



Diaľkový prieskum Zeme Radarové snímanie

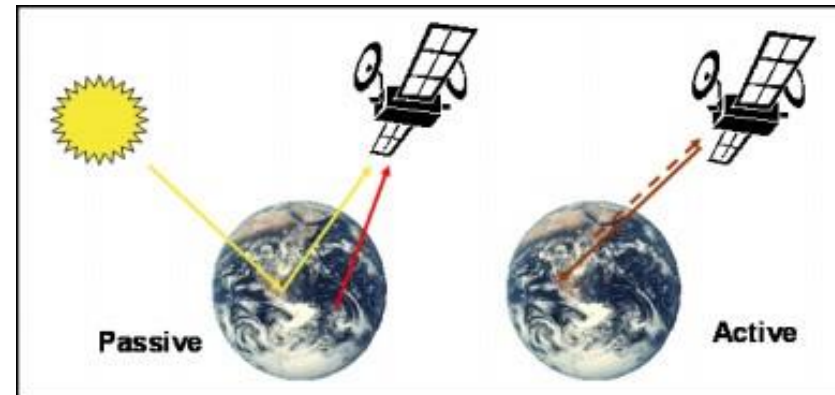
Michal Gallay
michal.gallay@upjs.sk

Pasívne a aktívne systémy DPZ

Pasívne systémy DPZ zaznamenávajú **prirodzené** EMG žiarenie *odrazené* (napr. modré, zelené, červené, infračervené žiarenie) alebo *vyžiarené* (napr. termálne EMG) z povrchu Zeme

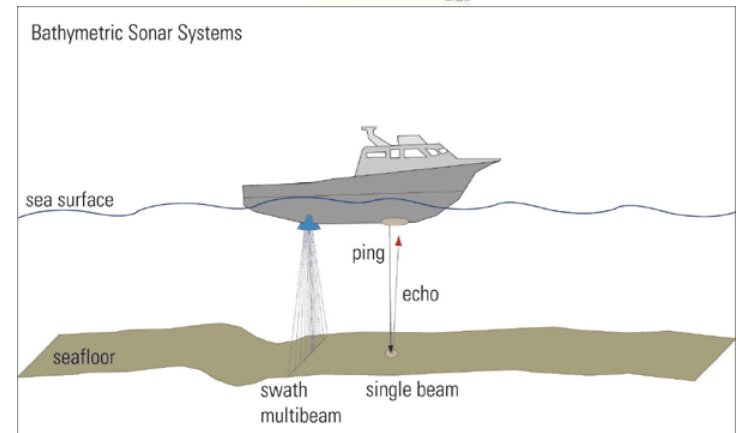
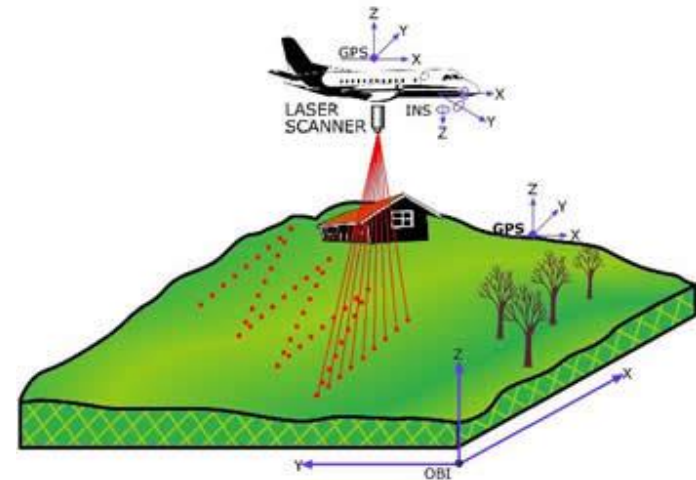
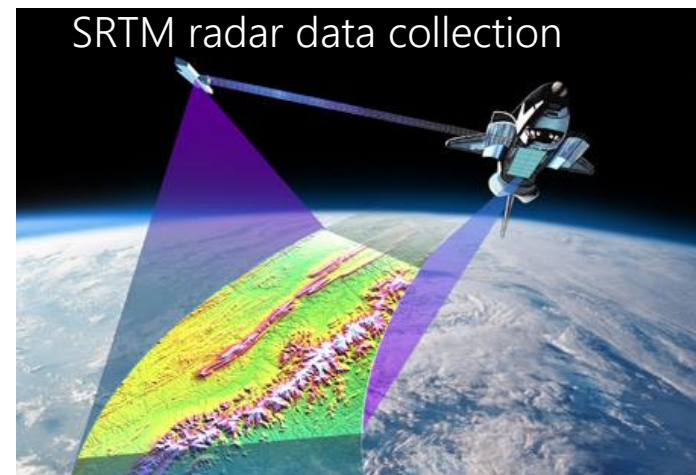
Aktívne systémy DPZ produkujú **vlastné** EMG žiarenie, ktoré 1) je vysielané zo senzora smerom k Zemi, 2) interaguje s objektami na zemskom povrchu odrážajúc energiu 3) zaznamenávanú prijímačom na senzore.

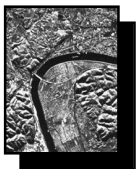
Aktívne systémy sú z hľadiska zdroja energie nezávislé na slnečnom EMG žiarení ani na tepelných vlastnostiach Zeme ani na časti dňa či noci.



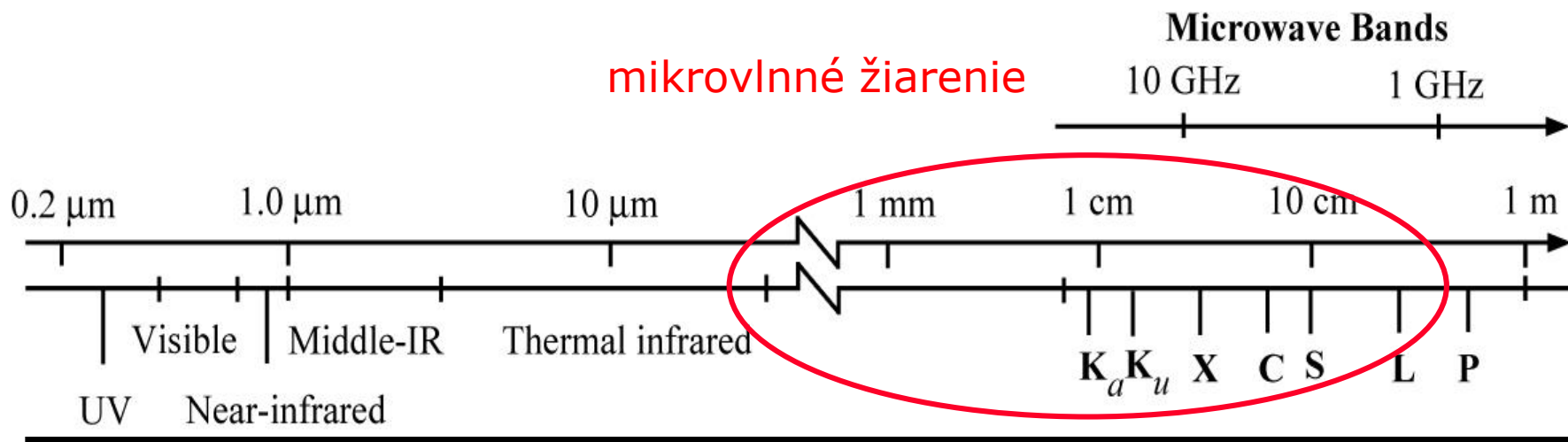
Aktívne systémy DPZ

- **RADAR** - využíva **dlhovlnné, mikrovlnné žiarenie** (3 – 25 cm) a zaznamenáva intenzitu odrazenej časti žiarenia od zemského povrchu;
- **LIDAR**, využíva **krátkovlnné, žiarenie svetla** (500 - 1500 nm) s vysokou koherenciou (rovnobežný zväzok lúčov) typu LASER zaznamenáva intenzitu odrazenej časti žiarenia od zemského povrchu;
- **SONAR**, využíva **zvukové vlny vysielané vo vodnom prostredí** a zaznamenáva intenzitu odrazenej energie od dna alebo objektov vo vodnom stĺpci.





