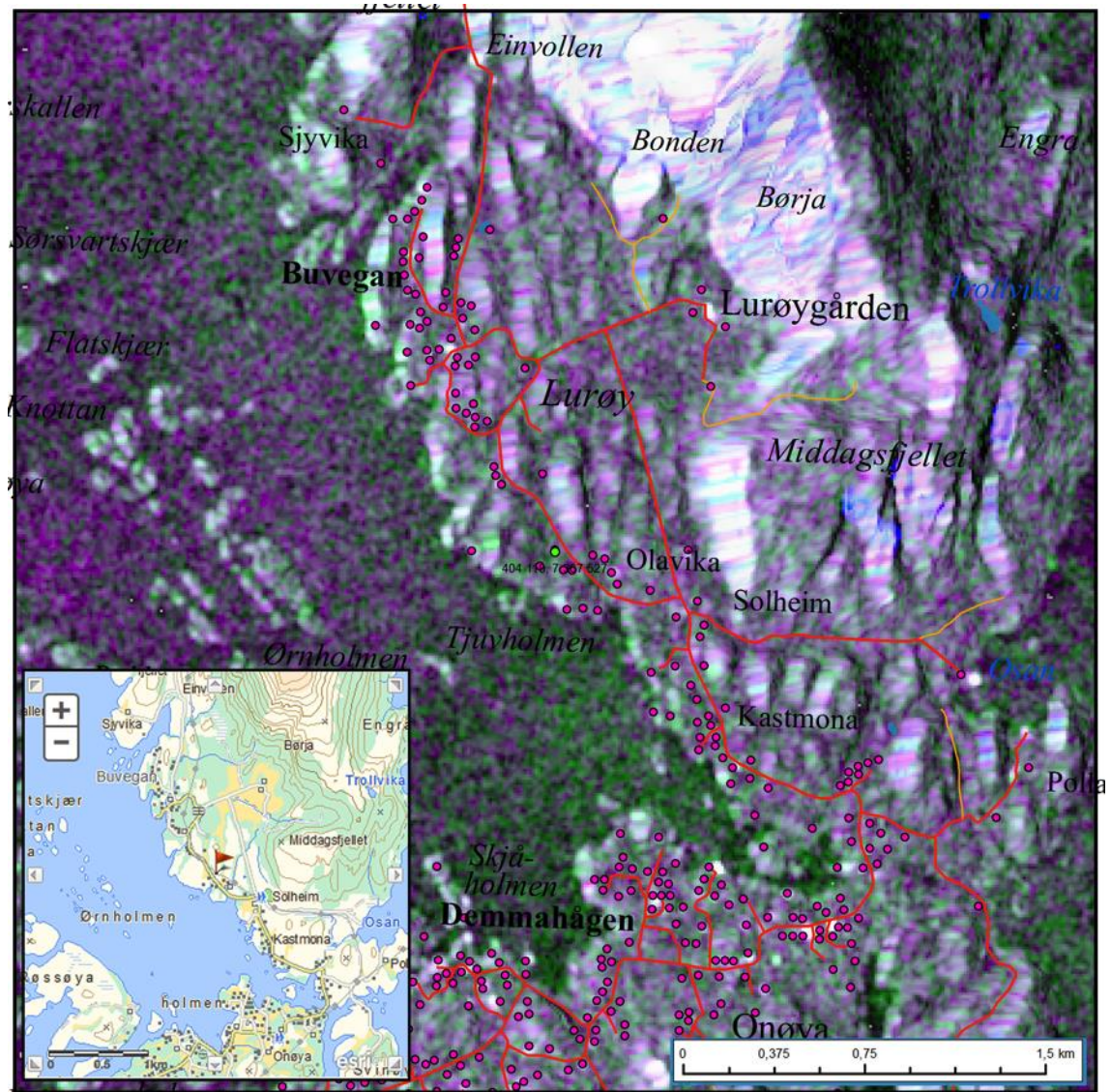
Figur 4-8: RGB bilde med referanse bilde fra 20141226 og aktivitetsbilde fra 20150107. Path 139, VV polarisasjon.

4.2.8 SØRPESKRED #8



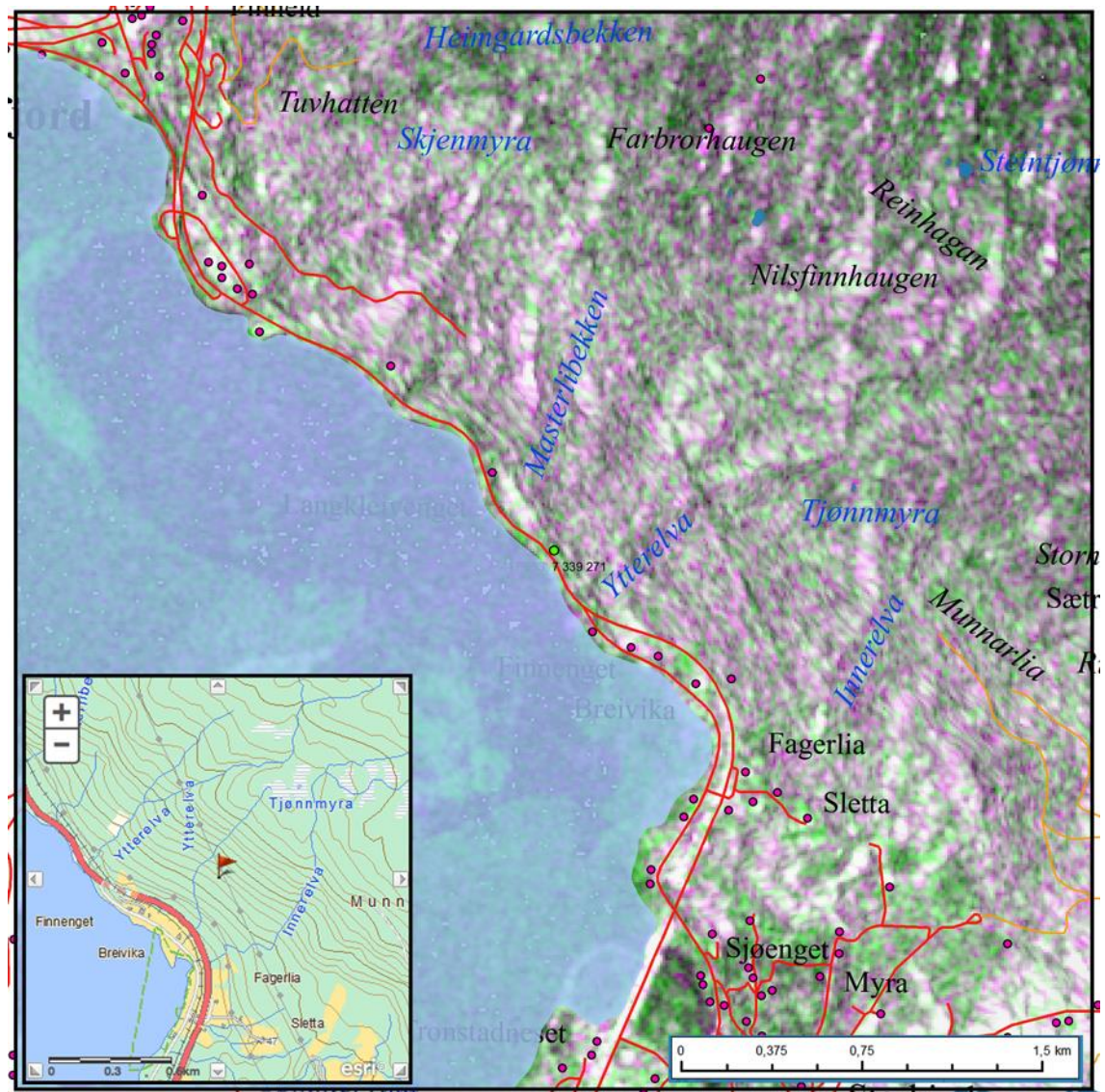
Figur 4-9: RGB bilde med referanse bilde fra 20141226 og aktivitetsbilde fra 20150107. Path 139, VH polarisasjon.

4.2.9 SØRPESKRED #9



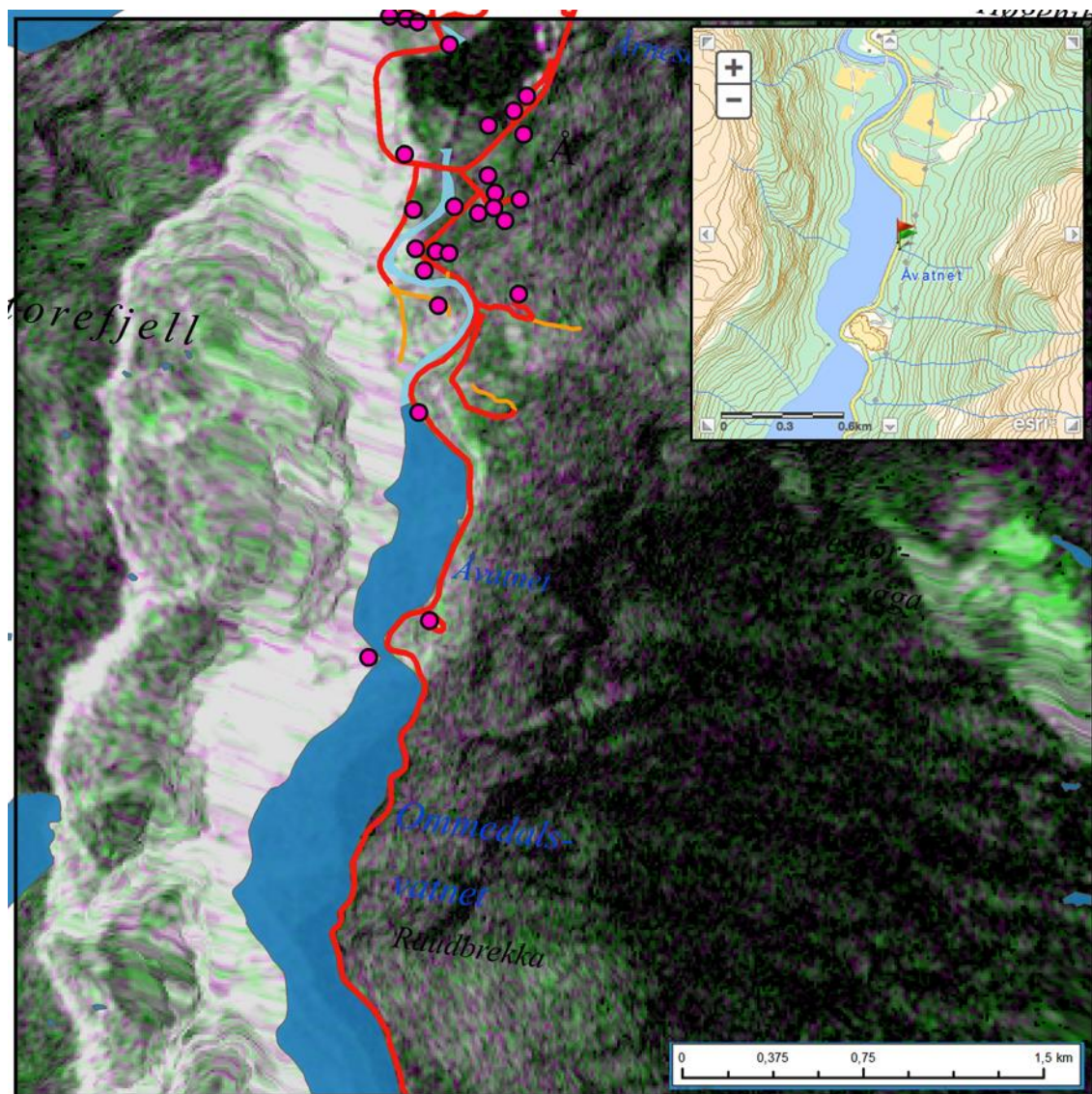
Figur 4-10: RGB bilde med referanse bilde fra 20141223 og aktivitetsbilde fra 20150104. Path 102, VV polarisasjon.

