



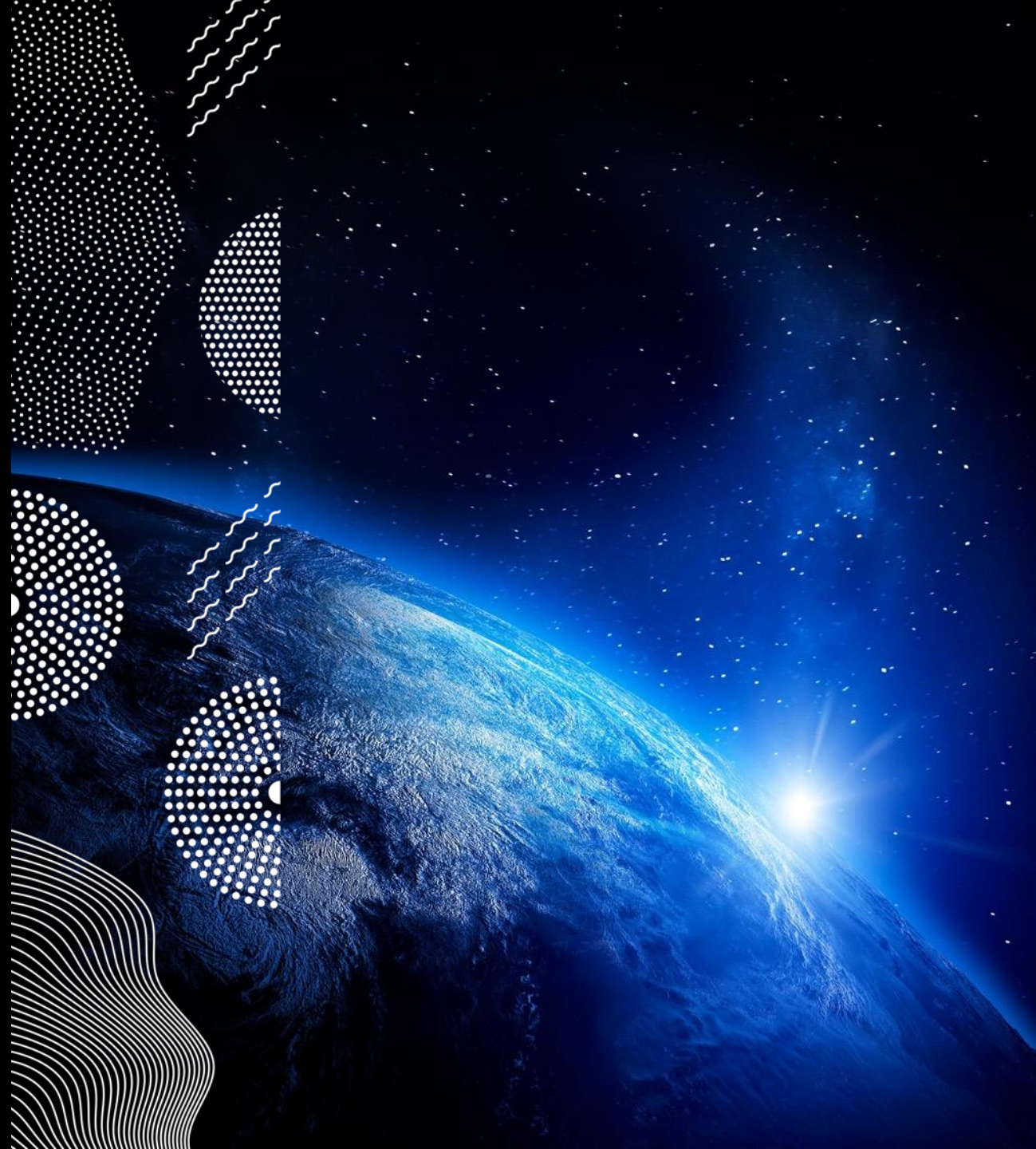
ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Kaukokartoituksen mahdollisuudet infra-alalla

