



TARTU OBSERVATOORIUM
eesti kosmosekeskus



Tartu Observatooriumi Sentinel-1 koolitus

Tehisava-radari (SAR) A ja O

Kaupo Voormansik

Tõravere, 25. november 2014



Euroopa Liit
Euroopa Sotsiaalfond



Eesti tuleviku heaks



Lähteandmete jagamine

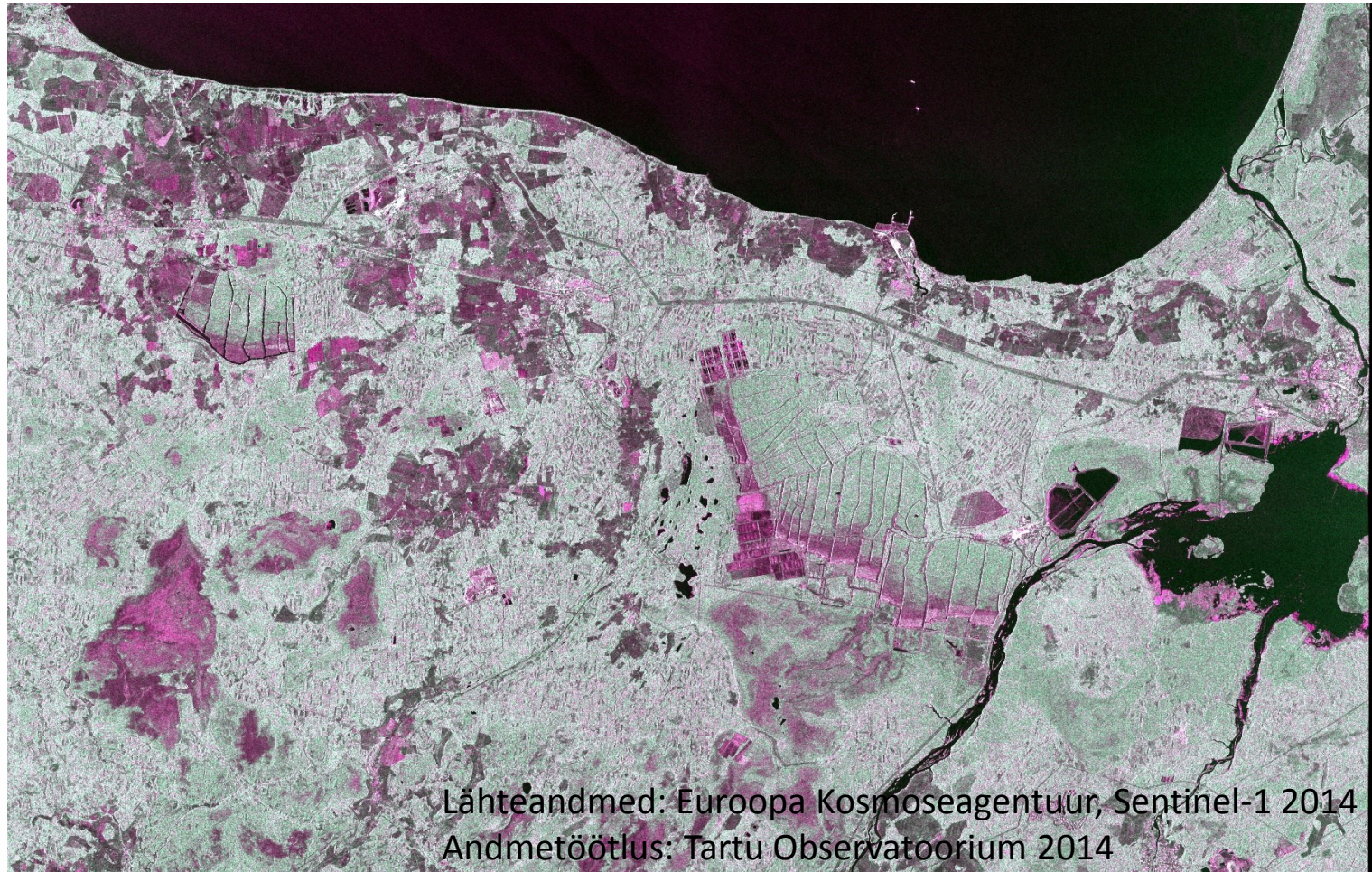
- Pakk mälupulgal või
FTP: ftp://ftp.aai.ee/kursus/S1_koolitus/



Sisukord

1. Sentinel-1 ja Copernicus programmi tähelepanuväärsus.
2. Tehisava-radari rakendused.
3. Tehisava-radari pildi moodustamine.
4. Tehisava-radari piltide interpreteerimine.
5. Kaasaegsete radarsatelliitide põhiparameetrid.
6. Amplituudi ja faasi mõõtmine, haavelmüra (speckle).

Sentinel-1 – mis see on?



Lähteandmed: Euroopa Kosmoseagentuur, Sentinel-1 2014
Andmetöötlus: Tartu Observatoorium 2014

Sentinel-1 – mis see on?



Pildi allikas: Euroopa Kosmoseagentuur 2014



Sentinel-1 tähtsus

Mille poolest on Sentinel-1 eriline?

- Ajaline sageduse.
- Vaateala laiuse ja lahutuse suhe.
- Töötükk – *duty cycle* (25 min/orbiit).

Copernicus programm:

- Suures koguses tasuta andmeid (Sentinel 1, 2, 3, 4, 5, 5p).
- EL-i maksumaksja rahastatud.



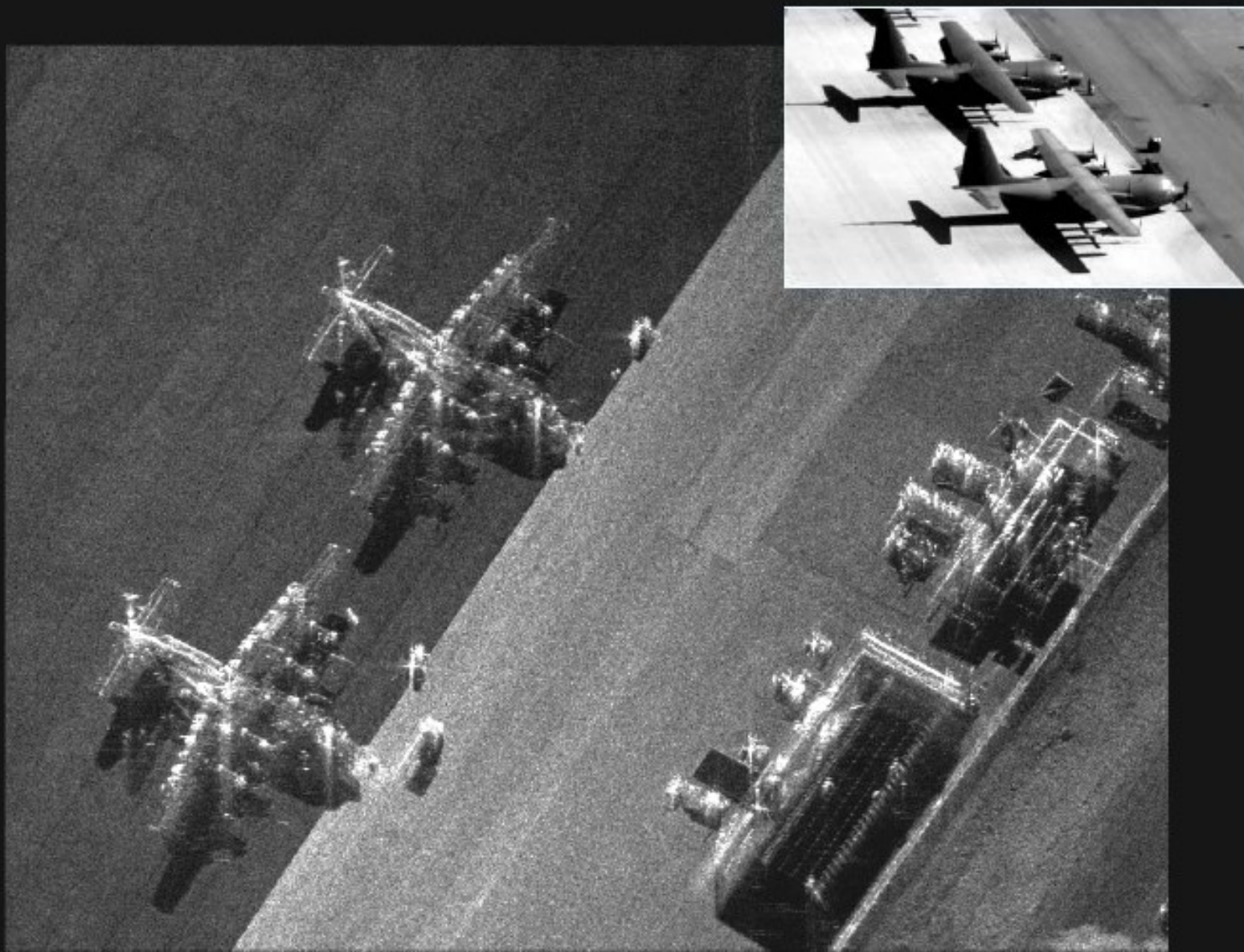
OK, aga mida radariandmetega teha saab?



