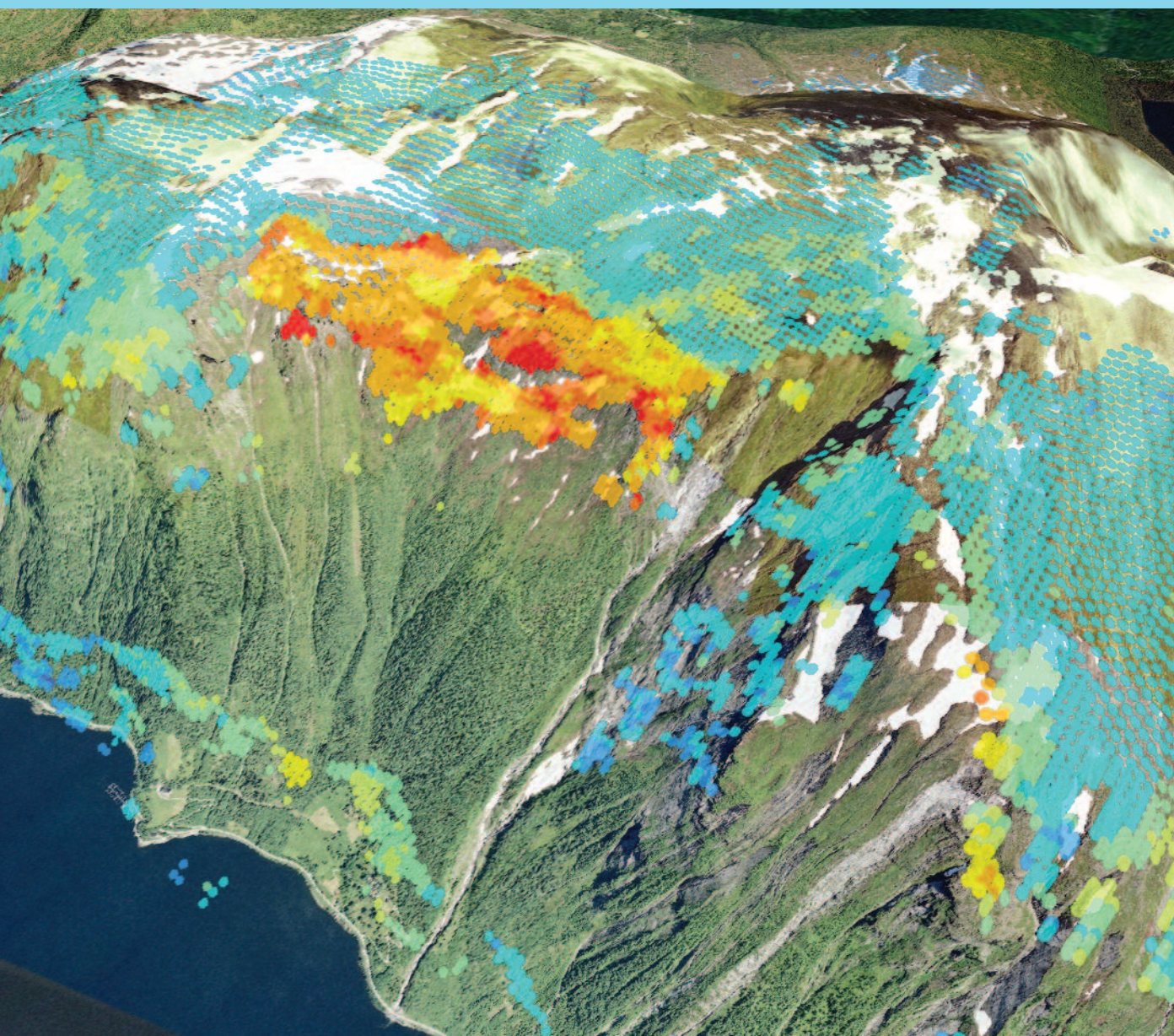


# Kartlegging og overvåking av skredfare og infrastruktur ved bruk av radarsatellitter og InSAR-metodikk

Grunnlag for en strategisk plan for offentlig bruk av interferometri i Norge



### **Forsidebilde**

InSAR resultater drapert over en 3-D høydemodell og et optisk satellittbilde.

I 2009 begynte Norges geologiske undersøkelse systematisk behandling av alle tilgjengelige ERS-bilder over Sogn og Fjordane og Møre og Romsdal som en del av sin regionale skredkartlegging. InSAR-prosessering ble gjort ved hjelp av programvare utviklet av Norut Tromsø for dette formålet. Osmundneset, som ligger på østsiden av Hyenfjorden, en sørlig gren av Nordfjord, er et eksempel på et ustabilt fjellparti som ble oppdaget ved hjelp av InSAR.

### **Tittelsidebilde**

InSAR-kart basert på Radarsat-2 viser hastighet av nedsynking ved Oslo S og Bjørvika. Røde sirkler viser nedsynking på opptil 27 mm per år.

### **Baksidebilde**

InSAR-kart basert på Radarsat-2 viser hastighet av nedsynking ved Skøyen stasjon. Røde sirkler viser nedsynking på opptil 27 mm per år.

# Kartlegging og overvåking av skredfare og infrastruktur ved bruk av radarsatellitter og InSAR-metodikk

Grunnlag for en strategisk plan for offentlig bruk av interferometri i Norge



## Forfattere

Guro Dahle Strøm, Norsk Romsenter  
Dag Anders Moldestad, Norsk Romsenter

Eli Katrina Øydvin,  
Norges vassdrags- og energidirektorat

John Dehls, Norges geologiske undersøkelse

Heidi Bjordal, Statens vegvesen

Per Anton Fevang, Jernbaneverket



# Innhold

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| <b>Sammendrag</b>                                          | 4  |
| <b>English Summary</b>                                     | 6  |
| <b>1 Innledning</b>                                        | 8  |
| <b>2 Bruk av radarsatellittdata</b>                        | 10 |
| 2.1 Dagens bruk av radarsatellittdata til skredkartlegging | 10 |
| 2.2 Andre anvendelser innen skred                          | 11 |
| 2.3 Andre anvendelser av satellittbasert InSAR             | 13 |
| <b>3 Teknologi</b>                                         | 16 |
| 3.1 Radarsatellittopptak                                   | 16 |
| 3.2 Hvordan virker InSAR?                                  | 18 |
| 3.3 Interferometrisk prosessering – InSAR-metodikk         | 20 |
| 3.4 Effekter av ulik oppløsning                            | 21 |
| <b>4 Satellitter</b>                                       | 25 |
| 4.1 Jordobservasjon og Norge                               | 25 |
| 4.2 Det europeiske programmet Copernicus                   | 25 |
| 4.3 Satellittdataatilgang                                  | 26 |
| <b>5 Produksjonslinje</b>                                  | 30 |
| 5.1 Andre norske aktører                                   | 31 |
| <b>6 Etatenes behov</b>                                    | 34 |
| 6.1 NGU                                                    | 34 |
| 6.2 NVE                                                    | 34 |
| 6.3 Jernbanelivet                                          | 36 |
| 6.4 Statens vegvesen                                       | 41 |
| 6.5 Oppsummering av brukerbehov i etatene                  | 45 |
| <b>7 Anbefalinger</b>                                      | 47 |
| 7.1 Anvendelser                                            | 47 |
| 7.2 Framtidig produksjonslinje                             | 47 |
| 7.3 Forsknings- og kompetansebehov                         | 50 |
| <b>Ordliste</b>                                            | 52 |

# Sammendrag

*Formålet med denne rapporten er å utrede flerbrukspotensialet ved bruk av radarsatellitter og InSAR-metodikk for kartlegging og overvåking av skredfare og infrastruktur. Utredningen er laget etter initiativ fra Norsk Romsenter, og med støtte fra Olje- og energidepartementet, Samferdselsdepartementet og Nærings- og handelsdepartementet (nå Nærings- og fiskeridepartementet). Den er ment som et grunnlag for en strategisk plan for offentlig bruk av interferometri i Norge.*

*Rapporten er utarbeidet i et samarbeid mellom Norsk Romsenter, Statens vegvesen, Jernbaneverket, Norges vassdrags- og energidirektorat og Norges geologiske undersøkelse.*

Europas første radarsatellitt ble skutt opp i 1991 for å ta radarbilder. Radarsatellittene viste seg å være langt mer nøyaktige og stabile enn noen hadde forutsett. En stor fordel med radarsatellitter er at de kan måle gjennom skyer og observere uavhengig av dagslys. En annen gevinst er at data fra satellitter dekker store geografiske områder. Bruk av data fra Synthetic Aperture Radar, SAR, for å få fram bevegelser i vertikalretningen, kalt InSAR-metodikk, har vokst fram som en revolusjonerende ny metodikk innen geofag de siste årene. InSAR er nå en anerkjent metodikk internasjonalt, og benyttes til å kartlegge og overvåke fare for jordskjelv og vulkanutbrudd samt til å foreta høydeendringskartlegging (nedsynking/setninger). InSAR-metodikken fungerer best der det er bart fjell og lite vegetasjon og kan suppleres med for eksempel fastmonterte hjørne-reflektorer.

Norsk Romsenter, NRS, har følgemidler som brukes til å stimulere forvaltningen til å ta i bruk ny rombasert metodikk utviklet av forskningsmiljøene. Siden 2005 har NRS støttet et samarbeid mellom forskningsinstituttet Norut Tromsø, Statens vegvesen og Norges geologiske undersøkelse, NGU, innen utvikling og utprøving av InSAR-metodikk. Nordnorsk Fjellovervåking og Åknes/Tafjord Beredskap bidro også i dette arbeidet. NGU har gjennom Radarsat-avtalen, som er en avtale med Canada om bruk av data fra satellitten Radarsat-2, satt i gang systematisk innsamling av relevante radardata i flere områder av Norge. Dataene danner grunnlag for kartlegging av områder med fare for store fjellskred.

Det er først og fremst innen fjellskredkartlegging og overvåking av enkelte ustabile fjellpartier at InSAR systematisk benyttes i dag.

Resultatene fra fjellskredkartleggingen kan også ha stor nytteverdi for andre etater. Fjellskredanalysene som gjøres ved NGU viser små setninger/nedsynkninger i større fjellmassiver. Samme analyse kan brukes til å vise små setninger i grunnen, bygninger, veier, baner og konstruksjoner og av skredfare utover kartlegging og overvåking av fjellskred. Det vil derfor være viktig for etatene å få tilgang til analyseresultatene fra fjellskredkartleggingen for å se hvilken annen informasjon det er mulig å trekke ut. InSAR-teknologien er moden for en videreutvikling som på sikt kan tas i bruk for andre anvendelsesområder.

For å få til flerbruk av radardata og resultater fra kartlegging, trengs koordinering og samhandling mellom etatene, slik at gode løsninger for operativ flerbruk kommer på plass. I kapittel 6 redegjør etatene for sine behov og bruk av radarsatellitter og InSAR. I tillegg uttrykker de behov for andre mulige anvendelsesområder innen kartlegging og overvåking av skredfare og infrastruktur. Innen infrastrukturuområdet er det dokumentert at InSAR-metodikken kan måle setninger i bygninger og man har også gjennomført forsøk for å se om nedsynkninger i vei og bane kan detekteres. Dette er det imidlertid behov for å se nærmere på, blant annet må man fastslå hvor detaljerte bilder som kreves.

I kapittel 7 gis anbefalinger og vurderinger av bruk av denne type teknologi innen andre anvendelsesområder i etatene, gjennom blant annet mulige forsknings- og utviklingsprosjekt. Det kan også være aktuelt for etatene å få utført egne analyser hvis det er behov for det, for eksempel kjøring av PSI-algoritmen framfor SBAS-algoritmen, eller gjøre nye høyoppløselige opptak over spesielt interessante områder.

Radardata fra satellitt er for de fleste norske etater en ny type data, og det vil kreves kompetanseheving og nye måter å jobbe på for å kunne dra full nytte av disse. Det vil være behov for tilpasninger i den enkelte etat for å nyttiggjøre seg av for eksempel InSAR-kart. Videre vil det være behov for å kombinere disse i kartlegging og overvåking av skredfare og infrastruktur med andre data og metoder, for eksempel GPS og laserdata.

Det er nødvendig å få på plass en permanent profesjonalisert og operativ produksjonslinje i Norge. Et forslag er utformet (se kapittel 7.2). Viktige ledd i produksjonslinjen er et felles opplegg rundt nedlesing og lagring av radardata, interferometrisk prosessering (InSAR) samt tilgjengeliggjøring av resultater for flerbruk til sluttbrukere.

Hvis det nasjonale behovet er stort nok, kan det inngås avtaler med satellitteierne om tilgang til data, tilsvarende som for Radarsat-avtalen. Norsk Romsenter kan på vegne av Norge gjennomføre slike forhandlinger og inngå avtaler for offentlig bruk. For å inngå slike avtaler, må nasjonale brukere i ulike etater uttrykke behov og vilje til å anvende dataene, samt ta ansvar for at produksjonslinjer opereres og driftes etter en utviklingsperiode.

For å sikre tilstrekkelig tilgang på satellittdata i Norge i årene framover, må det samles minst 20-25 opptak over ett område, med samme opptaksmodus og vinkel, for at de skal være brukbare for InSAR-analyse. Det er derfor vesentlig at det sikres kontinuitet med dataopptak fra de samme radarsatellittene over lang tid.

Vi antar at de europeiske Sentinel-1A og -1B satellittene i Copernicus-programmet fra 2016 vil bli de viktigste operative satellittene for storskalakartlegging av skredfare med interferometri i Norge. Fram til 2016 må man primært utnytte Radarsat-2, som Norge har en offentlig avtale med.

Denne rapporten beskriver kort bakgrunn, dagens status for skredrelaterte satellittanvendelser og hva vi ser for oss av nye radarsatellittdata og muligheter i tidsrommet 2014-2020 innen kartlegging og overvåking av skredfare og infrastruktur. Rapporten fokuserer på interferometrisk prosessering av radarbilder, InSAR. Rapporten viser hvordan disse dataene bør behandles for å bli nyttige for flerbruk og nye bruksområder i etatene og hvordan prosessering, lagring og presentasjon av dataene kan gjøres. Den beskriver videre hvordan denne teknologien kan brukes av etatene i dag, og skisserer hvordan en framtidig tjeneste/produksjonskjede kan organiseres. Rapporten peker også på hvilke behov etatene ser for seg med hensyn til videreutvikling og nye bruksområder basert på bruk av data fra radarsatellitter og InSAR-teknologi spesielt.

## English Summary

*The purpose of this report is to give statements on the multi-use potential for the use of radar satellites and InSAR technology for mapping and monitoring landslide hazards and infrastructure. The report came about as an initiative of Norsk Romsenter ("the Norwegian Space Centre, NSC"), supported by the Olje- og energidepartementet ("The ministry of Petroleum and Energy"), the Samferdselsdepartementet ("The Ministry of Transport and Communications") and the Nærings- og handelsdepartementet (now "The Ministry of Trade, Industry and Fisheries"). Its intent is to provide a basis for strategic planning for governmental use of interferometry in Norway.*

*The report was compiled as a cooperative effort of NSC, Statens vegvesen ("The Norwegian Public Roads Administration"), Jernbaneverket ("The Norwegian National Rail Administration"), Norges vassdrags- og energidirektorat ("The Norwegian Water Resources and Energy Directorate") and Norges geologiske undersøkelse, NGU ("The Geological Survey of Norway").*

Europe's first radar satellite was launched in 1991 to acquire radar images. The radar satellites turned out to be considerably more accurate and stable than assumed at the outset. A significant advantage of radar satellites is that they can measure through cloud cover and independent of daylight. Another benefit is that satellite data covers large geographical areas. The use of Synthetic Aperture Radar, SAR, data to obtain relative movements in the vertical direction, Interferometric SAR (InSAR), has emerged as a revolutionary new method in geodesy. InSAR is now an internationally recognized method. It is used to map and monitor earthquakes and volcanic hazards as well as surface deformations/subsidence. InSAR technology works best on bare rock with little vegetation, and can, for example, be supplemented with fixed corner reflectors.

NSC has used national support scheme funding to stimulate governmental agencies to use space-based methods in cooperation with research communities. Since 2005, NSC has supported cooperation between the Northern Research Institute (Norut) and NGU in the development and testing of InSAR methodology. The Norwegian National Road Administration together with two inter-municipal companies, Nordnorsk Fjellovervåking and Åknes/Tafjord Beredskap, contributed to this work. Through the Radarsat agreement with Canada on using Radarsat-2 satellite data, NGU has initiated systematic acquisition of relevant radar data for several areas in Norway. These data comprise the basis for mapping major rockslide hazards.

Today InSAR is used primarily for rockslide hazard mapping and for monitoring of individual mountains subject to slope instability.

The results from rockslide hazard mapping are useful for other agencies as well. The rockslide analyses performed by NGU reveal small-scale subsidence in large mountains. The same analytical methods can be used to reveal small-scale subsidence of the ground, buildings, roads, railways and constructions and landslide hazards outside the scope of mapping and monitoring of rockslides. Consequently, it is essential that the different agencies have access to the analytical results from the rockslide hazard mapping to see if other information may be drawn from it. Moreover, this shows that the InSAR methodology is ready for further development toward future use in other applications.

In order to achieve multi-use of radar data and results from mapping, coordination and interaction between responsible agencies is required to bring forward good multi-use operational solutions. In chapter 6 the agencies describe their needs and use of radar satellites and InSAR, in addition to other possible application areas within mapping and monitoring of rockslide hazards and infrastructure. With respect to the infrastructure sector it is known that the InSAR technology can reveal subsidence of buildings. Tests have also been conducted to see whether subsidence of roads and railways can be detected. However, there is clearly a need to assess the spatial resolution of radar images required to show subsidence in roads and railways.

In chapter 7 there are recommendations and evaluations of use of InSAR for other application areas in the agencies, resulting from research and development projects. The agencies may also perform their own analyses if other approaches are needed, such as running a PSI algorithm instead of a SBAS algorithm, or using radar imaging with very high spatial resolution for areas of particular interest.

For most Norwegian agencies, satellite radar data is a new type of data. Upgrading of in-house skills and competence and new approaches will be required to fully reach its potential. Individual agencies must adapt to benefit from InSAR methods as well as to combining InSAR mapping and monitoring of rockslide hazards and infrastructure with other data and approaches, such as GPS and laser data.

It is necessary to implement a permanent professional and operational production line for InSAR mapping in Norway. A proposed production line is described in section 7.2. Vital parts of the production line include common downloading and storage of radar data, InSAR processing and access for the end users to results for multi-use.

Should national user needs and demands be strong enough, agreements may be initiated with satellite owners on access to other radar data, corresponding to the Radarsat agreement. NSC can act on behalf of Norway to conduct negotiations and enter agreements for governmental use. Before such agreements are initiated, national users in various agencies must state their needs and willingness to use the data as well as to take responsibility for the operation and maintenance of the production line after the development phase.

Agreements must be implemented to ensure adequate Norwegian access to radar satellite data in the years to come. Some 20-25 images must be acquired for each area, using the same image mode and incidence angle in order to be of use to InSAR analysis. Consequently, it is essential that continuous data acquisition is ensured from the same radar satellites for a long time period.

We assume that from 2016 on, the European Sentinel-1A and -1B satellites in the Copernicus programme will be the primary operational satellites for large-scale mapping of rockslide hazards by interferometry in Norway. Until 2016, the primary source of radar data will be Radarsat-2. Norway has an agreement for governmental use.

This report gives a short description of the background, the current situation for rockslide-related satellite applications, and how we envision new radar satellite data and possibilities for the 2014-2020 period with respect to mapping and monitoring of rockslide hazards and infrastructure. The focus is on interferometric processing of radar images (InSAR). The report discusses how such data should be processed for multi-use as well as for new applications in the agencies and how processing, storage and presentation of data should be done. It also describes how agencies may apply the InSAR technology today and how future services and production lines can be organized. Moreover, the report pinpoints the needs of agencies with regard to further development and new applications based on use of radar satellite data and InSAR technology in particular.

# 1 Innledning

Ras og fjellskred er noe menneskene i Norge alltid har levd med. Det er imidlertid blitt hyppigere forekomster av slike naturfenomener de siste årene på grunn av endringer i klimaet. Det er derfor behov for bedre informasjon om når og hvor skred kan forekomme.

Fjellskred kan representere store naturkatastrofer, og de siste 100 år har flere mennesker mistet livet og mange hus er blitt ødelagt i skred. Store fjellskred er vanskelige å sikre seg mot, men kartlegging og overvåking er viktige hjelpemidler for å redusere konsekvensene av denne type hendelser. Bruk av radarinterferometri, InSAR, spesielt ved Åknes på Sunnmøre, har vist at dette kan være et viktig hjelpemiddel for kartlegging og overvåking av ustabile fjellpartier.

Europas første radarsatellitt ble skutt opp i 1991 for å ta radarbilder med SAR. Radarsatellittene viste seg å være langt mer nøyaktige og stabile enn noen hadde forutsett. En stor fordel med radarsatellitter er at de kan måle gjennom skyer og observere uavhengig av dagslys. En annen gevinst er at data fra satellitter dekker store geografiske områder. Bruk av SAR-data for å få fram bevegelser i vertikalretningen, kalt InSAR-metodikk, har vokst fram som en revolusjonerende ny metodikk innen geofag de siste årene. InSAR er nå en anerkjent metodikk internasjonalt og benyttes til å kartlegge og overvåke fare for jordskjelv og vulkanutbrudd samt til å foreta høydeendringskartlegging (nedsynking/setninger). InSAR-metodikken fungerer best der det er bart fjell og lite vegetasjon og kan suppleres med for eksempel fastmonterte hjørnereflektorer.

Norsk Romsenter har følgemidler som brukes til å stimulere forvaltningen til å ta i bruk ny rombasert metodikk utviklet av forskningsmiljøene. Det har i årene 2005-2013 pågått et samarbeid mellom Norges geologiske undersøkelse, NGU; forskningsstiftelsen Norut Tromsø og Norsk Romsenter for å ta fram og demonstrere nytten av ny satellitteknologi og metodikk innen fjellskredkartlegging i Norge. Statens vegvesen, Nordnorsk Fjellovervåking og Åknes/Tafjord Beredskap, har også bidratt i dette arbeidet. Resultatene betraktes som revolusjonerende ved at det er funnet flere områder hvor fjellpartier beveger seg uten at man tidligere har hatt kjennskap til dette.

Bevegelser ned til én millimeter i høyderetningen kan nå identifiseres ved hjelp av radarsatellittdata og InSAR-metodikk.

NGU har gjennom Radarsat-avtalen, som er en avtale med Canada om bruk av data fra radarsatellitten Radarsat-2, satt i gang systematisk innsamling av relevante radardata i flere områder i Norge (se figur 2.2). Dette danner grunnlag for kartlegging av fare for store fjellskred. Denne innsamlingen dekker deler av Troms og Vestlandet fra omtrent Trondheim til Stavanger, noe som betyr at store deler av områdene i Norge som er mest utsatt for fjell- og steinskred, nå har dekning av radardata.

Disse radardataene kan også ha stor nytte for Statens vegvesen og Jernbaneverket og oppgaver i NVE utover kartlegging og overvåking av fjellskred. For å få utløst denne nytten trengs koordinering og samhandling mellom etatene, slik at gode løsninger for flerbruk kommer på plass.

Vi står i dag ved et veiskille der det kan gi store gevinster ved å profesjonalisere og operasjonalisere en permanent InSAR-produksjonslinje. Men det er også utfordringer. Spesielt avgjørende er det å sikre kontinuitet i datainnsamlingen, med tilstrekkelig dataopptak som grunnlag for kartlegging og overvåking. Det må samles minst 20-25 opptak over samme område med samme opptaksmodus før systematisk InSAR-kartlegging kan starte.

Datamengden fra satellitter vil øke radikalt fram mot 2020. I Europa settes nå programmet Copernicus i verk. Copernicus gikk tidligere under navnet Global Monitoring for Environment and Security, GMES. Norge er deltager i programmet både gjennom den europeiske romorganisasjonen, ESA, og ut 2013 gjennom EU-delen av Copernicus, GMES Initial Operations. I 2014 vil den norske regjeringen ta stilling til norsk deltagelse i Copernicus 2014-2020. Tilgang på framtidige satellittdata sikres i Copernicus gjennom bygging av seks typer Sentinel-satellitter. I tillegg har store nasjoner som Frankrike, Tyskland, Canada og Italia egne satellitter. Her er det mulig å framforhandle avtaler om data ved behov. Radarsat-avtalen gjelder til og med 2017 og er finansiert til og med 2016.

Målgruppen for denne rapporten er primært

ledelse- og fagansvarlige i de fire etatene NGU, NVE, Statens vegvesen og Jernbaneverket samt deres respektive departementer: Nærings- og fiskeridepartementet, Olje- og energidepartementet og Samferdselsdepartementet. Målet med rapporten er å gi et bedre grunnlag for forståelse av ny teknologi innen skredkartlegging og overvåking av setninger og nedsynking av infrastruktur. I tillegg vil Norsk Romsenter bruke rapporten som grunnlag for nasjonal prioritering av data fra ulike framtidige nasjonale og internasjonale satellittprogrammer.

Denne rapporten beskriver kort bakgrunnen, dagens status for skredrelaterte satellittanvendelser, og hva vi ser for oss av nye radarsatellittdata og muligheter i tidsrommet 2014-2020 innen kartlegging og overvåking av skredfare og infrastruktur. Rapporten fokuserer på interferometrisk prosessering av radarbilder. Rapporten viser hvordan disse

dataene bør behandles for å bli nyttige for flerbruk og nye bruksområder i etatene og hvordan prosessering, lagring og presentasjon av dataene kan gjøres. Rapporten beskriver også hvordan denne teknologien kan brukes av etatene i dag, og skisserer hvordan en framtidig tjeneste/produksjonskjede kan organiseres. Rapporten peker på hvilke behov etatene ser for seg for videreutvikling og nye bruksområder basert på bruk av data fra radarsatellitter og InSAR-teknologi spesielt.

