



Norsk Romsenter

Nasjonalt veikart for ROSE-L

oslo**economics**

NORCE

**Tittel:** Veikart for forberedelse og bruk av ROSE-L

**Utarbeidet av:** Oslo Economics og NORCE

**Oppdragsgiver:** Norsk Romsenter

# Innhold

|                                               |           |
|-----------------------------------------------|-----------|
| <b>Sammendrag</b>                             | <b>4</b>  |
| <b>Summary</b>                                | <b>6</b>  |
| <b>1. Bakgrunn og metode</b>                  | <b>8</b>  |
| 1.1 Bakgrunn                                  | 8         |
| 1.2 Mandat                                    | 8         |
| 1.3 Metode                                    | 8         |
| <b>2. Om SAR, ROSE-L og NISAR</b>             | <b>9</b>  |
| 2.1 Syntetisk apertur radar                   | 9         |
| 2.2 ROSE-L                                    | 10        |
| 2.3 NISAR                                     | 14        |
| 2.4 Sammenligning av ROSE-L og NISAR          | 17        |
| <b>3. L-bånd SAR-satellitter</b>              | <b>19</b> |
| 3.1 Tilgang til L-bånd SAR                    | 19        |
| 3.2 JERS (1992–1998)                          | 19        |
| 3.3 ALOS-1 (2006–2011)                        | 19        |
| 3.4 ALOS-2 (2014–)                            | 19        |
| 3.5 ALOS-4 (2024–)                            | 20        |
| 3.6 SAOCOM-1A og -1B (2018–)                  | 21        |
| 3.7 Land Surveyor 1-01 A og B                 | 21        |
| 3.8 Tandem-L                                  | 21        |
| 3.9 Nye konsepter                             | 22        |
| <b>4. Faktisk og mulig bruk av L-bånd SAR</b> | <b>23</b> |
| 4.1 Om bruk av L-bånd                         | 23        |
| 4.2 InSAR                                     | 23        |
| 4.3 Snøfuktighet                              | 26        |
| 4.4 Snøskred                                  | 26        |
| 4.5 Sjøis                                     | 27        |
| 4.6 Oseanografi                               | 28        |
| 4.7 Jordfuktighet og flom                     | 28        |
| 4.8 Skog                                      | 29        |
| 4.9 Landbruk                                  | 30        |
| 4.10 Deteksjon på havet                       | 30        |
| 4.11 Panelprosessering                        | 31        |
| <b>5. Nasjonale utviklingsbehov</b>           | <b>32</b> |
| 5.1 Ulike anvendelser, ulike behov            | 32        |
| 5.2 Fra rådata til anvendbart produkt         | 32        |

|                                                       |           |
|-------------------------------------------------------|-----------|
| 5.3 Mulige utviklingsaktiviteter/tiltak               | 34        |
| <b>6. Rammeverk for prioritering av tiltak</b>        | <b>37</b> |
| 6.1 Kriterier for prioritering                        | 37        |
| 6.2 Rammeverk for prioritering av FoU-tiltak          | 37        |
| 6.3 Rammeverk for prioritering av infrastrukturtiltak | 38        |
| <b>7. Veien videre</b>                                | <b>40</b> |
| 7.1 Prioriterte tiltak                                | 40        |
| 7.2 Utlys midler til forskning                        | 40        |
| 7.3 Tilgjengeliggjør data                             | 42        |
| 7.4 Følg med på bruk av nytte av fellestjenester      | 42        |
| 7.5 Støtt deltakelse i internasjonale fora            | 42        |
| 7.6 Arranger møteplasser                              | 42        |
| 7.7 Fremdriftsplan                                    | 42        |
| <b>8. Referanser</b>                                  | <b>44</b> |

# Sammendrag

Norge har stor nytte av informasjon fra satellitter generelt, og radarsatellitter spesielt. Bruk av informasjon fra radarsatellitten Sentinel-1 inngår i dag i overvåkning av blant annet skips-trafikk, oljesøl, geofarer og sjøis. Sentinel-1 satellitten er del av Copernicus-programmet, og gjør opptak i C-bånd. Gjennom Copernicus-programmet skal det nå lanseres en ny serie radarsatellitter som gjør opptak i L-bånd. Satellittserien er kalt ROSE-L, og den første satellitten skytes opp i 2029. Gjennom Norges deltakelse i Copernicus-programmet vil norske brukere få prioritert tilgang til data fra ROSE-L. For å forberede norsk forvaltning, forskningsmiljøer og næringsliv til å ta dataene i bruk har Oslo Economics og NORCE utarbeidet et nasjonalt veikart for nyttegjøring av ROSE-L.

Arbeidet med veikartet har avdekket at mye er fortsatt usikkert rundt hvordan ROSE-L vil operere, hvordan EU vil tilgjengeliggjøre data og hvordan ROSE-L best kan komme til nytte for ulike typer anvendelser. Med dette som bakteppe anbefaler veikartet at Norsk Romsenter iverksetter en kombinasjon av tiltak de kommende årene, inkludert utlysning av midler til forskning, tilgjengeliggjøring av data fra eksisterende L-bånd-satellitter, evaluering av bruk og nytte av etablerte fellestjenester for Sentinel-1, støtte til deltakelse fra norske aktører i internasjonale fora, og tilrettelegging av møteplasser for diskusjoner om bruk av L-bånd-data.

## ROSE-L har en rekke mulige bruksområder

Når ROSE-L kommer i bruk vil den komplementere Copernicus med en ny radarfrekvens, med andre egenskaper enn dagens Sentinel-1. ROSE-L vil ha et fast opptaksmønster, og etter planen gå i en bane som sammen med Sentinel-1 maksimerer dekningsgrad. De lange systematiske tidsseriene som ROSE-L genererer muliggjør avanserte målinger av naturen, og hvilke endringer som skjer. Det antas at ROSE-L vil komme til nytte innfor områder som gjør bruk av InSAR, kartlegging av ulike forhold ved sjøis, snø, jordfuktighet, deteksjon av oljesøl, skip og isfjell med mer.

I dag er det primært satellitten ALOS-2 som gir tilgang til L-bånd SAR, men i 2025 skal etter planen satellitten NISAR skytes opp. NISAR er en amerikansk-indisk forskningssatellitt med en L-bånd-sensor som ligner ROSE-L. NISAR er derfor viktig som en forløper for å lære mest mulig om betydningen av den nye sensoren.

## Nyttegjøring av ROSE-L fordrer tiltak for tilrettelegging

Fra rådataene til en SAR-satellitt som ROSE-L leses ned og til dataene kan bidra med innsikt må de gjennom flere steg. Dataene må leses ned, prosesseres og klargjøres for bruk, og på hvert av disse stegene kreves både arbeidskraft og datakraft. For Norsk Romsenter er det et spørsmål hvilke tiltak de skal iverksette for best å støtte opp under forberedelse til bruk og nytte av ROSE-L. Vi finner at mulige tiltak kan grupperes i to kategorier: forskning- og utviklingstiltak og infrastrukturtiltak.

FoU-tiltak inkluderer tilgjengeliggjøring av L-bånd SAR-data, støtte til utviklingsaktiviteter og tilrettelegging av møteplasser for aktører med interesse for L-bånd SAR-data. Infrastrukturtiltak inkluderer etablering av rask prosessering og nedlesning, tilgjengeliggjøring av ferdigprosesserte SAR-bilder og/eller en «on-demand»-prosesser, samt lagring av SAR-data.

## Det kreves et rammeverk for å kunne vurdere ulike tiltak opp mot hverandre

Norsk Romsenter bør, som offentlig instans, prioritere tiltak som gir størst nytte per krone investert, og til dette formålet har vi utviklet et rammeverk for prioritering av henholdsvis FoU-tiltak og infrastrukturtiltak. For prioritering av FoU-tiltak forslår vi en prosess bestående av tre steg. Ulike anvendelser rangeres først etter hvilken tilleggsverdi ROSE-L antas å gi. Neste steg er å vurdere om rangeringen endres av anvendelsens antatte samfunnsverdi. Til slutt gjøres det en vurdering av kostnadene ved ulike utviklingsløp. Alt annet likt vil det være bedre å gi støtte til mindre kostbare utviklingsløp.

For prioritering av infrastrukturtiltak forslås en metode som ligner mer på en tradisjonell samfunnsøkonomisk analyse. Første steg er å etablere *nullalternativet*, det vil si hva som skjer i fravær av tiltak. Dette avhenger i stor grad av hva EU gjør og kan forventes å gjøre. Neste steg er å vurdere nytten med utgangspunkt i hvor mange som vil ta infrastrukturen i bruk, samt kostnadene.

### En kombinasjon av tiltak anbefales i perioden frem til oppskyting av ROSE-L

Mye er fortsatt usikkert rundt hvordan ROSE-L vil operere, hvordan EU vil tilgjengeliggjøre data og hvordan ROSE-L best kan komme til nytte for ulike typer anvendelser. Med dette som bakteppe, og med mål om størst mulig nytte av ROSE-L, anbefaler vi at Norsk Romsenter iverksetter følgende tiltak de kommende årene:

- Utlys midler til forskning og utvikling på konkrete anvendelser av dataene
- Tilgjengeliggjør data fra L-bånd-satellitter og følg med på bruk av disse dataene for å bedre forstå tilleggsverdien av dem
- Følg med på bruk og nytte av fellestjenestene til Sentinel-1
- Støtt deltakelse av norske forskere/bedrifter i internasjonale fora i regi av EU/ESA
- Lag møteplasser for diskusjoner om bruk/nytte av L-bånd-data

Når det gjelder utlysningen av midler til FoU kan dette gjøres på flere måter. Norsk Romsenter kan gi støtte til forhåndsdefinerte aktiviteter eller la det være opp til aktuelle støttemottakere å beskrive hva de mener det er nyttig å forske på. I begge tilfeller kan rammeverket for prioritering av FoU-tiltak tjene som rettesnor.

### Utrekning av L-bånd brukt til InSAR og kartlegging av sjøis virker mest nyttig

I utgangspunktet er det aktørene selv som best kan beskrive nytten deres utviklingsløp vil tilføre samfunnet. Ved å utlyse midler og la aktørene konkurrere om dem vil Romsenteret få innsikt i de faktiske og mulige nyttegevinstene av at gitte anvendelser støttes, trolig i større grad og mer effektivt enn ved bruk av andre tilnærminger.

For å illustrere hvordan rammeverket kan benyttes har vi likevel foretatt en vurdering av antatt mulige anvendelser av ROSE-L. Basert på en samlet vurdering av tilleggsverdi, samfunnsverdi og kostnader er det vår vurdering at første prioritert bør være et utviklingsløp som ser på bruk av InSAR, med hovedvekt på nedsynking i landskapet. Andre prioritet bør være et utviklingsløp som fokuserer på bruk av informasjon fra ROSE-L på sjøis, med hovedvekt på sjøisens posisjon og bevegelse. Resultatene kan så brukes som utgangspunkt for vurderinger av nye utviklingsløp.

# Summary

*Norway greatly benefits from satellite data in general and radar satellites in particular. Data from the Sentinel-1 radar satellite is currently used to monitor ship traffic, oil spills, geohazards, and sea ice. Sentinel-1 is part of the Copernicus program and operates using C-band radar. Through the Copernicus program, a new series of radar satellites using L-band radar, called ROSE-L, will be launched. The first ROSE-L satellite is scheduled for 2029. As a participant in the Copernicus program, Norway will have prioritized access to ROSE-L data. To prepare Norwegian authorities, research institutions, and businesses to utilize this data, Oslo Economics and NORCE have developed a national roadmap for ROSE-L.*

*The roadmap highlights significant uncertainties about how ROSE-L will operate, how the EU will provide access to its data, and how ROSE-L can be best utilized for various applications. Based on these findings, the roadmap recommends that the Norwegian Space Agency implement a combination of actions in the coming years, including funding research, providing access to data from existing L-band satellites, evaluating the use and benefits of established Sentinel-1 services, supporting Norwegian participation in international forums, and facilitating discussions on L-band data usage.*

## Potential applications of ROSE-L

When operational, ROSE-L will complement the Copernicus program with a new radar frequency, offering capabilities different from those of Sentinel-1. ROSE-L will have a fixed acquisition pattern and is planned to orbit in coordination with Sentinel-1 to maximize coverage. The long, systematic time series generated by ROSE-L will enable advanced measurements of environmental conditions and changes. It is expected to be useful in areas such as InSAR applications, sea ice analysis, snow mapping, soil moisture monitoring, detection of oil spills, and identifying ships and icebergs.

Currently, ALOS-2 is the primary satellite providing L-band SAR data, but the NISAR satellite, planned for launch in 2025, will serve as a precursor to ROSE-L. NISAR, a joint U.S.-Indian research satellite, has an L-band sensor similar to ROSE-L and is therefore crucial for understanding the potential of the new technology.

## Enabling ROSE-L utilization

From the point at which raw data from a SAR satellite like ROSE-L is downloaded until it can be used to generate insights, several steps must be completed. The data needs to be downloaded, processed, and prepared for use, with each step requiring both labor and computational resources. For the Norwegian Space Agency, the key question is which measures should be implemented to best support the preparation for utilizing ROSE-L. These measures can be grouped into two categories: research and development (R&D) initiatives and infrastructure measures.

R&D initiatives include ensuring access to L-band SAR data, supporting development activities, and creating forums for stakeholders interested in L-band SAR data. Infrastructure measures include establishing rapid data processing and downloading capabilities, providing pre-processed SAR images and/or on-demand processing, and ensuring proper data storage.

## A framework for evaluating measures

The Norwegian Space Agency, as a public institution, should prioritize measures that provide the greatest benefit for a given cost. To this end, a framework has been developed for prioritizing both R&D initiatives and infrastructure measures. For R&D initiatives, the framework suggests a three-step process. Applications are ranked based on the added value ROSE-L is expected to provide. This is followed by an assessment of whether societal value alters the ranking. Finally, the costs of different development paths are evaluated, prioritizing less costly initiatives, all other things being equal.



For infrastructure measures, the framework proposes a method resembling a traditional cost-benefit analysis. First, the baseline scenario is defined, describing what happens in the absence of measures, which largely depends on EU actions and expectations. Then, the benefits are assessed based on expected user adoption and associated costs.

### A combination of measures is recommended before ROSE-L launch

There is still significant uncertainty about how ROSE-L will operate, how the EU will provide access to its data, and how ROSE-L can best serve various applications. Against this backdrop, and with the goal of maximizing ROSE-L's benefits, several measures are recommended for the Norwegian Space Agency in the coming years. These include:

- Announce funding for R&D on specific applications of the data
- Provide access to data from L-band satellites and monitoring its use to better understand its added value
- Monitor the use and benefits of shared services for Sentinel-1
- Support the participation of Norwegian researchers and businesses in international forums led by the EU/ESA
- Organize forums for discussing the use and benefits of L-band data

The process for R&D funding can follow various models. The Norwegian Space Agency can fund predefined activities or allow recipients to propose research topics they find most beneficial. In either case, the framework for prioritizing R&D initiatives can serve as a guide.

### L-band applications in InSAR and sea ice mapping appear to be the most beneficial

In principle, stakeholders are best positioned to describe the societal benefits their development paths can provide. By announcing funding and letting stakeholders compete, the Space Agency can gain better insights into the actual and potential benefits of supporting specific applications, likely more effectively than through other approaches.

To illustrate how the framework can be applied, a preliminary evaluation of potential ROSE-L applications was conducted. Based on a combined assessment of added value, societal impact, and costs, a development path focused on InSAR for monitoring land subsidence should be the top priority. A development path focusing on sea ice mapping, with an emphasis on ice position and movement, should be the second priority. These results can serve as a basis for further evaluations of new development paths.



# 1. Bakgrunn og metode

## 1.1 Bakgrunn

Norge har stor nytte av informasjon fra satellitter, og anvender en kombinasjon av virkemidler for å dekke nasjonale brukerbehov. Et viktig virkemiddel er deltakelsen i Copernicus-programmet. Copernicus er et operasjonelt europeisk program for jordobservasjon ledet av EU i samarbeid med ESA (European Space Agency). Programmet gir operasjonell og kontinuerlig overvåkning av jordas miljø og klima ved hjelp av satellitter. Copernicus dataene er gratis og åpne for alle.

Den sentrale komponenten i Copernicus-programmet er Sentinel-satellittene, som er designet for ulike former for observasjon. I programmet er en ny satellittserie med L-bånd syntetisk apertur-radar (SAR) under utvikling, kalt Radar Observing System for Europe in L-band (ROSE-L). SAR-teknologien gjør det mulig å observere overflaten dag og natt, uavhengig av værforhold som skyer og nedbør. Dette er spesielt nyttig i norske områder med mye skyer og mørketid, og norske aktører er store brukere av Copernicus' eksisterende SAR-satellitt, Sentinel-1.

Sentinel-1 gjør opptak i C-bånd, og EU/ESA har hatt operative C-bånd SAR-instrumenter på satellitter siden starten av 90-tallet. Disse har i økende grad blitt brukt til ulike overvåkningsformål på hav og land, men har også visse begrensninger rundt hva som kan observeres, blant annet på grunn av bølgelengden. ROSE-L, og andre kommende L-bånd satellitter har lengre bølgelengde, og vil med det både supplere og komplettere nytten av Sentinel-1. Lengre bølgelengder betyr generelt dypere penetrasjon i jordoverflate og spesielt i vegetasjon.

Den første ROSE-L satellitten skal etter planen skytes opp i 2029, mens NASA vil skyte opp satellitten NISAR i 2025. Også denne har en L-bånd SAR, og sammen med andre L-bånd-satellitter som ALOS-4 vil den kunne gi norske jordobservasjonsmiljø nyttige erfaringer som kan brukes når ROSE-L kommer opp.

## 1.2 Mandat

Norsk Romsenter (NRS) skal sikre en effektiv utnyttelse av verdensrommet til det beste for det

norske samfunn, og til dette formål forvalter de blant annet midler til nasjonal oppfølging av Copernicus. Med dette som bakteppe har NRS bestilt et nasjonalt veikart for nyttegjøring av L-bånd SAR-data generelt, og ROSE-L spesielt. Veikartet skal vise hvordan NRS' kan bidra til å gjøre norsk forvaltning, forskningsmiljøer og næringsliv klare til å implementere dataene i tjenester og overvåkingsprogrammer preoperasjonelt i perioden 2024-2029 med NISAR og operasjonelt med ROSE-L fra 2029.

## 1.3 Metode

Informasjonsgrunnlaget for vurderingene i veikartet er en kombinasjon av litteraturstudier og intervjuer. Litteraturlisten er gjengitt i vedlegg, mens følgende aktører har blitt intervjuet:

- EdInsight
- Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI)
- Kartverket
- Kongsberg Satellite Services (KSAT)
- Meteorologisk institutt (MET)
- Miljødirektoratet
- Nansensenteret (NERSC)
- Norges Geoteknisk Institutt (NGI)
- Norges geologiske undersøkelse (NGU)
- Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO)
- NORCE Norwegian Research Centre
- Norsk Regnesentral
- Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)
- Universitetet i Oslo (UiO)
- Universitetet i Tromsø (UiT)
- Universitetssenteret på Svalbard (UNIS)

Aktørene på intervjuisten har i tillegg fått anledning til å delta på to runder med innspillmøter, et møte før sommeren 2024 for å diskutere mulige anvendelsesområder, og et møte i november for å diskutere veikartets vurderinger og anbefalinger.

Utover dette har det gjennom arbeidet med veikartet blitt arrangert tre arbeidsmøter med NRS, hvor de har fått muligheter til å gi innspill til ulike deler av veikartet.

## 2. Om SAR, ROSE-L og NISAR

*ROSE-L er del av en utvidelse av Copernicus-programmet og vil, med sine to satellitter, forbedre Europas overvåkningskapasitet. Sammen med Sentinel-1 muliggjør ROSE-L daglige opptak over Norge. I tillegg vil NASA og ISROs NISAR-satellitt, planlagt for oppskytning i 2025, bidra med global overvåking gjennom avansert L- og S-bånd radarteologi. Sammen vil NISAR og ROSE-L støtte utviklingen av L-bånd SAR-tjenester både til forskning og operasjonelle formål.*

### 2.1 Syntetisk apertur radar

Syntetisk apertur radar (SAR) er en avbildende radar. Denne typen instrument gir radarbilder av jordoverflaten på en måte som ligner vanlige optiske satellittinstrumenter, men som samtidig skiller seg fra disse på vesentlige måter. For det første er SAR-instrumentet en aktiv sensor som sender ut en radarbølge og måler tilbakespredt signal. Instrumentet er dermed uavhengig av vær og sollys. Videre brukes helt andre bølgelengder (3–24 cm) sammenlignet med synlig lys (400–800 nm),

og bildene fra SAR-instrumenter har dermed helt andre egenskaper enn «normale» optiske bilder.

SAR bruker ulike bølgelengder for å avbilde jordens overflate, og hver bølgelengde har spesifikke egenskaper som gjør dem egnet for forskjellige typer observasjoner og miljøer. Tabell 2-1 gir en oversikt over de vanligste bølgelengdene og deres fordeler og ulemper.

Bølgelengden bestemmer SAR-radarens oppløsning, dybdepenetrering og sensitivitet til atmosfæriske forstyrrelser, noe som gjør hver bølgelengde egnet for spesifikke anvendelser. Per i dag finnes det bare satellitter med L-, C- og X-bånd SAR.

#### 2.1.1 Sentrale SAR-begrep

Gjennom veikartet brukes ulike begrep som få utenfor fjernmålingsmiljøet er kjent med. I det videre gis en nærmere beskrivelse av de mest sentrale.

