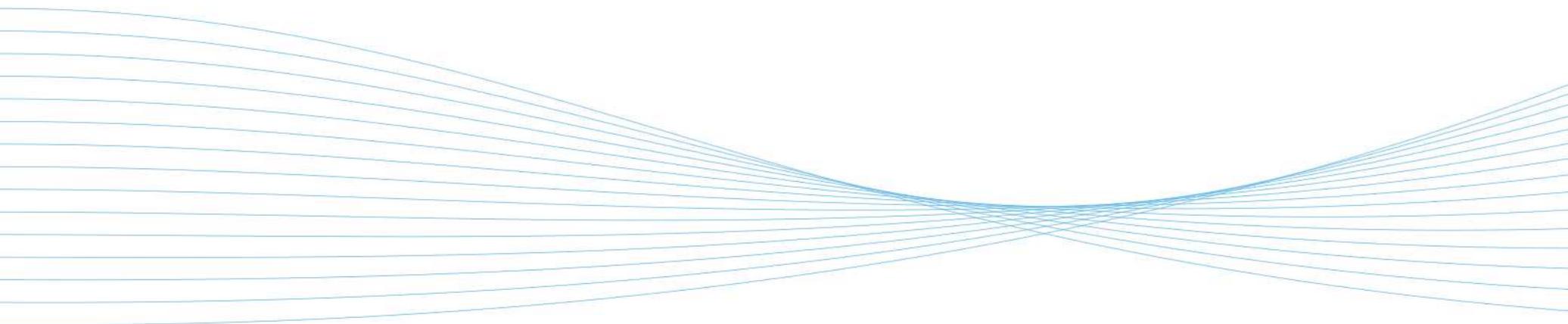




Satelliittitutkimusta Sodankylässä

Matias Takala (matias.takala@fmi.fi)









Tuotteita ja palveluita kaikille asiakassektoreille





Arktinen alue

Ilmastonmuutos vaikuttaa voimakkaasti arktiselle alueelle

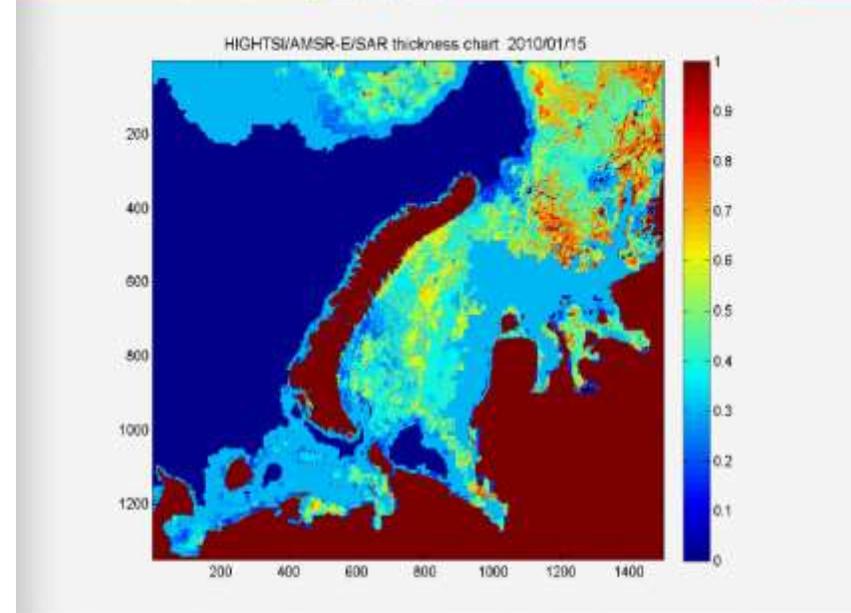
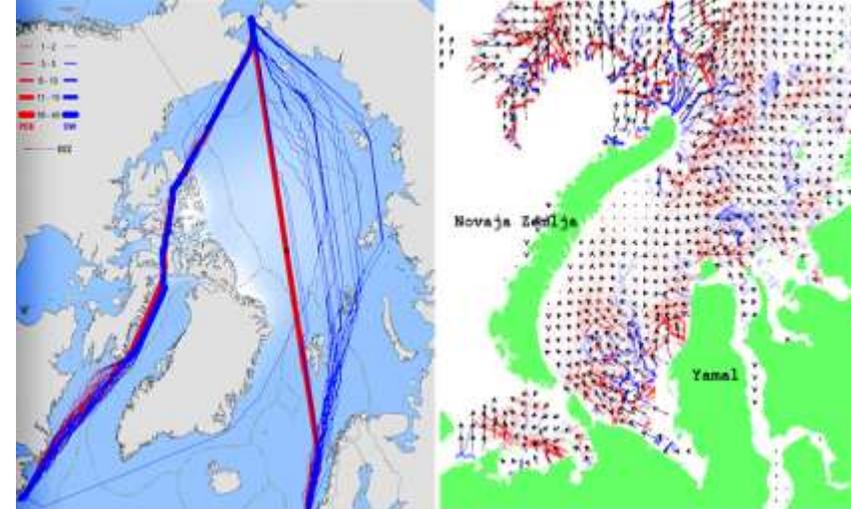
Toiminta arktisella alueella vilkastuu

Jäätalvi säilyy

→ Olosuhdepalveluiden tarve kasvaa

→ Toiminnan turvallisuus varmistettava

Ilmatieteen laitoksella vankka olosuhde- ja palveluosaaminen
mm. sää- ja jääpalvelut, satelliittitoiminta





FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Sodankylän arktinen tutkimuskeskus

Ilmaston ja ilman koostumuksen
tutkimus

Satelliittikeskus: sääpalvelut,
ilmakehätutkimus, tulvat,
turvallisuus SM/PLM

Kv. asiakkaat/kumppanit:
Euroopan avaruusjärjestö,
Euroopan sääsatelliittijärjestö,
NASA, NOAA (USA) & CMA (Kiina)





Arktinen avaruuskeskus, Sodankylä

- Vastaanottokapasiteetti
 - 2 x 7,3 m antennit, 1 x 2,4 m antenni
- Arkistointikapasiteetti
 - ~ 1 Pt, skaalattavissa
- Prosessointikapasiteetti
 - Virtuaalipalvelimia saatavilla
 - Calvalus-laskentajärjestelmä
 - Mahdollisuus tuoda omia prosessoineja IL:n järjestelmään
 - Mahdollisuus rakentaa kohdistettuja prosessointiputkia käyttäjien tarpeisiin
- Operatiivinen toiminta (mm. EUMETSAT SAF-network, EU GlobLand, IL Jääpalvelu)
- Standardoidut rajapinnat datan toimitukseen käytettävissä

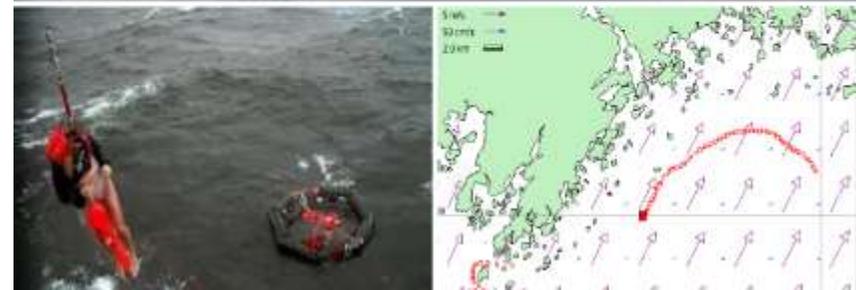
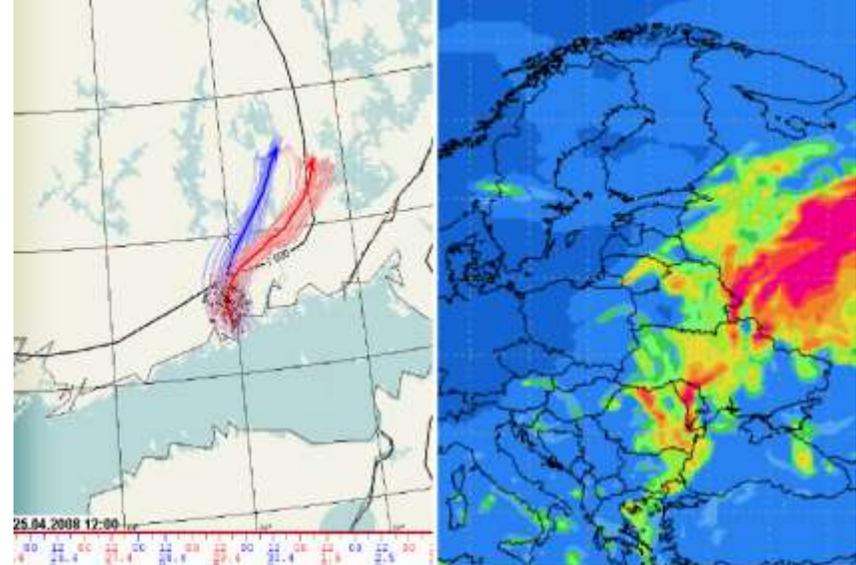


Erityistilanteet

Ilmatieteen laitos tukee viranomaisia erityistilanteissa.

Palveluita:

- Sää- ja olosuhdetiedot
- Trajektori- ja leviämislaskenta säteilytilanteissa
- Ajelehtimislaskenta meripelastuksen ja öljyntorjunnan avuksi
- Leviämislaskenta liittyen mm. tulivuorien purkauksiin, metsäpaloihin tai vaarallisten aineiden leviämiseen





Vaaraa ja haittaa aiheuttavia luonnonilmiöitä ympäri vuoden

Kesä: **ukkospuuskat, trombit, salamointi, suuret rakeet, rankkasateet ja taajamatulvat, kuivuus, helle, metsäpalot**

Syksy ja talvi: **myrskytuulet, aallokko, merivedenkorkeus ja merivesitulvat, lumipyryt, tykkylumi, pakkanen, tienpintojen jäätyminen, jäätäminen aluksiin, jään puristavuus, huono ilmanlaatu**

Kevät: **vesistötulvat**





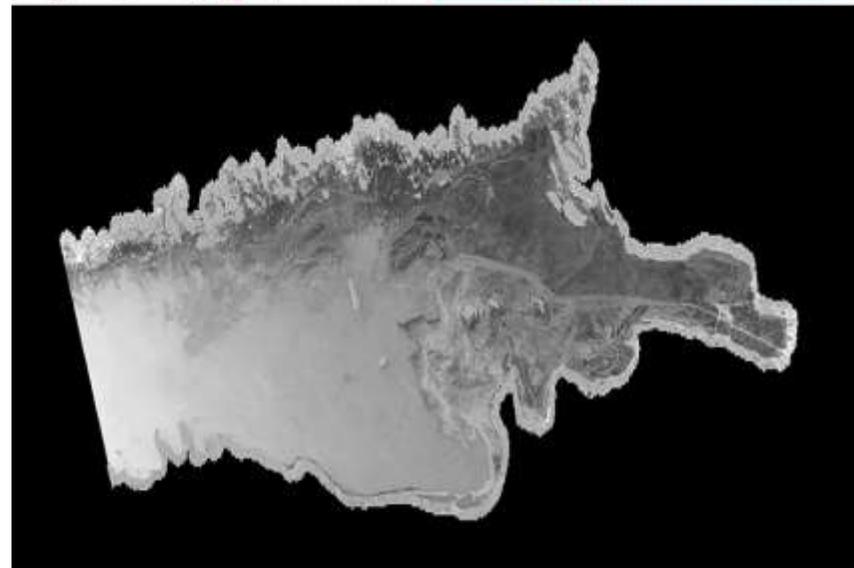
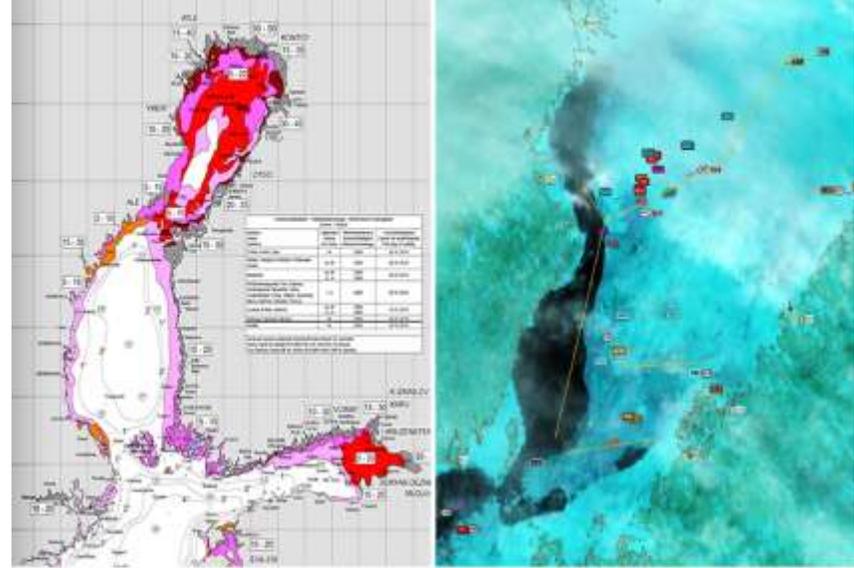
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Jääpalvelu