Kõige esimene radarkaugseire rakendus?

- ...

**KA-BAND C-130s ON FLIGHT LINE
4-INCH RESOLUTION**



**KA-BAND AIR FORCE HISTORIC
HELICOPTER AND PLANE STATIC DISPLAY
4-INCH RESOLUTION**





Pikk ja kasvav tsiviilrakenduste nimekiri

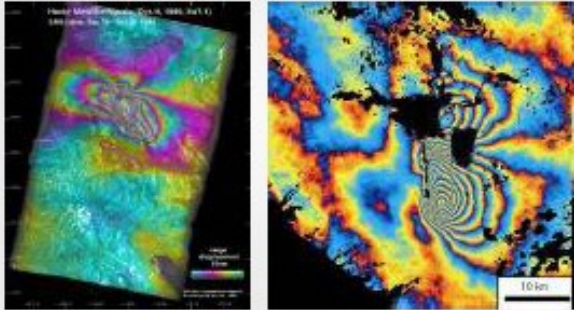
1. Kõrgusmudelite arvutamine
 - Millega on arvutatud GoogleEarthi DEM?
 - TanDEM-X?
2. Maapinnaliikumiste arvutamine millimeetrise täpsusega
 - maavärinate ja vulkaanipursete ennustamine, kaevanduste järelvalve.
3. Jää kaardistamine
 - jäälõhkuja kütuse säästmise



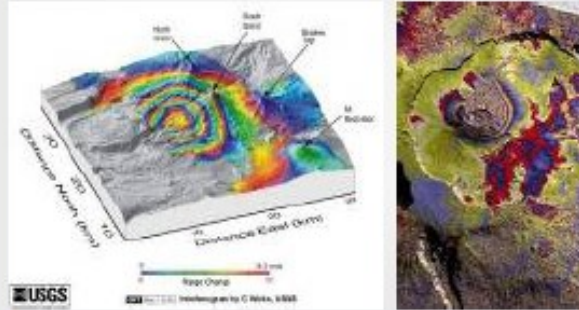
SARi rakendused

4. Õlireostuste tuvastamine ja kaardistamine.
5. Metsa kõrguse ja biomassi kaardistamine
- lageraiealade kaardistamine.
6. Üleujutuste kaardistamine.
7. Koherentsuse ja amplituudi põhine muutuste
tuvastamine mitmesugusteks rakendusteks.
8. Lainetuse ja tuulekiiruse mõõtmine merel.
9. ...

