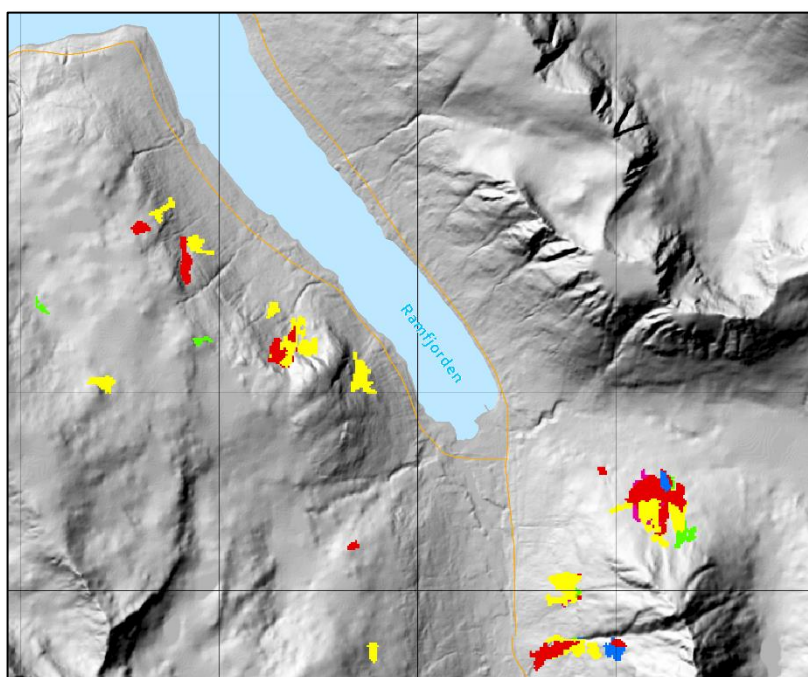


Snøskredaktivitet i Ramfjorden, Troms, 2014- 2019

Snøskreddeteksjon ved bruk av Sentinel-1
radarsatellitt

Markus Eckerstorfer



Prosjekttittel: Snøskredaktivitet i Ramfjorden, Troms, 2014-2019. Snøskredeteksjon ved bruk av Sentinel-1 radarsatellitt

Prosjektnummer: 101993-1

Institusjon: NORCE Teknologi, Jordobservasjonsavdeling

Oppdragsgiver(e): Statens Vegvesen

Rapportnr.: 4-2019

ISBN: 978-82-8408-042-0

Antall sider: 19

Publiseringsmnd.: Oktober

Sitering: Eckerstorfer, M.: Snøskredaktivitet i Ramfjorden, Troms, 2014-2019. Snøskredeteksjon ved bruk av Sentinel-1 radarsatellitt. NORCE rapport 4, 2019, ISBN: 978-82-8408-042-0.

Tromsø, 29.10.2019

Markus Eckerstorfer
Prosjektleder

Eirik Malnes
Kvalitetssikrer

Kjell-Arild Høgda
Forskningsleder

Disclaimer – ansvarsavgrensning

Fjernmålingsmetoden vi bruker for skreddeteksjon har en viss usikkerhet. Det er mulig at vi ikke detekterte middels til store skred som har gått og ble observert i perioden 2014-2019. Det er også mulig at vi detekterte middels til store skred som egentlig ikke fantes. Basert på generelle studier over større områder er falsk alarmraten i størrelsesorden 20% for automatisk deteksjon, men siden vi gjør manuell kvalitetssikring av resultatene i denne rapporten, forventer vi at feilene er redusert betraktelig, om ikke fullstendig.

Innhold

Disclaimer – ansvarsavgrensning	2
Figurfortegnelse	4
Tabellfortegnelse	5
Sammendrag	6
1. Innledning	7
2. Teori	8
3. Data og metode	10
4. Resultater	13
5. Konklusjon	17
6. Referanser	18

Figurfortegnelse

Figur 1: Eksempel av endringsdeteksjon i Sentinel-1 radarsatellittbilder av samme satellittbane i et tidsintervall av 6 dager.	8
Figur 2: Utløpsområde i studieområde (svart linje markerer omfanget).	9
Figur 3: Tidsmessig fordeling av S1 data fra seks ulike satellittbaner i perioden 2014-2019.	11
Figur 4: Områder som er dekket av radarskyggen og layover for de seks ulike satellittbaner i et retursyklus av 6 dager.	12
Figur 5: Terrengkart med skreddeteksjoner fra vintre 2014-2019.	13
Figur 6: Daglig antall detektert skred for alle vintre.	14
Figur 7: Topografiske skredparameter som a) skredstørrelse i m ² og skredstørrelseinndeling fra EAWS; c) høyde til maksimalt utløp; c) Helningsvinkel til maksimalt utløp.	15

Tabellfortegnelse

Tabell 1: Antall S1 data per orbit for hver av skredvarslingssesongene.....	10
---	----

Sammendrag

Vi detekterte automatisk skred i Sentinel-1 radarsatellitdata i et definert område på ca. 9.5 km² i Ramfjorden og Lavangsdalen, Tromsø kommune. Sentinel-1 data var tilgjengelig i perioden 2014-2019 og vi har lastet ned 493 bilder der vi gjorde deteksjoner. Totalt detekterte vi 88 skred, hvorav 55 skred ble detektert i den østvendte fjellsiden av Blåfjellet i Ramfjorden, og resten på Henrikstinden i Lavangsdalen. Skredene på Blåfjellet stoppet alle langt opp i lia og var i den lavere persentilen av middels store skred. De største skredene detekterte vi på Henrikstinden i Lavangsdalen, hvorav de fleste ble detektert på fjellsiden som vender mot nord inn i Saltdalen.