ProDigital-tutkimusohjelma,
Tilannekuva-teemaryhmä

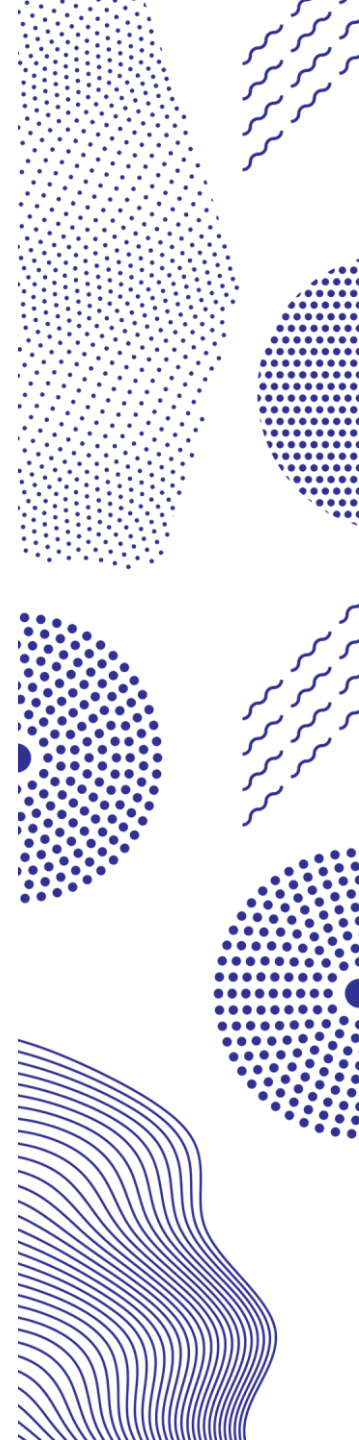
4.6.2026

Juval Cohen



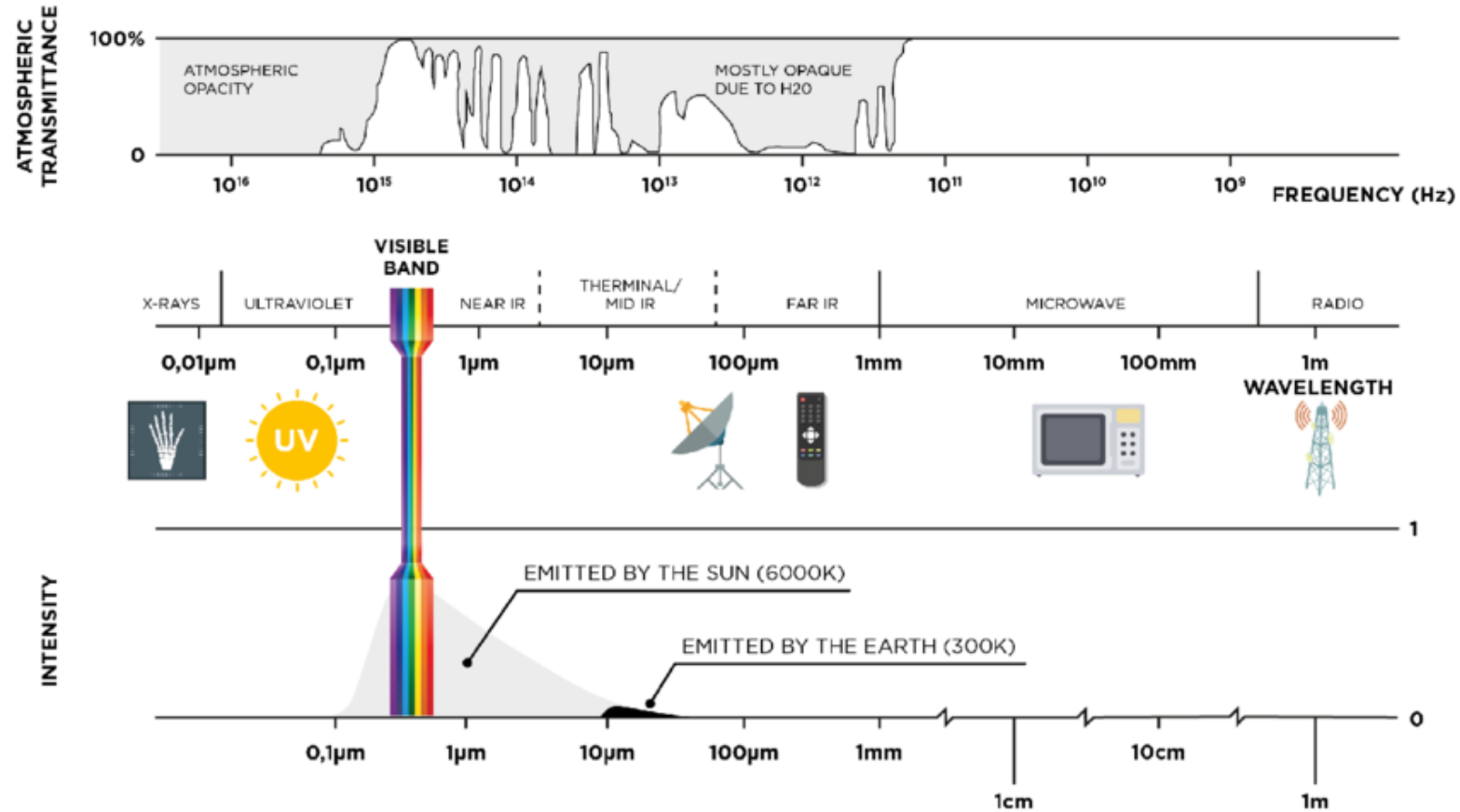
Esitelmän rakenne

- Kaukokartoituksen perusteet
 - Satelliitit ja muut alustat
 - Elektromagneettinen säteily ja sensorit
 - Tyypilliset kohteet ja datan käsittely
 - Nykytila
- Kaukokartoitus infra-alalla
 - Relevantit instrumentit
 - Mahdollisia sovelluksia
- Kaukokartoitus Ilmatieteen laitoksella
 - Tutkimukset
 - Projekteja



Mitä on kaukokartoitus?

- Kohteen ominaisuuksien mittaaminen etänä olevilla mittalaitteilla (sensoreilla)
- Mittalaitteen alusta
 - Satelliitti (space borne)
 - Lentokone (airborne)
 - Drooni (airborne)
 - Maan päällä oleva instrumentti (ground based)
- Mitatun elektromagneettisen säteilyn aallonpituus/taajuus:
 - Optinen (UV-Visual-NIR-SWIR)
 - Lämpö (TIR)
 - Mikroaalto
- Mittalaitteen tyyppi
 - Passiivinen – nojautuu kohteesta heijastuvaan auringonvaloon tai muuhun kohteen itsensä emittöivaan energiaan
 - Aktiivinen – mittalaite lähettää säteilyä kohteeseen ja mittaa palaavaa säteilyä (tutka)
- Pääasialliset kohteet:
 - Maan pinta, vesistöt ja kasvillisuus
 - Ilmakehä ja avaruus
 - Infrastrukturi, kalusto, liikennevälineet



- Pilvettömän ilmakehän läpäisyvyys
- Elektromagneettisen säteilyn spektri
- Auringon ja maan emittivisyys

Keskeiset mittausteknologiat

Mikroaaltoalue

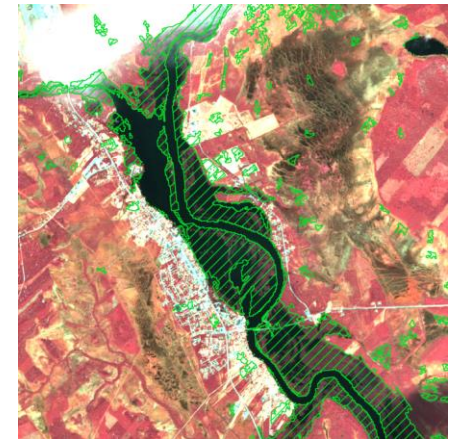
- Läpäisee pilvet
- Riippumaton auringonvalosta
- Mikroalatoradiometri (passiivinen)
 - Mittaa maapallon emittoimaa mikroaaltosäteilyä
 - Karkea spatiaalinen resoluutio
- Tutkat (aktiivinen)
 - Altimetri → maan pinnan korkeus
 - Skatterometri → takaisin siroavan säteilyn voimakkuus (takaisinsironta, backscatter)
 - SAR (synteettisen apertuurin tutka)
 - Mittaa kohteesta siroavan säteilyn vahvuutta (takaisinsironta) ja vaihetta
 - Huomattavasti tarkempi spatiaalinen erotuskyky verrattuna skatterometriin, johtuen synteettisestä apertuurista

Näkyvä valo ja infrapuna-alue

- Riippuvainen sääolosuhteista
- Multispektri
 - Tyypillisesti ~10 kanavaa
 - Ultravioletti, näkyvä valo, infrapuna-alue, lämpösäteily
- Hyperspektri
 - Samat aallonpituusalueet kuin multispektrillä
 - Tarkempi spektraalinen tarkkuus (kapea kaistanleveys)
 - Enemmän kanavia
- LiDAR (laserkeilaus)
 - Laskee etäisyyden kohteeseen mittaamalla lähetetyn ja palaavan pulssin aikaväliä