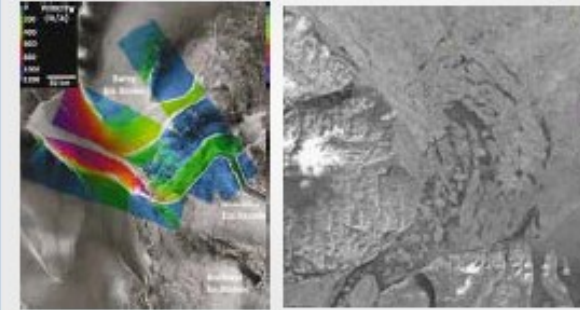
Earthquakes



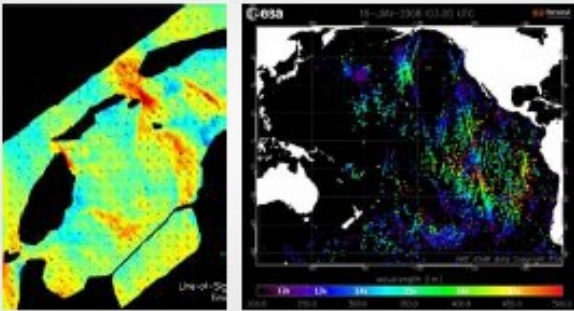
Volcanoes



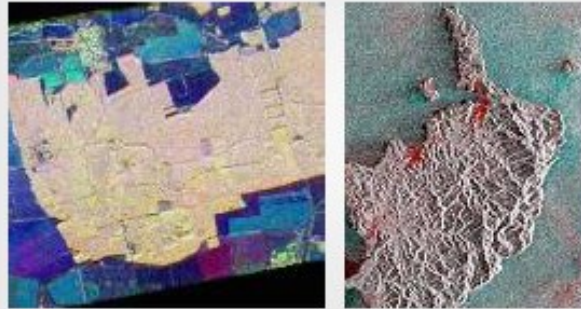
Land & Sea Ice



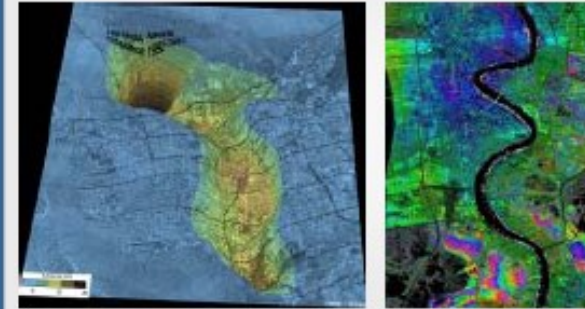
Ocean



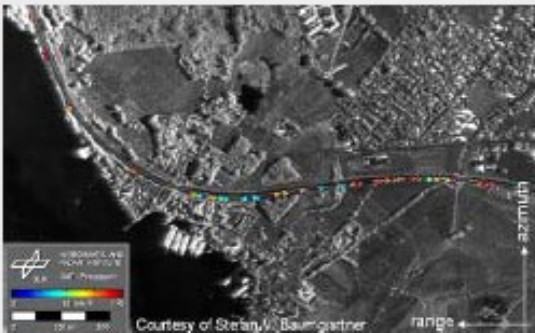
Land Environment



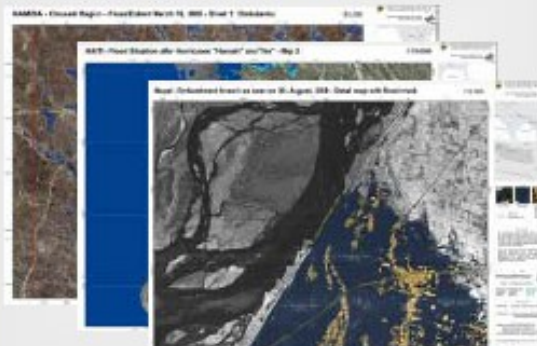
Subsidence



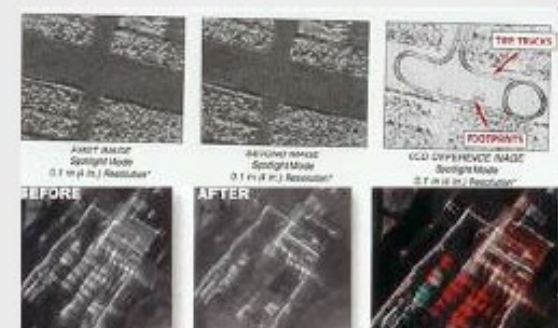
Traffic



Disaster

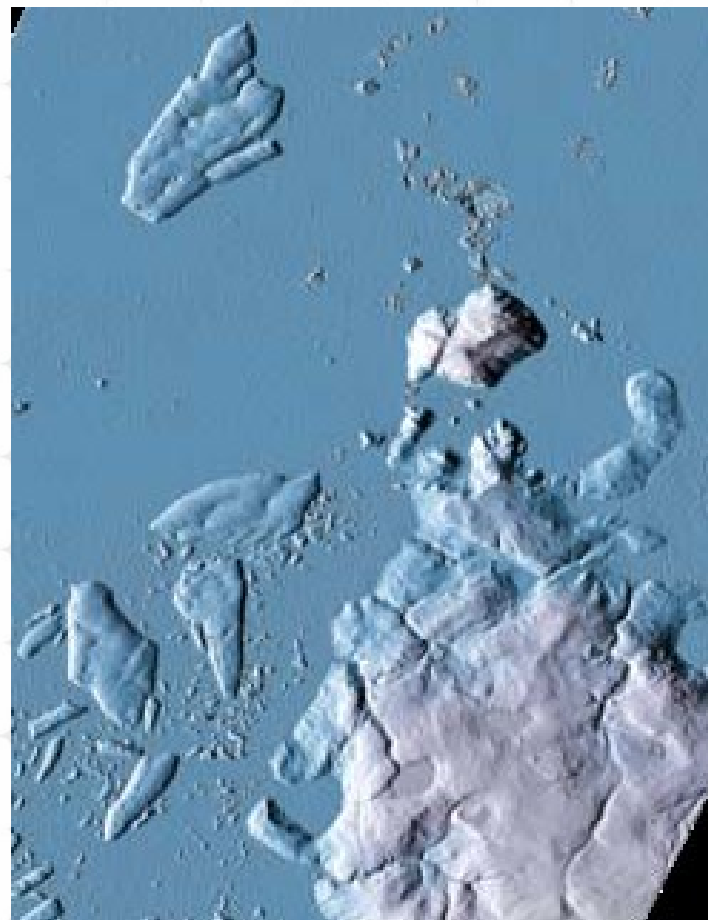
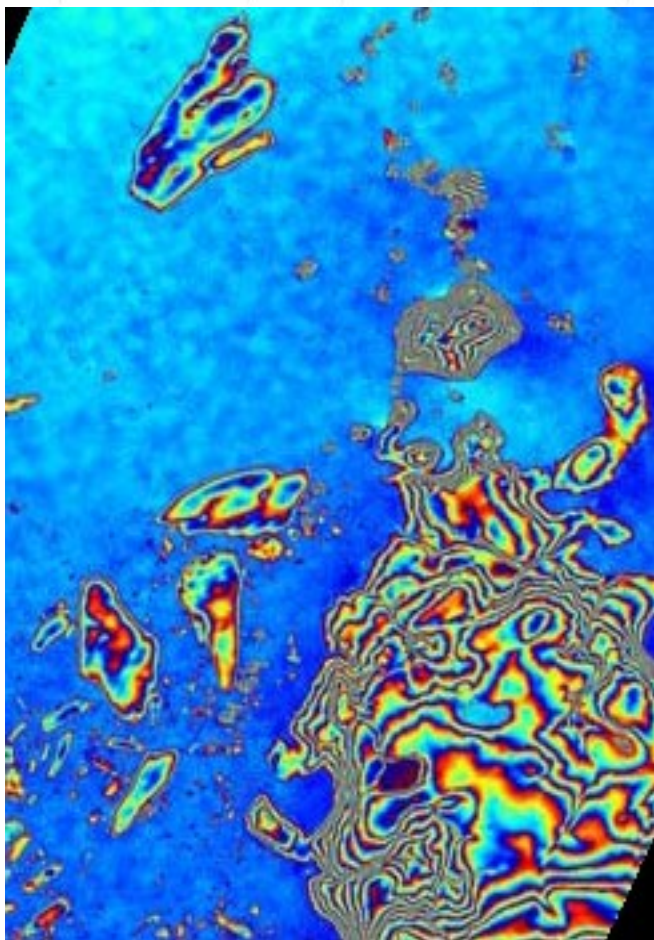