Rapporten gir ikke beskrivelser og utredning om bruk av andre satellittanvendelser, som for eksempel bruk av optiske data eller andre anvendelser av radarsatellittene, utover InSAR. Rapporten har fokusert på anvendelser som synes realistiske ut fra dagens teknologi og kunnskap, og det er i liten grad sett på økonomiske forhold knyttet til bruk av satellittdata.

## 2 Bruk av radarsatellitdata

I Norge har InSAR-kart vist setninger i bygninger og infrastruktur som blant annet skyldes komprimering av løsmasser eller grunnvannsenkning over tunneler.

Figur 2.1 viser et InSAR-kart over Trondheim sentrum for perioden 1992-2003. Dette Trondheimkartet var et av de første resultatene av InSAR-metodikk som ble brukt i Norge. I 2004 leide NGU et italiensk selskap, Tele-Rilevamento Europa, TRE srl, til å utføre en analyse av de da tilgjengelige SAR-bildene som fantes for Trondheim. SAR-bildene brukt i denne første analysen er tatt av de europeiske forskningssatellittene, ERS-satellittene, mellom 1992 og 2003. Resultatene viste blant annet betydelig nedsynking i havneområdet. Dagens havneområde i Trondheim var en gang en del av fjorden, men har blitt bygd opp ved å fylle ut grunne områder. Tidligere kystlinjer er vist med røde linjer i figur 2.1. Det er tydelig at materialet som ble brukt til å lage dette nye arealet fortsatt er under komprimering. Flere detaljer finnes i NGU-rapport

2005.082, "Subsidence in Trondheim, 1992-2003: Results of PSInSAR analysis."

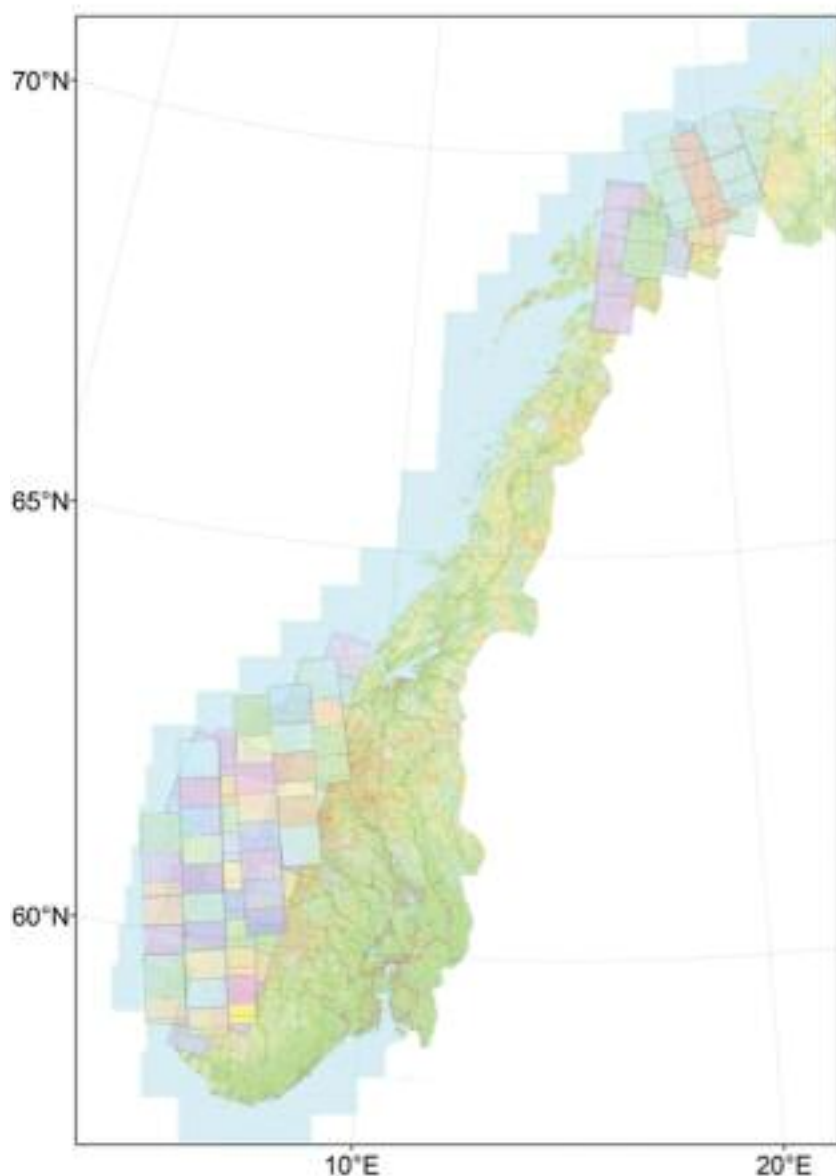
Resultatene fra Trondheim, og senere Oslo, var så gode at kompetansen for å få fram slike kart i Norge burde utvikles. Gjennom årene 2004-2013 ble det derfor bygd opp betydelig kompetanse på InSAR, spesielt ved NGU og forskningsinstituttet Norut i Tromsø. Norsk Romsenter gjorde i 2005 et strategisk valg i Norge om å utvikle egen norsk kompetanse innen interferometri, og startet da å støtte denne utviklingen. Utviklingen har bygget på de nasjonale behovene som ble uttrykt gjennom NGU og senere NVE. Det er gjennom dette arbeidet demonstrert ny satellitteknologi og metodikk innen fjellskredkartlegging i Norge.

### 2.1 Dagens bruk av radarsatellitdata til skredkartlegging

I 2005 ble det igangsatt arbeider ved Norut Tromsø med å utvikle programvare for

Figur 2.1. InSAR-kart over Trondheim sentrum basert på ERS SAR-data fra perioden 1992-2003. Havneområdet kommer fram som det området som beveger seg mest, med 1-2 cm i året i denne perioden. (NGU)





Figur 2.2 Systematisk Radarsat-2-innsamling fra 2009. Bildet viser i hvilke områder det er samlet inn data. Hver rute tilsvarer et satellittbilde på 50 km x 50 km. (NGU)

InSAR-prosessering for NGU til kartlegging av fjellskredfarer. I 2007 var en prosesseringskjede på plass og NGU anskaffet da rundt 1100 ERS-scener (se figur 4.1) fra Møre og Romsdal, Sogn og Fjordane og Troms for regional fjellskredkartlegging. Resultatene var svært oppløftende og flere nye ustabile fjellpartier ble identifisert. Feltarbeid bekreftet disse nye ustabile områdene.

Fra 2009 har NGU systematisk samlet inn radarbilder fra de operative kanadiske

Radarsat-satellittene (se oversikt i figur 2.2) til bruk innen fjellskredkartleggingen.

Den pågående statlige kartleggingen av store fjellskred (ustabile fjellpartier) gjennomføres av NGU på oppdrag fra NVE, som siden 2009 har hatt det overordnede ansvaret for statlige forvaltningsoppgaver innen forebygging av skredulykker. InSAR benyttes i flere deler av prosessen i fjellskredkartleggingen, både ved innledende fylkesvis kartlegging for å avdekke ustabile fjellpartier, ved oppfølgende kartlegging av delområder eller enkelt-objekt, samt ved overvåking av høyrisiko-objekt (se eksempel i figur 2.3).

## 2.2 Andre anvendelser innen skred

InSAR måler små bevegelser over tid og passer derfor godt til kartlegging av ustabile fjellpartier, der hele eller deler av områder har nedsinking /deformasjoner over tid. Andre skredtyper er ofte kjennetegnet av raske bevegelser og passer derfor ikke så godt til InSAR-metodikken.

I Norge er i dag InSAR kun i systematisk bruk til fjellskredkartlegging. Andre anvendelsesområder som jordskred og steinsprang trenger mer uttesting før man kan trekke konklusjoner og eventuelt starte detaljert systematisk kartlegging.

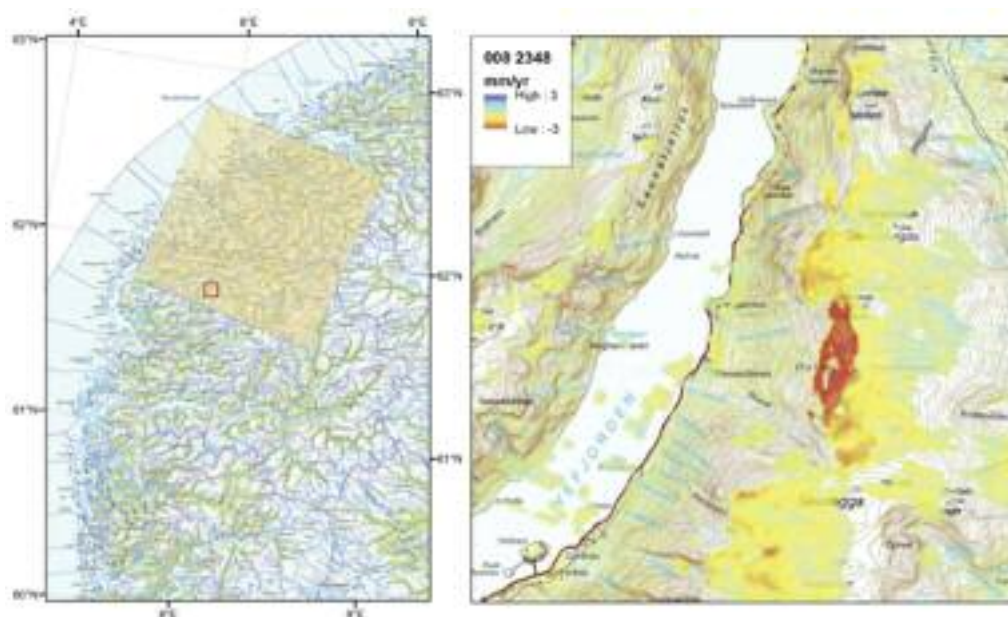
Figur 2.4 viser gruppering av skredtyper i Norge og vurdering av modenhetsgrad med hensyn til satellittbasert teknologi.

### Fjell- og steinskred

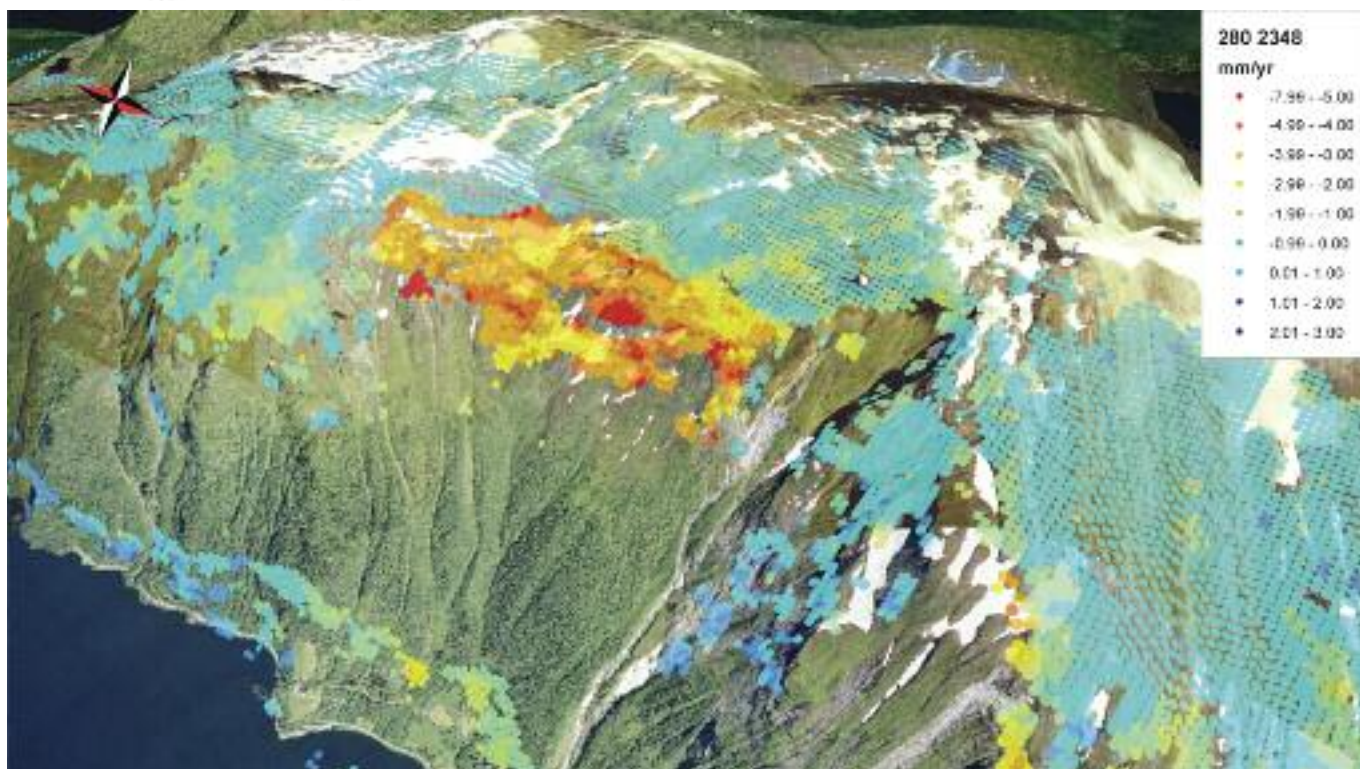
For kartlegging av områder med fare for store fjellskred er bruken av InSAR etablert og godt dokumentert. Analysene som gjøres av NGU vil sannsynligvis også kunne ha stor nytteverdi for andre etater. Teknologien anses etablert for å teste ut kartlegging av områder med fare for steinskred.

### Snøskred

For kartlegging og overvåking av snøskred har det vært gjennomført flere FoU-prosjekter for å se på potensialet for bruk av satellittdata. Norges Geotekniske Institutt, NGI, og Norsk Regnesentral har, gjennom jordobservasjonsprogrammet til den europeiske romorganisasjonen ESA, gjennomført en pilotstudie for kartlegging av snøskred med optiske satellitt-



Figur 2.3 Kartet øverst til venstre vises omrisset av en Radarsat-2 scene. Øverst til høyre vises resultatene av analysen lagt oppå et topografisk kart, hvor rødt viser bevegelse på 4-7 mm per år. Nederst vises InSAR-resultatene drapert over en 3-D høydemodell og et optisk satellittbilde, hvor rødt viser de største bevegelsene. (NGU)



Figur 2.4 Gruppering av skredtyper i Norge og vurdering av modenhetsgrad på satellittbasert teknologi. For bruk av InSAR er det skredtypene i grønt som er aktuelle for videreutvikling av metode og bruksområder. (NRS)

| Fast fjell  | Løsmasser<br>Grove     | Løsmasser<br>Fine            | Snø        |
|-------------|------------------------|------------------------------|------------|
| Steinsprang | Jordskred<br>Flomskred | Jordskred<br>Kvikkleireskred | Snøskred   |
| Steinskred  |                        |                              | Sørpeskred |
| Fjellskred  |                        |                              |            |

Skala: grønt = moden satellittbasert teknologi, gult = satellittbasert teknologi i FoU fase, orange = satellittbasert FoU ikke utprøvd

bilder. Ved hjelp av midler fra Norsk Romsenter er det gjennomført to prosjekter som har studert kartlegging av snø knyttet til dannelse av svake sjikt i snøen. Fra januar 2013 ble disse prosjektene videreført med støtte fra ESA og Norsk Romsenter gjennom et toårig prosjekt "Towards an automated snow property and avalanche mapping system". I tillegg til NGI og Norsk Regnesentral deltar Norut Tromsø og NVE i dette prosjektet. Målet med utviklingsprosjektet er å utvikle metoder for mønstergjenkjenning av snøskred basert på høyoppløselige optiske satellittbilder og radarbilder, og utvikle algoritmer for snøvariabler relevante for å kunne forutsi og varsle snøskredfare. Denne rapporten vil ikke behandle videre hvordan snøskred kan kartlegges.

### Jordskred, flomskred, steinsprang og sørpeskred

For andre skredtyper, som for eksempel jordskred og flomskred, er man ikke kommet like langt i å ta i bruk satellittinformasjon, men det er potensial for bruk også innenfor disse områdene.

Optiske sensorer vil trolig være mest brukbare for løsmasseskred som jordskred og flomskred, men det vil være relevant å prøve ut radar, både for flomskred og sørpeskred. Deteksjon av utstrekning av ulike skredtyper etter en hendelse basert på en kombinasjon av radar- og optiske satellittdata er meget interessant. Bruk av endringsdeteksjon basert på Sentinel-1 og -2 vil bli prøvd ut for både flom- og jordskred i pilotprosjektet Emergency Management, der Norsk Regnesentral og KSAT samarbeider med NVE.

Steinsprang defineres som nedfall av stein eller blokker fra bratte fjellsider med et volum som er mindre enn 100 m<sup>3</sup>. Disse volumene antas å være for små til å detekteres med satellitt, men dette bør testes ut og dokumenteres.

### Kvikkleire

Det er liten kunnskap om utløsning og mulige deformasjoner i forkant av store kvikkleireskred, selv om det ofte blir hevdet at de oppstår ved brudd uten forvarsel. Det kan ikke utelukkes at slike skred også har en deformasjons- eller krypfasen før brudd, og at de dermed kan være mulig å detektere ved bruk av for eksempel satellittbasert InSAR.

Det er ikke utført FoU med hensyn til å teste ut InSAR-metodikken på kvikkleire. Kvikkleireskred vil ikke bli behandlet videre i denne rapporten.

## 2.3 Andre anvendelser av satellittbasert InSAR

InSAR-metodikken passer godt til sakte bevegelser som setninger i vei, bane, bygninger og dammer. Det finnes eksempler på kartlegging av nedsynking av dammer, setninger i bygninger, i utfylte havneområder og ved tunnelbygging.

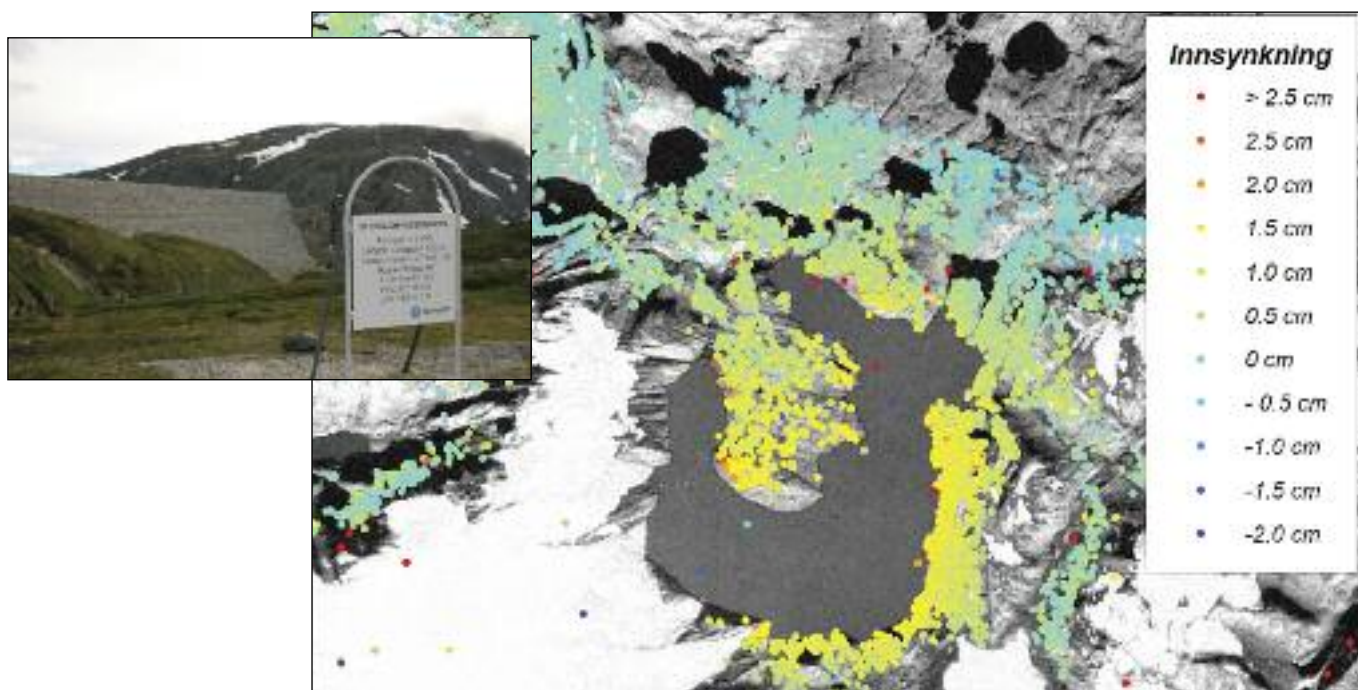
Figur 2.5 viser vurdering av modenhetsgrad av satellittbasert InSAR-relatert metodikk for andre anvendelser enn skred. Anvendelsene som vi har vurdert som modne er kartlegging av setninger i urbane områder og over tunnelanlegg, og nedsynking av bygninger og vannkraftmagasin/damanlegg.

| Satellittbasert teknologi er moden | Satellittbasert teknologi i Fou-fase | Satellittbasert FoU er ikke utprøvd |
|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Setninger i urbane områder         | Broer                                |                                     |
| Bygninger                          | Permafrost - nedsynking              | Setninger i vegbane                 |
| Setninger over tunelanlegg         | Breer - bredynamikk                  | Setninger på jernbane               |
| Vannkraftmagasin/damanlegg         | Massebalanse                         |                                     |

Figur 2.5 Vurdering av modenhetsgrad av satellittbasert InSAR-relatert metodikk for andre anvendelser enn skredkartlegging og -overvåking. (NRS)

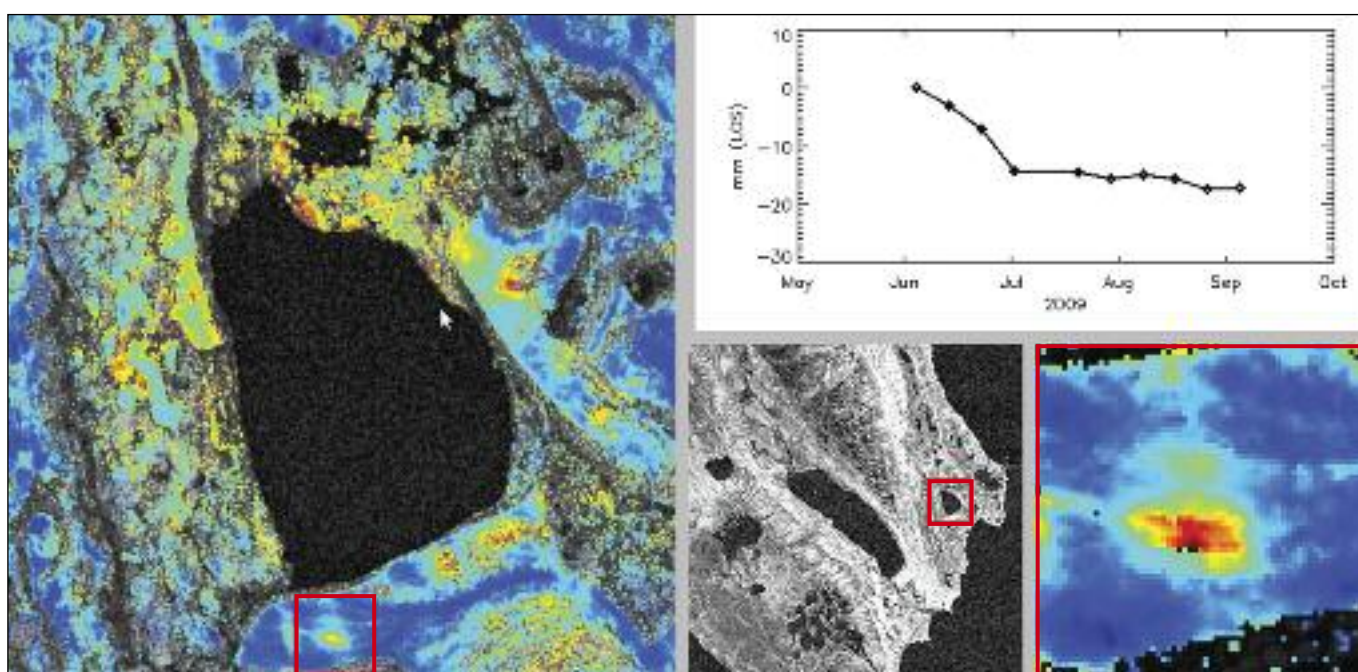
Figur 2.6 viser nedsynking ved damanlegg og reservoarskråninger ved Svartisen. Kartlegging av nedsynking ved vannkraftmagasin/damanlegg og bygninger vil ikke bli behandlet videre i denne rapporten.

Figur 2.7 viser kartlegging av nedsynking i permafrost på Svalbard. Nedsynking i tilknytning til permafrost på Svalbard blir i 2012-2014 forsket på av Norut Tromsø og UNIS i ESA/NRS-prosjektet "PERMASAT - Satellites for detection of permafrost landscape changes in Arctic regions", og et tilknyttet postdoktorprosjekt finansiert av Forskningsrådet. Permafrost blir ikke behandlet videre i denne rapporten.