Det er flere usikkerhetsfaktorer tilknyttet fjernmålingsmetoden. Små skred kan ikke detekteres på grunn av den romlige oppløsningen av Sentinel-1 data. Det er også en mulighet for feildeteksjoner på grunn av terrengformasjoner som ligner på skred. Til slutt er det muligheter for at middels og store skred blir ikke detektert fordi vi prøver å skille skred som består av snø, fra uberørt snø rundt skredene. Gitt de angitte usikkerhetsfaktorene er det rimelig å anta at de aller fleste middels til store skredene som har gått ble detektert.

1. Innledning

I forbindelse med planlegging av ny E8 i Ramfjorden på innfartsvegen til Tromsø blir vegen sannsynligvis bygget mye nærmere en fjellside enn eksisterende veg er i dag. Statens Vegvesen har kunnskap om at det har gått snøskred til eksisterende veg tidligere, men på grunn av stor trafikk på ny E8 må man dimensjonere for store returperioder. Oppdraget handler om å detektere snøskred (heretter kalt skred) i et definert område av ca. 9.5 km².

Overvåkingsperioden ble definert som perioden mellom 1 desember og 31 mai hver vinter i perioden 2014-2019. Metoden for skreddeteksjon ble utviklet i Satskred-prosjektet sammen med NVE og SVV.

I denne rapporten skal vi introdusere data vi brukte, vår skreddeteksjonsmetode og gi en fremstilling av resultatene. Til slutt skal vi forklare usikkerheten og begrensningene knyttet til skreddeteksjon med radarsatellitt.

2. Teori

2.1 Skreddeteksjon ved bruk av Sentinel-1 radarsatellittdata

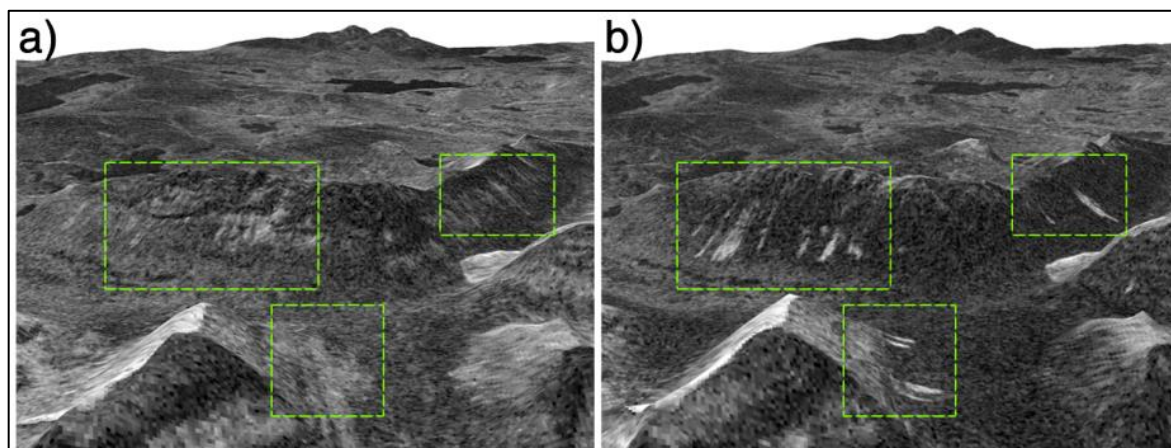
Bruken av radarsatellittdata for skreddeteksjon er fordelaktig på mange måter. Aktive radarsensorer lyser på jordens overflate ved hjelp av mikrobølgestråling og er dermed uavhengige av lysforhold, vær eller skydekke. Sentinel-1-satellittene leverer gratis SAR (syntetisk aperture radar) data på en konsistent måte, noe som muliggjør overvåking av skred nesten hvor som helst på jorden.

Men, metoden har også noen begrensninger. Radarsatellittene avbilder med skrått innfall (30-46°). Skråninger som ligger i radarskyggen eller er berørt av 'layover' (fjellside som folder seg over) kan ikke brukes til skreddeteksjon. Den romlige oppløsning er 20 m etter geokoding, og det begrenser deteksjon av minimal skredstørrelse til middels store.