Päivittäinen jäätiedotus sekä
jääkartta talvimerenkulun
turvaksi

Ennusteet jäätilanteesta

Satelliittikuvien välitys
jäänmurtajille Suomeen ja
Ruotsiin





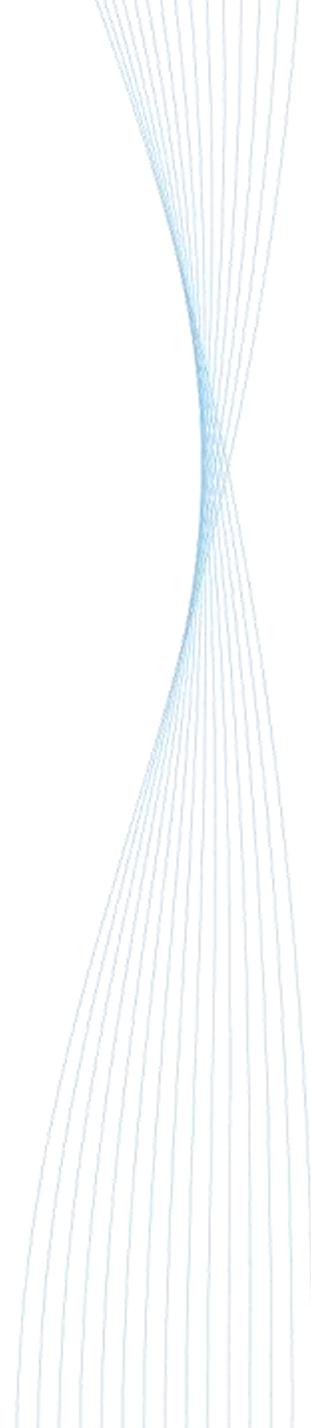
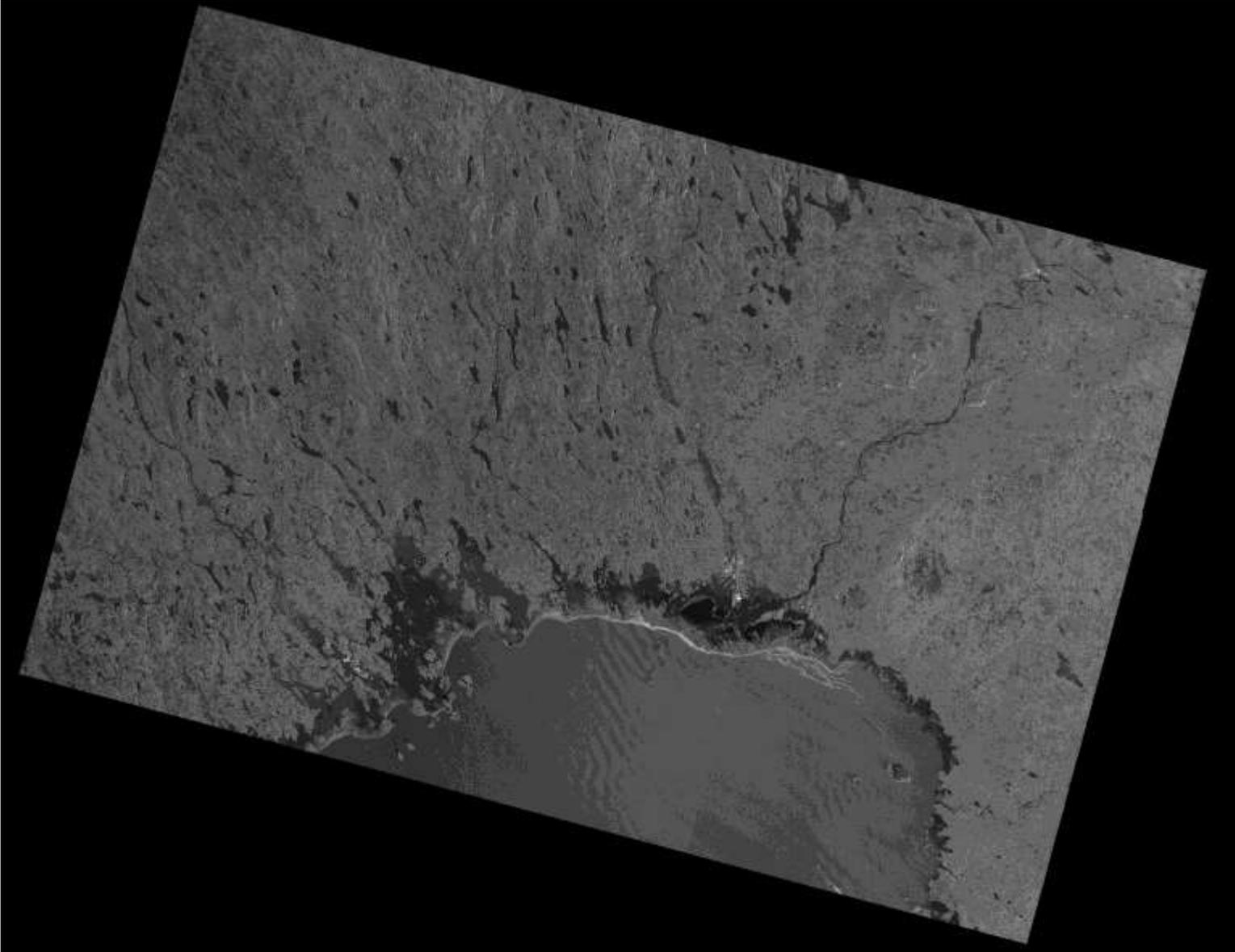
SAR-tutkat

- SAR tässä yhteydessä on Synthetic Aperture Radar, ei Search And Rescue!
- Tutkakuvan tapauksessa valoisuudella ja säätilalla ei ole merkitystä
- Erotuskyky tyypillisesti siviilikäytössä 1-100 m
- Militäärimoodissa jopa <1 m
- Isommat alukset mahdollista tunnistaa kuvista
 - Esim. Norjassa yhdistetään SAR-kuvia ja AIS-dataa, aluksia voidaan tunnistaa ja seurata
- Jäätilanteesta mahd. saada hyvä kuva
 - Ilmatieteen laitoksella toimitetaan 4 tutkasatelliitin (S1, CSK, TSX, RS2) kuvia operatiivisesti jääpalvelulle ja jäänmurtajille
- Öljypäästöjen seuranta?
 - Rajavartiolaitoksella Dornier + SLAR
- Riippuen järjestelmästä revisit time vaihtelee huomattavasti (parhaimmillaan nyk. järjestelmillä 4h, huonoimmillaan useita vrk)



FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

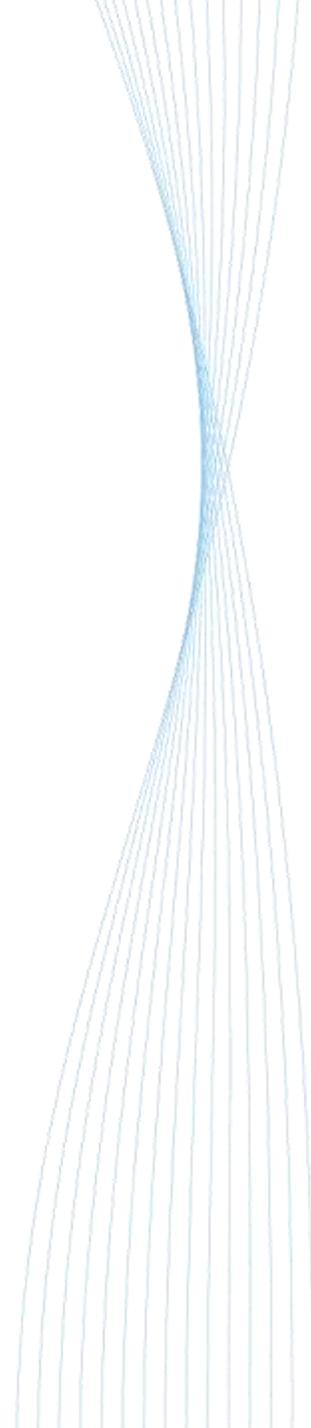
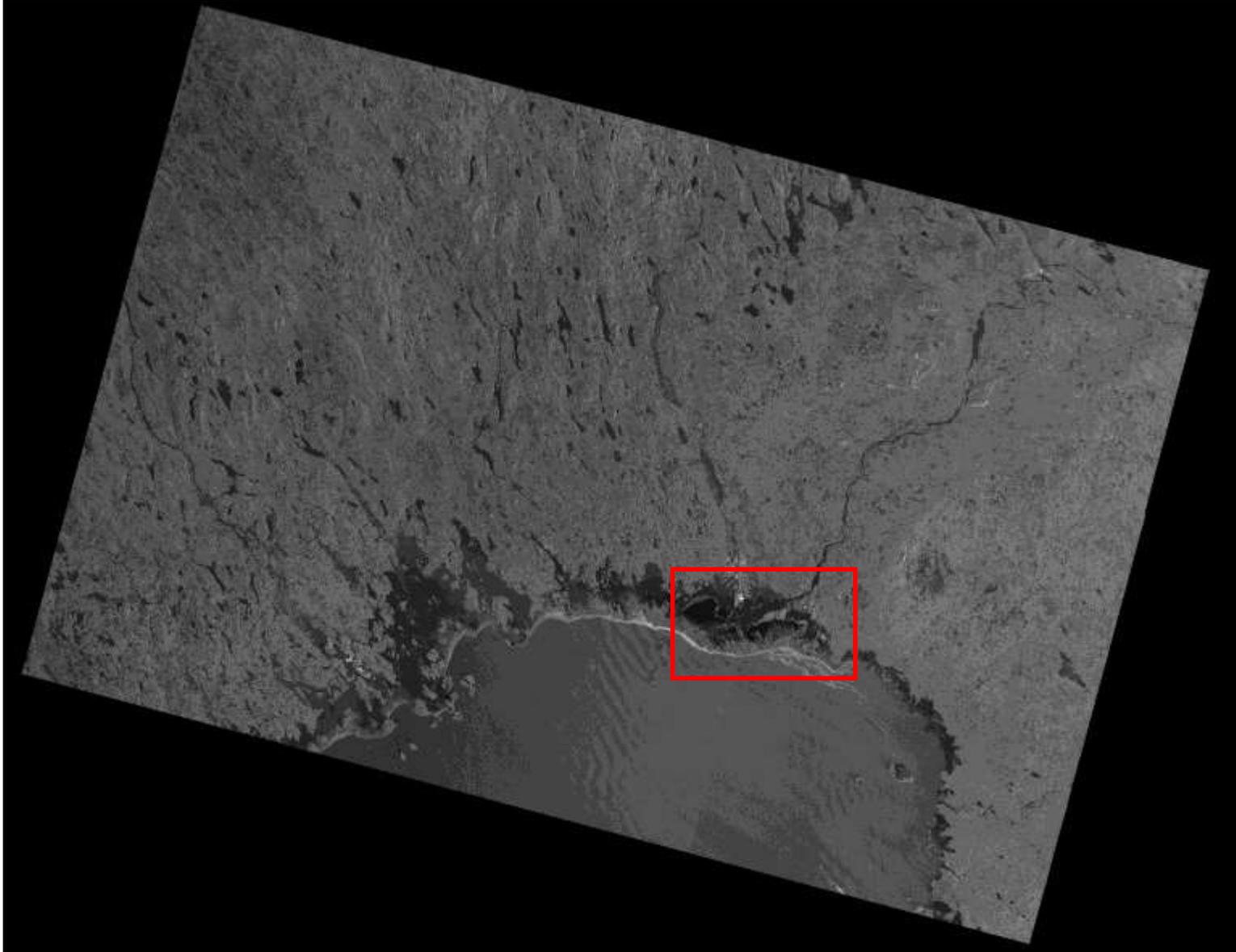
Sentinel 1-sarja





FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

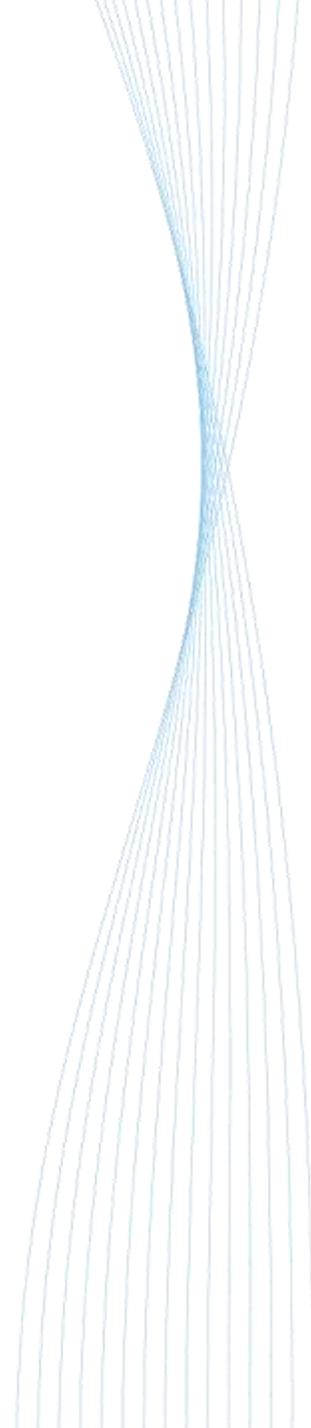
Sentinel 1-sarja





FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

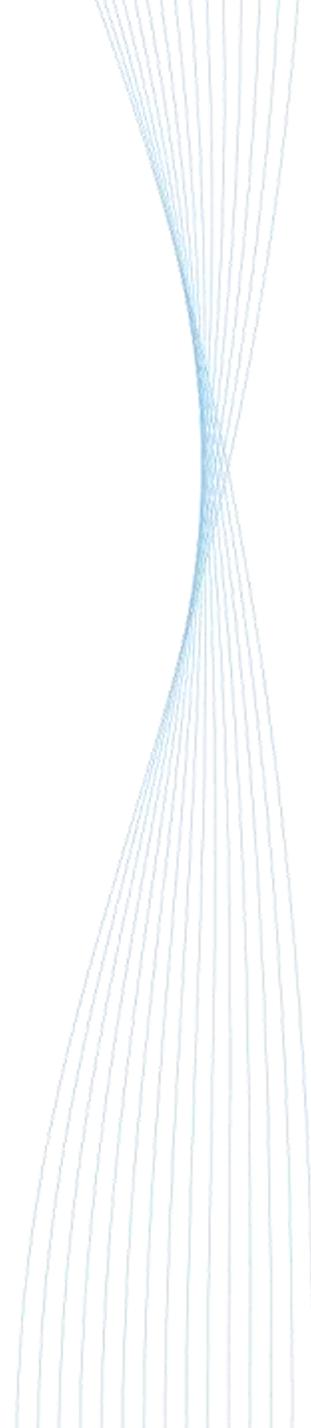
Sentinel 1-sarja





FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

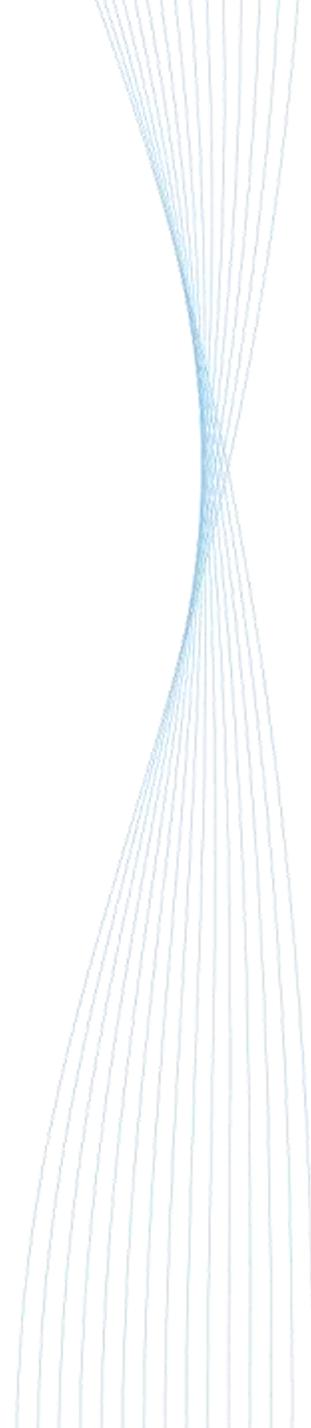
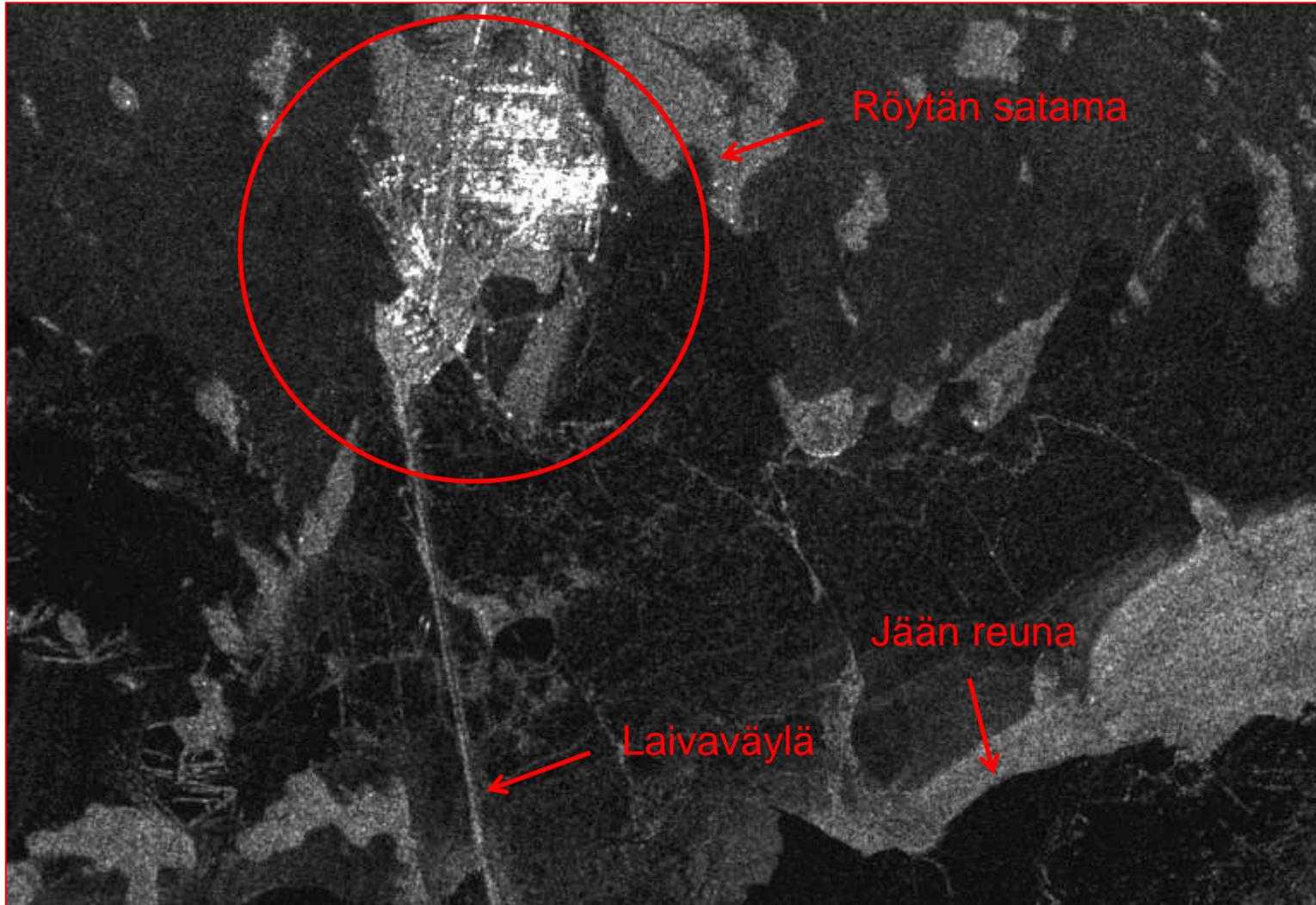
Sentinel 1-sarja





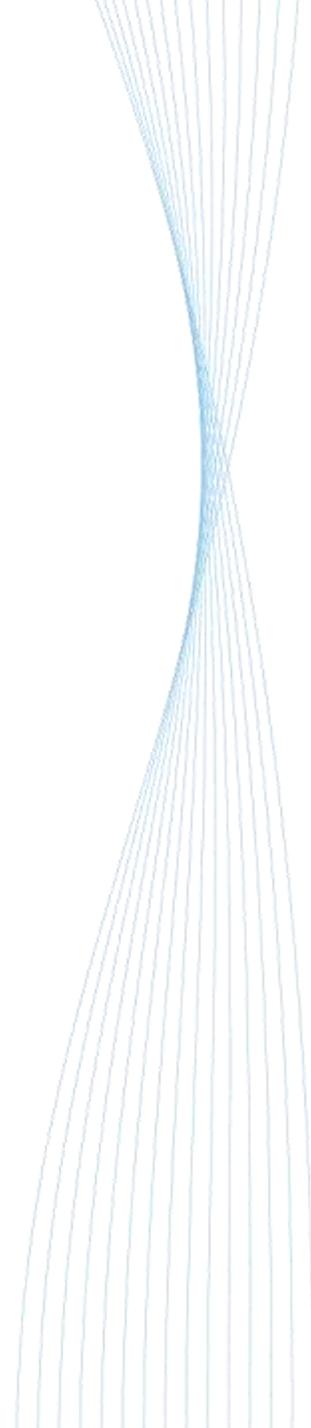
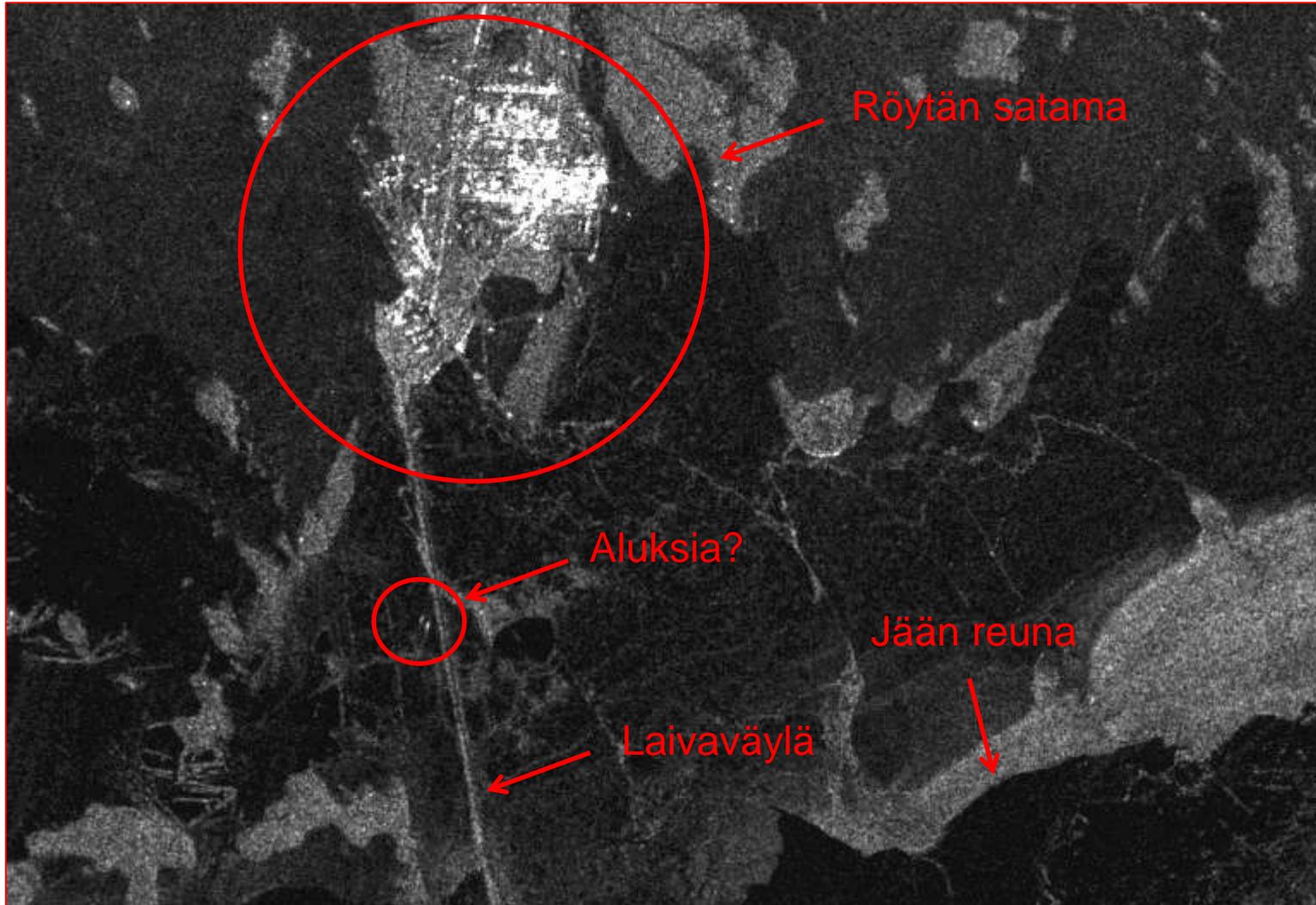
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Sentinel 1-sarja





Sentinel 1-sarja





Sentinel 1-sarja

- Erotuskyky 10 – 30 m
- Kahdella satelliitilla (S1A & S1B) tarkka toistojakso 6 vrk (vaaditaan esim. inSAR-menetelmissä)
- Revisit time ekvaattorilla ~3 vrk, Euroopassa n. 2 vrk ja pohjoisilla leveysasteilla ehkä jopa 1 vrk
- Data on ilmaiseksi saatavilla!
- IL toimii ESA:n ns. kollaboratiivisena maa-asemana
- Mm. Itämeren alueen S1-kuvat saatavilla IL:n ylläpitämästä FinHub-palvelusta (<http://finhub.nsdci.fmi.fi>)
- Dataa ladataan pääosin ESA:n palvelimilta (saatavilla n. 3h vastaanotosta)
- Dataa on myös mahdollista ottaa vastaan suoraan S1-satelliiteilta Sodankylän Arktisessa avaruuskeskuksessa -> nopeampi saatavuus