Figur 2.6. Et tidlig eksempel på bruk av InSAR. Nedsynking ved damanlegg og reservoarskråninger ved Svartisen. De røde, oransje og gule områdene har mest nedsynking, opp mot 8 mm/år, mens de blålige områdene er stabile. (NGU/TRE)

Figur 2.7. Eksempel på bruk av InSAR. Kartlegging av nedsynking i permafrost på Svalbard. (Norut)  
**Nederst i midten:** Radarbilde over et område på Svalbard. Den røde firkanten i radarbildet indikerer området som blir studert videre i figuren til venstre. **Til venstre:** Interferometrisk kart. Rødlige felt viser områder med mye nedsynking og blålige felter er stabile områder. Den røde firkanten i interferometrikartet indikerer et område som blir vist forstørret nederst til høyre. **Nederst til høyre:** Forstørret innhold av rød firkant i interferometrikartet til venstre. **Øverst til høyre:** Utvikling av nedsynking i permafrost gjennom smeltesesongen for et punkt i interferometrikartet nederst til høyre. Det foregår en nedsynking på ca. 10 mm fra midten av juni til midten av august.

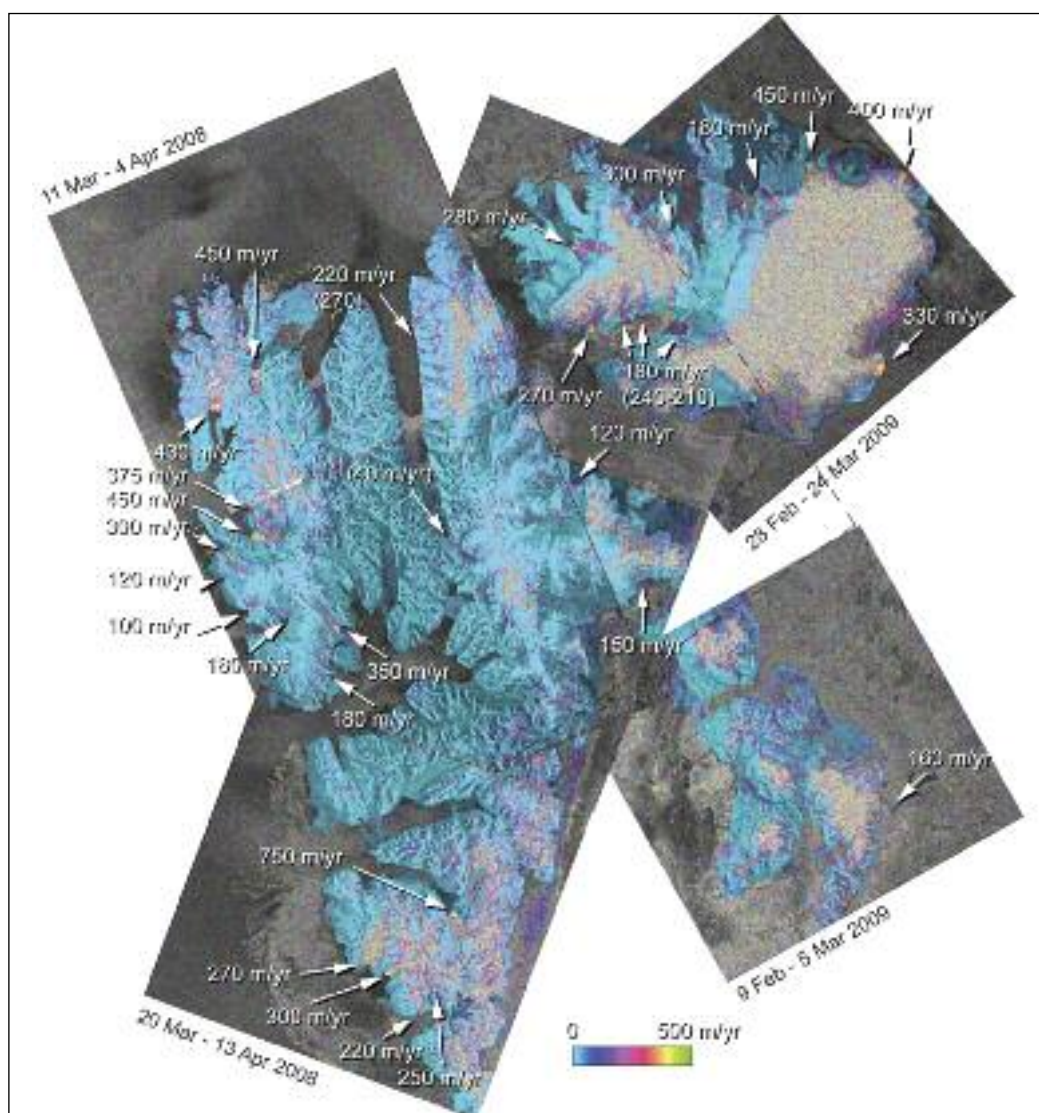


Figur 2.8 viser brehastighet på Svalbard for noen perioder i 2008-2009. Bredynamikk og massebalanse vil være et hovedfokus i det toårige ESA/NRS-prosjektet "Radar interferometry and offset tracking in support of glacier mass balance estimations" ved Institutt for geofag ved Universitetet i Oslo. Dette prosjektet startet i juni 2012 og foregår i tett dialog med NVE og Norsk Polarinstitutt. Bredynamikk og massebalanse vil ikke bli omtalt senere i denne rapporten, men prosjektet viser lovende resultater.

Satellittbasert teknologi er i FoU-fase innen

kartlegging av nedsynking relatert til broer og permafrost og for bruk innen kartlegging av bredynamikk og estimering av massebalanse for breer. For setninger i veibane og på jernbane er satellittbasert FoU ikke utprøvd. Vi vurderer InSAR-metodikk til å ha et betydelig potensial her.

Selv om radardataene i utgangspunktet er tatt opp for å brukes til produksjon av InSAR-kart, kan de også anvendes på andre måter, for eksempel knyttet til utprøving, overvåking og kartlegging av snø, breer, is på innsjøer, flom og skog. Dette omtales ikke i denne rapporten.



Figur 2.8. Brehastighet på Svalbard. Eksempel på bruk av data fra radarsatellitter beslektet med InSAR-metodikk. Pilene viser hastigheter for ulike breer på Svalbard i 2008-2009. Blålige områder har brehastigheter under 100 m/år. Områdene i fiolett, rødlig, gul og grønnlig farge har hastigheter fra 100-750 m/år. (Kääb et al., UiO)

## 3 Teknologi

Jordobservasjon er et av de største satsingsområdene i europeisk romvirksomhet. Jordobservasjon er et samlebegrep på all virksomhet knyttet til innsamling av informasjon om jordas overflate eller atmosfære ved hjelp av instrumenter i satellitter. Styrken til satellittmålinger er at de gir systematiske og relativt hyppige opptak over store områder med enhetlige målemetoder. Satellittdata har de siste ti årene utviklet seg til å bli en nødvendig del av observasjonsgrunnlaget til blant annet værvarslings, havovervåking og kryosfæreovervåking (snø, sjø-is, isbre). Anvendelsene av satellittdata er i sterk utvikling og det etableres stadig nye tjenester hvor satellittdata er sentrale.

### 3.1 Radarsatellitopptak

#### Radar generelt og SAR spesielt

Instrumentene i radarsatellittene sender aktivt ut og mottar elektromagnetiske pulser og er svært forskjellig fra hvordan optiske instrumenter passivt registrerer jordoverflaten. Synthetic Aperture Radar, SAR, kjennetegnes ved at radarsignaler sendes i pulser fra en antenne som beveger seg, for eksempel montert på en bevegelig plattform på bakken, på et fly eller en satellitt. Signalene reflekteres fra måleområdet på jordoverflaten og blir suksessivt mottatt i ulike antenneposisjoner etter hvert som plattformen/flyet/satellitten beveger seg i forhold til måleområdet. De reflekterte signalene blir lagret og prosessert for å framstille et bilde av området som måles. Kjennetegnet ved SAR er at den relative bevegelsen mellom antennen og måleområdet gjør det mulig å oppnå svært høy oppløsning sammenlignet med konvensjonelle metoder. Radarbølgenes frekvens/bølgelengde gjør at radarsignalet dempes lite i atmosfæren. Teknikken er derfor ikke avhengig av skyfrie forhold eller dagslys, og kan måle hele døgnet.

#### Geografisk dekning og romlig oppløsning

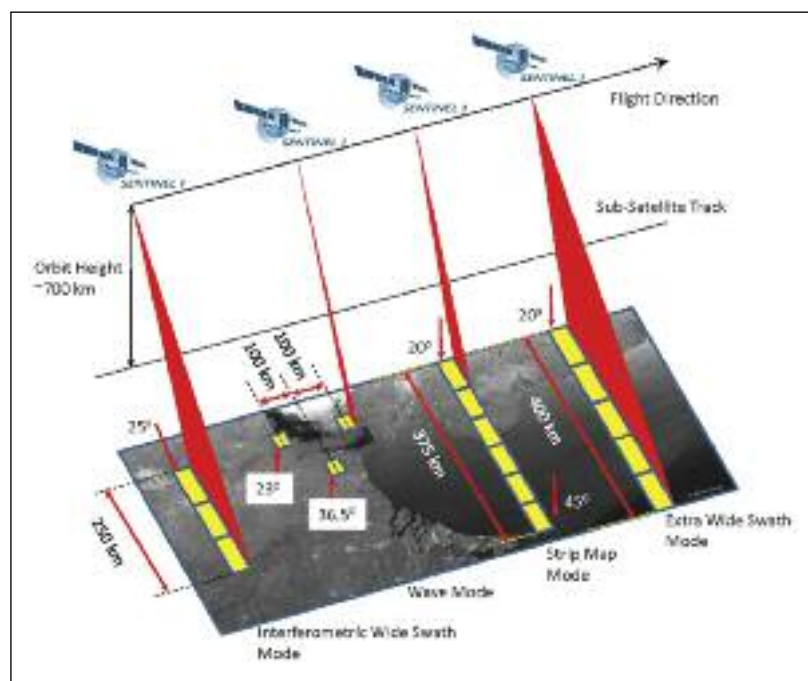
Satellittbasert kartlegging gir mulighet for å gjøre opptak over store geografiske områder. Opptakene skjer langs skår på bakken, og opptaksskårene deles opp i kvadratiske ruter som kalles en scene. Størrelsen på scenen er avhengig av romlig oppløsning i opptaket. Jo grovere oppløsning, jo bredere er opptaksskåret. Dette betyr at dersom en ønsker høy geometrisk oppløsning i opptaket, vil opptaksskåret være relativt smalt.

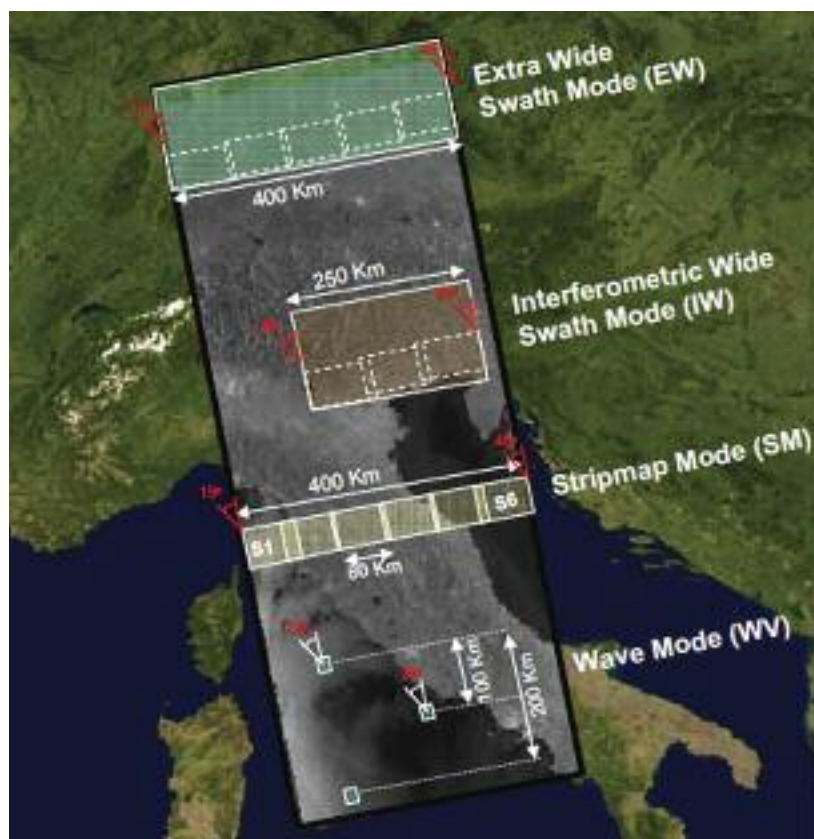
SAR-instrumentet opererer i ulike opptaksmodus. Ved kartlegging av store områder som f.eks. ved fjellskredkartlegging, velges typisk modus med stor scenebredde, men med dårligere romlig oppløsning. Satellittene har vanligvis forhåndsdefinerte opptaksmodus. Avhengig av anvendelsen og instrument om bord, velges detaljene i scenene. Planlagte opptaksmodus for de kommende operasjonelle europeiske Sentinel-1-satellittene er vist i figurene 3.1 og 3.2.

Sentinel-1A vil ha en interferometrisk opptaksmodus, Interferometric Wide Swath Mode, IWS, over landområder. Et opptaksområde, en scene, for skredkartlegging vil være på 250 km x 250 km. Opptaksområdet som i dag brukes fra Radarsat-2 er på 50 km x 50 km (jfr. figur 3.12).

Til venstre i figur 3.1 er det illustrert opptak i interferometrisk modus. Radaren på Sentinel-1 vil i denne opptakmodusen operere som en skannende radar og gjøre opptak over hele bredden ved at den skanner omlag en tredjedel per skanning og på den måten dekker et skår på 250 km etter tre skanninger. Etter

Figur 3.1. Ulike opptaksmodus med ulik oppløsning for Sentinel-1. Interferometric Wide Swath Mode, IWS, som vist til venstre i figuren, er det opptaksmodus som skal dekke landområdene i Europa, inkludert Norge. Det er slike opptak som brukes til skredkartlegging med InSAR. (ESA)





Figur 3.2. Ulike opptakmodus med ulik oppløsning for Sentinel-1, slik de vil avbildes på bakken, her illustrert over Østerrike og Italia. Nest øverst er illustrert Interferometric Wide Swath Mode, IWS, som er den modus som brukes til skredkartlegging med InSAR, og som vil gjøre opptak i striper på 250 km. (ESA)

hvert som satellitten beveger seg, måler den i en lang stripe når SAR-instrumentet er slått på.

Figur 3.2 viser hvordan opptakene avtegnes på bakken, illustrert over Østerrike og Italia.

De aktuelle radarsatellittene går i polare baner, det vil si i faste baner over eller nær polene. På grunn av jordas rotasjon vil de dermed passere landområdene både på vei nordover og sørover. Dette gir to ulike opptaksgeometrier kalt oppadgående (ascending) og nedadgående (decending) opptak. SAR-instrumentet måler til siden av fartsretningen, vanligvis til høyre. Retningen på helningen i terrenget (nord/sør/øst/vest) bestemmer hvilken geometri som er optimal å bruke.

Hvordan Sentinel-satellittene vil passere norske landområder i nordgående og sørgående opp-

taksgeometri er vist i figur 3.3. Når man bygger opp datasett er det svært viktig at de er tatt opp slik at opptakene repeteres likt. Det betinger at opptakene gjøres når satellitten er i samme baneposisjon, geometri og modus. Oppadgående og nedadgående opptak må følgelig håndteres hver for seg i analysene for å få gode resultater.



Figur 3.3. Øverste figur viser mulig opptaksmønster for oppadgående baner og nederste figur viser mulig opptaksmønster for nedadgående baner. Her er 3 x 3 ruter et opptaksområde på 250 km x 250 km. (Norut)

Satellittene beveger seg i baner rundt jorda med en gitt omløpstid. Geostasjonære satellitter i ekvatorplanet har en omløpstid på 24 timer, mens en polarbanesatellitt, med for eksempel et radarinstrument om bord, bruker omlag 100 minutter. Det siste betyr at man

med polarbanesatellitter, som vi behandler i denne rapporten, har dobbel så ofte dekning i Nordsjøen som ved ekvator, og fire og en halv ganger så ofte dekning i Barentshavet som ved ekvator.

Satellittene som i dag brukes mest til fjellskredkartlegging har en repetisjonstid på 11 (TerraSAR-X) og 24 (Radarsat-2) dager. Det vil si at man kan få et nytt bilde hver 11. eller 24. dag fra eksakt samme posisjon og kan dermed lage et nytt InSAR-kart hver 11. eller 24. dag. Imidlertid får man bilde over samme posisjon på jorda langt oftere enn repetisjonstiden, men da til bruk for andre anvendelser. For overvåking over Nordområdene med Sentinel-1A og -1B får man opptak flere ganger i døgnet, for eksempel for overvåking av issituasjonen rundt Svalbard.

### 3.2 Hvordan virker InSAR?

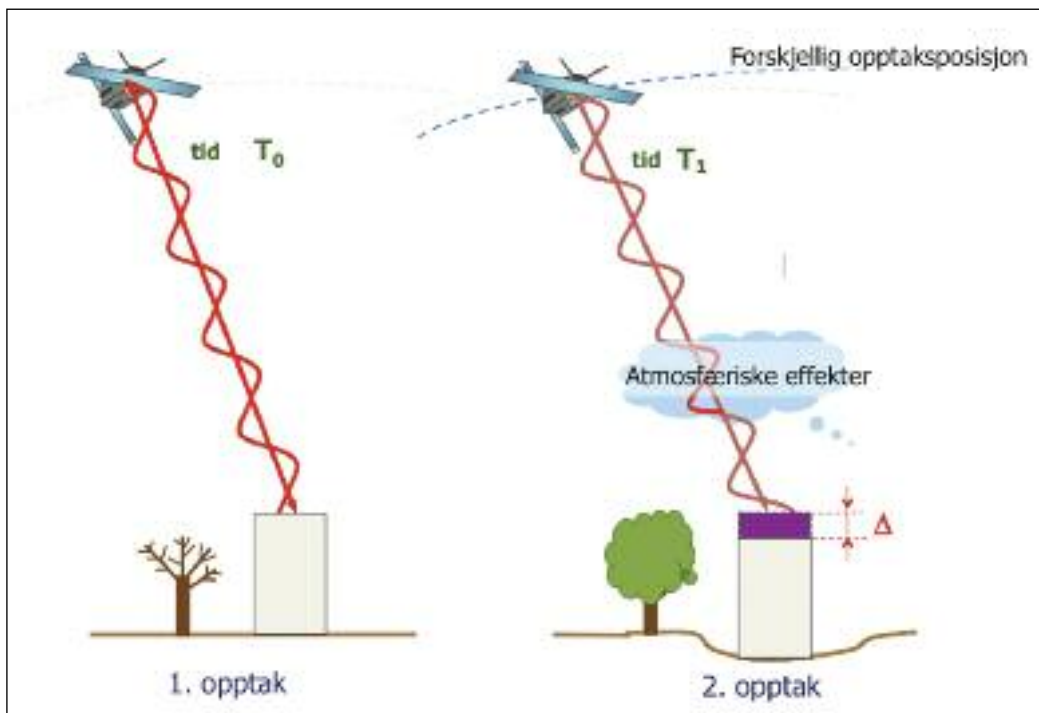
Bruk av SAR-data for å få fram millimeterbevegelser i vertikalretningen kalles InSAR-metodikk og er vist prinsipielt i figur 3.4. InSAR er basert på avbildning fra samme posisjon og av det samme området på bakken med SAR-instrumentet ved to forskjellige tidspunkt  $T_0$  og  $T_1$ , typisk ved to forskjellige

satellittpasseringer. Faseforskjellen mellom de to radarbildene, kalt interferometrisk fase, påvirkes av forskjellige faktorer:

- deformasjon eller forflytning i radarens siktelinje
- overflatetopografi
- endringer i snø, vegetasjon og atmosfære

Ved å studere faseforskjellen i to og to av bildene i en tidsserie, får vi svært høy følsomhet til eventuell bakkebevegelse ( $\Delta$ ) i radarens synsretning som funksjon av tid. Atmosfæriske forstyrrelser mellom to SAR-bilder er illustrert i figur 3.4 med en sky i det siste SAR-opptaket.

Satellitten er ikke i stand til å gjenta sin bane helt nøyaktig. Dermed vil de to satellittposisjonene være adskilt med en avstand, noe som gir følsomhet for høyden til punkt på bakken. Ved å bruke den på forhånd tilgjengelige nasjonale, digitale høydemodellen, DTM, kan dette signalbidraget fjernes i InSAR-prosessen. Til disse analysene er nøyaktigheten tilstrekkelig i høydemodellen som er tilgjengelig fra Statens Kartverk i Norge-Digitalt-samarbeidet, da DTM-feil tas hensyn til i algoritmene. Dagens DTM er ikke optimal for visualisering og tolking. En mer konsistent og



Figur 3.4. Prinsipp ved opptak med SAR-instrument. SAR-instrumentet er et aktivt instrument og sender ut pulsølger (energi) mot jorda. Når satellitten beveger seg og gjør opptak på to tidspunkt, kan det oppstå en målbar endring. Fra dette kan det avledes millimeterbevegelser i vertikalretningen ( $\Delta$ ). (NGU)



Figur 3.5. Fastmontert reflektor (0,8 m) ved Nordnesfjellet i Troms. Reflektoren er montert på en mast direkte boret ned i fjellet og er en naturlig spredde av signal. For å unngå ansamling av snø er reflektoren dekket av pleksiglass. (Harald Øverli Eriksen)

nøyaktig høydemodell over Norge vil være ønskelig og vil gi enda bedre grunnlagsdata for interferometri.

Etter å ha fjernet det topografiske bidraget står man igjen med det ønskede nedsynkings-signalet ( $\Delta$ ), samt en signalkomponent som hovedsakelig skyldes endringer i atmosfæren. I noen tilfeller er det for mye støy til at man greier å isolere nedsynkings-signalet. Dette gjelder spesielt ved snødekke, høy variasjon i jordfuktighet eller tett vegetasjon. Metodikken vil altså ikke virke om vinteren, i våte myrer, i tett skog eller ved tett vegetasjon. Stor nedsynking, som utrasing eller kollaps av et fjellområde, kan også føre til tap av signal. Selv med disse begrensningene vil det i Norge være store områder der man kan anvende metodikken, spesielt områder som ligger over skoggrensa. For å utvide målesonen og kunne måle uavhengig av snø og vegetasjon, er det mulig å bruke fastmonterte reflektorer, som vist i figur 3.5.

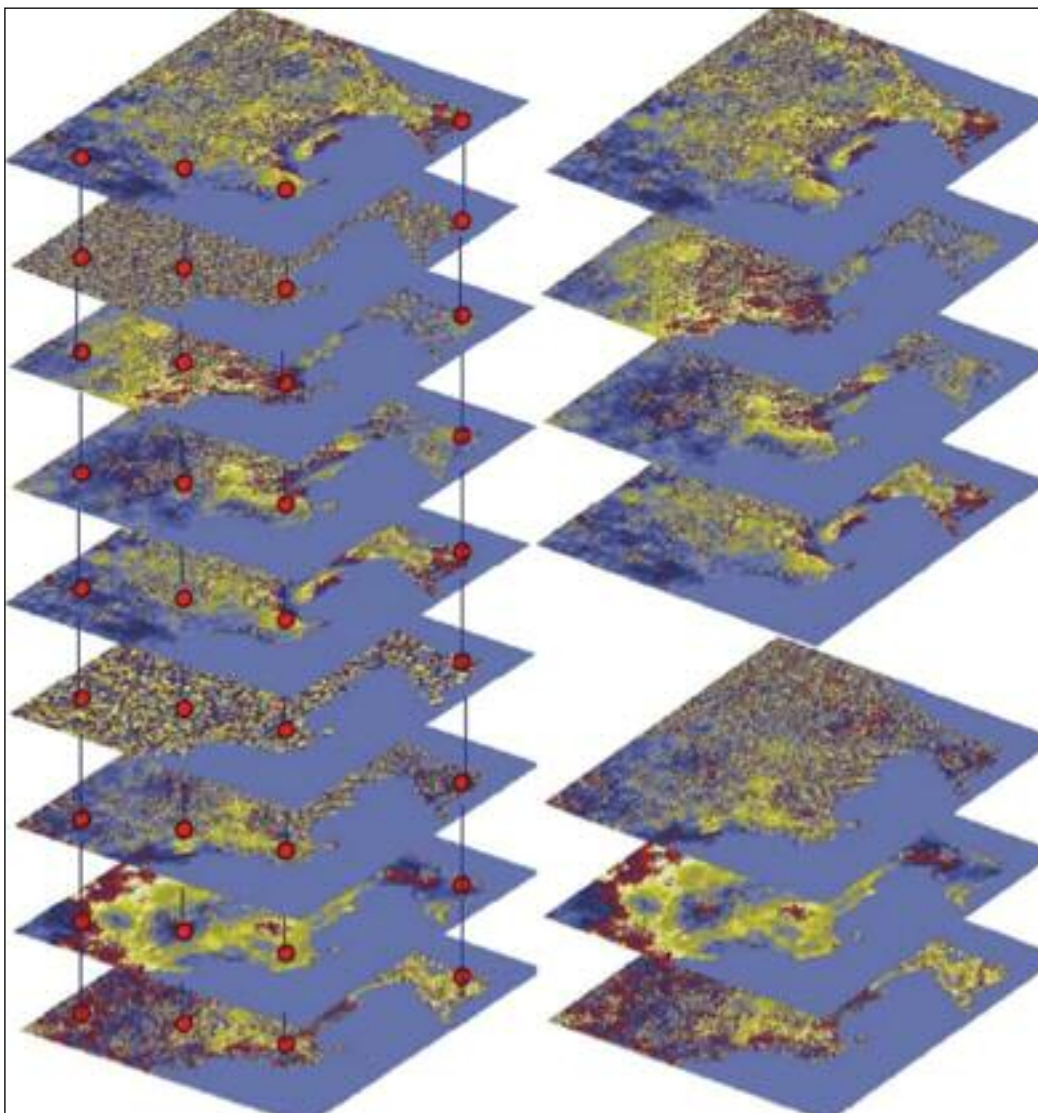
Ved hjelp av oppsatte reflektorer fås et fast punkt som kan følges over tid. Det samme kan gjelde for store steinblokker som har riktig vinkel mot satellitten, slik at de reflekterer

signalet godt. Disse kalles permanente eller varige spredere og er viktige referansepunkter mellom ulike opptak når man gjør flere. Se eksempel i figur 3.6.

