

NORCE Skredfare og risiko

Introduksjon

Massebevegelse av snø, stein eller jord i skråninger forårsaker store farer i fjellområder rundt i verden. **Snøskred** er den dødeligste geofaren i Norge, på grunn av kombinasjonen av terreng- og snøegenskaper, samt meteorologiske variabler som gjør dem spesielt følsomme for klimatiske variasjoner. Samtidig er snøskred utfordrende å varsle. **Geologiske skred** (fjellskred, steinsprang, jordskred eller kvikkleireskred) kan også true infrastruktur og befolkning om de skjer i befolkede områder eller i daler/fjorder der de kan generere dam-utbrudd, flom og tsunami. Temperatur i bakken og nedbør påvirker skreddynamikken. Klimaendringer har derfor innvirkning på stabiliteten også av slike skred, men denne relasjonen er fortsatt dårlig forstått.

Konsekvensen av skred i samfunnet (**risiko**) er produktet av omfanget og intensiteten av hendelsene (**fare**) og egenskapene til muligens berørte personer eller infrastruktur (**sårbarhet og eksponisjon**). Alle disse elementene endrer seg på grunn av skiftende naturforhold (økende nedbør, temperatur, ekstreme værhendelser) og sosioøkonomiske strukturer (økende demografi og turisme, økende fattigdom). Det er derfor store **kunnskapshull** for å forstå skreddynamikken i **et klima i endring** og å løse kritiske operasjonelle utfordringer av offentlige og private aktører for å dempe risikoen i **et samfunn i endring**.

I dette dokumentet oppsummer vi vår de ulike NORCE tverrfaglige kompetansene som kan utnyttes til **1)** å utvikle avansert bakkebasert, flybasert og satellitt systemer, visualiserings og data analyse verktøy til å overvåke skred (**Energi og Teknologi**), **2)** å forstå miljøkontrollene og virkningen av klimaendringer på dynamikken av slike prosesser (**Klima og Miljø**), og **3)** å evaluere risikoen for befolkning og infrastruktur, utforme avbøtende løsninger og tilpasningsstrategier sammen med lokalsamfunnet og offentlige muntligheter (**Helse og Samfunn**).

Forfattere og forskningsgrupper

Medforfattere (alfabetisk rekkefølge): Elisabeth **Angell**, Simon John **Buckley**, Kjetil **Folgerø**, Jakob **Grahn**, Kjetil **Haukalid**, Heidi **Hindberg**, Rolf Ole **Jenssen**, Tor **Langeland**, Tom Rune **Lauknes**, Xiaodong **Luo**, Eirik **Malnes**, Stephanie **Mayer**, Geir **Nævdal**, Marie **Pontoppidan**, Line **Rouyet**, Andreas Størksen **Stordal**, Daniel **Stødle**, Agnar **Sivertsen**, Peter James **Thomas**, Hannah **Vickers**.

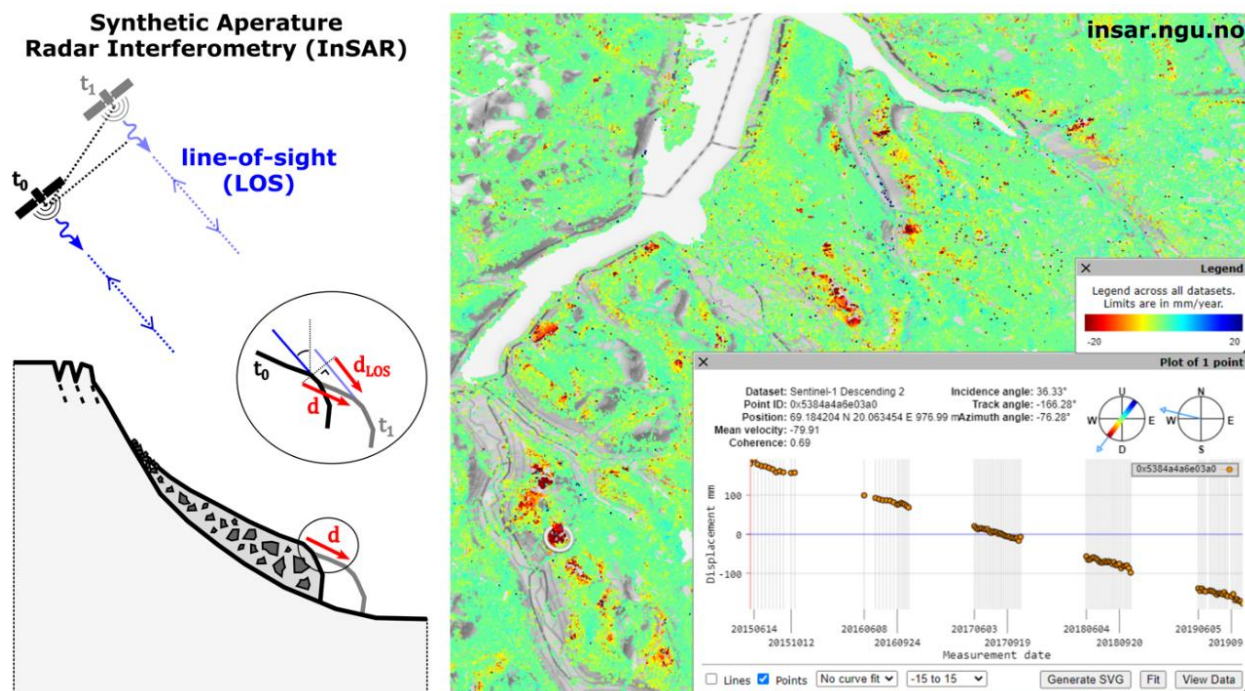
Forskningsgrupper: Earth Observation, Drones and Autonomous Systems, Data Assimilation and Optimization, Measurement Science, Digital Systems, Computational Geosciences and Modelling, Climate, Environment and Durability, Regional Climate, Forecasting Engine.