Reconnaissance

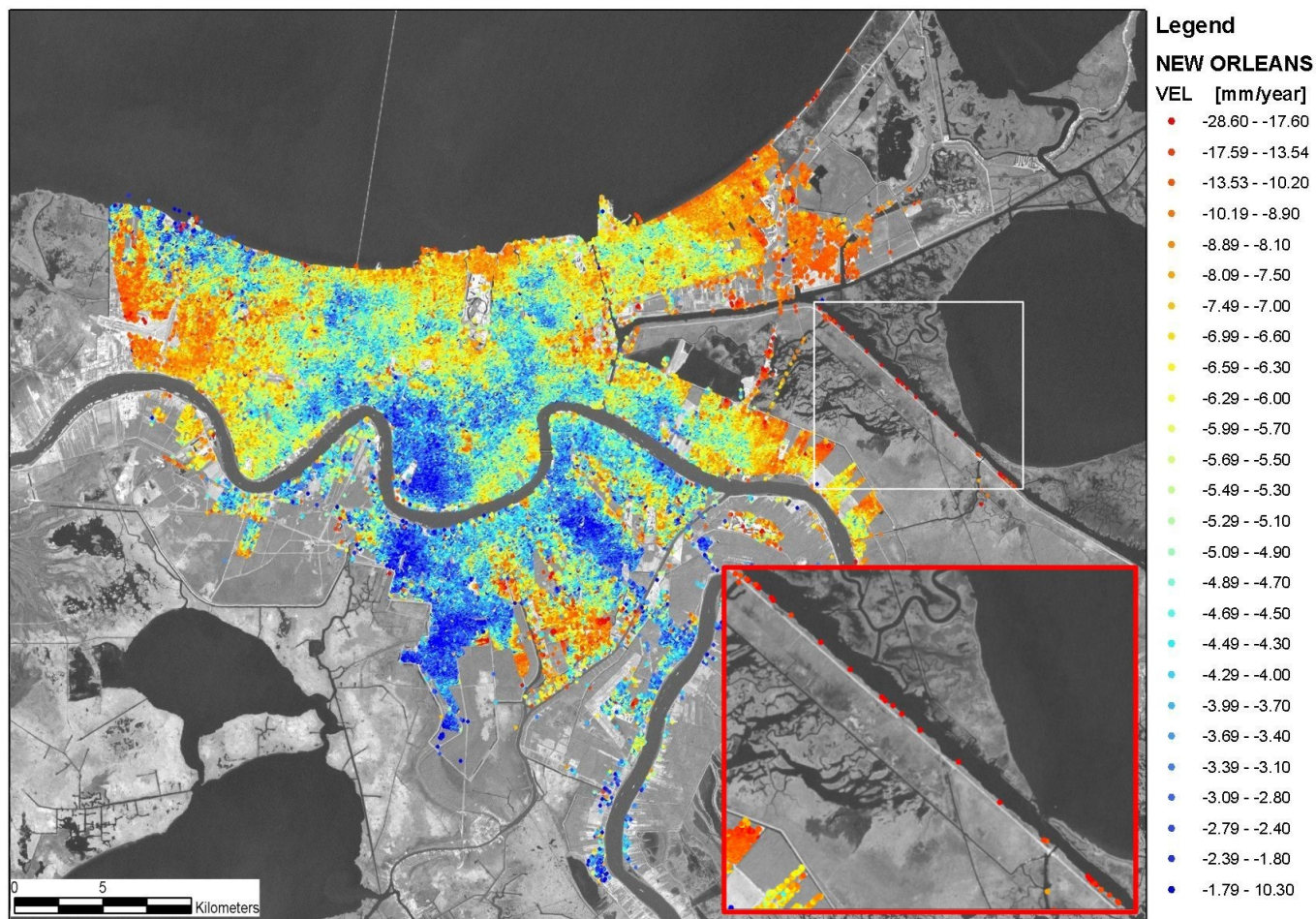




Kõrgusmudelite arvutamine

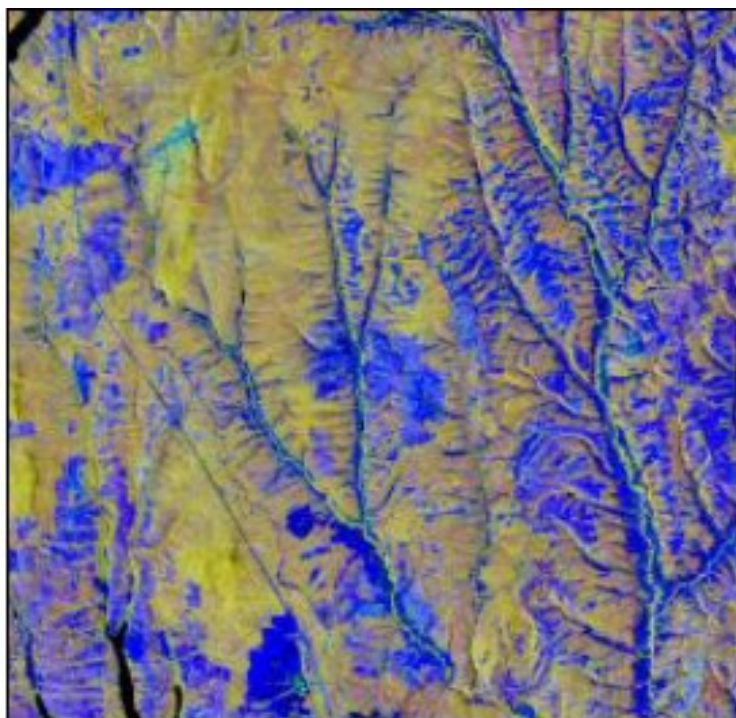


Maapinna ja hoonete deformatsiooni mõõtmine

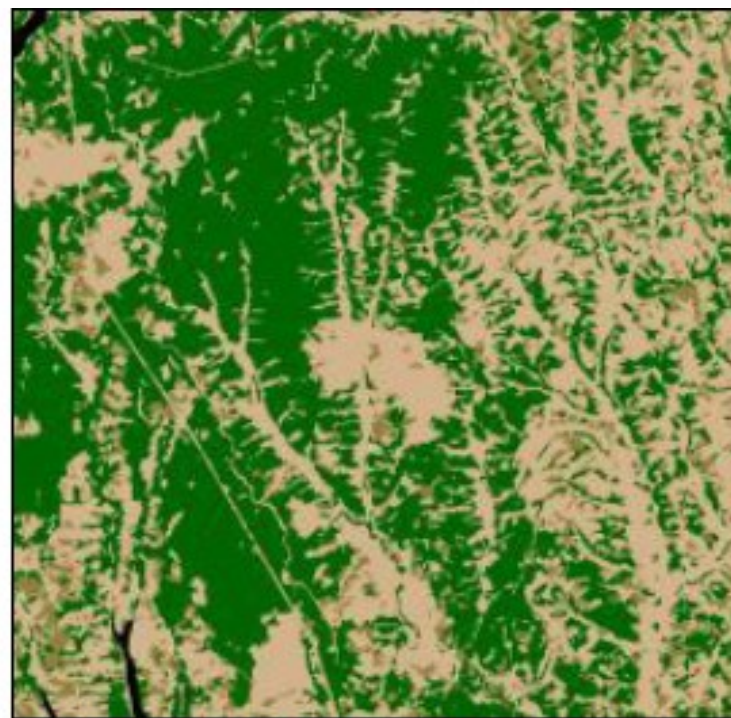




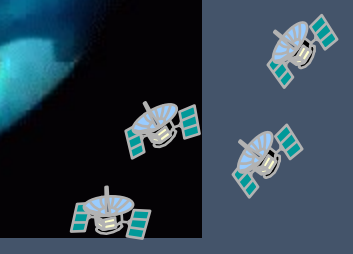
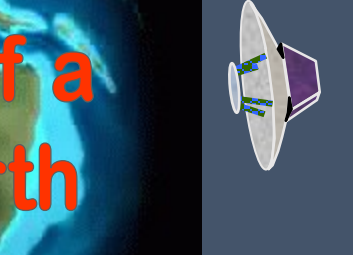
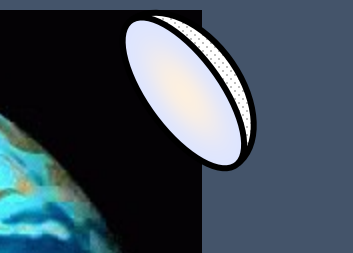
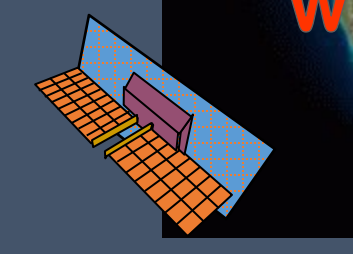
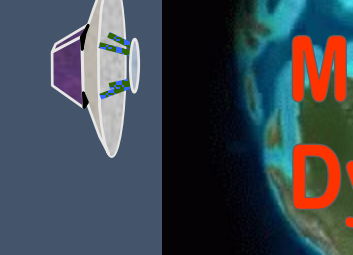
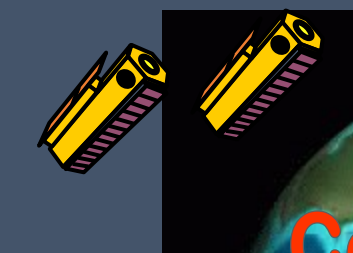
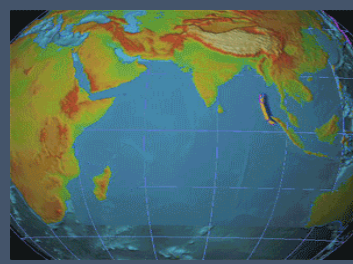
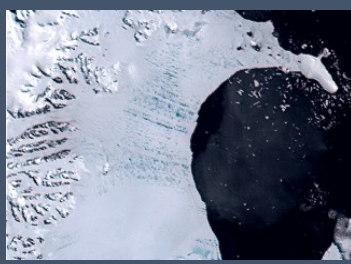
Metsaga kaetud ala arvutamine



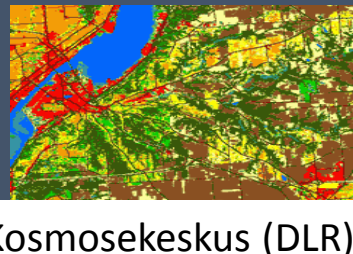
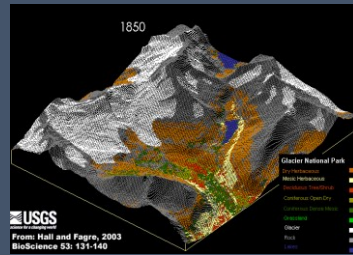
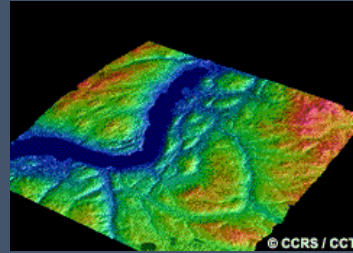
SAR data (HV/HH/Coherence)



Map (forest: green, very low biomass forest: brownish green, non-forest: light brown)



Continuous Monitoring of a Dynamic Earth with Radar





Mis asi on tehisava-radar?

- Aktiivne kaugseire-instrument.
- 2D pilte tegev radar.
- Platvormiks tavaliselt satelliit või lennuk.
- Tundlik eelkõige objekti geomeetria (λ suuruse tähtsus) ja dielektrilisele läbitavusele (*relative permittivity*).



Tehisava-radari eelised optiliste instrumentide ees.

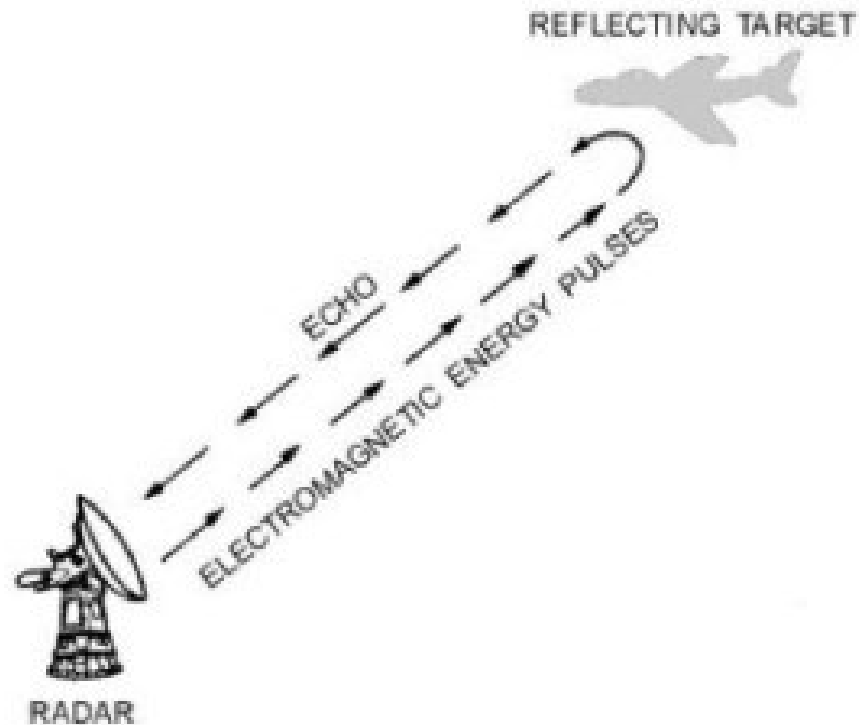
- Tänu sobivale lainepikkusele „näeb“ läbi pilvede, nt. oktoober-jaanuar Eestis.
- Ei vaja päikesevalgust, saab töötada 24/7.