Cosmo Sky-Med SAR-kuva
Kittilän tulva-alueilta



Sentinel-2 väärävärikuva
Kittilän tulva-alueilta

Datan käsittelyketju

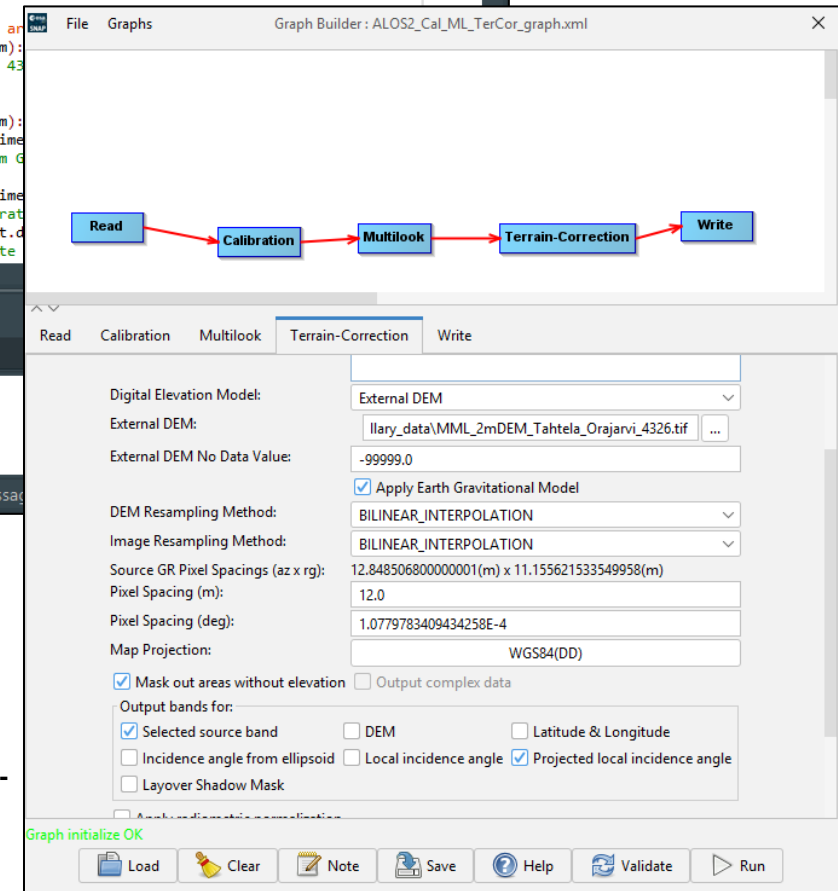
- Raakadatan hankinta satelliitista
- Datan prosessointi
 - Ohjelmistot (kaupalliset ja avoimet)
 - Radiometrinen ja geometrinen korjaus
 - Jälkiprosessointi sovelluksen mukaan
 - Graafinen käyttöliittymä / komentorivi / graafiprosessointi
- Analyysi
 - Aikasarjat
 - Muutostulkinta
 - Piirteiden tunnistus
 - Koneoppiminen
 - Tekoäly
- Visualisointi
- Integrointi GIS-järjestelmiin ja tietokantoihin

```
# Create 10m mosaic if more than one tile
if len(tilelist) > 1:
    mos10m = os.path.join(tempdir, '10_mosaic_'+b+'_10m.tif')
    tiles_str = ' '.join(tilelist)
    command = 'saga_cmd gis_tools "Mosaicking" -GRIDS='+tiles_str+' -RESAMPLIN
-TARGET_USER_SIZE=10 -TARGET_USER_XMIN=NULL -TARGET_USER_XMAX=NULL \
-TARGET_USER_YMIN=NULL -TARGET_USER_YMAX=NULL -TARGET_OUT_GRID='+mos10m
    os.system(command)
    logf.write(dt.datetime.today().strftime('%d/%m/%Y %H:%M:%S')+
'\t\tMore than one tile exist. '+b+'-band 10 m mosaic generated\n')
else:
    mos10m = tilelist[0]
    logf.write(dt.datetime.today().strftime('%d/%m/%Y %H:%M:%S')+
'\t\tOne tile exists. Mosaicking of '+b+'-band skipped\n')

os.chdir(rootdir)

# Resample to 20 m grid ar
if os.path.exists(out20m):
    command = 'gdalwarp -te 43
+mos10m'+ out20m
    os.system(command)
if os.path.exists(out20m):
    logf.write(dt.datetime
'\t\t'+b+'-band 20 m G
else:
    logf.write(dt.datetime
'\t\tFailed to generat
errlog.write('\n'+dt.d
'\tFailed to generat
```

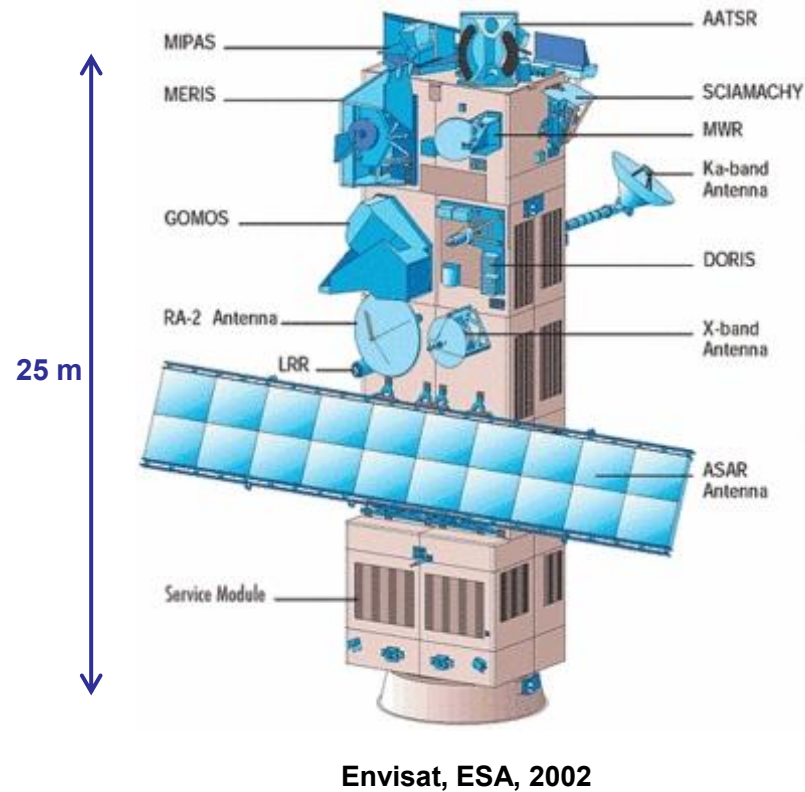
Python-koodi SAR datan prosessoinnille. Python käynnistää SAGA GIS ja GDAL moduuleja