Radar fjernmåling

NORCE har lang erfaring med **Syntetisk Apertur Radar (SAR) signalbehandling og tidsserieanalyse** for å detektere og overvåke skred på storskala. Vår ekspertise dekker metoder som utnytter alle komponenter av komplekse SAR bilder basert på sensorer montert på satellitter, fly og terrestriske plattformer.

Radar Interferometri og offset tracking

Kontaktpersoner: Line Rouyet, Tom Rune Lauknes



Figur 1. Syntetisk Apertur Radar Interferometri (InSAR) for å måle bakkens bevegelser av gradvis glidende/deformerende fjellskråninger (fjellskred og krypende permafrost landformer).

SAR satellitter flyr i bane rundt jorden og tar jevnlig bilder av overflaten. Når man sammenligner bilder fra ulike tidspunkter, kan man detektere avstandsforskjell mellom sensoren og overflaten, langs radarens sikteretning (line-of-sight LOS). **Syntetisk Apertur Radar Interferometri (InSAR)** teknikken gjør det mulig å måle bakkens bevegelser med millimeter til centimeter oppløsning, og er derfor egnet til å **detektere, kartlegge og overvåke dyptliggende fjellskred og overflatiske krypende landformer** (Figur 1).

NORCE InSAR prosesseringskjede utgjør ryggraden i den operative **InSAR Norge karttjenesten** (<https://insar.ngu.no/>), spesielt brukt av geologer til å identifisere bevegelige objekter og vurdere tilknyttende faren. I tillegg har vi flere forskningsprosjekter som utnytter InSAR for å studere kinematikk av ustabile fjellskråninger og permafrost landforms på fastlandet og Svalbard.

Tapet av interferometrisk signalstabilitet kan begrense bruken av InSAR i områder med veldig rask bevegelse. I disse tilfellene kan man bruke en annen teknikk kalt **SAR offset tracking**.

Metoden er spesielt verdifull for å dokumentere objekter med en hastighet på flere meter i et år (f.eks. isbreer, destabiliserte steinbreer).

Radarsensorer kan også monteres på fly- eller bakkebaserte plattformer for å oppnå bedre romlige/tidsmessige oppløsninger og ha komplementære målegeometrier. NORCE eier en **terrestrisk radar, et Gamma Portable Radar Interferometer (GPRI)**. Med en GPRI kan man overvåke en skråning kontinuerlig med sekund/minutt oppløsning, og studere daglige hastighetsvariasjoner i sammenheng med eksterne driverne, som temperatur og nedbør. Det samme systemet kan brukes på snødekte overflater, og har potensiale til å oppdage millimeter snø deformasjon flere timer til dager før snøskred går.

Radar tilbakespredning og endringsdeteksjon

Kontaktpersoner: Hannah Vickers, Jakob Grahn, Rolf Ole Jenssen, Eirik Malnes

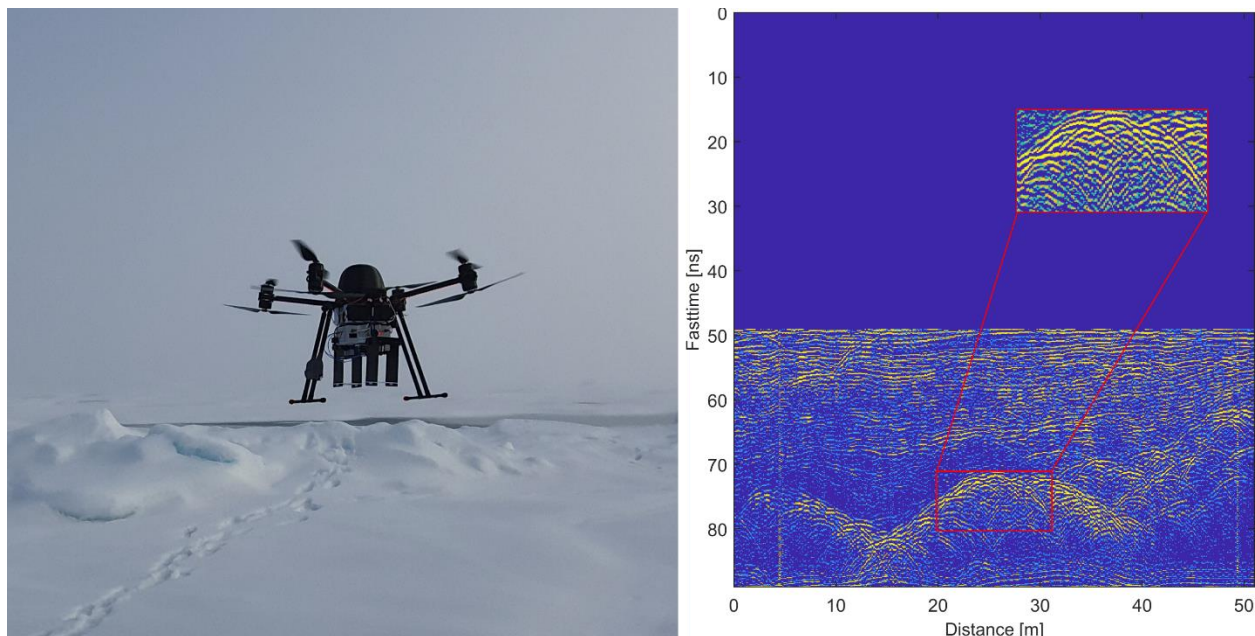


Figur 2. Snøskred deteksjon fra endring i SAR tilbakespredningskoeffisient basert på to satellittbilder tatt før og etter utgivelsen.

Når man utnytter **endringer av SAR tilbakespredningskoeffisient over tid**, kan snøskred oppdages på daglig basis i Norge (Figur 2). Disse daglige deteksjonene brukes av Norsk Skredvarslingstjeneste i regi av Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE) (www.satskred.nve.no) i deres skredvarslingsarbeid.