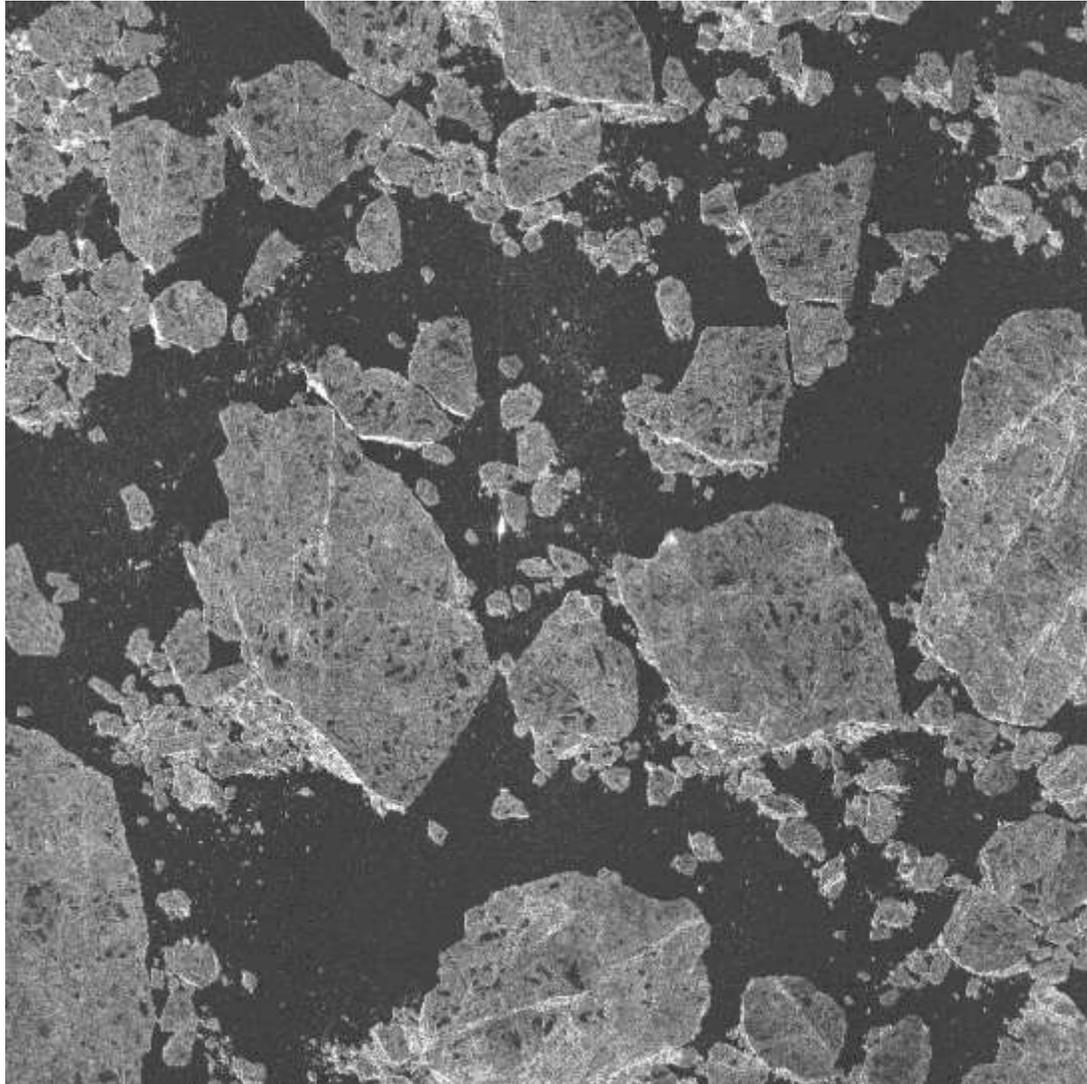
COSMO-SkyMed

- Italialainen neljän SAR-tutkasatelliitin muodostama konstellaatio
- Erotuskyky vaihtelee kuvamoodista riippuen, spotlight2-moodi 1 m, tyypilliset sovellusresoluutiot 15-30 m
- Mikä erotuskyvyssä saavutetaan menetetään alueellisessa kattavuudessa
- Konstellaation suurin vahvuus: parhaimmillaan 4h revisit time
- Kaupallinen palvelu
- IL:n Sodankylän Arktisessa avaruuskeskuksessa on kuvien tilaus-, vastaanotto- ja prosessointikyky