2.2 Automatisk skreddeteksjon

Fjernmåling av skred er et ungt og raskt utviklende vitenskapelig felt, der NORCE har en verdensledende rolle (Eckerstorfer et al., 2017; Vickers et al., 2017, 2016). Radarbilder fra satellitt viser tilbakespredt energi (backscatter), som er en refleksjon av energi tilbake til satellitten. I Figur 1a viser vi et eksempel av en radar 'backscatter' bilde. Ulike gråtoner i bilde samsvarer med ulikt tilbakespredt energi fra bakken til satellitten.

Ulike overflater har forskjellige spredningsegenskaper. På grunn av den røe overflaten i skredavsetninger sammenlignet med uberørt snø, kommer det mer energi fra snøskred tilbake til satellitten. Det kan vi se i Figur 1b, hvor i samme område som Figur 1a utløste noen skred (i de grønne firkantene). Bildene med samme geometri (dvs samme innfallsvinkel og retning) ble tatt av satellitten med 6 dagers tidsforskjell. I dette tidsintervallet utløstes det en del skred som er synlig som lyse-grå og hvite, avlange 'features' som skiller seg tydelig fra resten av bildet.

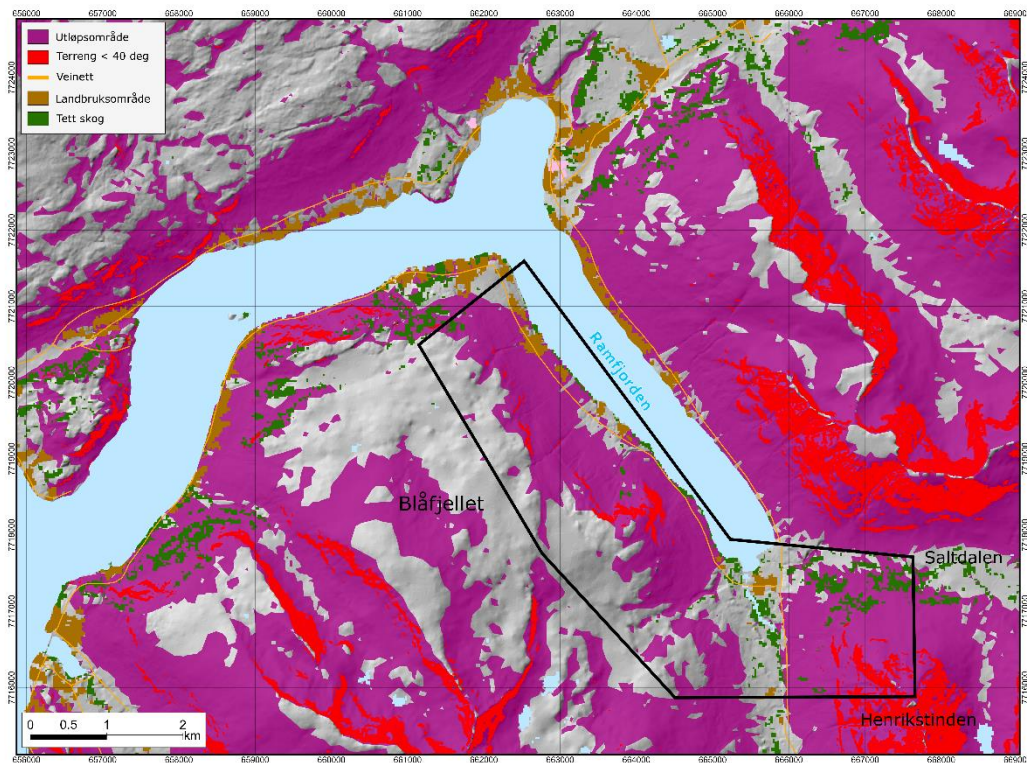


Figur 1: Eksempel av endringsdeteksjon i Sentinel-1 radarsatellittbilder av samme satellittbane i et tidsintervall av 6 dager.

Vår skreddeteksjonsalgoritme sammenligner informasjon fra Figur 1a og Figur 1b som kalles for endringsdeteksjon og sluttproduktet er et binært kart (skred/ikke skred) som output etter flere segmenterings og klassifiseringssteg (Vickers et al., 2016).

2.2.1 Maskering

For å redusere falske alarmer leter vår deteksjonsalgoritme kun etter skred i de lilla områdene i Figur 2 som viser utløpsområde. Utløpsområdekart ble lagd av NVE ved å definere utløsningsområde først, og deretter å bruke den empiriske alpha-beta modellen til å beregne utløp. Hvis det er tett skog eller landbruksområder i utløpsonen, så blir disse områdene også maskert bort. Antagelsen er at skred kan ikke gå i tettskog. I landbruksområder har vi erfaring med at mange falske alarmer opptrer siden overflateruhet i disse områdene forandrer seg mye gjennom vintersesongen (pløying mm), og vi har derfor valgt å maskere disse områdene også.



Figur 2: Utløpsområde i studieområde (svart linje markerer omfanget).