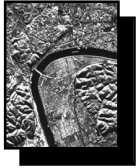
RADAR typické vlnové dĺžky a frekvencie pre DPZ



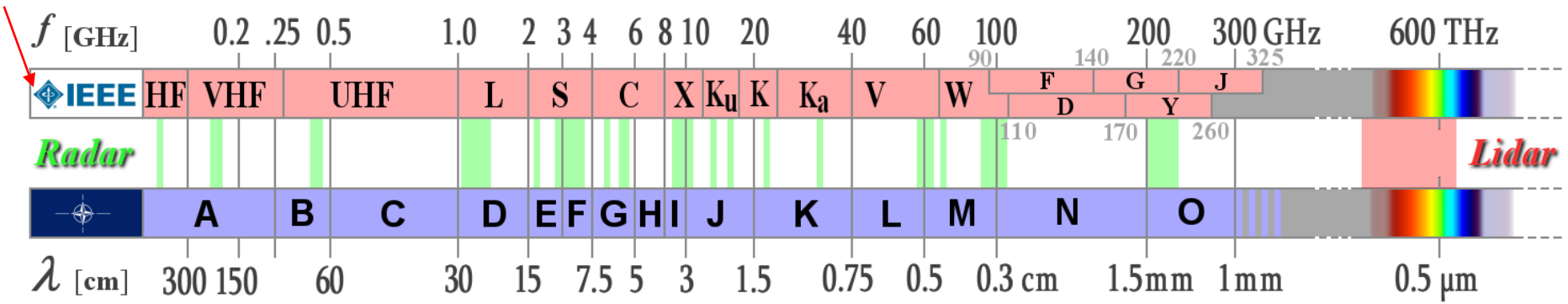
Jensen, 2008

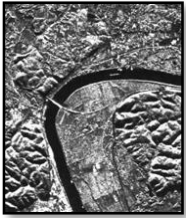
Mikrovlnná rúra: 2,5 GHz a vlnová dĺžka okolo 12 cm

Mobilní operátori okolo 1 GHz a vlnová dĺžka okolo 30 cm



RADAR typické vlnové délky a frekvencie pre DPZ





RADAR typické vlnové délky a frekvence pro DPZ

Band Designations

(common wavelengths shown in parentheses)

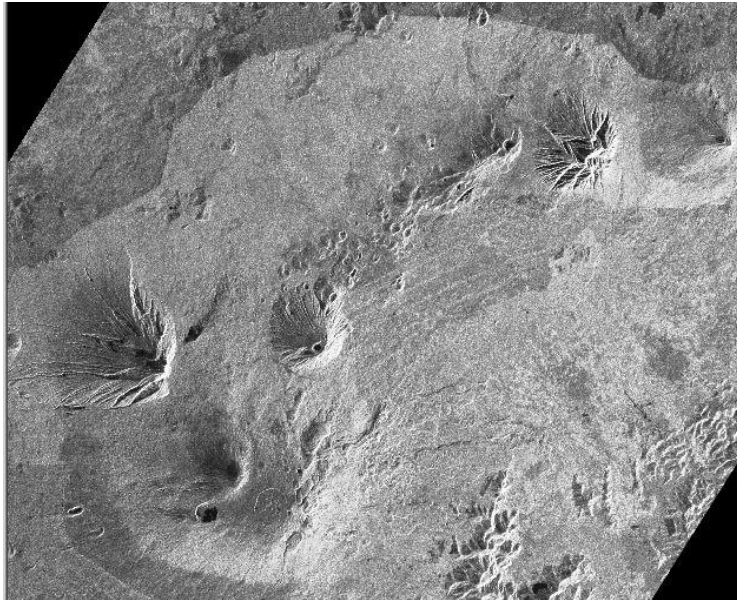
*Wavelength (λ)
in cm*

*Frequency (f)
in GHz*

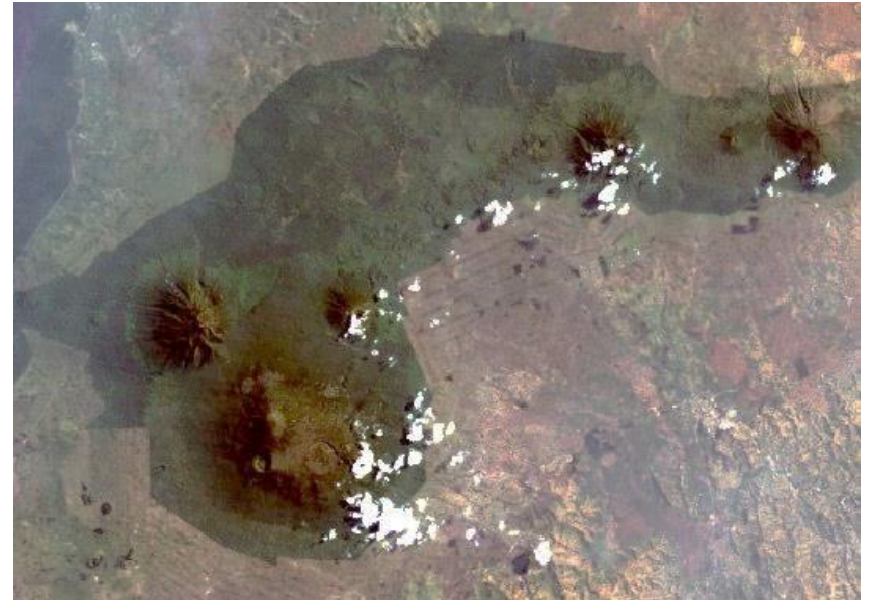
<i>K</i>	1.18 - 1.67	26.5 to 18.0
<i>K_a</i> (0.86 cm)	0.75 - 1.18	40.0 to 26.5
<i>K_u</i>	1.67 - 2.4	18.0 to 12.5
<i>X</i> (3.0 and 3.2 cm)	2.4 - 3.8	12.5 - 8.0
<i>C</i> (7.5, 6.0 cm)	3.8 - 7.5	8.0 - 4.0
<i>S</i> (8.0, 9.6, 12.6 cm)	7.5 - 15.0	4.0 - 2.0
<i>L</i> (23.5, 24.0, 25.0 cm)	15.0 - 30.0	2.0 - 1.0
<i>P</i> (68.0 cm)	30.0 - 100	1.0 - 0.3

Prečo používať radarové snímanie?

- Väčšie vlnové dĺžky =>
 - prienik žiarenia oblačnosťou, vegetáciou
 - Špecifická odrazivosť povrchov v porovnaní s optickou alebo infračervenou časťou spektra
 - Hrubšie priestorové rozlíšenie ako pri lidare