#### Interferometrisk SAR (InSAR)

InSAR er en avansert teknikk innen fjernmåling som utnytter informasjon fra radarsatellitter tatt ved ulike tidspunkter for å måle små endringer/bevegelser i jordoverflaten. Dette oppnås ved å analysere fase-endring (eller endring i gangtid fram og tilbake mellom satellitt og bakke) mellom to satellittpasseringer. InSAR er spesielt nyttig for å overvåke deformasjoner i jordoverflaten, for

Tabell 2-1: Ulike bølgelengder for SAR

| Bånd | Bølgelengde (cm) | Fordeler                                                                                                  | Ulemper                                                                                          |
|------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P    | 70               | Penetrerer tykk vegetasjon, isbreer og jord; nyttig for kartlegging av geologiske strukturer og biomasse. | Lav oppløsning; sensitiv for ionosfærisk støy.                                                   |
| L    | 24               | Trenger gjennom vegetasjon; nyttig for jordfuktighetsmålinger og skogovervåking.                          | Lavere oppløsning; noe sensitiv for ionosfærisk støy.                                            |
| S    | 10               | Mer følsom for detaljer på overflaten; gir detaljert informasjon om overflatestruktur.                    | Mindre effektivt til å trenge gjennom vegetasjon, snø og jord; påvirket av atmosfæriske forhold. |
| C    | 5                | God til å observere detaljert overflatestruktur; brukt i jordbruksovervåking og ismålinger.               | Begrenset penetrasjon gjennom vegetasjon; påvirket av regn og atmosfæriske forhold.              |
| X    | 3                | Høy oppløsning; ideell for by overvåking og detaljert kartlegging av geologiske prosesser.                | Dårlig penetrering i vegetasjon og jord; påvirkes av værforhold.                                 |
| Ku   | 1.5              | Høy oppløsning; følsomhet for snø.                                                                        | Påvirket av atmosfæriske forhold; liten penetreringsevne.                                        |
| Ka   | 0.8              | Ekstremt høy oppløsning, KaRiNSAR altimeter.                                                              | Svært påvirket av atmosfæriske forhold; ingen penetreringsevne.                                  |

eksempel setning av bygninger, endringer i landformer eller deformasjoner forårsaket av geologiske prosesser som jordskjelv eller vulkansk aktivitet. Har man to satellitter samtidig i en tandem formasjon, kan InSAR teknikken brukes for å måle absolutte høyder i terrenget for å lage en høydemodell av overflaten.

## Koherens

Koherens refererer til graden av likhet (eller korrelasjon) mellom to radarbilder tatt av samme område på forskjellig tidspunkt. Koherens kan brukes til å analysere endringer i området som observeres, og er spesielt viktig for applikasjoner som InSAR, der små bevegelser på jordoverflaten oppdages ved å sammenligne faseforskjeller mellom bildene.

Høy koherens betyr at bildene er svært like og signalet fra hvert punkt er stabilt over tid, noe som indikerer at det ikke har vært noen signifikante endringer i området (for eksempel på fast fjell eller i stabile byområder).

Lav koherens betyr at det er stor forskjell mellom bildene. Dette kan skyldes en rekke faktorer som større bevegelser enn SAR bølgelengden, vegetasjon, kraftig snøfall, eller at området har vært utsatt for endringer som flom, jordras, eller jordskjelv.

## Radar backscatter

«Radar backscatter» (eller tilbakespredning) er et mål på hvor mye energi som reflekteres tilbake til satellitten fra bakken. På radarfrekvenser avhenger backscatter sterkt med innfallsvinkel, overflatens ruhet og spredningstype (overflate fra for eksempel havbølger eller volumspredning for eksempel fra snøkrystaller). I tillegg vil bakkens egenskaper, som jordfuktighet, påvirke signalet. Tilbakespredningen vil variere med bølgelengden på radaren, slik at det å ha satellitter med forskjellige bølgelengder kan gi komplementær informasjon om det vi måler på.

## Polarisasjon

Polarisasjon viser til den relative retningen til radarbølgene i forhold til senderantenna. Radarbølger kan sendes vertikalt (V) eller horisontalt (H) og mottas vertikalt/horisontalt. Ved å bytte mellom ulike polarisasjoner kan SAR-instrumentet framheve ulike egenskaper med objektet man studerer. Man snakker generelt om ko-polarisasjon hvis den mottatte polarisasjon er den samme som den sendte, dvs. VV eller HH, og kryss-polarisasjon hvis man mottar ortogonalt til den sendte polarisasjon, dvs. VH eller HV. Ko-polarisasjon måler da hovedsakelig overflate

spredning og kryss-polarisasjon volumspredning fra f.eks. penetrasjon i vegetasjon.

## 2.2 ROSE-L

Copernicus' romkomponent (Copernicus Space Component, CSC) har seks serier med såkalte Sentinel-satellitter, som sikrer kontinuitet i satellittdatadekning frem til 2026-2028 (første generasjon). Programmet vil bli videreført med oppgraderte versjoner av de eksisterende satellittene fra 2028 (Sentinel Next Generation).

Programmet Copernicus Sentinel Expansion Missions inkluderer de nye satellittene som EU-kommisjonen har identifisert som prioriterte de kommende årene. Blant de nye satellitter som noen for tiden fremdeles er i designfasen, vil Copernicus L-bånd SAR støtte europeiske politiske mål ved å fylle sentrale observasjonshull i den nåværende Copernicus satellittkonstellasjonen. Satellitten har fått navnet ROSE-L (Radar Observing System for Europe in L-band). Det er planlagt to liknende ROSE-L satellitter.

Formålet med de to ROSE-L-satellittene er å forbedre overvåkingen av geofarer som flom, skred og jordskjelv, gi nøyaktige data om skogtilstand, avskoging, skogbruk og biologisk mangfold, overvåke snø og isforhold i arktiske områder, gi høyoppløselige jordfuktighetsdata med mer. ROSE-L vil også sammen med Sentinel-1 gi økt kontinuitet og bedre datatilgang for ulike operasjonelle tjenester som i dag er basert bare på Sentinel-1 satellittene, inkludert de framtidige Sentinel-1 C og D og neste generasjon av Sentinel-1 satellittene (Sentinel-1 NG).

Som near-real time (NRT)-operasjoner nevnes spesielt deteksjon av skip, oljesøl og isfjell. For disse operasjonene ønskes datatilgang kort tid etter opptak, det vil si mindre enn 10 minutter for skips- og oljesøldeteksjon og mindre enn 30 minutter for isfjelldeteksjon. Dette betyr at det trengs direkte downlink for europeiske og arktiske kystområder.

Det er også ønsket at det blir mindre enn 1 time mellom opptak og tilgjengelige data for tjenester om geofarer som tektoniske bevegelser, vulkan, jordskred og jordskjelv.

L-bånd SAR gir tilleggsinformasjon som ikke kan samles inn på andre måter. Da L-bånd SAR trenger dypere gjennom vegetasjon og til en viss grad ned i bakken, kan man få bedre informasjon blant annet ved større vegetasjonstetthet i skog, dypere snø og is eller høyere fuktighetsinnhold i bakken. Dette inkluderer også informasjon om bevegelser på

bakken i vegeterte områder, høyoppløselig jordfuktighetsinformasjon i vegeterte områder, data for vegetasjonens biomasse og forbedrede kart over vegetasjonstyper.

Brukt sammen med C-bånd vil L-bånds lengre bølgelengde også gi tilleggsinformasjon når man utnytter multifrekvensdatasett, for eksempel for havisobservasjoner.

Som et element i Copernicus vil ROSE-L derfor støtte den generelle kontinuiteten til Copernicus-observasjonene, for eksempel ved å forbedre nøyaktigheten, produktkvaliteten og den tidsmessige og romlige oppløsningen av innsamlede data sammenlignet med dagens tjeneste.

### 2.2.1 Status og oppskytning

ROSE-L satellitten blir bygd av Thales Alenia, og radaren bygges av Airbus Defence and Space. Alle kontrakter med underleverandører har blitt signert.

Oppskytingen er planlagt til 2029. Raketten som er planlagt brukt er VEGA-C. ROSE-L vil fly sol-synkront i 693 kilometers høyde over jorda.

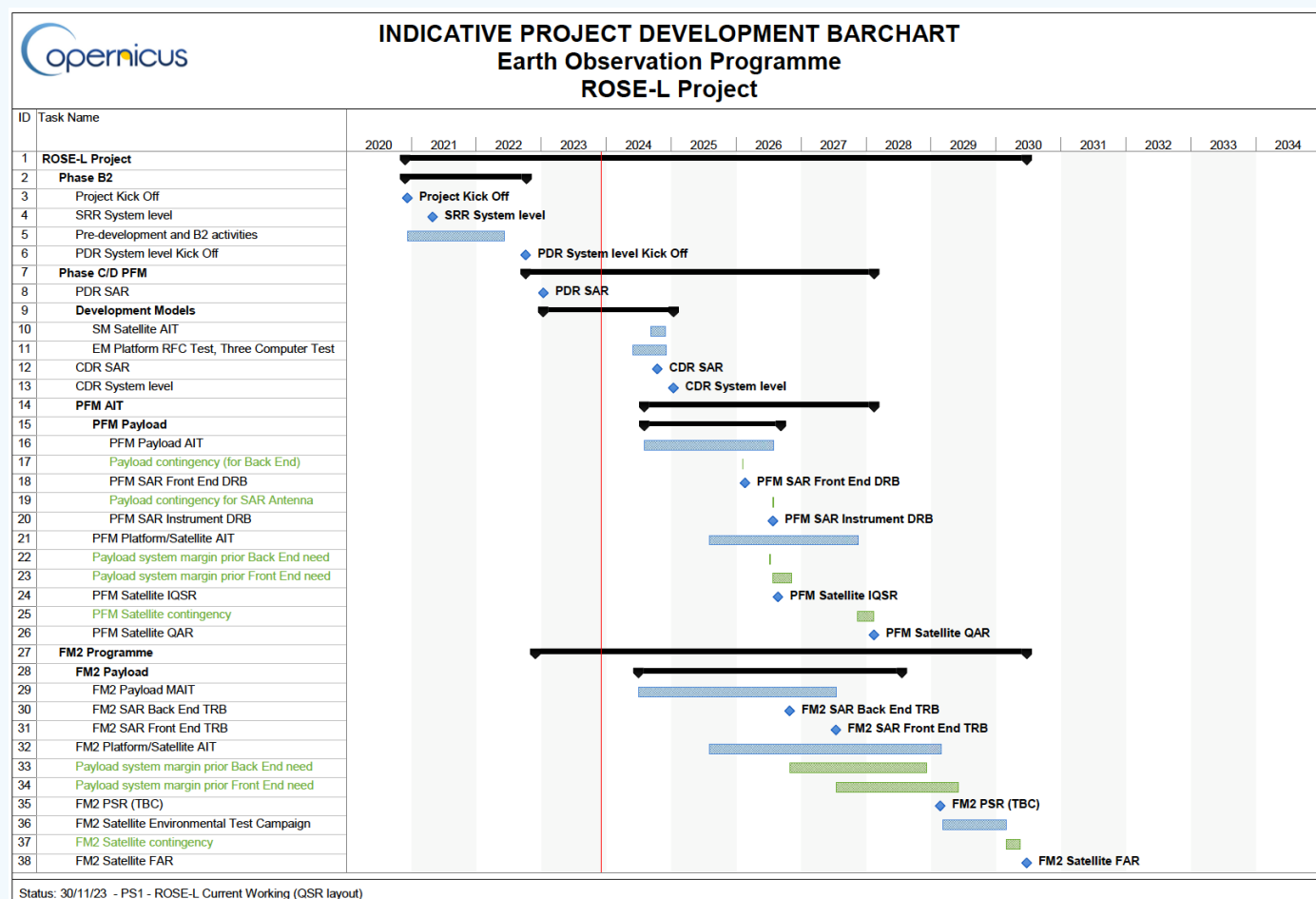
ROSE-L er planlagt som et 2-satellittsprogram. Den andre ROSE-L-satellitten er planlagt oppskutt cirka 18 måneder etter den første. Livstid for satellittene er planlagt å være minst 7,5 år. Status i ROSE-L-utviklingen er skissert i Figur 2-1.

### 2.2.2 Dekning og datatilgjengelighet

De to ROSE-L-satellittene vil følge samme satellittbane som Sentinel-1, og opptakene blir i samme innfallsvinkel (25° – 46°) og med samme dekning som Sentinel-1 satellittene. Dette vil si at ROSE-L vil fly i en 12-dagers syklus og opptakene vil ha en sporbredde på bakken på ca. 260 kilometer.

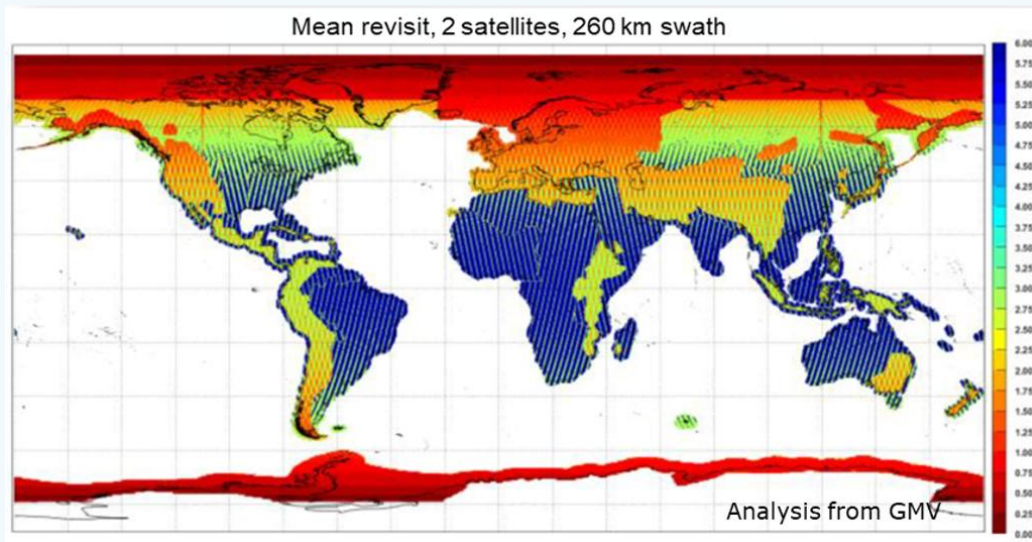
ROSE-L vil operere SAR-instrument i omtrent 43 prosent av hver omløpsbane, med hovedvekt på dual-pol interferometric wide swath moden.

Figur 2-1: Utviklingsstatus på ROSE-L-prosjektet per desember 2023



**Merk:** I henhold til siste oppdatering fra ESA kan en forvente en forsinkelse på minst ett år, noe som betyr oppskytning av første ROSE-L-satellitt i 2029, heller enn 2028 som først planlagt.

Figur 2-2: Dekningskart per 12 dager med ROSE-L-satellitter i IWS-mode



Kilde: ESA (2023)

Det forventes at ROSE-L vil følge tilnærmet samme høynivå operasjonsplan (HLOP) som Sentinel-1 satellittene, dvs. at ROSE-L vil alltid være på over Europa, Arktis, kysten rundt Antarktis og over globale tektoniske regioner. Det vil si at satellittene tar opptak på nord- og sørgående baner. Resten av jorda blir observert minst hver 12. dag eller hver 6. dag hvis begge satellittene brukes. Over åpent hav utredes en bølgemode som tilsvarende på Sentinel-1.

Per i dag er det ikke bestemt hvilken tidsavstand ROSE-L vil fly i forhold til Sentinel-1. Det finnes to alternativer:

1. ROSE-L flyr eksakt midt mellom de to Sentinel-1-satellittene, det vil si med en 3-dagers avstand til Sentinel-1 eller 6 dager mellom begge ROSE-L-satellittene; eller
2. En av ROSE-L-satellittene flyr tilnærmet synkront (tandem) med en av Sentinel-1 og den andre i 6 dagers avstand til den første.

Alternativ 1 halverer den operasjonelle gjentakelsestiden i sammenlignet med når bare en av satellittsystemene brukes. Alternativ 2 gir mulighet til samtidige observasjoner med både L- og C-bånd som kan åpne for nye muligheter for overvåkning av objekter som endres raskt, for eksempel sjøis, oljesøl eller båttrafikk.

Signaler vi har fått fra ESA tyder på at alternativ 1 sannsynligvis vil bli valgt for å få høyest temporal oppløsning ved å bruke Sentinel-1 og ROSE-L sammen, men det er ikke endelig bestemt

Figur 2-2 viser den globale dekningen med to ROSE-L- og to Sentinel-1-satellitter i IWS (interferometric wide-swath) mode.

Datatilgjengeligheten vil være gratis og åpen for alle.

Figur 2-3 viser dekningskart med kombinert bruk av 2 Sentinel-1 og 2 Rose-L satellitter i alternativ 1.

ESA planlegger å tilgjengeliggjøre data og produkter fra nivå 0 til nivå 2 og ønsker at også SAR-prosessoren blir «open source» (tilgjengelig som programvare for alle), slik at brukere selv kan produsere nivå 1-produkter etter eget ønske. Nivå 1-produktene kommer til å være de vanlige «single-look complex» (SLC) og «ground range detected» (GRD)-produkter. I tillegg ønsker ESA også å levere analyseferdige data (ARD) som brukere flest kan anvende uten egen pre-prosessering. ARD-produktene skal defineres i et eget prosjekt «ROSE-L Analysis Ready Data Working Group» som startet opp høsten 2024. ARD-produktene blir da normalized radar backscatter (NRB) som blir geokodet og korrigert for innfallsvinkel og terreng og muligens ferdige radar interferogrammer.

### 2.2.3 Instrument

ROSE-L-radaren vil være en L-bånd-radar med en aktivt fasestyrt antenne. Den allokerte frekvensen er 1.215-1.300 GHz, det vil si en båndbredde på 85 MHz. Den aktive fasestyrte antennen vil ha en total makseffekt på 9 kW med høy sensitivitet, oppdelt i 5 x 12 (60) fasesenter, hver på 150 W.

Den digitale antennestyringsteknologien bruker disse 5 panelene for å sikre høy oppløsning. Hvert panel har 12 undergrupper inndelt i 4 (vertikale) og 4 (horisontale) digitale kanaler. Dette er den største planantennen som er bygget for en satellitt og den måler 11 m x 3,6 m.



## 2.2.4 Instrumentmodi

Det er planlagt at SAR-instrumentet skal kunne gjøre opptak i tre forskjellige modi. Hovedmodusen blir «interferometric wide swath» (IWS) i dual-polarisasjon. ROSE-L kommer også med mulighet for full (quad-)polarisasjon, men med mindre opptakstid for hvert omløp, og muligheter for en bølgemode over hav.

Sporbredden på IWS-opptak blir cirka 260 km. Oppløsning på single-look blir bedre enn 50 m<sup>2</sup> (5 m x 10 m) i dual-polarisasjon og mindre enn 100 m<sup>2</sup> i quad-pol. Sensibilitet på instrumentet (NESZ, «signal to noise») blir bedre enn -28 dB og en DTAR («Distributed Targeted Ambiguity Ratio») på -23 dB.

Noen alternative modi blir også studert av ESA, men den eneste som er fremdeles sett som mulig er en extra wide swath (EWS)-modus. Den har lavere oppløsning (20 m x 40 m) og er ment hovedsakelig til overvåking av sjøis og kan også anvendes til deteksjon av oljesøl og skip. Den er tilsvarende EWS-modusen fra Sentinel-1 med en sporbredde på 414 km.

Verdiene til de tre opptaksmodiene vises i Figur 2-3.

## 2.2.5 ESAs forskningsplan

ESA har etablert en forskningsplan (Scientific Support Plan) i forkant av oppskytingen. Dette både for å forberede kommisjoneringsfasen og for å maksimere den vitenskapelige og operasjonelle bruken av ROSE-L i Copernicus tjenestene (ESA, 2022; Iannini & Davidson, 2023).

Kommisjoneringsfasen er perioden fra oppskytning til satellittprodukter blir allment tilgjengelige og der kvaliteten på dataene tilpasses og sjekkes grundig.

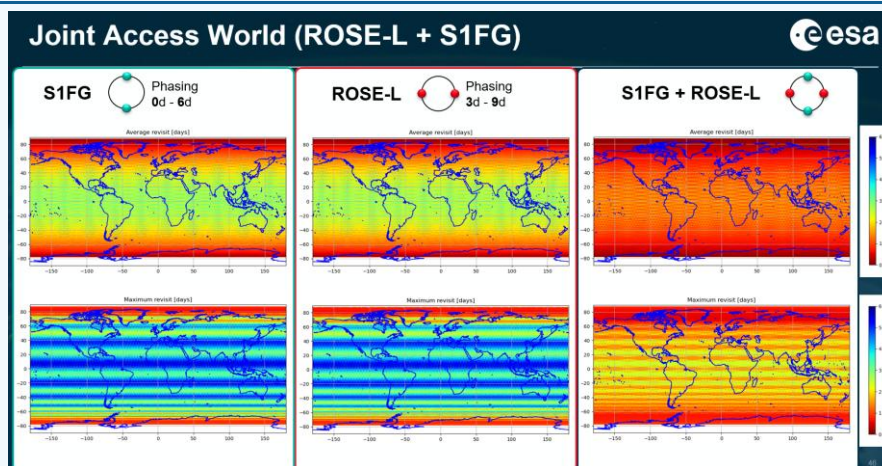
Informasjon er basert på ESAs presentasjon av ROSE-L på NOSA-møtet på Norsk Romsenter i mai 2023, samt nettmøte med Malcolm Davidson, ESA den 27 mai 2024.

ROSE-L har 5 hovedmål:

1. Utfylle informasjonsmangler i overvåkingen av geofarer ved å utvide bakkebevegelsesinformasjon til vegeterte områder og forbedre flomkartlegging i vegeterte områder (skog).
2. Forbedret overvåking av arealbruk, skogbruk og jordbruk, med forbedret kartlegging basert på L-bånd SAR sin høye følsomhet for vegetasjonens tilstand og egenskaper
3. Høyoppløselig overvåking av jordfuktighet for de fleste vegeterte landtyper og gjennom vekstsesongen
4. Forbedret overvåking av Arktis og kryosfæren gjennom forbedret kartlegging av sjøis, isfjelldeteksjon, utvidet overvåking av isbreer og iskapper, samt håndtering av informasjonsmangler i snøens vanninnhold (SWE)
5. Forbedret maritim overvåking gjennom komplementær og hyppigere informasjon samt forbedret informasjon om sjøtilstand, overflatevind og sjøgang.

Hvert av disse punktene er omfattende dokumentert i ROSE-L «Mission Requirements Document» (MRD) (ESA, 2018). Der finnes oppdatert status på ulike forskningsresultater og utviklingsprosjekter som studerer hvordan man

Figur 2-3: Dekningskart per 12 dager av to Sentinel-1 (venstre panel), to ROSE-L (midten) og med kombinert bruk av to Sentinel-1 og to ROSE-L-satellitter i IWS-mode (høyre panel). Analysert av GMV.



Kilde: ESA (2023)

Tabell 2-2: Oversikt over de tre sikre SAR-modene til ROSE-L

|                          | Dual-pol (nominell) | Quad-pol                          | Wave mode (single-pol)                 |
|--------------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|
| Access                   | 29° -46°            | 1 «fixed swath» innenfor 25° -46° | Variabel                               |
| Swath/dekning            | 260 km              | 260 km                            | 20x20 km (separation of center 100 km) |
| Oppløsning (single look) | 50 m2               | 100 m2                            | 50 m2                                  |
| DTAR                     | < -23 dB            | < -23 dB                          | < -23 dB                               |
| PTAR                     | < -25 dB            | < -25 dB                          | < -25 dB                               |
| NESZ                     | < -28 dB            | < -28 dB                          | < -28 dB                               |

Kilde: Davidson et al. (2023)

forventer at L-bånd kan komplementere C-bånd for de ulike målene.