Graafinen prosessointi SAR dataalle ESA:n SNAP-ohjelmiston avulla

Kaukokartoituksen nykytila

- Pienempiä satelliitteja ja suurempia konstellatioita
 - Tiheämpi toistokäynti
 - Helpompi/halvempi satelliitin rakentaminen ja laukaisu
 - Pienempi riski satelliitin menettämisen takia
 - Parempi mahdollisuus konstellation kehittämiseksi
- Enemmän kaupallisia pieniä toimijoita verrattuna suuriin instituutioihin
- Erittäin tarkan resoluution optinen ja SAR aineisto (0.2-1 m) laajasti saatavilla, mutta edelleen maksullista
- Ilmainen satelliittiaineisto tällä hetkellä tarkimmillaan ~10 m resoluutiossa
- Lisääntyvä automaatio
- AI-menetelmät
- Muutos tutkimuksessa ja sovelluksissa
 - Muutamasta satelliittikuvasta laajoihin aikasarjoihin
 - Sensorifuusiomenetelmät (optinen + SAR + LiDAR)
 - Yksittäisistä tarkastuksista jatkuvaan monitorointiin → lähes reaaliaikainen seuranta
- Uhat
 - Satelliittien alttius hyökkäyksille
 - Suosittujen ratojen ruuhkaisuus ja avaruusromu



ICEYE, 2018 →



Sentinel-1, ESA, 2014 →



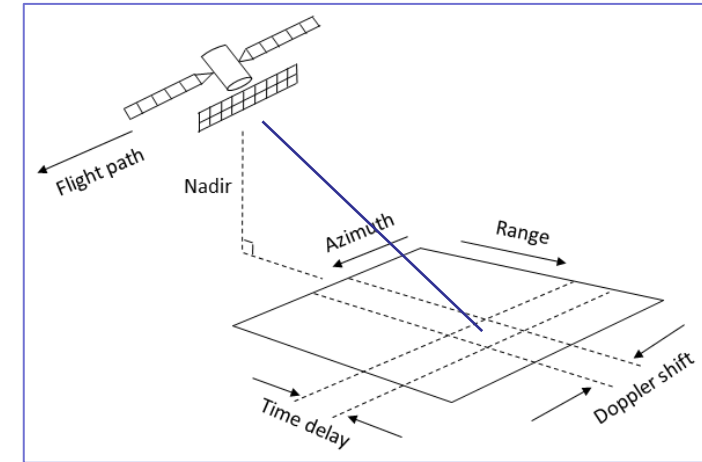
Infrastruktuuri – keskeiset sensorit ja menetelmät

SAR-tutka

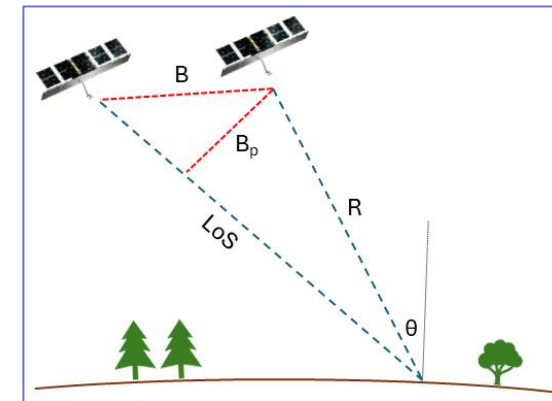
- Herkkyys kohteille
 - Vesipitoisuus (permittiivisyys)
 - Metallit
 - Kohteen muoto / karheus
- Taajuusalue (esim. L, C tai X) vaikuttaa säteilyn läpäisyvyyteen ja havaittavien kohteiden kokoon

InSAR-menetelmä

- Kohteen muoto tai muodon muutokset selvitetään vertaamalla kahden lähekkäisen tutkalaitteen mittaaman signaalin vaihe-eroa
- Toimii hyvin paljaalle ja vakaalle maan pinnalle tai muille pysyville kohteille
 - Vakaat luonnolliset kohteet
 - ”Pysyvät heijastimet” = rakennukset, sillat, rautatiet, suuret kivet ja kalliot
- Nopeasti muuttuvat kohteet haasteellisia (vesi, kasvillisuus, lumi)
- Muutosten seuranta, jopa millimetriluokkaa



SAR geometria

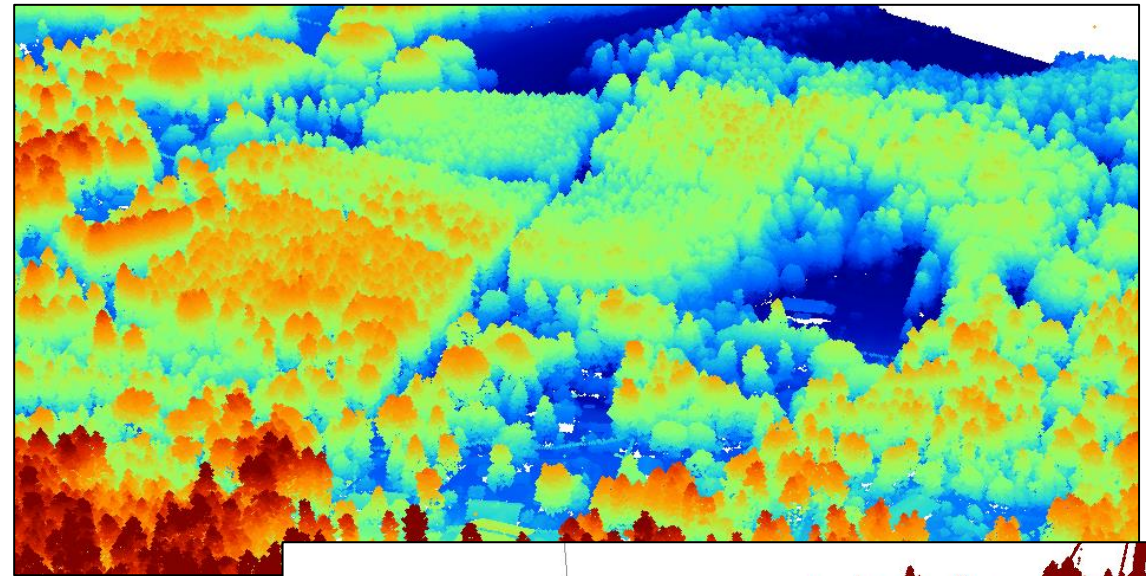


InSAR geometria

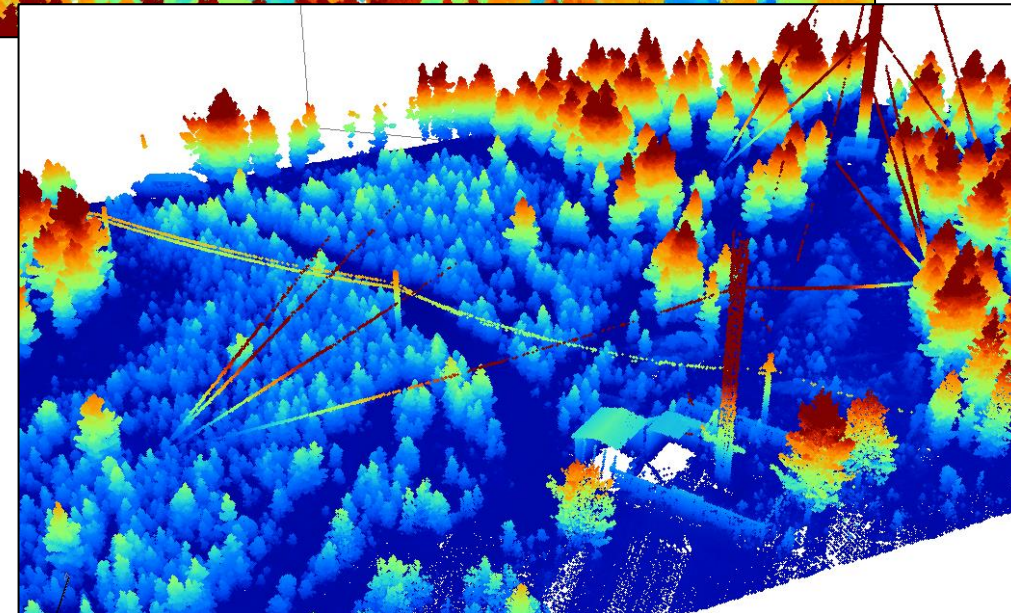
Infrastruktuuri – keskeiset sensorit ja menetelmät