COSMO-SkyMed

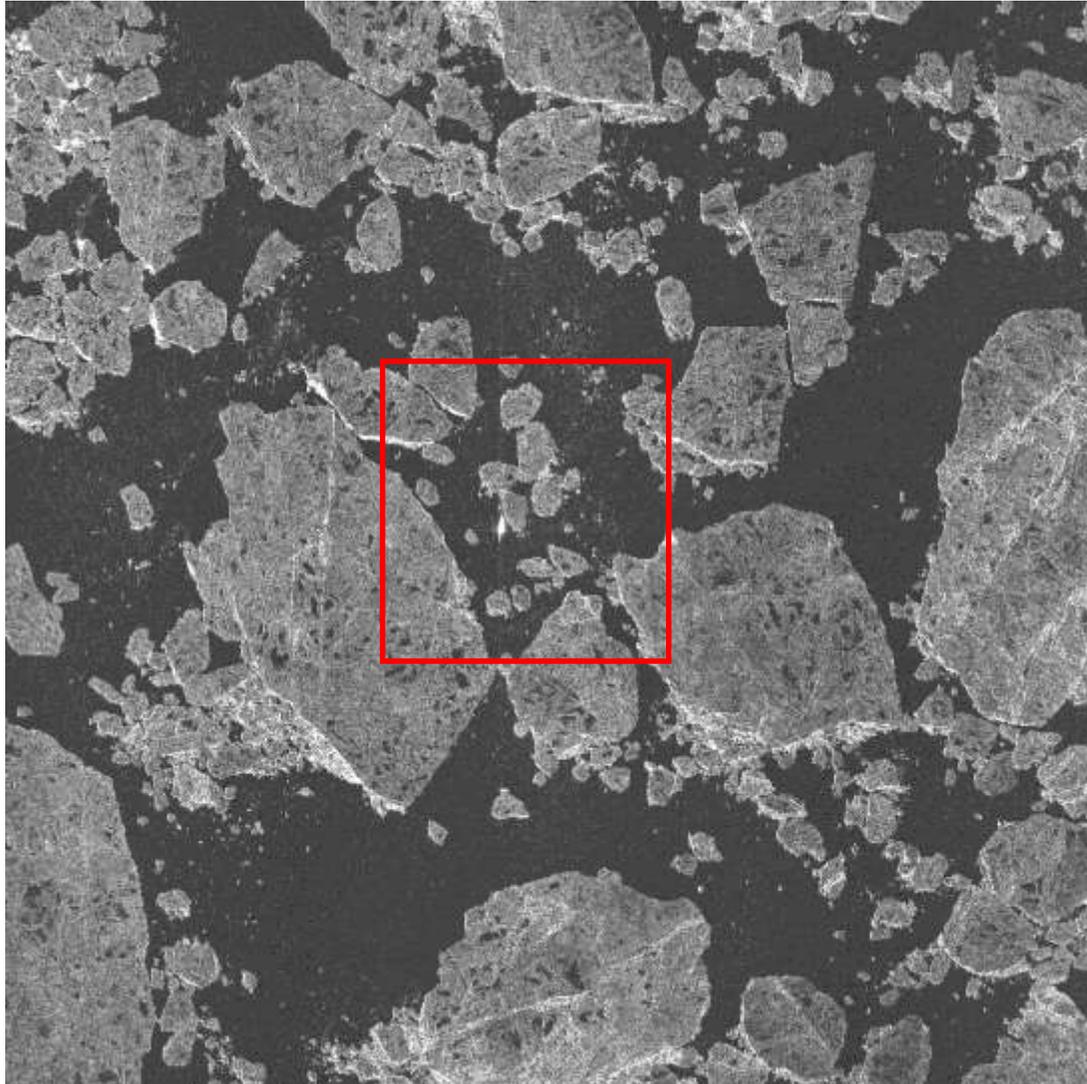
- Spotlight 2 mode





COSMO-SkyMed

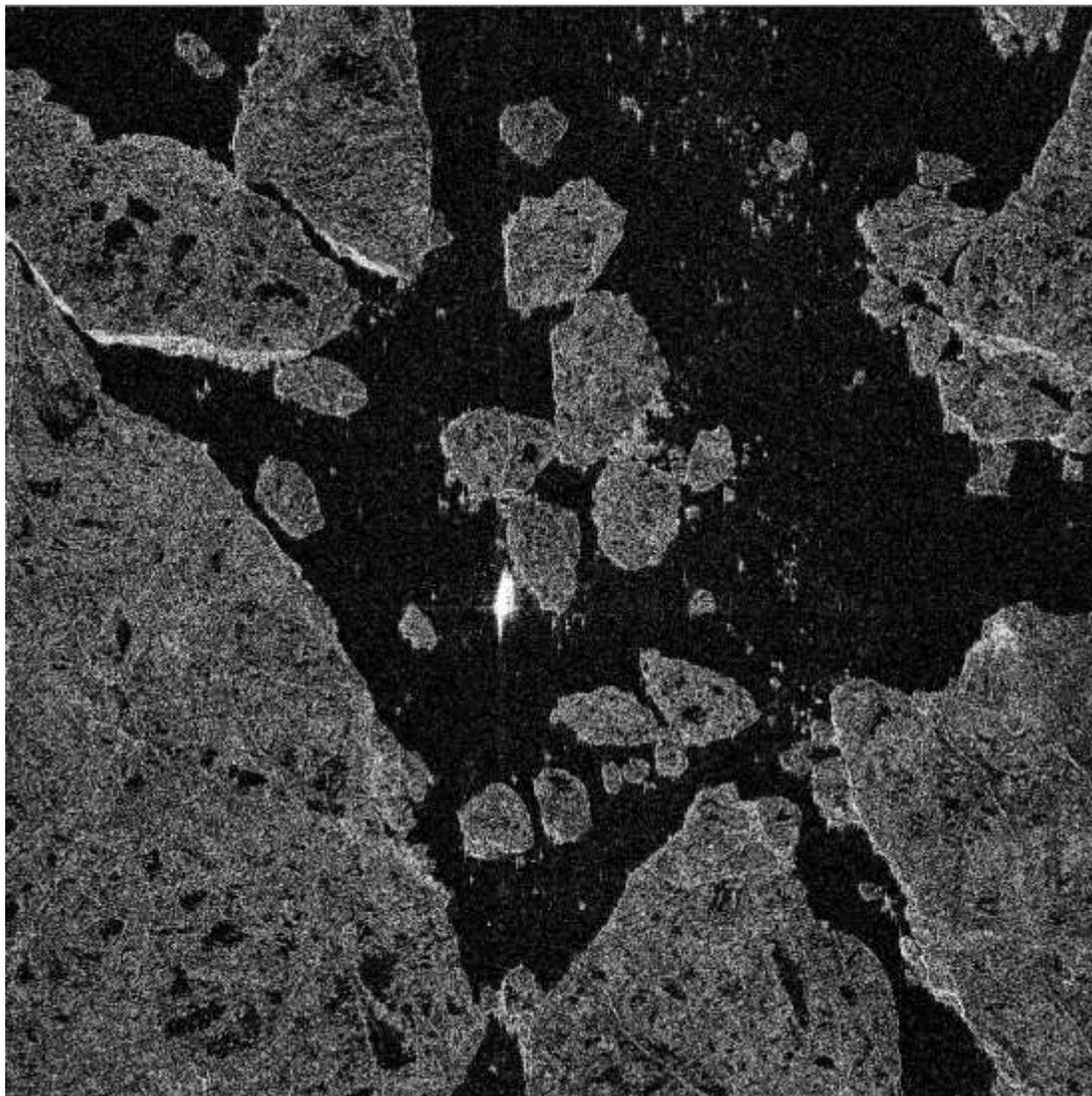
- Spotlight 2 mode





COSMO-SkyMed

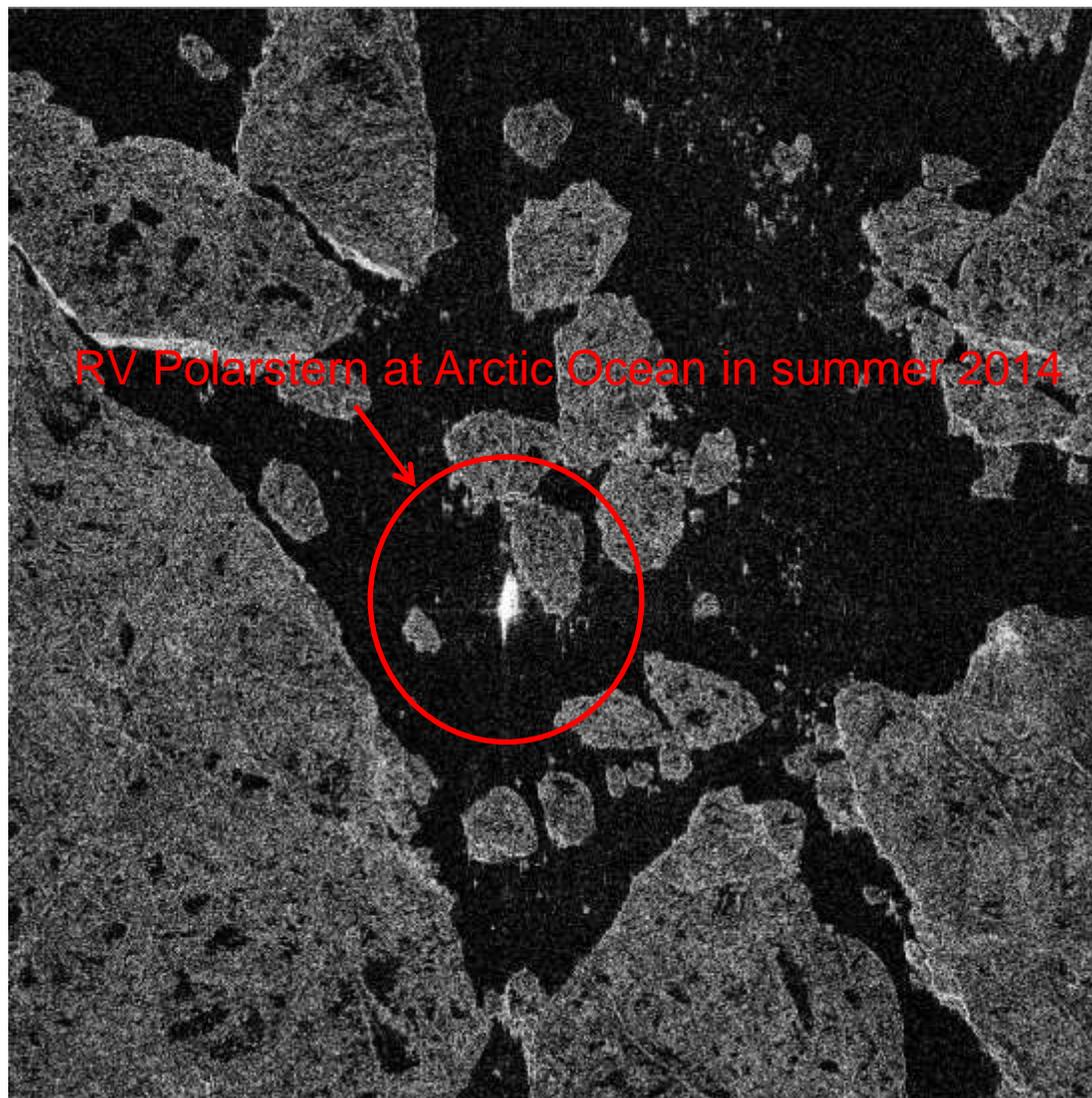
- Spotlight 2 mode





COSMO-SkyMed

- Spotlight 2 mode





- [Hannes Grobe](#), 2002. Alfred Wegener Institute - Self-published work
- [CC BY-SA 2.5](#)



Terrasar-X ja Radarsat 2

- TSX ja RS2 ovat kaupallisia järjestelmiä
- Kummassakin järjestelmässä vain yksi satelliitti
- TSX erotuskyky 1-40 m (0.25 m resoluutio miltä ääritarkoituksiin)
- RS2 erotuskyky 3-100 m
- Vain 1 sat. kummassakin järjestelmässä, joten revisit time sinänsä ”ei hyvä”
- Toisaalta, TSX- ja RS2-kuvat ovat riippumattomia esim. S1- ja CSK-järjestelmistä -> voivat tarjota esim. S1-järjestelmälle lisää ajallista kattavuutta
- Sodankylässä kapasiteetti käsitellä TSX- ja RS2-kuvat operatiivisesti jääpalvelulle

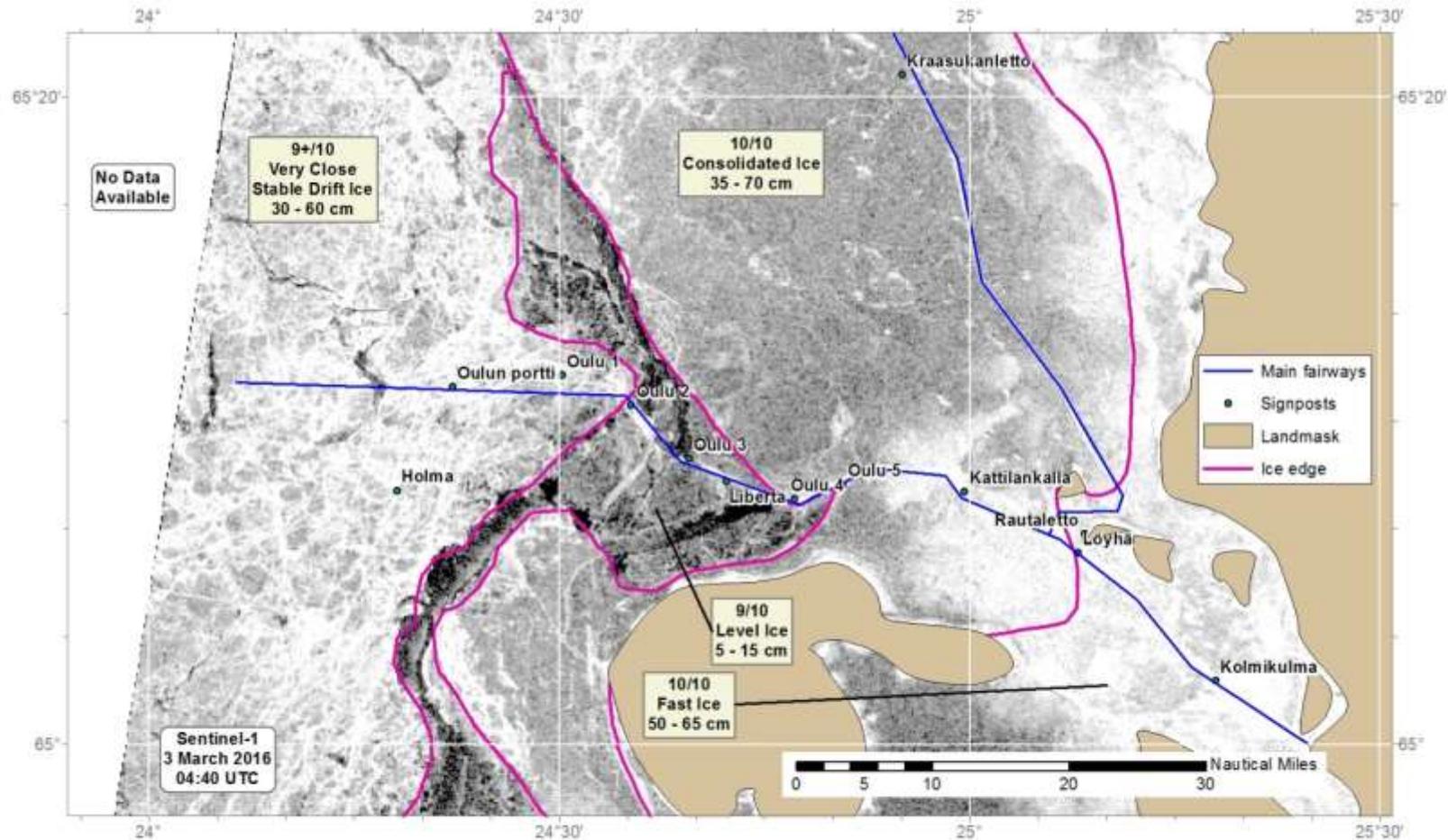


Jääpalvelun tutkasatelliittien kuvatuotanto

- Jääpalvelu tilaa TSX-, RS2- ja CSK haluamansa kuvat
- CSK:n osalta myös tiettyihin tieteellisiin projekteihin liittyvät kuvat toimitetaan automaattisesti
- Automaattinen latausjärjestelmä hakee kuvat satelliittiyriytysten rajapinnoista (ftp) ja kopioi ne prosessoinnin alkupisteeseen
- S1-kuvien osalta IL:n ESA-latausjärjestelmä toimittaa sopivat kuvat (aluerajaus, tietyt moodit) alkupisteeseen
- Prosessoinnin valmistuttua jakelu jääpalvelun levyalueelle (käyttövalmiina suoraan jääpalvelun järjestelmiin: VANADIS)
- Jakelu myös SMHI:lle Ruotsiin
- Jääpalvelun levyalueilta jako IL:n WMS-rajapintaan (murtajat, ulkopuoliset asiakkaat)
- Täysautomaattinen systeemi, kuitenkin IL:n 24/7 valvonnassa



Esimerkki kuvien käytöstä



Product: Annotated Quicklook **Focus area:** Oulu fairway

Image source: Sentinel-1 Satellite overpass: 3 March 2016, 04:40 UTC



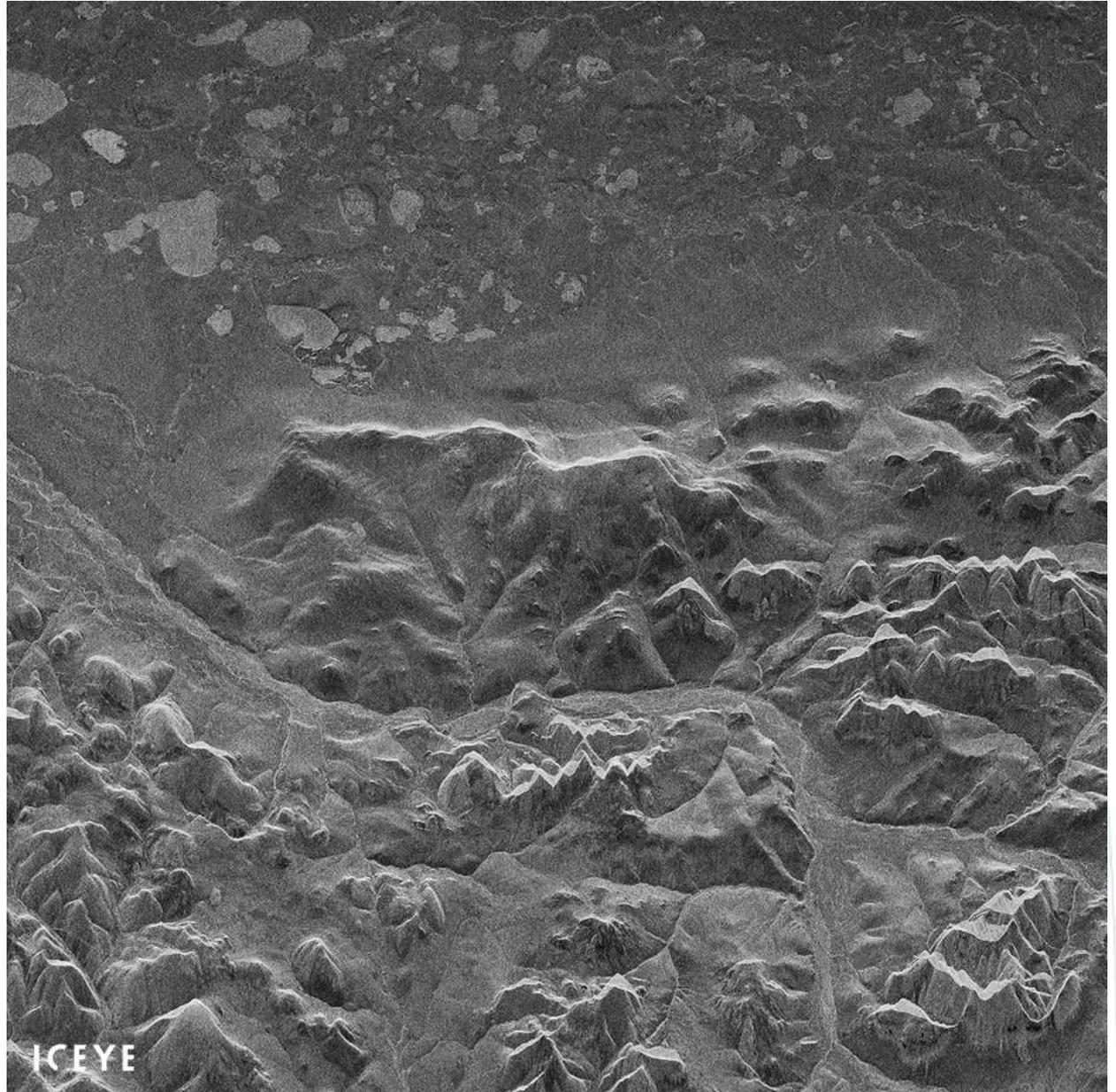
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Satellite image: European Space Agency - ESA



ICEYE

- Suomalaisen ICEYE-yrityksen ensimmäinen tutkasatelliitti ICEYE-X1 Satelliitissa SAR-tutka
- Erotuskyky ~ 10 m
- Yrityksen tavoitteena on saada jopa kymmenien satelliittien konstellatio taivaalle
- Konstellation revisit time ehkä jopa < 1h !
- Ilmatieteen laitos pyrkii yhteistyöhön ICEYE:n kanssa