Forskningsplanen skal:

- Verifisere nøkkelkravene i forhold til instrumentet, oppdraget og data-prosesseringen
- Verifisere og dokumentere ytelsen av prosessoren til nivå 1 og -2 produktene gjennom en vurdering av produktnøyaktigheter og opprettholde sporbarhet til brukerkravene
- Forberede og støtte instrumentutvikling og kalibrering/Validering-aktiviteter under kommisjoneringsfasen
- Definere et grunnlag for et operasjonelt, velfungerende bakkesegment
- Støtte forberedelse og engasjement til brukere og tjenesteleverandører

De første to ESA-aktivitetene i forskningsplanen har blitt annonsert og startet opp i 2023.

Dette gjelder AfriSAR-2 utført av DLR. Denne ble gjennomført sammen med en cal-val-studie for BIOMASS-satellitten og skulle studere L- og P-bånd (70 cm bølgelengde) sine polarimetriske og interferometriske signaturer i tropisk regnskog. AfriSAR-2 fant sted fra mai til juli 2023 i Gabon. Den andre studien fokuserte på korrigeringer av ionosfærens påvirkning på L-bånd SAR-signal. Studien ble utlyst i november 2023, tildelt i februar 2024 og skal ferdigstilles i slutten av 2025. Det er også planlagt andre forskningsaktiviteter i 2024/2025 som er i forberedelsesfasen.

En annen forskningsaktivitet som vil bli utlyst er knyttet til havanvendelser.

ROSE-L-studien på havanvendelser vil sette søkelys på å studere geofysisk modellfunksjon og SAR bølgespekter fra L-bånd, en første vurdering av ROSE-L for høyere ordens havprodukter og tjenester, samt støtte og anbefale design av en bølgemode.

I tillegg til ESAs aktiviteter er det også aktiviteter i Norge på ROSE-L som har startet eller i ferd med å starte opp:

- Norsk Post-74 prosjekt på NORCE og Kartverket for å håndtere ionosfæriske forstyrrelser basert på databaserte metoder og ved bruk av ekstern informasjon fra Kartverkets GNSS-målestasjoner.
- NVE og NORCE planlegger å starte opp aktivitet med måling av SWE når NISAR-data blir tilgjengelige fra og med vinteren 2025/2026. Dette vil delvis kunne finansieres gjennom et Post 74-prosjektet.
- NGU og NORCE planlegger også å studere NISAR data i forbindelse med InSAR Norge.
- HIRLOMAP er et ESA-finansiert prosjekt på UiT som ser på mulighetene for bruk av L-bånd SAR i operasjonelle produkter innen arktiske tillempinger.

### 2.3 NISAR

NISAR (NASA-ISRO Synthetic Aperture Radar) er et samarbeidsprosjekt mellom NASA og den indiske romforskningsorganisasjonen (ISRO) for å lansere en radarsatellitt. Målet med NISAR er å levere omfattende og detaljerte data om jordens overflate, som bidrar til en rekke vitenskapelige og praktiske formål. Disse inkluderer overvåking av klimaendringer, jordskjelv, vulkaner og landskapsendringer samt bedre forståelse av økosystemene på jorden.

NISAR vil benytte både L- og S-bånd (3.2 GHz) radarteknologi for å oppnå høyoppløselige observasjoner av jordens overflate. Dette vil gjøre det mulig å studere og forstå jordens endringer med større nøyaktighet og detaljnivå enn tidligere. Blant annet vil NISAR bidra til å forbedre kartleggingen av landarealer, skogbruk, landbruksområder og vannressurser, samt å overvåke kritiske miljøendringer og naturkatastrofer.

I tillegg til sin vitenskapelige betydning, forventes NISAR å ha stor innvirkning på samfunnsmessige



utfordringer. Den vil gi verdifull informasjon til myndigheter og organisasjoner for bedre håndtering av naturkatastrofer, forvaltning av naturressurser og klimaovervåking. NISAR vil også spille en viktig rolle i å støtte bærekraftig utvikling og miljøbevaring globalt.

### 2.3.1 Status og oppskyting

NISAR-satellitten vil bli skutt opp fra Satish Dhawan Space Centre SHAR, Sriharikota på sørøstkysten av den indiske halvøya, med ISROs GSLV (Geosynchronous Satellite Launch Vehicle) bærerakett. Forventet oppskyting er februar 2025.

NASA bidrar med L-bånd-radaren, den store radarreflektorantennen og den utfoldbare bommen som holder den, mens ISRO bidrar med S-bånd-

radaren og sørger for oppskyting og tilhørende tjenester.

Kommisjoneringsfasen vil vare i 90 dager etter oppskytingen. Fasen inkluderer kontroll av alle systemene, oppstart av radarene og uavhengig testing av dem, og deretter felles tester med begge radarene i drift. Vitenskapelige operasjoner begynner ved slutten av kommisjoneringsfasen og varer i tre år. Omfattende kalibrering og validering (CalVal) vil finne sted gjennom de første 5 månedene, med årlige oppdateringer av 1 måneds varighet.

### 2.3.2 Dekning og datatilgjengelighet

NISAR må oppfylle en rekke vitenskapelige krav satt av NASA og ISRO. Disse kravene inkluderer global dekning av land med biomasse, sjøis ved begge polene og isbreer, samt hyppig overvåking av landområder som endrer seg raskt (jordskjelvområder, vulkansk aktivitet, skredutsatte områder osv.).

NISARs L-bånd- og S-bånd-instrumenter muliggjør mange forskjellige moduser for radarobservasjon. NISARs vitenskapelige team har identifisert hvilken modus som fungerer best for hver type ønsket observasjon av land- og isområder over hele kloden.

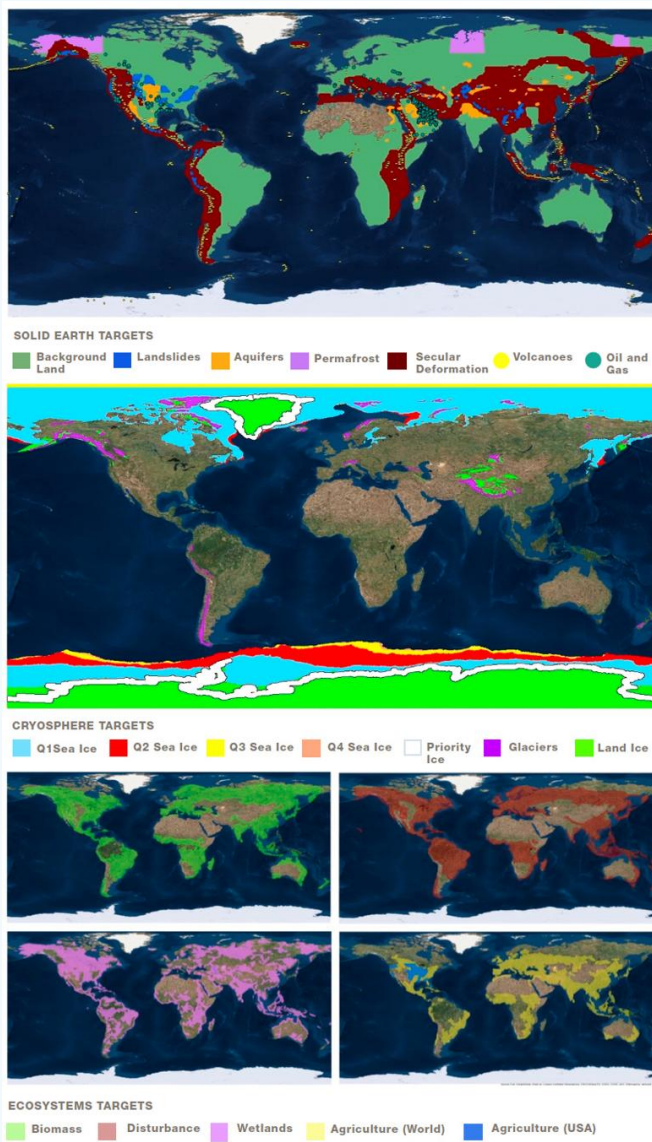
På grunn av de ambisiøse vitenskapelige målene til NISAR og det brede utvalget av radarmodi som kan brukes over et gitt område, er det lagt ned et stort arbeid for å optimalisere observasjonsplanen for å unngå for mange interessekonflikter. NISARs vitenskapsteam har definert et sett med geografiske vitenskapelige mål og observasjons-radarmoduser innenfor hoved-disiplinene «faste jords fysikk», kryosfæren og økosystemer, og deretter tildelt spesifikke radarmodus til ulike jordområder.

India har planlagt spesifikke radarmoduser for å oppfylle ISROs vitenskapelige krav til satellitten. Det meste av verdens landmasser vil bli observert i "background land"-modus (lysegrønn i Figur 2-4) bortsett fra Nord-Amerika, som vil bli observert i større detalj.

Ettersom NISAR kun vil observere venstrevendt—en endring i observasjonstaktikk siden de tidlige planleggingsstadiene—vil man måtte bruke data fra den internasjonale konstellasjonen av SAR-satellitter som Sentinelene for å supplere dekningen rundt den arktiske polen. Kun den helt sørligste delen av Svalbard vil f.eks. bli dekket med data fra NISAR.

Figur 2-5 på neste side viser en forenklet tidligere versjon av dekning av både L- og S-bånd SAR av

Figur 2-4: Oversikt over planlagt observasjonsstrategi for NISAR for ulike anvendelser



Kilde: NASA

NISAR hvor begge blir tatt opp simultant. Denne blir ytterligere oppdatert før oppskyting. L-bånd-data blir tatt opp over hele verden kontinuerlig. S-bånd, derimot, har spesielle fokusregioner og da for det meste samtidig som L-bånd SAR.

Alle NISARs vitenskapelige data, både for L- og S-bånd, vil være fritt tilgjengelige og åpne for offentligheten, i tråd med NASAs politikk for åpen data innen jordvitenskap. Den åpne datapolitikken gjør satellitten spesielt interessant for å forberede oss for ROSE-L.

### 2.3.3 Instrument

NISAR vil inneholde to SAR-instrumenter, ett L- og ett S-bånd, som hver vil ha unike tekniske spesifikasjoner og egenskaper. L-bånd SAR-systemet, med en frekvens på 1.25 GHz, vil ha en lengre bølgelengde som tillater det å trenge gjennom tett vegetasjon og delvis inn i jordens overflate.

S-bånd SAR-systemet opererer med en frekvens på 3.2 GHz, noe som gir kortere bølgelengde og tillater høyere oppløsning i bildene som genereres. Teknisk sett vil dette instrumentet kreve en annen type antennekonfigurasjon for å optimalisere mottak av S-bånd-signaler. Begge radarantennene gir en koherent avbildning, som er nøkkelen til å generere høykvalitets SAR-bilder.

For å oppnå dette vil NISAR-instrumentene benytte seg av sofistikerte teknikker for strålestyring og pulsmodulering, som vil tillate radarstrålen å bli rettet og fokusert nøyaktig på bestemte områder av jordens overflate.

Radarene vil også være utstyrt med et flerkanalssystem som tillater mottak i ulike polarisasjoner. Dette vil forbedre evnen til å skille mellom ulike typer overflateegenskaper.

For å håndtere det store volumet av data som genereres av SAR-instrumentene, vil NISAR ha et avansert datalagringssystem om bord i tillegg til kommunikasjonssystemer for å overføre data til bakkestasjoner. Disse systemene er kritiske for å sikre at de innsamlede radarbildene kan lagres, behandles og tilgjengeliggjøres på en effektiv måte.

Begge SAR-instrumentene har en sporbredde på 242 km. NISAR vil operere i en solsynkron bane med høyde på 747 km og 98.4° inklinaison. Omløpstiden vil være 100 minutter og repetisjonstiden vil være 12 dager.

### 2.3.4 Instrumentmodus

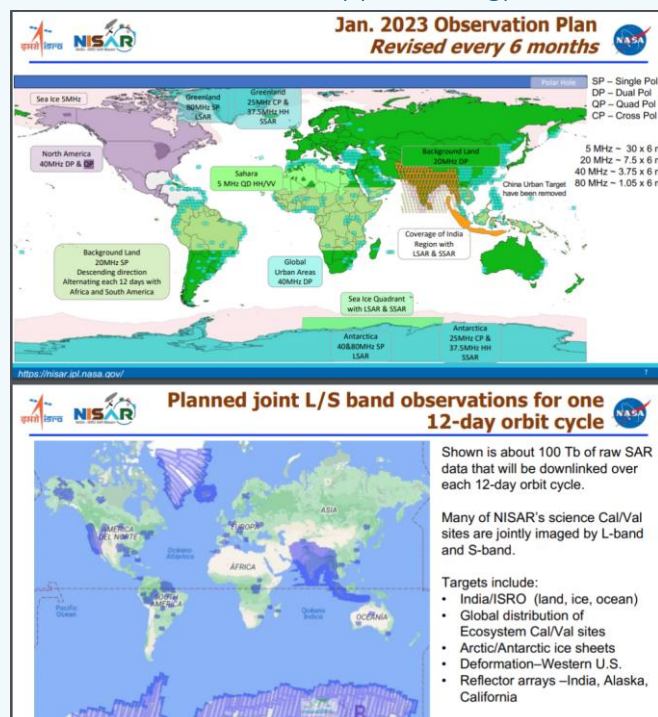
NISAR-satellitten vil ha en rekke driftsmoduser for SAR-instrumentene. Disse modusene er avgjørende for å kunne tilpasse datainnsamlingen til spesifikke vitenskapelige mål og for å maksimere anvendeligheten av de innsamlede radarbildene. Driftsmodusene vil variere i både oppløsning og dekningsbredde, med noen modi som fokuserer på å gi detaljert informasjon over smalere områder, mens andre vil fange bredere områder med litt lavere oppløsning.

NISAR benytter SweepSAR-metoden, en avansert teknikk innenfor SAR-teknologi som gjør det mulig å både øke dekningsområdet og forbedre oppløsningen av radarbilder. Dette oppnås ved å "sveipe" eller skanne radarstrålen raskt over et stort område mens satellitten beveger seg i banen. Ved å kombinere denne skanneteknikken med en SARs evne til å generere høyoppløselige bilder, kan SweepSAR gi høyt detaljnivå over store områder.

NISAR vil også inkludere polarimetriske modi som representerer en viktig funksjon av SAR-instrumentene. Polarimetri handler om å analysere måten radarbølgene vekselvirker med forskjellige overflater basert på utsendt og mottatt polarisering.

Polariseringsmønstrene til de reflekterte signalene kan gi innsikt i overflateegenskaper, struktur og materialegenskaper. NISAR vil utnytte denne teknologien ved å samle inn data i forskjellige polarisasjoner, som horisontal og vertikal (HH, HV,

Figur 2-5: Observasjonsplan NISAR, status per januar 2023 (nederste panel viser hvor L- og S-bånd SAR-data blir tatt opp samtidig)



VH, VV), for å gi en mer detaljert forståelse av de observerte områdene.

Denne informasjonen er viktig for en rekke anvendelser, fra klassifisering av vegetasjonstyper og biomasseestimering til overvåking av våtmarksområder og vannkvalitet. De polarimetriske modi gir forskerne mulighet til å utføre mer avanserte analyser og trekke ut mer nyansert informasjon fra SAR-dataene.

### 2.3.5 Forskningsplan

NISAR vil være NASAs første radarsatellitt som systematisk og globalt studerer jordens faste overflate, ismasser og økosystemer. NISAR vil måle ismasse og endringer i jordoverflaten og forstyrrelser i økosystemer og biomasse, bidra til å belyse underliggende prosesser og forbedre grunnleggende vitenskapelig forståelse. Målingene vil forbedre prognoser og vurderinger av endringer i økosystemer, isbreers respons og naturfarer. NASA støtter også bruk av NISAR-data til et bredt spekter av anvendelser, inkludert global katastroferespons.

I tillegg til NASAs opprinnelige mål har ISRO identifisert en rekke anvendelser som er spesielt relevante for India, som satellitten vil adressere. Dette inkluderer overvåking av landbruksbiomasse over India, overvåking og vurdering av naturkatastrofer som India responderer på, studier av snø og isbreer i Himalaya, og studier av Indias kyst og nærliggende havområder.

Forventede vitenskapelige resultater gjennom satellittens levetid inkluderer:

- Detaljert oversikt over bevegelser langs tektoniske plategrenser som krysser land, identifisering av områder med økende stress, samt dokumentasjon av signaturer fra flere hundre jordskjelv som vil øke kunnskapen om forkastningssystemer
- Detaljert oversikt over globale vulkaner, deres aktivitetstilstand og tilknyttede risikoer

- Omfattende biomasseestimeringer i områder der dynamikken er størst, samt globale vurderinger av forstyrrelser, landbruksendringer og våtmarks dynamikk, som informerer karbonfluksmodeller på de mest kritiske romlige og tidsmessige skalaene
- Komplette hastighetsmåling av Grønlands og Antarktis' isbreer, hver måned gjennom satellittens levetid, som er en nøkkelparameter for isbremodeller
- Regelmessig overvåking av verdens mest dynamiske isbreer som ligger i høyfjellet
- Omfattende kartlegging av bevegelser og deformasjoner i sjøis, som forbedrer forståelsen vår av samspillet mellom hav og atmosfære ved polene

## 2.4 Sammenligning av ROSE-L og NISAR

NISAR og ROSE-L vil i utgangspunktet bli to SAR-systemer med ganske like egenskaper. Tabell 2-3 gir en sammenligning av nøkkelparametere for de to instrumentene. For norske områder vil en viktig forskjell være at NISAR kun dekker områder opp til 77.5° N (sørlige Spitsbergen) og begrenser derfor noe område norske miljøer interesserer seg for. En annen viktig forskjell er at ROSE-L er en operativ satellitt som vil ha et fast opptaksmønster med to satellitter, mens NISAR i utgangspunktet er en forskningssatellitt med mange ulike formål. Dette vil gjøre at ROSE-L når den er fult operativ vil ha hyppigere dekning, i snitt hver dag i Nord-Norge og annenhver dag i Sør-Norge.

Det at de to satellittene er så like og at NISAR også har en fri og åpen datapolitikk vil gi forskerne og brukerne en unik mulighet til å forberede L-bånd produkter og tjenester fram til oppskytingen av ROSE-L (Iannini & Davidson, 2023).

Tabell 2-3: Sammenligning av ROSE-L og NISAR

| Parameter         | NISAR                           |                             | ROSE-L               |
|-------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Bølgelengde       | 24 cm (L-bånd)<br>9 cm (S-bånd) |                             | 24 cm                |
| Banehøyde         | 747 km                          |                             | 693 km               |
| Repetisjonssyklus | 12 dager                        |                             | 6/12 dager           |
| Retning av radar  | Venstre                         |                             | Høyre                |
| Oppløsning        | 3-10 m                          |                             | 10 m                 |
| Polarisasjoner    | HH/HV, VV/VH, quad-pol          | VV/VH eller HH/HV, quad-pol | (HH,HV, VV,VH)       |
| Dekning           | 84° S-78°N                      |                             | 78°S-84°N            |
| Sporbredde        | 240 km                          |                             | 260 km               |
| Planlagt levetid  | 3 år                            |                             | 7,5 år per satellitt |
| Oppskytning       | 2025                            |                             | 2029                 |
| Datatilgang       | Åpen                            |                             | Åpen                 |

### 3. L-bånd SAR-satellitter

Operasjonelt har tradisjonelt C-bånd-satellittene vært dominerende. Det har også vært flere kommersielle X-bånd-satellitter, og antallet av disse er økende. L-bånd har av forskjellige grunner ikke vært like vanlig, selv om de gir en del annen informasjon enn radarsatellitter med høyere frekvenser. I dette kapittelet gis en nærmere beskrivelse av historiske og operasjonelle L-bånd-satellitter beskrevet.

#### 3.1 Tilgang til L-bånd SAR

NISAR og ROSE-L vil ha en fri og åpen datapolitikk i motsetning til andre L-bånd SAR-satellitter som eksisterer i dag. De eksisterende satellittene krever at brukerne enten kjøper eller registrerer seg og søker på datakvoter for å kunne bruke produktene. Det er ofte mulig å få tilgang på data gratis, men i praksis viser det seg vanskelig å få til systematiske kampanjer der man er sikret data regelmessig.

#### 3.2 JERS (1992–1998)

JERS-1 (Japanese Earth Resources Satellite-1) var en japansk satellitt som ble utviklet og operert av Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). JERS-1 ble skutt opp 11. februar 1992 fra Tanegashima Space Center i Japan. Hovedformålet var å samle inn jordobservasjonsdata for bruk i landbruks- og

skogbruksforvaltning, miljøovervåkning og kartlegging og naturressursstyring. Satellitten virket til 1998.

For dette formålet var JERS-1 utstyrt med to hovedinstrumenter, en L-bånd SAR og et «Visible and Near-Infrared Radiometer» (VNIR).

Satellitten hadde en solsynkron bane med en inklinasjon på 98 grader. Banehøyde var 570 km og den hadde en repetisjonssyklus på 44 dager.

#### 3.3 ALOS-1 (2006–2011)

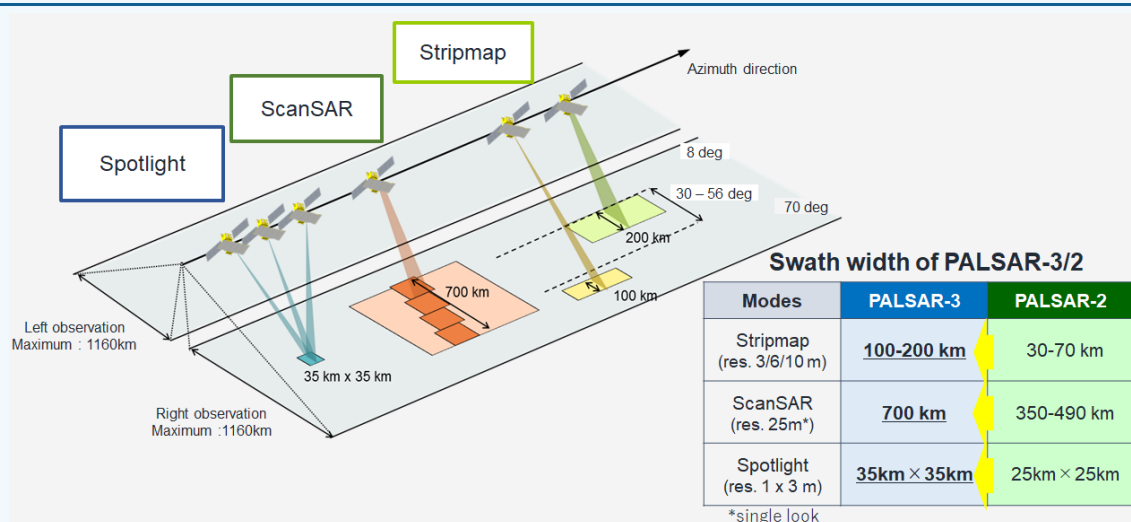
ALOS-1 (Advanced Land Observing Satellite-1) var en japansk jordobservasjonssatellitt skutt opp 24. januar 2006 og som var operasjonell til 12 mai 2011. Den hadde 46-dagers repetisjonssyklus.