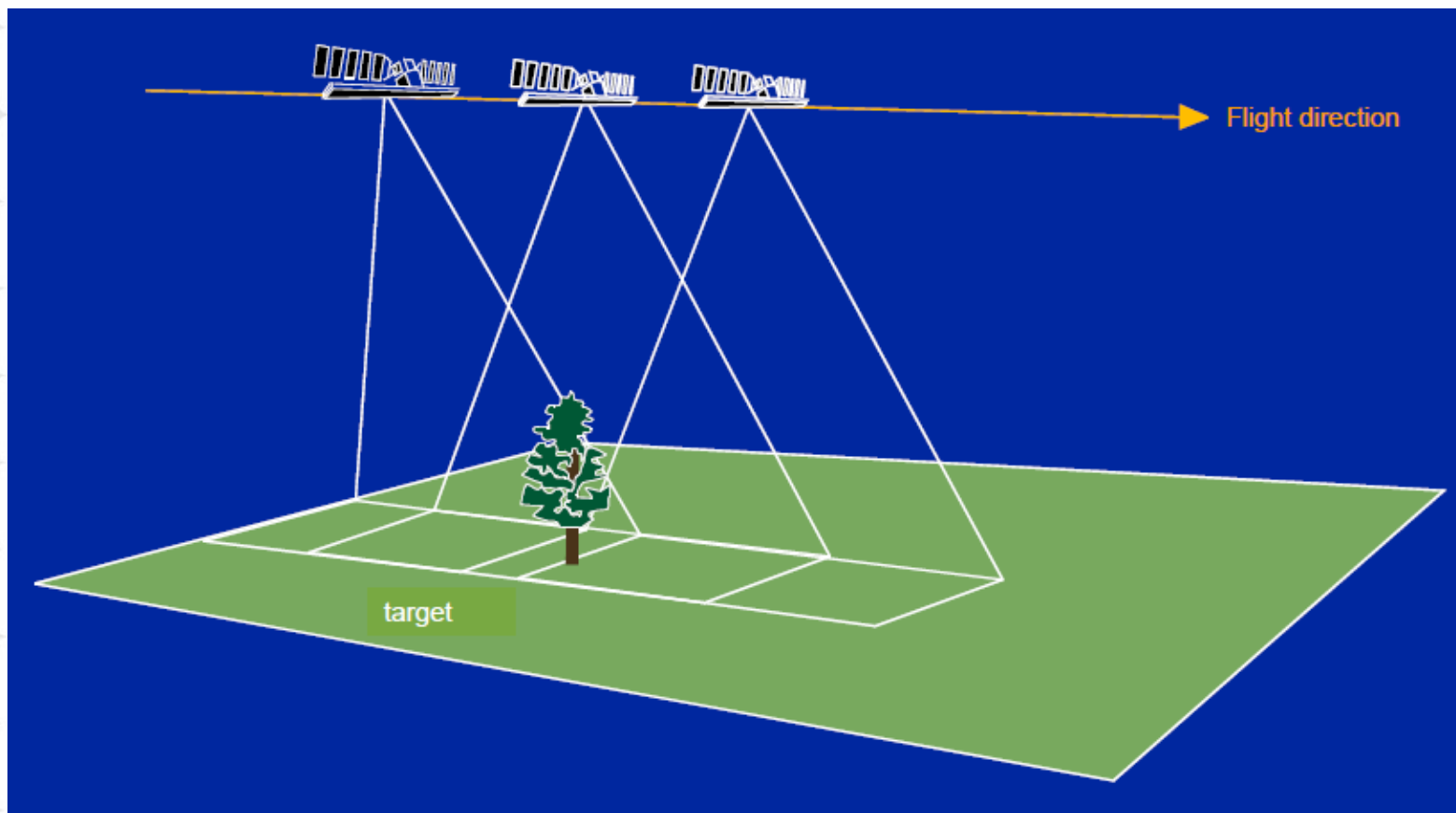
SAR terminoloogia

1. Mis on asimuut?
2. Mis on ulatus (*i k range*)?
3. Mis on langemisnurk (*i k incidence angle*)?

Kuidas moodustatakse radaripilt?



Kuidas moodustatakse radaripilt?





Kuidas saavutatakse lahutus ulatuse
suunas (külgsuunas)?



Kuidas saavutatakse lahutus
lennusihis (asimuudi suunas)?



Küsimusi

- Miks SAR kunagi otse alla ei vaata? Miks on SARi antenn alati küljele suunatud?



Geomeetrilised moonutused

- Ülekate (*i k overlay*).
- Vari (*i k shadow*).
- Radaripoolsete nõlvade kokkusurutus (*i k foreshortening*).
- Kõrgusmudelit teades on võimalik radaripilt ortorektifitseerida!

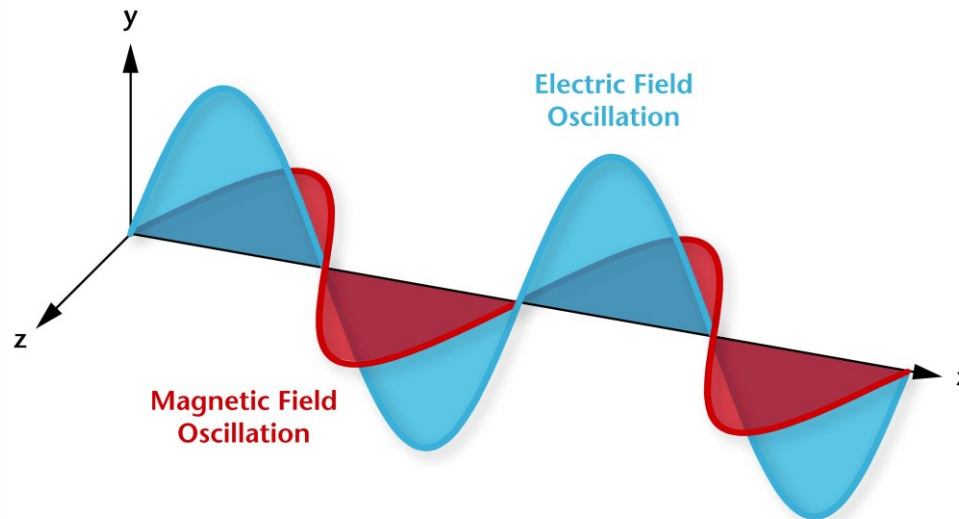


TerraSAR-X Tartu pilt

- Millisest suunast SAR „vaatas“?
- Kuidas paiknevad asimuudi ja ulatuse teljed?
- Kas pilt on täpselt põhja-lõuna sihiline? Kui ei, siis miks?

Tehisava-radarite (SAR) erinevad lainepikkused

- L-, C- ja X-laineala, vastavad keskmised sagedused ja lainepikkused.



Allikas: <http://langlopress.net>



Main Scatterers at different frequencies



Austrian pine



X band
 $\lambda = 3 \text{ cm}$



L band
 $\lambda = 27 \text{ cm}$



P band
 $\lambda = 70 \text{ cm}$

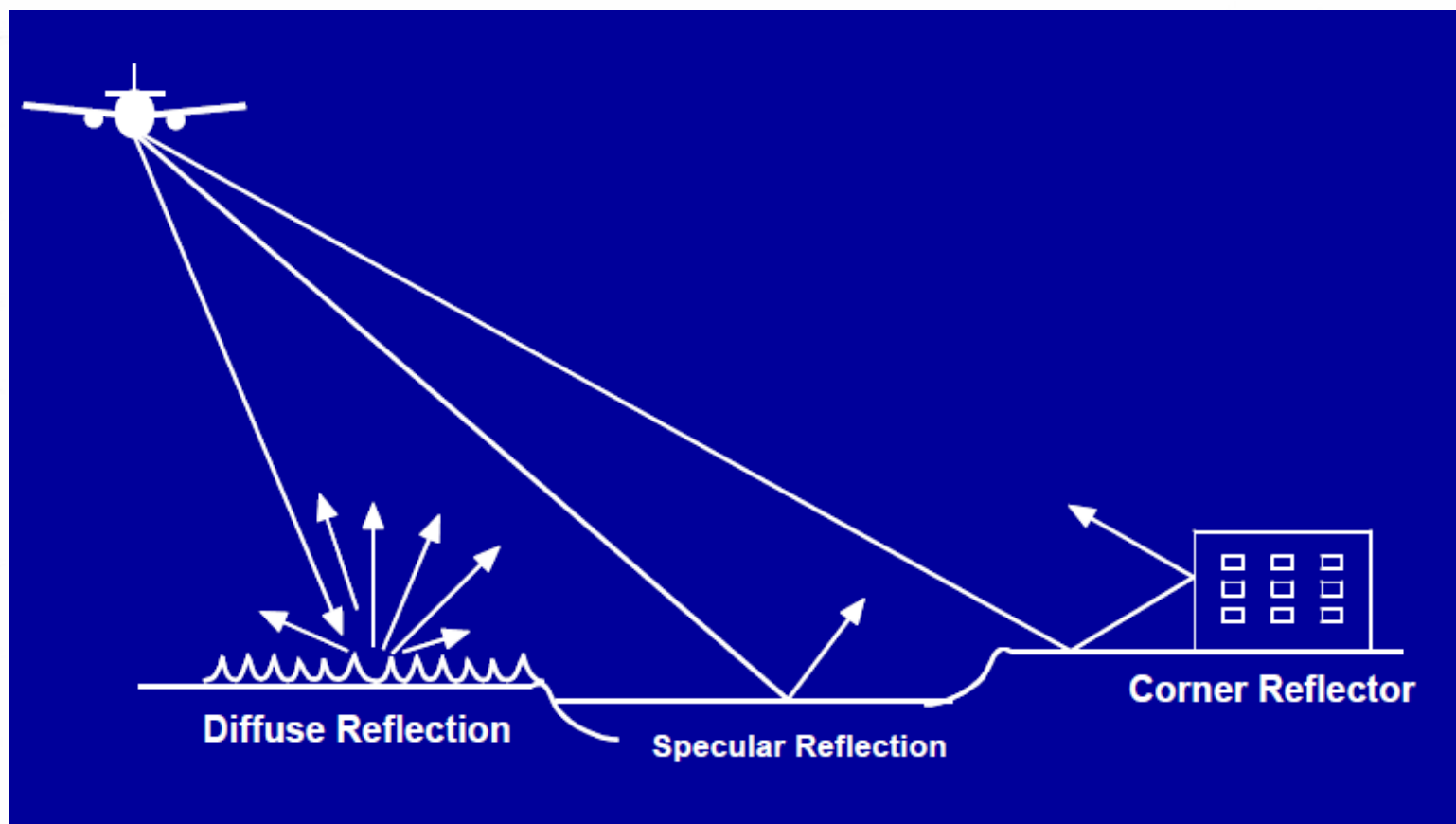


VHF
 $\lambda > 3 \text{ m}$

LE TOAN

Kõrgemate ja madalamate sageduste kasutamise eelised ja puudused?
ITU piirangud?

Millised paistavad tasased ja ebatasased alad radaripildil?





Kuidas paistab radaripildil?

- Veekogu tuulevaikse ilmaga.
- Märg ja ebatasaselt küntud põld.
- Linn.
- Üleujutatud mets?