4.2.10 SØRPESKRED #10



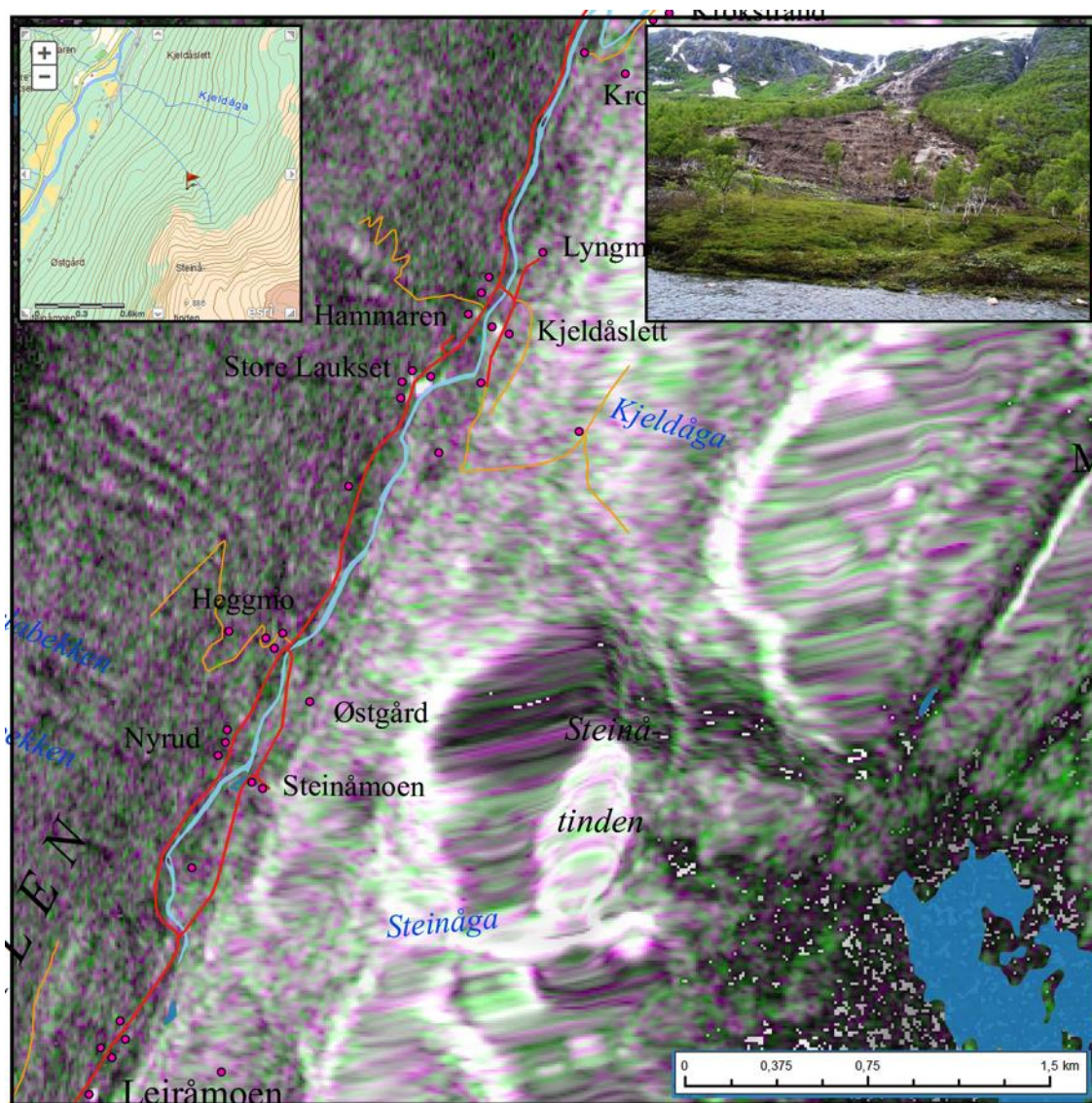
Figur 4-11: RGB bilde med referanse bilde fra 20141231 og aktivitetsbilde fra 20150112. Path 037, VV polarisasjon.

4.2.11 SØRPESKRED #11



Figur 4-12: RGB bilde med referanse bilde fra 20150311 og aktivitetsbilde fra 20150323. Path 008, VH polarisasjon.

4.2.12 SØRPESKRED #12



Figur 4-13: RGB bilde med referanse bilde fra 20150710 og aktivitetsbilde fra 20150722. Path 029, VH polarisasjon.

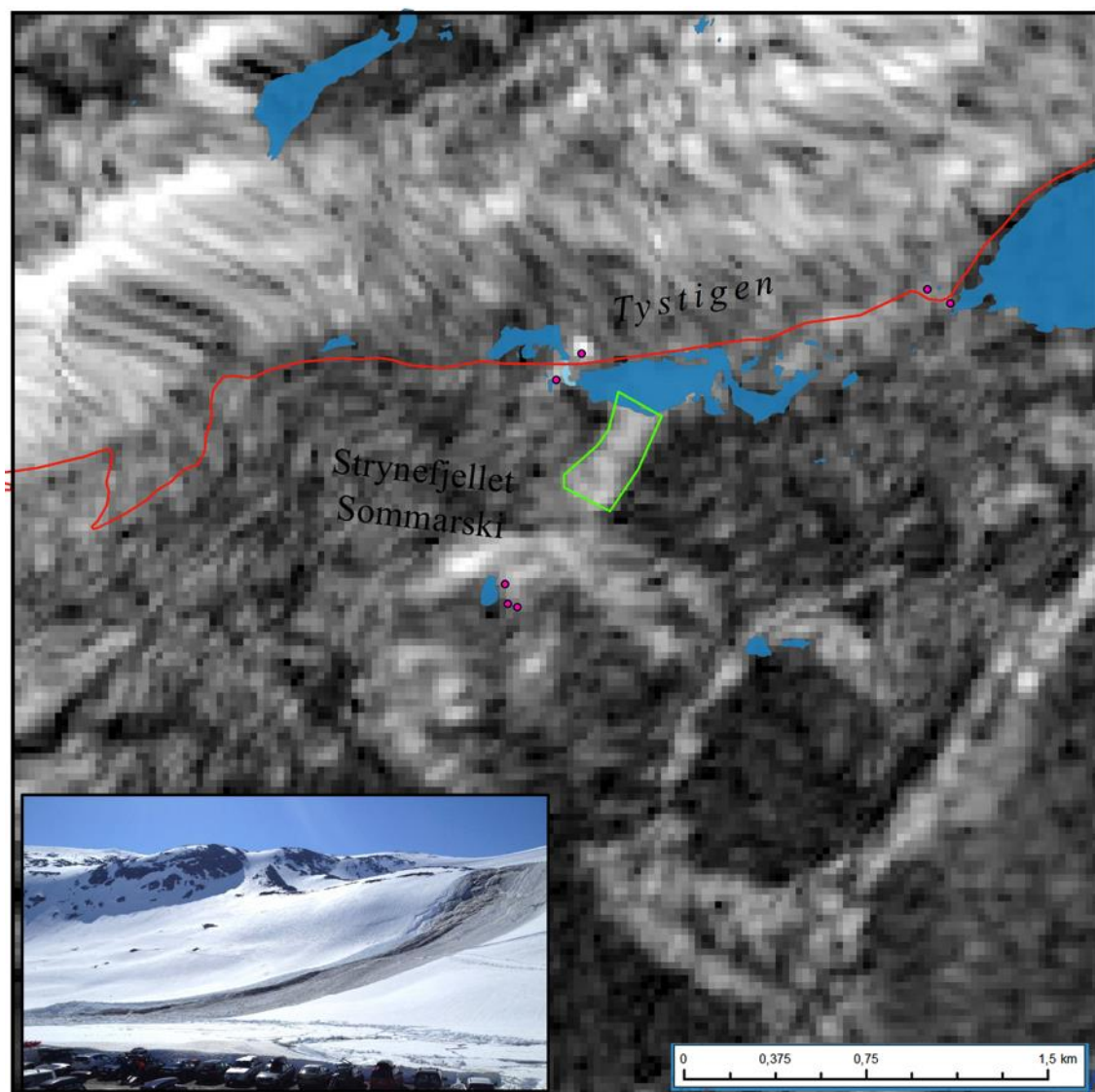
4.3 DETEKSJON AV SØRPESKRED MED RADARSAT-2

I Tabell 4-3 vises sørpeskredhendelser i perioden 2010-2012. I de videre underavsnitt gjennomgås Envisat ASAR bilder som er funnet i arkivene for ni av sørpeskredene. Vi referer til løpenummer (kolonne 1 i Tabell 4-3) for disse ni sørpeskredene (i grå).

Tabell 4-2: Sørpeskredhendelser oppgitt fra NVE i 2013.