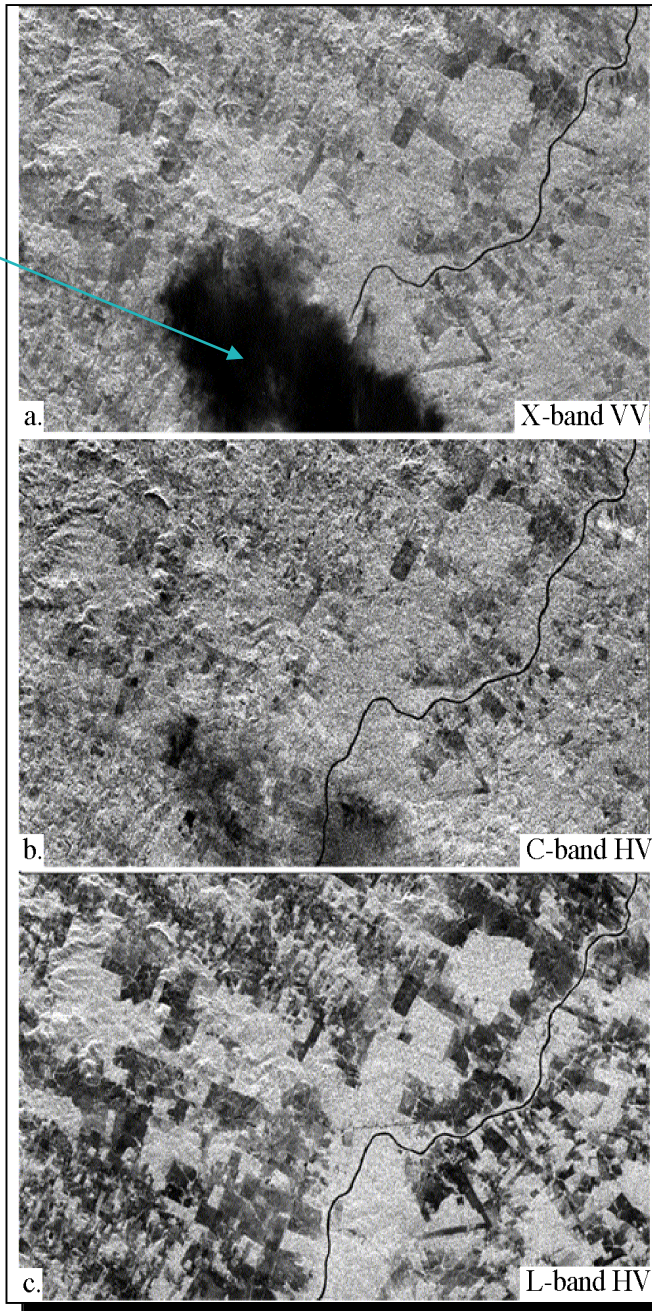


Radarový obraz



Obraz v optickej časti spektra LANDSAT 5

Oblak



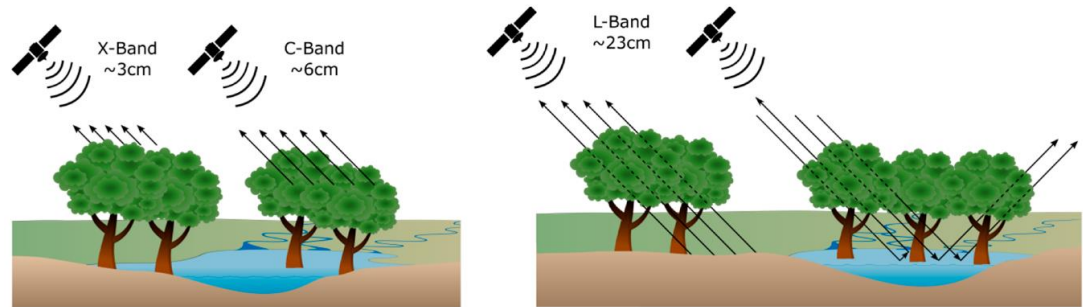
SIR-C/X-SAR Images of a Portion of Rondonia, Brazil, Obtained on April 10, 1994

- Rôzne mikrovlnné pásma
- Rôzna citlivosť na drsnosť povrchu/veľkosť častíc v atmosfére

Interakcia mikrovlnného žiarenia so zemským povrchom

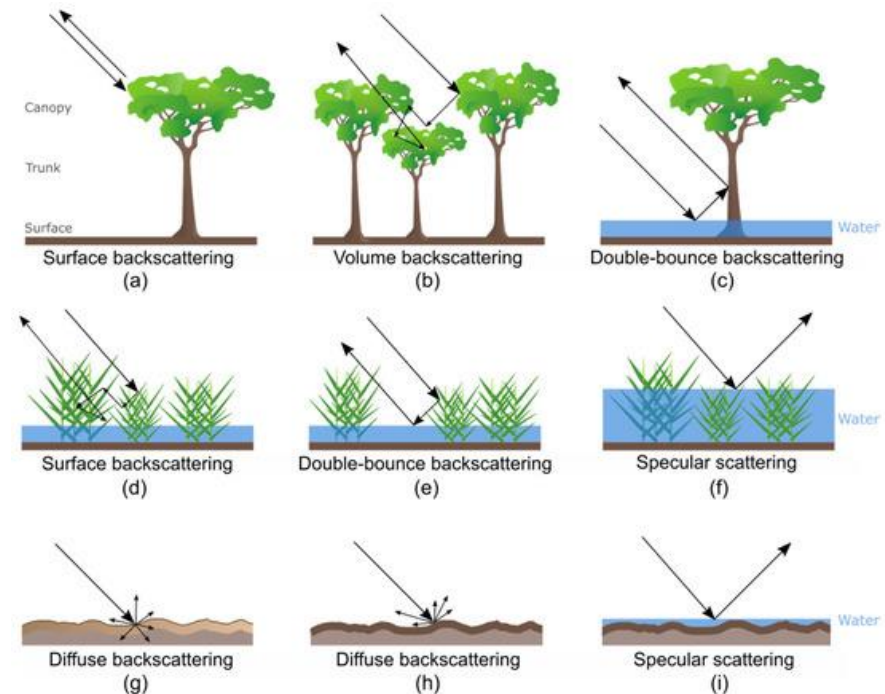
- Parametre radaru

- Frekvencia/vlnová dĺžka používaného žiarenia
- Polarizácia žiarenia
- Uhol dopadu žiarenia



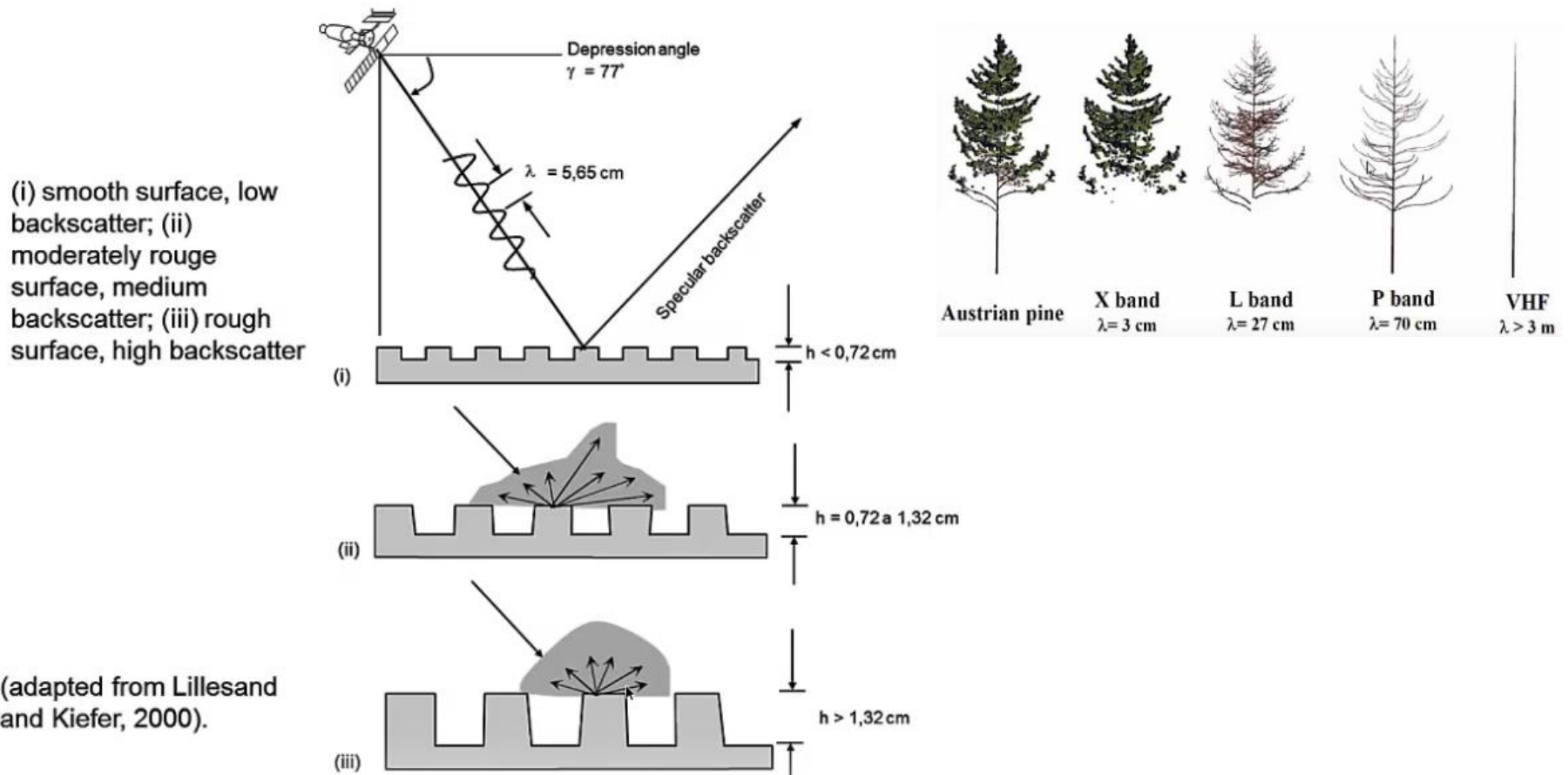
- Parametre povrchu

- Dielektrická konštanta
- Drsnosť povrchu relatívna vzhľadom na rozmer vlnovej dĺžky žiarenia
- Priestorová textúra a štruktúra povrchu, orientácia a usporiadanie objektov na povrchu, charakter vegetácie