3. Data og metode

3.1 Data

3.1.1 Sentinel-1 data

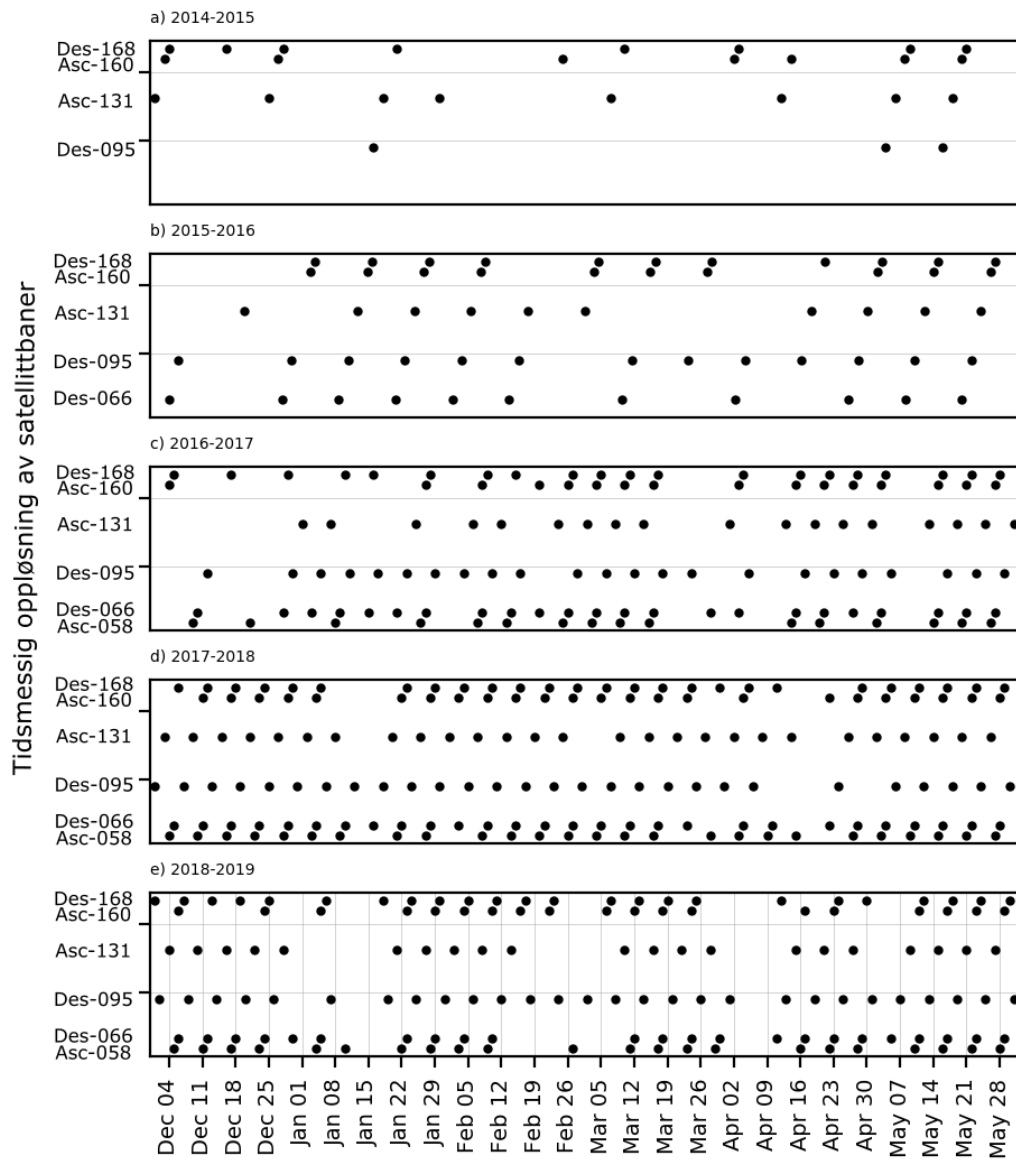
Vi lastet ned Sentinel-1 (S1) data fra Copernicus Collaborative Data Hub (<https://colhub.met.no/#/home>) fra perioden 2014-2019. Sentinel-1 data har etter geokoding en pikseloppløsning av 20 x 20 m. I september 2014 ble S1 data tilgjengelig for første gang. Vi har lastet ned til sammen 493 S1 bilder for alle de fem vintrene (når vi definerer perioden 1. desember til 31. mai som skredvarslingssesongen). I Tabell 1 viser vi alle S1 bilder som ble lastet ned fra de ulike satellittbaner. Tre ‘ascending’ og tre ‘descending’ satellittbaner var tilgjengelige, og man ser veldig tydelig at tilgjengeligheten av satellittdata økte gjennom årene fram til 2017-2018. Det var en del mindre S1 data tilgjengelig i 2018-2019. Generelt er opptaksmønster til S1 satellittene (A og B) veldig dynamisk og kan endre seg raskt.

Tabell 1: Antall S1 data per orbit for hver av skredvarslingssesongene.