ALOS-1 var utstyrt med flere instrumenter, men i denne sammenhengen er det L-band SAR instrumentet PALSAR som er relevant. PALSAR var en mer avansert radar enn JERS-1, og hadde en rekke ulike modi (ulike polarisasjoner, ulike oppløsninger) sammen med variabel innfallsvinkel og ScanSAR for overvåkning av store områder (Figur 3-1).

#### 3.4 ALOS-2 (2014–)

ALOS-2 (Advanced Land Observing Satellite-2) er en japansk jordobservasjonssatellitt som ble skutt opp 24. mai 2014 som en oppfølger til ALOS-1. Den er utstyrt med fasestyrt L-band SAR (PALSAR-2) samt

Figur 3-1: De tre avbildningsmodusene til PALSAR-3



Kilde: JAXA



skipsdeteksjonssystem som består av en AIS-mottaker og et infrarødt kamera (CIRC). PALSAR-2-radaren er en betydelig oppgradering av PALSAR-1-radaren med en spotlight-modus med 1 m x 3 m oppløsning.

Satellitten har en forhåndsdefinert globale observasjonsplan, som gjør det vanskelig å skaffe data til dedikerte kampanjer. Den har 14-dagers repetisjonssyklus, men full global dekning er ikke mulig med en enkelt 14-dagers syklus.

Figur 3-2: Illustrasjon av ALOS-2



Kilde: JAXA

### 3.5 ALOS-4 (2024–)

ALOS-4 (Advanced Land Observing Satellite-4) er en oppfølger til ALOS-2 med en L-bånd SAR (PALSAR-3) og ble skutt opp 1. juli 2024. Radartechnologien har blitt videreutviklet fra PALSAR-2 med sikte på å oppnå både høy romlig oppløsning og en bredere sporbredde. ALOS-4 vil også være utstyrt med en AIS-mottaker for skipsidentifikasjon.

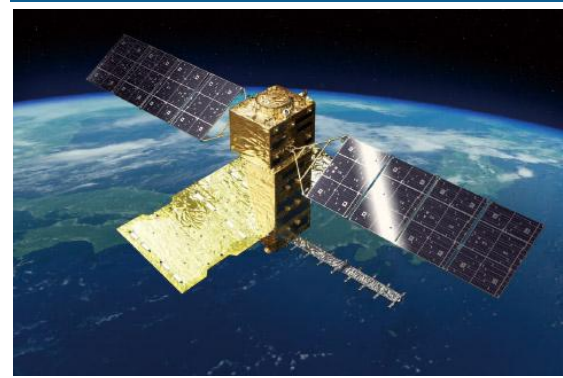
ALOS-4 flyr i en solsynkron bane i en høyde av 628 kilometer. Den vil ha en baneperiode på 97 minutter og en repetisjonssyklus på 14 dager. Global dekning sies å være mulig, men avhenger av operasjonsmodus.

ALOS-4 har tre modi: Stripmap, ScanSAR og Spotlight-mode. Stripmap har en romlig oppløsning som varierer fra 3-10 meter og en sporbredde mellom 100-200 kilometer, mens ScanSAR-moden vil ha en romlig oppløsning på 25 meter og en sporbredde på 700 kilometer. Spotlight-modus vil ha den beste romlige oppløsningen på 3 x 1 m ved en sporbredde på 35 kilometer. Se

Tabell 3-1 for sammenligning med ALOS-2.

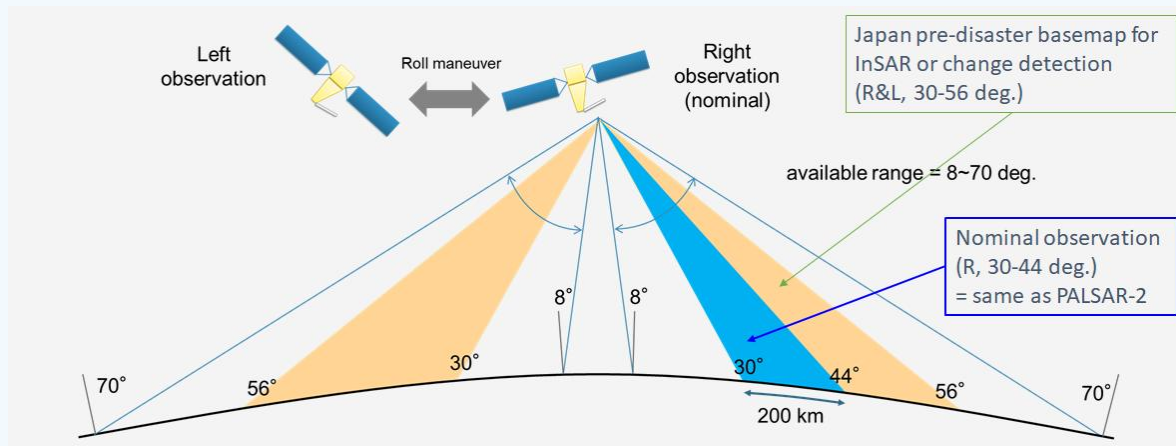
I Stripmap-modus er satellitten høyreseende med en nominell innfallsvinkel på 30-44°. De andre modusene og venstreseende observasjon brukes for rask katastrofeovervåking.

Figur 3-4: Illustrasjon av ALOS-4



Kilde: JAXA

Figur 3-3: Innfallsvinkler for PALSAR-3



Kilde: JAXA

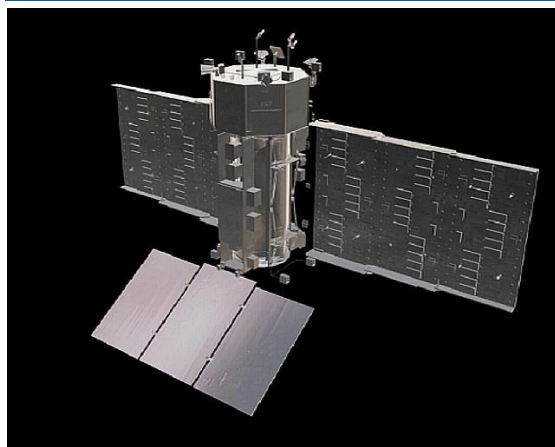


### 3.6 SAOCOM-1A og -1B (2018–)

SAOCOM (Satélite Argentino de Observación Con Microondas), som oversettes fra argentinsk mikrobølgeobservasjonssatellitt, er en konstellasjon av to satellitter SAOCOM-1A og SAOCOM-1B, eid og drevet av CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales), den argentinske romfartsorganisasjonen. SAOCOM-1A ble skutt opp i oktober 2018, SAOCOM-1B i august 2020.

SAOCOM-1A og -1B opererer begge i solsynkrone baner med høyde på 619,6 kilometer, inklinasjon 97,86°, og omløpsperiode på 97,1 minutter, med 1B 180° ut av fase på 1A.

Figur 3-5: Illustrasjon av SAOCOM



Kilde: CONAE

L-SAR-instrumentet operer med en frekvens på 1,275 GHz og en sporbredde på 320 kilometer. Satellittene avbilder i tre driftsmoduser, Stripmap, TopSAR smal og TopSAR bred, med varierende parametere avhengig av valgt polarisasjonsmodus (quad, enkel eller dobbel polarisering). Stripmap-bilder tas med en sporbredde på 20-40 kilometer og innfallsvinkel på 20°-50°, og romlig oppløsning på 10 meter i alle polarisasjoner. TopSAR smal har en sporbredde på 100-150 kilometer, innfallsvinkel

på 20°-45° og romlig oppløsning på 30-50 meter, mens TopSAR bred har en sporbredde på 220-350 kilometer, innfallsvinkel på 20°-45°, og romlig oppløsning på 50-100 meter.

SAOCOM L-bånd SAR-instrumentet operer i samvirke med den italienske COSMO-SkyMed-konstellasjonen i X-bånd for å kunne tilby hyppig datatilgang. Denne tilnærmingen med to SAOCOM og fire COSMO-SkyMed-satellitter muliggjør opptak to ganger daglig med SAR-produkter i både X-bånd og L-bånd. CONAE jobber nå med neste generasjons L-bånd SAR (SAOCOM-2), men disse forventes ikke skutt opp før 2030 og vil derfor ikke være relevante i forberedelsesperioden mot ROSE-L.

ESA har en tredjepartsavtale med SAOCOM slik at det er mulig å få tak i noe SAOCOM-data for å teste ut ulike anvendelser i begrenset grad over Europa.

### 3.7 Land Surveyor 1-01 A og B

Kinas nasjonale romfartsmyndighet (CNSA) skjøtt opp Land Surveyor 1-01A og 1-01B tidlig i 2022. Disse ble erklært operasjonelle i slutten av 2023, og overlevert til ministeriet for naturressurser i Kina. Satellittene går i bane rundt 600 kilometer over jorden i en tilnærmet solsynkron bane (Space Daily, 2024). Det er lite informasjon å finne om disse satellittene, men China Daily (2023) skriver at et viktig poeng med satellittene er å gjøre Kina mindre avhengig av utenlandske satellittprodukter.

### 3.8 Tandem-L

Tandem-L var et L-bånd SAR-konsept for global observasjon av dynamiske prosesser innen områdene biosfære, geosfære, kryosfære og hydrosfære som er foreslått av det tyske romsenteret DLR. Det er usannsynlig at Tandem-L blir realisert siden informasjonen på nett ikke er oppdatert siden 2016.

Tabell 3-1: Sammenligning av oppløsning og sporbredde for ALOS-2 og ALOS-4

| Oppløsning                                 | ALOS-2         | ALOS-4     |
|--------------------------------------------|----------------|------------|
| Stripmap-modus (oppløsning 3 m, 6 m, 10 m) | 50 km, 70 km   | 100-200 km |
| ScanSAR-modus (oppløsning 25 m)            | 350 km, 490 km | 700 km     |
| Spotlight-modus (oppløsning 1 x 3 m)       | 25 x 25 km     | 35 x 35 km |

Kilde: JAXA

### 3.9 Nye konsepter

Det finnes flere planer om L-band SAR små-satellitter inspirert av «New Space». Som Tandem-L er det en rekke konsepter som er beskrevet på internett, men veien fra konsept til faktisk oppskytning er lang, og ofte blir det aldri noe av. Vi nevner her et par initiativ som kanskje kan bli skutt opp.

CarbSAR er et initiativ fra UK som påstår de skal skytes opp i 2024:

[www.bbc.co.uk/newsround/65487380](http://www.bbc.co.uk/newsround/65487380)

Canadiske Alpha Insights har også noen kommersielle planer for L-bånd SAR:

[www.alphainsights.space/tech](http://www.alphainsights.space/tech)

Tabell 3-2: Oversikt over eksisterende og fremtidige L-bånd SAR-satellitter

| Satellitt                | Organisasjon | Periode   | Sporbredde    | Oppløsning |
|--------------------------|--------------|-----------|---------------|------------|
| JERS-1                   | JAXA         | 1992-1998 | 175 km        | 18 m       |
| ALOS-1                   | JAXA         | 2006-2011 | 350 km        | 100 m      |
| ALOS-2                   | JAXA         | 2014-     | 350 km/70 km  | 25 m/10 m  |
| SAOCOM-1 A/B             | CONAE        | 2018-     | 350 km/40 km  | 50 m/10 m  |
| Land Surveyor 1-01       | CNSA         | 2023-     | Ukjent        | Ukjent     |
| ALOS-4                   | JAXA         | 2024-     | 700 km/200 km | 25 m/10 m  |
| NISAR                    | NASA/ISRO    | 2024/2025 | 240 km        | 10 m       |
| ROSE-L (Sentinel-12 A/B) | ESA          | 2029-     | 260 km        | 10 m       |

## 4. Faktisk og mulig bruk av L-bånd SAR

*L-bånd-satellitter har ikke vært like vanlige som C- og X-bånd, selv om de gir verdifull informasjon om blant annet vegetasjonsstruktur, biomasse og andre miljøparametere. Dette kapitlet belyser de operative bruksområdene for L-bånd SAR-data og hvordan kombinasjonen av L- og C-bånd-teknologier kan forbedre datakvalitet og overvåkingskapasitet.*

### 4.1 Om bruk av L-bånd

I dette kapitlet gis oversikt over måter L-bånd SAR-data blir brukt i Norge, samt måter L-bånd-data kan tenkes brukt i tiden fremover. Gjennomgangen er sortert etter områdene:

- InSAR
- Snøfuktighet
- Snøskred
- Sjøis
- Oseanografi
- Jordfuktighet
- Skog
- Landbruk
- Deteksjon på havet

Listen er ikke nødvendigvis uttømmende. Den er basert på informasjon fra et innspillsmøte NRS arrangerte i 2023, samt informasjon fra intervjuer gjennomført under arbeidet med veikartet.

Siden Sentinel-1 og ROSE-L passerer morgen og kveld ved litt ulike tidspunkter, vil det potensielt være hyppige, tilnærmet samtidige, passeringer over samme områder, selv om geometriene vil være forskjellige. Dette kan gi mange interessante «nye» anvendelser med tilnærmet samtidig L- og C-bånd-dekning både over hav og land. Skipstrafikk og havis kan potensielt trackes hvis tidsforskjellen er liten. Tilsvarende vil geofysiske parametere på land, som flom og snødynamikk, kunne løses opp på en bedre måte enn tidligere.

### 4.2 InSAR

InSAR er en prosesseringsteknikk som bruker faseinformasjon fra to eller flere SAR-bilder tatt over samme område på forskjellige tidspunkt for å måle små endringer i terrenget over tid. Sammenlignet med Sentinel-1-satellittens C-bånd gir de lengre bølgelengdene til L-bånd nye muligheter. Det er

særlig tre områder som antas forbedret med bruk av L-bånd til InSAR:

- Overvåkning av landformer med hurtig bevegelse: Noen fjellområder beveger seg for hurtig til at C-bånd SAR kan brukes (fasen vrenger rundt 360 grader)
- Koherens i tynt vegeterte områder: Disse områdene filtreres bort i dag, men med L-bånd penetrer man tynn vegetasjon og opprettholder koherens
- Ikke-lineær bevegelse: Områder med for eksempel permafrost har ikke en lineær bevegelse mot eller bort fra satellitten, og disse er vanskelige å overvåke med dagens system, men vil veksle mellom tine- og fryseperioder. L-bånd gir større muligheter for å karakterisere bevegelsen

I forskningslitteraturen finnes flere eksempler på bruk av multifrekvent InSAR til ulike anvendelser innen InSAR. Bevegelsesmåling på myrer har blitt testet i Indonesia med Sentinel-1 og med L-bånd sensoren PALSAR-2 (Umarhadi, et al., 2021). I dette tilfellet synes det som PALSAR-2 gir mindre feil enn Sentinel-1. Montuori, et al. (2018) brukte X- og C-bånd InSAR til å karakterisere deformasjoner ved jordskjelv. Karimzadeh & Matsuoka (2020) demonstrerte bruk av L- og C-band InSAR i Aserbajdsjan.

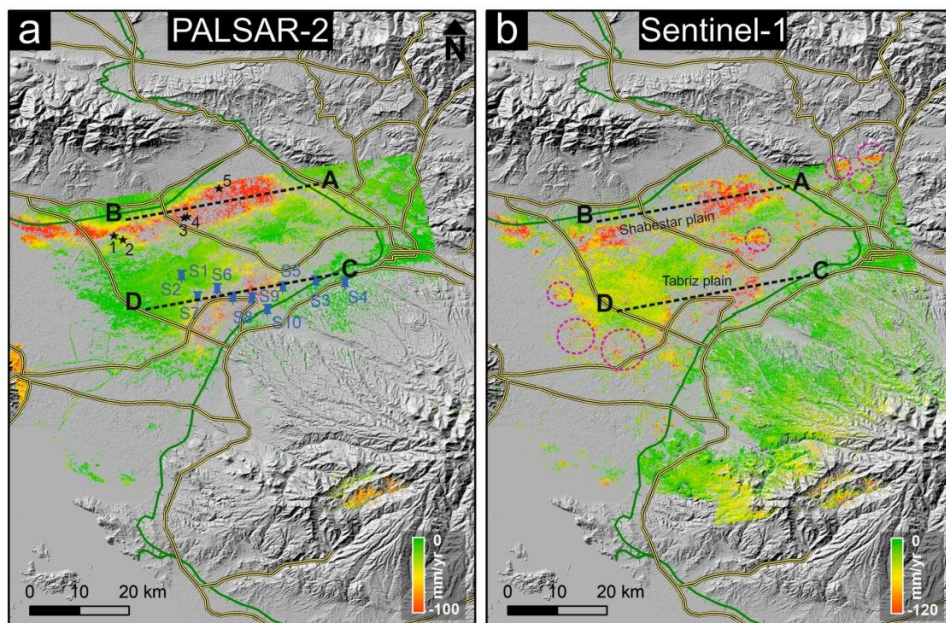
I Norge har NGI testet data fra ALOS og SAOCOM i forbindelse med InSAR-analyser i vegetasjonsdekte områder og arktiske områder, hvor jordfuktighet har en annen betydning enn lenger sør. NGI har også brukt det til å lage høydemodeller for enkelte områder.

Videre ser vi nærmere på hvordan bruk av L-bånd SAR til InSAR kan komme til nytte for overvåking av deformasjoner i landskapet, permafrost, isbreer og snømengde/snøens vannekvivalenter.

#### 4.2.1 Deformasjoner i landskapet

Interferogrammer fra Sentinel-1 og ROSE-L over samme område vil gi uavhengige målinger av bevegelse/deformasjon. Siden de to sensorene vil ha samme bane kan det forventes like innfallsvinkler, men det er fortsatt usikkert om målingene blir samtidige. Gitt at målingene er samtidige kan man tenke seg å utnytte frekvensforskjellen til å fjerne støy fra en rekke kilder (troposfære for C-bånd, ionosfære for L-bånd). I dag fjernes troposfære-bidraget ved statistiske metoder, mens for L-bånd vil man måtte korrigere

Figur 4-1: Deformasjon med L- og C-bånd



Kilde: Karimzadeh & Matsuoka (2020)

faseendringer gjennom ionosfæren med modeller (assimilert med GPS-data) for totalt elektroninnhold (TEC). Ved å kombinere faseendringer i C- og L-bånd forventes det at man til sammen kan få bedre estimater av «line-of-sight»-endringer for områder som er koherente med begge sensorer. Dette kan være nyttig for områder med rask bevegelse der C-bånd kan ha problemer på grunn av faseambiguitet.

NORCE, som er ansvarlig for utviklingen av programvaren som kjøres i InSAR Norge samt European Ground Motion Service (EGMS), tror ROSE-L vil forsterke disse tjenestene og forbedre kvaliteten på målingene.

NGI ser også mange muligheter for bruk av L-bånd SAR. Spesielt fremheves bruken av InSAR for overvåking av bakkedeforformasjoner for eksempel i forbindelse med byggeaktiviteter. Dokumentasjon av bevegelser i grunnen før og etter et byggeprosjekt synes å være en viktig aktivitet hvor man forventer at L-bånd SAR-interferometri vil gi et mer komplett bilde enn C-bånd på grunn av økt koherens.

NGI ser også potensiale for å bruke data av områder som ikke kan dekkes med C-bånd, inkludert blant annet skog og åker. De trekker frem kvikkleire som et område hvor L-bånd vil være særlig interessant. I Norge er det per i dag ikke kapasitet til å overvåke alt som potensielt har kvikkleire, kun der kvikkleiren har en potensielt stor konsekvens.

NGU trekker også frem forbedring av InSAR. Blant annet evnen til å trenge gjennom skogområdene for å, blant annet, kunne se om det er noe som beveger seg nedi en fjellkjede.

FFI ønsker å studere om L-bånd SAR kan være nyttig for endringsdeteksjon på land. De framhever det lave støygulvet til ROSE-L som spesielt nyttig til en rekke anvendelser.

Norsk Regnesentral ønsker å bruke ROSE-L i et datafusjonsrammeverk der tanken er at en sensor sjeldent kan beskrive alle egenskapene man ønsker å overvåke med jordobservasjon, mens ulike komplementære sensorer kan trekke ut flest mulig relevante egenskaper. Norsk Regnesentral arbeider mye med KI-anvendelser, og ser for seg at ROSE-L kan utnyttes i lag med andre sensorer til for eksempel landkartlegging, objekt deteksjon, endringsdeteksjon og terrengovervåking. Utfordringene med datafusjon er imidlertid også betydelige.