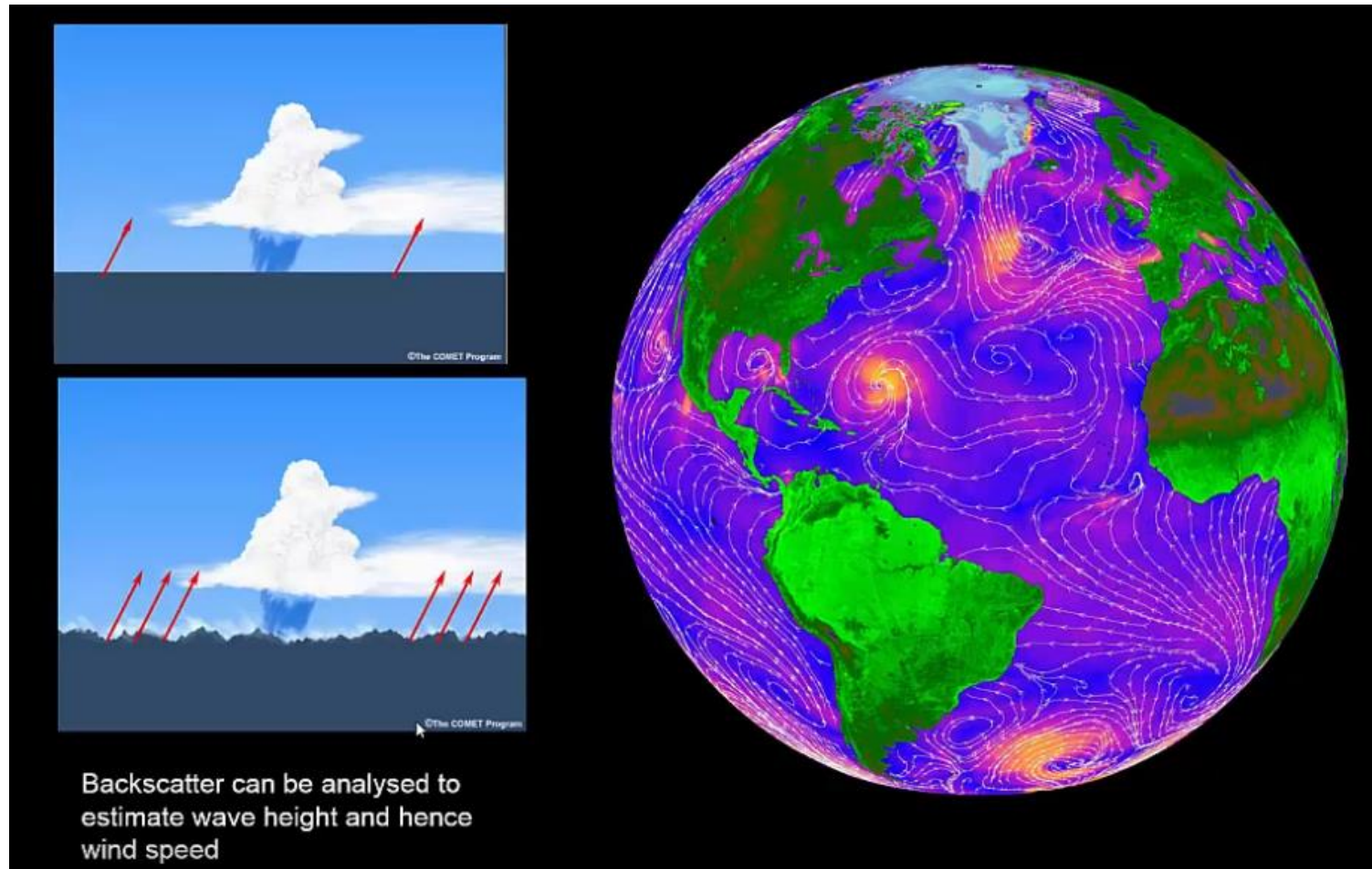


Interakcia mikrovlnného žiarenia so zemským povrchom – efekt drsnosti povrchu voči vlnovej dĺžke

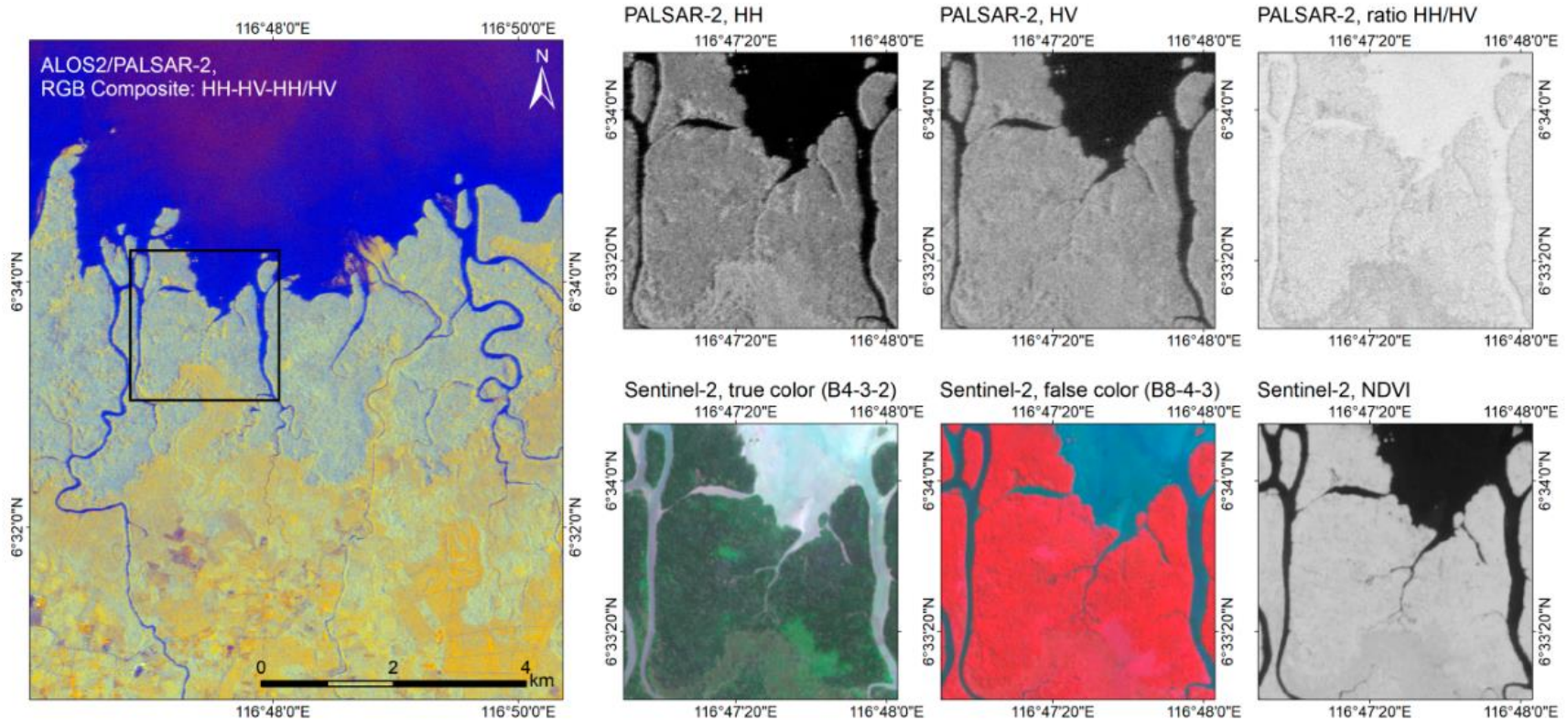
Surface roughness and scattering



Interakcia mikrovlnného žiarenia so zemským povrchom – efekt drsnosti povrchu voči vlnovej dĺžke