### Nødvendigheten av mange opptak

De største utfordringene er knyttet til eliminering av de ulike komponentene som signalet er satt sammen av. Den største komponenten er ofte forårsaket av atmosfæriske effekter. Denne effekten kan for et enkelt par av satellittbilder utgjøre like mye som en deformasjon på om lag 2-3 cm. Siden vi i dette området leter etter deformasjon ned mot 2-3 mm i året, sier det seg selv at det å filtrere bort atmosfæriske bidrag er svært viktig. Dette gjøres ved bruk av flere bilder, gjerne 20 eller flere. Atmosfæriske effekter opptrer generelt mer tilfeldig i tid. Dette kan derfor brukes til å skille atmosfæriske effekter fra nedsynking i datasett med mer enn 20 opptak.

Når det er bygget opp et stort nok datasett over et område, får man en god forståelse av om området beveger seg eller om det er stabilt. Ved utskilling av atmosfærisk støy, høyde og banefeil fra satellitten, blir gjenværende resultat måling av bevegelse i fjellgrunnen.



Figur 3.6. Opptak over samme område hvor man finner igjen permanente spredere (de røde prikkene i datasettet til venstre). Måling over disse referansepunktene er nødvendig for å finne millimeterbevegelser i terrenget. I eksempelet over forkastes opptakene til høyre på grunn av store feilkilder, som feilberegning av satellittbanen eller atmosfæriske forstyrrelser.

Dersom det er tilgang på datasett med veldig høy oppløsning, kan det også fås informasjon om hvorvidt deler av det studerte området beveger seg og om andre deler er stabile. Dette kommer vi tilbake til i kapittel 3.4.

Opptakene må helst gjøres uten snødekke, dvs. i sommersesongen, men dersom man har reflektorer, kan opptakene gjøres hele året.

### 3.3 Interferometrisk prosessering - InSAR-metodikk

Det benyttes i dag to generelle kategorier av InSAR-algoritmer for prosessering. Disse er Persistent Scatterer Interferometry, PSI, og

Small Baseline Subset, SBAS. PSI baserer seg på å identifisere punkter (permanente eller varige spredere) der spredningsegenskaper varierer lite med tid og innfallsvinkel. Piksler som er dominert av en enkeltstående spredere oppfyller best disse kriteriene, for eksempel fra en reflektor eller en stor steinblokk. Derfor blir bildene behandlet i full oppløsning, både for å øke sjansen for at det bare er én dominerende spredere til stede, og for å redusere bidraget fra andre spredere innenfor hver piksel. PSI-algoritmer lager et enkelt interferogram mellom hvert bilde og et felles valgt referansebilde. Referanse-bildet er typisk et bildeopptak gjort midt i tidsserien med en

representativ gjennomsnittlig innfallsvinkel for tidsserien.

I bilder hvor de fleste piksler inneholder flere spredere av tilsvarende styrke, er PSI-tilnærmingen mindre optimal, siden spredningsegenskapene til disse pikslene varierer betydelig med innfallsvinkelen. I det tilfellet er det bedre å bruke en algoritme som bare bruker bildepar hvor differansen mellom innfallsvinkel er veldig liten. Dette er grunnlaget for Small Baseline Subset algoritmen. SBAS-algoritmen baserer seg på en passende kombinasjon av ulike interferogrammer opprettet ved hjelp av SAR-bildepar preget av veldig liten forskjell i satellittbanene. Dette reduserer romlige dekorrelasjonsfenomener. Flere piksler er midlet for å øke signal/støy-forholdet, på bekostning av romlig oppløsning.

#### Bruk av InSAR i fjellskredkartleggingen

Produktet som lages er et deformasjonskart eller et nedsynskingskart, som NGU videreforedler sammen med feltdata og andre geodata for å vurdere potensielt ustabile fjellpartier. Produktene som NGU leverer til NVE har, i de områdene som er kartlagt, blitt dekket med over 20 satellittopptak i løpet av to-tre år. Dataene korrigeres og prosesseres, hovedsakelig med SBAS-algoritmen. Denne algoritmen er utviklet av Norut Tromsø, og installert ved NGU for prosessering. Produktene

blir validert mot egne og andre måle- og observasjonsdata som samles inn av NGU gjennom fjellskredkartleggingen. Det er gjennom dette arbeidet oppdaget flere fjellpartier i Norge som beveger seg uten at man hadde kunnskap om det før de nye InSAR-kartene viste det. Feltarbeid har bekreftet at dette er riktig.

For de mest kjente ustabile fjellpartiene som Nordnesfjellet i Troms og Åknes/Tafjord i Møre og Romsdal, utføres det kontinuerlig overvåking. Det er satt opp flere reflektorer, GPS-målere og annen instrumentering. I figur 3.7 vises sammenligning mellom GPS-målinger og målinger basert på Radarsat-2.

Legg merke til det gode samsvaret i dataene mellom InSAR og GPS. Dette viser at disse metodene er validert mot hverandre, videre at de kan brukes om hverandre og i noen tilfeller kan InSAR erstatte GPS målinger. GPS målinger gjøres i tre dimensjoner (x, y og z-aksen), mens InSAR-målingene gjøres i siktlinjen mellom satellitten og bakken.

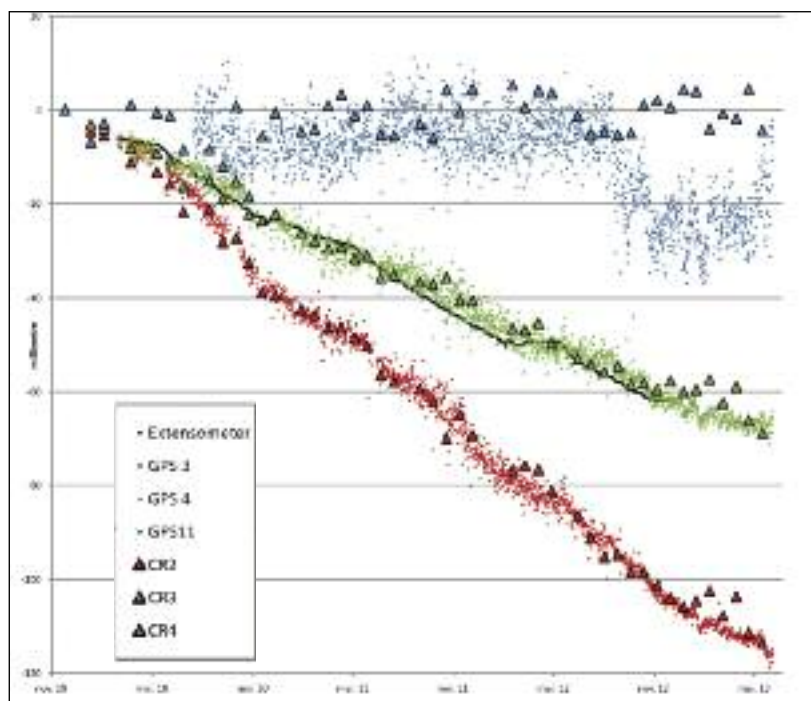
#### 3.4 Effekter av ulik oppløsning

Med dataene og algoritmene som vil være tilgjengelige i årene fram mot 2020, vil man kunne generere tre ulike nivåer på InSAR-kartene:

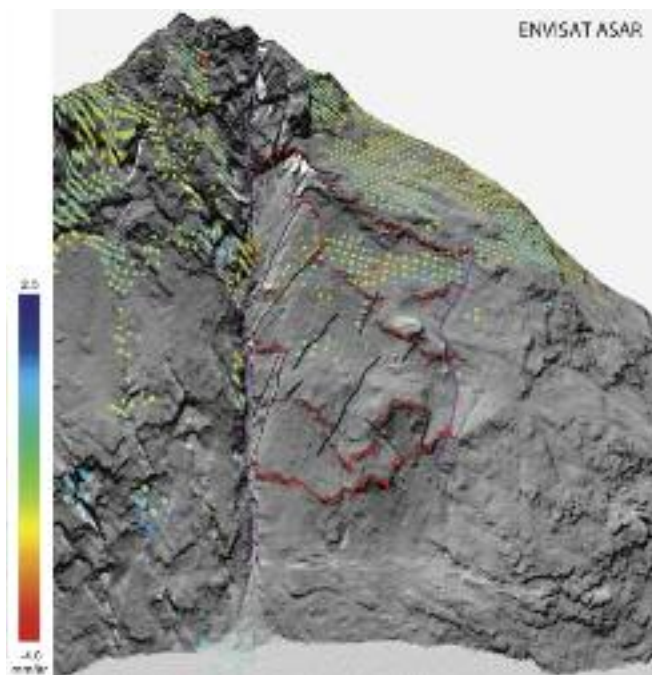
- nivå 1 - SAR-data med romlig oppløsning 5-20 m + SBAS-algoritme = grove InSAR-kart
- nivå 2 - SAR-data med romlig oppløsning 5-20 m + PSI-algoritme = medium InSAR-kart
- nivå 3 - SAR-data med romlig oppløsning 1-5 m + PSI-algoritme = detaljerte InSAR-kart

Ut fra ulike behov må derfor både datakilde og algoritme velges for å kunne produsere InSAR-kart med riktig detaljnivå for den anvendelsen som disse kartene skal brukes for.

Figurene 3.8 til og med 3.11 synliggjør hvordan ulike datakilder med ulik oppløsning og



Figur 3.7. Setning for tre områder ved Nordnesfjellet målt ved hjelp av satellitt, reflektorer (trekanter, Radarsat-2) og GPS målinger (prikker). Blå, grønn og rød farge på trekanter og prikker samsvarer med tre ulike områder ved Nordnesfjellet. (Lauknes, Norut og Dehls, NGU)



Skala: rødt = nedsynking -4 mm/år, mørk blått, = landheving +2.5 mm/år.

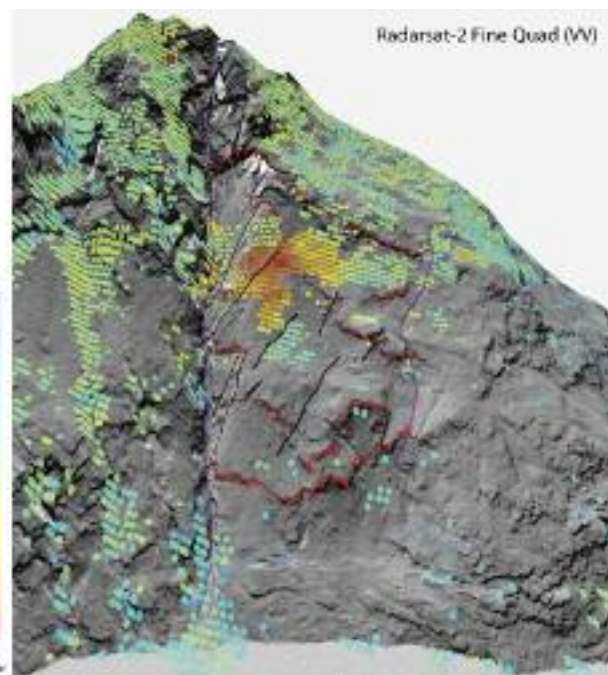
Figur 3.8. InSAR-kart basert på Envisat ASAR med 30 m romlig oppløsning og prosessering av 29 scener fra perioden 2003-2010. (NGU/Norut)

repetisjonstid påvirker detaljeringsgraden i produktene. Alle disse produktene er nivå 1 produkter, da det kun er SBAS-algoritmen som er brukt til nå.

Figur 3.8 er laget på basis av 29 scener fra Envisat-satellitten i perioden 2003-2010. Instrumentet ASAR hadde en romlig oppløsning på 30 m. Man ser av figur 3.8 at det er få punkter som gir gode målinger, og at store områder i bevegelse ikke fanges opp, jfr. figurene 3.9, 3.10 og 3.11.

Figur 3.9 er laget på basis av 15 scener fra Radarsat-2 satellitten i Fine modus Quad pol, som betyr at opptakene er gjort i fire polarisasjoner (VV, HH, HV og VH).<sup>1</sup> Opptakene er gjort i perioden 2009-2011, og det er laget 60 interferogrammer for å få fram resultatene i figuren. SAR-instrumentet har i disse opptakene en romlig oppløsning på om lag 8 m. Man ser av figur 3.9 i forhold til figur 3.8 at man får adskillig mer informasjon ut av opptakene. Et område med bevegelse midt i fjellsiden framtrer klart i rødt/oransje, og dette området kom ikke fram i figur 3.8.

De opptakene som nå gjøres systematisk på Nord-Vestlandet, se figur 2.2, gjøres med Radarsat-2 i Fine modus, men med



Skala: rødt = nedsynking -15 mm/år, mørk blått = landheving +15 mm/år.

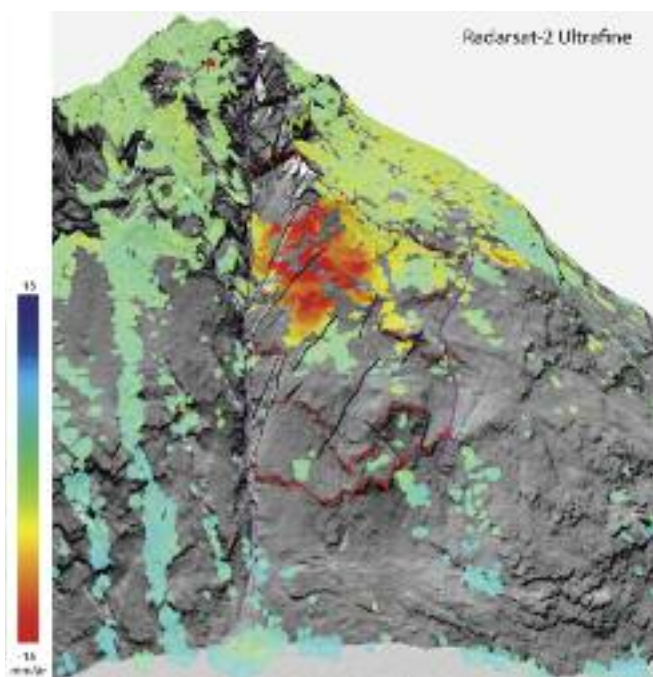
Figur 3.9. InSAR-kart basert på Radarsat-2 Fine Quad (VV, HH, HV og VH) med om lag 8 m romlig oppløsning og prosessering av 15 scener i fire polarisasjoner, til sammen 60 interferogrammer, fra perioden 2009-2011. (NGU/Norut)

enkel polarisasjon. Det betyr at den romlige oppløsningen i opptakene over Norge med Sentinel-1 vil ha tilsvarende romlig oppløsning som i figur 3.9.

Figur 3.10 er laget på basis av 19 scener fra Radarsat-2 satellitten i Ultrafine modus og enkel polarisasjon. Opptakene er gjort i perioden 2009-2011, og det er laget 103 interferogrammer for å få fram resultatene i figuren. Det er spesielt god dekning i øvre delen av fjellpartiet. SAR-instrumentet har i disse opptakene en romlig oppløsning på 2-5 m. Man ser av figur 3.10 i forhold til figur 3.9 at det i figur 3.10 fås noe mer informasjon ut av opptakene. Området som er i bevegelse framtrer klart i rødt/oransje, og dette området kom også fram i figur 3.9. Dette er validert og stemmer godt med bakkebaserte InSAR-målinger.

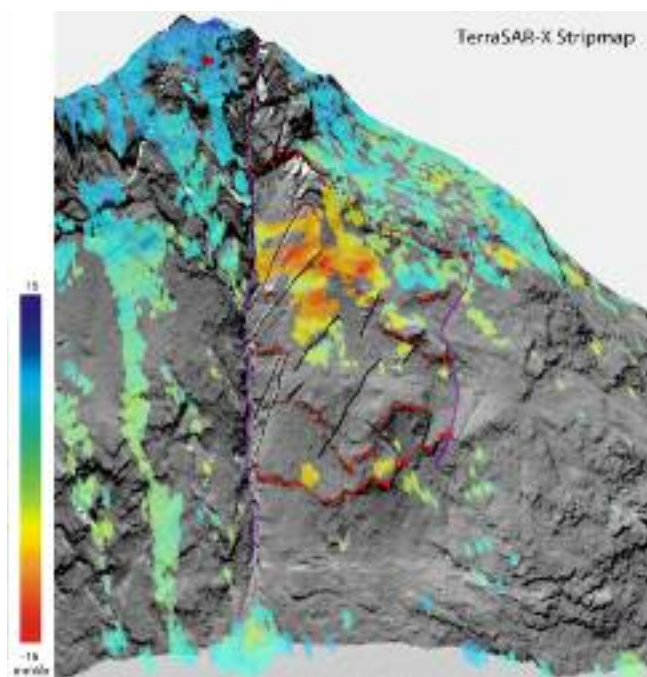
Opptaksmodusen brukt i figur 3.10 er relativt lite tilgjengelig og gjelder i Radarsat-avtalen kun for forskningsformål og uttesting. Slike opptak har en relativt høy kommersiell pris, men kan likevel ha god kost-nytte effekt. Området hvert opptak dekker er 20 km x 20 km og egner seg best til studier i småskala, for eksempel til å overvåke områder med kjente bevegelser.

<sup>1</sup>Eksempel: VV - signalet fra satellitten sendes i vertikal modus og mottas i vertikal modus.  
VH - signalet fra satellitten sendes i vertikal modus og mottas i horisontal modus.



Skala: rødt = nedsynking -15 mm/år, mørk blått = landheving +15 mm/år.

Figur 3.10. InSAR-kart basert på Radarsat-2 Ultrafine med romlig oppløsning 2-5 m og prosessering av 19 scener fra perioden 2008-2011. (NGU/Norut)



Skala: rødt = nedsynking -15 mm/år, mørk blått = landheving +15 mm/år.

Figur 3.11. InSAR-kart basert på TerraSAR-X/TanDEM-X Stripmap med romlig oppløsning på 3-6 m og prosessering av 12 scener fra perioden 2010-2011. (NGU/Norut)

Figur 3.11 er laget på basis av 12 scener fra TerraSAR-X-satellitten i StripMap-modus og singel polarisasjon. Opptakene er gjort i perioden 2010-2011, og det er laget 43 interferogrammer for å få fram resultatene i figuren. SAR-instrumentet har i disse opptakene en romlig oppløsning på 3-6 m. Man ser av figur 3.11 i forhold til figurene 3.9 og 3.10 at man får omtrent samme informasjon ut av opptakene. Området som er i bevegelse framtrer klart i rødt/oransje, og dette området kom også fram i figur 3.9 og 3.10. Det eksisterer noe atmosfæriske forstyrrelser i målingene. Disse har ikke vært enkelt å fjerne, da det er så få opptak.

TerraSAR-X-målingene med opptaksmodusen brukt i figur 3.11 er tilgjengelig kommersielt. I eksempelet vist her ble tilgang til dataene gitt for testforsøk og forskning. Prisen vil være relativt høy dersom det trengs mange scener over et stort område. Dersom det er et begrenset område som skal overvåkes kan likevel kost-nytte vurdering være gunstig i forhold til bruk av alternative metoder. Området hvert opptak dekker er 30 km x 30 km og egner seg best til studier i småskala, for eksempel til å overvåke kjente områder med bevegelse. Legg merke til at det i figur 3.10 og 3.11 er mulig å se forskjeller i styrken på bevegelsene innen det røde/oransje/gule området. Det er kun bruk av data med høy/veldig høy romlig oppløsning som gjør det mulig å studere forskjeller i grad av bevegelse innen et område.

Det er ønskelig og til dels nødvendig å beholde kontinuitet i opptak (tidsserien) fra én og samme satellitt når man har startet overvåking av et gitt område. Man kan anvende satellittopptak fra andre satellitter dersom man skal starte nye opptaksserier i nye områder eller for andre anvendelser. Det er sterkt ønskelig at det ved skifte i bruk mellom en gammel og en ny satellitt, sikres nok opptak, typisk >20 med den nye satellitten før bruk av den gamle fases ut. Dette er nødvendig for å kunne få en god overgang i tidsserier mellom nye og gamle satellittopptak og bygge lange, robuste tidsserier.

### Oppsummering

I løpet av de siste tiårene har InSAR-metodikk vist seg svært verdifull for nedsynkingsmåling fra satellitt. Den gjør det mulig å måle endringer i høyderetningen på noen få millimeter over uker, måneder eller år. Metoden kan registrere forandringer i jordplaten som er for små til at seismiske instrumenter registrerer dem som rystelser. Foruten å kartlegge skredfarlige områder, kan InSAR brukes til å måle nedsynking og bevegelser på bakken. Dette har gitt store framskritt innen kartlegging av jordskjelv og analyse av nedsynking av bygninger, gruver og tunneler de siste årene. Videre muliggjør det for framtidig kartlegging av stabilitet og trygghet for infrastruktur som veier, bruer, damanlegg og ved utbygging i urbane områder.

En styrke ved satellittbasert kartlegging er at den gir mulighet til å gjøre opptak over store geografiske områder. Det er dermed ikke nødvendig å kjenne til utsatte områder på forhånd. En slik kartlegging kan avdekke nye, utsatte områder og være et viktig hjelpemiddel når man skal velge områder som krever ytterligere, bakkebasert overvåking eller satellittbasert kartlegging med høyere romlig oppløsning.

Et viktig element for satellittdata med ulik romlig oppløsning er størrelsen på dekningsområdene. Figur 3.12 viser en sammenligning mellom opptak fra Radarsat-2 og TerraSAR-X.

Det er verdt å merke seg at da Europas første radarsatellitt ble utviklet og skutt opp i 1991,

var ikke InSAR tatt i bruk fra satellitt. InSAR danner nå et viktig grunnlag for kravene og operasjonsmodus for de nye operasjonelle europeiske radarsatellittene Sentinel-1A (fra 2014) og -1B (fra 2016) i Copernicus-programmet. Det er forventet at man kan få produkter fra Sentinel-1A og -1B med kvalitet (eller romlig oppløsning) tilsvarende det som er vist i figur 3.9. Sentinel-1A og -1B vil få en romlig oppløsning på 5 m x 20 m, mens Radarsat-2 Fine modus har 7-10 m x 8 m. Sentinel-satellittene vil få en høyere repetisjonssyklus (12 dager for Sentinel-1A, og 6 dager for Sentinel-1A og -1B til sammen) enn tidligere satellitter, slik at man vil trenge kortere tid for å bygge opp dataserier for analyse.



Figur 3.12. Sammenligning av dekningsområde for Radarsat-2 opptak i Fine modus (rød stor firkant) , Radarsat-2 Ultrafine opptak (blå medium firkant) og TerraSAR-X (fiolett liten firkant). NGU

## 4 Satellitter

### 4.1 Jordobservasjon og Norge

Deltagelse i den europeiske satellittorganisasjonen, ESA, har vært svært viktig for utvikling av bruken og nytten av satellittdata i Norge. Utviklingen har vært drevet av uttalte og dokumenterte nasjonale brukerbehov, spesielt innen hav- og polarovervåking. Miljøer i Norge har vært aktive innen metodeutvikling knyttet til ESA-programmene, blant annet støttet av Norsk Romsenters følgemidler og EUs forskningsmidler gjennom rammeprogrammene.

Europa fikk sin første radarsatellitt, European Remote Sensing Satellite, ERS-1, i 1991. Norge, som medeier, uttrykte nasjonale behov for data gjennom "NOU 1983:24 Satellittfjernmåling", da hovedsakelig på havsiden.

Norge har, siden den første europeiske radarsatellitten ble skutt opp, vært en betydelig bruker av radardata. Oppskytingen av ERS-2 i 1995 og Envisat i 2002, ga kontinuitet på datatilgangen til tross for at dette var forskningssatellitter. Norge styrket datatilgangen ytterligere i 2002 da det ble inngått avtale med Canada om tilgang på radardata fra de operative satellittene Radarsat-1 (1995-2013) og -2 (2007-nå). Dette ga forvaltningen trygghet for at datakontinuitet var sikret i lang tid framover og at radardata var kommet for å bli. Se fler detaljer i tekstboksen Radarsat-avtalen i kapittel 4.3.

Norsk Romsenter har gjennom det nasjonale jordobservasjonsprogrammet støttet utvikling av ulike tjenester for offentlig forvaltning. Utviklingen startet tidlig på 1990-tallet med fokus på de store nasjonale maritime behovene. Fokus ble lagt på utnytting av radarsatellittdata, og flere prosjekter har ført til etablering av produksjonsskjeder for mange typer anvendelser. De viktigste er oljedeteksjon for Kystverket, skipsdeteksjon for Kystvakten og Forsvaret, og sjø-is deteksjon og -varsling for Meteorologisk institutt.

Norge er langt framme innen bruk og utnytting av ulike satellittdata og etablering av nye tjenester. Dette har gjort at både industrien, instituttene og etatene har fått roller i europeisk tjenesteutvikling, spesielt innen hav, kryosfære og atmosfære.