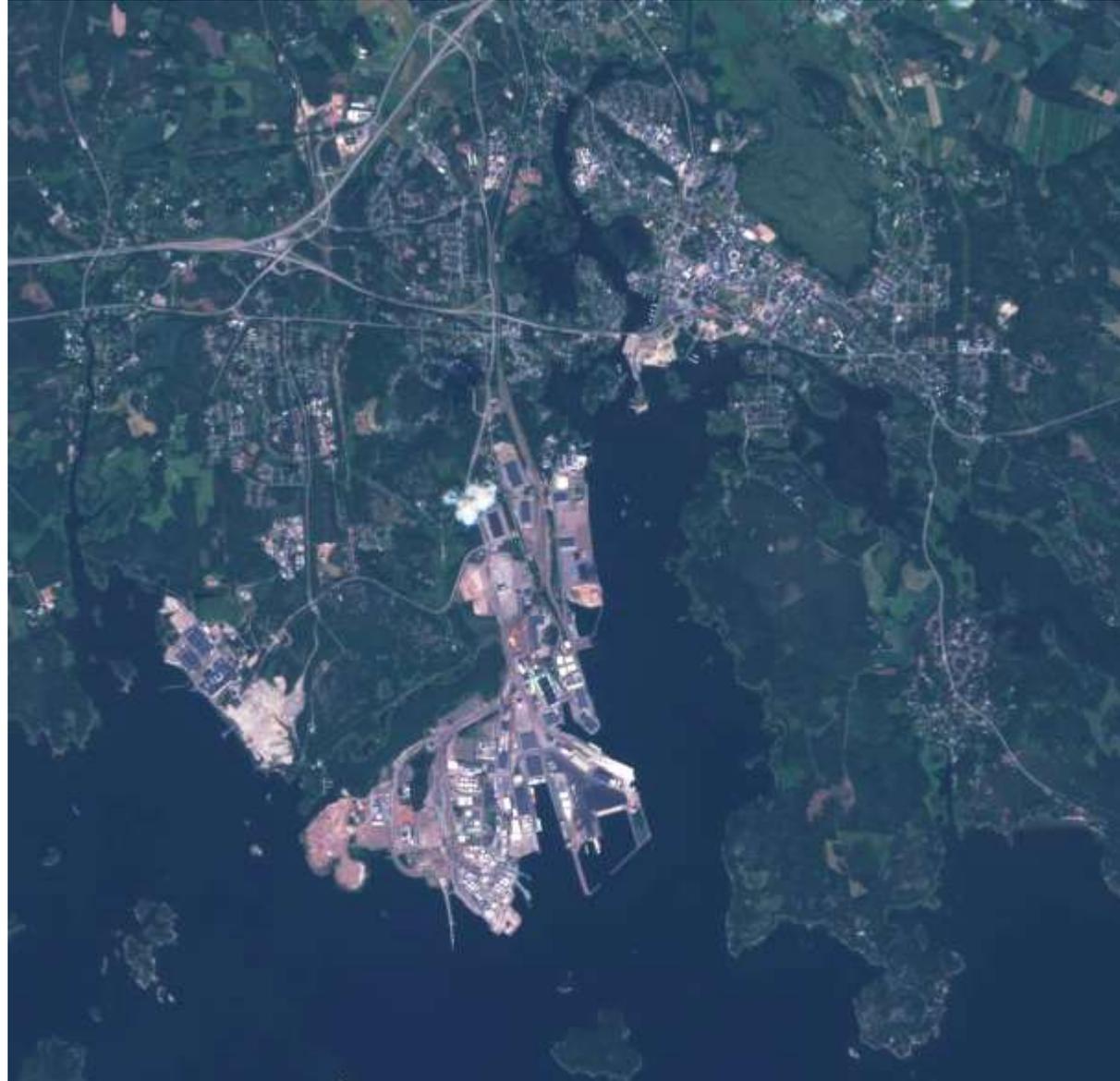


Optisen alueen satelliittikuvat

- Pilvisuus ja talven vähäinen valo ongelmia
- Terra MODIS ja Suomi-NPP VIIRS soveltuvat erotuskyvyltään (~250 m) esim. jäätilanteen seurantaan, eivät kuitenkaan laivojen
- Sentinel 2 MSI-data soveltuu erotuskyvyltään (~10 m) myös laivojen seurantaan
- Sentinel 2-satelliitteja 2 (A&B), joten revisit time S1-luokkaa
- S2-data saatavilla myös FinHub-palvelusta (vain ESA:sta ladattu data, ei vastaanottokykyä)
- Kaupallisia kuvaussatelliitteja olemassa vielä paremmalla erotuskyvyllä



Sentinel 2





Ilmastonmuutos: aikamme haaste I

- Hiilidioksidin lisääntyminen ilmakehässä aiheuttaa Maapallon keskilämpötilan nousemisen
- Nähtävissä erityisesti kylmillä alueilla ("kryosfääri": jäätiköt, merijää, lumi)
- Lumipeite merkittävässä roolissa ilmastonmuutoksessa, mm. vaikuttaa säteilytasapainoon sekä hiilitaseeseen
- Lumipeitteen tarkka tunteminen auttaa parantamaan ilmasto- ja säämalleja



Ilmastonmuutos: aikamme haaste II

- Boreaalisten metsien hiilen sitomiskyky kasvaa selvästi yhteyttämisen alkaessa ja lumipeitteen sulaminen määrittää tämän hetken
- Lumipeitteen muutosten tunteminen auttaa arvioimaan muutokset hiilitaseessa
- Fossiilisista polttoaineista luovutaan vähitellen, päästöttömien energiamuotojen kuten vesivoima merkitys kasvaa
- Lumitilanteen tunteminen auttaa vesivoimakapasiteetin suunnittelussa ja säätämisessä



Miten saada tietoa lumesta? I

- Mitattavia suureita mm. onko lunta mittauspaikalla, lumen syvyys, lumen vesiarvo, lumen ominaisuudet (märkä / kuiva), lumen sulantapäivä keväällä
- Jos lumikerros sulatettaisiin paikalleen, kertoo lumen vesiarvo jäljelle jäävän vesikerroksen syvyyden
- Lumen vesiarvo liittyy siis paitsi lumen syvyyteen niin myös lumen massaan!
- Lumitilanteesta voidaan saada tietoa monin tavoin, esim. mittauksilla paikan päällä (*in situ*) (mittaajat, mittausasemat, kamerat jne.) tai kaukokartoitusmittauksin (lentokoneet, satelliitit)



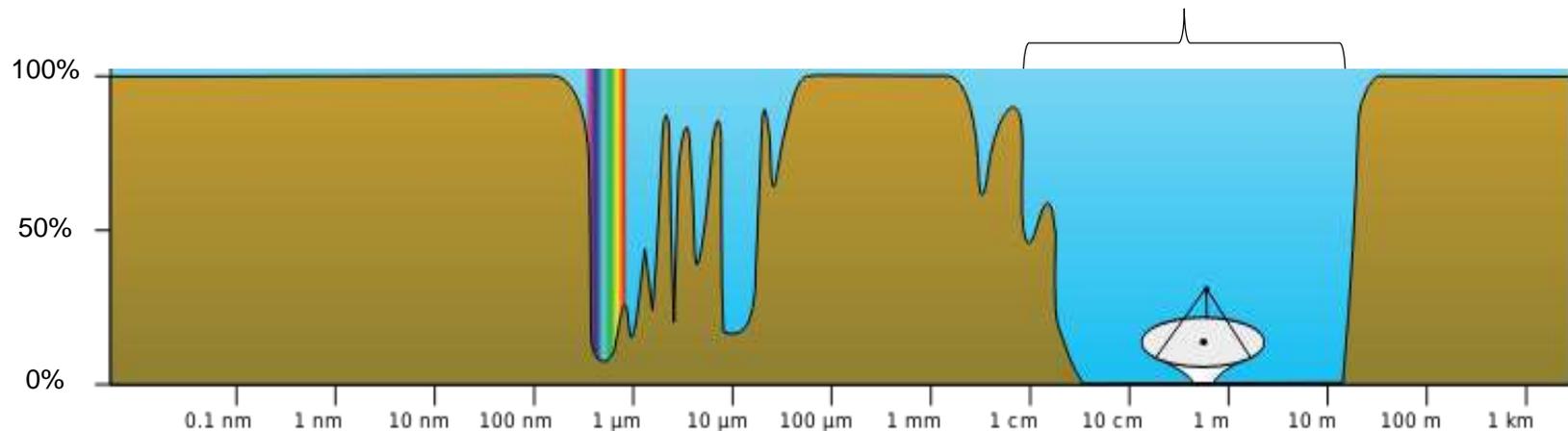
Miten saada tietoa lumesta? II

- Suomessa on Ilmatieteen laitoksella kattava synoptisten (mitataan tiettyinä vuorokaudenaikoina) mittausasemien verkosto. Aiemmin käsin tehdyt mittaukset, nykyisin automaattimittaukset
- SYKE mittaa lumilinjoilla lumen vesiarvoa, n. kerran kk
- Vaikka alueellinen kattavuus on hyvä Suomessa, se ei ole sitä koko pohjoisella pallonpuoliskolla
- Ajallinen kattavuus voisi myös olla parempi



Sähkömagneettinen säteily

- Ilmakehä on (melko) läpinäkyvä riippuen aallonpituudesta
- Näkyvän valon alue
- Mikroaaltoalue (radiotaajuudet)





Lumen satelliittimittaukset

- **Näkyvän valon alueella** voidaan selvittää lumialueen laajuus (snow extent)
- Lisäksi on mahdollista mm. selvittää lumen peitossa oleva osuus per kuvaelementti (fractional snow cover) ja lumen sulantapäivä
- Näkyvän valon mittausten ongelmana on Auringon valon vähäisyys talvikaudella
- Lisäksi runsas pilvisyys voi estää tai haitata mittauksia



Lumen satelliittimittaukset

II

- **Mikroaaltoalueella** voidaan selvittää myös lumen vesiarvo (snow water equivalent)
- Mikroaalloilla ei tarvita Auringon valaistusta
 - Tutka tuottaa itse tarvittavan säteilyn (aktiivinen instrumentti)
 - Radiometri mittaa kohteen luonnollista sm-säteilyä (passiivinen instrumentti)
- Sääilmiöt eivät estä mittauksia, saattavat vaikuttaa niihin jonkin verran
- Olen käyttänyt omassa työssäni mikroaaltoradiometrien mittauksia



Mikroaaltoradiometrit

- Kaikki aine säteilee sähkömagneettista säteilyä (kun lämpötila on suurempi kuin absoluuttinen nollapiste)
- Radiometri mittaa tuota säteilyä, mittaustulos ilmaistaan ns. kirkkauslämpötilana joka vaihtelee kohteesta riippuen. Herkkä erityisesti nestemäiselle vedelle.
- Satelliittiradiometrien erottelukyky suhteellisen heikko (~10 km), kuitenkin riittävä!
- Napojen yli kulkevilla radoilla voidaan kuvata lähes koko Maa kerran vuorokaudessa
- Riittävän pitkät aikasarjat (lähes 40 v.) olemassa!



Kuva: Anna Kontu



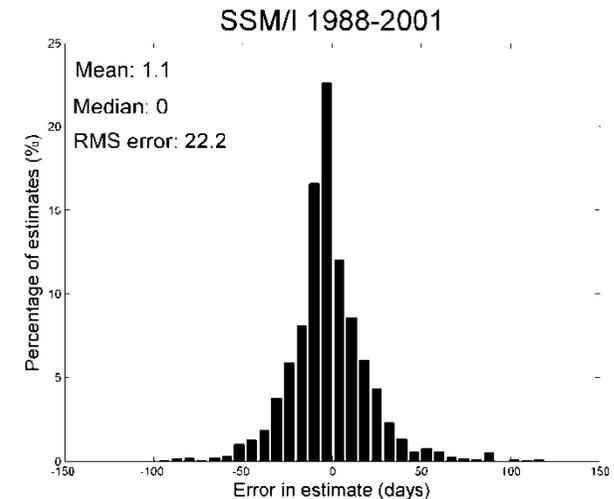
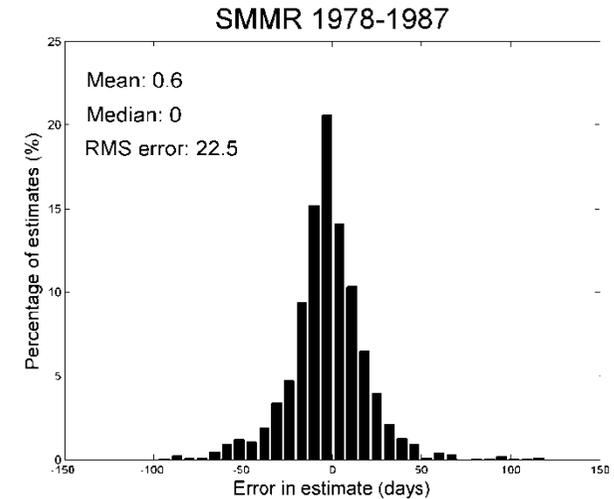
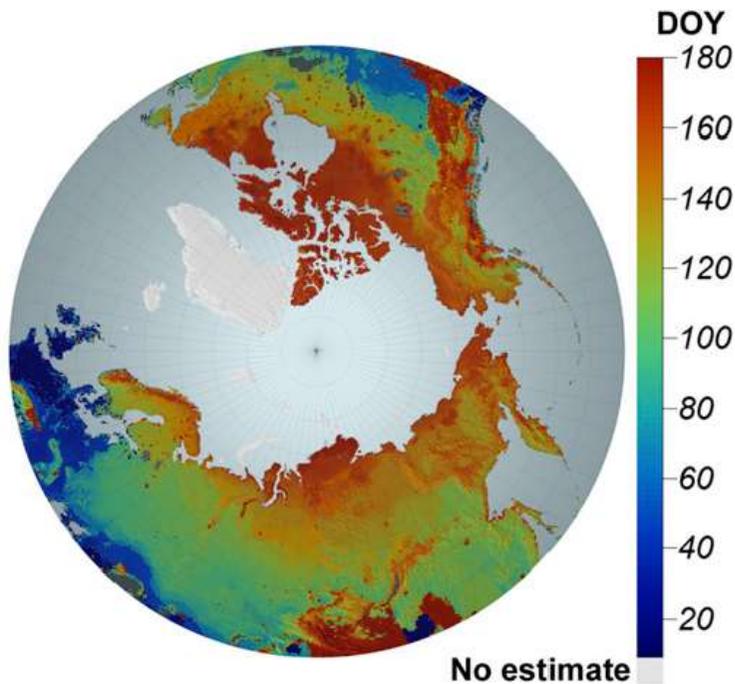
Lumen sulantapäivän määrittäminen I