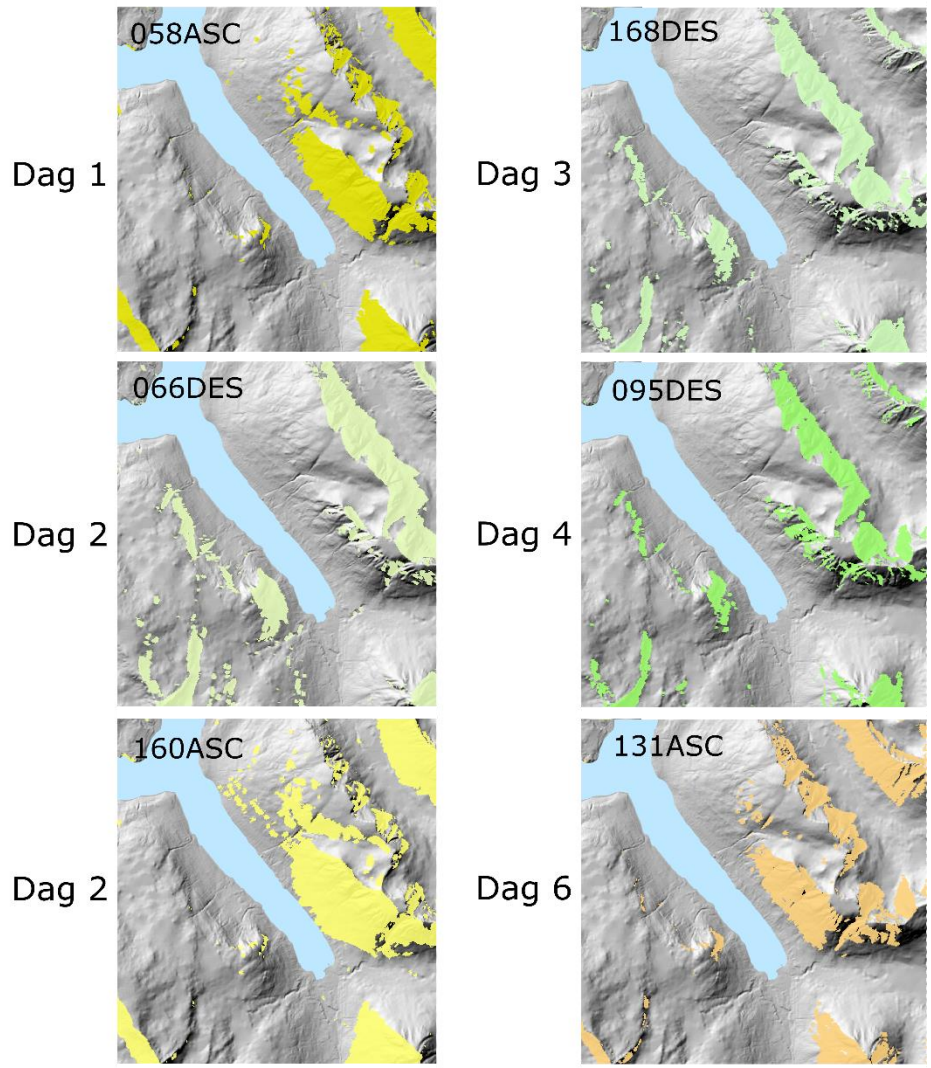
Satellittbaner	Skredvarslingssesong				
	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
131-ASC	8	10	18	27	21
160-ASC	7	10	16	24	19
058-ASC	-	-	16	26	22
066-DES	-	11	23	28	23
095-DES	3	13	23	28	28
168-DES	8	11	20	26	24
S1 data totalt	26	55	116	159	137

Den tidsmessige fordelingen av S1 data viser vi i Figur 3. Også i de siste to vintrene oppstod det en del data hull, dvs tidsrom der S1 data med samme satellittbane gikk fra 6 dager opp til 12 dager. Generelt sett var det nesten daglig dekning for vinteren 2016-2017, med opptil to bilder per dag i de siste to vintre.

Siden radarsensoren om bord på S1 satellittene er et instrument som ser på skrå ned på bakken istedenfor rett ned, oppstår det radarskygger og ‘layover’ effekter i bildene i fjellterreng. Dette er områder som har lite til ingen informasjon, og derfor maskerer vi dem bort. Satellittene flyr ‘opp’ og ‘ned’ fra Nordpolen i en oppgående (ascending) og nedgående (descending) satellittbane. Det betyr at skråninger av ulik himmelretning befinner seg i radarskyggen. I Figur 4 viser vi områdene som er påvirket av disse maskene. Ved bruk av de tre ‘ascending’ satellittbaner maskerer vi bare noen få områder ut, men ved å bruke de tre ‘descending’ satellittbanene i tillegg er nok store områder påvirket av radarskyggen og ‘layover’.



Figur 3: Tidsmessig fordeling av S1 data fra seks ulike satellittbaner i perioden 2014-2019.