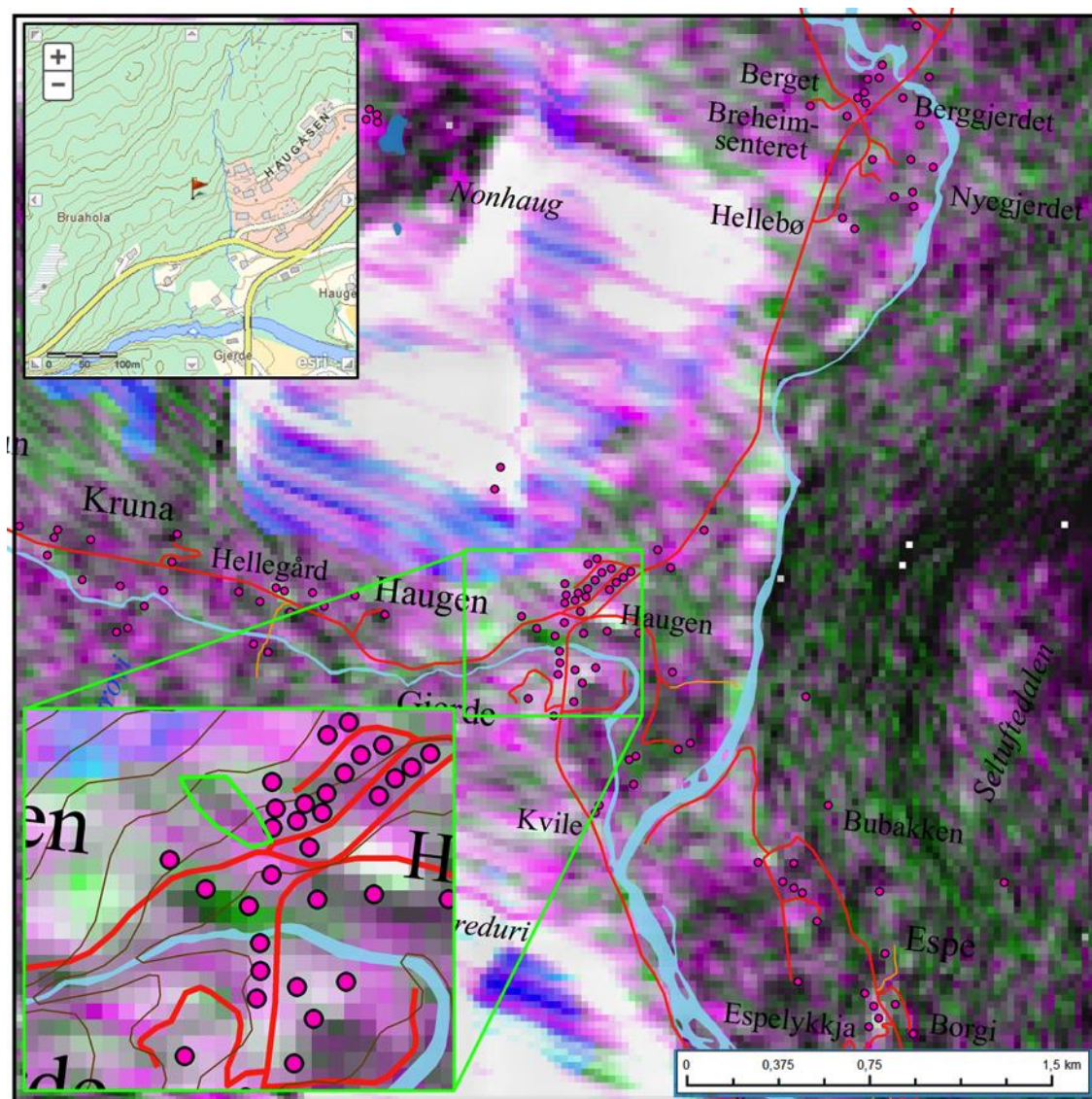
#	Tidspkt	Sted	Fylke	Y	X	UP [m]
20	11/12/13	Kaperdalen, Senja, FV232	Troms	7690123	592846	1500
21	11/12/13	Fv862 Ved Breitindelva	Troms	7707487	602749	0
22	15/11/13	Vetlefjorden	S&F	6830752	50878	500
23	22/05/13	Reisadalen	Troms	7724081	748169	200
24	19/05/13	Lom, Jotunheimen	Oppland	6845193	132746	500
25	19/05/13	Stryn	S&F	6892157	99940	200
26	19/05/13	Kjølen, Lesja	Oppland			
27	18/05/13	Aurland	S&F	6781357	80494	1000
28	06/05/13	Årdalsdalen, Jølster	S&F	6859478	41598	500
29	17/04/13	Ekse, Eksingedalen, FV344	Hordaland	6775398	25591	2000
30	15/04/13	Gjerde, Jostedalen	S&F	6857956	90539	500
31	15/04/13	Furlo, RV7	Hordaland	6730589	59330	4000
32	14/04/13	Jølster, Myklebust, FV 451	S&F	6851113	41152	1000
33	25/02/13	Luktvaslimo, Vefsn, E6	Nordland	7325070	431057	1000

4.3.1 SØRPESKRED #25



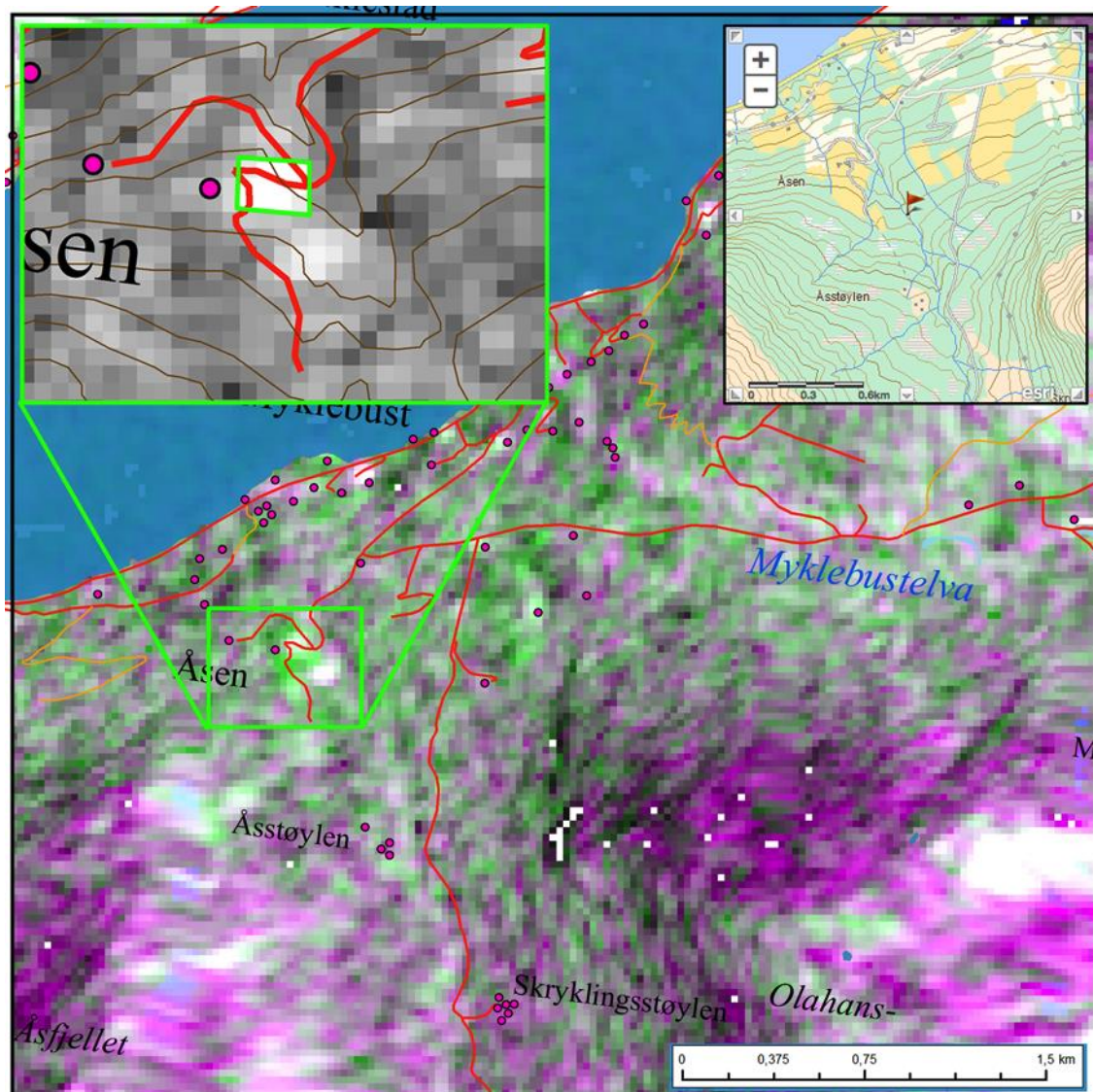
Figur 4-15: Single backscatter bilde (sigma) fra 20130604. Path 095, HH polarisasjon.

4.3.2 SØRPESKRED #30



Figur 4-16: RGB bilde med referanse bilde fra 20130114 og aktivitetsbilde fra 20130420. Path 138, VV polarisasjon.

4.3.3 SØRPESKRED #32



Figur 4-17: RGB bilde med referanse bilde fra 20130121 og aktivitetsbilde fra 20130427. Path 138, VV polarisasjon.