Tilstedeværelsen av **våt snø** kan være viktig ved flere skredfarer (f.eks. vanlige snøskred, sørpeskred, jordskred). NORCE har en lang historie med å bruke SAR for å oppdage våt snø, og har utviklet operative prosesseringskjeder. Et nåværende fokus er på langsiktig kartlegging av våt snø på Svalbard knyttet til regn-på-snø hendelser og skredfare. **Snødybde eller snøvannsekvivalent (SWE)** er viktige parametere for utløsning av snøskred. NORCE har flere prosjekter hvor vi fokuserer på disse parameterne både med satellitt- og flybaserte radarer.

NORCE har utviklet en **bakkegjennomtrengende radar (GPR: Ground Penetrating Radar)** som kan flys på droner (Figur 3). Den er i stand til å måle snødybde og lagdeling som er verdifull for å vurdere snøskredfare. GPR kan brukes til å måle **snøvannsekvivalent (SWE)**, oppdage personer begravet i snøskred og studere jordegenskaper ved å analysere differensialbølgepenetrasjonen.



Figur 3. Bakkens gjennomtrengende radar montert på drone for å måle snøegenskaper og snødybden.

Radartilbakespredning varierer med **jordfuktighetsinnhold (SMC: Soil Moisture Content)** og kan avledes fra SAR bilder. NORCE har et pågående prosjekt hvor vi prøver å etablere flere metoder for å utlede SMC. Både relative metoder (skalert tilbakespredning) og absolutte metoder hvor vi inverterer fysiske modeller for radartilbakespredning vurderes.

Overvåking av farer knyttet til dammer og vannreservoarer kan gjøres ved hjelp av SAR for å måle **utstrekning og nivå av innsjøer**. Overvåking av brebegrensede innsjøer og utbrudd (for eksempel Jökullaup) kan også gjøres. NORCE har langs erfaring med **flomovervåking** ved hjelp av SAR. Flom kan i noen tilfeller være en konsekvens av snøskred (f.eks. steinskred eller snøskred som slippes ut i elver og forårsaker elveutbrudd).

Endring av SAR-tilbakespredning kan til en viss grad knyttes til **frysing/tining av det øverste laget av jorda**, noe som er spesielt viktig i permafrostområder og kan spille en rolle i snøskredutslipp. NORCE har også testet ut flere metoder for å studere **kvikkleireskredet** i Gjerdrum 2020. Det er også studert **sørpeskred**, men det er kun store snøskred som kan påvises.

Optisk og hyperspektral fjernmåling

Ubemannede flysystemer eller droner

Kontaktpersoner: Agnar Sivertsen, Rolf Ole Jenssen

NORCE er den ledende institusjonen i Norge på utvikling av **ubemannede flysystemer eller droner**. Vi utvikler tilpassede droneplattformer, kontrollsystemer og kommunikasjonssystemer, som kan brukes til å ta opp bilder nyttige til skredfareapplikasjoner. Dronemonterte kameraer gjør det mulig å innhente **optiske eller hyperspektrale bilder med høy oppløsning** som er verdifulle for å detektere og kartlegge farlige områder.

Kombinert med **Surface from Motion (SfM)**-behandling, kan optiske bilder brukes til å gi detaljerte høydemodeller (**DEM: Digital Elevation Models**) av snø-, fjell- og jordskred. Til snøskred eller brå skredsvikt, kan man sammenligne to DEM generert fra bilder før og etter utgivelsen og deretter estimere **volumet av løsmassen**. Ved gradvise glidende prosesser kan DEM-sammenligningen tatt på ulike tidspunkter dokumentere **bakkens hastighet** av landformer.

Optisk fjernmåling fra satellitter og bemannede fly

Kontaktpersoner: Agnar Sivertsen, Eirik Malnes

Teknikker basert på dronebilder kan også brukes ved bruk av **optiske bilder fra satellitter og bemannede fly**, typisk med lavere romlig oppløsning, men større dekningsvev. NORCE har for eksempel brukt Sentinel-2 optiske bilder for snøskreddeteksjon på Grønland som et supplement til Sentinel-1 SAR-data.

På Svalbard har NORCE installert og testet en rekke av optiske bildesensorer på Lufttransport **Dornier-flyet** stasjonert i Longyearbyen som en del av **Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System (SIOS)** (https://sios-svalbard.org/research_aircraft). Flyet er konfigurert til å ta opp fly bilder og hyperspektrale fjernmålingsdata i tillegg til den normale transportoperasjonen. Rekkevidden til flyet tur/retur er 2400 km, noe som muliggjør en rekke geovitenskapelige anvendelser rundt Svalbard.

In-situ instrumentering og feltundersøkelse

Avansert in-situ sensorer

Kontaktpersoner: Peter James Thomas, Kjetil Haukalid, Kjetil Folgerø

NORCE har lang erfaring med **elektromagnetiske (EM) in-situ målinger**, modellering og sensorutvikling. EM-måleteknikker er generelt godt egnet til å måle grunnfuktigheten (vanninnhold i blandede materialer), på grunn av den store kontrasten mellom de dielektriske egenskapene til vannet og andre typiske stoffer som jord, stein, sedimenter, is og snø. Både distribuerte og punkt-baserte måleteknikker er tilgjengelige. Siden skredfare ofte er påvirket av bakkens fuktighet eller smelting av is/snø, kan in-situ EM-målinger være verdifulle både frittstående og i kombinasjon med fjernmålingsteknikker.

NORCE har det siste tiåret utviklet en betydelig prosjektportefølje på **fiberoptiske målinger, både til distribuert- og punktmålinger**. Dette inkluderer anvendelser hvor fiberoptiske målinger brukes til å detektere snø- jord og fjellskred langs veier og jernbaner, måle jordfuktighet og estimere snøvannekvivalent.