Siden 2005 har Norsk Romsenter støttet metodeutvikling av bildedannende radardata, SAR, for fjellskredkartlegging og her har Norut Tromsø og NGU vært sentrale. NGU har prioritert dette høyt og lagt inn betydelige midler og egeninnsats. ESA har i tillegg støttet andre miljøer i Europa og Canada hvor metodeutviklingen ikke har vært helt tilpasset norske forhold og behov. Det er derfor flere miljøer utover det norske som har kompetanse på bruk av InSAR. Italia har vært ledende.

Fram til 2009 ble Radarsat-avtalen hovedsakelig brukt i forbindelse med havovervåking. Siden 2009 har NGU og NVE vært med i den nasjonale gruppen for prioritering av satellittdata, og har årlig fått tildelt flere og flere dataopptak for bruk i snø- og skredovervåking.

### 4.2 Det europeiske programmet Copernicus

Copernicus er et europeisk program for etablering av en operativ kapasitet innen jordobservasjon, utover meteorologi. Programmet er et samarbeid mellom ESA, EU og medlemslandene. Copernicus vil bestå av en serie med satellitter/instrumenter benevnt Sentinel-1, -2, -3, -4, -5 og -6. Sentinel-1A/B/C/D vil være radarsatellitter. EU-kommisjonen har, på vegne av EU, ledelse av hele Copernicus-programmet; operativ finansiering, fastsettelse av brukerkrav og utvikling av europeiske tjenester. Copernicus har vært et pre-operativt program i EU siden 2011, og blir et operativt program fra 2014. Det utvikles nå europeiske tjenester innen land, hav, atmosfære, katastrofehåndtering, sikkerhet og klima.

Norge har deltatt i Copernicus-utviklingen gjennom ESA- og EU FP7-programmene. Kongen ga i Statsråd den 22. juni 2012 sin tilslutning til at Norge kan delta i den innledende driftsfasen (2011-2013) av Copernicus gjennom at programmet innlemmes i EØS-avtalen. EØS-komiteen vedtok innlemmelse av programmet 13. juli 2012 og deltagelsen ble godkjent av Stortinget høsten 2012. Fra 2014 vil Copernicus-programmet være operativt med satellitter i bane, og Norge må forhandle om videre deltagelse i EU-delen for å kunne sikre opptak over norske områder, påvirke tjenesteutviklingen og få industrielle roller knyttet til programmet.

### 4.3 Satellittdataatilgang

For bruk av InSAR er det viktig og nødvendig at tidsseriene er konsistente og at dataene kommer fra sammenlignbare instrumenter og opptaksforhold. Det er ikke mulig å kombinere dataopptak fra ulike satellitter som måler i forskjellige bånd og har ulik oppløsning, til å bygge en dataserie for InSAR-prosessering.

Dersom det skal sikres konsistente tidsserier til InSAR-kart fra påfølgende satellitter, må man ha overlappende målinger. I dag får vi sammenhengende tidsserier til fjellskredkartlegging fra Radarsat-2 satellitten, mens det i framtiden trolig vil være Sentinel-1 satellittene som sikrer kontinuitet.

Vi antar at Sentinel-1A og -1B satellittene fra 2016 vil bli de viktigste operative satellittene for storskalakartlegging av skredfare med InSAR i Norge. Fram til 2016 må man primært utnytte den kommersielle satellitten Radarsat-2.

#### Sentinel-1A, -1B og etter hvert -1C og -1D (Copernicus/EU/ESA)

Sentinel-1A planlegges skutt opp våren 2014 og i 2016 skal dens tvilling, Sentinel-1B, skytes opp. Data fra Sentinel-1A vil først komme fra juli 2014. I langtidsprogrammet for satellittutvikling i Europa ligger C- og D-versjoner inne, noe som vil sikre kontinuitet og forutsigbarhet.

Operasjonsstrategien for Sentinel-1-satellittene er at de skal sikre systematiske og rutinemessige opptak knyttet til forhåndsdefinerte områder. Det er samlet inn overordnede krav og behov fra deltagende nasjoner, deriblant Norge, og fra europeiske Copernicus-tjenester. Norge har spilt inn at opptak med Interferometric Wide Swath Mode, IWS, ønskes over fastlands-Norge, se eksempler på opptaksmodus i figurene 3.1 og 3.2. Basert på kravene fra de ulike deltakende land, utarbeides det nå ulike operasjonsscenarier. Dataene fra Sentinel-satellittene vil være gratis, men behandling, prosessering og analyse vil ha en kostnad. Dette er det samme som gjelder for offentlig bruk av Radarsat-2, men Norsk Romsenter har, gjennom statsbudsjettet, kjøpt fri tilgang til dataene.

#### Radarsat -2 og Radarsat Continuity Mission (Canada)

I dag er det kun Radarsat-2 som gir god tilgang på data for InSAR når det gjelder skredkartlegging over store områder. Canada planlegger framtidige radarsatellitter, men disse vil ikke være operative før tidligst i 2018/19. For bruk av InSAR til fjellskredkartlegging vil det være viktig å sikre overlapp av opptak fra Radarsat-2 og Sentinel-1A i omlag to år. Dette er viktig for at målingene skal kunne valideres mot hverandre og for kontinuitet i tidsseriene. Det er derfor ikke snakk om enten Radarsat-2 eller Sentinel-1A, men begge deler i en slik periode.

Radarsat Continuity Mission, RCM, planlegges med tre satellitter, første oppskyting er planlagt til 2018 og to oppskytinger er planlagt i 2019. Norge vurderer å starte forhandlingene om en avtale om RCM-data, men dette må baseres på nasjonale krav og behov. Denne rapporten kan bidra til å få et bedre underlag for en eventuell forhandling.

#### **Radarsat-avtalen – operativ tilgang på radardata fra satellitt**

*Radarsat-avtalen er en avtale mellom Canada og Norge om tilgang til data for offentlig bruk, inkludert til forskning. Avtalen sikrer offentlig tilgang på vel 2000 scener fra de kommersielle Radarsat-1 og -2 satellittene.*

*Norge, gjennom Nærings- og fiskeridepartementet, betaler tilgangen på data. Gjennom et flerbrukskonsept har alle offentlige etater gratis tilgang på data, og samme data kan brukes av flere etater. Etater som bruker store datamengder betaler kun produksjonskostnader for prosessering og bearbeiding fram til et produkt.*

*Avtalen gjelder tilgang på data for perioden 2002 til og med 2017, med mulighet for forlengelse. I 2013 og 2014 bevilget regjeringen over statsbudsjettet midler til å betale for årene 2015 og 2016.*

*Avtalen består av en årlig kvote på 2000 opptak (scener) av medium/høy romlig oppløsning og en årlig kvote på 350 opptak (små scener) av veldig høy romlig oppløsning. Det er en årlig prioritering med hensyn til hvor mye data hver enkelt etat kan være førstebestiller på. Det er etablert en nasjonal gruppe for prioritering av satellittdata, hvor etatene i fellesskap gir råd til Norsk Romsenter vedrørende prioritering av tildeling innenfor kvotene.*

*Flerbrukskonseptet har økt bruken år for år og gjør at mange utover de som bestiller data kan nyttiggjøre seg disse radardataene. Flerbrukskonseptet har gitt en betydelig samfunnsgevinst.*

#### TerraSAR-X (Tyskland) og Cosmo-SkyMed (Italia)

Bruk av data fra kommersielle radarsatellitter med veldig høy romlig oppløsning som

TerraSAR-X og Cosmo-SkyMed til skredkartlegging, har vist at disse satellittene også er svært aktuelle å bruke, selv om de har en innkjøpskostnad. Dette gjelder spesielt for anvendelsesområder der det er behov for mye detaljer og radardata med veldig høy romlig oppløsning (1 m).

Det utnyttes noe gratis data fra TerraSAR-X og Cosmo-SkyMed til utviklingsprosjekter gjennom en forskningskvote. I tillegg er TerraSAR-X-data for 2009, 2010 og 2011 framskaffet til lav kostnad gjennom to forskningsprosjekter, mens data for 2012 er kjøpt på kommersiell basis og finansiert av Åknes/Tafjord Beredskap og Nordnorsk Fjellovervåking.

Dersom disse dataene skal inngå i operativt bruk, har de en innkjøpskostnad som må budsjetteres med. Hvis det nasjonale behovet er stort nok, kan det inngås avtaler med kommersielle satellitteiere om tilgang på data, tilsvarende som i Radarsat-avtalen. Norsk Romsenter kan på vegne av Norge gjennomføre slike forhandlinger og inngå avtaler for offentlig bruk. For å inngå slike avtaler, må nasjonale brukere i ulike etater uttrykke behov og vilje til å anvende dataene, samt ta ansvar for at produksjonslinjer etableres og på sikt opereres.

### Nedlesing av data

Nedlesing av satellittdata krever egne bakkestasjoner og ofte egne lisenser for å kunne motta data.

I Norge har vi én profesjonell aktør, Kongsberg Satellite Services AS, KSAT, med hovedkontor i Tromsø. KSAT har antenner i polarområdene og ved ekvator og har dermed nedlesingsmuligheter som dekker store deler av kloden hvis behov. For norske formål er antennene i Tromsø, i Grimstad og på Svalbard mest relevante.

Da rådatamengdene ofte er svært store, er det en gevinst å ha prosesseringsmulighetene nær antennene som leser ned de ønskede dataene.

For data fra Radarsat har KSAT en avtale med Norsk Romsenter om planlegging, bestilling, nedlesing og prosessering av data for offentlig bruk. Denne avtalen er knyttet til Radarsat-avtalen (se faktaboks) og skal dekke kostnader

for prosessering og tilrettelegging for de offentlige etatene som utnytter små kvanta (<50 scener årlig) og for FoU-prosjekter. Etater som bruker dataene operativt, som Forsvaret, Kystverket og Meteorologisk institutt, har avtaler direkte med KSAT eller gjennom Copernicus-programmet, og da er det etatene selv eller ESA/EU som betaler KSAT for databehandlingen. NRS har til nå betalt for prosessering for fjellskredkartlegging, da denne anses å være i en utviklingsfase.

### **Kongsberg Satellite Services AS (KSAT)**

*KSAT i Tromsø har vunnet kontrakt med ESA/EU for nedlesing av alle dataene fra A-versjonene av Sentinel-satellittene, og de har også har ansvaret for nær-sannstids prosessering og distribusjon.*

*Norsk Romsenter har i 2013 fått gjort utredninger for å vurdere om det skal etableres et nasjonalt bakkeselement for å dekke spesielle nasjonale behov. Det ble i oktober 2013 besluttet at NRS sammen med KSAT skal utvikle et nasjonalt bakkeselement for å dekke spesielle behov som norske miljøer har med hensyn til opptak, tidsleveranse, prosessering, produksjon osv. Prioritet vil de første årene bli lagt på Sentinel-1 data.*

Når det gjelder nedlesing og prosessering av radardata med veldig høy oppløsning, som TerraSAR-X og Cosmo-SkyMed, har KSAT avtale med Italia om å lese ned og prosessere Cosmo-SkyMed-data. Dette gjøres på kommersielle betingelser og KSAT har investert i en egen prosessor for disse dataene. For TerraSAR-X har det lenge vært et samarbeid mellom satellitteier Astrium/Airbus, Tyskland, og KSAT om anvendelsesutvikling og markedsvurderinger. De er imidlertid ikke kommet fram til en avtale om nedlesing ved KSAT, og data må derfor bestilles direkte hos Astrium Services. Når det gjelder forskningsdata fra TerraSAR-X, forvalter det tyske romsenteret, DLR, dette.

### Lagring av data

Arkivdata fra de tidligere ESA-satellittene ERS og Envisat og fra de kanadiske satellittene Radarsat-1 og -2 er tilgjengelig fra utvalgte deler av Norge gjennom ulike arkiver både hos KSAT, ESA og hos MDA Geospatial Services Inc. i Canada. Deler av disse datasettene er også lagret hos NGU.

ESA har arkiv for alle data som de har lest ned fra sine satellitter og disse er tilgjengelig gjennom ulike web-portaler. I hovedsak vil det være kostnadsfritt eller ha lav uthentepriis for å få tilsendt disse dataene.

Alle arkiverte data fra Radarsat-2 ligger i MDAs arkiv i Canada, og det er dermed en kostnad for å få hentet ut disse.

KSAT lagrer alle data de selv leser ned. Hovedsakelig leses data ned i sann tid ved KSATs bakkestasjoner og brukes umiddelbart. Det er etablert en ordning knyttet til

Radarsat-avtalen, slik at dataene for offentlig bruk kan lastes ned av norske aktører som har underskrevet betingelsene for bruk av Radarsat-data. Godkjenningen av brukere er det Norsk Romsenter som forvalter.

Det eksisterer ikke noe nasjonalt arkiv for satellittdata tatt over Norge. Det har vært utredninger om dette, men behov og finansiering har ikke vært til stede for å få etablert et nasjonalt satellittdataarkiv med optiske data. Konsekvensen er at ulike satellittdata, såvel optiske som radardata, er lagret både hos KSAT og andre institusjoner.

| SAR på satellitt                      | Romlig oppløsning i x, y retning                                         | Levetid          | Repetisjonstid               | Dekning                                                             |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| ERS-1/ERS-2                           | 30 x 30 m                                                                | 1992-2001        | 35 dager                     | 100 x 100 km                                                        |
| Envisat                               | 30 x 30 m                                                                | 2003-2010        | 35 dager                     | 100 x 100 km                                                        |
| Radarsat-1                            | Fine: 8 x 8 m<br>Standard: 30 x 30 m                                     | 1995 -           | 24 dager                     | Fine: 45 x 45 km<br>Standard: 100 x 100 km                          |
| Radarsat-2                            | Ultrafine: 2.1-4.6 x 2.8 m<br>Fine: 7-10 x 8 m<br>Standard: 17-27 x 25 m | 2007 -           | 24 dager                     | Ultrafine: 20 x 20 km<br>Fine: 50 x 50 km<br>Standard: 100 x 100 km |
| TerraSAR-X                            | 1.2 x 1-4 m<br>3 x 3-6 m<br>16 x 16 m                                    | 2007 -           | 11 dager                     | 5-10 x 10 km<br>30 x 30-50 km<br>100 x 100 km                       |
| Cosmo-SkyMed - 4 satellitter          | 1 m<br>3-15 m                                                            | 2007 -           | 1-7 dager *                  | 10 x 10 km<br>40 x 40 km                                            |
| Sentinel-1A/1B                        | IWS: 5 x 20 m                                                            | 2014 -<br>2016 - | 12 dager<br>6 dager**        | IWS: 250 x 250 km                                                   |
| TerraSAR-X NG                         | 1.2 x 1-4 m<br>3 x 3-6 m<br>16 x 16 m                                    | 2016 -           | 6 dager**                    | 5-10 x 10 km<br>30 x 30-50 km<br>100 x 100 km                       |
| Radarsat CM - 3 satellitter           | 3 x 3 m<br>5 x 5 m<br>30 x 30 m                                          | 2018 -           | 4 dager ***                  | 20 x 20 km<br>30 x 30 km<br>125 x 125 km                            |
| Cosmo-SkyMed SG – CSG - 2 satellitter | 0.8 x 0.8 m<br>3 x 3 m<br>4 x 20 m<br>6 x 40 m                           | 2015 -           | 8 dager **<br>evt. 1 dag *** | 10 x 10 km<br>40 x 40 km<br>100 x 100 km<br>200 x 200 km            |

Blått - arkivdata, grått - operative data i 2014, rødt - planlagte data.

\* Repetisjonstid med 4-satellitt system \*\* Repetisjonstid med 2-satellittsystem \*\*\* Repetisjonstid med 3-satellittsystem

Figur 4.1 Oversikt som viser historiske, tilgjengelige og planlagte SAR-satellitter. (NRS)

### Satellittoversikt

I figur 4.1 vises en oversikt over de mest aktuelle satellittene, deres levetid, dekningsområde, repetisjonstid og romlig oppløsning. Flere satellitter er under planlegging, så dette kartet vil endre seg i tiden framover.

Gjennom ESA programmene finnes det nå over 20 år med dataserier som kan benyttes som basis for framtidig bruk.

Figur 4.2 viser tilgang på radarsatellitter i perioden 2008-2020. Levetiden på satellitter har økt med den teknologiske utviklingen. Satellittene er designet for å fungere i tre til åtte år, men det viser seg ofte at de virker mye lenger. Dobbeltså lang levetid er ikke uvanlig. Radarsat-satellittene 1 og 2 var designet for fem år. Til tross for dette var Radarsat-1 i funksjon i 17 år. Radarsat-2 ble skutt opp i desember 2007 og er i full operasjon fortsatt. De framtidige Sentinel-satellittene er designet til å kunne virke i sju år. Sannsynligvis vil de kunne fungere opp mot dobbelt så lenge.

|                     | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ERS                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Envisat             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Radarsat-1          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Radarsat-2          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| TerraSAR-X          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Cosmo-SkyMed        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Sentinel-1A/B       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| TerraSAR NG         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Cosmo-SkyMed SG-1/2 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Radarsat CM         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

Mørk blått - arkivdata, mørk grått - operative data for skred fra 2011, lys grått - muligheter for bestilling av data med veldig høy romlig oppløsning, rødt - planlagte satellitter.

Figur 4.2 Oversikt som viser historiske, tilgjengelige og planlagte SAR-satellitter. (NRS)

## 5 Produksjonslinje

For å utvikle og etablere en produksjonslinje for InSAR-kart, trengs klare rolledelinger, kunnskap om behov, metodikk og drift, samt sikker og tilfredsstillende datatilgang.

Dagens produksjonslinje for nedlesing av radarsatellittdata og bruk av InSAR-metodikk knyttet til fjellskredkartleggingen er vist i figur 5.1. Nye data brukes i dag både fra Radarsat-2 og TerraSAR-X, men data fra ESAs ERS-arkiv er også svært nyttig for å vurdere fjellskred bakover i tid.

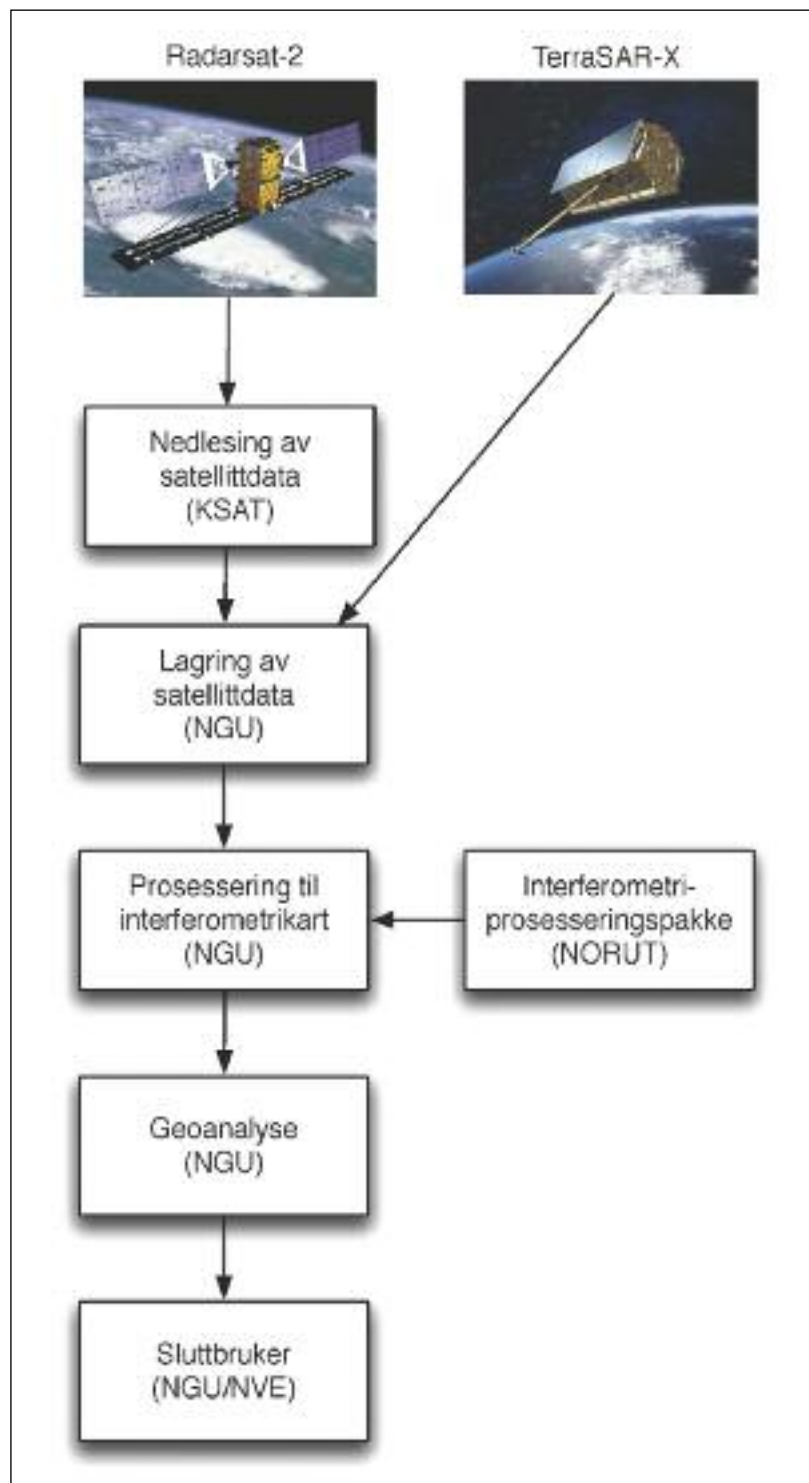
KSAT har kjernekompetanse innen nedlesing av ulike satellittdata samt arkivering og rask distribusjon av data. Videre har de sentrale og viktige nedlesingsoppdrag for mange av verdens største satellittoperatører som ESA, NASA, NOAA, EUMETSAT osv. KSAT er sentrale i Copernicus-programmets bakkesegment, og vil lese ned data fra Sentinel-satellittene. Bedriften vil kunne levere Single Look Complex, SLC, produkter fra Sentinel-1. Disse må prosesseres videre for å gå inn i produksjonslinjen.

For optimal prosessering og bruk av Sentinel-1 data til interferometri, legges til grunn:

- Sentinel-1 nivå 0 (rådata) og samregistrert SLC som inngangsdata fra nasjonalt bakkesegment for Copernicus.<sup>2</sup>
- Sluttprodukt i form av interferogrammer og deformasjonstidsrekker som gjøres åpent tilgjengelig for etater og allmennheten.

Årlig tildeles NGU gjennom flerbruksarbeidet mange dataopptak fra Radarsat-2 for å kunne overvåke fjellskred i Norge. Når dataene er lest ned og prosessert til et SLC-produkt, er de klare til videre bearbeiding. NGU henter dataene fra serveren på KSAT, laster de ned hos seg og lagrer områdevis før videre bearbeiding til InSAR-kart. For TerraSAR-X data mottar Norut Tromsø/NGU data direkte fra leverandøren Astrium/Airbus i Tyskland gjennom forsknings- og demonstrasjonkvoter.

Bearbeidingen av SLC-produkter skjer på en egen datamaskin hvor PSI- og SBAS-programvaren utviklet ved Norut Tromsø er



Figur 5.1 Dagens produksjonslinje for nedlesing av radarsatellittdata og bruk av InSAR-metodikk knyttet til fjellskred. (NRS)

<sup>2</sup>Se underlagsdokumentet "Norsk deltaking i EUs jordobservasjonsprogram Copernicus (2014-2020)", som ble oversendt fra Norsk Romsenter til Nærings- og handelsdepartementet (nå Nærings- og fiskeridepartementet) i desember 2013.

installert. Det kreves spesialkunnskap for å kunne gjøre disse beregningene, og i dag er det få miljøer med denne kompetansen i Norge. Når prosesseringen er gjort, er produktet et InSAR-kart. InSAR-kartet legges ofte over et optisk satellittbildekart og samlokaliseres, slik at man lettere kan finne hvor bevegelsene er målt i forhold til terrenget. Det brukes også 3D-terrengmodeller for å synliggjøre vertikalbevegelsene.

Norut Tromsø besitter den nasjonale utviklingskompetansen knyttet til InSAR-metodikk og støtter den operasjonelle produksjonslinjen hvis det oppstår feil eller er behov for videreutvikling.

NGU har tilgang til, og anledning til å bruke, SBAS- og PSI-programvaren, da de har støttet utviklingen av den sammen med Norsk Romsenter. NGU har investert i en tungregneserver som brukes for prosessering til InSAR-kart.

InSAR-kart viser punkter hvor berggrunnen har bevegelse og angir hvor mye den beveger seg i vertikal retning over en tidsperiode. Avhengig av hvilken tilleggsinformasjon man har, kan slike kart gi dokumentasjon på andre problemstillinger enn det NGU eller NVE har, for eksempel hos Jernbaneverket eller hos Statens vegvesen.

NGUs tidlige og sterke involvering i utvikling og bruk av radardata knyttet til interferometri er bakgrunnen for at produksjonslinjen er slik den er i dag. Produksjonslinjen er svært avhengig av kompetansen til noen få enkeltpersoner. NGU og Norut Tromsø er sentrale i produksjonen, og all metode- og programvareutvikling foregår i et team på fire til fem forskere ved Norut Tromsø. Per i dag er det bare én forsker ved NGU som produserer alle InSAR-kart for offentlig bruk. Produksjonskjeden er under utvikling, og den kan betraktes som en demonstrasjonslinje, selv om programvaren er i operativ bruk på NGU.

For å kunne lage InSAR-kart, trengs systematiske radaropptak i tid og rom. Det er derfor nødvendig å planlegge bestilling av slike opptak. NGU sikrer gjennom deltagelse i "Nasjonal gruppe for prioritering av satellittdata", som Norsk Romsenter koordinerer, nasjonal prioritering og bestilling av opptak. De ulike

nasjonale behovene blir koordinert gjennom denne gruppen.