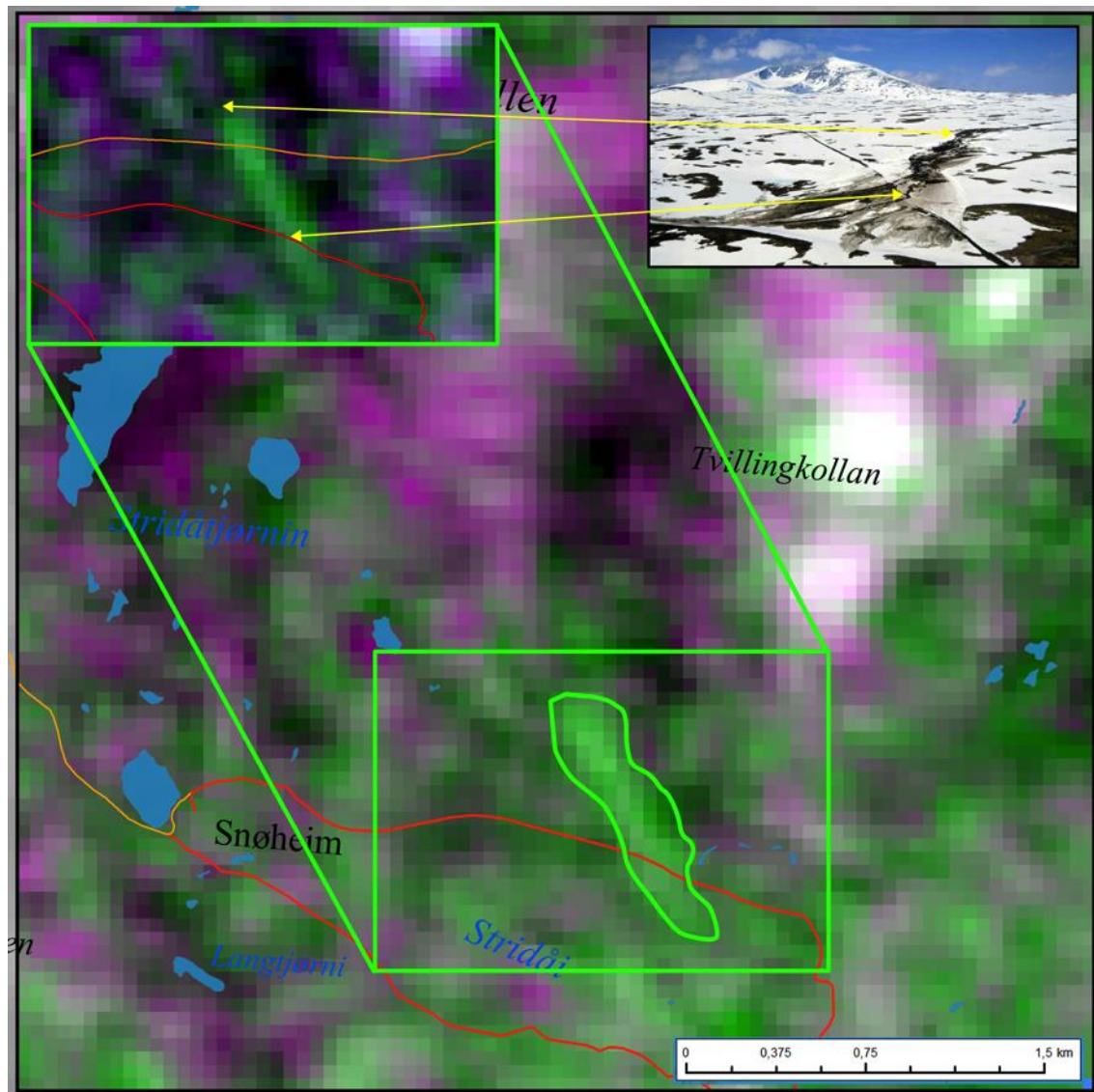
4.4 DETEKSJON AV SØRPEKRED MED ENVISAT ASAR

I Tabell 4-3 vises sørpeskredhendelser oppgitt fra NVE i perioden 2010-2012. I de videre underavsnitt gjennomgås Envisat ASAR bilder som er funnet i arkivene for ni sørpeskredene. Vi referer til løpenummer (kolonne 1 i Tabell 4-3) for disse ni sørpeskredene (i grå).

Tabell 4-3: Sørpeskredhendelser oppgitt fra NVE i perioden 2010-2012. For to sørpeskredhendelser (41, 42) brukte vi Radarsat-2 data, for resten brukte vi ASAR data.

#	Sensor	Tidspkt	Sted	Fylke	Z	X
39&40	ASAR	19/05/10	Snøheimveien, Dovrefjell	Oppland	6920720	208602
41	RS2	25/05/12	Rapbekken	Troms	7653973	659913
42	RS2	26/12/11	Skålebåtnen, Berge	S & F	6817615	15756
43	ASAR	22/03/11	Buset, Vartdal	M & R	6936289	40768
44	ASAR	21/03/11	Songdalen, Tuftadalen	S & F	6811558	43601
45	ASAR	17/01/11	Vaelva, Haugaelva, Skei	S & F	6856789	47328
46	ASAR	16/01/11	Kvitingen	Hordaland	6737230	-2365
47	ASAR	16/01/11	Gyadalen	Rogaland	6526796	-5372
48	ASAR	16/01/11	Hundsvåka, Saltkjelen	Hordaland	6720003	13399
49	ASAR	16/01/11	Øyni, ved Jøsendalselva, E134	Hordaland	6673238	29435
50	ASAR	17/05/10	Jernelvdalen, Sørkjosen	Troms	7752916	725913
51	ASAR	16/05/10	Lallusvatnet, Sørkjosen	Troms	7750351	727789
52	ASAR	16/05/10	Storkyla i Jamtjellet, Vesfn	Nordland	7294160	438166
53	ASAR	16/05/10	Sandskarbekken, Skardmodalen	Nordland	7266201	467801
54	ASAR	15/05/10	Kjellerkampen, Reisadalen	Troms	7742445	746237
55	ASAR	15/05/10	Urvatnet, Reinøya	Troms	7771929	681855
56	ASAR	15/05/10	Reindalen, Sør-Lenangen	Troms	7751863	695771
57	ASAR	15/05/10	Litledalsvatnet, Langnesbukta, Kåfjord	Troms	7725893	722949
58	ASAR	15/05/10	Ytste Katleberget, Beisfjord	Nordland	7590789	602912
59	ASAR	15/05/10	Storelva, Manndalen	Troms	7720447	713051
60	ASAR	15/05/10	Herranes, Langfjorden	Finnmark	7789233	787393
61	ASAR	15/05/10	Svartdalen, Varntresk, Røssvatnet	Nordland	7301275	464424
62	ASAR	15/05/10	Lilleleirelva, Røssvatnet	Nordland	7295293	463330
63	ASAR	15/05/10	Sagbekken, Krutåbukta, Røssvatnet	Nordland	7288362	459896
64	ASAR	07/03/10	Sveindalen ved Sørfjorden, Tromsø	Troms	7711243	678867

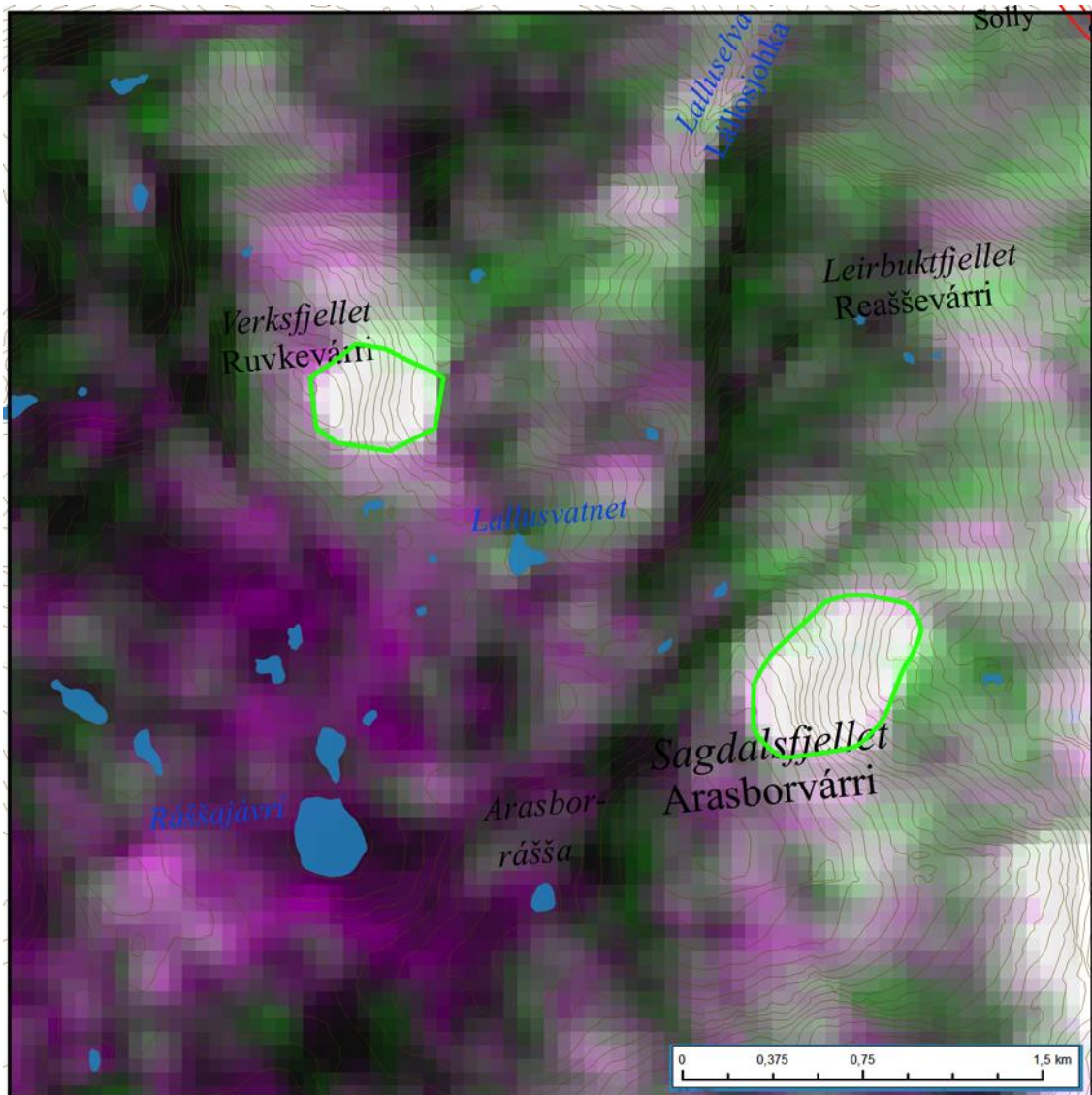
4.4.1 SØRPESKRED #39&40



Figur 4-18: RGB bilde med referanse bilde fra 20100204 og aktivitetsbilde fra 20100520. Path 337, VV polarisasjon.