Feltundersøkelser

Kontaktpersoner: Hannah Vickers, Eirik Malnes

Avansert teknologi basert på nye sensorer og fjernmålingsteknikker må komplementeres og valideres av tradisjonelle feltundersøkelser. NORCE har god kunnskap og erfaring innen **feltmåling i fjell- og arktiske miljøer**. Regelmessige kampanjer for **snøprofilering og skredvurdering** utføres for å validere fjernmålingsprodukter.

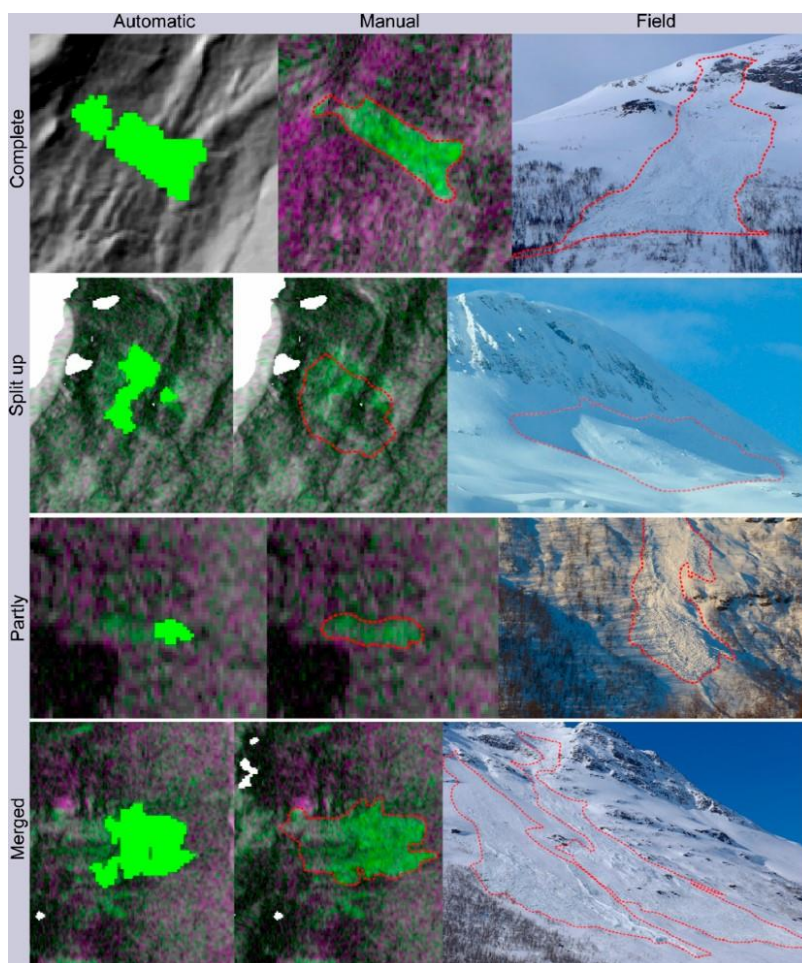
Data assimilering og Maskinlæring

Contact persons: Geir Nævdal, Xiaodong Luo, Andreas S. Stordal, Jakob Grahn

NORCE har en sterk gruppe innen **data assimilering** og har brukt det innenfor en rekke felt, inkludert oppdatering av petroleumsreservoarmodeller, medisinske modeller og snø- og hydrologiske modeller. I et prosjekt, finansiert av Statkraft, ble vår dataassimileringskompetanse utnyttet til å forbedre prognosene for vannkrafttilsig ved å assimilere snødata. Metoden har høyt potensiale til å bli anvendt til skredovervåking.

Maskinlæring, spesielt dyp læring, har vært mye brukt i datasynsoppgaver, f.eks. for **bildegjenkjenning og objekt deteksjon basert på fjernmålingsbilder**. Automatisk identifikasjon målrettet til skreddeteksjon kan også utføres basert på bildegjenkjenning og/eller objekt deteksjon fra tilpassende informasjonskilder, f.eks. SAR-satellittbilder ([Figur 4](#)).

Skredprediksjon kan potensielt oppnås ved hjelp av **multimodale maskinlæringsmodeller**. Snøskred oppstår ofte på grunn av ulike faktorer, f.eks. vær og topografisk forhold, menneskelige aktiviteter, osv. Derfor kan en prediksjonsmodell basert på maskinlæringsmetode utvikles og trenes på kommenterte multimodale data.



Figur 4. Resultater av snøskreddeteksjon ved bruk av maskinlæring basert på SAR bilder (automatisk deteksjon), sammenlignet med manual deteksjon og feltbilder.