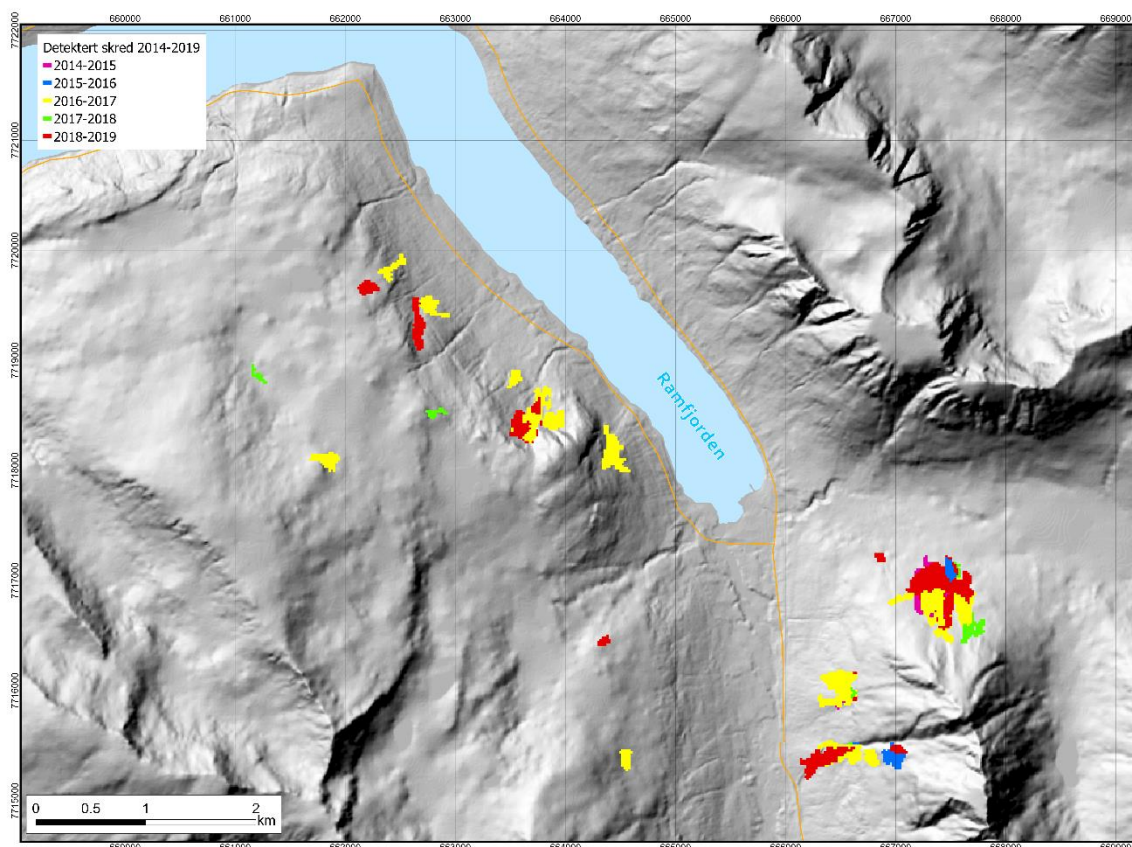


Figur 4: Områder som er dekket av radarskyggen og layover for de seks ulike satellittbaner i et retursyklus av 6 dager.