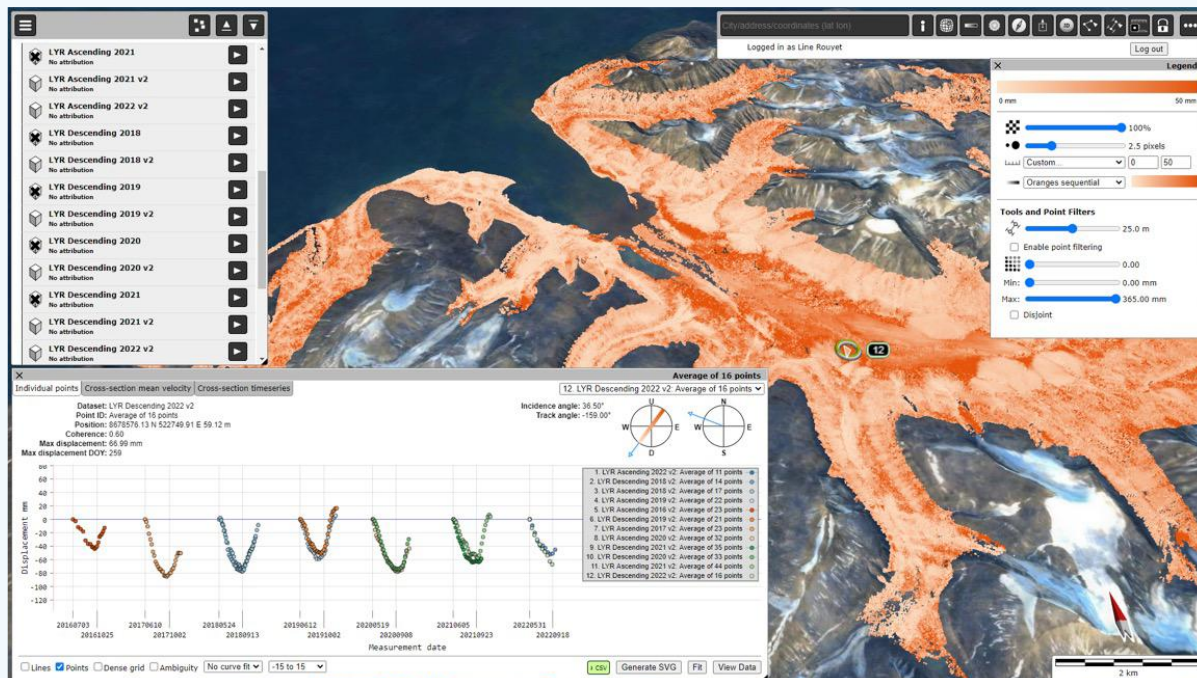
#### 4.2.2 Permafrost

For overvåking av permafrost finnes ingen operasjonelle tjenester per i dag, men L-bånd SAR kan trolig forbedre interferometrisk overvåking i lavlandet (vegeterte områder) og i fjellområder med permafrost. Dette gjelder særlig for fjellområder med hurtige bevegelser, som på steinbreer og i bratt terreng. Videre antas L-bånd, som følge av bedre koherens, å gjøre det enklere å koble sammen bevegelser fra en sesong til den neste enn med C-bånd.

I lavlandet viser eksempler fra forskning gjort ved UiO med bruk av ALOS Palsar at vertikal bevegelse (telehiv/innsynkning) for permafrosten kan måles mye bedre med L-bånd SAR. Det er særlig økt koherens som bidrar til dette. UiO ser muligheter for å koble modeller og målinger bedre enn det gjøres i dag ved for eksempel å ta i betraktning (assimilere) ulike klimavariabler som snømengde,



Figur 4-2: Bevegelsesmåling med Sentinel-1 over flere sesonger i Adventsdalen, Svalbard



Kilde: NORCE

jordfuktighet, overflatetemperatur og bevegelse i modellene for permafrost.

Generelt anses det å kombinere sensorer som viktig for overvåking av permafrost. Over permafrost er bevegelsene ofte ikke-lineære (nedsynkning vår, hiv høst; se Figur 4-2) og det forventes at L-bånd vil gi flere målepunkter på grunn av høyere koherens enn C-bånd. I noen tilfeller (f.eks. under ionosfæriske forstyrrelser) vil det imidlertid være ønskelig å kombinere sensorene. L-bånd tåler større bevegelse før fasetvetydigheter blir et problem. For sakte bevegelser vil C-bånd kunne gi mer nøyaktige resultater enn L-bånd. Problematikk ved fasetvetydighet kan muligens løses ved å kombinere resultater fra begge frekvenser.

#### 4.2.3 Isbre

Informasjon fra radarsatellitter kan gi informasjon om ulike karakteristikker ved en isbre, inkludert «Grounding lines», «ice shelf cracks», bevegelse og isbremmer.

Backscatter fra ulike frekvenser gir informasjon om snø/islagene i breene, og ved å kombinere målinger fra ulike frekvenser kan man karakterisere ulike soner på isbreene.

Når det gjelder InSAR er dette bruk for målinger av sakte bevegelser, og her antas L-bånd SAR å kunne forbedre målingene siden signalet penetrerer isen dypere og gir mer stabilt (koherent) signal. Ved å kombinere bevegelsestimater fra de ulike teknikkene kan mer nøyaktige målinger forventes.

#### 4.2.4 Snøens vannekvivalent (SWE)

Allerede i 2001 påpekte Guneriusen et al. (2001) muligheten for å måle snøens vannekvivalent ved hjelp av InSAR. Det viste seg imidlertid at C-bånd SAR ikke var spesielt godt egnet til formålet grunnet lav koherens. Videre finnes det også publikasjoner hvor Sentinel-1 er brukt til å måle SWE ved hjelp av InSAR. Felles for publikasjonene er at de ser ut til å gi akseptable resultater så lenge snøen er tørr og ikke forandrer seg for mye mellom to målinger (se for eksempel Oveisgharan, et al. (2023) med referanser). Generelt har man sett et behov for flere sensorer, og da særlig L-bånd SAR.

Med bruk av InSAR-metodikk på ALOS-2 har selskapet EDInsights testet ut beregning av snøens vannekvivalent for vannreservoarer i Sør-Norge, og NORCE har studert snøens vannekvivalent på Svalbard med ALOS-2 (Malnes, et al., 2024). Resultatene viser at L-bånd SAR gir vesentlig bedre estimater av SWE enn Sentinel-1.

Videre antas det at man ved å bruke Sentinel-1 og ROSE-L vil kunne øke antallet sampler og dermed ha større muligheter til å eliminere store feil grunnet snø-metamorfose/smelting. Man vil også kunne korrigere for problemer som skyldes ionosfæriske forstyrrelser.

I tillegg til at ROSE-L og Sentinel-1 vil kunne utnyttes, vil også andre sensorer som kan måle snødybde være relevante i en multisensor-sammenheng. En åpenbar mulighet er å bruke passive mikrobølgeinstrument (Pulliainen, et al., 2020) og kombinere disse målingene på global skala med høyoppløselige målinger med SAR



(Sentinel-1 og/eller ROSE-L). Passiv mikrobølge har lav oppløsning, men daglig global dekning.

En annen mulighet er å kombinere SAR-målinger av SWE med sporadiske målinger av snødybde når disse er tilgjengelige fra laserhøydemålinger. NORCE har demonstrert på Svalbard at Icesat-2 kan brukes til å måle snødybde. Ved å gjøre antakelser om snøtetthet kan man dermed sammenligne og eventuelt forbedre SWE-estimatene. Figur 4-3 viser eksempler på snødybdemåling i Adventdalen med Icesat-2 over en vintersesong.

I NFR-prosjektet MESSENGER testes nå en ny teknologi for måling av SWE *in situ* ved hjelp av fiberoptiske kabelmutter som kan måle SWE over områder som er sammenlignbare med oppløsningen til satellittmålingene (10 m x 10 m) slik at man får representative cal-val-målinger.

### 4.3 Snøfuktighet

Snøfuktighet måles i prosent av hvor mye fritt vann som er til stede i snøen. Kunnskap om snøfuktighet er viktig for både skredvarsling og flomvarsling og kan på sikt trolig assimileres i hydrologiske modeller (for eksempel SeNorge) for å forbedre varslene.

NVE er i ferd med å operasjonalisere våt snøkartlegging med Sentinel-1. Våt snø kan detekteres med C-bånd SAR, men graden av fuktighet er vanskelig å måle siden kun små mengder (noen få prosent) gjør at radiobølger absorberes i det øverste snølaget. L-bånd SAR kan penetrere dypere ned i snøen og dermed antas en kombinasjon av C- og L-bånd å gi bedre målinger.

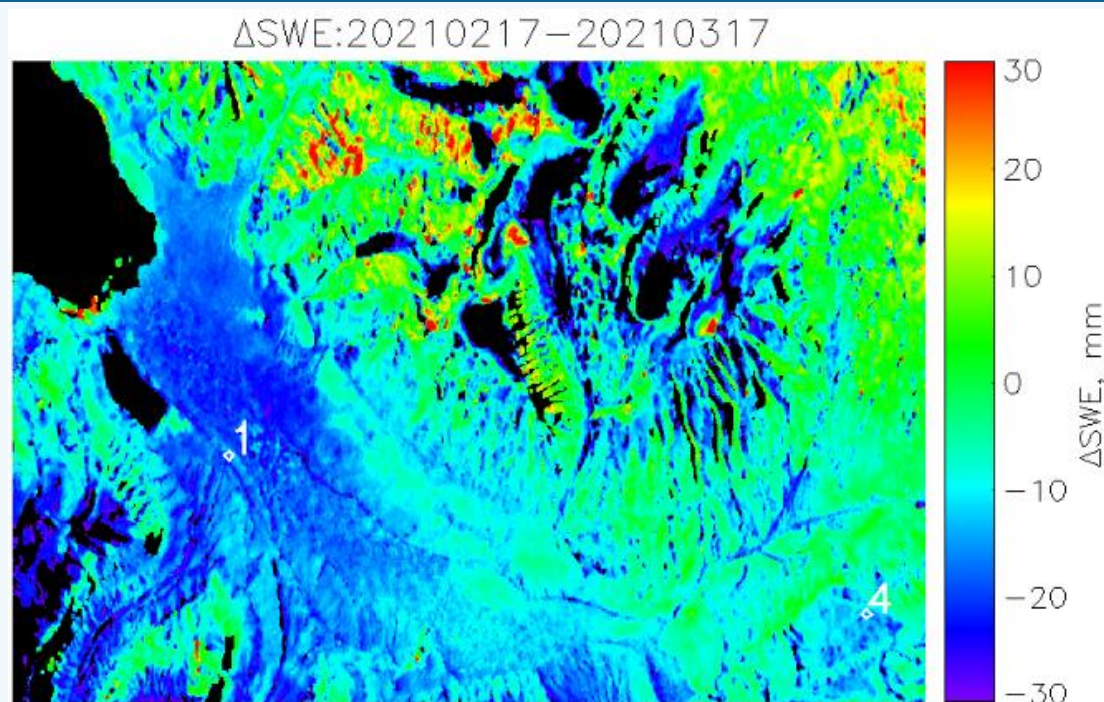
Det er ingen miljøer som anvender L-bånd til måling av snøfuktighet i dag, men Malnes et al., 2024 har påvist enkelte anvendelsesmuligheter på Svalbard.

### 4.4 Snøskred

Skreddeteksjon er en viktig anvendelse for NVE, både for varling av skred og evaluering av skredene i ettertid. I dag anvendes primært Sentinel-1 til deteksjon av snøskred.

I utgangspunktet forventes det ikke at den operative snøskreddeteksjon vil bli vesentlig forbedret med bruk av L-bånd. Dette fordi oppløsning er viktigere enn båndlengde. Neste generasjon Sentinel-1 med 5 meters oppløsning og større sporbredde vet man vil gi vesentlige forbedringer, men det er også mulig at L-bånd vil ha bedre sensitivitet for noen typer snøskred.

Figur 4-3: Endring i SWE i Adventdalen ved Longyearbyen mellom 17.2.2021 og 17.3.2021 basert på ALOS-2 InSAR

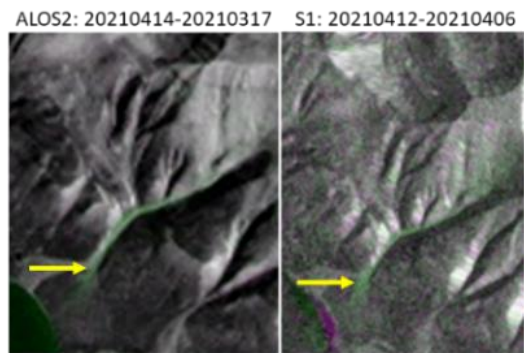


Kilde: Malnes et al. (2024). Note: Blå områder viser redusert snømengde, mens grønne/røde områder antyder mer snø. Sorte områder er maskert bort p.g.a. vann eller terreffeffer. Resultatene er også sammenlignet med data fra de meteorologiske stasjonene (1&4) i området.

Malnes et al. (2024) har påvist at noen snøskred kan detekteres med ALOS-2 på Svalbard.

Uansett vil ROSE-L, når den nå ser ut til å gå i bane som maksimerer dekningsgrad i samband med Sentinel-1, øke hyppigheten på målinger med radarsatellitter, noe som kan komme til nytte.

**Figur 4-4: Snøskred på Hjortfjellet ved Longyearbyen**



**Kilde: Malnes et al. (2024). Observert tilnærmet samtidig med ALOS-2 og Sentinel-1.**

## 4.5 Sjøis

Norge har i dag en operativ tjeneste for varsling av sjøis. Istjenesten har vært drevet av Værværslinga siden 90-tallet, med bruk av C-bånd SAR.

En rekke norske miljøer har over tid forsket på ulike måter satellittdata kan anvendes til å forstå sjøisen bedre, herunder volum/alder/type, posisjon/bevegelse og snø på isen. ROSE-L antas i ulik grad å komme til nytte for disse områdene.

### Volum/alder/type

Universitetet i Tromsø (UiT) har erfaringer i bruk av ALOS-1 med samtidige målinger på C- og L-bånd på havis. Her har UiT publisert resultater som tyder på at ny (tynn) is lettere kan karakteriseres med L-bånd enn C-bånd, men også at L-bånd kan generelt hjelpe til istypeklassifisering.

Der er imidlertid en kombinasjon av C- og L-bånd som antas å gi størst effekt. Samtidige (eller nær sanntidige) målinger med L- og C-bånd øker sannsynligheten for korrekt karakterisering, spesielt i områder med delvis isdekke. Dette på grunn av at havet ofte har de samme karakteristikene som is enten på C- eller L-bånd, men sjeldent på begge bølgelengder.

UiT har publisert flere arbeider der dette belyses (Johansson, et al., 2018). Spesielt lovende synes L-bånd å være tidlig i is-sesongen der man enklere kan skille mellom is og åpent vann med L-bånd,

mens det senere på sesongen synes som C-bånd er bedre. Dette åpner for enkle fusjonsalgoritmer der man kan trekke ut det beste fra hver sensor. I Mahmud, et al. (2022) påvises mer enn 90 prosent nøyaktighet i klassifisering av is ved å kombinere C- og L-bånd, sammenlignet med 80 prosent med kun bruk av L-bånd, ved bruk av maskinlæring (AI).

Siden havisen beveger seg fort er det viktig med tilnærmet samtidige målinger, da man ellers ikke vil kunne utnytte den økte informasjonen som L-bånd gir. Når nå ROSE-L ikke ser ut til å gå i tandem med Sentinel-1 vil dermed nytten være begrenset.

### Posisjon/bevegelse

Om man skal estimere bevegelse til havis er det viktig å kunne kjenne igjen de samme parametere fra bilde til bilde. Det er derfor viktig å kunne skille mellom is og åpent vann, kunne karakterisere isen under snødekket og kunne spore de samme karakteristikker over tid. L-bånd kan i forhold til C-bånd bedre trenge gjennom snøen som ofte dekker isen, noe som gir et klarere bilde av isens faktiske bevegelse under snødekket. L-band vil heller ikke være like påvirket av snøens vanninnhold og fuktighet som C-bånd, og vil derfor i større grad gi et bilde av isen under. Dette gjør L-bånd svært nyttig for å følge isens posisjon og bevegelse over tid. En kombinasjon av ROSE-L og Sentinel-1 vil også gi høyere temporær oppløsning, som er en viktig faktor (selv om det ikke er direkte relatert til radarfrekvensen).

### Snø på sjøis

Snø på havis er en viktig klimaparameter som hittil har vært vanskelig å måle. De foreløpig beste metodene i dag baserer seg på kombinert bruk av radar- og laseraltimeter. Radaraltimeter kan brukes til å måle tykkelsen på isen og fribord (isens tykkelse over vannlinja), mens laseraltimeter kan måle tykkelsen av snødekket (inkludert is). Man kan dermed trekke fra fribord for å finne snøtykkelsen. Denne parameteren har stor effekt på hvor godt is/snødekket isolerer havet for innstråling/opppvarming. Ulempen med altimetermetoder er at de ulike altimetrene ikke er synkronisert i tid, og dette kompliserer målemetoden betraktelig siden isen beveger seg.

L-bånd SAR kan tenkes brukt i kombinasjon med ulike altimetre (Icesat-2, CRISTAL, Cryosat-2, Sentinel-3 SRAL samt de nye altimetrene som dekker mye større områder SWOT og Sentinel-3 NG) og Sentinel-1 for å forbedre nøyaktigheten til estimer av snø på havis. Kombinasjoner av ROSE-L og CIMR (passive mikrobølger med bl.a. L-bånd-kanal) er også en åpenbar mulighet, der samtidige

målinger med høyoppløst ROSE-L i deler av sporet til CIMR kan gi grunnlag for opp-sampling av CIMR i resten av sporet.

Nansensenteret (NERSC) vil bruke L-bånd innen havisovervåkning og modellering, og forsøke å gjøre nytte av at L-bånd er mindre følsomt enn C-bånd i forhold til snø på havisen. Kontraster kommer tydelig fram i bildene, noe som komplementerer informasjonen, spesielt langs iskanten.

## 4.6 Oseanografi

Oseanografi er studien av jordens hav og sjøer, og i denne sammenheng er oppmerksomheten rettet mot bruk av SAR-data til studier av havvind, strøm og bølger.

Havbølger og avledet informasjon om vindhastighet og -retning måles i dag med ulike kombinasjoner av scatterometere (ASCAT) og SAR (Sentinel-1s bølgeprodukt). Aktuelle metoder er i hovedsak basert på CMOD-modellen som relaterer C-bånd radar backscatter på ulike innfallsvinkler med vindhastighet/vindretning. En modell for L-bånd (LMOD) er utviklet av Isoguchi & Shimada, (2009) basert på ALOS-1 med cirka 90 000 «match-ups» med co-lokalisert ASCAT-vindmåling. Det kan være en metodisk ulempe at man ikke bruker direkte geofysiske data (vindbøyer) til denne modellen, da ASCAT er basert på CMOD også med de begrensninger C-bånd-data har. Denne er videreutviklet med kryss-pol-data (ALOS-2/ASCAT) i Isoguchi, et al. (2019).

I Norge har NERSC noe erfaring med bruk av ALOS-1 til dette formålet, men generelt har norske aktører brukt L-bånd SAR lite til oseanografiske anvendelser. L-bånd SAR antas imidlertid å komme til nytte. I motsetning til C- og X-bånd, hvor vindsignaturer kan drukne ut andre signaler, gir L-bånd en bedre evne til å karakterisere overflateruhet som følge av samspillet mellom vind, strøm og bølger. Dette båndet gjør det også mulig å identifisere skarpe temperaturgradienter, som havfronter, mer tydelig. For eksempel kan frontene til Golfstrømmen og kyststrømmer fremstå mer markert i L-båndet, noe som gir bedre innsikt i havets dynamikk.

## 4.7 Jordfuktighet og flom

Jordfuktighet er et viktig anvendelsesområde for L-bånd SAR. L-bånd penetrerer dypere i jorda og forventes dermed å gi mer nøyaktige målinger.

Jordfuktighet er et stort forskningsområde globalt, men norske forhold er i noen grad forskjellige fra forholdene i Europa der jordbruk er en viktig anvendelse.

Det er liten eller ingen bruk av L-bånd SAR-data i anvendelser knyttet til jordfuktighet blant norske miljøer per i dag. Noen miljøer som NORCE, meteorologisk institutt, NILU og NIBIO har delvis testet ut Sentinel-1 data og uttrykt interesse og håp om at L-bånd SAR kan gi større nytteverdi.

ESAs L-bånd-radiometer SMOS har blitt brukt til jordfuktighetsestimer siden 2009, men med en oppløsning på 35-50 kilometer er ikke instrumentet egnet til å måle detaljerte romlige endringer i jordfuktighet. Målingene har imidlertid daglige oppdateringer. Man har lenge ønsket å kombinere målinger fra mer høyoppløselige sensorer (SAR eller scatterometer) med radiometre for å forbedre den romlige oppløsningen, men dette har vært vanskelig siden de fleste SAR-er og scatterometre bruker kortere bølgelengder som penetrerer bakken dårlige. Det finnes imidlertid noen produkter i dag som benytter aktuelle sensorkombinasjoner.

Passive mikrobølgeinstrument brukes i dag til måling av jordfuktighet i for eksempel ESA CCI-prosjektet Soil Moisture.<sup>1</sup> Oppløsningen her er gjerne 20 kilometer og oppdateringene er daglige. Copernicus Soil Moisture<sup>2</sup> har 1 kilometers oppløsning basert på Sentinel-1. Ved å kombinere med L-bånd SAR forventes det at operasjonelle jordfuktighetsprodukter vil kunne nedskaleres til betydelig bedre oppløsning (100-1 000 meter) og med bedre nøyaktighet.

Den korte tiden NASAs aktive L-bånd scatterometer var tilgjengelig fikk man nøyaktige estimer av jordfuktighet ved å kombinere SMAP med AMSR2-data (Zhang, et al., 2017).

Når L-bånd SAR blir tilgjengelig med NISAR og ROSE-L forventer man at fusjon av passiv og aktiv L-bånd vil gi betydelig bedre jordfuktighetsestimer på daglig basis. ROSE-L alene vil ikke gi global dekning, men ved å nedskalere daglige målinger fra radiometre til ROSE-L-oppløsning (muligens ved hjelp av KI-baserte metoder) forventer man jordfuktighetsestimer med oppløsning på 10-100 meter.

Av norske aktører trekker blant annet Norges geotekniske institutt (NGI) frem at L-bånd SAR vil kunne gi bedre målinger av jordfuktighet, spesielt innenfor områder der kvikkleire og jordskred kan

<sup>1</sup> <https://climate.esa.int/en/projects/soil-moisture>

<sup>2</sup> <https://land.copernicus.eu/global/products/ssm>



utgjøre en fare. Her kan L-bånd SAR fylle ut og gi mer kontinuerlige målinger av grunnen enn det C-bånd kan.

Miljødirektoratet har også uttrykt interesse i forbindelse med jordfuktighet. Direktoratet har mål om å lage et betydelig bedre våtmarkskart enn i dag, med tydeligere avgrensninger av myrområder. Trær er utfordring for kartlegging, men L-bånd kan bedre identifisere hva som ligger under tredekket. Dette har også en viktig politisk betydning, da det kan legges ned forbud mot nedbygging av myr. Presis kartlegging av myr er en forutsetning for å effektivt kunne håndheve et potensielt forbud.