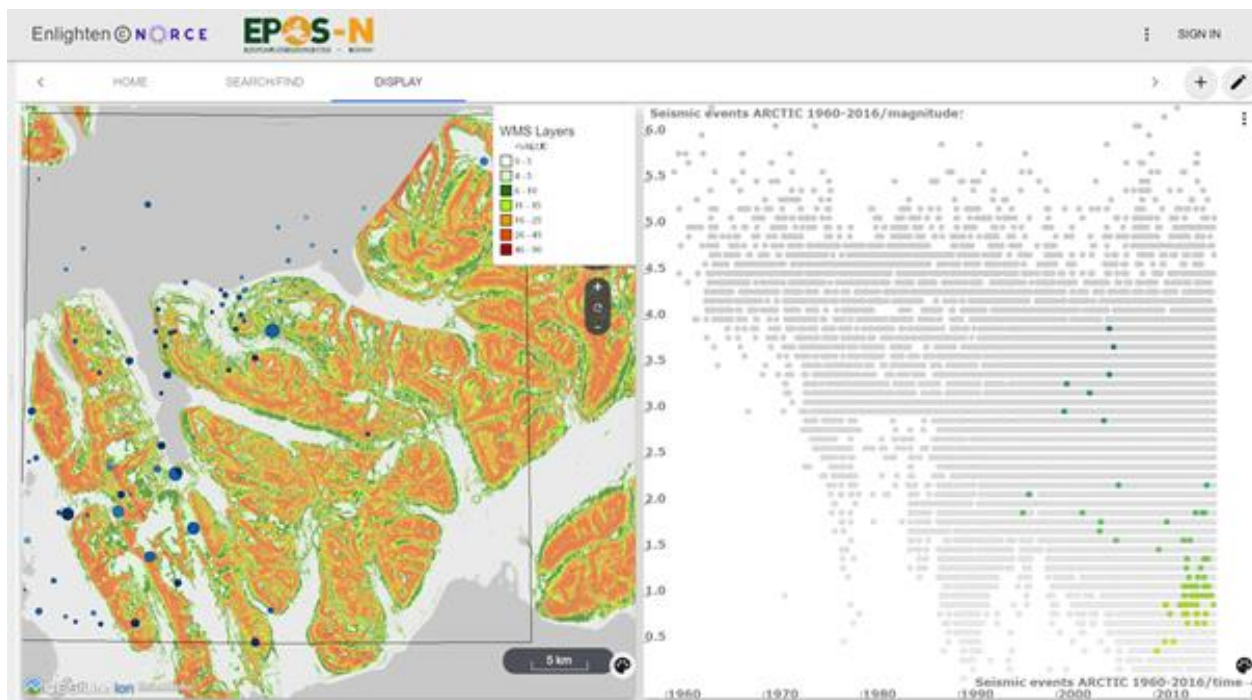
Geospatial analyse og visualisering

Enlighten-web

Kontaktperson: Tor Langeland

Enlighten er en web-applikasjon som brukes i flere nettportaler. **EPOS-Norge** (<https://epos-no.uib.no:444/>) er én av dem. Den gir tilgang til geovitenskapelige data i den norske noden i European Plate Observing System (EPOS) (Figur 5).

Enlighten-web forenkler **interaktiv visuell analyse av store flerdimensjonale datasett**. Figur 5 viser et eksempel på hvordan en bruker kan utforske informasjon om seismiske hendelser og sammenligne dem med informasjon om helning i terrenget for et område nær Longyearbyen på Svalbard. Plottet til høyre viser magnituder for hendelser over tid, mens hendelsene som befinner seg i det valgte området på kartet er uthevet.



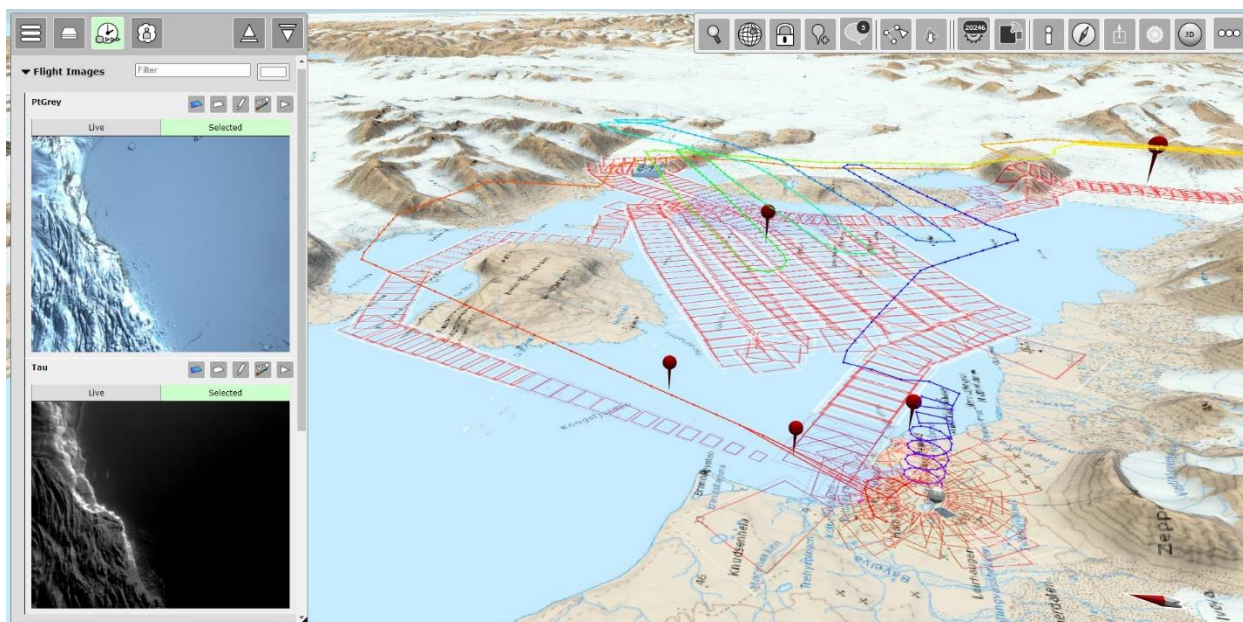
Figur 5. Enlighten-web teknologi brukt til å analysere fordeling og egenskaper for seismiske hendelser på den European Plate Observing System (EPOS) Norge nettportalen.

NLive

Kontaktperson: Daniel Stødle

NLive er et system utviklet av NORCE som muliggjør **høyytelsesvisualisering av georefererte og tidsstemplede datasett i 3D på en virtuell globus**, på nettet eller i virtuell virkelighet. Systemet kan vise både sanntids- og tidsstemplete datasett kombinert med ulike kart- og objektlag, som punkter eller bygninger. Tidsseriene kan representere ulike datatyper, for eksempel droneflyvninger, sensorlogger, AIS- eller transponderdata, luftkvalitetsmålinger, og mer. Systemet er svært utvidbart og tilpasningsdyktig, noe som muliggjør integrasjon med nye datasett og datakilder på en effektiv måte.