Erinevad pildistusrežiimid

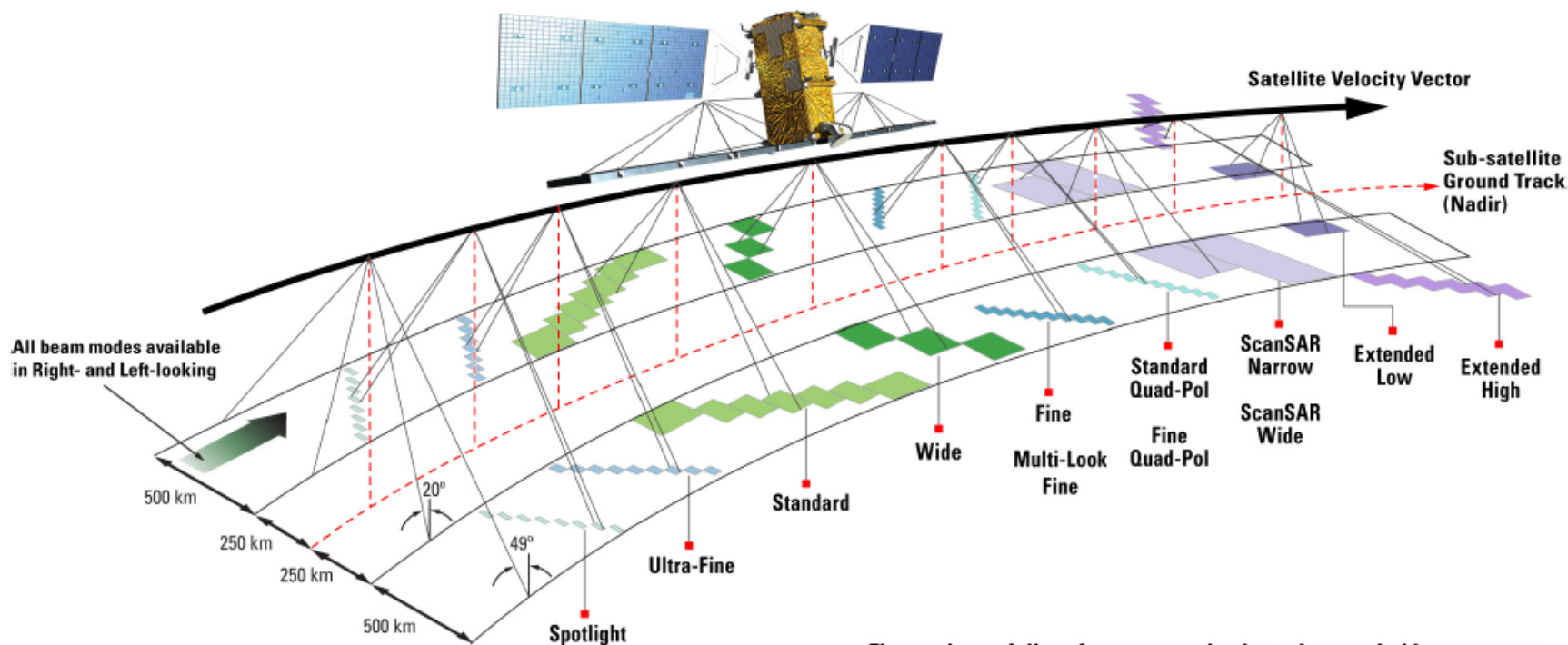
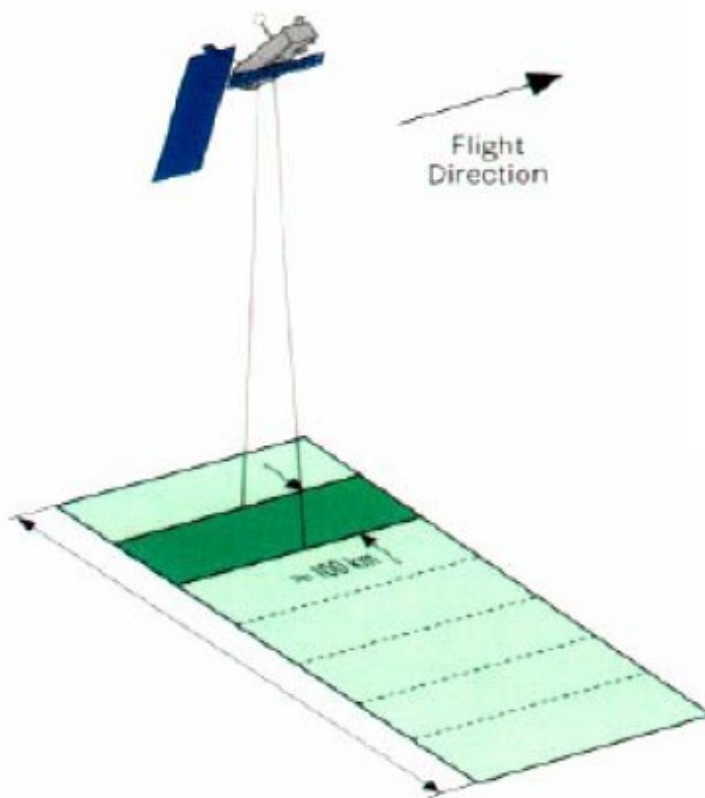


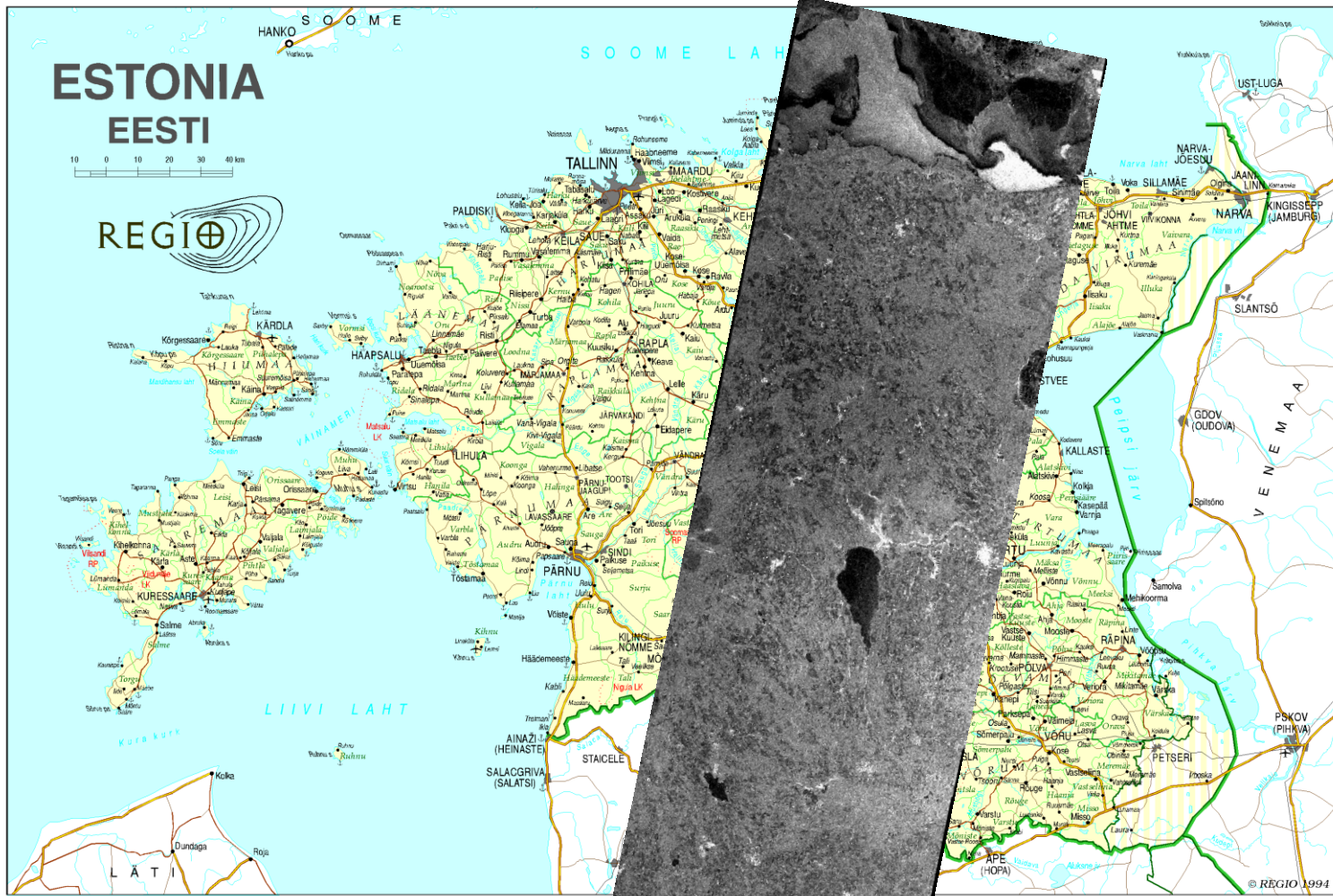
Figure shows full performance and selected expanded beam ranges