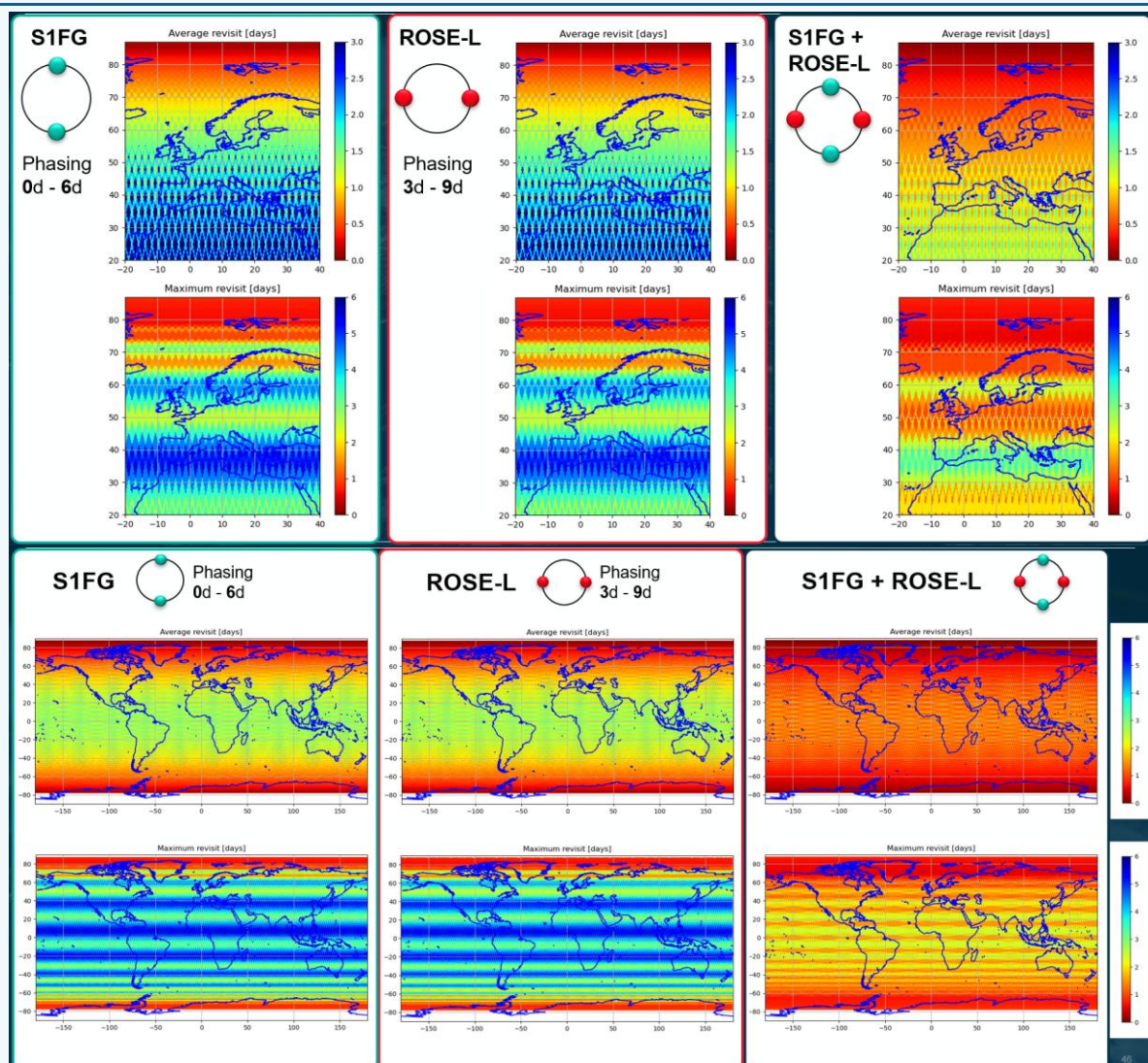
Overvåkning av flom har lenge vært et viktig anvendelsesområde med SAR. NVE har operativ prosessering av flom med Sentinel-1, og det vil være

naturlig å fase inn ROSE-L i denne tjenesten, ikke minst for å øke hyppigheten av produkter. ROSE-L vil i tillegg kunne detektere flom i skogområder, dyrka mark og langs elver bedre enn Sentinel-1 på grunn av dypere penetrasjon gjennom biomasse.

## 4.8 Skog

SAR-data kan brukes til studier av ulike forhold ved skog, hvor skogtype, biomasse og hogst er de mest fremtredende anvendelsene. Reiche, et al. (2016) viser til at framtiden i skogsovervåking og kartlegging gjøres best med å kombinere optiske- og radarsatellitter som reagerer på forskjellige skogparametere som vegetasjonstetthet og høyde (Trier, et al., 2018) og produktivitet. Nyten av L-bånd i denne sammenheng er at det penetrerer bedre

Figur 4-5: Temporære dekningskart over Europa (øverst) og globalt (nederst) med to Sentinel-1-satellitter (venstre), to ROSE-L-satellitter (midten) og to Sentinel-1- og to ROSE-L-satellitter (høyre)



Kilde: GMV/ESA

ned i trekronen/vegetasjonen enn C-bånd, og kombinasjonen av L- og C-bånd SAR vil prestere bedre ved klassifisering av skogstyper enn C- eller L-bånd alene (Haarpaintner & Hindberg, 2019).

NORCE har brukt kombinasjoner av L- og C-bånd til kartlegging av regnskog i Afrika (Haarpaintner & Hindberg, 2019) og ulike skogstyper i Norge, ofte i kombinasjon med optiske data fra for eksempel drone. Videre har NIBIO testet ut ALOS-data i Tanzania for endringsdeteksjon (skoghogst). Deres erfaring er at L-bånd er bedre enn C-bånd til skoganvendelser både siden radar-backscatter har bedre egenskaper (mindre metning) og koherensen er mer stabil, slik at interferometrisk måling av skogen (for eksempel skoghøyde) vil være bedre. ESAs BIOMASS-satellitt operer i P-bånd, som har enda lengre bølgelengder enn L- og C-bånd og penetrer enda dypere inn i vegetasjon og trekronen. BIOMASS er planlagt skutt opp i 2025 og skal spesielt kartlegge biomasse av skogen, inkludert tropisk skog. Disse dataene kan brukes sammen med Sentinel-1. L-bånd data fra NISAR og ROSE-L sammen med optiske data fra Sentinel-2 og Landsat kan brukes for å beskrive hele jordas skog og kartlegge forandringer over tid.

Den operasjonelle overvåking av skogen i forbindelse med ulovlig hogst blir også forbedret på temporær basis da kombinasjonen av Sentinel-1 and ROSE-L vil redusere deknings tiden fra 6 til 3 dager på ekvator, og halverer også deknings tiden globalt. En kombinasjon av C- og L-bånd vil også forbedre muligheten til å skille mellom full hogst og skogsdegradasjon/reduksjon av biomasse hvor det hentes ut enkle trær heller enn at alt hogges ned.

## 4.9 Landbruk

Det er liten eller ingen bruk av L-bånd SAR-data i anvendelser knyttet til landbruk blant norske miljøer per i dag, men kombinert bruk av L- og C-bånd SAR og optiske kan potensielt komme til nytte i fremtiden.

Internasjonalt brukes spesielt NDVI fra optiske data og koherens fra Sentinel-1 til landbrukskartlegging. Sentinel-1 sitt C-bånd-signal dekorrelerer imidlertid relativt raskt, og koherens fra L-bånd bør kunne gi mer informasjon om forskjellige landbrukstyper.

Backscatter-signalet fra ulike arter (ris, mais, hvete osv.) brukes i noen grad til å måle avlinger i landbruksområder. Med flere frekvenser fra C- og L-bånd og opptrening av KI-algoritmer for å beregne biomasse vil man sannsynligvis få bedre beregninger for avlinger på stor skala i fremtiden. Torbick et al. (2018) demonstrerer hvordan man kan kombinere L- og C-bånd SAR til overvåking av risavlinger i Myanmar (Figur 4-6).

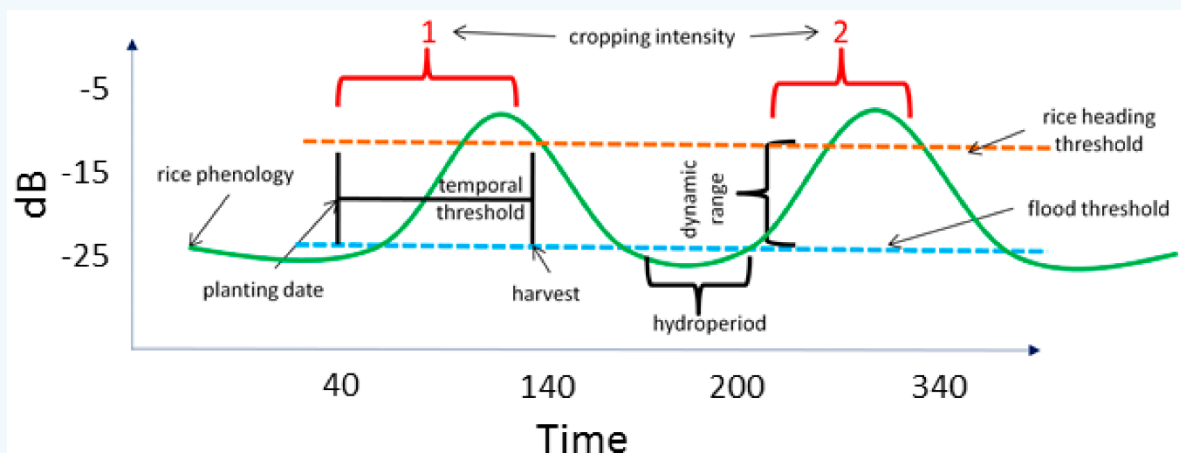
## 4.10 Deteksjon på havet

En av de fremste bruksområdene for SAR i Norge er til overvåking av havområder. Det finnes i dag operasjonelle tjenester for skipsdeteksjon og kartlegging av oljesøl. Disse tjenester kan tenkes forbedret ved bruk av L-bånd SAR. I tillegg antas man å bedre kunne oppdage isfjell

### 4.10.1 Oljesøl

I dag er det primært Sentinel-1 som anvendes for å detektere oljesøl, og deteksjonen antas å kunne forbedres ved kombinert bruk av C- og L-bånd SAR. Siden C-bånd har redusert sensitivitet under lave

Figur 4-6: Konsept for sesongvariasjon i backscatter over rismarker



Kilde: Torbick et al. (2018)



sjøtilstander (sammenlignet med C-bånd) forventes det at L-bånd kan gi nyttig tilleggsinformasjon.

L-bånd forventes ikke bare å kunne bidra til deteksjon, men også å kunne fortelle mer om type oljesøl. UiT arbeidet blant annet med å estimere tykkelse på oljeflak ved hjelp av målinger i flere frekvensbånd. Bedre kunnskap om tykkelsen kan lede til mer effektive tiltak for å begrense skadene ved et utslipp.

#### 4.10.2 Skipsdeteksjon

AIS er den fremste sensoren for overvåking av skipstrafikk, men radar er et uunnværlig verktøy for å identifisere skip som av ulike grunner ikke sender AIS-signaler.

Med L-bånd forventer man å kunne gjøre skipsdeteksjon under mer ekstreme værforhold (storm) enn ved C-bånd siden signalet fra bølger ikke går så fort i metning med L-bånd.

Videre anser FFI det som viktig å forbedre evnen til å detektere skip og kunne skille mellom skip og isfjell, noe L-bånd i kombinasjon med C-bånd antas å kunne brukes til. Videre kan kombinasjonen C- og L-bånd potensielt forbedre maritim overvåking ved at begge båndene kan brukes til å se skip, mens L-bånd ser kjølvannstriper. Da kan man også si noe om fart. ROSE-L vil antakelig kunne detektere skip og se kjølvannstriper minst like bra som Sentinel-1, og ROSE-L vil derfor kunne brukes som et supplement til Sentinel-1 slik at et område kan dekkles med SAR-satellitter oftere enn med bare Sentinel-1.

#### 4.10.3 Deteksjon av isfjell

For deteksjon av isfjell antas L-bånd SAR å kunne utfylle informasjon fra Sentinel-1. Spesielt ved lite vind vil det være bedre kontrast mellom isfjell og åpent vann, men også i tilfeller med mye vind/bølger når isfjellene er inne i havisen.

MET er interessert i dette, men også i det å studere metoder for å måle størrelsen på isfjell der L-bånd potensielt er bedre.

## 4.11 Panelprosessering

ROSE-L har fem antennepaneler som digitaliseres og lastes ned til bakken hver for seg. Deretter kan kombinasjoner av de ulike panelene prosesseres uavhengig av hverandre, i stedet for vanlig SAR som prosesserer alle paneler samtidig. Denne tilnærmingen åpner for innovative anvendelser som bevegelsesdeteksjon («Ground moving target identification», GMTI), superoppløsning, havstrøm-estimering og «along-track» InSAR. Standard SAR-fokusering tar ikke hensyn til at objektene man observerer kan være i bevegelse, og kan lede til at bevegelige objekt blir feilplassert (f.eks. at et tog kjører ved siden av jernbanesporet eller at kjølvannstripa til en båt er feilplassert i forhold til båten) eller helt maskert.

Med panelprosessering kan man i noen tilfeller løse ut hastigheten til målet og korrigere bildet slik at objektet er riktig georeferert. I skrivende stund er det ikke kjent om ESA/Copernicus vil levere noen produkter der dette er gjort, men siden alle kanalene vil være tilgjengelige i level 0-produktet er det i prinsippet mulig å arbeide med dette dersom man har den rette ekspertisen. Det vil kunne være aktuelt å ønske å bygge opp kompetanse på dette området i Norge.

## 5. Nasjonale utviklingsbehov

*Rådata må prosesseres før det blir et anvendbart produkt. Ulike nasjonale tiltak kan støtte ulike steg i denne prosessen. Relevante infrastrukturtiltak som diskuteres i dette kapitlet inkluderer støtte til infrastruktur for rask prosessering og nedlesning, tilgjengeliggjøring av ferdig-prosesserte SAR-bilder, «on-demand»-prosessering og lagring av data. Av forsknings- og utviklingstiltak diskuteres tilgjengeliggjøring av L-bånd SAR-data, støtte til utviklingsaktiviteter og tilrettelegging av møteplasser.*

### 5.1 Ulike anvendelser, ulike behov

Spørsmålet i dette kapitlet er hvilke utviklingsaktiviteter som kan settes i gang hos relevante nasjonale ansvarlige etater i eventuelt samarbeid med forskningsaktører og/eller kommersielle aktører for å klargjøre bruk av data, produkter og tjenester basert på ROSE-L, NISAR og eventuelt andre L-bånd SAR-satellitter. Utviklingsaktiviteter kan i dette tilfelle romme alt fra støtte til videre forskning og utvikling, og innkjøp av data, til etablering av nasjonal infrastruktur for prosessering og lagring.

Før gjennomgangen av mulige utviklingsaktiviteter, beskriver vi veien fra rådata til anvendbart produkt for SAR-data. Kjennskap til denne veien er sentralt for å forstå kompleksiteten i bruk av L-bånd SAR-data, og bredden i mulige utviklingsaktiviteter.

### 5.2 Fra rådata til anvendbart produkt

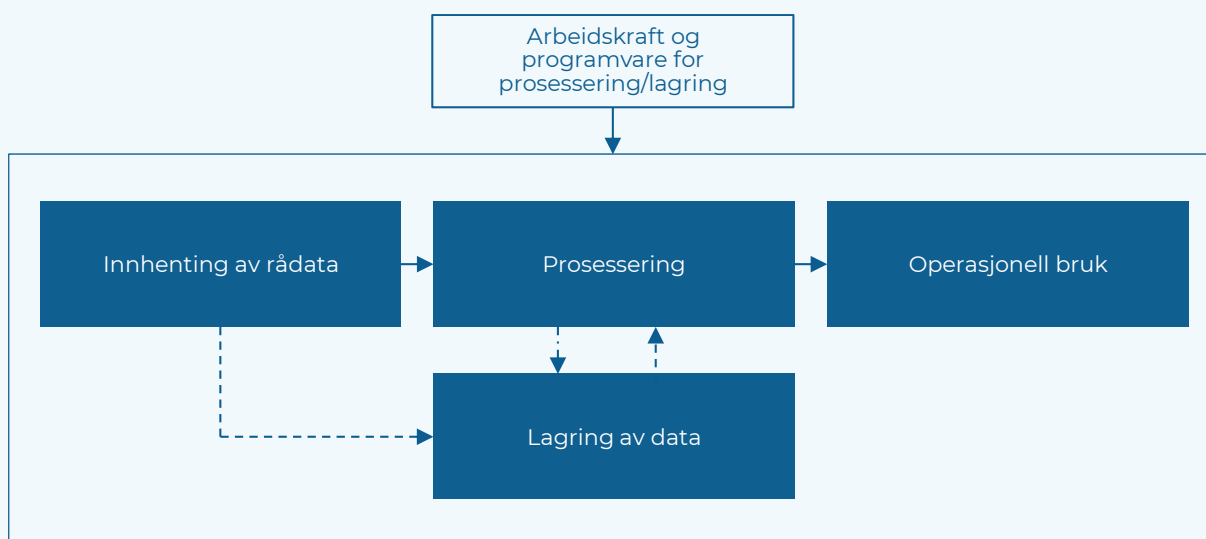
Fra rådataene til en SAR-satellitt leses ned og til dataene kan bidra med innsikt må de gjennom flere steg. Dataene må leses ned, prosesseres og klargjøres for bruk, og på hvert av disse stegene kreves både arbeidskraft og datakraft. I tillegg kan det være behov for at dataene lagres. I det videre gis en nærmere beskrivelse av hva som på hvert trinn er nødvendig å gjøre for at dataene skal komme til nytte.

#### 5.2.1 Innhenting av rådata

Data fra satellitter i EUs romprogrammer er i utgangspunktet fritt tilgjengelige. Det gjør det mulig for andre aktører, som Alaska Satellite Facility, å tilby data fra EU-satellittene som del av sine tjenester. Videre har Norge og flere andre land etablert nasjonal infrastruktur for å lese ned og prosessere data fra EUs satellitter direkte.

Når det gjelder data fra radarsatellitter har Norge valgt å etablere en nasjonal infrastruktur for innhenting og prosessering av data fra Sentinel-1. Årsaken er tiden det tar fra signalene leses ned og til dataene er tilgjengelig fra EUs systemer. Som

Figur 5-1: Prosessoversikt



medlem av EUs romprogrammer får Norge data raskere enn om vi ikke var medlem, men ikke raskt nok for den operasjonelle overvåkingen av både skipstrafikk og oljesøl. Også for andre anvendelser vil det å få data raskt være av stor betydning. Får man eksempelvis raskt kartlagt omfanget av et jordskred kan unødige preventive handlinger og advarsler unngås.

Det nasjonale bakkesegmentet er infrastrukturen Norge har bygget opp for nedlesning og prosessering av data, se Figur 5-2. Nasjonalt bakkesegment vil ha tilgang til data raskere og med høyere prioritet enn Alaska Satellite Facility.

## 5.2.2 Prosessering

Prosessering er en samlebetegnelse for bearbeidingen av signaler fra rådata og videre til analyseklare produkter. Både EU/ESA og NASA opererer med ulike prosesseringsnivåer, hvor det for dette formålet er tilstrekkelig å skille mellom nivå 0, 1 og 2. Rådataene som hentes fra enten EU, Alaska Satellite Facility, et nasjonalt bakkesegment eller andre kilder omtales som nivå 0.

Disse dataene er tidsordnet, noe som betyr at de er organisert i den rekkefølgen de ble samlet inn. Dataene er også komprimert for å redusere filstørrelsen og lette lagring og overføring. Videre er de ufokuserte, noe som betyr at de ikke har gjennomgått noen prosessering for å gjøre dem klare for analyse. Første steg i prosesseringen er å gjøre nivå 0-data om til nivå 1-data.

Hvordan prosesseringen utføres avhenger av hva dataene skal brukes til. Hovedskillet går på om dataene prosesseres til et Single Look Complex (SLC)- eller et Ground Range Detected (GRD)-produkt. Et SLC-produkt bevarer informasjon om både fase og intensitet, mens et GRD-produkt inneholder kun informasjon om signalenes intensitet. Ved å utnytte endringer i fasen kan selv små endringer i høyder detekteres, mens intensiteten til signalene kan avdekke hva slags type landskap det er som observeres med mer. SLC-produkter gir mulighet til å hente ut informasjon om bevegelse og SLC- krever følgelig mer lagringskapasitet enn et GRD-produkt. Et SLC-produkt er også mer komplisert å arbeide med.

For både SLC- og GRD-produkter er det grader av nivå 1 (nivå 1a, 1b, osv.), hvor hvert nivå innebærer en form for prosessering. Level 2 er betegnelsen på informasjonsprodukter uttrykt i geofysiske enheter, og omtales gjerne som et «analyseklart» produkt. Analyseklare produkter viser generelt til projiserte radarprodukter med maksimal mengde preprosessering slik at dataene enkelt kan brukes

Figur 5-2: Nasjonalt bakkesegments hovedelementer

### Satellittmottak og bakkestasjoner



Det nasjonale bakkesegmentet har bakkestasjoner som hovedsakelig ligger på Svalbard (SvalSat) og i Tromsø. Disse stasjonene kan motta signaler fra satellitter i polare baner, noe som gir dekning for viktige satellitter som Sentinel-1, -2, og -3 i Copernicus-programmet, samt andre forsknings- og miljøovervåkings satellitter. Antennene er designet for å motta og dekode data fra satellittene i sanntid eller i nær sanntid når de passerer over området.

### Nedlesning og datainnsamling



I det andre trinnet foregår nedlesning av data, der satellittene overfører rådata til bakkestasjonene. Denne dataoverføringen skjer typisk via radiofrekvenser, og mottaksutstyret konverterer signalene til digitale data som sendes videre til sentrale datanoder for innsamling og behandling. Dette sikrer at Norge mottar oppdaterte jordobservasjonsdata som kan brukes til ulike formål som værvarsling, miljøovervåking og sikkerhet.

### Dataprosessering



Dataprosesseringen innebærer en serie trinn som konverterer rådataene til anvendelige formater. Dette inkluderer kalibrering for å justere dataene til virkelige målinger, korrigering for atmosfæriske forstyrrelser og geometrisk justering for presis posisjonering. Dataene fra Sentinel-satellittene prosesseres til brukbare produkter som multispektrale bilder og høyoppløselige kart.

### Distribusjon og lagring



Etter prosessering lagres dataene i METs datasenter og distribueres gjennom satellittdata.no. Her har brukere tilgang til nye og historiske data. Rådata fra Sentinel-1, -2, og -3 over norske områder langtidslagres. I tillegg finnes det et korttidslager med global dekning for de samme satellittene, som slettes etter cirka ett år for å frigjøre plass til nye data.

av sluttbrukere som ikke er eksperter. Veien fra level 1 til level 2 inkluderer vanligvis støyreduksjon, speckle-filtrering inkludert multitemporal filtrering, radiometrisk kalibrering og geokoding av dataene.

Videre finnes også flere nivåer av prosessering, men oppmerksomheten i dette dokumentet er rettet mot veien fra nivå 0 til 2.