NLive er grunnlaget for flere av NORCEs anvendelser av 3D-visualisering på nettet. Det gir frontend til **InSAR Norge karttjenesten** (<https://insar.ngu.no>), og liggende tjenester utenfor Norge, f.eks. InSAR Sverige og den europeiske InSAR karttjenesten (European Ground Motion Service), slik at brukere kan visualisere datasett med grunndeformasjon som totalt er omtrent 100 TB. NLive er også brukt som 3D-visualiseringskomponenten i **European Space Agency Cryosphere Virtual Laboratory** (<https://cvl.eo.esa.int/>), og fungerer som en visualiseringslekeplass til interaktiv forskning og utvikling av nye algoritmer for prosessering av fjernmålingsdatasett. NLive har blitt brukt til **NORCEs droneaktiviteter, til å overvåke og dele flydata** både internt og eksternt (Figur 6).



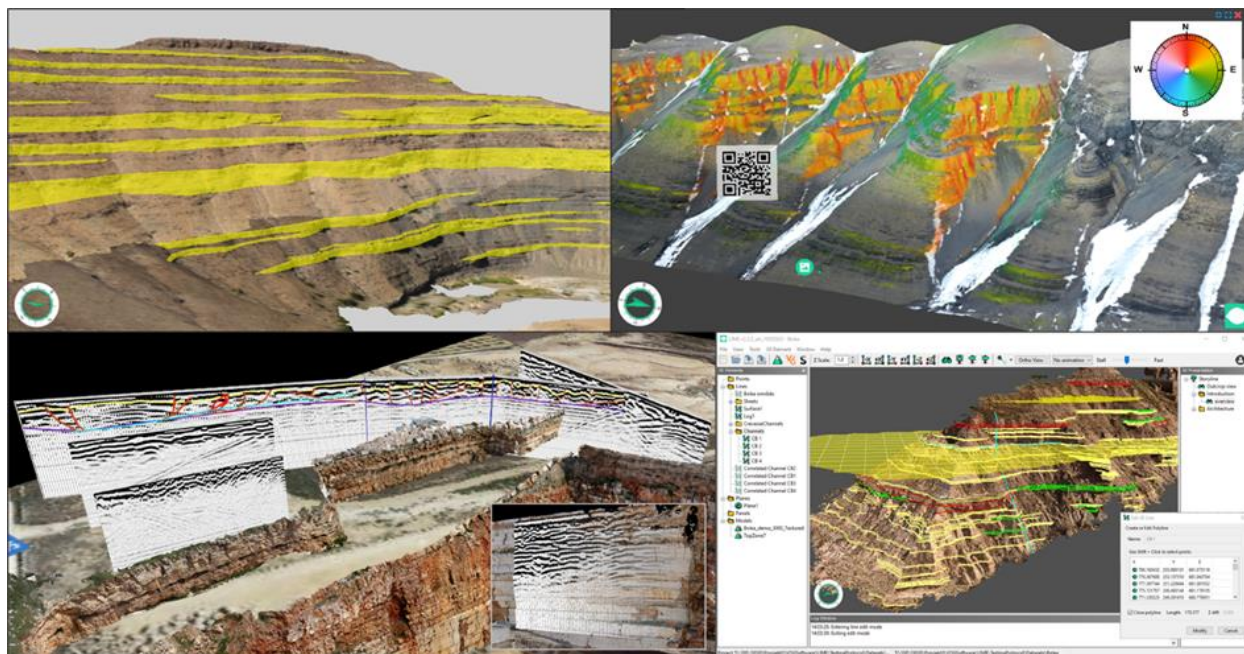
Figur 6. NLive visualisering av optiske og infrarøde bilder på fronten av en kalving isbre (venstre), flyspor og bildefotavtrykk fra droneflyvning i Ny-Ålesund, Svalbard (høyre).

LIME: visualisering, tolkning og presentasjon av 3D virtuelle geovitenskapelige modeller

Kontaktperson: Simon Buckley

LIME er en desktop programvare som har som formål å analysere, visualisere eller presentere 3D-modeller som vanligvis blir samlet inn ved bruk av lidar-skanning, fotogrammetri eller andre optiske fjernmålingsmetoder. Programvaren støtter vanlige filformater for 3D-modeller, og kan håndtere veldig **store og detaljerte modeller** ved å dele dem opp i mindre seksjoner og benytte en «out-of-core-rendering» algoritme for gjengivelse på skjerm. LIME har et enkelt brukergrensesnitt som er tilpasset forskere og profesjonelle brukere i geovitenskap med behov for å hente ut kvantitative og kvalitative resultater fra sine 3D-data. Visualiseringsinnstillingene kan endres dynamisk for å framheve orientering i terrengmodeller inkludert fall/helning og fall retning/utseende. Det er enkelt å kartlegge 3D-linjer, punkter, orienteringsflater og paneler, eller drapere over andre 2D-data som ett nytt lag på 3D-modellen. **LIME kan sette sammen forskjellige GIS data** (høydemodeller, georeferert bilder/kart osv.), geofysiske seksjoner, felt data (sedimentær logs, bilder, undergrunns data) og bilde fra andre optiske sensorer

(multi/hyperspektrale eller termale bilder). Basert på disse varierte dataene kan LIME brukes til å lage 3D-presentasjoner, opplærings- og kursmateriell, samt virtuelle ekskursjoner ved hjelp av de innebygde presentasjonsverktøyene.