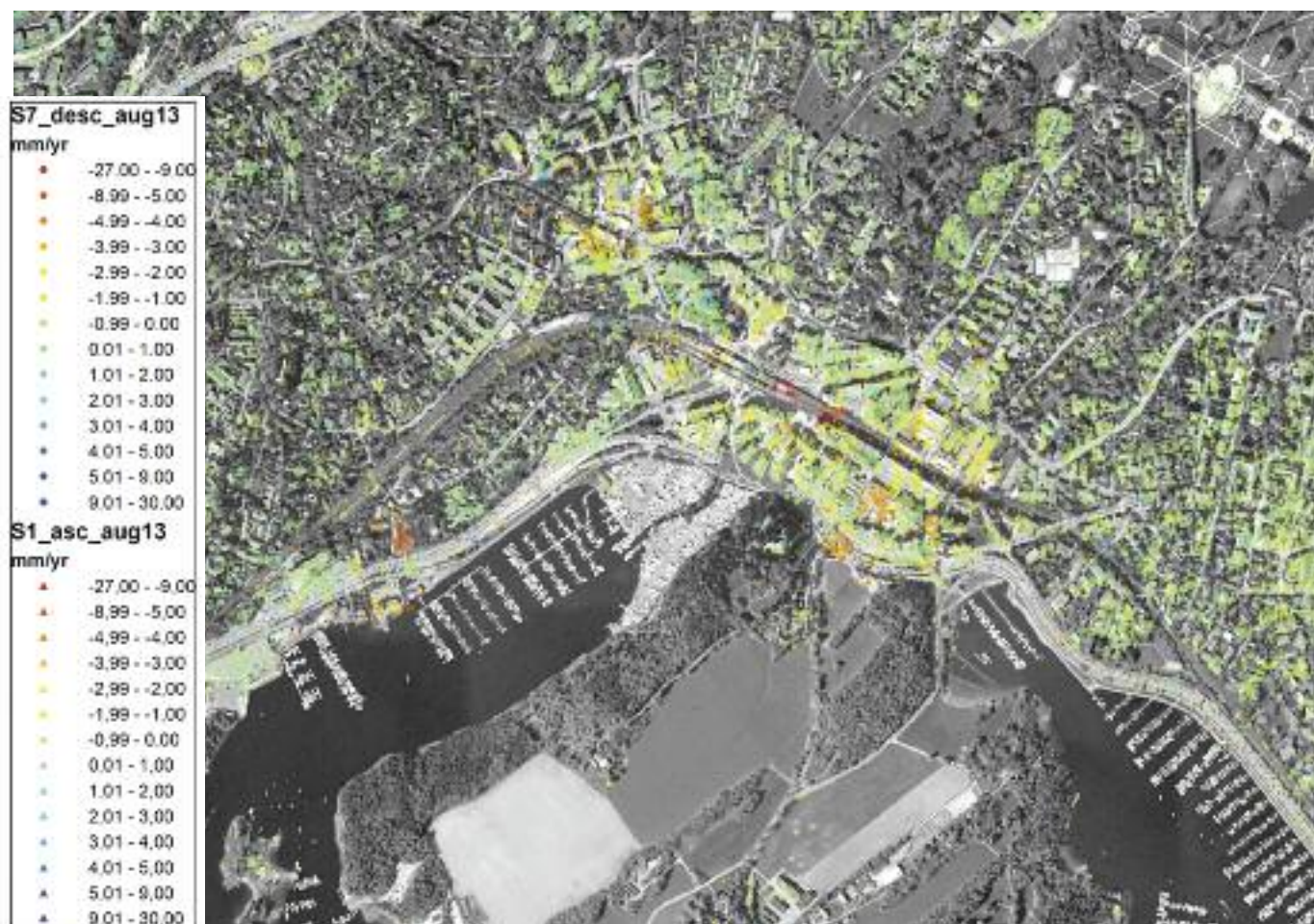
Innsamling av Radarsat-2-data over Åknes i Møre og Romsdal og større norske byer begynte i 2008. I 2009 startet NGU systematiske opptak på Vestlandet og deler av Troms. Per første halvår 2013, har over 1500 scener fra Vestlandet og over 300 scener fra Troms blitt tatt opp. For 2013 har NGU fått 680 opptak for kartlegging og 60 opptak for detaljert periodisk overvåking av utvalgte områder. Alle scener lagres på servere hos NGU og Norut Tromsø. Analyser og produksjon av InSAR-kart over Vestlandet basert på Radarsat-2 Fine modus, ble påbegynt i 2013 for de områdene der det finnes tilstrekkelig med opptak.

Nedenfor vises noen nye resultater fra dagens produksjonslinje. Eksempelene er hentet fra NGU, som har prosessert to områder i Oslo-området basert på PSI-algoritmen og Radarsat-2 Fine modus (jfr. nivå 2 side 21). Interferogrammene er laget med 51 opptak i nordgående bane og 57 opptak i sørgående bane i perioden 2009-2013. Eksemplet i figur 5.2 viser Skøyen-området, hvor man ser at det er store bevegelser knyttet til Skøyen stasjon og jernbanelinjen. Eksemplet i figur 5.3 viser Bjørvika, hvor store deler av området er i bevegelse. Dette siste har myndighetene vært klar over, og her viser vi at det er mulig å beregne slike bevegelser fra satellitt. Dette gir store muligheter for objektive målinger også i andre byer og andre tettsteder i Norge.

## 5.1 Andre norske aktører

Andre norske potensielle aktører for nasjonal produksjonslinje av InSAR-kart kan være:

- Kongsberg Spacotec AS, som har kompetanse på blant annet brukerstøttesystemer og industrialisering av prosesseringskjeder. Slik kompetanse kan være relevant ved en framtidig automatisert produksjonslinje.
- Norges Geotekniske Institutt, som har fagmiljø for geoanalyser og har bygget opp kompetanse knyttet til InSAR gjennom ulike prosjekter i byområder og geofarekartlegging.
- Globas AS, som er et spin-off selskap fra Norut Tromsø. Norut Tromsø har gitt dette firmaet den kommersielle retten til bruk av deres programvare for InSAR mot et marked.



Figur 5.2 InSAR-kart basert på Radarsat-2 viser hastighet av nedsynking ved Skøyen stasjon. Røde sirkler viser nedsynking på opptil 27 mm per år. (NGU)

- Nordnorsk Fjellovervåking, som er et selskap som driver overvåking av de ustabile fjellpartiene på Nordnes i Kåfjord kommune. Deltagere i selskapet er tre kommuner og Troms fylkeskommune.
- Åknes/Tafjord Beredskap, som er et nasjonalt senter for fjellskredovervåking.

Senteret er et interkommunalt samarbeid for å overvåke de ustabile fjellpartiene ved Åknes, Hegguraksla og Mannen, og deltagere i selskapet er syv kommuner samt Møre og Romsdal fylkeskommune.



Figur 5.3 InSAR-kart basert på Radarsat-2 viser hastighet av nedsynking ved Oslo S og Bjørvika. Røde sirkler viser nedsynking på opptil 27 mm per år. (NGU)

## 6 Etatenes behov for radarsatellittdata

Norges vassdrags- og energidirektorat, NVE; Norges geologiske undersøkelse, NGU; Statens vegvesen og Jernbaneverket arbeider alle med kartlegging og sikring av skredutsatte områder og ser nytte av tettere samarbeid om bruk av data.

NVE fikk i 2009 det overordnede statlige forvaltningsansvaret innen forebygging av skredulykker, herunder kartlegging, arealplanlegging, sikring, varsling og beredskap.

NGU hadde det statlige ansvaret for skredkartlegging fra 2004 til 2009 og NGU utfører i dag fjellskredkartleggingen på oppdrag fra NVE.

Statens vegvesen administrerer riks- og fylkesveinettet, og registrerer årlig mellom 1500 og 2000 skredhendelser mot vei. Hendelsene er fordelt på ulike typer som steinsprang, snøskred, løsmasseskred og nedfall av is.

Jernbaneverket drifter, vedlikeholder og bygger ut statens jernbaneinfrastruktur med tilhørende anlegg og innretninger. Jernbaneverket registrerer årlig mellom 70 og 100 skredhendelser på jernbanenettet.

### 6.1 NGU

NGU er landets sentrale institusjon for kunnskap om berggrunn, mineralressurser, løsmasser og grunnvann. NGU er en etat under Nærings- og fiskeridepartementet.

NGU begynte å jobbe med InSAR i 2001. Forskere ved Politecnico di Milano, POLIMI, hadde da utviklet PSInSAR-metodikk og ønsket å prosessere data i Ranafjord-området. Målet var å identifisere tektoniske bevegelser. Senere har prosjekter i Oslo og Trondheim hatt som mål å registrere nedsynking i bygninger og infrastruktur som følge av naturlige og menneskeskapte årsaker. I disse prosjektene ble data prosessert av TRE, et spin-off selskap fra POLIMI, og finansiert av NGU, Statens vegvesen, Jernbaneverket og aktuelle kommuner. Andre områder prosessert av TRE på vegne av NGU, var områder rundt Storfjorden og Geirangerfjorden. Målet var å påvise aktiv bevegelse i fjell.

NGU, i samarbeid med fylkesgeologene, hadde allerede startet systematisk kartlegging av ustabile fjellpartier med konvensjonelle metoder (GPS, målebolter/ strekkbånd) i Møre og Romsdal, Sogn og Fjordane og Troms. Etter å ha hatt god erfaring med data som var prosessert i Italia, ønsket NGU å kunne bruke InSAR som en del av sin rutinekartlegging. I 2005 besluttet NGU, International Centre for Geohazards ved NGI og Norsk Romsenter å finansiere et doktorgradstudium ved Norut/Universitetet i Tromsø. Målet var å utvikle programvare for InSAR-prosessering for bruk i NGU til studier av geofarer. I 2007 var en operasjonell prosesseringskjede på plass og NGU anskaffet rundt 1100 ERS-scener<sup>3</sup> fra Troms, Møre og Romsdal og Sogn og Fjordane for regional fjellskredkartlegging. Resultatene fra InSAR-prosesseringen ble kvalitetssikret gjennom feltarbeid sommeren 2008. Flere nye ustabile fjellpartier ble identifisert.

I 2009 begynte NGU systematisk anskaffelse av Radarsat-2 Fine modus data over Vestlandet og deler av Troms (figur 2.2). Tilstrekkelig antall scener til en første analyse var på plass sent i 2012. Ettersom antallet scener øker hvert år, vil kvaliteten av resultatene øke med tiden.

I tillegg til de regionale undersøkelsene, har Norut Tromsø og NGU begynt å teste bruk av radarbilder med veldig høy romlig oppløsning fra Radarsat-2 og TerraSAR-X for detaljert kartlegging. Disse datasettene har vist uvurderlig verdi for å øke forståelsen av bevegelsesmønsteret innenfor hver enkelt ustabilitet, se figurene 3.9, 3.10 og 3.11.

### 6.2 NVE

NVE er underlagt Olje- og energidepartementet og har det overordnede statlige forvaltningsansvaret innen forebygging av flom- og skredulykker.

NVE har blant annet ansvaret for den statlige skredfarekartleggingen for ulike skredtyper. Dette gjelder fjellskred, steinskrud, steinsprang, snøskred, sørpeskrud, kvikkleireskrud, jordskrud og flomskrud.

<sup>3</sup>Se figur 4.1 for detaljer om ERS-1 og -2.

Prioriteringene skal være risikobasert og primært rettet mot eksisterende bebyggelse samt kartlegging av naturlige skråninger. NVE bidrar til at kommunene tar hensyn til flom- og skredutsatte områder i sin arealplanlegging og utbygging. NVE kartlegger og informerer om fareområder og gir kommuner faglige råd og økonomisk bistand til planlegging og gjennomføring av nødvendige sikringstiltak. NVE varsler flomfare, jordskred- og snøskredfare og gir også faglig bistand under beredskaps- og krisesituasjoner til kommuner, politi og andre beredskapsmyndigheter.

Kartlegging og formidling av informasjon om skredfare er en prioritert oppgave. NGU gjennomfører deler av dette kartleggingsarbeidet, herunder den pågående statlige kartleggingen av fare for store fjellskred. Prioriteringene er forankret i Plan for skredfarekartlegging (NVE-rapport 14/2011). Kartleggingen av ustabile fjellpartier skal kunne ut i en fare- og risikoklassifisering, der

ustabile fjellpartier med høy risiko følges opp av periodisk eller kontinuerlig overvåking.

InSAR benyttes i flere deler av prosessen i kartleggingen av fare for store fjellskred; både ved en innledende fylkesvis kartlegging for å avdekke potensielt ustabile fjellpartier, ved oppfølgende kartlegging av avdekkede ustabile fjellpartier og ved overvåking av høyrisiko objekt.

Utover kartlegging av ustabile fjellpartier, der NVE er bestiller ovenfor NGU, er InSAR lite benyttet i NVE. NVEs kartlegging av fare for skred ved andre skredtyper gjennomføres med andre metoder. Slike områder er ofte bratte med mye vegetasjon, skog mv., der andre forhold enn nedsynking er essensielle for resultatet av farekartleggingen. NVE ser størst potensial for videre bruk av InSAR til kartlegging og overvåking av store og ustabile fjellpartier.

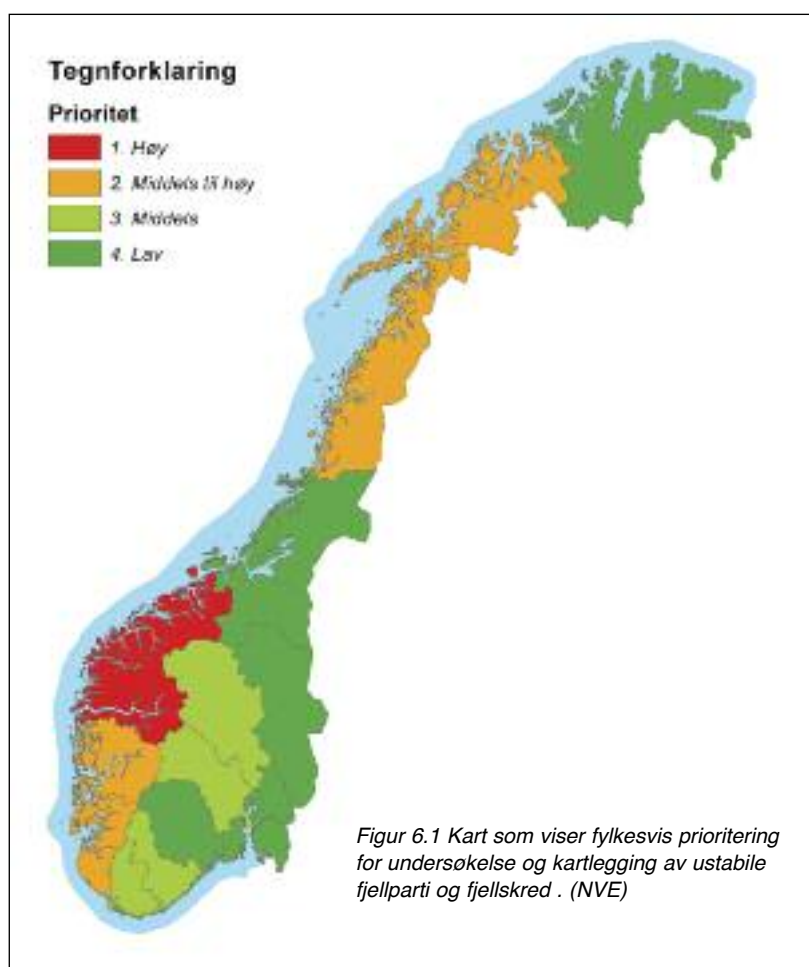
Kartet i figur 6.1 viser prioritering av områder for undersøkelse og kartlegging av ustabile fjellpartier og fjellskred.

NVE ser også potensial ved forskning og utvikling på egnethet og anvendelse av InSAR til kartlegging av steinskred, som har mindre volum enn fjellskred.

For NVE vil InSAR også være interessant for å studere dynamikk på breer, spesielt når det gjelder kartlegging av isskillet på kåpebreer/platåbreer. InSAR over breer oppdager isens bevegelsesmønster og dermed grenser for de enkelte dreneringsbreer.

Ut over dette ønskes følgende bruk av SAR-data i NVE:

- Måle snødekningsgrad under våte snøforhold i smeltesesongen. SAR er følsom for våt snø, mens den ikke skiller mellom tørr snø og bar bakke. SAR-data er derfor bare interessant i forbindelse med snødekningsgrad når snøen er våt - altså i smeltesesongen.
- Overvåking av islegging på innsjøer. Tidligere resultater har vist at dette er nyttig og at det er ønskelig å bruke SAR-bilder til dette. For øvrig er det mange faktorer som spiller inn, slik at det er vanskelig å få til en automatisk algoritme (som er ønskelig) som kan kjøres uten interaksjon fra en operatør.



- Massebalansestudie på norske breer. Firnlinjen, overgang fra firn til bar is, er synlig med SAR på grunn av forskjellige spredningsegenskaper. Årlige SAR-bilder mot slutten av akkumulasjonsperioden (vår) vil vise eventuelle endringer i firnlinjen og dermed i massebalanse, selv om dette ikke er en direkte indikator.

Ved bruk av SAR-data er NVE interessert i data fra april-juli. Det er også et ønske om data fra før jul i forbindelse med isdannelse på innsjøer.

Det er flere utfordringer ved bruk av SAR-data før man kan ta dataene i operativ bruk, og disse krever FoU. Det er viktig at dataene er tilfredsstillende kalibrert og geokodet for bruk innen landapplikasjoner fordi man ofte ønsker å finne forskjeller fra bilde til bilde og dessuten vil ha sammenslåing med optiske data, for eksempel et snøprodukt laget med multisensor-teknikker. En annen utfordring med dataene er at det i områder med mye topografi vil være mange skygge- og foldningseffekter hvor man ikke får noen gode signaler som kan analyseres. Et typisk eksempel er bratte fjellvegger som heller bort fra, eller mot, satellitten. Det er mulig å maskere ut områder som har skygge eller foldningseffekter. Geokoding ved bruk av digital høydemodell gir som et biprodukt en foldingsmaske, som kan brukes når produktet analyseres.

### 6.3 Jernbanelverket

Jernbanelverket er et statlig forvaltningsorgan underlagt Samferdselsdepartementet og forvalter 4230 km jernbane. Jernbanelverket skal på vegne av staten drifte, vedlikeholde og bygge ut statens jernbaneinfrastruktur. Det har også ansvaret for kapasitetsfordeling, ruteplanlegging og operativ trafikkstyring på det nasjonale jernbanenettet, herunder togledelse og publikumsinformasjon på stasjonene.

I de siste årene og særlig i 2013, har omfanget av ras og flom etter ekstremvær bidratt til redusert driftsstabilitet og betydelige ekstrakostnader til opprydding og gjenoppbygging av infrastrukturen. Bare i mai 2013 er mer enn 200 skadepunkter knyttet til flom og skredhendelser registrert på Dovrebanen. Mellom Eidsvoll og Dombås medførte 50 store linjebrydd at jernbanen måtte bygges opp på nytt.

Jernbanelverket hadde totalt 73 skred registrert i 2012, det er samme antall som gjennomsnittet beregnet over de siste 10 år. I 2011 registrerte Jernbanelverket 131 ras. Gjennom tiden har Ofotbanen, Nordlandsbanen og Bergensbanen vært utsatt for mange steinskrud og snøskrud, og Dovrebanen har hatt mye flom og mange jordskrud.

Slike hendelser innebærer at togtrafikken må stanses i kortere eller lengre tid, noe som har betydelige negative økonomiske konsekvenser for togselskapene generelt og for gods-transporten spesielt. Ras og flom er også en potensiell risiko for sikkerheten i jernbanetransporten. Pålitelighet (driftsstabilitet) i togtrafikken er avgjørende for jernbanens omdømme og konkurransekraft. Risikoen for flom og ras må forventes å vedvare eller øke, og Jernbanelverket må ta høyde for dette i sine prioriteringer. Jernbanelverket får en kraftig økning i bevilgningen i 2014 og denne skal dekke et "normalt" nivå av ras og flom, samt merutgiftene i 2014 som følge av hendelsene i 2013.

Figur 6.2 viser kart over 10 års skredstatistikk for jernbanen i Norge. Figur 6.3 viser kart over store steinskrud på jernbanen for årene 2002-2012. Gjennomsnittlig antall skred per år og kilometer jernbane for årene 1999-2008 er vist i figur 6.4.

I figur 6.5 kan man se i detalj hvor skadepunktene som skyldtes flom og skrud var på Dovrebanen i mai 2013.

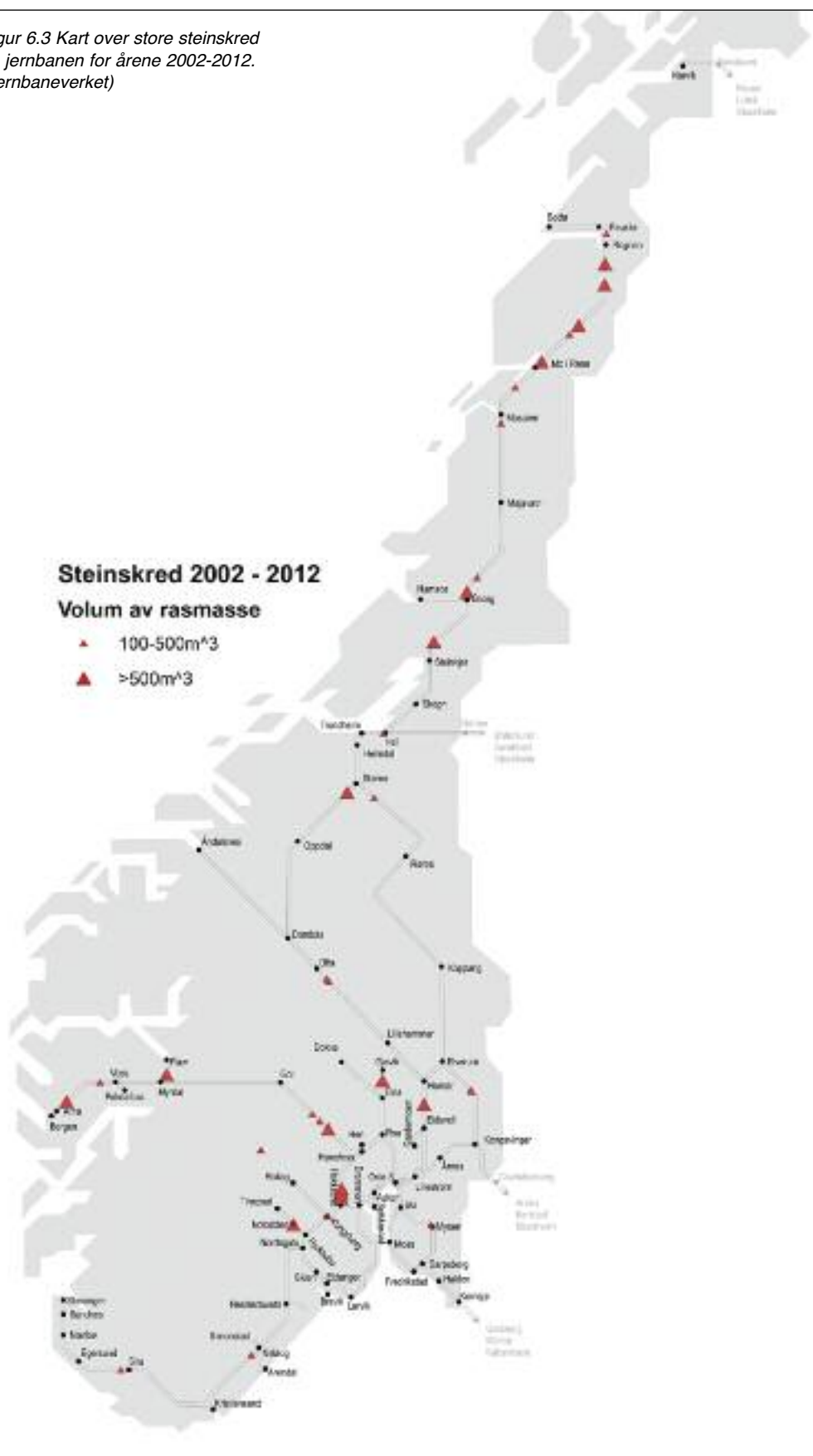
Det utarbeides årlig risikoreduserende tiltak i Jernbanelverket. Programområdet Sikkerhet og Miljø omfatter tiltak i kjøreveien for å forbedre sikkerheten og miljøet rundt dagens infrastruktur. Programområdet er delt inn i teknisk trafiksikkerhet, skredsikring, sikring og sanering av planoverganger, tunnelsikkerhet og miljø.