Interakcia mikrovlnného žiarenia so zemským povrchom – efekt rôznej polarizácie žiarenia



Appearance of mangroves for a coastal site in Borneo, Indonesia in an L-band Synthetic Aperture Radar (SAR) image. Image data: ALOS-2/PALSAR-2 Fine Beam Double polarization (FBD) mode. Zoom boxes on the right side: **Top images:** Dual-pol L-band SAR image in HH and HV polarization and its ratio (HH/HV) in comparison with **bottom images:** optical multispectral satellite data (Sentinel-2) in Visible (VIS) true color, VIS-Near-Infrared (NIR) false color and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

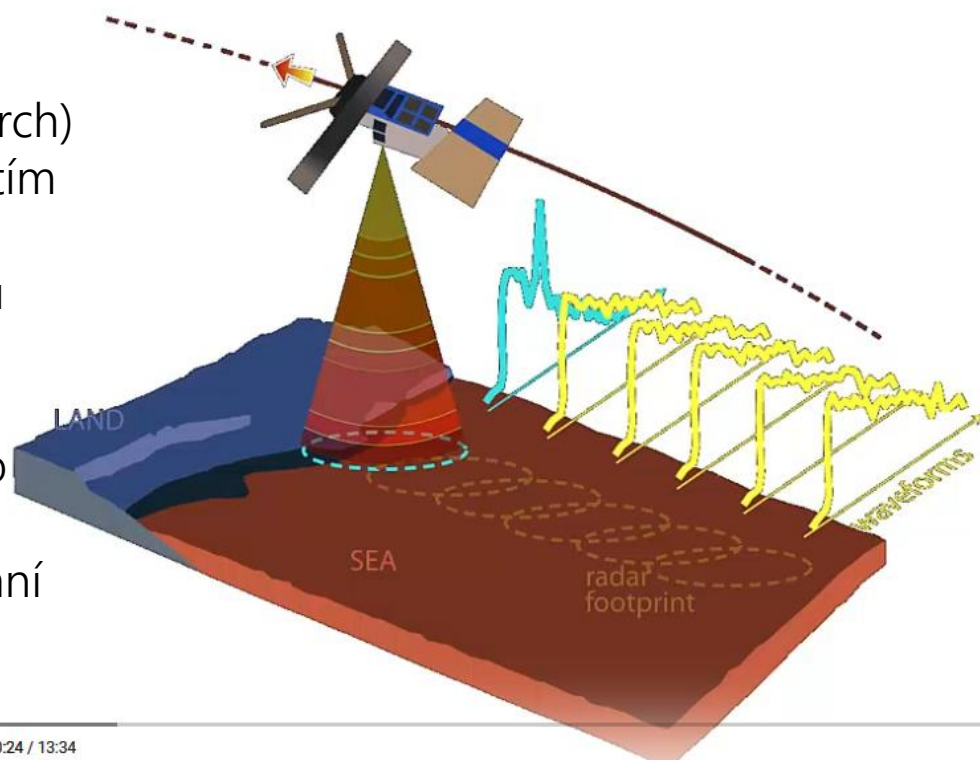
Radarové technológie

- altimetria
- zobrazovanie
 - slar
 - insar
 - D-insar
 - PS-insar

Radarová altimetria = meranie výšok

- Podobný princíp ako pri laserovom skenovaní
- Nadirový zorný uhol (kolmo na povrch)
- Meria sa čas medzi vyslaním a prijatím pulzu mikrovlnného žiarenia
- Z čoho sa určí kolmá vzdialenosť ku senzoru = výška bodu nad morom.
- Využíva sa najmä pre meranie
 - zmeny výšky hladiny svetového oceánu, ľadu, snehu
 - priemerovaním množstva meraní na jednom bode

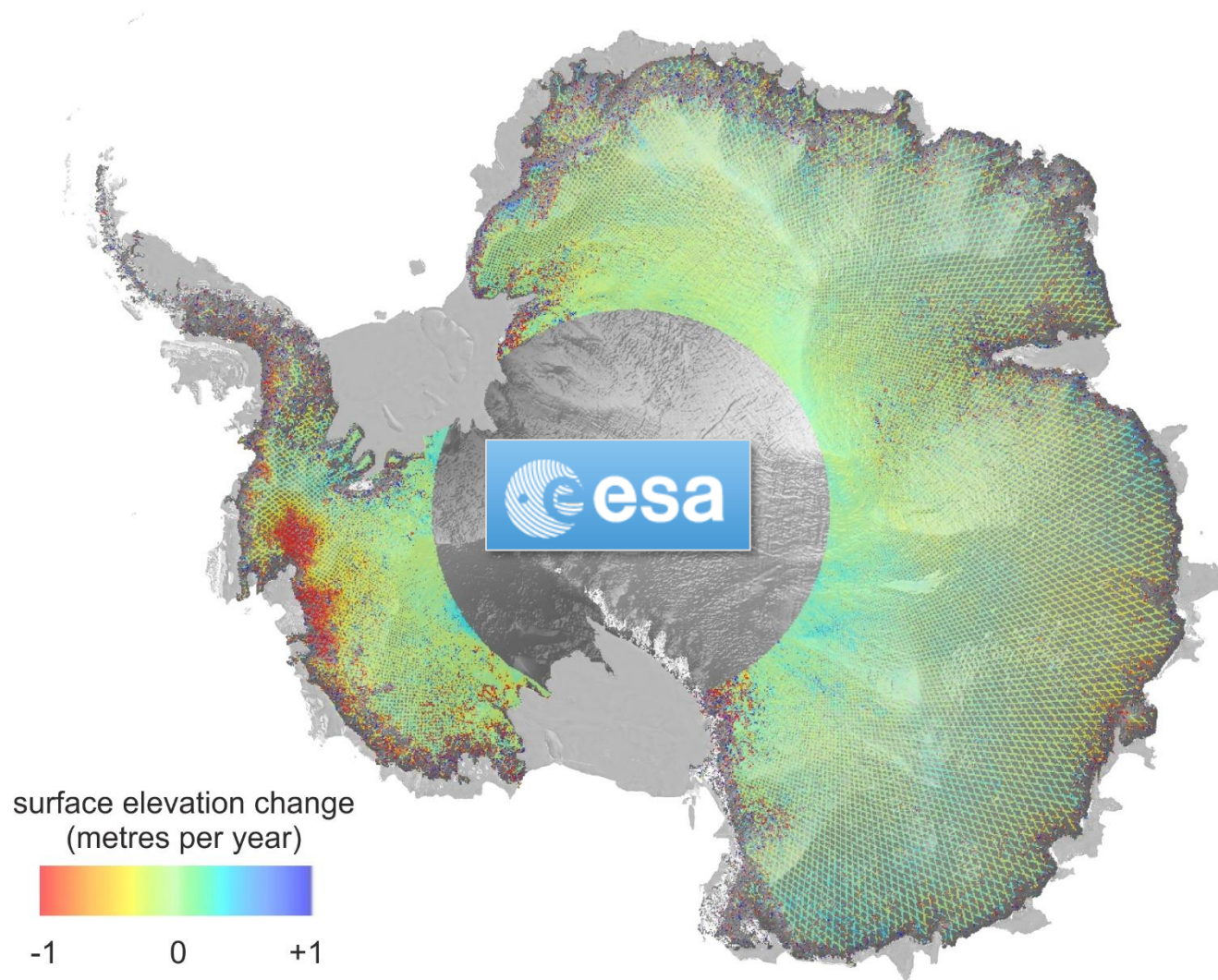
- Radar altimeter



0:24 / 13:34

Albert Van Dijk: <https://www.youtube.com/watch?v=Ep1mHSuHUE4>

Radarová altimetria = meranie výšok



[Copernicus Sentinel-3 provides new measurements of Antarctic Ice Sheet](#)
08 March 2019