4.4.2 SØRPESKRED #51

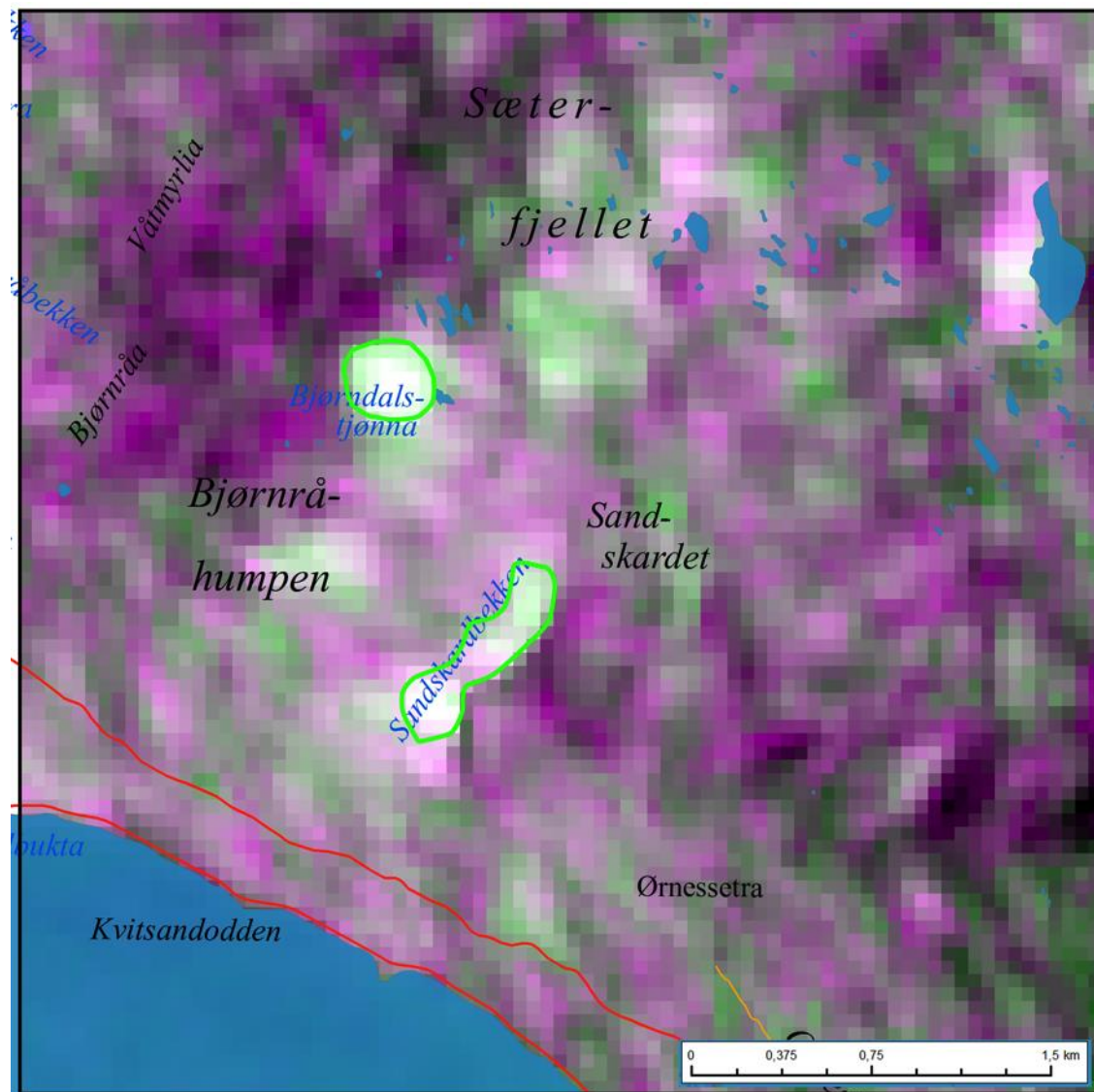
Vi er svært usikre på hvor sørpeskredet #51 ble utløst. I RGB bilde (Figur 4-19) finnes det to områder som viser veldig høyt radar backscatter. Det er derfor mulig at begge features er sørpeskredene.



Figur 4-19: RGB bilde med referanse bilde fra 20100202 og aktivitetsbilde fra 20100518. Path 308, VV polarisasjon.

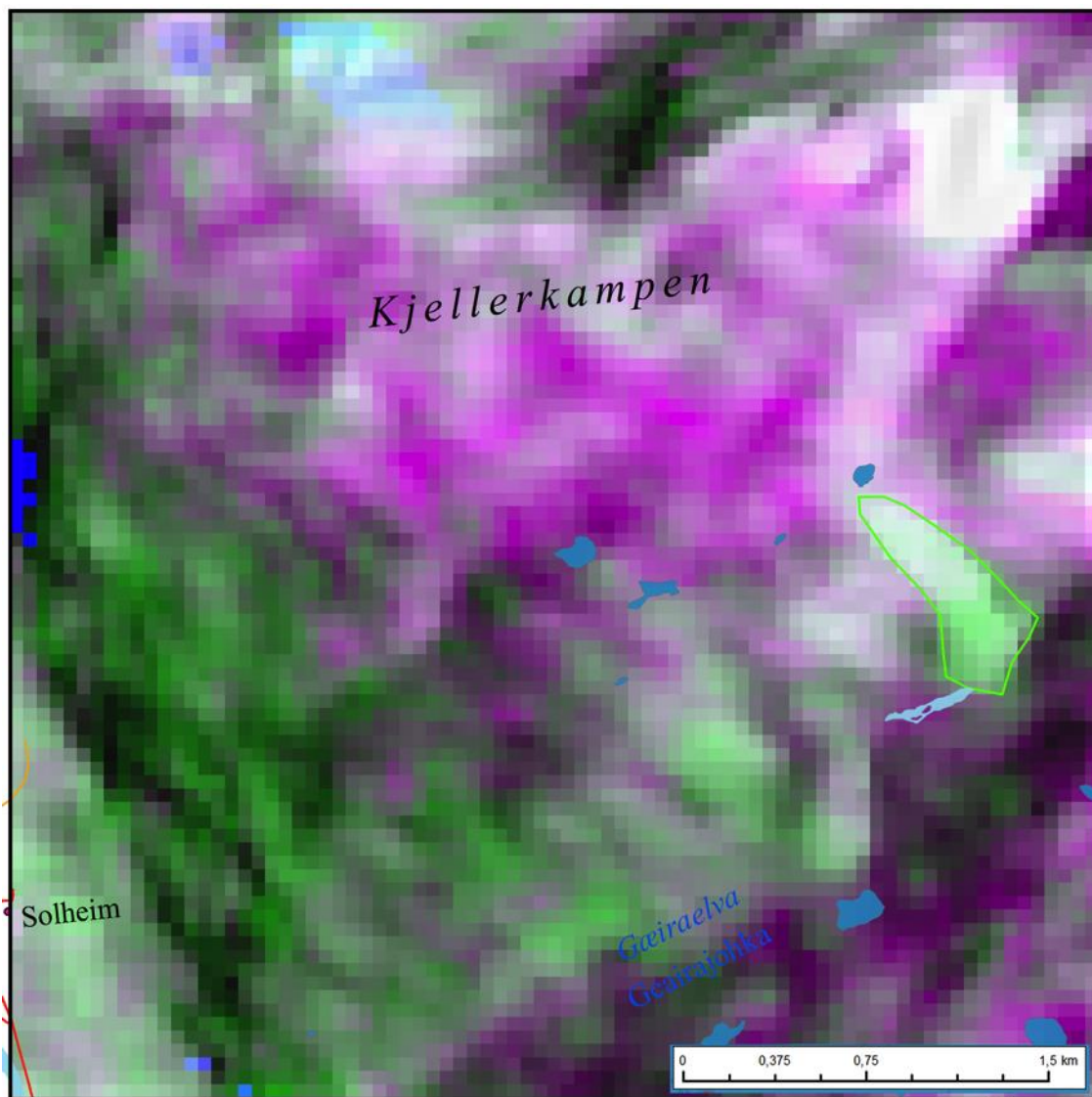
4.4.3 SØRPE SKRED #53

I RGB bilde (Figur 4-20) vises det to områder med høyt radar backscatter som kan være sørpeskredene.



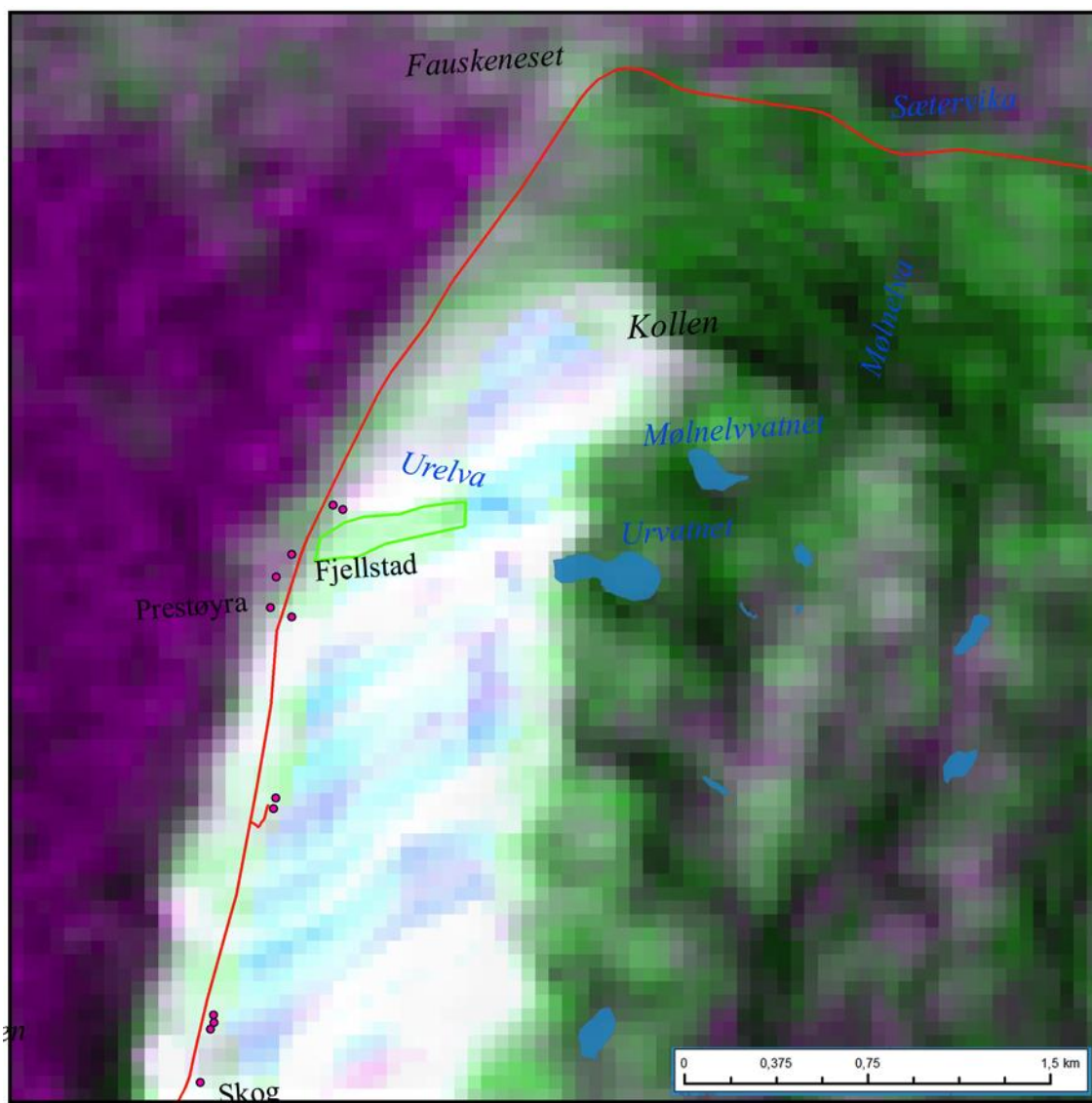
Figur 4-20: RGB bilde med referanse bilde fra 20090706 og aktivitetsbilde fra 20100517. Path 294, VV polarisasjon.