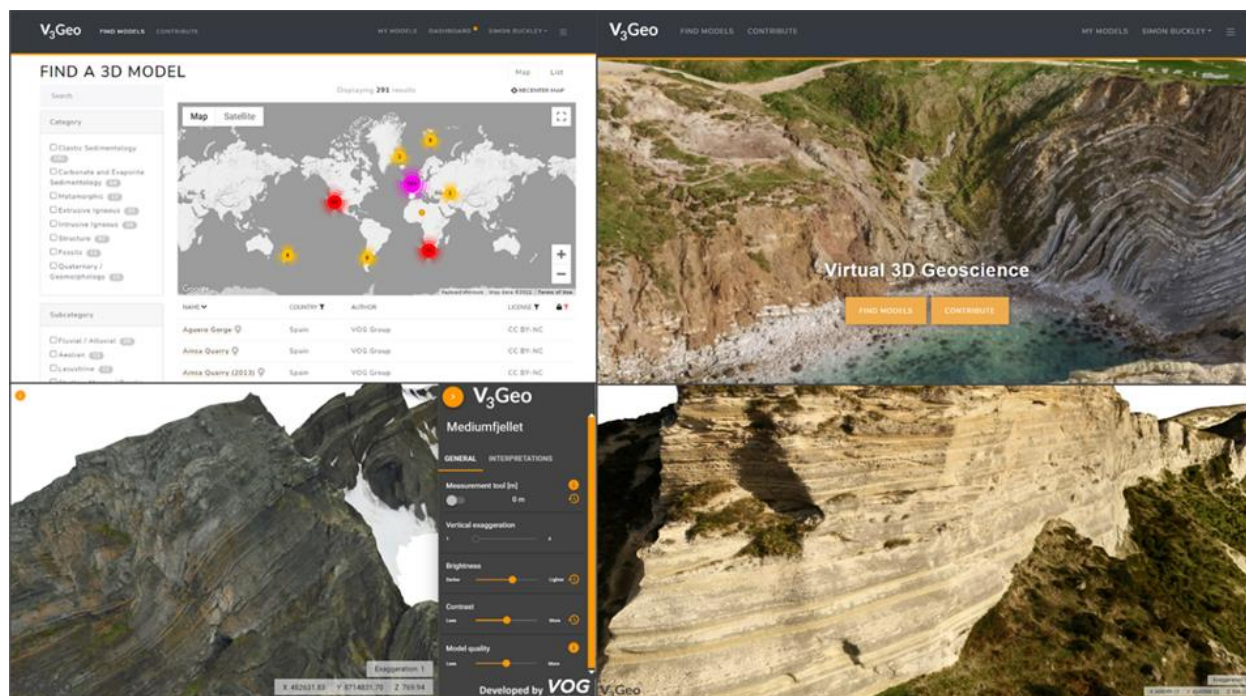


Figur 7. Samvisualisering og tolkning ved bruk av LIME. Med klokken fra øverst til venstre: kartlegging av bergarter (sandstein kanaler) på en 3D-blotningsmodell; visualisering av strøk filtrert med fall (Eistradalen, Svalbard; <https://v3geo.com/model/371>); LIME brukergrensesnitt og kartlegging resultater; 3D blotningsmodell integrert med bakkebasert radar tverrsnitt (en radar tverrsnitt prosjektert på modellen).

V3Geo: en sky-basert 3D modell database for geovitenskap

Kontaktperson: Simon Buckley

V3Geo er en tilpasset, sky-basert database for deling og visualisering av 3D-modeller som har opphav i geovitenskap. Databasen inneholder flere hundre høykvalitetsmodeller av blotninger og steinprøver, lastet opp og delt av det vitenskapelige og profesjonelle geovitenskapssamfunnet. Offentlige modeller er tilgjengelige med Creative Commons (CC) lisenser, som er tilrettelagt for bruk i klasserom, publikasjoner, forskning eller som et grunnleggende element i virtuelle felt-turer eller ekskursjoner. Privat modell-lagring er også tilgjengelig. En viktig fordel av V3Geo er å kunne lagre og visualisere veldig **store** modeller delt opp i flere seksjoner. Dette gjøre at det er mulig å håndtere modeller med høy oppløsning eller som strekker seg over store område uten at detaljnivået reduseres. I V3Geo kan alle modellene visualiseres i nettleseren ved bruk av en **integrert app for 3D-visning**. For videre analyse, presentasjon eller bruk i virtuelle felt-ekskursjoner kan modellene åpnes i programvaren LIME via direkte tilkobling til datasky.



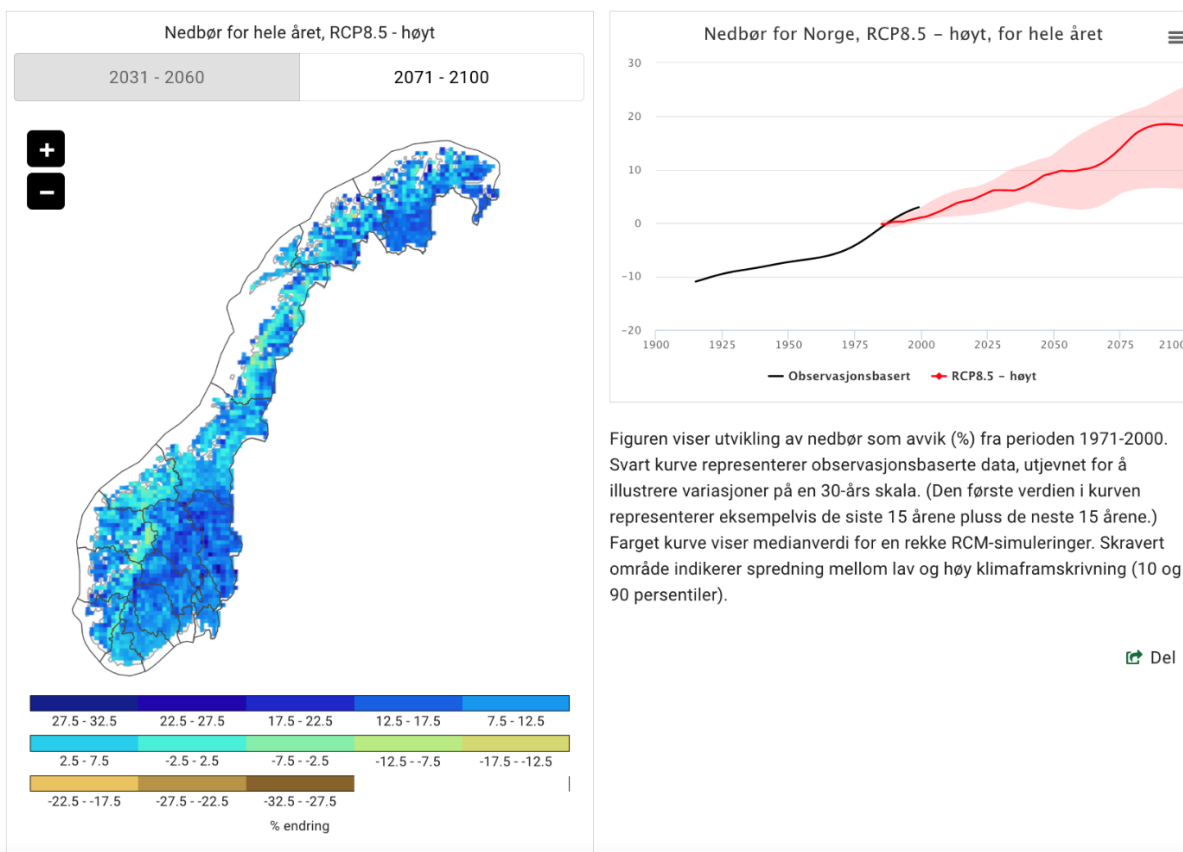
Figur 8. V3Geo sky-basert modelldatabase, med verktøy for søk og resultatfiltrering, samt eksempler på 3D-modeller som vises i nettleseren (Mediumfjellet, VOG Group, <https://v3geo.com/model/142>; Aspalmo, VOG Group, <https://v3geo.com/model/71>).