LiDAR (Light Detection and Ranging)

- Satelliitti
 - Harva pistetiheys. Pisteitä kerätään radoilta joiden välillä satoja metrejä. Peräkkäisten pisteiden välimatka 1-60 m
 - Suuri pisteen jalanjälki (pienimmillään ~10 m)
 - Harvat ylilennot
- Lentokone / lennokka / drooni
 - Tiheämpi pistetiheys (noin 0.5-30 pistettä/neliömetri)
 - Suuri datan määrä
 - Laaja kuvausalue
 - Maan pinnan ja kasvillisuuden korkeus ja ominaisuudet
 - Rakennusten muodot
- Maan pinnalla tai tornissa
 - Erittäin tiheä pistetiheys
 - Kohteen tarkka muoto
 - Rajattu kuvausalue



Lentokoneella kerätty LiDAR pistepilvi, Nuukio, MML, 5 p/m²



UAV:lla kerätty LiDAR pistepilvi, Tähtelä, Sodankylä, vitomittaus, 3000–10000 p/m²



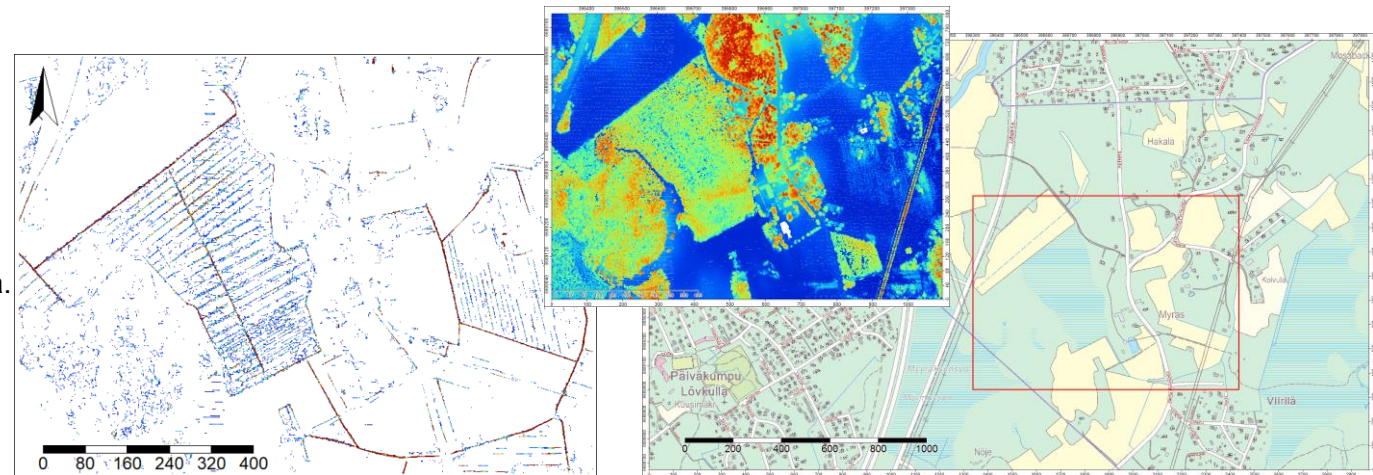
Esimerkkisovelluksia infra-alalla

InSAR – Kohteen muoto ja muodonmuutokset

- Padot ja vesirakenteet
 - Varhaisvaroitusjärjestelmät – Epätavalliset siirtymät (painaumat tai kohoumat) voidaan tunnistaa ja välttää padon sortumiselta
 - Tulvapatojen ja pengerrysten painumisen seuranta jonka avulla voidaan vähentää tulvariskiä
- Sillat ja suuret rakennukset
 - Rakennusten tai siltojen sortumat voidaan ennustaa tunnistamalla millimetriluokan rakenteelliset poikkeamat
 - Pystytään erottamaan normaalista vuodenaikojen mukaisesta lämpölaajenemisesta
- Rautatiet, maantiet, kiitoradat
 - Ratapenkereiden vakauden seurantaan ja raiteiden vääntymien tunnistamiseen
 - Teiden pengerrysten painumisen seuranta
 - Liikenneväylät – maanpinnan liikkeiden seuranta satojen kilometrien matkalla
 - Epätasaisen painumisen havaitseminen kiitoradoilla
- Kaupunki- ja maanalainen rakentaminen
 - Maanpinnan painumisen seuranta maanalaisten porausten aikana
 - Kaupunkien laaja-alaisen vajoamisen kartoittaminen (johtuu usein pohjaveden liiallisesta käytöstä)
- Energia, kaivostoiminta
 - Putkilinjat: Seuraa maan liikkeitä, jotka voivat rasittaa tai rikkoa putkia.
 - Maan vajoamisen seuranta kaivostoiminnan tai öljyn ja kaasun pumppauksen takia

LiDAR – Korkearesoluutioinen 3D-tieto kohteesta

- Lähes samat sovellukset kuin InSAR
- Kasvillisuuden ja sen ominaisuuksien tarkempi tunnistaminen (verrattuna muihin kaukokartoitusmenetelmiin)
 - Kasvillisuuden leviäminen infrastruktuurin läheisyydessä
- 3-D mallinnus pistepilven avulla
 - Kaupunkimallinnus ja rakennukset
 - Rakennusten kunnan monitorointi
 - Teollisuus – tuotteiden
- Tilavuuden laskenta ja rinteiden kunnan seuranta kaivostoiminnassa
- Maan pinnan topografian mallintaminen
 - Ojien tunnistaminen metsissä ja pelloilla
 - Maan pinnan korkeusmallit