Radarová altimetria = meranie výšok

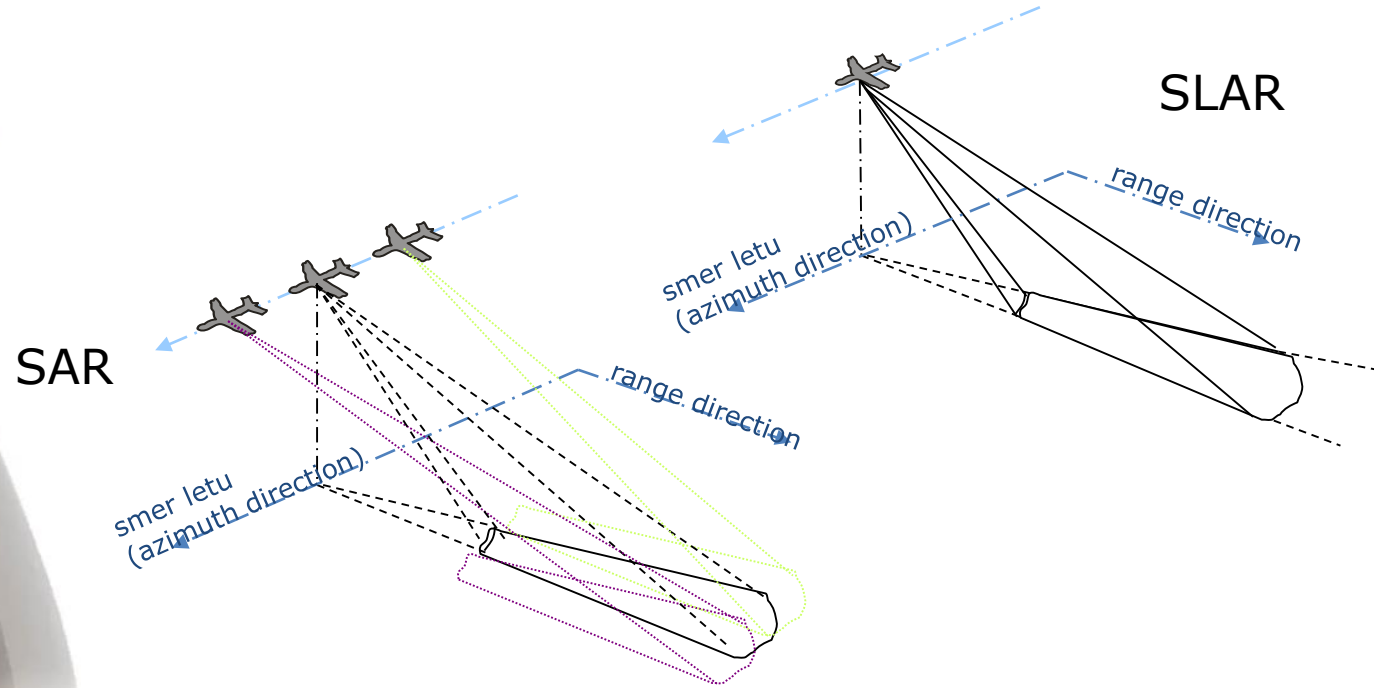
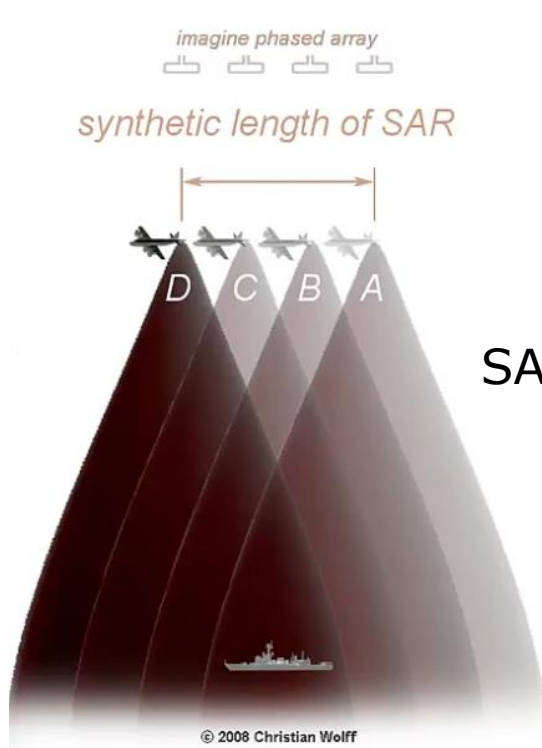


[Článok ESA](#)

[video](#)
[video 2](#)

Radarové zobrazovanie (imaging radar)

- Radar so skutočnou apertúrou (Real Aperture Radar = Side look-angle radar = SLAR)
- Radar s umelo zväčšenou apertúrou (Synthetic aperture radar, SAR)

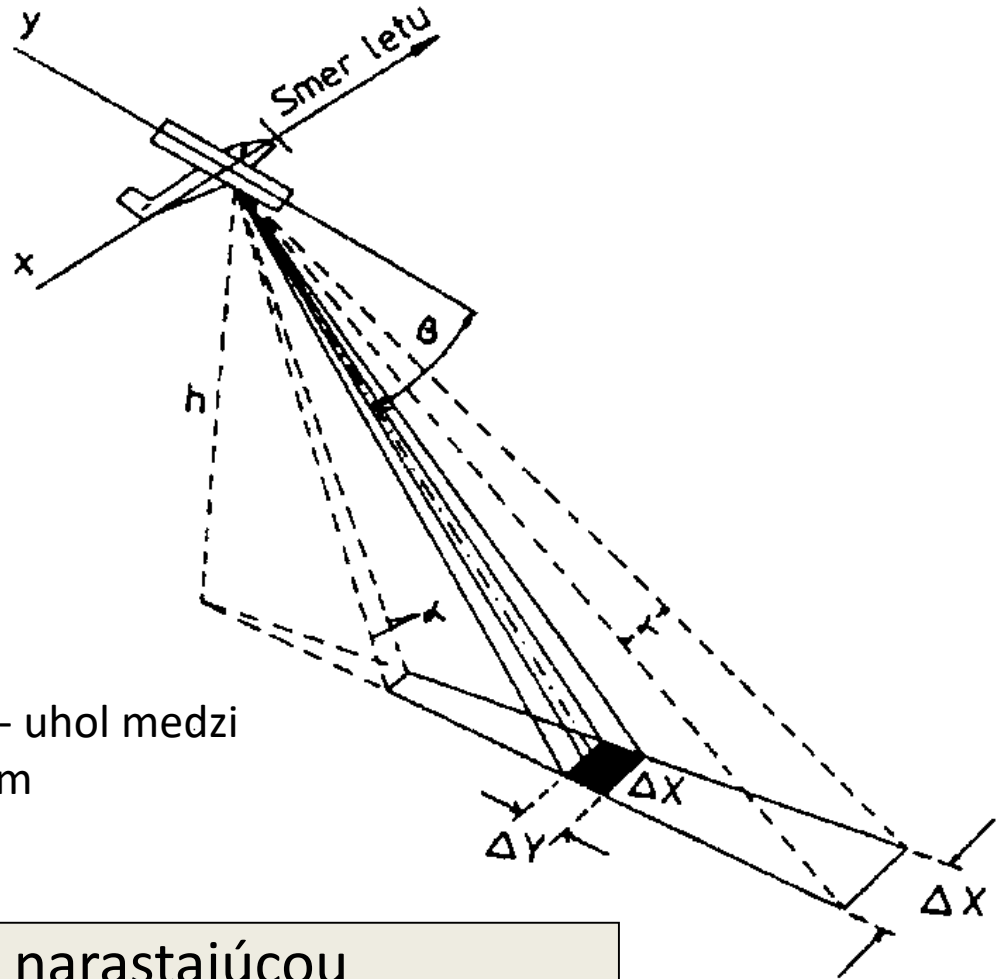


Side looking radar (SLAR)

$$\Delta x = \frac{h \cdot \lambda}{L \cdot \sin \beta}$$

$$\Delta y = \frac{c \cdot \Delta t}{2 \cdot \cos \beta}$$

h - výška letu, L - dĺžka antény, β - uhol medzi horizont. rovinou a vyslaným lúčom



Priestorové rozlíšenie sa s narastajúcou vzdialenosťou objektu od antény zhoršuje.