Stripmap

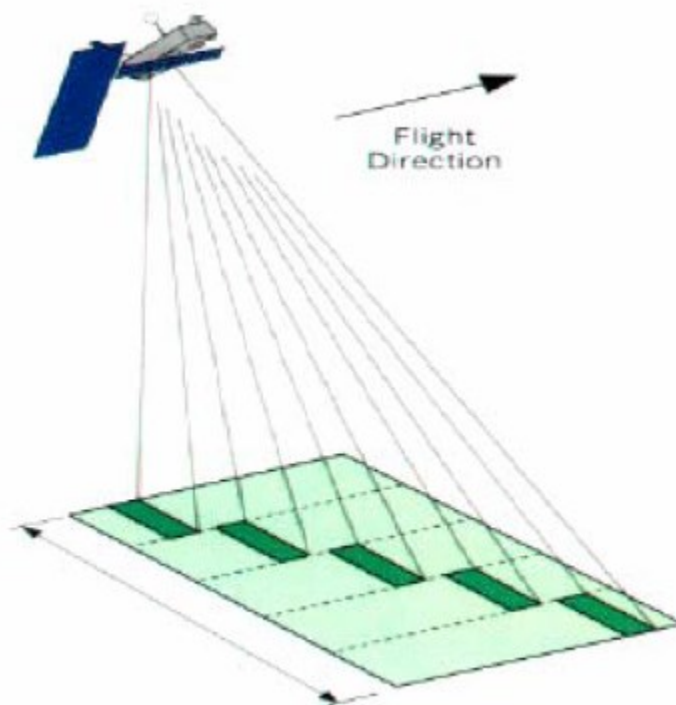




ERS-2 stripmap näide

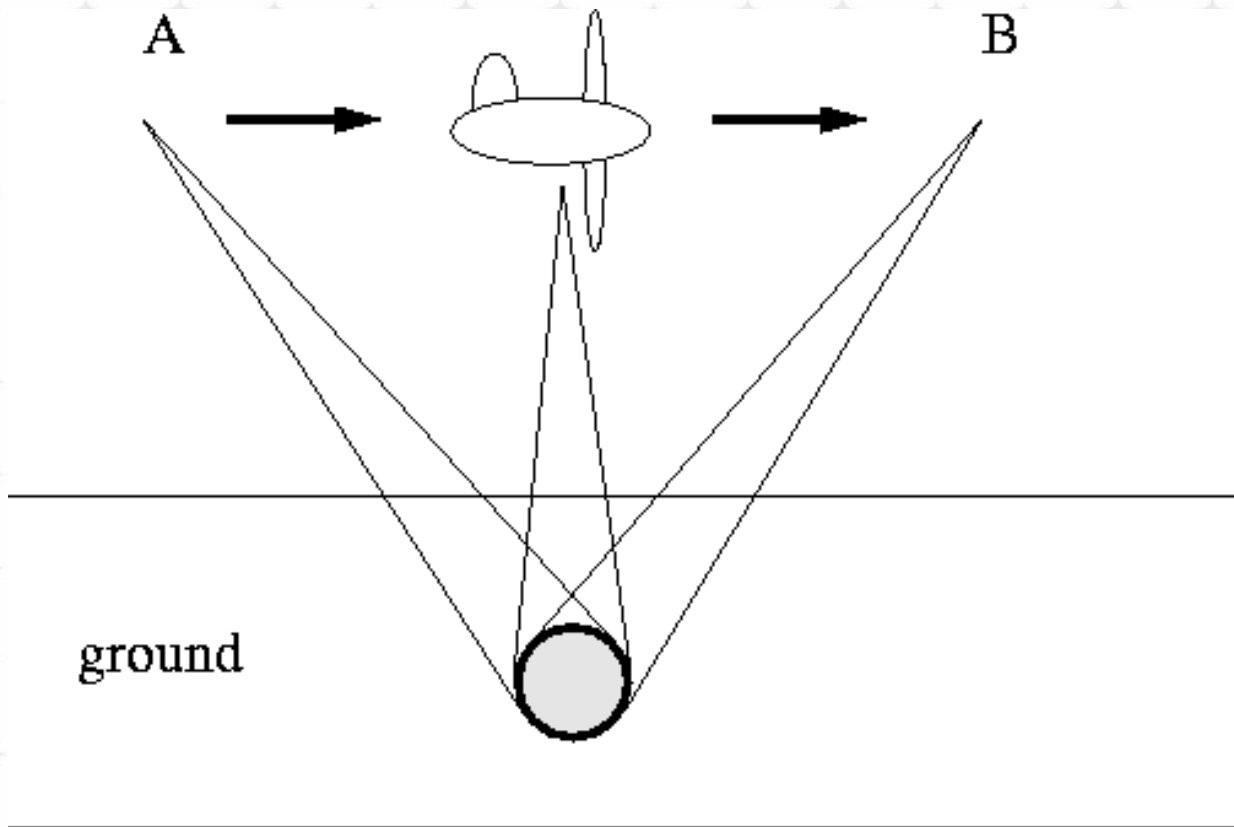


scanSAR





spotlight



Allikas: <http://www.sandia.gov>

Tüüpiliste kosmose SARide lahutused ja vaatealad

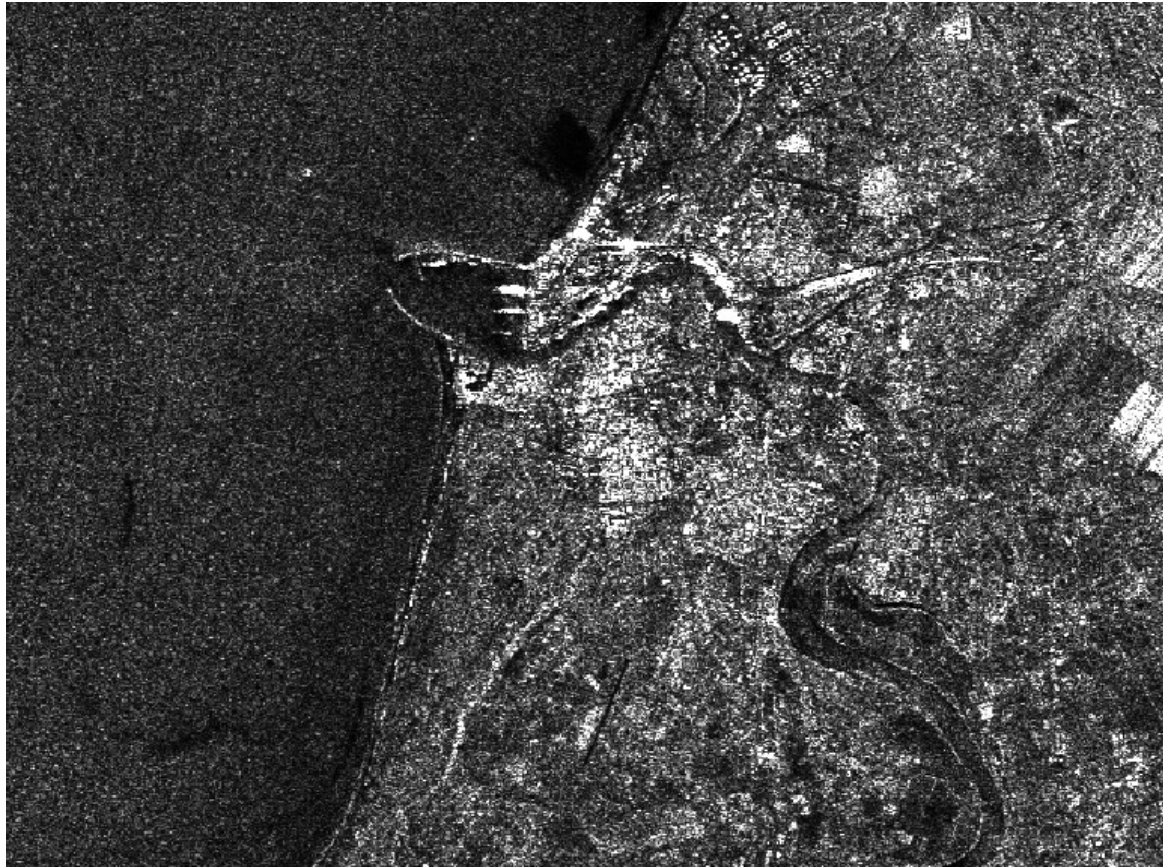
Resolution	Swath
150 m	400 km
20 m	100 km
3 m	30 km
1 m	10 km

Tavaline kosmose SARi orbiitikõrgus?

Kas SARi lahutus sõltub kaugusest?

Miks eelistada madalamaid kõrguseid? Miks kõrgemaid?

Mis asi on haavelmüra (*i k speckle*)?





Mis põhjustab haavelmüra?

- Ühe lahutuse raku sees on mitu punktpeegeldajat, mille faas on juhuslik, s.t. juhuslikult toimub kas konstruktiivne või destruktiivne interferents.
- Joonistus!
- Miks osadele inimestele ei meeldi, et *speckle*-t kutsutakse müraks?



Kuidas haavelmüra maha suruda?

- Lihtne ruumiline keskmistamine (*i k mean filtering, multi-looking*).
- Lee filter.
- Frosti filter.
- Madalpääsfilter FFT abil.
- Aegseeria kasutamine.
- Mitte-lokaalne keskmistamine (*i k non-local means*)!