4. Resultater

5.1 Romlig fordeling av detektert skredaktivitet

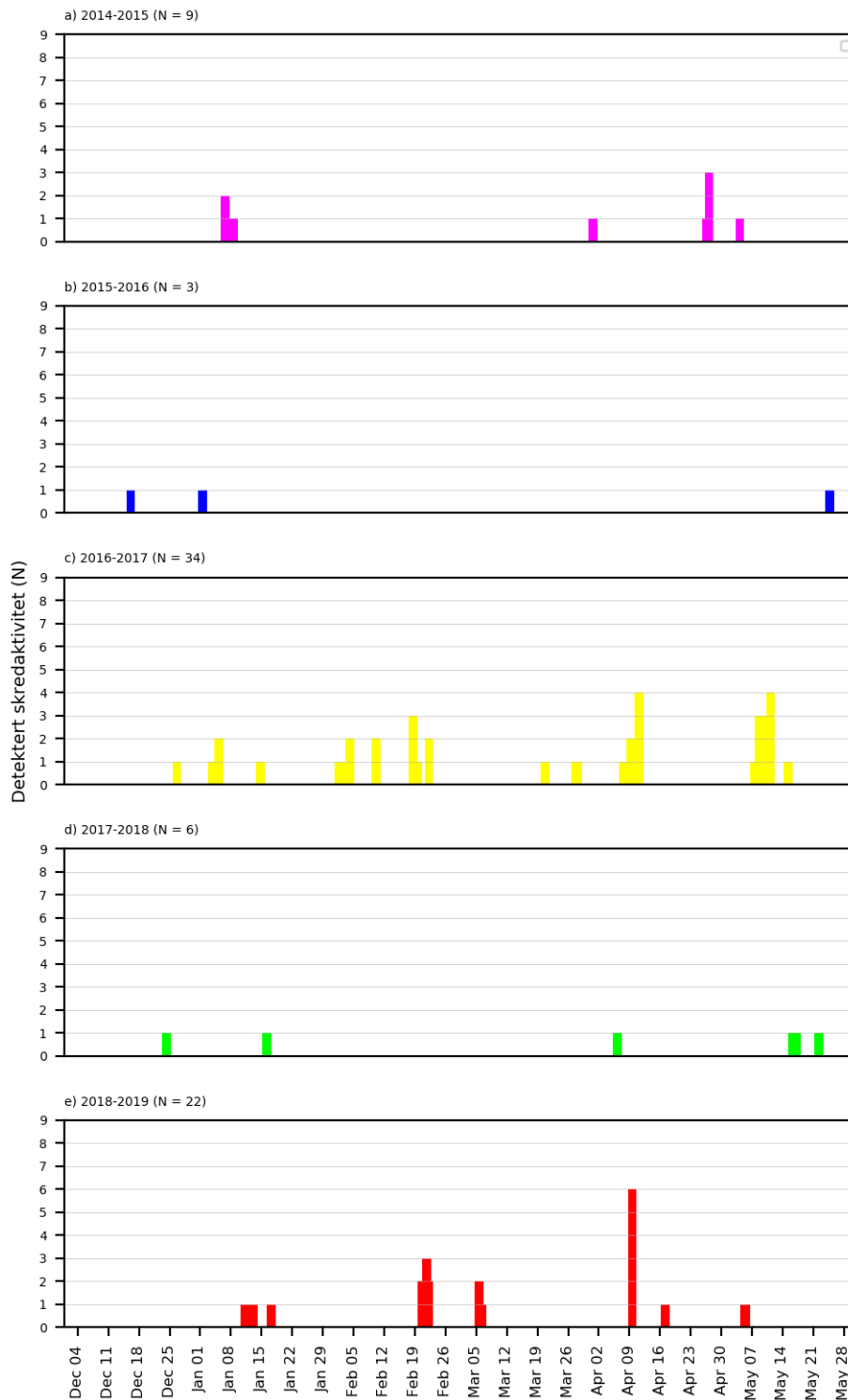
Av totalt 88 skred, ble 33 detektert på Blåfjellet i Ramfjorden og 55 skred i Lavangsdalen, hvorav 53 skred ble detektert på Henrikstinden (Figur 5). Skred som stoppet nær E8 ble bare detektert på Henrikstinden i den kjente skredbanen. På Blåfjellet stoppet de fleste detekterte skredene lenger opp i bakken.



Figur 5: Terrengkart med skreddeteksjoner fra vintre 2014-2019.

5.2 Temporal fordeling av detektert skredaktivitet

Vi detekterte skred alle vintrene i 2014-2019 perioden (Figur 5). De fleste skredene ble detektert vinteren 2016-2017. Denne vinteren hadde vi generelt flest skreddeteksjoner i hele Troms. Vinteren 2017-2018 er det få skreddeteksjoner sannsynligvis på grunn av at det var en veldig tørr vinter. Det er også relativt få deteksjoner i 2014-2015 og 2015-2016, men her kan også relativt færre S1 data ha spilt en rolle.



Figur 6: Daglig antall detektert skred for alle vinter.

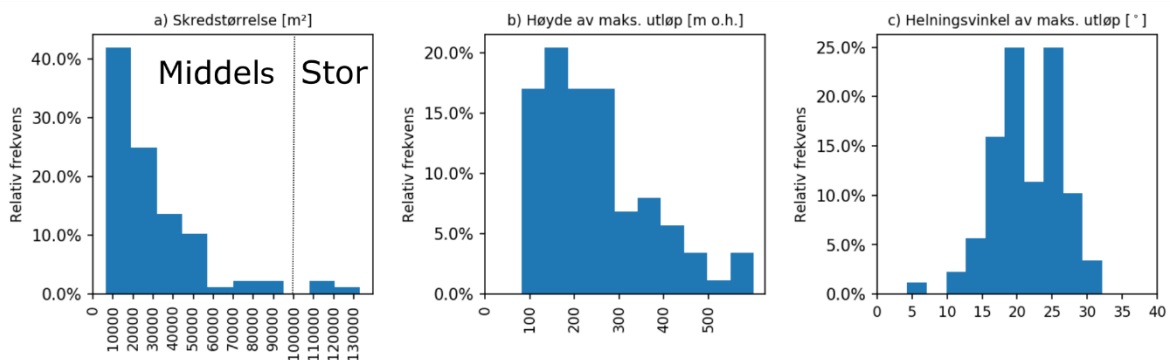
5.3 Topografiske skredparameter

Fra skredpolygonene vi presenterer i Figur 5 kan vi hente ut topografisk informasjon om de detekterte skredene. Topografiske data presenteres i Figur 7. De fleste skredene var middels store skred, hvorav de aller fleste skredene dekte et areal på 10,000-20,000 m².