Esimerkkisovelluksia infra-alalla

SAR – Kohteen geometria ja vesipitoisuus

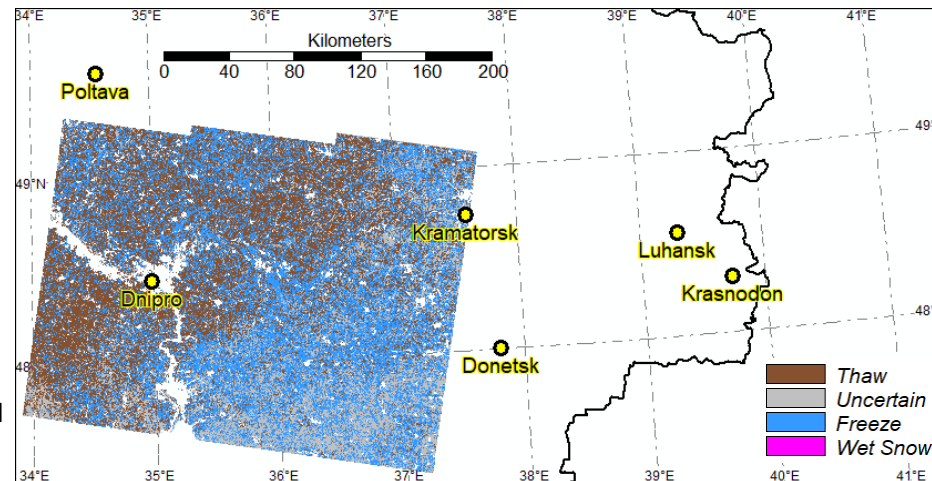
- Ympäristö
 - Tulvakartoitus
 - Maaperän routaantuminen
 - Öljyvuotojen tunnistaminen vesistöissä
 - Jään ominaisuuksien tunnistaminen
- Liikenne, rakentaminen ja muu infra
 - Laivojen, lentokoneiden ja muiden liikennevälineiden tunnistaminen
 - Uusien rakennuksien monitorointi muutostulkinnan avulla
 - Rakennushankkeiden eteneminen työmaalla pinnan ominaisuuksien muutosten perusteella

Optinen – Kohteen spektraaliset ominaisuudet ja tekstuuri

- Maankäytön ja maanpeitteen tunnistaminen ja kartoitus
- Ympäristö
 - Havaitsee sameutta, levää ja saasteita vesistöissä
 - Rantaviivat muutokset
 - Maaperän saastumisen kartoitus
- Liikenne, rakentaminen ja muu infra
 - Havaitsee halkeamia, kulumista ja materiaalien ikääntymistä
 - Kasvillisuuden tilanne infrastruktuuriin läheisyydessä
 - Kaivannot, raivatut alueet, kaatopaikat, jätealtaat jne. – tunnistaa uudet tai muutokset
 - Erottelee materiaaleja ja mineraaleja

Lämpösäteily (TIR) – Kohteen lämpötila

- Kaupunkisaarekeilmion (Urban Heat Island) kartoitus
 - Tunnistetaan alueet joissa asfaltti ja rakennukset sitovat lämpöä
 - Auttaa kaupunkisuunnittelussa sijoittamaan viherkattoja tai viileitä päällysteitä
- Rakennusten energiakatselmukset
 - Havaitaan lämpövuodot huonon eristyksen tai tiivisteiden kohdalla
 - Valvotaan teollisuuden jäähdytysjärjestelmien ja LVI-laitteiden suorituskykyä
- Liikenneinfrastruktuurin seuranta
 - Kartoitetaan tienpinnan lämpötiloja jään muodostumiseen liittyen
 - Tunnistetaan siltojen rakenteellista väsymistä lämpöinertia-analyysin avulla (kuinka lämpö muuttuu päivän ja yön välillä)
- Teollisuuden ja huollon hallinta:
 - Paikallistetaan vuodot maanalaisista höyry- tai kuumavesiputkista
 - Valvotaan sähköasemia ylikuumenevien komponenttien (hotspots) varalta



Kaupunkialueen
lämpökartta
dronikameralla 10

Infrastruktuurin kaukokartoitus – tiivistelmä

Keskeiset mitattavat suureet

Siirtymä ja muodonmuutos •

Lämpöanomalia •

Kosteus ja jäätyminen •

Maaperän olosuhteet •

Kasvillisuus •

Keskeiset menetelmät / sensorit

• InSAR

• LiDAR

• Lämpösäteily (TIR)

• SAR

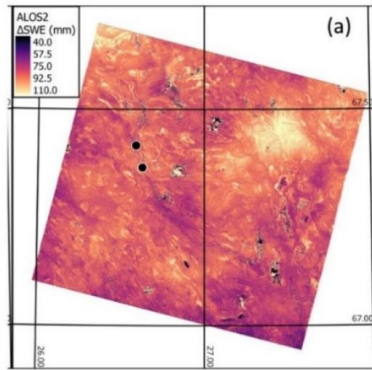
• Optinen

Huomioon otettavat asiat

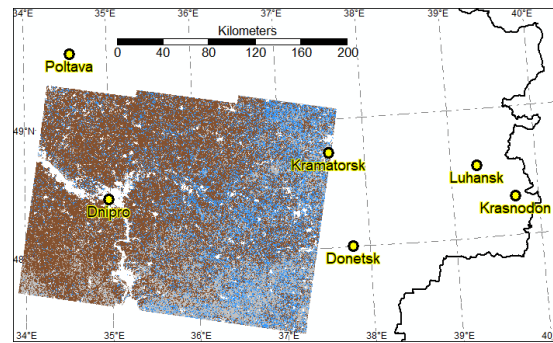
- Onko menetelmä jo vankka? Vaatiiko kehitystä tai mukauttamista tarvittavaan sovellukseen?
- Kuinka paljon työaikaa tarvitaan laitteiston ja aineiston käsittelyssä?
- Mikä on aineiston, laitteiston tai ohjelmistojen hinta?

Remote sensing of land surfaces and cryosphere (KRY)

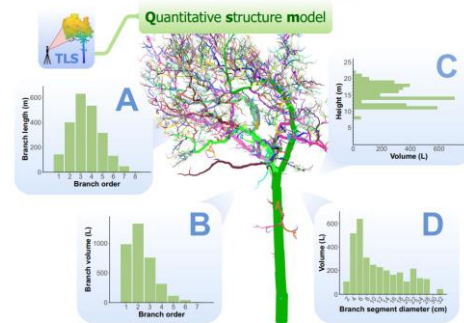
Snow & ice, soil & vegetation – models and inversion methods for remote sensing – EO missions



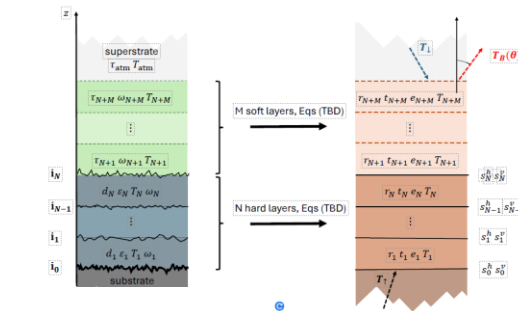
Snow Water Equivalent from L-band SAR (Jorge Ruiz et al. 2024)