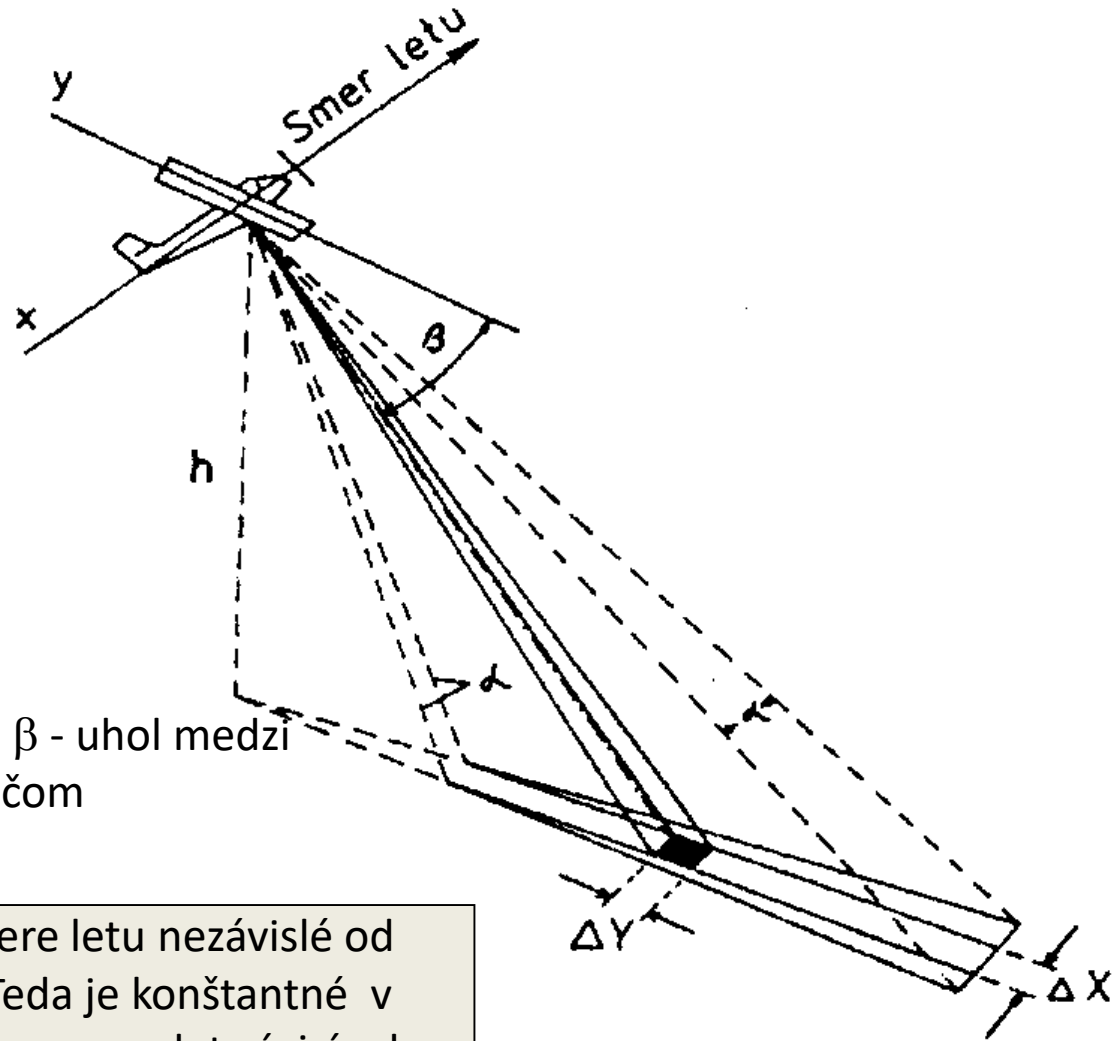
Radar typu Synthetic aperture radar (SAR)

$$\Delta x = \frac{L}{2}$$

$$\Delta y = \frac{c \cdot \Delta t}{2 \cdot \cos \beta}$$

h - výška letu, L – dĺžka antény, β - uhol medzi horizont.rovinou a vyslaným lúčom

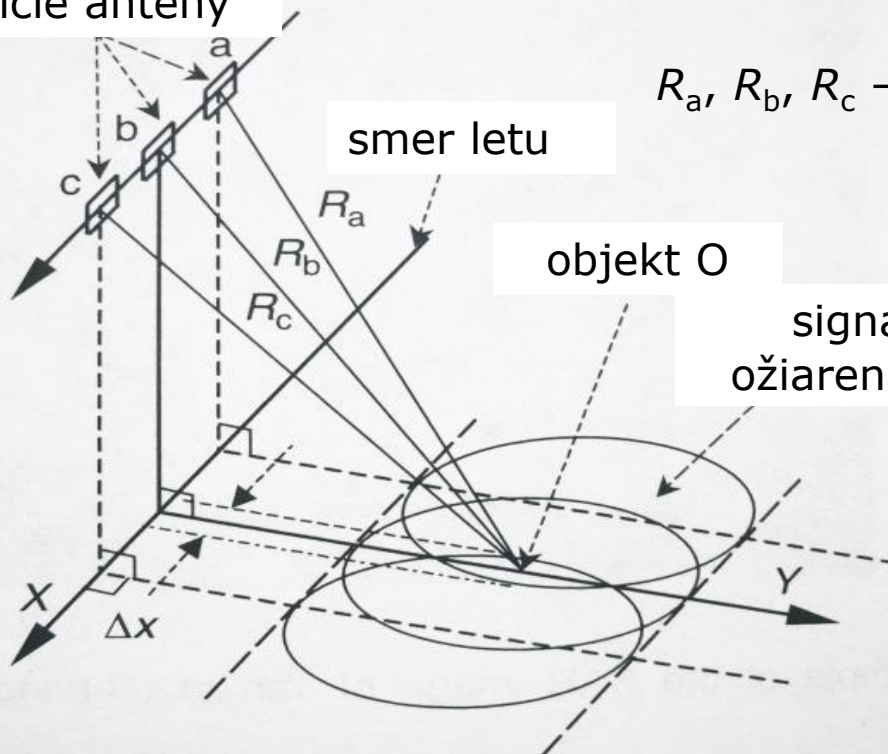
Priestorové rozlíšenie je v smere letu nezávislé od vzdialenosti od antény. Teda je konštantné v smere letu a v smere kolmom na let závisí od uhla pohľadu.