4.4.4 SØRPESKRED #54



Figur 4-21: RGB bilde med referanse bilde fra 20091229 og aktivitetsbilde fra 20100518. Path 308, VV polarisasjon.

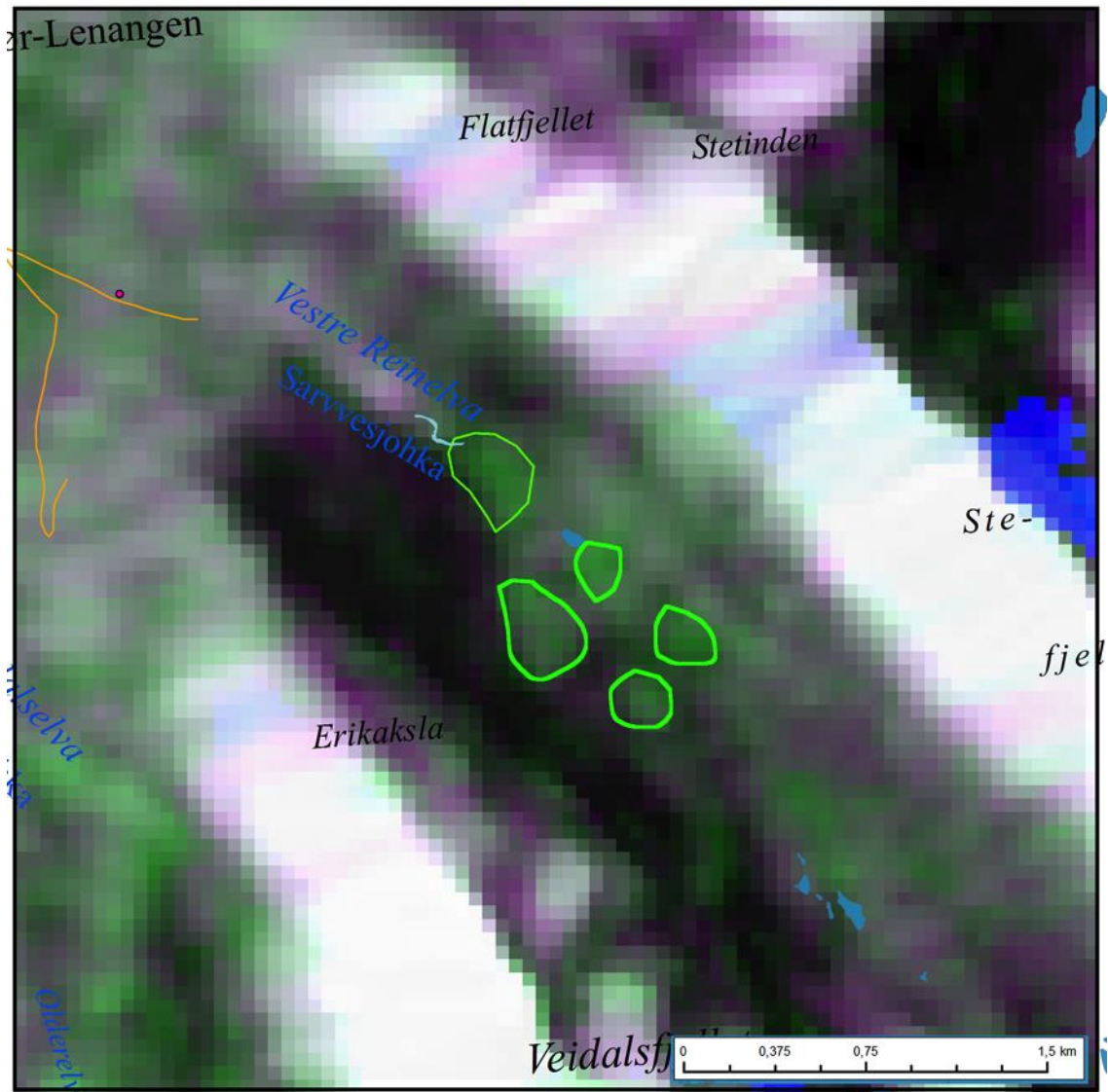
4.4.5 SØRPEKRED #55



Figur 4-22: RGB bilde med referanse bilde fra 20100412 og aktivitetsbilde fra 20100517. Path 300, VV polarisasjon.

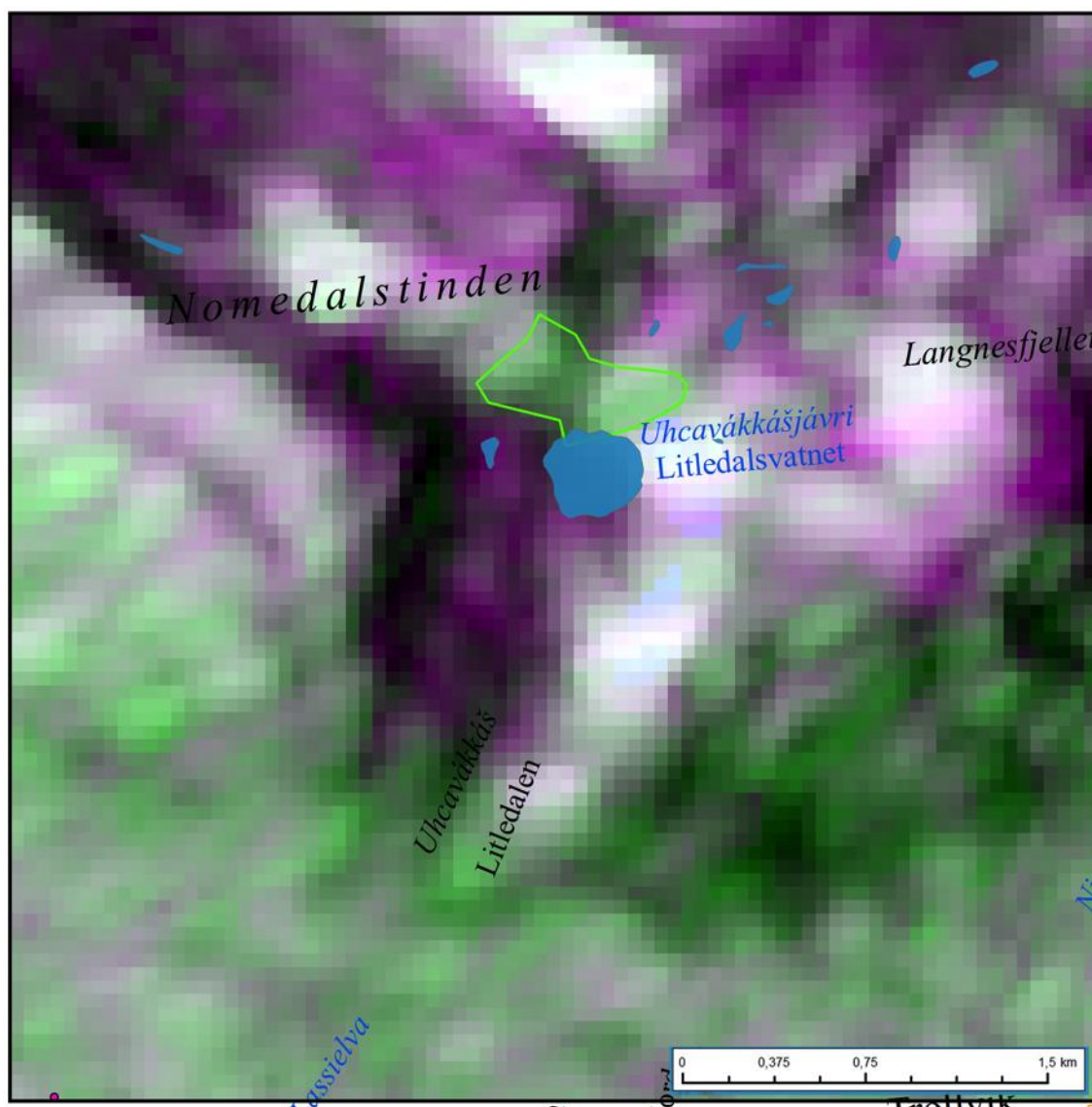
4.4.6 SØRPEKRED #56

I RGB bilde (Figur 4-23) vises det flere områder med høyt radar backscatter i dalen, som kan være sørpeskredene.



Figur 4-23: RGB bilde med referanse bilde fra 20100411 og aktivitetsbilde fra 20100516. Path 286, VV polarisasjon.