Kaldulatusesest maapealsele ulatusese teisendamine

- Kaldulatus-esitus SARi loomulik projektsioon.
- Erinev maapealne lahutus sensorile lähedal (*near range*) ja kaugel (*far range*).
- Kuidas teisendada kaldulatusesest maapealsele ulatusese?



Milleks tehisava-radari pilte kalibreerida?

- Kvalitatiivselt analüüsilt kvantitatiivsele.
- Muuta erinevatel aegadel tehtud pildid omavahel võrreldavaks.
- Saada lahti sensori-efektidest ja uurida ainult vaatlusalust objekti?



Mis on σ_0 ?

- Tegeliku ja isotroopse hajumise suhe tagasihajumise suunas.
- Mis on detsibell-skaala?

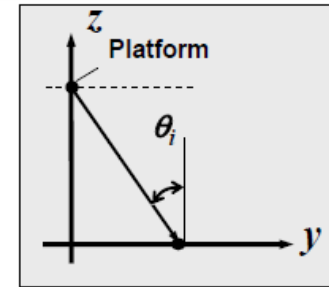
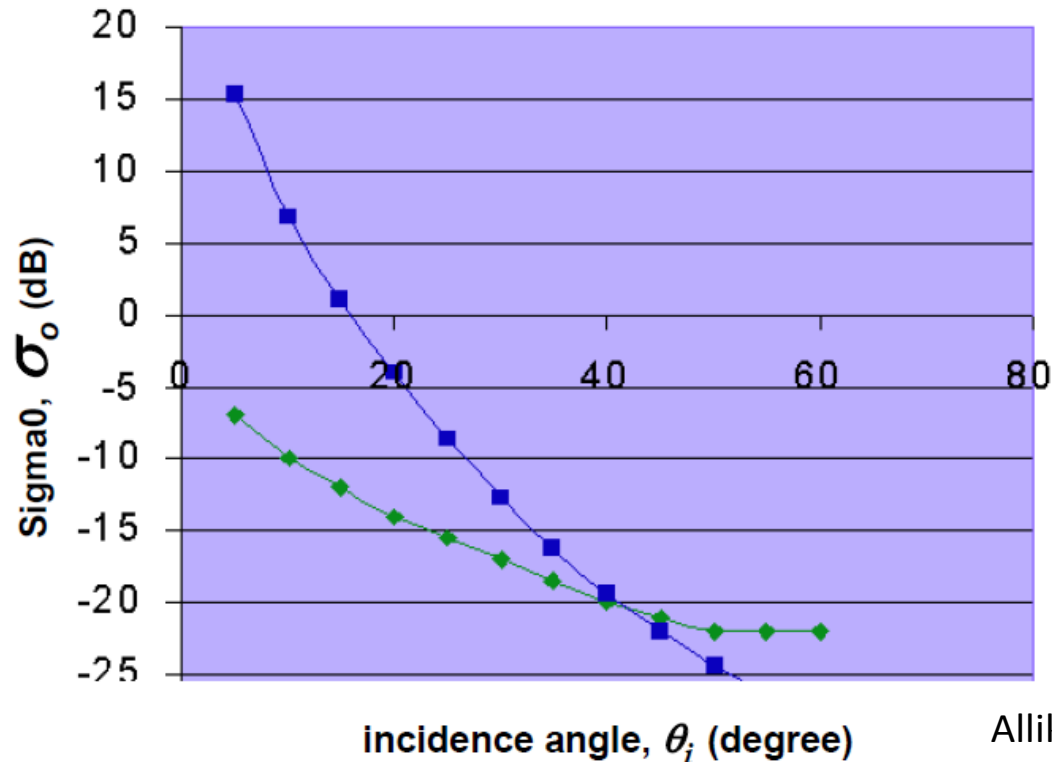


Sigma0 puudused?

- Sõltub sensori ja objekti vahelisest kaugusest?
- Sõltub langemisnurgas?
- Sõltub lainepikkusest?



• Variation of σ_0 as a function of incidence angle θ_i



Allikas: Saksa Kosmosekeskus (DLR)

Joonistan lauge ja järsu vaatenurgaga hajumise!



Tagasihajumine sõltub:

- Objekti karedusest (ebatasasusest).
- Objekti veesisaldusest.
- Objekti materjalist.
- Objekti kujust ja struktuurist.

- *Kui ebataasane on ebataasane?*
- *Kuidas paistab märg ja ebataasane pind SARi pildil?*
- *Kuidas paistab märg ja sile pind SARi pildil?*



SARi piltide dünaamiline ulatus

- Mis asi on *Noise Equivalent Sigma Zero (NESZ)* ?



Multi-looking

- Mis asi on multi-looking?
- Miks multi-lookingut kutsutakse multi-lookinguks?



Tehisava-radarite tulevik

Airborne SAR System of DLR, X-Band, fully polarimetric



Allikas: Saksa Kosmosekeskus (DLR) 2010

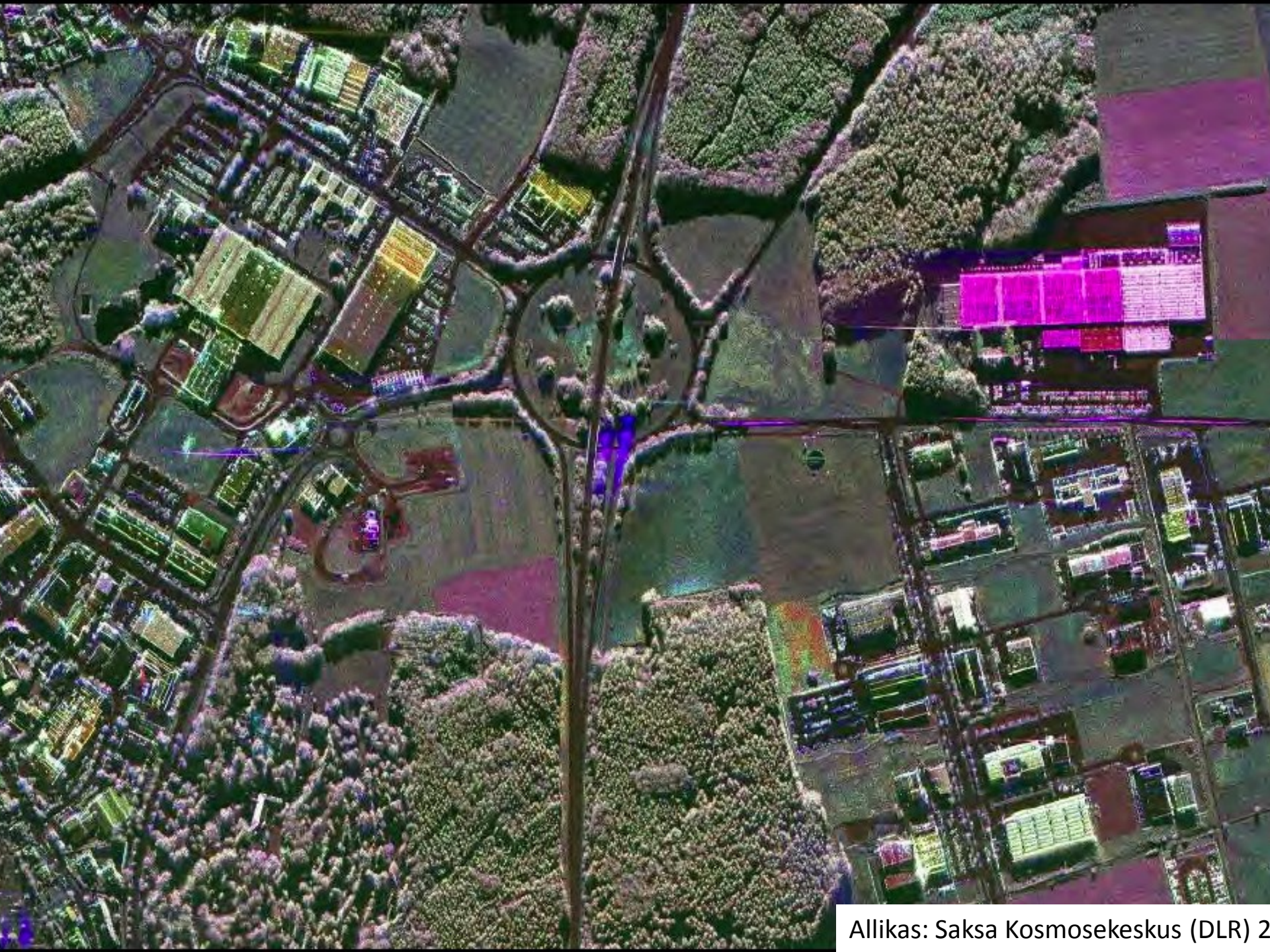
Neu-Gablonz, Bavaria, Germany



likas: Saksa Kosmosekeskus (DLR) 2010



Allikas: Saksa Kosmosekeskus (DLR)





TARTU OBSERVATOORIUM
eesti kosmosekeskus



Aitäh! Küsimused?

kaupo.voormansik@ut.ee