- Sulanta voidaan määrittää, koska kuiva lumi eroaa selvästi märästä (ja vedestä) kirkkauslämpötilaltaan
- Useita menetelmiä kokeiltiin: kanavaerotusalgoritmia, neuroverkkoja (automaattinen luokittelu) sekä aikasarja-analyysiä
- Parhaaksi menetelmäksi osoittautui aikasarja-analyysi
- Algoritmeja testattiin vertaamalla havaintoihin maan pinnalla (Eurooppa sekä Aasia)
- Algoritmia käytettiin Euraasian lisäksi Pohjois-Amerikassa -> tuloksena pohjoisen pallonpuoliskon sulantapäiväkartat yli 30 vuoden ajalta



Lumen sulantapäivän määrittäminen II

Day of Snow Clearance Year 2000



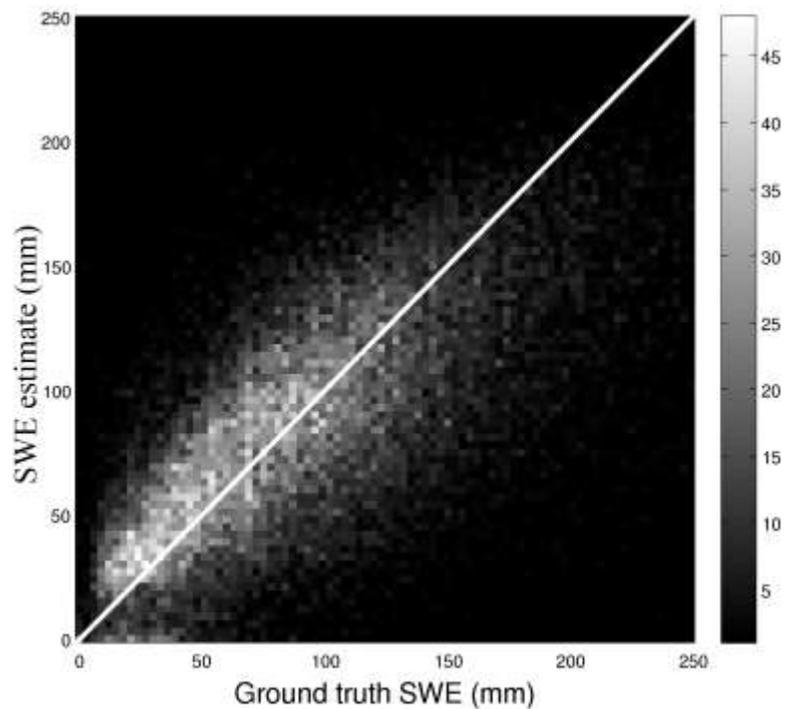
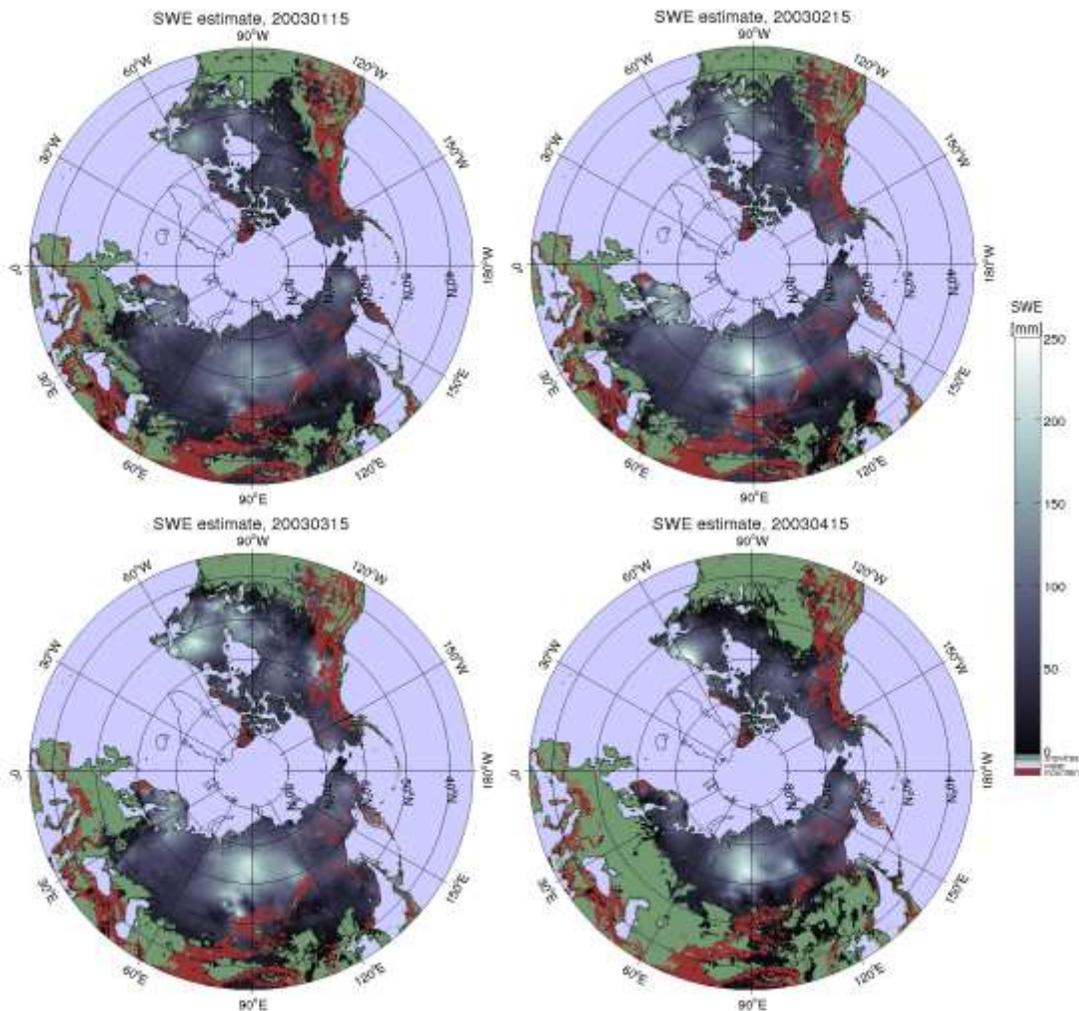


Lumen vesiarvon määrittäminen I

- Työssä kokeiltiin vesiarvon määrittämistä mm. neuroverkoilla
- Märkä lumi on kuitenkin ongelma puhtaille satelliittimenetelmille
- Vesiarvon määrittämiseen on käytetty HUT-lumimallia (kehitetty TKK:lla, nykyään Aalto-yliopisto)
- Menetelmä yhdistää maanpintahavaintoja ja satelliittihavaintoja (datafuusio)
- Väitöksessä on optimoitu menetelmä koko pohjoiselle pallonpuoliskolle -> tuloksena pohjoisen pallonpuoliskon vesiarvokartat yli 30 vuoden ajalta



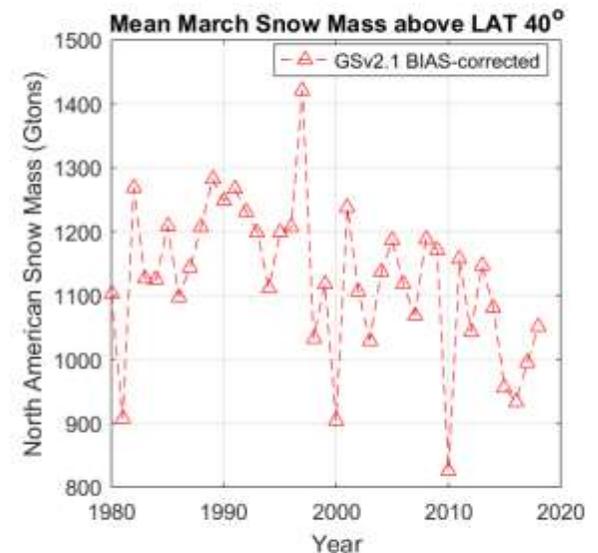
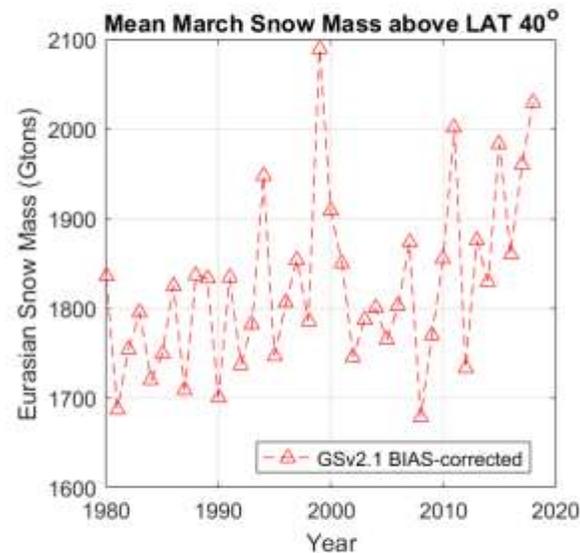
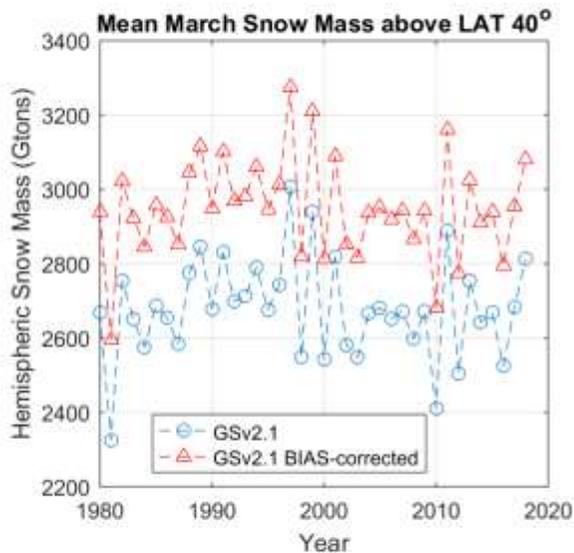
Lumen vesiarvon määrittäminen II





Lumen vesiarvon määrittäminen III

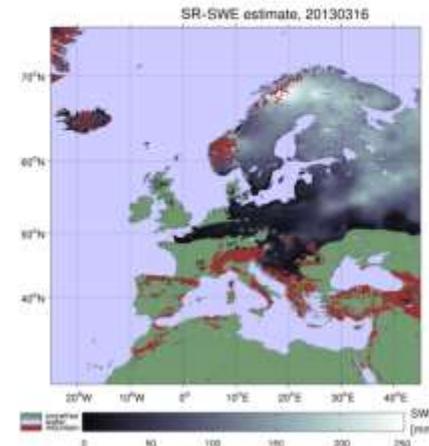
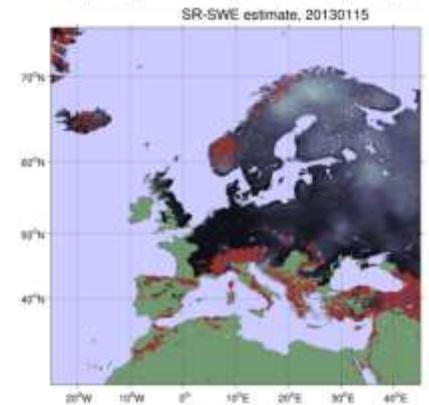
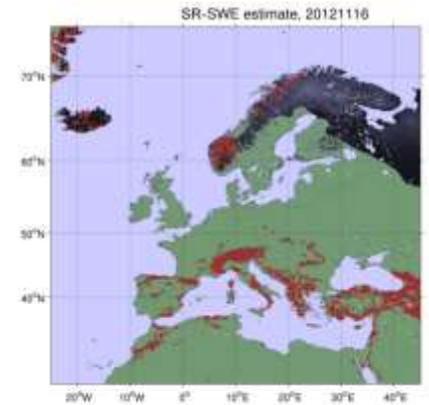
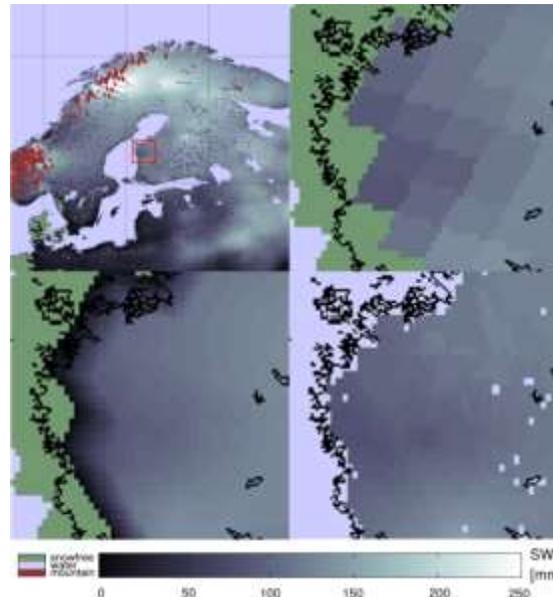
- Aiemmin julkaisematon tulos, pohjoisen pallonpuoliskon lumimassan käyttäytyminen vajaan 40 vuoden ajalta