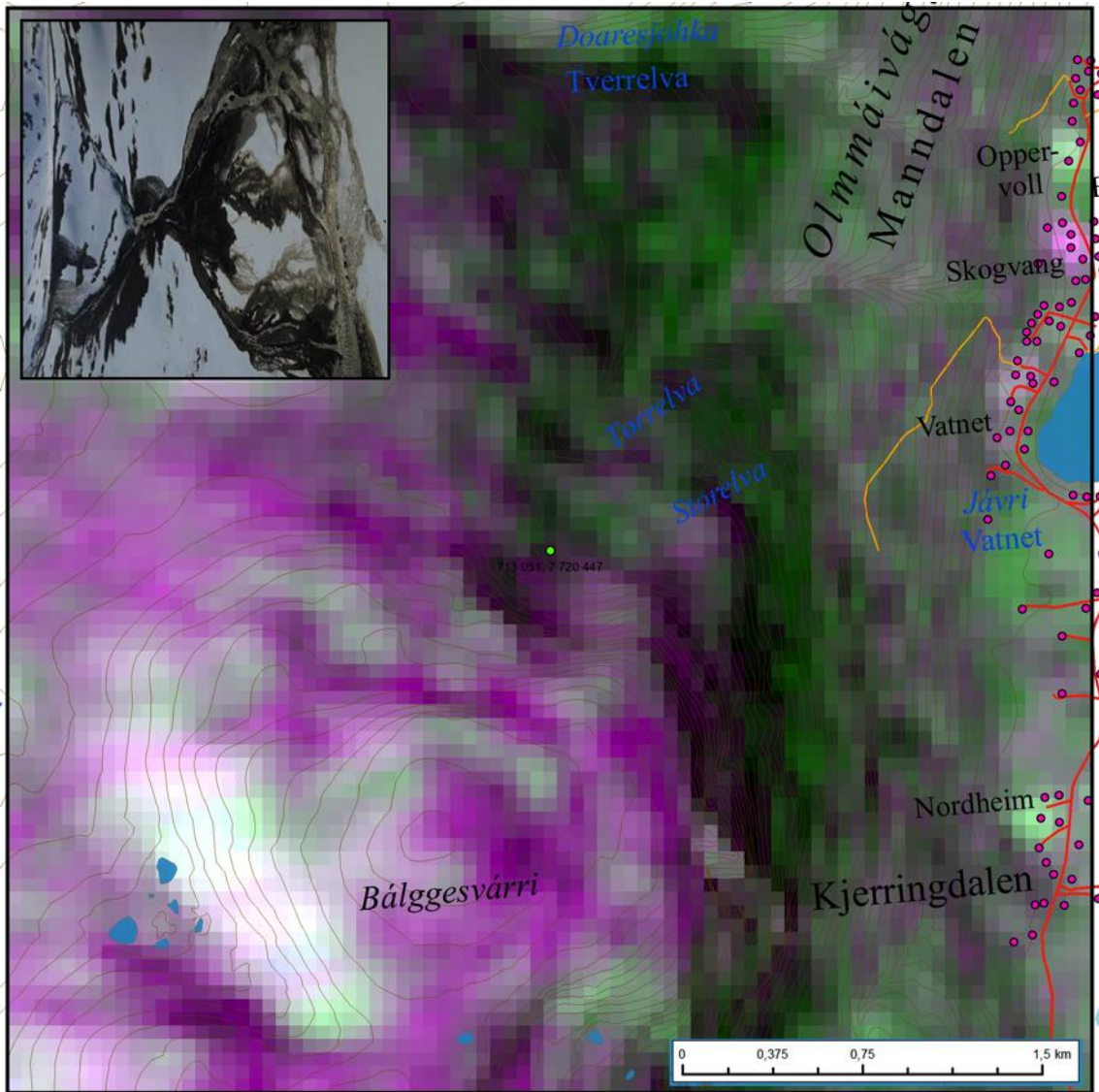
4.4.7 SØRPEKRED #57



Figur 4-24: RGB bilde med referanse bilde fra 20100411 og aktivitetsbilde fra 20100516. Path 286, VV polarisasjon.

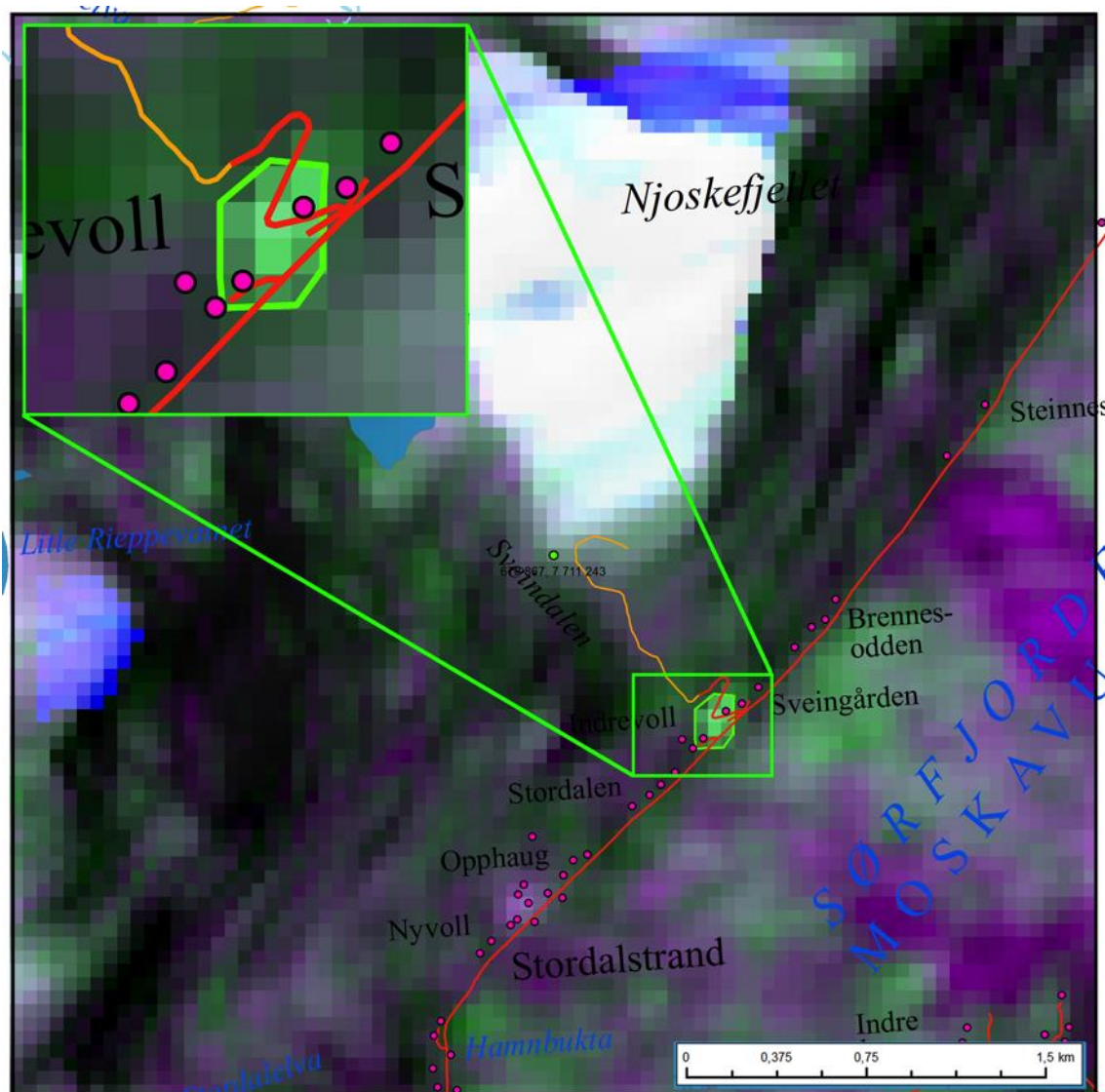
4.4.8 SØRPEKRED #59

Sørpeskred #59 er ikke synlig i RGB bilde (Figur 4-25), selv om sørpeskredet er stort.



Figur 4-25: RGB bilde med referanse bilde fra 20100415 og aktivitetsbilde fra 20100520. Path 343, VV polarisasjon.

4.4.9 SØRPE SKRED #64



Figur 4-26: RGB bilde med referanse bilde fra 20100201 og aktivitetsbilde fra 20100308. Path 300, VV polarisasjon.

5 DISKUSJON & KONKLUSJON

5.1 DETEKSJON AV SØRPESKRED MED CHANGE DETECTION

I det følgende vil vi diskutere resultatene av våre manuelle sørpeskreddeteksjoner med bruk av Sentinel-1A, Radarsat-2, og Envisat ASAR data. Med hensyn til romlig oppløsning er det rimelig å anta at Radarsat-2 Ultrafine er best, siden sensoren har en romlig oppløsning på 3x3m. Dessuten har Eckerstorfer and Malnes (2015) vist potensiale av Radarsat-2 til snøskreddeteksjon.

Sørpeskred er en spesiell type skred, som skiller seg fra de andre skredtypene på flere måter. Her er en liste av punkter som øker (+) og reduserer (-) sjansen for deteksjon:

- (+) Sørpeskred har betydelig mer vann i skredavsetninga. C-Band SAR penetrerer ikke våt snø, derfor kan radar backscatter fra sørpeskred antas å være høyere enn fra våtsnøskred og tørrsnøskred.
- (-) Sørpeskred utløser og ”flyter” i terreng som oftest er langs bekke- eller elveløp, eller i forsenkinger i terrenget. De fører til to problemer: (1) Selve terrenget er vanskelig å oppløse med radarbilder som har pikselstørrelse på >10m. (2) Sørpeskredavsetninger er ofte bare få meter i bredde, men mange hundre meter lange, som gjør det også vanskelig med deteksjon i radarbilder med oppløsning over 10m.
- (-) Sørpeskred utløses ofte sent i sesongen når snøen i avsetningsområde har smeltet og bakken er tint. Det gjør det vanskelig å skille radar backscatter fra sørpeskredavsetning og bakken.
- (-) Sørpeskred tar ofte med seg hele snødekket i skredløpet og eroderer terrenget. Det fører til skredavsetninger som inneholder mye jord og stein. Det gjør manuell deteksjon av skredavsetninger vanskelig og i mange tilfeller umulig.

For å konkludere, det er flere punkter i disfavør enn i favør av deteksjon av sørpeskred. I det følgende viser vi et sammendrag av sørpeskredhendelser vi prøvde å detektere:

5.1.1 SENTINEL-1A

Sentinel-1A og Sentinel-1B (fra 2016) er de to viktigste radarsatellittene som skal brukes i operasjonelt snøskredovervåking. Årsaken er at satellitten dekker store områder minst hver 12. dag (6. dag fra 2016), med de samme geometriene. Den romlige oppløsning er 10x10m, som er høyt nok til å detektere middels-store snøskred, og data er gratis tilgjengelig fra hele verden.

Vi prøvde å detektere sørpeskred i alle 13 hendelsene NVE rapporterte, og vi lyktes med det i 7 tilfeller. Dessverre er endringene i backscatter som oftest små, og ikke veldig tydelige slik at konfidens-nivået blir ganske lavt i 6 av de 7 hendelsene. Kun for et av skredene (sørpeskred #1) er vi rimelig sikkert på tolkninga (Tabell 5-1). For flere

av hendelsene måtte vi imidlertid bruke referansebilder fra opptil en måned før skredet. Dette, samt at flere av bildene etter skredhendelsene også er tatt opp noen dager etter selve hendelsen, gjør at data-grunlaget ikke alltid er optimalt.