### Hva kreves for å prosessere?

Å prosessere SAR-data krever både datakraft til å drive prosessorene og arbeidskraft til å utvikle algoritmene som bearbeider dataene. Avanserte brukere av SAR-data i Norge, slik som KSAT, NORCE og FFI, har utviklet egne SAR-prosessorer fra nivå 0, mens flere av både nåværende og mulige fremtidige brukere av SAR-data har ikke denne muligheten. Eksempelvis anvender NVE data fra Sentinel-1 til kartlegging av snøskred, flomområder, innsjøis med mer. NVE henter nivå 1-data fra ASF og delvis satellittdata.no og prosesserer til tematiske kart selv på NVE-maskiner basert på programvare fra blant annet NORCE.

Når det gjelder Sentinel-1-data kan brukere som ikke selv prosesserer nå hente ferdigprosesserte bilder. Satellittdata.no, som er en del av det nasjonale bakkesegmentet, inneholder analyseklare scener fra Sentinel-1. Det betyr at den innledende prosesseringen er gjennomført. Aktører som ønsker å hente innsikt fra scenene må utvikle deteksjonsalgoritmer som kan fortelle hva det er som faktisk observeres. ESA jobber også med å etablere standarder til analyseferdige produkter (nivå 2). Det er også sannsynlig at analyseferdige produkter blir levert direkte fra ESA i framtiden (Sentinel Online; CEOS, 2021).

### 5.2.3 Lagring av data

Data fra satellitter i EUs romprogrammer er ikke bare tilgjengelige i nær sanntid. Det er også mulig å laste ned historiske data. Norge har imidlertid ingen garanti for at EU/ESA vil lagre og tilgjengeliggjøre historiske data over områder som Norge har interesse av i all fremtid. For Sentinel-1-data har derfor Norge etablert en nasjonal lagringskapasitet.

## 5.3 Mulige utviklingsaktiviteter/tiltak

Bruk av L-bånd SAR-data fra ROSE-L kan potensielt gi ny innsikt innenfor en rekke områder, fra sjøis-kartlegging, til overvåking av skred og til kartlegging av våtmarksområders utbredelse. For noen typer anvendelser er det kjent hvilke steg som må gjøres for at ROSE-L-dataene skal komme til nytte, og det finnes aktører som har ressurser til å

gjennomføre hvert av stegene. For andre typer anvendelser er kjennskapen til hva dataene kan brukes til begrenset. Gitt det store spennet av mulige anvendelser er det ikke et uniformt utviklingsbehov langs verdikjeden som alle anvendelser og aktører vil dra nytte av i like stor grad.

Utviklingsaktiviteter kan romme ulike typer tiltak og grovt sett grupperes i to kategorier: forskning- og utviklingstiltak og infrastrukturtiltak.

### 5.3.1 Tiltak for forskning og utvikling

Få brukere har i dag erfaring med bruk av L-bånd SAR-data, og kunnskap om hvordan data fra ROSE-L kan komme til nytte innenfor deres anvendelsesområder. I tiden fram til ROSE-L settes i drift kan det derfor være aktuelt å gi støtte til ulike FoU-initiativer. Oppmerksomheten i det videre er primært rettet mot mulige tiltak i perioden frem til oppskyting av ROSE-L, selv om samme type tiltak vil være aktuelle også når ROSE-L blir operativ. Tre typer FoU-tiltak diskuteres i det videre:

- tilgjengeliggjøring av L-bånd SAR-data
- støtte til utviklingsaktiviteter
- tilrettelegging av møteplasser

### Tilgjengeliggjøring av L-bånd SAR-data

For mange typer bruk av L-bånd SAR data eksisterer en forventning om at dataene kan komme til nytte. Vanskeligheten med å få regelmessig tilgang til data fra eksisterende L-bånd-satellitter har imidlertid gjort at få har fått testet om antagelsene stemmer. Oppskytingen av NISAR vil endre tilgangen til L-bånd SAR-data. NISAR vil ha en litt annen bane/innstilling av ROSE-L, men for mange mulige bruksområder kan likevel NISAR-data gi nyttig innsikt i hvordan L-bånd SAR-data kan komme til nytte.

Alle NISAR's vitenskapelige data, både for L- og S-bånd, vil være fritt tilgjengelige og åpne for offentligheten. Det er i tråd med NASAs politikk for åpen data innen jordvitenskap. NASA har valgt Alaska Satellite Facility Distributed Active Archive Center (DAAC) for å være vert for NISAR-data og -produkter. Det er likevel ikke gitt at alle brukere finner veien til dataene. Et mulig tiltak kan derfor være at det gis støtte til innsamling og tilgjengeliggjøring av data, og potensielt ferdigprosesserte bilder av en gitt oppløsning, på en nasjonal side. På denne måten vil terskelen for bruk reduseres.

### Støtte til utviklingsaktiviteter

Å tilgjengeliggjøre data gir ingen garanti for at dataene blir brukt. Basert på informasjon fra intervjuene vil trolig enkelte brukere selv samle

data og gjøre undersøkelser av dataenes nytte. Mange vil imidlertid ha begrensede muligheter til å foreta seg noe uten at det gis en form for økonomisk støtte. Blant disse finner en både etater som lurer på hvordan dataene kan bidra til å styrke måten de forvalter sine ansvarsområder, og forskningsinstitutter. Instituttene kan sitte med de samme spørsmål som etatene, men kan også være interesserte i å anvende data i sin grunnforskning. Videre vil det blant etater og institutter være ulik grad av kjennskap til hva som kreves av utvikling. Etatene har typisk mindre kjennskap til detaljene i verdikjeden for nedlesing og prosessering, men er nysgjerrige på hvilken innsikt de kan trekke ut av et ferdigprosessert bilde. Forskningsinstituttene har gjerne bedre kjennskap til hva som kreves på veien fra rådata til anvendbart produkt, og kompetanse til å utføre de ulike oppgavene.

I praksis gir dette flere mulige varianter for hvordan et tiltak som innebærer støtte til utviklingsaktiviteter kan utformes. Ulike varianter er:

- Gi støtte til forskningsinstitusjoner *eller* etater som igjen kan kontrahere forskere for å løse/undersøke et bestemt problem
- Gi støtte til forhåndsdefinerte aktiviteter *eller* la det være opp til aktuelle støttemottakere å beskrive hva de mener det er nyttig å forske på. I begge tilfeller behøves tydelige kriterier for prioritering

### Tilrettelegging av møteplasser

For å støtte opp under koordinering, kunnskapsdeling, læring og potensielle synergieffekter på tvers av aktører kan NRS være en pådriver for jevnlig møter. Dette kan sikre at aktører som ellers ikke ville snakket sammen kan lære av hverandre og potensielt inngå samarbeid.

### 5.3.2 Infrastrukturelt tiltak

Veien fra rådata til anvendbart produkt krever infrastruktur for prosessering. I tillegg kan det være behov for å lagre data nasjonalt. Data vil være tilgjengelig fra EU, men for at ROSE-L skal komme til nytte kan det, på samme måte som for Sentinel-1, være behov for å bygge infrastruktur nasjonalt. Fire mulige tiltak for etablering av infrastruktur diskuteres i det videre:

- infrastruktur for rask nedlesing og prosessering,
- infrastruktur for tilgjengeliggjøring av ferdigprosesserte data,
- infrastruktur for «on demand»-prosessering
- infrastruktur for lagring.

### Infrastruktur for rask nedlesing og prosessering

Avhengig av hva EU velger å gjøre, kan det for enkelte anvendelser være behov for å etablere nasjonal infrastruktur for rask nedlesing og prosessering av data. Det mest nærliggende vil da være å bruke den samme strukturen som i dag eksisterer for Sentinel-1-data. Dette innebærer at KSAT benytter en av sine eksisterende antenner til dette formålet, eventuelt setter opp en ny. Det nasjonale bakkesegmentet har tilstrekkelig linjekapasitet til å støtte infrastruktur for rask nedlesning av prosessering for ROSE-L.

Det er imidlertid viktig å påpeke bruken av data fra Sentinel-1 til overvåking av skipstrafikk og oljesøl ikke er noe som kommer fra det nasjonale bakkesegmentet direkte. KSAT får betalt for både å prosessere og tolke bildene som Kystverket benytter i sin overvåking

### Infrastruktur for tilgjengeliggjøring av ferdigprosesserte SAR-bilder

Mange mulige brukere av data fra ROSE-L behøver ikke data i nær sanntid, men de kan ha behov for støtte til prosessering av dataene. Særlig gjelder dette brukere som henter innsikt fra intensiteten til signalene. Brukere som anvender informasjon fra signalenes fase, er typisk mer avanserte brukere som ønsker å ha kontroll på prosesseringskjeden selv.

Et mulig tiltak kan derfor være å prosessere og tilgjengeliggjøring analyseklare GRD-scener/bilder etter modell av det som eksisterer for Sentinel-1. Dette vil kreve noe mer datakraft og noe mer lagringskapasitet hos MET.

Det er særlig to argumenter som kan tale for tilgjengeliggjøring av ferdigprosesserte SAR-bilder.

Det ene er muligheten til å unngå dublering av prosessering. I dag er det flere etater som anvender scener/bilder fra Sentinel-1. Scenene/bildene anvendes til ulike formål, men måten de prosesseres frem er i stor grad den samme. Dette er en viktig årsak til at det nå er etablert en felles prosessering for Sentinel-1, og argumentene vil være de samme for ROSE-L.

Det andre er muligheten for å senke terskelen for bruk. Det er mange etater/brukere som ikke selv har kapasitet eller kompetanse til å prosessere. Det å hente frem scener/bilder de kan tolke kan da være en barriere så stor at satellittdata ikke anvendes. En tilgjengeliggjøring av analyseklare scener/bilder gir ingen garanti for bruk og nytte,



men det senker terskelen for faktisk å sjekke ut om satellittdata kan komme til nytte.

Risikoen ved etableringen av en nasjonal prosesseringskapasitet er at scenene/bildene som tilgjengeliggjøres bare *nesten* blir det som etterspørres. Det må tas en rekke valg under prosessering, knyttet til oppløsning, kartprojeksjon osv., som i ulik grad kan/vil være tilpasset ulike aktørers behov. Dette faktorer som må med i vurderingen av hvilke tiltak som bør prioriteres. ESA jobber også med å etablere standarder til analyseferdige produkter (nivå 2), og det er sannsynlig at analyseferdige produkter blir levert direkte fra ESA i framtiden (Sentinel Online, online; CEOS, 2021)

### Infrastruktur for «on-demand»-prosessering

Det mulige tiltaket som ble beskrevet i forrige avsnitt innebærer å tilgjengeliggjøre ferdig-prosesserte bilder. Risikoen ved dette er at de ferdigprosesserte bildene ikke treffer brukernes behov. Et alternativ er derfor å gjøre en «on-demand»-prosesseringstjeneste tilgjengelig for norske brukere. Dette innebærer å stille til rådighet både fleksibel programvare, regnekraft og datalagring der avanserte brukere kan spesifisere

prosesseringsparametere for de produkter de ønsker å bestille.

### Infrastruktur for lagring av data

Historiske data fra ROSE-L vil være tilgjengelige fra EU/ESAs arkiver, men Norge har ingen garanti for hvor langt tilbake i tid EU/ESA vil lagre data av interesse for Norge. Uavhengig av om det etableres en nasjonal prosesseringskapasitet kan det derfor være aktuelt å etablere en nasjonal infrastruktur for lagring av data.

Slike hensyn vil være særlig relevante å vektlegge i lys av målene som ble vedtatt for norsk rom-sikkerhet i 2020. To av disse målene vektlegger sikkerhetspolitiske hensyn: målet om tilfredsstillende sikring av samfunnsviktig rominfrastruktur og målet om å sikre norske utenriks-, sikkerhets- og forsvarspolitiske interesser i romvirksomhet.

Etablering av en nasjonal lagringskapasitet kan gjøres på ulike måter, men i stort vil det kreve prosesseringskraft, servere og lokaler disse kan stå i og arbeidskraft for drift og vedlikehold. Det vil også måtte regnes inn relativt hyppig totalutskifting av utstyr for å sikre forsvarlig kontinuerlig tjenesteleveranse. Utstyret for dagens nasjonale bakkesegment skiftes ut hvert tredje år av denne grunnen.

## 6. Rammeverk for prioritering av tiltak

*For å prioritere de aktuelle tiltakene kreves et rammeverk. For prioritering av forsknings- og utviklingstiltak foreslås en stegvis prosess hvor tilleggsverdien av ROSE-L-data, samfunnsverdien av NRS' bidrag, kostnader og øvrige momenter vurderes. For infrastrukturtiltak inkluderer rammeverket en vurdering av hva som vil skje i fravær av tiltak og hva nytten og kostnaden av ny infrastruktur er.*

### 6.1 Kriterier for prioritering

Det styrende prinsippet for prioritering av tiltak bør være at Norsk Romsenter, som offentlig instans, bidrar til størst nytte for samfunnet per krone investert. Prioriteringen av utviklingsaktiviteter bør derfor være tuftet på en samfunnsøkonomisk lønnsomhetsvurdering.

Som en del av arbeidet med veikartet er det derfor utviklet rammeverk for prioritering av tiltak som er tuftet på samfunnsøkonomiske analyser, et for prioritering av FoU-tiltak og et for prioritering av infrastrukturtiltak.

### 6.2 Rammeverk for prioritering av FoU-tiltak

Data fra ROSE-L har ingen direkte nytte; nytten avhenger av hvordan dataene kan bidra til bedre beslutninger på viktige samfunnsområder. Det grunnleggende prinsippet er at Norsk Romsenter bør støtte utviklingsløpene som gir størst samfunnsnytte per krone investert. For å gjøre vurderingen av samfunnsnytte henter vi inspirasjon fra måten virkninger som er krevende å prissette, verdsettes i samfunnsøkonomiske analyser. Vi vurderer både tilleggsverdien en anvendelse har av ROSE-L og samfunnsverdien av anvendelsene.

I prinsippet kan en rangering basert på hvilken tilleggsverdi ROSE-L har for ulike anvendelsesområder og etter hvilken verdi anvendelsesområdene har for samfunnet, og at totalen av de to rangeringene er bestemmende for hvilke utviklingsløp som bør bli prioritert. I praksis er det, uten en betydelig ressursinnsats, krevende å finne måter for å objektivt rangere

anvendelsesområdene basert på deres samfunnsverdi..

Rammeverket tar utgangspunkt i en rangering av anvendelser basert på tilleggsverdien ROSE-L antas å ha for de aktuelle anvendelsesområdene. Istedenfor en separat rangering av samfunnsverdi vurderes det om rangeringen endres som følge av anvendelsens samfunnsverdi og/eller utviklingsløpenes kostnader. En nærmere beskrivelse av stegene følger nedenfor.

#### Steg for å avgjøre prioritering



**Ranger anvendelsene basert på tilleggsverdien ROSE-L antas å gi dem**



**Vurder om rangeringen endres som følge av:**

- Anvendelsens samfunnsverdi
- Utviklingsløpets kostnader



**Foreta en samlet vurdering**

#### 6.2.1 Tilleggsverdi

I vurderingen av tilleggsverdi er det sentrale vurderingskriteriet hvor mye bedre informasjonsgrunnlaget blir med data fra ROSE-L. Det er flere måter data fra ROSE-L kan gi en tilleggsverdi utover det informasjonsgrunnlag som allerede er tilgjengelig. I noen tilfeller kan L-bånd SAR-sensoren gi ny informasjon. Dette vil eksempelvis være tilfelle for overvåkning av geofarer i vegeterte områder. I andre tilfeller kan tilleggsverdien komme av at ROSE-L, i kombinasjon med Sentinel-1, gir hyppigere opptak fra radarsatellitter. Dette kan utgjøre en stor forskjell for enkelte anvendelser, for eksempel for deteksjon av snøskred. Videre er det anvendelser som har nytte av både L-bånd SAR-sensoren til ROSE-L og hyppigere opptak, noe tilfellet antas å være for kartlegging av sjøisens posisjon og bevegelse.

For å vurdere tilleggsverdi anvendes en firedelt skala: liten, middels, stor og meget stor.

#### 6.2.2 Samfunnsverdien av NRS' bidrag

I vurderingen av samfunnsnyttan anbefales det å både se til verdien anvendelsen har for samfunnet og om støtte fra NRS vil ha en utløsende verdi.

Å fastslå verdien til gitte anvendelser for samfunnet er ingen eksakt vitenskap, men for å strukturere vurderingene foreslår vi å ta utgangspunkt i *typen beslutninger* som anvendelsen underbygger. I hovedsak kan anvendelsene grupperes i tre hovedområder:

1. Samfunnssikkerhet og beredskap
2. Klima og miljø
3. Ressursforvaltning

Det vil kunne være noe overlapp mellom disse områdene. For eksempel vil det kunne være tilfelle at anvendelser gruppert under klima og miljø også har relevans for samfunnssikkerhet og beredskap, særlig i forbindelse med klimaforandringer. Vi avgrenser her samfunnssikkerhet og beredskap til å dreie seg om mer nærliggende, umiddelbare hensyn.

Alt annet likt mener vi det kan legges til grunn at anvendelser som bidrar til økt samfunnssikkerhet i beredskap har høyere verdi enn anvendelser som bidrar til økt forståelse av endringer i klima og miljø, som igjen har høyere verdi enn anvendelser som bidrar til bedre ressursforvaltning.

Rangeringen er basert på hvor tiltak fra NRS antas å utgjøre størst forskjell. Hovedområde *Ressursforvaltning* antas å ha størst kommersielt potensial. Sannsynligheten er dermed større for at markedet vil finansiere utviklingstiltak innenfor dette området, enn de to øvrige. Dermed blir også behovet for støtte fra Norsk Romsenter mindre. Hovedområdet *Samfunnssikkerhet og beredskap* rangeres foran *Klima og miljø* fordi området i større grad handler om anvendelser tilpasset norske forhold, og hvor tiltak for NRS i større grad er utløsende. Det er eksempelvis Norge selv som må sørge for overvåking av oljesøl i norske havområder, og geofarer i Norge, mens spørsmål knyttet til klima og miljø har internasjonal relevans og interesse. Sannsynligheten er dermed større for FoU-tiltak innen Klima og miljø vi finansieres uten støtte fra Norsk Romsenter.

Det vil være ulike oppfatninger av hva som bør tillegges vekt, men for å prioritere må det gjøres noen forutsetninger. Det er imidlertid viktig å være tydelig på hvilke forutsetninger som ligger til grunn for prioriteringene.

### 6.2.3 Kostnader

Vurderingen av tilleggsverdi og samfunnsverdi handler om nyttesiden. For å vurdere hvilke utviklingstiltak som gir størst nytte per krone investert er det nødvendig å også se på kostnadene ved ulike utviklingsløp. Det er særlig tre momenter

det er relevant å se hen til i vurderingen av kostnader, utviklingsløpenes *modenhet*, *synergier* og *tilgjengelige testdata*.

*Modenhet* refererer til i hvilken grad det tidligere er gjort studier/analyser av potensialet ved bruk av L-bånd SAR-data. Alt annet likt vil det være bedre å støtte anvendelsesområder som behøver mindre utvikling for å øke samfunnsnytteten.

*Synergier* referer til i hvilken grad det er mulig å støtte flere typer anvendelsesområder med samme type utviklingstiltak. Dette vil, alt annet likt, gjøre tiltaket mer effektivt.

*Tilgjengelige testdata* refererer til i hvilken grad det er L-bånd SAR-data tilgjengelig for å teste ut de ulike anvendelser i en preoperasjonell fase.

### 6.2.4 Øvrige momenter

I utgangspunktet skal vurderinger av tilleggsverdi, samfunnsnytte og kostnader være tilstrekkelige for å prioritere. Likevel kan det være at beslutningstaker ser en strategisk/politisk betydning av enkelte anvendelser som ikke reflekteres i samfunnsverdien. For eksempel vil det kunne være tungtveiende strategiske hensyn som taler for prioritering av anvendelser knyttet til nord-områdene, hvor det for NRS er en ambisjon at Norge skal være fremst på både å overvåke og å forstå hva som skjer av endringer i klima og miljø.

Dersom dette tillegges vekt, må det tydelig begrunnes.

### 6.2.5 Samlet vurdering

Til slutt gjøres en samlet vurdering av hvilke utviklingsløp som prioriteres, med utgangspunkt i kriteriene: tilleggsverdi, samfunnsnytte, kostnader og eventuelle øvrige hensyn.

## 6.3 Rammeverk for prioritering av infrastrukturtiltak

For å vurdere lønnsomheten til investeringer i infrastrukturtiltak er det mulig å anvende en mer rendyrket samfunnsøkonomisk analyse enn for prioritering av FoU-tiltak. Framgangsmåten innebærer å vurdere nytte og kostnader med utgangspunkt i hva som skjer i fravær av tiltak (nullalternativet).

### 6.3.1 Hva skjer i fravær av tiltak?

EU har en åpen datapolicy. Det betyr at data fra ROSE-L vil gjøres tilgjengelige for norske brukere, også uten ytterligere tiltak fra Norsk Romsenter.

Enkelte brukere stiller imidlertid krav til dataene utover standarden på det som leveres av EU for at dataene skal komme til nytte. Behovet for, og nytten av, nasjonale utviklingstiltak vil i stor grad avhenge av:

- Hvilke data vil EU tilgjengeliggjøre?
- Hvor hurtig vil EU tilgjengeliggjøre data?
- Hva vil nivået på lagringstjenestene være når det gjelder oppetid, tilgjengelighet, sikkerhet etc.?

*Tilgjengeliggjøring* handler om hvilken grad av prosessering dataene som EU tilgjengeliggjør har gjennomgått, det vil si om det primært er rådata som gjøres tilgjengelig eller om det også tilgjengeliggjøres data som er prosessert til høyere nivåer. For data som er prosessert til høyere nivåer er det videre relevant å vurdere hvilke justeringer som er gjort og om disse er tilpasset norske forhold. Tidligere har det for eksempel vist seg at høyde-modellen som EU har anvendt til projisering av data ikke har vært egnet til bruk over norske landområder.

*Hurtighet* handler om tiden det tar fra signalene sendes fra satellitten til dataene kan tolkes av norske brukere. Som beskrevet tidligere stiller enkelte anvendelser strenge krav til hurtighet.

*Nivå* på lagringstjenestene handler om hvilken policy EU vil ha for lagring av dataene, inkludert hvor langt tilbake i tid data vil være tilgjengelig. Kunnskap om disse tre spørsmålene er sentralt for å vurdere lønnsomheten av nasjonale infrastrukturtiltak.

### 6.3.2 Hva er nytten av ny infrastruktur?

Med kunnskap om hva EU kan tilby vil neste steg være en kartlegging av hvilken nytte en ny type nasjonal infrastruktur vil tilføre.