Deteksjonssalgoritmen vår har et minium ‘cut-off’ størrelse for deteksjoner som er 4000 m², fordi muligheten for feildeteksjoner øker når små skred er tatt i betraktning.

Vi detekterte ingen skred på havnivå eller på veg forskjøvet. Vi vet at det har gått skred over vegen i Ramfjorden, men vi detekterte dem ikke, kanskje fordi skredavsetningene var for små eller ble ryddet bort før neste satellittpassering. Det er også mulig at skredene ble maskert bort fordi de stoppet i landbruksområdene.

Helningsvinkelen til punktet hvor de detekterte skredene stoppet vises i samme bilde som maksimal utløpshøyde. Ingen av skredene som vi detekterte stoppet i flatt terreng, men mange skred stoppet i skåningen og ble dermed heller ikke så store.



Figur 7: Topografiske skredparameter som a) skredstørrelse i m² og skredstørrelseinndeling fra EAWS; c) høyde til maksimalt utløp; c) Helningsvinkel til maksimalt utløp.

5.4 Usikkerhet tilknyttet skreddeteksjon med radarsatellitt

I likhet med andre fjernmålingsmetoder medfører også skreddeteksjon med radarsatellitt en del usikkerheter tilknyttet deteksjonsmetoden:

a. Endringsdeteksjon av snø:

I vår endringsdeteksjonsmetode bruker vi økning i backscatter fra skred sammenlignet med uberørt snø og sammenlignet med forrige satellittpassering 6 dager tidligere. Siden skredavsetninger også består av snø, kan endringsdeteksjon i samme medium noen ganger være utfordrende. Samtidig kan vi med C-band radar ikke skille mellom tørr snø og barmark. Det medfører at geomorfologiske landformer som skredtunger, jordskredavsetninger osv. kan feiltolkes som skred.

b. Romlig oppløsning av radardata:

Romlig oppløsning på 20 x 20 m gjør at det ikke er mulig å detektere små skred. Det er også vanskelig å detektere middels eller store skred som er avlange og veldig tynne. Hvis bredden av skredet er mindre en 20 m, så detektere vi det med stor sannsynlighet ikke. Når det er flere skred ved siden av hverandre så er det muligheter for at deteksjonssalgoritmen slår skredene sammen til et skred.

5.5 Validering av skreddeteksjoner

Vi har ingen feltvalideringsdata tilgjengelig for det aktuelle området. Vi må derfor støtte oss på andre feltvalideringer av vår automatisk deteksjonsmetode for å si noe generelt om nøyaktigheten av metoden.

Vi har et datasett med nesten 300 feltobserverte skred (spredt hovedsakelig ut over Tromsø kommune i perioden 2014-2019). Vår metode er i stand til å detektere omtrent 65 % av disse skredene. Nesten 70 % av dette datasettet består av små skred, som vi vet er vanskelige å detektere med vår metode. Når vi bare ser på middels til store skred i datasettet, så klarer algoritmen å detektere over 90 % av dem.

Så vi konkluderer derfor med at vi generelt gå glipp av en del skred, særlig når de er av mindre størrelse, men er rimelig trygg på at vi detektere de aller fleste middels til store skred.

5. Konklusjon

Vi har brukt radarbilder fra Sentinel-1 satellittene til automatisk deteksjon av skred i studieområdet for vintrene 2014-2019. Av totalt 88 detekterte skred, ble 55 skred detektert i den østvendte fjellsiden av Blåtinden i Ramfjorden. Alle disse detekterte skred stoppet langt opp i lia, og var i den lavere percentilen av middels store skred. De største skredene detekterte vi på Henrikstinden i Lavangsdalen, hvorav de fleste ble detektert på fjellsiden som vender mot nord inn til Saltdalen.

Gitt de angitte usikkerhetsfaktorene, så er det rimelig å anta at de aller fleste middels til store skred som har gått i perioden 2014-2019 ble detektert.

6. Referanser

- Eckerstorfer, M., Malnes, E., Müller, K., 2017. A complete snow avalanche activity record from a Norwegian forecasting region using Sentinel-1 satellite-radar data. *Cold Reg. Sci. Technol.* 144, 39–51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.08.004>
- Vickers, H., Eckerstorfer, M., Malnes, E., Doulgeris, A., 2017. Synthetic Aperture Radar (SAR) Monitoring of Avalanche Activity: An Automated Detection Scheme, in: Sharma, P., Bianchi, F.M. (Eds.), *Image Analysis*. Springer International Publishing, Cham, pp. 136–146. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59129-2_12
- Vickers, H., Eckerstorfer, M., Malnes, E., Larsen, Y., Hindberg, H., 2016. A method for automated snow avalanche debris detection through use of synthetic aperture radar (SAR) imaging. *Earth Space Sci.* 18. <https://doi.org/10.1002/2016E000168>



NORCE Norwegian Research Centre AS
www.norceresearch.no