Dette heller negativt resultat har flere grunner:

- (1) Sørpeskred #2 (Figur 4-3) er vi ganske usikkert på siden skredet er veldig lite og derfor vanskelig å detektere.
- (2) Sørpeskred #3 (Figur 4-4) utløste på vestsiden av elva som er i radarskyggen. Vi har dessverre ingen bilder med “ascending” geometri som kanskje kunne vise sørpeskredet.
- (3) Sørpeskredene #4-8 vises bare med veldig svakt radar backscatter signatur, som gjorde det vanskelig å detektere dem med høy konfidens. Hvis posisjonen til skredene hadde vært ukjent ville vi ikke detektert noe.
- (4) Sørpeskredene #9-11 og 13 er vi usikkert på siden de er ikke synlig i RGB bildene. Det kan skyldes at disse skredene er veldig avlangt, men bare noen meter bred. Posisjonsnøyaktigheten er også lav for disse skredene.
- (5) Sørpeskred #12 (Figur 4-13) er vi usikkert på om er egentlig et sørpeskred eller et jordskred. Den store andel med jord og stein gjør det ikke mulig til å skille skredavsetning fra bakken.

Tabell 5-1: Sammendrag av sørpeskredhendelser i 2015, som ble vist i resultatene. Her oppgir vi deteksjon eller ingen deteksjon, og 'level of confidence' når sørpeskred ble detektert.

#	Aktivitetsskildre	Path	Polarisasjon	Sørpeskred detektert	Konfidens
1	20150107	139	VH	JA	90%
2	20150104	102	VV	JA	25%
3	20150107	139	VV	NEI	
4	20150107	139	VH	JA	25%
5	20150109	168	VV	JA	25%
6	20150106	131	VV	JA	10%
7	20150107	139	VV	JA	5%
8	20150107	139	VH	JA	35%
9	20150104	102	VV	NEI	
10	20150112	037	VV	NEI	
11	20150323	008	VH	NEI	
12	20150722	029	VH	NEI	
13	20150203	029	VV	NEI	

5.1.2 RADARSAT-2

Radarsat-2 data er datasettet med høyest oppløsning som er tilgjengelig og egner seg derfor best til deteksjon av snøskred. Men dataene er dessverre ikke gratis og dekker mindre områder en Sentinel-1.

Vi prosesserte data fra alle sørpeskredhendelser og gjorde en forhåndsinspeksjon av SAR bildene. Etter det valgte vi ut de tre eksemplene som var mest lovende, og framførte manuelt deteksjon i RGB bildene (Tabell 5-2).

Vi klarte å detektere sørpeskred i to tilfeller med høy konfidens siden sørpeskred #25 er rimelig stort, og sørpeskred #32 synes godt med veldig høy radar backscatter. Det er en del usikkert tilknyttet til deteksjon av sørpeskred #30, men posisjonen overensstemmer godt med en høy radar backscatter signatur.

Tabell 5-2: Sammendrag av sørpeskredhendelser i 2013, som ble vist i resultatene. Her oppgir vi deteksjon eller ingen deteksjon, og 'level of confidence' når sørpeskred ble detektert.

#	Aktivetsbilde	Path	Polarisasjon	Sørpeskred detektert	Konfidens
20-24				ikke prøvd	
25	20130604	095	HH	JA	90%
26-29				ikke prøvd	
30	20130420	138	VV	JA	20%
31				ikke prøvd	
32	20130427		VV	JA	75%
33				ikke prøvd	

5.1.3 ENVISAT ASAR

Envisat ASAR sluttet å virke i 2012, derfor er satellitten ikke interessant til framtidig skreddeteksjon. Men vi prøvde å detektere noen sørpeskred som fantes i database fra perioden 2010-2012. De beste resultatene ble oppnådd ved bruk av ASAR data, som skyldes på sørpeskredstørrelse. Det fleste sørpeskredene i databasen var store skred, som var synlig i ASAR data med romlig oppløsning på bare 75x75m.

Vi prosesserte også data fra alle sørpeskredhendelser og gjorde igjen en forhands inspisering av SAR bildene, før vi valgte noen lovende eksempler (Tabell 5-3).

Tabell 5-3: Sammendrag av sørpeskredhendelser i perioden 2010-2012, som ble vist i resultatene. Her oppgir vi deteksjon eller ingen deteksjon, og 'level of confidence' når sørpeskred ble detektert.

#	Aktivetsbilde	Path	Polarisasjon	Sørpeskred detektert	Konfidens
39&40	20100520	337	VV	JA	100%
51-50				ikke prøvd	
51	20100518	308	VV	JA	25%
52				ikke prøvd	
53	20100517	294	VV	JA	25%
54	20100518	308	VV	JA	75%
55	20100517	300	VV	JA	50%
56	20100516	286	VV	JA	15%
57	20100516	286	VV	JA	75%
58				ikke prøvd	
59	20150520	343	VV	NEI	

60-63				ikke prøvd	
64	20100308	300	VV	JA	90%

5.2 DETEKSJON AV SØRPESKRED MED INTERFEROMETRI

Norut har inntil nå ikke eksperimentert med deteksjon av snøskred med bruk av interferometri. Norut har arbeidet mye interferometri og fjellskred / jordskjelv.

Det finnes en del utfordringer tilknyttet interferometri av snø, siden snøen gir dårlig koherens, og siden man trenger single look complex produkter til interferometri. Det kan tenkes at interferometri kan brukes i ettertid til å detektere hvor sørpeskred har gått. En mulig metode kan være å se etter områder der koherens fra et år til det neste endres betydelig. F eks kan det tenkes at sørpeskred kan skrelle bort mye skog. Da kan interferometri vise at koherensen øker. Dette er ikke testet ut i prosjektet.

5.3 AUTOMATISK DETEKSJON AV SØRPESKRED MED ENDRINGSDETEKSJON

Siden vår suksessrate i deteksjon av sørpeskred med de ulike sensorene er lav, sammen med et lav konfidens er vi relativt sikker på at automatisk deteksjon av sørpeskred, og dermed en oppskalering av metodene til et automatisk sørpeskred system ikke er mulig på nåværende tidspunkt. Vår automatiske deteksjonsalgoritme for snøskred, som er nå i utviklingsfasen (NGI, 2015) kunne bare detektere store sørpeskred i relativt enkelt terreng, for eksempel sørpeskredene #25, 39 og 63. Hovedproblemet er todelt:

- Radar backscatter signaturen for de fleste sørpeskredene er ikke veldig tydelig, mest på grunn av urenheter i skredavsetninger.
- Sørpeskredavsetninger utløses i terreng som ikke er et typisk skredterreng, derfor ville ikke vår automatiske deteksjonsalgoritme lete etter skred i disse områder. Algoritmen er satt opp til å redusere områder til typisk skredterreng, for å minke prosesseringstid og øke deteksjonssannsynlighet. Det er imidlertid mulig å endre algoritmen til å lete etter sørpeskred i terreng som er typisk for sørpeskredaktivitet.

6 KONKLUSJON

Vi konkluderer at manuell sørpeskreddeteksjon er mulig i radarsatellittbilder av høyt og medium romlig oppløsning. Det forutsetter at sørpeskredet minst er av middels størrelse, og at posisjonen av sørpeskredhendelsen er nøyaktig kjent, og at sørpeskredavsetning er omtrent like langt som den er bred. I tillegg må snøen i sørpeskredavsetning være ren, uten for stort andel av jord og stein.

Det er derfor mange punkter som begrenser deteksjon av sørpeskred, særlig hendelser som er ikke kartlagt på forhånd. Det er også tydelig at det begrenser automatisk deteksjon, noe som er viktig i en operasjonell sammenheng.

Vi ser likevel potensiale i vår metode og jobber stadig med utvikling, særlig med deteksjon av forskjellige typer skred, og forståelsen av hvilke fysiske snøparametere i snøskredavsetning som bidrar til økt radar backscatter. I denne sammenheng hadde det vært interessant om NVE hadde samlet inn mer data fra sørpeskred som f.eks. størrelse av avsetning, snødybde og snøtetthet i avsetning og vanninnhold i snøen. Et FoU oppfølgeprosjekt å kunne ha disse punktene som mål.

I tillegg til sørpeskreddeteksjon ved bruk av endringsdeteksjon, ser vi også mulighet til å bruke backscatter informasjon fra radarsatellittbilder til å kvantifisere våtsnøfordeling på landskapet skala, i tillegg til våtsnøfordeling med høyde.

7 REFERANSER

- Eckerstorfer, M., Bühler, Y., Frauenfelder, R. and Malnes, E., 2016. Remote sensing of snow avalanches: recent advances, potential, and limitations. *Cold Regions Science and Technology*, 121: 126-140.[doi:10.1016/j.coldregions.2015.11.001](https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2015.11.001)
- Eckerstorfer, M. and Malnes, E., 2015. Manual detection of snow avalanche debris using high-resolution Radarsat-2 SAR images. *Cold Regions Science and Technology*, 120: 205-218.<http://dx.doi.org/10.1016/j.coldregions.2015.08.016>
- Hestnes, E., 1998. Slushflow hazard - where, why and when? 25 years of experience with slushflow consulting and research. *Annals of Glaciology*, 26: 370-376
- Hestnes, E. and Bakkehøi, S., 2004. Slushflow hazard prediction and warning. *Annals of Glaciology*, 38: 45-51
- Larsen, Y., Engen, G., Lauknes, T.R., Malnes, E. and Høgda, K.A., 2005. A generic differential interferometric SAR processing system, with applications to land subsidence and snow-water equivalent retrieval. In: E. ESRIN (Editor), *Fringe ATSR Workshop 2005*, Frascati, Italy, pp. 6.
- Martinez-Vazquez, A. and Fortuny-Guasch, J., 2008. A GB-SAR Processor for Snow Avalanche Identification. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 46(11): 3948-3956.[10.1109/TGRS.2008.2001387](https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.2001387)
- NGI, 2014. Skred. Skredfare og skiringstiltak. Praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper, Oslo.
- NGI, 2015. Towards an automated snow property and avalanche mapping system (ASAM) - Avalanche recognition and snow variable retrieval - V2 (Technical report), Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- Ulaby, F.T., Moore, R.K. and Fung, A.K., 1986. *Microwave remote sensing: Active and passive; from theory to applications*. Artech House, Norwood, pp. 1065-2162.
- Wiesmann, A., Wegmueller, U., Honikel, M., Strozzi, T. and Werner, C.L., 2001. Potential and methodology of satellite based SAR for hazard mapping., *IGARSS 2001*. IEEE, Sydney, Australia.
- Wikström, K., 2012. The potential of synthetic aperture radar for the monitoring of small scale slushflows and slush avalanches in the Atigun Pass, Alaska, Stockholms universitet, 34 pp.