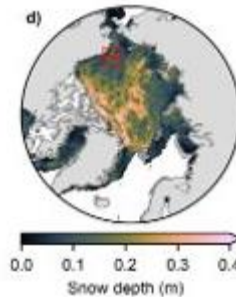
Seasonal soil freezing from SAR (J. Cohen 2023)



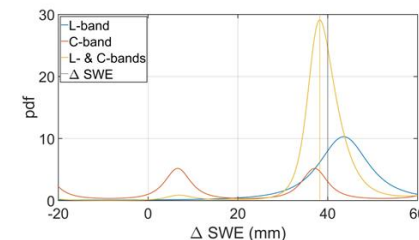
Visualizing tree architecture using TLS (Maeda et al., Nature Comm, 2025)



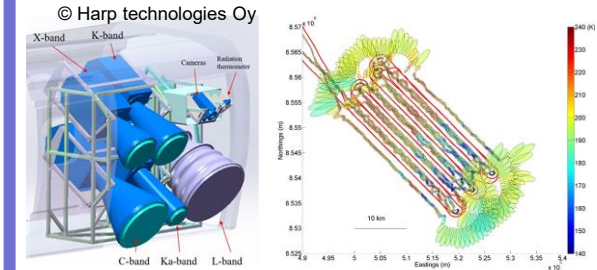
Electromagnetic model for passive microwaves (Holmberg et al. 2026)



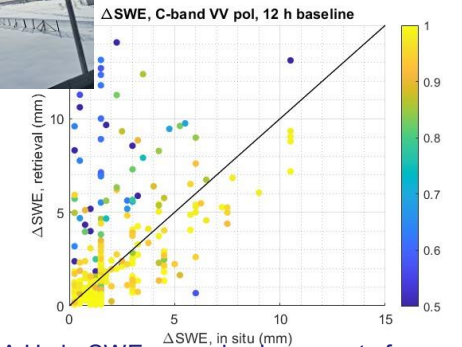
Snow distribution on sea ice (Merkouriadi et al. 2022)



Multi-frequency SAR retrieval of snow parameters (Jorge Ruiz et al. 2026)



Algorithms and airborne demonstrator for Copernicus CIMR



ESA HydroSWE campaign in support of EE12 candidate mission Hydroterra+

EO methods for snow & ice

Vegetation & soil processes

Models and inversion methods

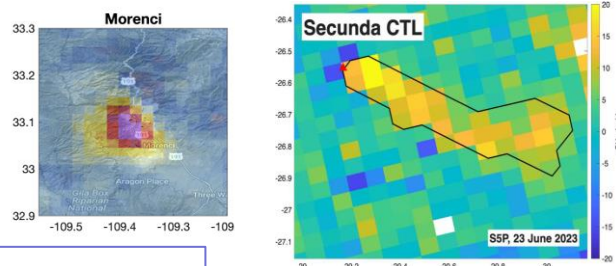
EO missions

Atmospheric Remote Sensing (IKA)

Atmospheric composition – Air Quality – UV Radiation – Middle Atmosphere

Data-driven emission estimation & method development

Trace gases and GHGs



GHG coord.

Support for air quality assessments, capacity building, training

War impacts on AQ in Ukraine



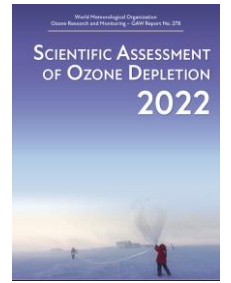
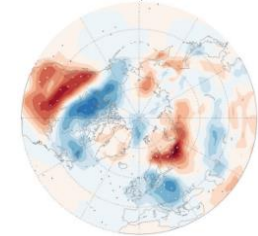
ASP, IKO

Climate and chemistry in the middle atmosphere

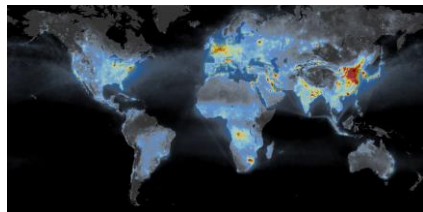


MET

Sun-Earth interactions



Atmospheric composition, new data product development, satellite data validation



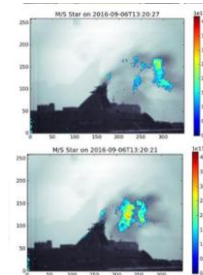
Pandora:
Helsinki,
Sodankylä



Sodankylä supersite, IKO

Algorithm development for new instruments, new customers, atmospheric correction

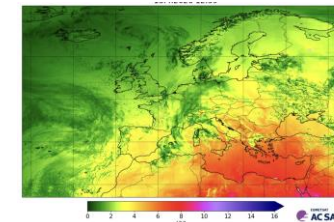
SO₂ - camera



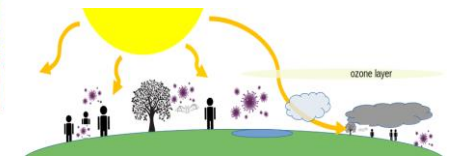
VTT TomoHQ proposal

UV-radiation

Satellite UV index for Europe



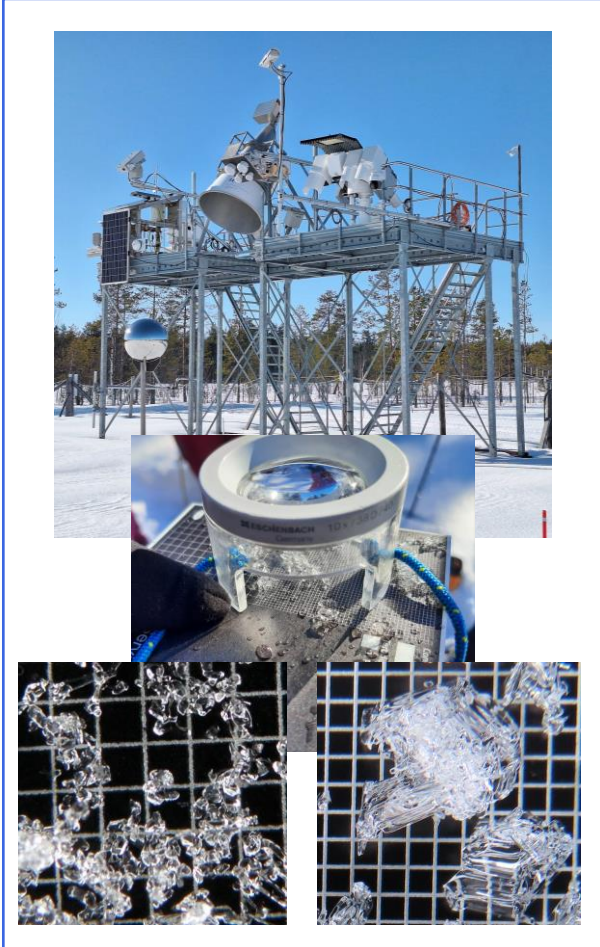
SA-GUVIR: The impact of UV radiation on the seasonality of viral infections