Klimamodellering

Kontaktpersoner: Marie Pontoppidan, Stephanie Mayer

Våre forskningsgrupper bruker **regionale klimamodeller** til å undersøke fysiske prosesser i klimasystemet, fra kontinental til regional til lokal skala. Vi forsker på og kan levere data til effektstudier for å sikre et godt kunnskapsgrunnlag for beslutningstakere og samfunnet generelt. Vi fokuserer hovedsakelig på **hydrologi, atmosfæreprosesser** og fremtidige klimaendringer ved bruk av sesong- og dekadevarslinger og scenariobaserte **klimafremskrivninger**. I tillegg studerer vi **ekstreme hendelser og fysiske prosesser mellom land og atmosfære**.

Vi leder [Climate Futures](#), et senter for forskningsdrevet innovasjon, der hovedmålet er å samprodusere nye og innovative løsninger for å håndtere framtidig klimarisiko, i et tidsperspektiv fra 10 dager til 10 år. Vi er også partner i en rekke nasjonale sentre som [Bjerknessenteret for klimaforskning](#), [Norsk klimaservicesenter](#) (Figur 9) og [Norsk senter for berekraftig klimatilpassing](#). I tillegg er vi involvert i internasjonale initiativ, blant annet [Coordinated Regional Downscaling Experiments \(CORDEX\)](#), som er en del av World Climate Research Program. Her koordinerer vi en omfattende innsats innen ensemble nedskalering i høy oppløsning i rom og tid, i tillegg til arbeid for et [Flagship Pilot](#) studie i CORDEX.



Figur 9. Relativ endring av nedbør over Norge mot midten av århundret (2031-2060 sammenlignet med 1971-2000 for utslippsscenario RCP8.5), data og figurer er tilgjengelig hos <https://klimaservicesenter.no>.

Klima- og risikotilpasning

Kontaktperson: Elisabeth Angell

Hvordan greier lokalsamfunn å forebygge naturhendelser, slik som skred, som påfører folk, bygninger og annen infrastruktur skader? Hvordan arbeider myndighetene med klimarisiko og klimatilpasning? Samfunnsforskerne kan **evaluere hvordan nasjonale, regionale og lokale myndigheter arbeider med å redusere risiko og forebygge andre uønskede naturhendelser**. Vi kan også undersøke hvordan arbeidet er organisert og finansiert.

Norge har både klimaloven, plan og bygningsloven, nasjonale forventninger til regional og kommunal planlegging (NF), statlige planretningslinjer for klima-/energiplanlegging og klimatilpasning (SPR) m.v som formelle rammeverk for samfunnsplanleggingen. Planer er også viktige verktøy, både for situasjonsbeskrivelser, handling og prioriteringer. Areal og natur må kartlegges for å avdekke risiko for uønskede hendelser, også tatt i betraktning framtidens klima.

Riksrevisjonens rapport om klimatilpasning av bebyggelse og infrastruktur¹ inneholder alvorlig kritikk av ansvarlige myndigheter for manglende kartlegging og manglede oversikt over tiltak for å sikre bebyggelse og infrastruktur.

Vi kan bidra med å undersøke **hvordan skredrisiko tas hensyn til f.eks. i kommunale- og regionale planer og samferdselsplaner** (for veg, jernbane og havner), og bistå i kunnskapsutviklingen og tiltaksutforming. Skredsikring og annen forebygging (Figur 10) må inngå i arbeidet med klimatilpasning til framtidig klima, både hos lokale, regionale og statlige myndigheter.



Figur 10. Eksempel på skredsikring mot bebyggelse i Hammerfest (Foto: Tom Erik Ness)

Vi kan også bidra med mobilisering og kunnskapsutvikling gjennom samskapingsarenaer. De siste årene har NORCE og samarbeidspartnere arrangert **Klimathon**, der fokus har vært klimatilpasning i norske kommuner. Klimathon er et hackaton-inspirert arrangement og samler deltakere fra kommuner, fylkeskommuner, stat, frivillige organisasjoner, bedrifter og forskere. Alle deltakerne bringer med seg egen kunnskap og bidrar sammen i å løse konkrete oppgaver om klimatilpasning, gjennom gruppediskusjoner og ideutveksling.

¹ Dokument 3:6 (2021-2022) [Alvorlig kritikk til myndighetenes arbeid med klimatilpasning \(riksrevisjonen.no\)](https://www.riksrevisjonen.no/rapporter/2021-2022/3-6-2021-2022-1)