For spørsmål om nytten ved å investere i rask prosessering, ferdigprosessering og/eller «on demand»-prosessering vil første steg være å identifisere hvem som vil bruke den nye infrastrukturen. Neste steg blir å stille spørsmål ved

hvilken tilleggsverdi den nye infrastrukturen vil ha for de enkelte brukernes operasjoner.

Nasjonal lagringskapasitet er mer komplisert. For nyttevurderingen er det hensiktsmessig blant annet med informasjon om hvor mange som leter frem historiske data, men spørsmålet om lagring berører også vurderingen av betydningen av en nasjonal egenegne. Romsektoren er en strategisk viktig sektor, hvor Norge på enkelte områder ønsker å opprettholde en nasjonal egenegne, selv om det isolert sett og på kort sikt kan være mer lønnsomt å sette bort oppgaven til EU/ESA eller kommersielle aktører. For data kan det være nyttig for Norge å ha et eget lager for ettertiden heller enn å basere seg på at andre tar vare på dataene.

### 6.3.3 Hva er kostnaden av ny infrastruktur?

Etter å ha vurdert nytten vil det neste steget være å vurdere kostandene. Det må innhentes oppdaterte estimer på hva det vil koste å etablere og drifte infrastrukturen. Kostnadene avhenger av en rekke faktorer utenfor Norsk Romsenters kontroll. Kostnadskomponenter som i større eller mindre grad inngår i alle infrastrukturtiltakene er:

- Nødvendig teknologi
- Kapasitet
- Bygg/fasiliteter
- Opplæring

I tillegg kommer kostnader til drift i form av energi, arbeidskraft og vedlikehold. For tiltakenes kostnader vil det også være av betydning hvordan kostnadene for prosessering og lagring av data ikke bare er per nå, men også hvordan de forventes å utvikle seg. Kostnadsvurderingen bør derfor, så godt det lar seg gjøre, ta hensyn til hva andre statlige og ikke-statlige aktører, som Google, Amazon og NASA, forventes eller kan forventes å gjøre.

### 6.3.4 Samlet vurdering

Til slutt foretas en samlet vurdering basert på de foregående elementene.

## 7. Veien videre

*Vi anbefaler at NRS introduserer ulike tiltak de kommende årene. Tiltakene inkluderer å utlyse midler, tilgjengeliggjøre L-bånd SAR-data, støtte deltakelse i internasjonale fora og lage møteplasser for diskusjon. I kapitlet redegjør vi for disse tiltakene og gir et eksempel på hvordan tiltak kan prioriteres mot ulike anvendelser basert på rammeverk introdusert i forrige kapittel.*

### 7.1 Prioriterte tiltak

Mye er fortsatt usikkert rundt hvordan ROSE-L vil operere, hvordan EU vil tilgjengeliggjøre data og hvordan ROSE-L best kan komme til nytte for ulike typer anvendelser. Med dette som bakteppe, og med mål om størst mulig nytte av ROSE-L, anbefaler vi at NRS iverksetter følgende tiltak de kommende årene:

- Utlys midler til forskning og utvikling på konkrete anvendelser av dataene
- Tilgjengeliggjør data fra L-bånd-satellitter og følg med på bruk av disse dataene for å bedre forstå tilleggsverdien av dem
- Følg med på bruk og nytte av fellestjenestene til Sentinel-1
- Støtt deltakelse av norske forskere/bedrifter i internasjonale fora i regi av EU/ESA
- Lag møteplasser for diskusjoner om bruk/nytte av L-bånd-data

I det videre gis en nærmere begrunnelse for tiltakene. Kapitlet avsluttes med en tentativ fremdriftsplan for arbeid frem mot oppskytingen av ROSE-L.

Vi tar forbehold om at vi i vår vurdering ikke har tatt hensyn til kostnadene ved de foreslåtte tiltakene, da vi ikke kjenner disse. Vi har heller ikke forsøkt å beregne hvilke økonomiske rammer som er nødvendige. Prioriteringslisten må ses i lys av dette.

### 7.2 Utlys midler til forskning

Det finnes en rekke spennende muligheter for bruk av L-bånd SAR-data, og vår anbefaling er at NRS støtter et eller flere utviklingsløp, avhengig av mengden midler som er til disposisjon. Prioriteringen av utviklingstiltak kan gjøres på to måter. Den ene måten er å la aktørene konkurrere om midler gjennom deres beskrivelser av hvilken

nytte utviklingsløpet deres vil tilføre samfunnet. Det andre er at NRS selv peker på prioriterte utviklingsløp. Kapittel 6 presenterte et rammeverk som kan benyttes for å gjøre slike prioriteringer.

Vår anbefaling er i utgangspunktet å la det være opp til aktørene å konkurrere om midler, men NRS har ønsket å se hvordan rammeverket kan anvendes i praksis. Med utgangspunkt i mulige anvendelsesområder vil vi videre i dette kapitlet vurdere hva som bør prioriteres basert på rammeverket fra kapittel 6.

#### 7.2.1 Rangering etter antatt tilleggsverdi med ROSE-L

I Tabell 7-1 vises en rangering av anvendelsesområder basert på vår vurdering av hvilken tilleggsverdi ROSE-L vil ha. Vi antar eksempelvis at ROSE-L, gjennom både sin sensor og gjennom hyppigere oppdateringer vil ha stor tilleggsverdi for informasjon om både sjøis og nedsynkning. Samtidig antar vi at ROSE-L vil ha lavere tilleggsverdi for informasjon om strøm, vind og bølger på havet.

Det er flere anvendelser som vurderes å kunne ha en stor tilleggsverdi av ROSE-L. Tilleggsverdi, rangert på en firedelt skala, gir derfor ikke alene et grunnlag for å foreta en prioritering av utviklingsløp. Det må i tillegg ses hen til utviklingsløpenes samfunnsverdi og deres kostnader. Påvirkes rangeringen av samfunnsverdien av anvendelsen?

I vurderingen av samfunnsverdi er oppmerksomheten i første omgang rettet mot de fem områdene som antas å få et vesentlig bedre informasjonsgrunnlag med ROSE-L. Som nevnt i presentasjonen av rammeverket kan det i utgangspunktet argumenteres for at informasjon som bidrar til økt samfunnssikkerhet og beredskap er det viktigste, etterfulgt av informasjon som bidrar til økt forståelse av endringer i klima og miljø og til slutt informasjon som i hovedsak er ment å bidra til bedre ressursforvaltning. Dette gir følgende rangering av anvendelsene:

1. Sjøis: Posisjon/bevegelse (samfunnssikkerhet og beredskap)
2. Landskap: Nedsynkning (samfunnssikkerhet og beredskap)
3. Permafrost: Bevegelse (klima og miljø)
4. Jord: Fuktighet (ressursforvaltning)
5. Snø: Snømengde (SWE) (ressursforvaltning)



Tabell 7-1: Rangering av anvendelser etter tilleggsverdi

| Hovedområde  | Type info                                               | Tilleggsverdi | Type verdi       |
|--------------|---------------------------------------------------------|---------------|------------------|
| Sjøis        | Bevegelse, klassifisering, snødekke                     | 4             | Sensor/hyppighet |
| Landskap     | Nedsynkning                                             | 4             | Sensor           |
| Snø          | Snømengde (SWE)                                         | 4             | Sensor           |
| Jord         | Fuktighet, flom                                         | 4             | Sensor           |
| Permafrost   | Bevegelse                                               | 4             | Sensor           |
| Skipstrafikk | Overvåke skip                                           | 3             | Sensor/hyppighet |
| Oljesøl      | Deteksjon                                               | 3             | Sensor/hyppighet |
| Skred        | Snøskred, jordskred                                     | 2             | Hyppighet        |
| Skog         | Type, skogfall, biomasse                                | 2             | Sensor           |
| Isbreer      | Bevegelse, utbredelse, «grounding line», klassifisering | 2             | Sensor           |
| Hav          | Strøm, vind, bølger                                     | 1             | Usikkert         |
| Snø          | Fuktighet                                               | 1             | Hyppighet        |
| Innsjøis     | Utbredelse                                              | 1             | Hyppighet        |

Kilde: Oslo Economics/NORCE

Med samme argumentasjonsrekke kan det argumenteres for at det er anvendelser hvor informasjonsgrunnlaget i mindre grad forbedres av ROSE-L, men hvor informasjonen er av så stor betydning for Norge at utviklingsløpene bør prioriteres høyere. Overvåking av skipstrafikk og kartlegging av oljesøl er begge operasjonelle tjenester som Norge bruker betydelige ressurser på å opprettholde, og som handler om samfunns-sikkerhet og beredskap. Vi har imidlertid vurdert at verdien av disse beslutningene ikke veier opp for det relativt sett lavere tilleggsverdien som ROSE-L vil gi til disse anvendelsesområder. Dette ville sett annerledes ut om ROSE-L var planlagt å gå i samme bane som Sentinel-1.

## 7.2.2 Påvirker kostnader rangeringen?

Både informasjon om sjøis og informasjon om nedsynkning i landskapet antas å vesentlig forbedres med ROSE-L, og de adresserer begge spørsmål knyttet til samfunnssikkerhet og beredskap. Spørsmålet er derfor om det er forskjeller mellom de områdene på *modenhet*, *synergier* og/eller *tilgang til testdata*.

Når det gjelder modenhet er det gjort studier/analyser av potensialet ved bruk av L-bånd SAR-data for både sjøis og nedsynkning, og Norge har flere kompetente miljøer innen begge områder.

Når det gjelder synergier er det flere typer spørsmål om sjøisen som potensielt kan besvares med bruk av L-bånd SAR. Når det gjelder nedsynkning i landskapet overvåkes dette ved bruk av InSAR, og

det kan derfor være synergier mellom dette og andre anvendelser som bruker InSAR, inkludert kartlegging av bevegelsen til permafrost, isbreers bevegelse, «grounding line» og snømengde. Synergiene antas derfor å være større ved en støtte til FoU på nedsynkning.

Når det gjelder tilgang til testdata i en preoperasjonell fase antas denne å være bedre for nedsynkning enn for sjøis. Dette fordi NISAR antas å ha god dekning over fastlands-Norge, men mindre god dekning over de nordlige områder hvor sjøisen ligger.

## 7.2.3 Samlet vurdering

Basert på en samlet vurdering av tilleggsverdi, samfunnsnytte og kostnader er det vår vurdering at første prioritert bør være et utviklingsløp som ser på bruk av InSAR, med hovedvekt på nedsynkning i landskapet. Andre prioritert bør være et utviklingsløp som fokuserer på bruk av informasjon fra ROSE-L på sjøis, med hovedvekt på sjøisens posisjon og bevegelse. Resultatene kan så brukes som utgangspunkt for vurderinger av nye utviklingsløp.

Det er viktig å understreke at dette er våre vurderinger, og at det ikke finnes en fasit for hva som bør prioriteres. Andre aktører vil ha andre oppfatninger av prioriteringene, men om rangeringen foreslås endret bør det kunne begrunnes hvorfor. Er det fordi tilleggsverdien av informasjonen er større? Er det fordi

samfunnsnyttene av informasjonen er større? Eller er det fordi kostnadene er lavere?

### 7.3 Tilgjengeliggjør data

Som beskrevet tidligere finnes det satellitter i bane med L-bånd SAR-sensorer, og det vil bli flere med oppskytingen av NISAR. Tilgang til disse dataene vil være nødvendig for å teste hvilken nytte L-bånd SAR-data har for ulike anvendelser, som diskutert i omtalen av støtte til FoU. Vi anbefaler derfor at NRS, i forkant av en eventuell utlysning, sikrer at brukere kan få tilgang til data. Dialog med japanske myndigheter om tilgang til data fra ALOS anses å være et aktuelt alternativ.

Videre bør tilgang til data være et punkt på agendaen under de foreslåtte seminarene. Om potensielle brukere har problemer med tilgang til NISAR-data når den kommer i drift, bør NRS i dialog med MET vurdere om data for en periode skal gjøres tilgjengelig på satellittdata.no eller andre egnede plattformer.

### 7.4 Følg med på bruk av nytte av fellestjenester

Det er for tidlig å beslutte om Norge skal investere i infrastruktur som gir raskere og/eller ferdig-prosesserte bilder fra ROSE-L. Vår anbefaling er derfor at NRS sørger for å samle kunnskap som er nødvendig for å beslutte en eventuell investering når oppskyting av ROSE-L nærmer seg. Som beskrevet i kapittel 6.3 vil nytten av en investering avhenge av hva EU gjør, hvem som vil bruke infrastrukturen og hva det vil koste.

Støtten til deltakelse i internasjonale fora (omtalt i neste avsnitt) sørger for kunnskap om hva EU gjør. Kostnader ved dette er det for tidlig å si noe om. NRS bør lyse ut et mindre oppdrag for å kartlegge bruk og nytte av dagens fellestjenester, og etablere et system for å følge med på dette over tid. Særlig vil det være nyttig med kunnskap om hvor mange som anvender ferdigprosesserte bilder, om det utløser ny bruk av data og/eller om det erstatter prosessering som aktørene selv gjorde før. På samme måte som tilgang til data bør bruk av fellestjenester være tema på de foreslåtte seminarene.

Graden av bruk av fellestjenestene for Sentinel-1 er en god indikasjon på antatt bruk av fellestjenestene også for ROSE-L.

### 7.5 Støtt deltakelse i internasjonale fora

Gjennom Norges medlemskap i ESA, og med kompetansen Norge har på bruk av SAR-data, får norske aktører typisk tilbud om å delta i arbeidsgrupper i ESA og/eller EU hvor ulike aspekter ved satellittenes innretning diskuteres. NRS bør oppfordre norske aktører til å delta, men i mange tilfeller er ikke deltakelsen betalt av ESA/EU. NRS bør derfor gi en form for kompensasjon dersom økonomi er en barriere for deltakelse.

### 7.6 Arranger møteplasser

Siden mye fortsatt er uvisst om mulig bruk og nytte av ROSE-L bør NRS legge til rette for at aktuelle brukere kan møtes for å utveksle informasjon seg imellom og med NRS med jevne mellomrom. Tema for disse møtene bør være:

- Ny innsikt i bruk av L-bånd SAR-data
- Nye utredningsbehov
- Behovet for tilgang til L-bånd SAR-data
- Bruk av fellestjenester

Formatet og intervallene på en slik seminar må tilpasses. Det finnes i dag etablerte strukturer hvor brukere av satellittdata kan møtes for å utveksle informasjon og erfaringer, eksempelvis *Copernicus brukerforum*. Kanskje kan dette være en arena for også å diskutere disse spørsmålene, eller kanskje er det behov for et eget arrangement for brukere av radardata. Videre er det ikke gitt at man behøver å treffes hver gang. Kanskje er det enkelte ganger tilstrekkelig at NRS sender ut informasjon til aktuelle brukere, med oppfordringer om å komme med innspill til utvalgte tema.

Innsikten NRS får på disse møtene gir et viktig grunnlag for å vurdere senere FoU-tiltak. Trolig vil man etter hvert få kunnskap nok til å kunne vurdere om midler skal anvendes til videre FoU, eller til mer målrettet implementering i eksisterende eller nye tjenester.

### 7.7 Fremdriftsplan

Tabell 7-2 viser en tentativ fremdriftsplan for NRS' aktiviteter fram mot oppskyting av ROSE-L. I planen er første steg at NRS undersøker muligheter for å sikre norske brukere enklere tilgang til L-bånd SAR data. Dette for å sikre tilgang til data for den/de som skal gjøre FoU i løpet av 2025. I 2025 bør det også igangsettes et arbeid med å etablere måter å følge med på bruk og nytte av det nasjonale bakkesegmentet for Sentinel-1. Dette arbeidet

følges opp frem mot slutten av 2028, og skal bidra til at NRS mot slutten av 2028 kan ta stilling til om det skal investeres i infrastruktur for prosessering og/eller lagring av ROSE-L-data.

Videre vil det første FoU-prosjektet lyses ut tredje kvartal 2025, og det legges opp til større eller mindre utlysninger hvert 3. kvartal frem mot oppskyting, avhengig av finansiering.

I 2026 antas NISAR å ha vært i drift noe tid, og NRS gjør da en ny undersøkelse av tilgang til data, og vurderer behov for tiltak for å gjøre NISAR-data mer tilgjengelig. Til slutt viser fremdriftsplanen at det legges opp til jevnlige kontaktpunkter med aktuelle brukere, og innspillene som der kommer frem vil naturligvis også styre hva NRS velger å prioritere av aktiviteter.

Tabell 7-2: Tiden frem mot oppskyting av ROSE-L

| Tiltak                              | 2025            |    |    |    | 2026 |    |    |    | 2027 |    |    |    | 2028 |    |    |    | 2029 |    |    |    |
|-------------------------------------|-----------------|----|----|----|------|----|----|----|------|----|----|----|------|----|----|----|------|----|----|----|
|                                     | Q1              | Q2 | Q3 | Q4 | Q1   | Q2 | Q3 | Q4 | Q1   | Q2 | Q3 | Q4 | Q1   | Q2 | Q3 | Q4 | Q1   | Q2 | Q3 | Q4 |
| Tilgjengeliggjør data               |                 |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |
| Utlyst midler til forskning         |                 |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |
| Følg med på bruk av fellestjenester |                 |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |
| Arranger møteplasser                |                 |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |
| <b>Tidspunkter</b>                  |                 |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |
| Oppskyting NISAR                    | Februar 2025    |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |
| Oppskyting ROSE-L                   | I løpet av 2029 |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |

## 8. Referanser

CEOS, Analysis Ready Data For Land: Normalized Radar Backscatter, Version 5.5, 2021, [https://ceos.org/ard/files/PFS/NRB/v5.5/CARD4L-PFS\\_NRB\\_v5.5.pdf](https://ceos.org/ard/files/PFS/NRB/v5.5/CARD4L-PFS_NRB_v5.5.pdf)

China Daily, 2023. *China's Earth observing satellites begin operation*. [Online]  
Available at: <https://www.chinadaily.com.cn/a/202312/30/WS658f7ddda3105f21a5079d0b.html>

ESA, 2018. *Copernicus L-band SAR Mission Requirements Document*. [Online]  
Available at: [https://esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/Copernicus\\_L-band\\_SAR\\_mission\\_ROSE-L\\_MRD\\_v2.0\\_issued.pdf](https://esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/Copernicus_L-band_SAR_mission_ROSE-L_MRD_v2.0_issued.pdf)

ESA, 2022. ROSE-L Science Support Plan (SSP) for Phase B2/C/D/EI.

Haarpaintner, J. & Hindberg, H., 2019. Multi-Temporal and Multi-Frequency SAR Analysis for Forest and Land Cover Mapping in the Mai-Ndombe District (DRC). *Remote Sens*, 11(24), p. 2999.

Iannini, L. & Davidson, M., 2023. *Copernicus ROSE-L Radar Observing System for Europe in L-Band*. [Online]  
Available at: [https://eo4society.esa.int/wp-content/uploads/2023/06/Day5\\_02\\_ROSE-L\\_KScipal.pdf](https://eo4society.esa.int/wp-content/uploads/2023/06/Day5_02_ROSE-L_KScipal.pdf)

Isoguchi, O. et al., 2019. Wind Speed Retrieval Using L-Band Cross-Polarization Measurements. *IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Yokohama, Japan*, pp. 5281-5284.

Isoguchi, O. & Shimada, M., 2009. An L-Band Ocean Geophysical Model Function Derived From PALSAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(7), pp. 1925-1936.

Johansson, A. M., Brekke, C., Spreen, G. & King, J. A., 2018. X-, C-, and L-band SAR signatures of newly formed sea ice in Arctic leads during winter and spring. *Remote Sensing of Environment*, Volume 204, pp. 162-180.

Karimzadeh, S. & Matsuoka, M., 2020. Ground displacement in East Azerbaijan Province, Iran, revealed by L-band and C-band InSAR analyses. *Sensors*, 20(23), p. 6913.

Mahmud, M. S. et al., 2022. C- and L-band SAR signatures of Arctic sea ice during freeze-up. *Remote Sensing of Environment*, Volume 279, p. 113129.

Malnes, E. et al., 2024. Multi-frequency synthetic aperture radar observations of avalanches and snow parameters in Svalbard. *Proceedings to ISSW24, International Snow Science workshop*.

Montuori, A. et al., 2018. Application and analysis of geodetic protocols for monitoring subsidence phenomena along on-shore hydrocarbon reservoirs. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 69, pp. 13-26.

NVE, 2021. *Snøtaksering*. [Online]  
Available at: <https://www.nve.no/vann-og-vassdrag/vannets-kretsloep/snoe/snotaksering/>

Oveisgharan, S., Zinke, R., Keskinen, Z. & Marshall, H. P., 2023. Estimating Snow Water Equivalent Using Sentinel-1 Repeat-Pass Interferometry. *IGARSS IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. 856-859.

Pulliainen, J., Luojus, K. & Derksen, C., 2020. Patterns and trends of Northern Hemisphere snow mass from 1980 to 2018. *Nature*, Volume 581, pp. 294-298.

Reiche, J. et al., 2016. Combining satellite data for better tropical forest monitoring. *Nature Climate Change*, 6(2), pp. 120-122.

Space Daily, 2024. *China Launches Land Surveyor Satellites, Bolstering Earth Observation Network*. [Online]  
Available at: [https://www.spacedaily.com/reports/China\\_Launches\\_Land\\_Surveyor\\_Satellites\\_Bolstering\\_Earth\\_Observation\\_Network\\_999.html](https://www.spacedaily.com/reports/China_Launches_Land_Surveyor_Satellites_Bolstering_Earth_Observation_Network_999.html)

Torbick, N., Chowdhury, D., Salas, W. & Qi, J., 2018. Monitoring Rice Agriculture across Myanmar Using Time Series Sentinel-1 Assisted by Landsat-8 and PALSAR-2. *Remote Sensing*, 9(2), p. 119.

Trier, Ø. D. et al., 2018. Multisensor forest vegetation height mapping methods for Tanzania. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), pp. 587-606.

Umarhadi, D. A. et al., 2021. Use of multifrequency (C-band and L-band) SAR data to monitor peat subsidence based on time-series SBAS InSAR technique. *Land Degradation & Development*, 32(16), pp. 4779-4794.

Zhang, X. et al., 2017. Validation Analysis of SMAP and AMSR2 Soil Moisture Products over the United States Using Ground-Based Measurements. *Remote Sensing*, 9(2), p. 104.





[www.osloeconomics.no](http://www.osloeconomics.no)

E-post og telefon:  
[post@osloeconomics.no](mailto:post@osloeconomics.no)  
+47 21 99 28 00

Besøksadresse:  
Klingenberggata 7A  
0161 Oslo

Postadresse:  
Postboks 1562 Vika  
0118 Oslo