I forbindelse med virksomhetsplanlegging for 2012, ble disse tiltakene igangsatt:

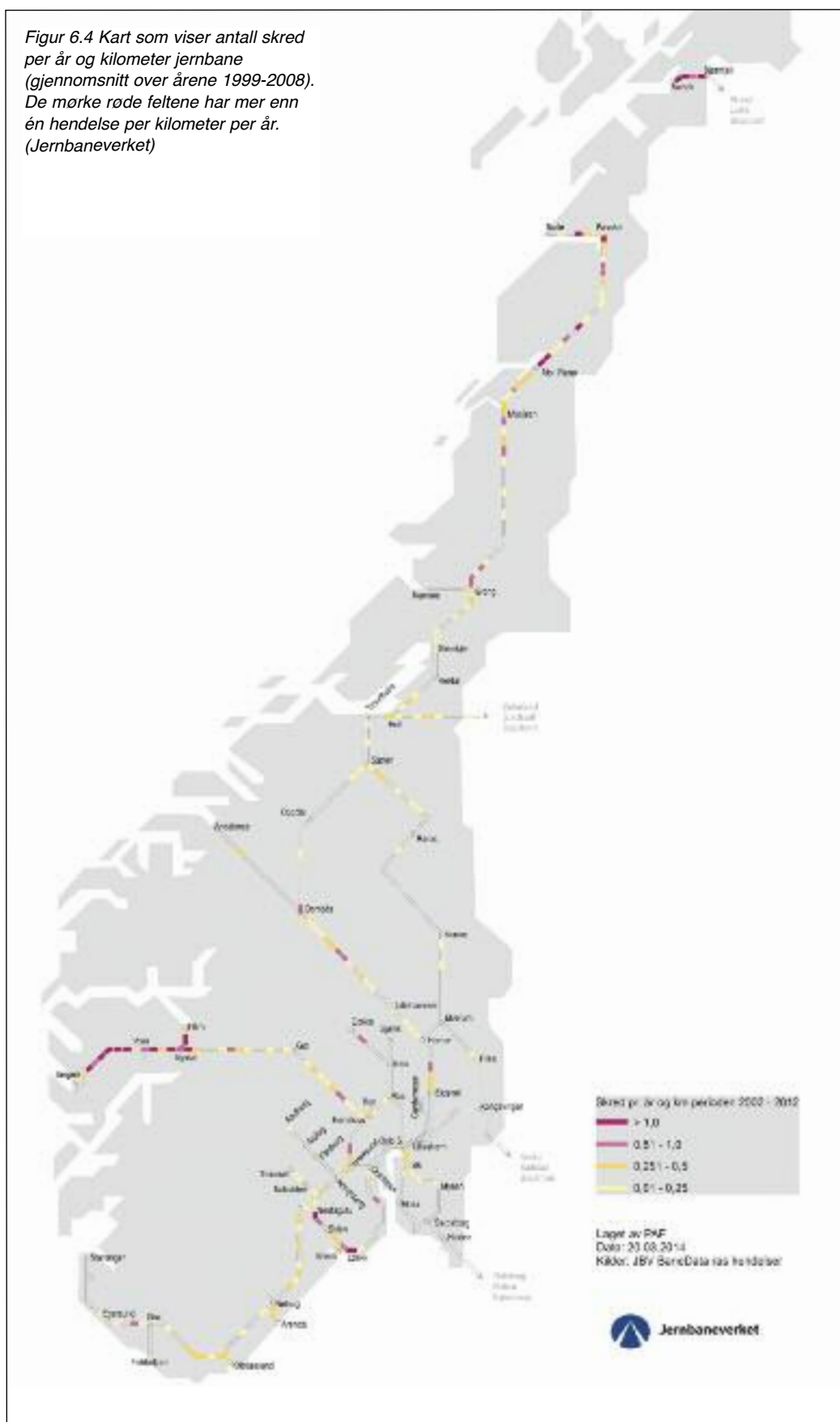
- Evaluering av skrud- og flomsituasjonen i 2011, og utarbeidelse av handlingsplaner som skal ivareta nødvendige tiltak.
- Utbetaling av 57,5 millioner kroner til skredsikring i 2011, mot et budsjett på 56,8 millioner til slike tiltak. Videre ble det utført omfattende skredsikringstiltak og etablert et nettverk med 31 værstasjoner.



Figur 6.3 Kart over store steinskred  
på jernbanen for årene 2002-2012.  
(Jernbaneverket)



Figur 6.4 Kart som viser antall skred per år og kilometer jernbane (gjennomsnitt over årene 1999-2008). De mørke røde feltene har mer enn én hendelse per kilometer per år. (Jernbaneverket)





Figur 6.5 Kart som viser skadepunkt på Dovrebanen etter flom og skred i mai 2013. Røde trekanter er skader som førte til stans i trafikken. (Jernbaneverket)

- Gjennomføring av et antall analyser fra Jernbaneverkets side for å kartlegge sårbarhet og robusthet for ulike jernbaneinstallasjoner i forhold til det eksisterende risikobildet. Det ble også gjennomført oppdateringer av beredskapsanalyser for blant annet høyfjellsoverganger.

Jernbaneverket har et systemansvar for samfunnssikkerhet og beredskap knyttet til jernbaneinfrastruktur i Norge og koordinerer arbeidet mot trafikkutøvere på et overordnet nivå. Funksjonen skal ivareta strategisk tilrettelegging i Jernbaneverket. Den skal også være bindeleddet til jernbanevirksomheter,

som den beredskapskoordinerende myndighet på det nasjonale jernbanenettet. Jernbaneverket har derfor en beredskapsorganisering som i en krisesituasjon skal ivareta både Jernbaneverkets rolle som infrastrukturforvalter og som koordinator for bransjen.

Det er ønskelig å få tilgang til nær-sannhetsdata med skredanalyser for å kunne utnytte slik informasjon i jernbanedriften og identifisere innledende bevegelser fram mot et skred eller en større hendelse, slik at man kan iverksette forebyggende tiltak, eventuelt stoppe trafikk. Det er videre interessant å vurdere hvordan man i framtiden kan utnytte satellitt-

data, hvilket potensial som finnes og hvilke metoder som kan justeres, erstattes og forbedres. Inntil nå har ikke data fra radarsatellitter og InSAR vært brukt i Jernbaneverket.

Jernbaneverket har behov og ser muligheter for at InSAR kan gi supplerende informasjon med hensyn til:

- overbygning; omfatter ballast, sviller, befestigelse og skinner
- underbygning; omfatter alle byggverk som er nødvendig for å bære oppe og sikre overbygningen et jevnt og stabilt leie
- skredfarekartlegging av sårbare områder
- store potensielt sårbare fjellpartier
- sideterreng og stabilitet

Jernbaneverkets infrastruktur er dokumentert i databasen BaneData, hvor det i tillegg til objektene finnes prosedyrer for tilstandsbasert vedlikeholdsplanlegging. Objektene er stedfestet ut fra kilometer og kan også koordinatfestes og vises på kart. Skredhendelser registreres også her. InSAR-kart kan tenkes å bli lagt inn som et eget lag i jernbaneverkets kartløsning for å se dem i sammenheng med hendelser og objekter i GIS-analyser.

Sporets tilstand måles med lasere i målevognen "Roger1000" minst to ganger i året. Målevognens posisjonering er knyttet til kilometerregistrering på sporet, men satellittbasert posisjonering (GPS, GLONASS og eventuelt GALILEO) med koordinater er også mulig. Nytt utstyr med korreksjonsdata ble montert sommeren 2012, og Jernbaneverket arbeider med å få koordinatene presentert på en god måte. Sammen med sporet fotograferes nært sideterreng på begge sider fra målevognen ved gjennomkjøring. Bakkebaserte laser-målinger er i samarbeid med NGI testet på deler av Sørlandsbanen for detaljert 3D-kartlegging av sideterreng. En sammenligning av InSAR-kart med informasjon fra målevognen "Roger1000" ville være svært interessant.

Enkelte skredutsatte strekninger har skredvarslingsanlegg som ved skreddeteksjon gir stoppsignal til tog for å hindre sammenstøt mellom tog og skredmasser. En bedre kartlegging av hvor skredfare finnes vil være nyttig i vurderingen av plassering av målestasjoner, skredvarslingsanlegg og tiltak mot skred.

Løsneområdet for et skred kan være utenfor siktlinjen fra jernbanen, med skredbane og konsekvenser som likevel når sporene. Satellitter kan detektere bevegelser i "skjulte" og vanskelig tilgjengelige løsneområder. Historisk skredutsatte områder er kandidater for kartlegging og overvåking. I bildematerialet over kjente skred, som for eksempel på Myrdal på Bergensbanen, anbefales å studere om man kan finne tidlige detekterbare bevegelser i løsneområder. Myrdal stasjon ligger nedenfor en vestvendt fjellside, med løsneområdet antagelig godt synlig på opptak gjort når satellitten går i oppadgående bane. Samme aspekt gjelder flere skredutsatte skråninger på Nordlandsbanen, Dovrebanen og Raumbanen. Syd/nord aspekt på skredutsatte fjellsider forekommer ellers i stor grad på Bergensbanen, Ofotbanen og Raumabanen, men en del av disse er muligens ikke like godt synlige fra satellitter.

2 710 jernbanebruer er kandidater for overvåking og vedlikehold. Detekterte endringer i høyde og posisjon for faste punkter kan bety store besparelser med hensyn til målrettede tiltak på steder som viser bevegelse.

Under de pågående store byggeprosjektene ved Oslo S er det observert akselerert nedsynking av grunnen. Dette følges opp med satellittbasert InSAR for å kartlegge uønskede konsekvenser i området. Det er behov for vitenskapelig dokumentasjon av setninger i grunnen som påvirker konstruksjoner. Se figur 5.3.

Generelt har staten et behov for formidling, forskning og utdanning, og Jernbaneverket trenger oppdatert bestillerkompetanse med hensyn til ny teknologi og metoder.

Det er behov for videre studier og analyser for å se kost-nytte effekter av bruk av InSAR i forhold til dagens overvåking, kartlegging og beredskap.

#### 6.4 Statens vegvesen

Statens vegvesen er underlagt Samferdselsdepartementet og forvalter 10 400 km riksvei. Statens vegvesen samarbeider tett med fylkeskommunene om forvaltning av 44 200 km fylkesvei. Staten er også statens og fylkes-



Figur 6.6 Kart som viser steinskredhendelser på vei. Data fra Nasjonal vegdatabank. (Statens vegvesen)

kommunenes fagetat for vei og veitrafikk. Dette innebærer at etaten planlegger, bygger, drifter og vedlikeholder gode og sikre trafikkløsninger og har ansvar for tilsyn og kontroll av de som ferdes på veiene.

I figur 6.6 vises forekomst av steinsprang eller steinskred på vei, mens figur 6.7 viser punkter eller strekninger hvor det er sett behov for sikringstiltak på grunn av steinsprang eller steinskred. Disse punktene er

oftest problempunkter, hvor det er gjentagende steinskred eller steinsprang. Figurene viser at store deler av veinettet er utsatt for steinskred og at en systematisk kartlegging av ustabile områder kan ha stor nytteverdi.

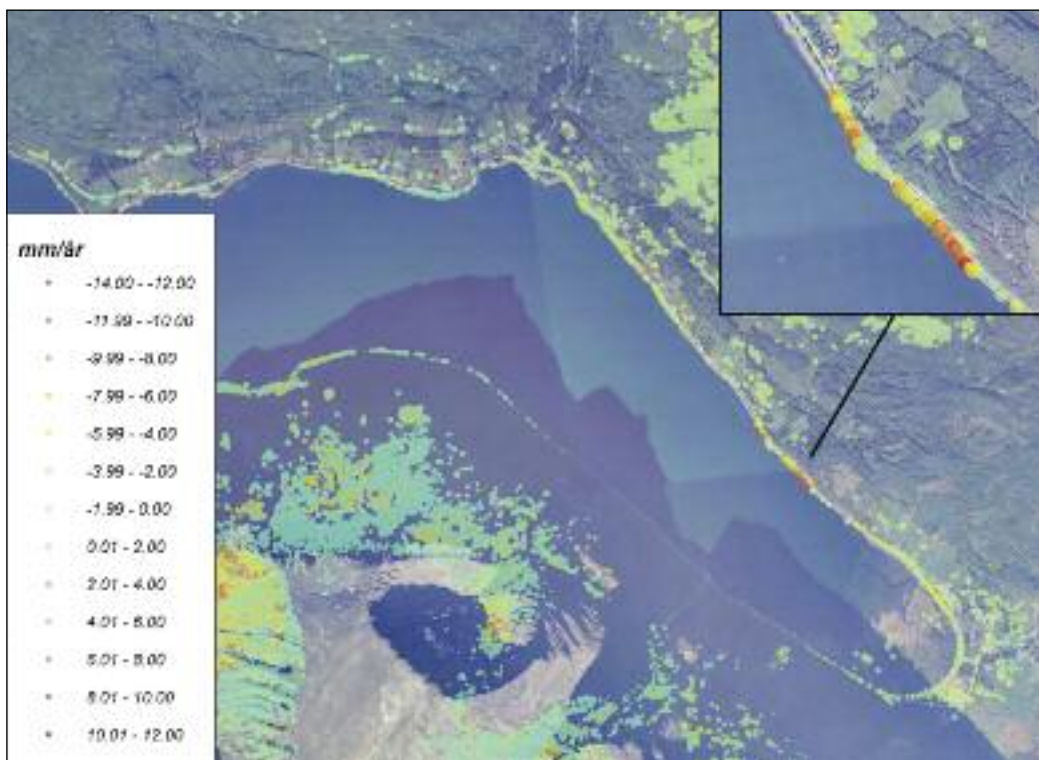
Vegdirektoratet fikk en forespørsel fra Samferdselsdepartementet i juli 2009 om å vurdere nytten av å sette i gang et tverrsektorielt samarbeidsprosjekt for å se på muligheter til å bruke romteknologi for å kartlegge og over-



Figur 6.7: Kart som viser punkt/strekninger hvor det er behov for sikringstiltak på grunn av gjentakende steinskred eller steinsprang. (Statens vegvesen)

våke de mest skredutsatte strekningene langs veinettet. Bakgrunnen for forespørselen var blant annet vellykkede resultater fra overvåking av større ustabile fjellpartier i Lyngen og Storfjorden. Resultatene fra Lyngen og Storfjorden og andre områder hvor InSAR er brukt til fjellskredkartlegging, vil være nyttige for Statens vegvesen. Det gjelder for sikring av ustabile områder såvel som for grunnlagsinformasjon ved sikringstiltak for andre vei-prosjekter.

Statens vegvesen medfinansierte i 2010 et Geohazard-prosjekt ved Norut Tromsø, hvor muligheter for bruk av satellittdata med høy romlig oppløsning for fjellskredovervåking og bruk av InSAR-metodikk innen infrastruktur-sektoren ble studert. I prosjektet ble det sett på muligheter til å overvåke setninger i veibanen ved hjelp av InSAR. Resultatene viser at det er nødvendig med data med veldig høy romlig oppløsning for å få gode resultater fra setninger i veibanen. Det er imidlertid behov



Figur 6.8 Eksempel på måling av bevegelse i veibanen, grunnlaget er et datasett med veldig høy romlig oppløsning fra TerraSAR-X. (NGU)

for å se nærmere på resultatene, og i hvilken grad for eksempel en PSI-analyse kan gi bedre resultater for datasett med lavere romlig oppløsning fra Radarsat-2/Sentinel-1.

Statens vegvesen har også brukt InSAR basert på bakkebasert radar for å se om det er mulig å oppdage bevegelse i mindre ustabile fjellblokker langs riksvei 70 på Oppdølsstranda i Møre og Romsdal. Målingene ble gjennomført i flere målekampanjer, og dataene sammenlignes for å se etter bevegelse. Prosjektet er utført i samarbeid med Åknes/Tafjord Beredskap. Resultatene fra prosjektet var svært gode. Man kunne se bevegelse i forkant av et steinsprang, og stabilisering i etterkant av nedfallet. Det har vært usikkerhet knyttet til hvorvidt de mindre blokkene viser tegn til bevegelse før de løsner. Ved å måle bevegelse nedenfra (i bevegelsesretningen) så man at dette skjedde.

Statens vegvesen har et FoU-samarbeid med NVE og Jernbaneverket i Naturfare-programmet, NIFS. I dette programmet har man sett

videre på bakkebasert InSAR. I et samarbeid med Åknes/Tafjord Beredskap er det utviklet og testet en mobil ramme som kan brukes for rask montering av radar. Hensikten er å få radaren hurtig på plass etter en hendelse for å se om skredområdet er stabilt eller ikke. Overvåking "nedenfra" er en metode Statens vegvesen ønsker å se mer på og det er også interessant å sammenligne disse dataene med data fra radarsatellitter.

For Statens vegvesens del vil det være viktig å gjennomføre studier av datasettene NGU sitter på, for å se hvilken informasjon det er mulig å finne i dataene. Dette kan dreie seg om:

- hvor "små" volumer det er mulig å se
- hvorvidt det er mulig å se bevegelse i forkant av større steinskred og stabiliserende tendenser i etterkant
- hvorvidt det er mulig å se setninger i veibanen eller konstruksjoner tilknyttet veien
- hvorvidt det er begrensninger i hvor bratte og trange fjellsider det er mulig å få data fra.

I tillegg til å se på dataene som analyseres av NGU til fjellskredkartlegging, vil det være viktig å se nærmere på satellittbilder med veldig høy romlig oppløsning for å se hvilke bruksområder disse kan ha. I forbindelse med større utbyggingsprosjekter eller problemområder med nedsynking kan det være aktuelt å bruke radarsatellittdata med veldig høy romlig oppløsning sammen med PSI-algoritmen (nivå 3: detaljerte InSAR-kart, delkapittel 3.4) for å få en bedre forståelse av prosessene som pågår. Det kan hende data med veldig høy romlig oppløsning fra NGUs studieområder kan brukes, men det kan også være behov for å se nærmere på data fra andre områder for å demonstrere nytte for potensiell annen bruk.

Med tanke på andre aktuelle satellittanvendelser har Vegdirektoratet deltatt som sluttbruker i et ESA-finansiert snøskredprosjekt, gjennomført av NGI og Norsk Regnesentral. Her så man på muligheter for å bruke satellittbilder til kartlegging av snøskred ved å bruke automatisk mønstergjenkjenning i satellittbildene. Problemstillingen videreføres i et toårig prosjekt hvor man også ser på bruk av radarbilder i tillegg til optiske bilder. Dette er et område som er svært interessant for Statens vegvesen, da snøskred årlig fører til mange stengte veier, og muligheten til god varsling for å kunne stenge veier i forkant av skred er vesentlig for trafikantenes sikkerhet.

Statens vegvesen har også bidratt til å utvikle metoder for trafikkteiling fra optiske satellittbilder. Metoden gjenkjenner bilobjekter på veinettet for å kunne beregne antall kjøretøy per døgn.

Midler til skredsikring av veinettet tildeles gjennom statsbudsjettet og i perioden 2010-2013 er det årlig brukt rundt 1 milliard kroner på sikring av riks- og fylkesveinettet. I regjeringens forslag til Nasjonal transportplan 2014-2023 ligger et forslag om en årlig ramme på 870 millioner kroner til skredsikring på riksveinettet og 750 millioner kroner til sikring av fylkesveinettet.

## 6.5 Oppsummering av brukerbehov i etatene

Behovene innen skredkartlegging og overvåking er beskrevet på et overordnet nivå i dette kapitlet. Flere av behovene er ønsket som det kan være vanskelig å dekke ved hjelp av InSAR alene. Det er derfor vesentlig å få prioritert noen viktige, og kanskje felles, behov fra de forskjellige etatene og sikre at InSAR kan bidra til å dekke de ulike uttrykte behovene. Dette krever et godt samarbeid mellom aktørene.

Modenhetsgraden for å anvende InSAR-metodikk på fjellskred og store steinskred anses å være svært god. Potensialet for denne teknologien i anvendelser knyttet til løsmasser, vei og bane er ikke kjent enda. For konstruksjoner som broer og bygninger er FoU i startfasen i Norge. Figur 6.9 viser hvordan man i dag ser potensialet for bruk av InSAR for de ulike etatene.

I tillegg til fjellskred er det naturlig å fokusere det videre arbeidet på områder hvor minst to etater har signalisert behov og antatt nytteverdi. I tillegg bør man prioritere felt hvor

|                                  | NVE | NGU | Statens vegvesen | Jernbaneverket |
|----------------------------------|-----|-----|------------------|----------------|
| Fjellskred                       | X   | X   | X                | X              |
| Steinskred                       | X   |     | X                | X              |
| Setninger i løsmasser (vei/bane) |     | X   | X                | X              |
| Konstruksjoner (broer etc)       |     |     | X                | X              |

Skala: grønt = satellittbasert teknologi moden, gult = satellittbasert teknologi i FoU fase, orange = satellittbasert FoU ikke utprøvd

Figur 6.9: Vurdering av modenhetsgrad av InSAR-metodikk for ulike anvendelser hos de berørte etatene.

modenhetsgraden er vurdert å ha kommet lengst (grønt felt i figur 6.9). Anbefalinger videre er beskrevet i kapittel 7.

Resultatene fra fjellskredkartleggingen som NGU gjør for NVE kan altså ha nytte for de andre etatene. Fjellskredanalysene viser små setninger i større fjellmassiver som kan være tegn på mulige fjellskred. Samme analyse kan brukes til å vise små setninger i grunnen, bygninger, veier, baner og konstruksjoner. Det vil derfor være viktig for etatene å få tilgang til analyseresultatene fra fjellskredkartleggingen for å se hvilken annen informasjon det er mulig å trekke ut fra dette.

Det kan også være aktuelt for etatene å få utført egne analyser hvis det er behov for dette, for eksempel kjøring av PSI-algoritmen framfor SBAS-algoritmen, eller gjøre nye

opptak over prioriterte områder som ønskes testet ut.

Figur 6.10 viser andre anvendelser av InSAR-relatert metodikk som ikke er utfyllende behandlet i denne rapporten, men som vi mener kan ha et betydelig potensial i de ulike etatene og i industrien.

For at bruken skal kunne utvides til bruk i forvaltningen, er det nødvendig å ha relativt lett tilgang på satellittdata som danner grunnlag for analysene. Videre må metodene som skal brukes være utviklet og testet. Da både dataene og metodene er relativt kompliserte, trengs et kunnskapssenter som forvaltningen kan støtte seg til når de skal bearbeide og anvende dataene. Når analysene er gjort og kart produseres, vil kartene være relativt enkle å forstå og bruke.

|                                     | NVE | NGU | Statens vegvesen | Jernbaneverket | Andre |
|-------------------------------------|-----|-----|------------------|----------------|-------|
| Setninger i urbane områder          |     | X   | X                | X              | X     |
| Bygninger                           |     |     |                  |                | X     |
| Broer                               |     |     | X                | X              | X     |
| Setninger over tunnelanlegg         |     | X   | X                | X              |       |
| Telehiv                             |     |     | X                | X              |       |
| Setninger i veibane                 |     |     | X                |                |       |
| Setninger på jernbane               |     |     |                  | X              |       |
| Masseoppbygninger i dreneringsveier |     |     | X                | X              |       |
| Permafrost – nedsynking             |     | X   |                  |                | X     |
| Vannkraftmagasin/ damanlegg         |     |     |                  |                | X     |
| Breer – bredynamikk                 | X   |     |                  |                |       |
| Massebalanse                        | X   |     |                  |                |       |

Skala: grønt = satellittbasert teknologi moden, gult = satellittbasert teknologi i FoU fase, orange = satellittbasert FoU ikke utprøvd

Figur 6.10 Anvendelser av InSAR-relatert metodikk for annen bruk utover skredkartlegging.

## 7 Anbefalinger

### 7.1 Anvendelser

Bruken av InSAR i etatene er i dag i første rekke knyttet til fjellskredkartlegging. Kartleggingen gjennomføres av NGU på oppdrag fra NVE for å gi en oversikt over ustabile fjellpartier, slik at man kan vurdere behovet for ytterligere tiltak. Fjellskredkartleggingen foregår i dag for større områder på Vestlandet og i Nord-Norge. Ytterligere områder på Vestlandet, i Nord-Norge og enkelte andre fjellområder i Norge vil bli undersøkt og kartlagt de nærmeste årene. InSAR benyttes også til overvåking av enkelte utsatte og ustabile fjellpartier med høy risiko for store fjellskred, da med høyere detaljeringsgrad enn i oversiktskartleggingen.

Til nå har det vært systematisk kartlegging av potensielt ustabile fjellområder i Norge. Dog har det ikke vært gjort for alle aktuelle utsatte fjellområder, noe InSAR-metodikken er moden for og gir mulighet for. *Anbefalingen er derfor at en systematisk oversiktskartlegging med InSAR og styrking av analysekapasitet knyttet til fjellskred har høyest prioritet.*

Fjellskredanalyse ved bruk av InSAR-metodikk viser små setninger i større fjellmassiv, noe som kan være tegn på mulige framtidige fjellskred. Samme analyse kan brukes til å vise små setninger i grunnen, bygninger, veier, baner og konstruksjoner. Det vil derfor være viktig for etatene å få tilgang til analyseresultatene fra fjellskredkartleggingen for å se hvilken annen informasjon det er mulig å trekke ut fra dataene. *Slik tilgang, sammen med noe opplæring i bruk, må gis høy prioritet da det antas å gi god flerbruksnytte.*

NVE, NGU, Statens vegvesen og Jernbaneverket arbeider alle med kartlegging og sikring av skredutsatte områder og ser derfor nytte av tettere samarbeid om bruk av InSAR.

Det er flere anvendelser og oppgaver som må arbeides videre med dersom de nevnte etatene skal ha nytte av resultatene som allerede foreligger. For det første vil både utført og videre arbeid med fjellskredkartlegging gi alle etater ny og nyttig informasjon. Kartene kan i tillegg inneholde informasjon om områder som ikke er "store nok" for fjellskred. De kan likevel være aktuelle for vurdering av fare for steinskred, eller vise områder hvor kun vei eller jernbane er utsatt, eller påvise andre for-

hold om nedsynking og deformasjoner som etatene kan ha nytte av å vite om. Siden flere av etatene ikke bruker denne type data i sin forvaltning i dag, er det vanskelig å si konkret hvilken nytteverdi disse kartene vil ha og i hvilken grad det er behov for bedre romlig oppløsning.