Lumen vesiarvon määrittäminen IV

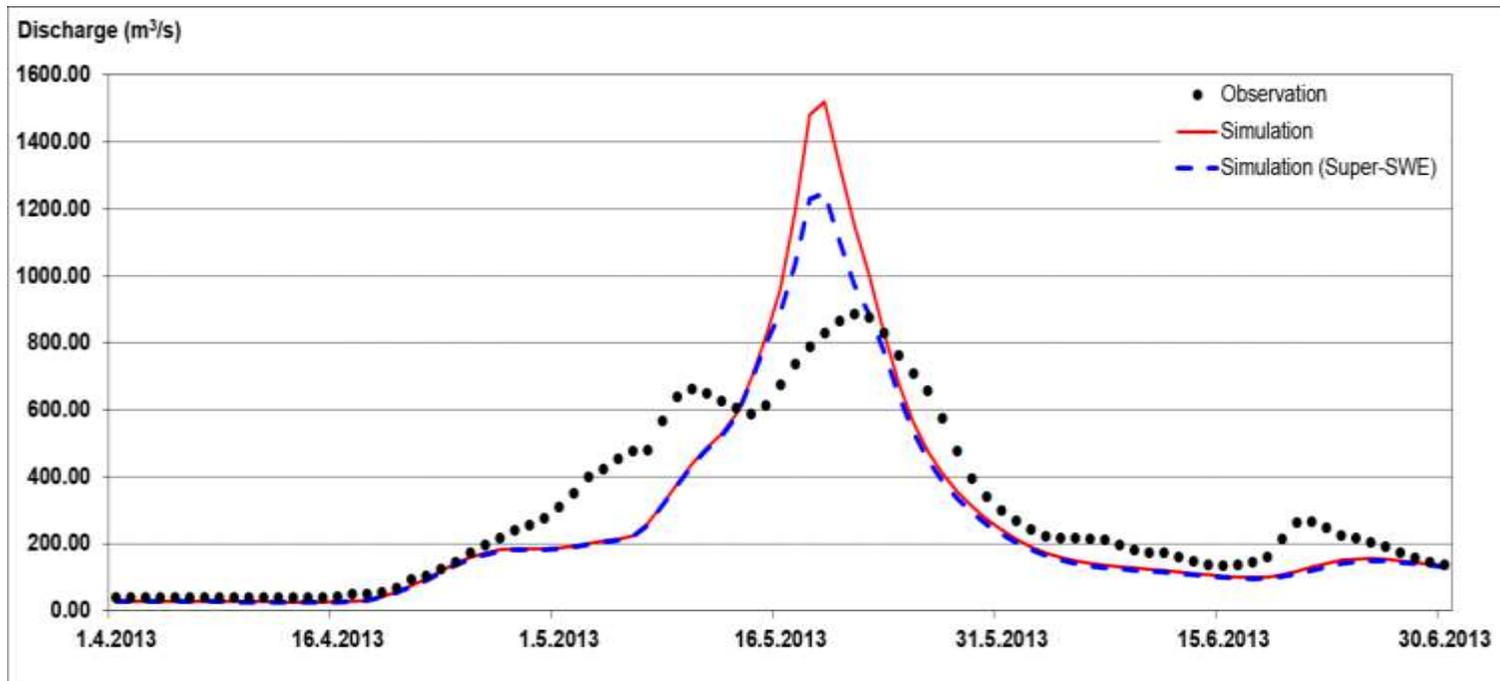
- Pohjoisen pallonpuoliskon lisäksi on kehitetty parannus lopputuotteen erotuskykyyn Euroopan alueella
- Perustuu siihen, että osa lähdeaineistoista on radiometrin erotuskykyä (~ 25 km) tarkempia
- Olemassa lyhyt aikasarja
- Pääpaino päivittäisen vesiarvokartan tuottamisessa
- Myös pohjoisen pallonpuoliskon lumikartta saatavilla päivittäistuotteena





Lumen vesiarvon määrittäminen V

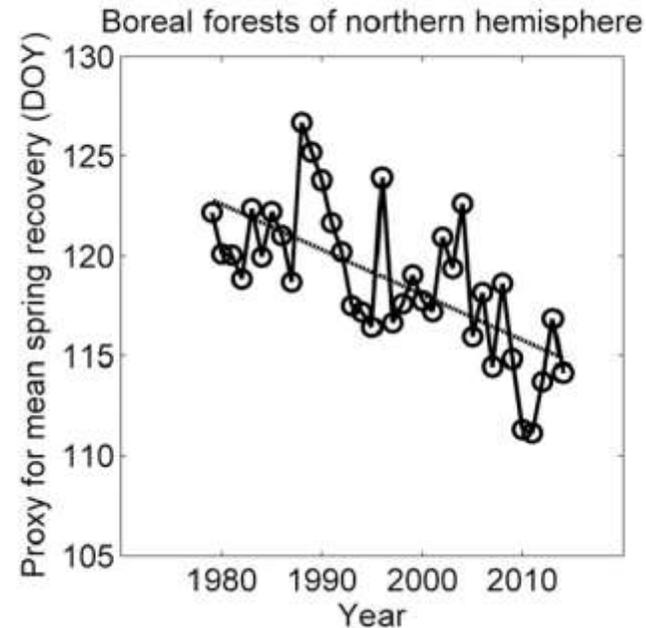
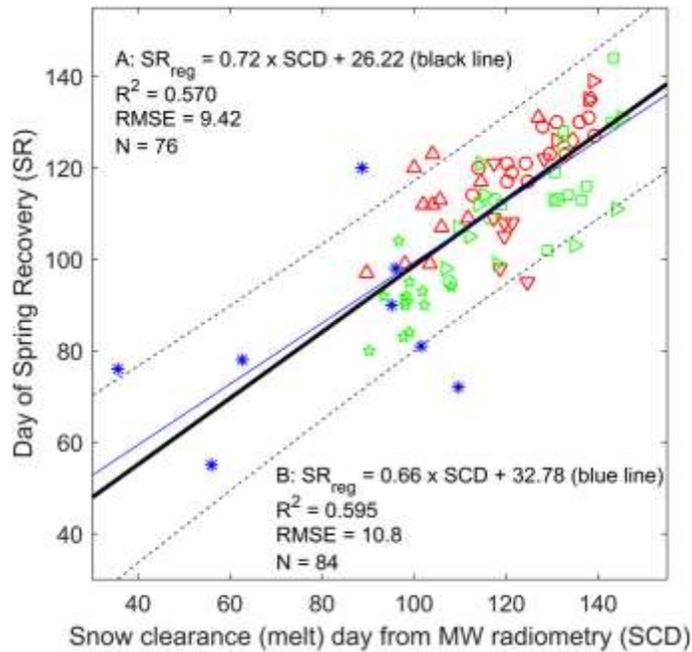
- Kemijoen virtaumaennuste parani, kun mallinnukseen yhdistettiin lumen vesiarvotieto
- Yleisesti ottaen lumitiedon yhdistäminen mallinnukseen ei ainakaan huononna tuloksia





• Hiilitaseen muutos

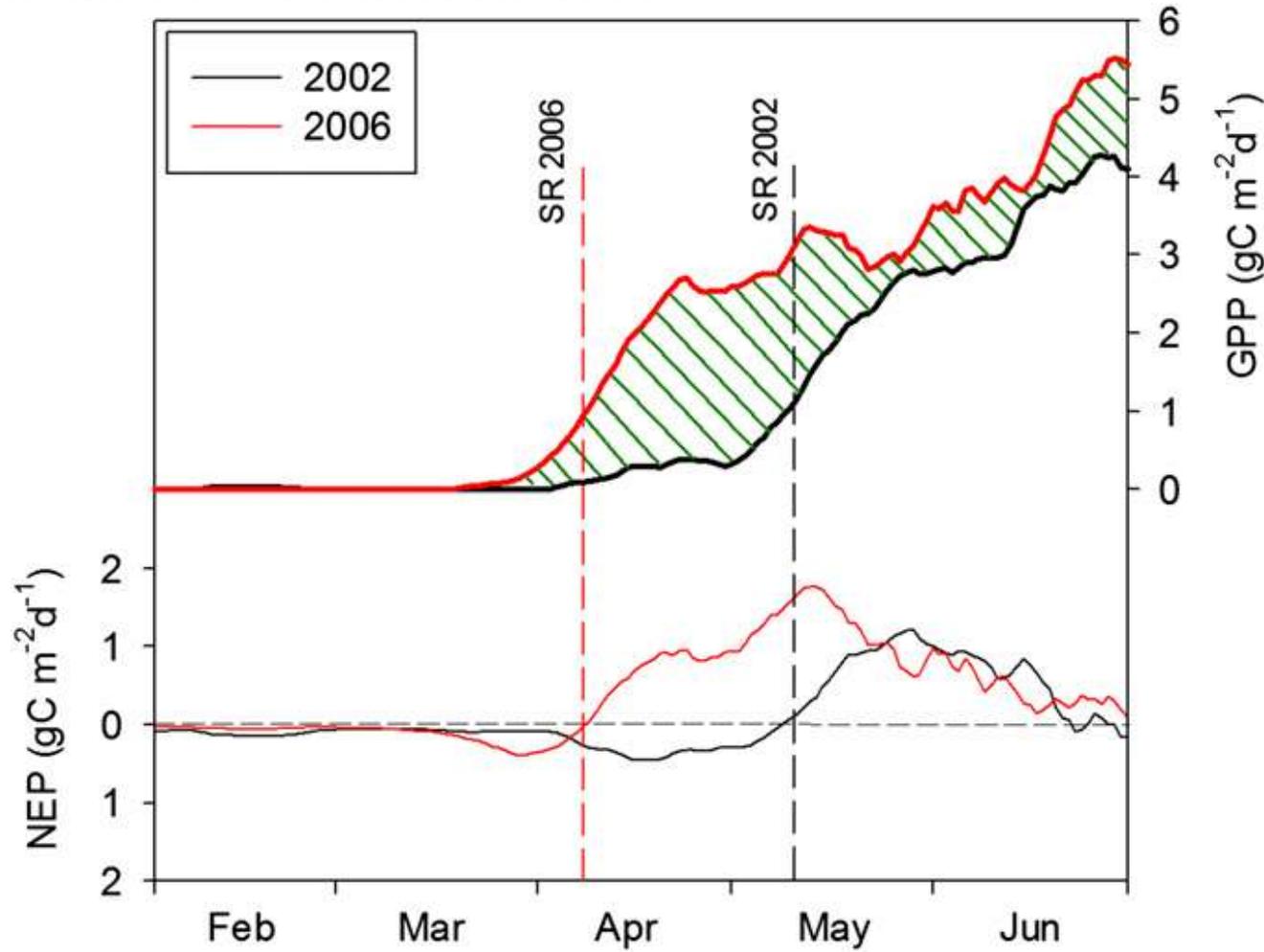
- Bruttoprimäärituotos (Gross Primary Production) kertoo yhteyttämisen tuottaman energian määrän, yleisesti ottaen kasvaa kun hiilidioksidipitoisuus kasvaa
- Lumen sulantapäivällä suora yhteys siihen kun yhteyttäminen alkaa (Spring Recovery)
- SR taas yhteydessä bruttoprimäärituotokseen





• Hiilitaseen muutos II

- GPP:n muutos on voitu siis mitata epäsuorasti, samoilla linjoilla ilmastomallien kanssa





Yhteenveto

- Väitöksessä on tutkittu lumen kaukokartoituksen menetelmiä
- Tuloksena on saatu pitkät aikasarjat (lähes 40 v.) lumen sulantapäivästä sekä vesiarvosta
- Päivittäistuotteet lumen vesiarvosta
- Saaduilla tuloksilla on voitu arvioida hiilitaseen muutosta
- Tuloksilla voidaan parantaa vesistöjen virtaumaennusteita
- Tuloksilla voidaan parantaa ilmastomalleja



5.8.2019