IVS, ISI

Arctic observations (AHA)

Arctic-Boreal research and EO cal/val centre



Sodankylä observation infrastructure

- Remote sensing & in situ observations with Sodankylä infra
- Long time series of observations
- Experiments focusing on specific phenomena

Research supporting EO

- Microwave and optical/hyperspectral remote sensing
- Water cycle, Snow properties and soil freeze/thaw
- Carbon cycle, computational methods for EO, emissions

EO Applications

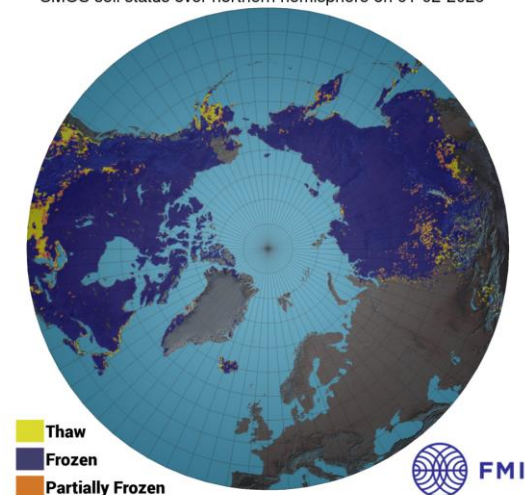
- Satellite Cal/Val, Development of methods and models for remote sensing
- Satellite products development
- Mission preparation

Collaboration

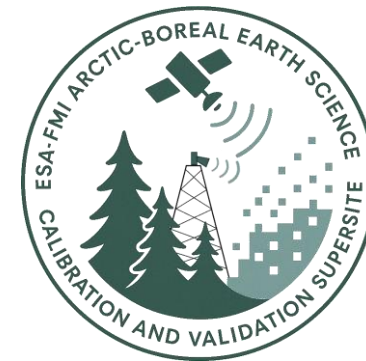
- KAT-KRY – Sodankylä observations and experiments
- KHK – Sodankylä Supersite, water&carbon cycles
- ARK – Sodankylä infrastructure and observations
- ATH – Drone operations
- MET – Antarctic and Arctic observations
- ILM – Water&carbon cycles



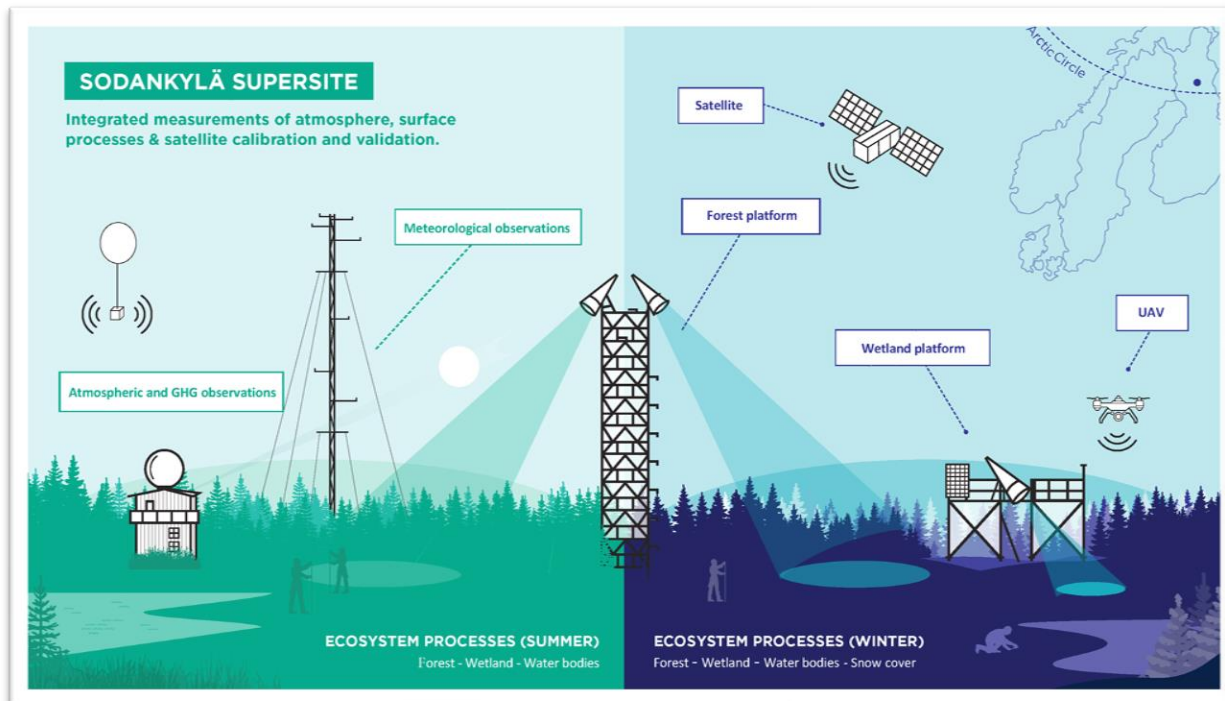
SMOS soil status over northern hemisphere on 01-02-2025



ESA-FMI Arctic-Boreal Earth Science, Calibration and Validation Supersite established in 2025



Support to EU Copernicus Sentinels, ESA Earth Explorers and third-party missions
Flagship of R&D co-operation with Finnish and European industry



SUPERSITE focus areas:

- 1) Arctic-Boreal forest ecosystem
- 2) Hydrology and seasonal snow
- 3) Greenhouse gases and atmospheric composition

SUPERSITE vision:

- Become a leading measurement and research station of the Arctic-Boreal environment
- Be central in the Cal/Val of current and future European missions
- Become a well-known R&D testbed for Finnish industry and environmental research

Sodankylä Supersite integrates hundreds of observations from multiple platforms to contribute to Earth Observations Cal/Val, technical R&D, and advancing Arctic-Boreal science.



SpacEconomy-hanke



- Maailma on yhä riippuvaisempi avaruudesta
- Avaruuden strateginen ja sotilaallinen merkitys on kasvanut nopeasti – sijainti- ja aikatieto, tietoliikenne ja kaukokartoitus
- Avaruustoimiala kehittyy nopeasti
- Avaruusdata on tyypillisesti satelliittien tuottamaa tietoa

SpacEconomy-hanke – Avaruustalouden vahvistaminen Suomessa.

Yhdistää teknologia- ja avaruustieteen, liiketaloustieteen, hallintotieteen, yhteiskuntatieteet ja viestinnän.

Tavoitteena vastata seuraaviin haasteisiin:

- Toimijakentän pirstaleisuus ja yhteistyön puute
- Osaajapula
- Yhteiskunnallisten ja alueellisten näkökulmien rajallinen integrointi





ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Kiitos!
Kysymyksiä?