Det vil være nødvendig å starte opp ulike forsknings- og utviklingsprosjekt for å studere og vurdere egnethet for andre anvendelsesområder for InSAR-metodikken. Også her vil man ha flerbruksnytte av nye resultater. *FoU-arbeid må derfor prioriteres knyttet til satellittbasert kartlegging av nedsynking og deformasjoner med ulik romlig oppløsning. Slike studier kan også demonstrere hvordan de ulike etatene kan nyttiggjøre seg og nyte godt av flerbruksnytte for InSAR-kart med ulik romlig oppløsning.*

Det kan være aktuelt for etatene å få utført egne analyser ved behov, for eksempel ved bruk av PSI-algoritmen framfor SBAS-algoritmen, eller nye opptak med veldig høy romlig oppløsning over spesielt interessante områder. Videre må man prøve ut InSAR til å demonstrere nedsynking i urbane områder og over tunneler. Det vil være forskningsmessig nyttig å studere InSAR-metodikkens sin detaljeringsgrad når det gjelder å vise nedsynking av vei, jernbane broer og telehiv. Det vil også være nødvendig å etablere et kunnskaps-senter som forvaltningen kan støtte seg til når de skal bearbeide og anvende dataene.

*Norsk deltagelse i EUs Copernicus-program er nødvendig for å få tilgang til opptak for kartlegging og overvåking av fjellområder. Videre er avtalen om Radarsat-2 data kritisk for å unngå datagap og brudd i innsamlingsseriene.*

Det er viktig å avklare det offentlige behovet for satellittdata med veldig høy romlig oppløsning (1-5 m) og en eventuell nasjonal avtale gjennom Norsk Romsenter for offentlig tilgang på slike data fra TerraSAR-X eller Cosmo-Skymed.

### 7.2 Framtidig produksjonslinje

For å kunne få til operativ bruk av InSAR er det nødvendig å forbedre dagens produksjonslinje, som ligner mer en demonstrasjonslinje enn en operativ linje.

For at bruken skal kunne utvides til flerbruk for andre områder i etatenes forvaltning, er det nødvendig å ha enkel tilgang på radar-satellittdataene som danner hele grunnlaget for analysene. Tilgangen må være mulig fra flere radarsatellitter, både fra de som brukes i dag og fra de som planlegges framover. I figur 7.1 er dette illustrert med de fire radarsatellittene Radarsat-2 og etterfølgeren Radarsat-CM; TerraSAR-X og etterfølgeren TerraSAR-X2; Cosmo-Skymed og Sentinel-1A og -1B.

Trolig vil Sentinel-1A og -1B satellittene fra 2016 bli de viktigste operative satellittene i Norge for storskalakartlegging med interferometri når det gjelder skredfare. Fram til 2016 må man primært utnytte Radarsat-2 som Norge har en offentlig avtale om tilgang på data fra.

Norge har en sentral og moderne nedlesingskapasitet gjennom KSATs infrastruktur, spesielt den på Svalbard. KSAT har vunnet kontrakt med ESA om å være den nordlige bakkestasjonen i Copernicus-programmet. Forvaltningen i Norge drar nytte av denne for tilgang på data. Det gjør at en eventuell investering i et nasjonalt bakkesegment for tilpassede nasjonale behov er marginal. Datamengdene fra dagens og framtidens satellitter er store. Det er kostnadseffektivt å ha prosessering og lagring nær der dataene leses ned. I dag er det derfor KSAT som lagrer slike data.

Det må sikres nedlesing av satellittdata for bruk. KSAT har avtaler med relevante satellitteiere om nedlesing og lagring av data for senere bruk. Det bør utarbeides en strategi for lagring av data, slik at de blir lett tilgjengelige med hensyn til standarder, behandlingsnivå og sluttprodukt (interferometrikart).

Det vil være behov for å planlegge hvilke data som skal lagres på vegne av det offentlige Norge; til hvilket behandlingsnivå de skal lagres i (rådata, behandlet fram til bilder (nivå 1B) eller til høyere ordens produkter (nivå 2)); og til hvilket format, tidsoppløsning osv. Hvordan uttak av data skal foregå, må være en del av denne planleggingen.

For å kunne lage InSAR-kart, er det som tidligere skrevet i rapporten, viktig og nødvendig at tidsseriene er konsistente og at data kommer fra sammenlignbare instrumenter og

opptaksforhold. Det er ikke mulig å bygge tidsserier fra satellitter som går i ulike baner eller måler i forskjellige frekvensbånd. *Det er viktig å sikre konsistente tidsserier gjennom innsamling av overlappende målinger fra ulike satellitter med samme geometri i opptakene og samme type instrumenter.*

Dersom det skal sikres tilgang på kommersielle satellittdata med veldig høy romlig oppløsning (1-5 m) for å overvåke ustabile fjellpartier, for eksempel Nordnes og Åknes, må man gå sammen om å få til gunstige dataavtaler som sikrer kontinuitet. I dag er en del slike data sikret ved at miljøene som overvåker områdene har fått tilgang på data via forskningskvoter eller har kjøpt data enkeltvis uten noen nasjonal avtale som grunnlag. Dersom behovet for slike data øker, *anbefales det at det tas initiativ til å få en nasjonal flerbruksavtale à la Radarsat-2-avtalen for å sikre kostnadseffektivt bruk og nytte for flere etater. Dette kan eventuelt gjøres i samarbeid med relevante private aktører.*

Metodene for kartlegging og overvåking innen de aktuelle anvendelsesområdene må utvikles og testes. Det gjelder InSAR-prosessering med både SBAS- og PSI-algoritmer. For operativ og systematisk bruk er *det nødvendig at systemet er robust og gir enhetlig prosessering på alle datasett.*

*I en framtidig produksjonslinje er lagring og spesielt tilgjengeliggjøring av prosesserte data kjerneaktiviteten. Denne aktiviteten bør foregå i tilknytning til et kunnskapssenter.*

Til slutt i produksjonskjeden kommer distribusjon til sluttbrukere for sammenstilling av interferometrisk analyserte data med egne data. Det er viktig at etatene får brukerstøtte i sitt arbeid og det foreslås å etablere et sluttbrukerforum.

I figur 7.1 er det utformet en skisse som viser de nødvendige trinn i en slik produksjonslinje. Skissen viser gangen i arbeidet fra data leses ned fra satellittene og lagres, til sluttbruker mottar prosesserte InSAR-kart.

En operasjonell produksjonslinje for InSAR-kart har andre krav enn om kartene bare brukes i et enkeltprosjekt. Disse er:

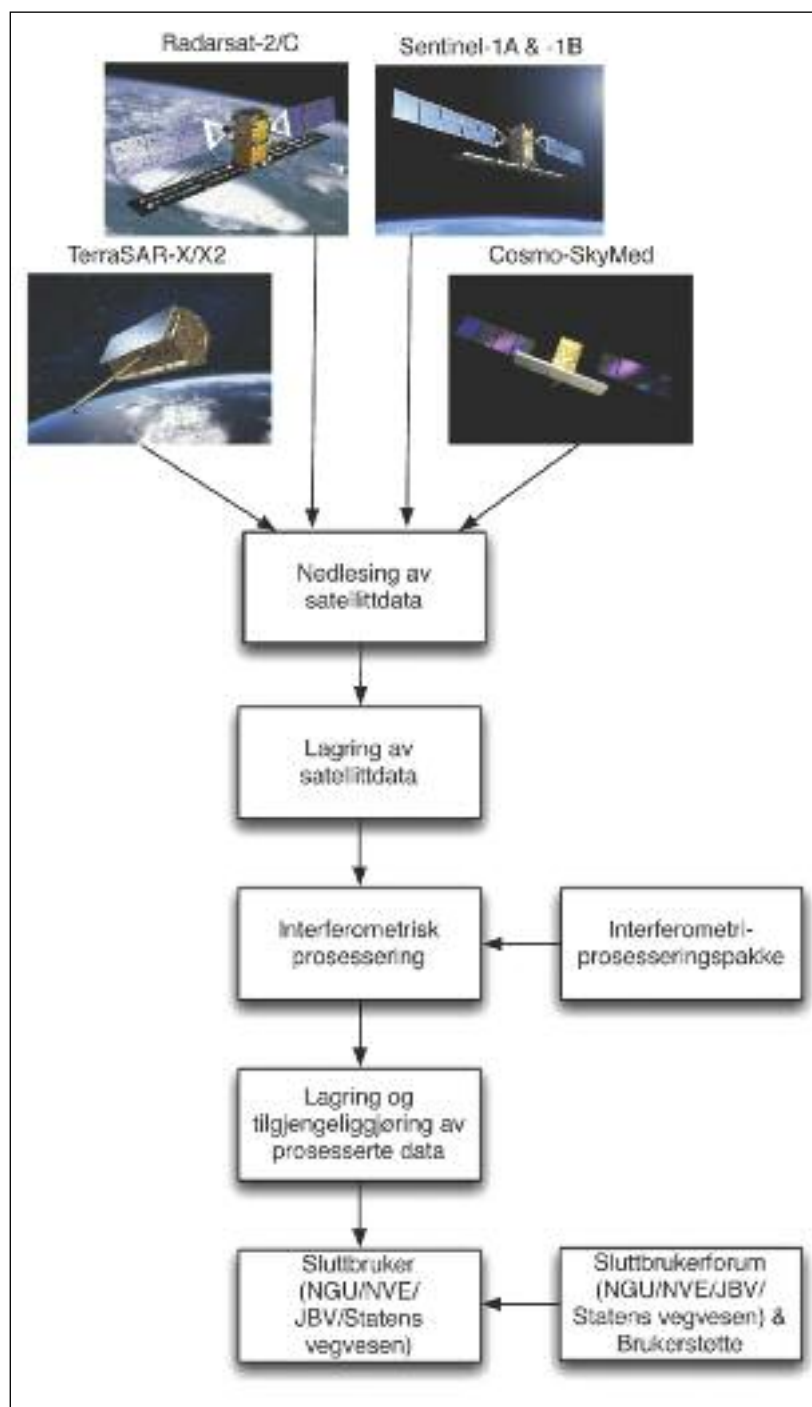


Fig 7.1 Generisk utkast av en modell av en mulig framtidig produksjonslinje. (NRS)

- analysekompetanse
- definerte standardiserte produktleveranser
- enkelt brukergrensesnitt og visualisering

For at en operativ produksjonslinje skal være robust, må alle disse elementene på plass. I tillegg vil det være nødvendig at en operativ etat har ansvaret for hele produksjonslinjen. Man kan ikke starte med tester av Sentinel-1A-data før tidligst fra høsten 2014 og derfor vil man sannsynligvis ikke kunne etablere en robust operativ produksjonslinje før i 2017.

Det prosesserte InSAR-produktet må lagres, og enkel nedlasting for brukere må sikres. Videre må InSAR-kart tilgjengeliggjøres for allmenheten. Kartene med forklaring bør ligge på et fast sted og i et fast format, slik at de er lett tilgjengelige. Det er viktig med gode metadata tilknyttet InSAR-kartene, slik at brukerne forstår hva kartet eller bildet viser og hva det kan nyttiggjøres til, samt hvilke begrensninger det har.

I tilknytning til datasettene må det også beskrives synergi/grenseoppgang med digital høydemodell og om det er målinger med bakkeradar og LIDAR i samme områder som InSAR-kartene dekker.

Vi anbefaler en oppbygging av et kunnskaps-senter for interferometri som utfører grunnleggende tjenester for andre norske offentlige brukere og etater, som for eksempel NVE, Jernbaneverket, Statens vegvesen, fylker, kommuner og allmenheten. Operasjonalisering av interferometri i Norge gjennom et slikt senter er nødvendig for at:

- flere skal kunne nyttiggjøre seg resultatene på en enkelt tilgjengelig og brukervennlig måte
- de store mengdene med radardata som blir tilgjengeliggjort over land i Norge med framtidige satellitter, som Sentinel-1-serien, effektivt skal kunne bli prosessert til InSAR-kart
- resultatene skal kunne tas i bruk raskt og effektivt på eksisterende og nye fagområder og for eksisterende og nye brukere
- spin-off potensialet skal kunne utnyttes for næringsmessig vekst og kommersiell og sosial innovasjon, basert på nye tjenester som integrerer InSAR-kart med tilleggsdata
- nasjonal kompetanse innen interferometri, som strategisk er bygget opp nasjonalt de

- andre krav til operasjonelle data enn forskningsdata
- avtaler om tilgang på satellittdata
- krav til oppetid
- krav til kvalitet og leveringssikkerhet
- klare roller i produksjonslinjen

siste 10-15 årene, skal kunne utnyttes optimalt

- etatenes behov for kompetansestøtte for å utnytte resultatene skal kunne dekkes

Det vises til underlagsdokumentet "Norsk deltaking i EUs jordobservasjonsprogram Copernicus (2014-2020)", som ble oversendt fra Norsk Romsenter til Nærings- og handelsdepartementet (nå Nærings- og fiskeridepartementet) i desember 2013. Regjeringen vil ta beslutning om norsk deltagelse i EUs Copernicus program i 2014. I NRS-rapporten ble et nasjonalt senter for interferometri omtalt og foreslått lagt til NGU.

I forhold til videreutvikling av interferometriteknologi med Sentinel-1 fram mot 2020 er følgende elementer relevante:

- Tilgangen til ekstremt lange og tett oppdaterede tidsserier vil i løpet av få år gi helt nye muligheter for forbedrede interferometri-algoritmer. Dette vil kunne åpne for nye bruksområder som kan styrke og effektivisere bruk av interferometridata i offentlig forvaltning.
- Utvikling og bruk av database over permanente spredere i Norge. InSAR-kart og absolutt posisjonering av norsk nettverk over permanente spredere må refereres til et geodetisk datum ved hjelp av, for eksempel et GPS/Galileo-referansenettverk.
- Utrede prosessering og lagring i nettsky. En slik teknologi vil tvinge fram behov for nye løsninger for prosessering, lagring, distribusjon av interferometridata og analyseresultater. Ressursbehovet på dette punktet er ukjent, men neppe ubetydelig.

For noen etater kan dataene brukes direkte fra produksjonslinjen. For andre må de bearbeides videre. Det kan være behov for å legge tilleggsdata inn i analysen og gjøre videre bearbeiding før produktene eller tjenestene er tilfredsstillende for bruk i de enkelte etatene. Disse tilleggsdataene har ofte de enkelte etatene selv og de kan velge å gjøre de siste analysene internt i egen etat eller sette oppgaven ut til et annet fagmiljø. Dette vil være opp til hver enkelt etat.

En utfordring i dag er at InSAR-kart ikke er lett tilgjengelige. Det er ofte behov for reprosessering av lagrede data etter hvert som utviklingen av algoritmer går framover. Vi vet

at ESA i dag lagrer alle satellittdata fra egne satellitter og at KSAT lagrer alle data som de leser ned. Til tross for dette oppfattes ofte satellittdata ikke å være lett tilgjengelige for operative brukere.

Ofte vil sluttbrukerne ikke ha satellittdata, men produkter og tjenester generert fra satellittdata alene, eller et analyseprodukt basert på flere kilder, for eksempel et værvarsel. Da er det viktig at det er kompetanse i etatene til å lage slike produkter/tjenester, eller at det finnes verdiøkende leverandører som kan levere dette. I dag finnes slik kunnskap kun hos enkeltpersoner i Norge.

### 7.3 Forsknings- og kompetansebehov

NVE, Statens vegvesen og Jernbaneverket samarbeider om forskning og utvikling på naturfarer gjennom et felles program, Naturfare, infrastruktur, flom og skred (NIFS). NGU er støttepartner i dette programmet. Programmet startet i 2012 og avsluttes i 2015. Temaer som er behandlet i denne rapporten grenser opp mot flere av oppgavene som utføres i Naturfare-programmet. Det vil være naturlig å se kommende FoU-oppgaver innen InSAR i sammenheng med de mulighetene programmet gir.

Det er naturlig å fokusere videre arbeid på områder hvor minst to etater har signalisert behov og antatt nytteverdi. I tillegg bør man prioritere felt hvor modenhetsgraden er vurdert å ha kommet lengst (grønne felt i figur 2.4 og 2.5). Det bør prioriteres å prøve ut og demonstrere setninger i urbane områder og over tunneler. Videre vil det være forskningsmessig nyttig å se på om InSAR-metodikken kan vise bevegelser i broer og setninger i vei og jernbane på en tilfredsstillende måte.

For å øke bruken av InSAR i etatene, er det viktig å starte FoU-prosjekter for å demonstrere nytten av slike data. Prosjektene bør gjennomføres for områder hvor etatene allerede har gode data. Da kan den enkelte etat selv gjøre tester og sammenligninger mellom InSAR-kart og egne data.

I dag er det få institusjoner i Norge som har tung faglig kompetanse til å kunne anvende satellittinterferometri til kartlegging og overvåking. Norut Tromsø har gjennom mange år

bygget opp spisskompetanse og utviklet de algoritmene som nå brukes i Norge. Noen få miljøer, deriblant NGU, bruker disse algoritmene til å kverne gjennom datasett og kvalitetssikre resultatene, blant annet ved feltarbeid.

Det nasjonale kunnskapssenteret som eventuelt skal etableres, må støtte seg til kompetansen som er utviklet ved forskningsinstituttet Norut i Tromsø. Det vil fortsatt være behov for nasjonalt utviklingsmiljø som ligger i forskningsfronten innen dette fagfeltet. Overføring av kompetanse og brukerstøtte er essensiell, sammen med tilgang på software og visualiseringsverktøy.

Videre er det behov for å videreutvikle kompetansen ved Norut Tromsø og NGU for at de skal kunne forbedre prosesseringen. For at denne kompetansen ikke skal være så sårbar med hensyn til enkeltpersoner som den er i dag, trengs både styrking av kjernemiljøene og en utvidelse av kompetansen til flere miljøer. Bestillerkompetanse mangler i de fleste etatene og også her trengs både en bevisstgjøring og en kompetanseheving. Denne rapporten kan forhåpentligvis bidra til å bevisstgjøre og synliggjøre mulighetene disse nye metodene kan ha for kartlegging og overvåking av fjellskred og etter hvert også nedsynking av infrastruktur.

Samarbeid og samhandling mellom etatene vil være nødvendig, slik at de hver for seg kan dra nytte av nye FoU-resultater. Data som er innsamlet over et område kan for eksempel være verdifulle både for Statens vegvesen og Jernbaneverket for analyser av deres vei- og banenett, infrastruktur og stabilitet i sideterrang. For NVE kan man tenke seg andre oppgaver utover kartlegging og overvåking av fjellskred.

Radardata fra satellitt er for de fleste norske etater en ny type data og det vil kreve kompetanseheving og nye måter å arbeide på for å kunne dra nytte av disse. Det samme gjelder InSAR-kart. Produkter og data som dette fører ofte til nye måter å kartlegge og overvåke på. Det vil derfor være behov for tilpassninger i den enkelte etat for å nyttiggjøre seg InSAR-kart og kombinere disse med egne data.

Gjennom samarbeid mellom forskere og operativt ansvarlige personer i etatene, må bedre bestillerkompetanse utvikles, slik at etatene etter hvert vet hva som er mulig å etterspørre både med hensyn til datatilgang, metodikk, produkter og tjenester. Krav til produkter og tjenester vil kunne være noe ulikt i de forskjellige etatene. Vi tror det her er viktig å lære av hverandre og at etatene har et godt samarbeid seg imellom.

# Ordliste

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ASAR</b>             | Advanced Synthetic Aperture Radar, bildedannende radar på Envisat.                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Copernicus</b>       | Europas globale jordobservasjonssystem. For mer detaljer, se delkapittel 4.2.                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Cosmo-SkyMed</b>     | Italiensk radarsatellittkonstellasjon bestående av fire satellitter skutt opp i 2007/2008.                                                                                                                                                                                                |
| <b>DTM</b>              | Digital høydemodell                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>ENVISAT</b>          | Europeisk miljøsatellitt (ESA), virksom mellom 2002 og 2012. Hadde mange instrumenter, deriblant et radarinstrument.                                                                                                                                                                      |
| <b>ERS</b>              | Europeiske jordobservasjonssatellitter (ESA), virksomme i 1991-2000 (ERS-1) og 1995-2011 (ERS-2)                                                                                                                                                                                          |
| <b>ESA</b>              | European Space Agency, den europeiske romfartsorganisasjonen                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>EU</b>               | Den europeiske union                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>EUMETSAT</b>         | European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites, den europeiske organisasjonen for meteorologisatellitter                                                                                                                                                         |
| <b>FoU</b>              | Forskning og Utvikling                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>GALILEO</b>          | Globalt satellittnavigasjonssystem under etablering av EU og ESA.                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>GLONASS</b>          | Russisk satellittnavigasjonssystem med global dekning.                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>GMES</b>             | Global Monitoring for Environment and Security (den gamle betegnelsen til Copernicus)                                                                                                                                                                                                     |
| <b>GPS</b>              | Global Positioning System, amerikansk satellittnavigasjonssystem                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>InSAR</b>            | Interferometric Synthetic Aperture Radar, bruk av SAR-data for å få fram bevegelser i vertikalretningen. For mer detaljer, se delkapittel 3.2 og 3.3.                                                                                                                                     |
| <b>IWS</b>              | Interferometric Wide Swath, et av opptaksmodusene til Sentinel-1. Vil bli brukt over landområdene i Europa, inkludert Norge.                                                                                                                                                              |
| <b>JBV</b>              | Jernbaneverket. For mer detaljer, se delkapittel 6.3.                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>KSAT</b>             | Kongsberg Satellite Services AS, kommersielt norsk selskap. For mer detaljer, se "Nedlesing av data" i delkapittel 4.3.                                                                                                                                                                   |
| <b>LIDAR</b>            | Light Detection And Ranging, optisk fjernmålingsteknikk som brukes til hurtig måling av fysiske objekters posisjon.                                                                                                                                                                       |
| <b>MDA</b>              | MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd., Canada                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>NASA</b>             | National Aeronautics and Space Administration, amerikansk føderal etat med ansvar for USAs sivile romprogram.                                                                                                                                                                             |
| <b>NGI</b>              | Norges Geotekniske Institutt. For mer detaljer, se delkapittel 5.1.                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>NGU</b>              | Norges geologiske undersøkelse. For mer detaljer, se delkapittel 6.1.                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Norut</b>            | Nordnorsk forskningskonsern majoritetseid av Universitetet i Tromsø.                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>NOAA</b>             | National Oceanic and Atmospheric Administration, amerikansk etat som studerer og varsler været, forholdene i havet og atmosfæren, sender ut advarsler om uvær og ekstremvær, og gir råd i miljøspørsmål.                                                                                  |
| <b>NRS</b>              | Norsk Romsenter, etat under Nærings- og Fiskeridepartementet, opprettet i 1987 da Norge ble med i ESA.                                                                                                                                                                                    |
| <b>NSC</b>              | Norwegian Space Centre, den engelske betegnelsen på Norsk Romsenter.                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>NVE</b>              | Norges vassdrags- og energidirektorat. For mer detaljer, se delkapittel 6.2.                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Oslo S</b>           | Oslo Sentralstasjon, Norges mest trafikkerte jernbanestasjon                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>POLIMI</b>           | Politecnico di Milano, italiensk teknisk universitet i Milano                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>PSI</b>              | Persistent Scatterer Interferometry, InSAR-algoritme. For mer detaljer, se delkapittel 3.3.                                                                                                                                                                                               |
| <b>Radarsat</b>         | Kanadiske radarsatellitter, virksomme mellom 1995 og 2013 (Radarsat-1) og virksom siden 2007 (Radarsat-2).                                                                                                                                                                                |
| <b>Radarsatellitter</b> | Satellitter som utfører elektronisk rekognosering ved registrering av radarfrekvenser, i dag ofte fellesbetegnelse på satellitter utstyrt med SAR.                                                                                                                                        |
| <b>SAR</b>              | Synthetic Aperture Radar, bildedannende radar. For mer detaljer, se delkapittel 3.1.                                                                                                                                                                                                      |
| <b>SBAS</b>             | Small BASeline Subset, InSAR-algoritme. For mer detaljer, se delkapittel 3.3.                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Sentinel</b>         | Satellitter i det europeiske Copernicus programmet. Programmet består av seks serier satellitter, hvorav Sentinel-1A og -1B er de første i denne serien.                                                                                                                                  |
| <b>SLC</b>              | Single Look Complex, betegnelse på et av prosesseringsnivåene for produkter som leveres fra radarsatellitter. SLC-dataprodukter egner seg for interferometrisk prosessering.                                                                                                              |
| <b>TanDEM-X</b>         | TerraSAR-X' tvillingsatellitt, skutt opp i 2009. Også betegnelse på formasjonen som disse to satellittene utgjør med en typisk distanse på mellom 250 og 500 meter. Den unike tvillingsatellittkonstellasjonen vil muliggjøre en sømløs, global, digital høydemodell fra slutten av 2014. |
| <b>TerraSAR-X</b>       | Tysk radarsatellitt, skutt opp i 2007                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>TRE</b>              | Tele-Rilevamento Europa, et spin-off selskap fra POLIMI, grunnlagt i 2000. Leverer InSAR-overvåkingstjenester av nedsynking.                                                                                                                                                              |
| <b>UNIS</b>             | Universitetssenteret på Svalbard                                                                                                                                                                                                                                                          |





**Norsk Romsenter**  
NORWEGIAN SPACE CENTRE

Postboks 113 Skøyen  
0212 Oslo  
Telefon: 22 51 18 00  
Telefax: 22 51 18 01  
[www.romsenter.no](http://www.romsenter.no)

ISBN 978-82-7542-105-8

NRS-rapport(2014)2

Oslo, mars 2014

Layout: Pål Nordberg, Grafisk Design  
Trykk: Kraft Digitalprint AS