Synthetic Aperture Radar (SAR)

Princíp zaostrovania

pozície antény



R_a, R_b, R_c - vzdialenosti k objektu O

smer letu

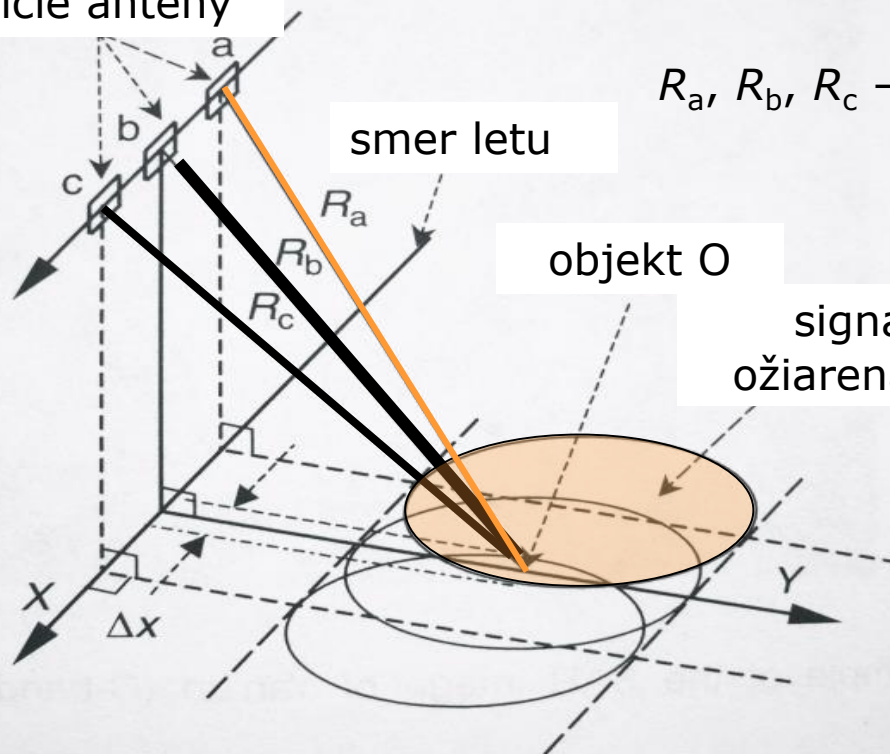
objekt O

signálom
ožiarená stopa

Synthetic Aperture Radar (SAR)

Princíp zaostrovania

pozície antény



R_a, R_b, R_c - vzdialenosti k objektu O

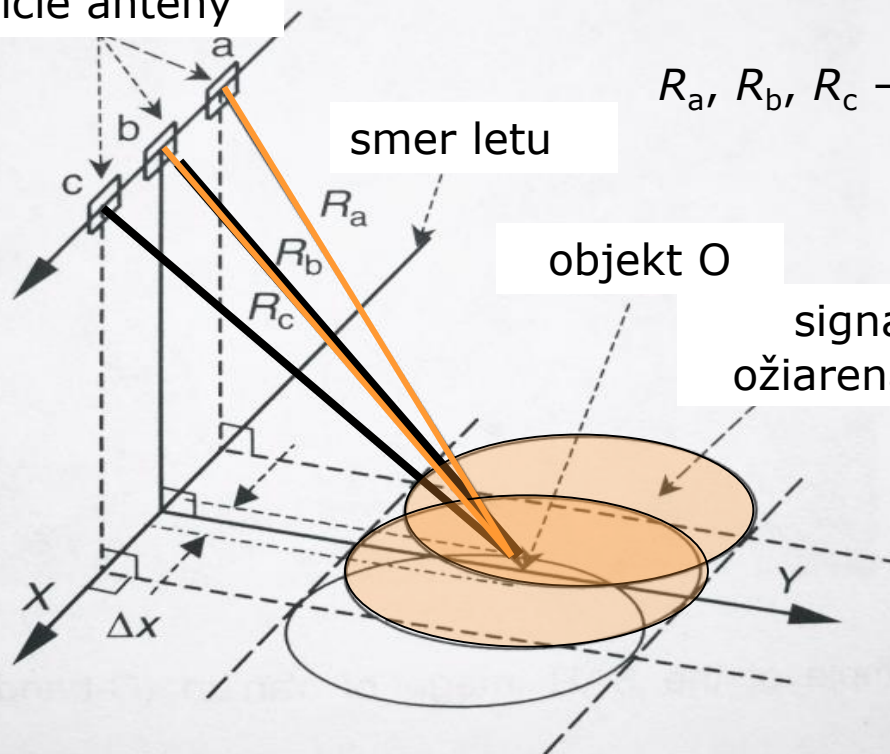
objekt O

signálom
ožiarená stopa

Synthetic Aperture Radar (SAR)

Princíp zaostrovania

pozície antény



R_a, R_b, R_c - vzdialenosti k objektu O

objekt O

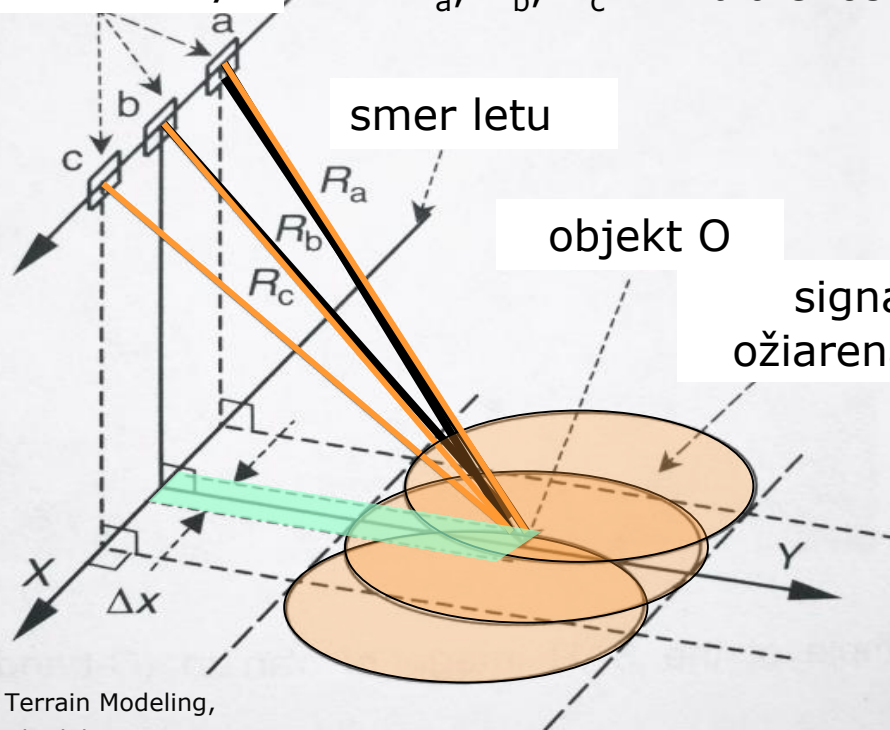
signálom
ožiarená stopa

Synthetic Aperture Radar (SAR)

Princíp zaostrovania

pozície antény

R_a, R_b, R_c - vzdialenosti k objektu O



Δy
 Δx

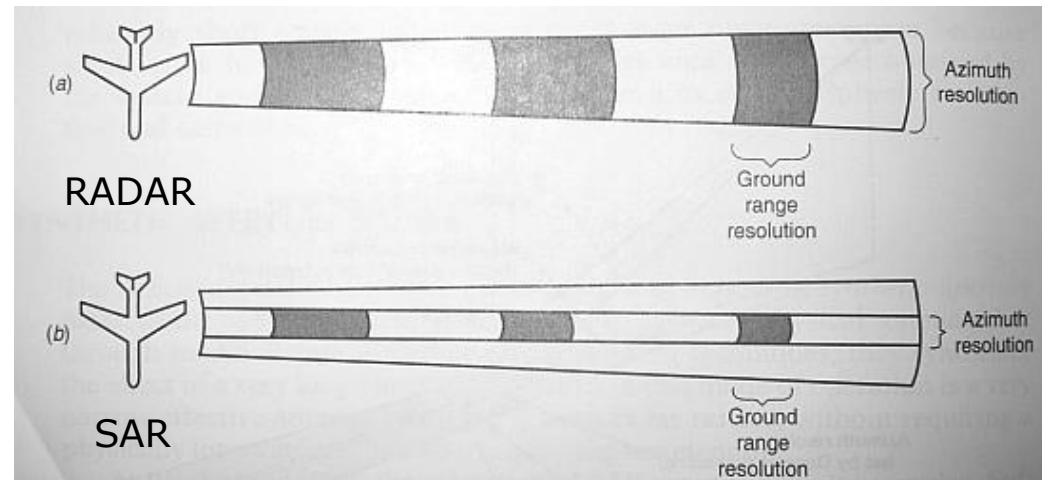
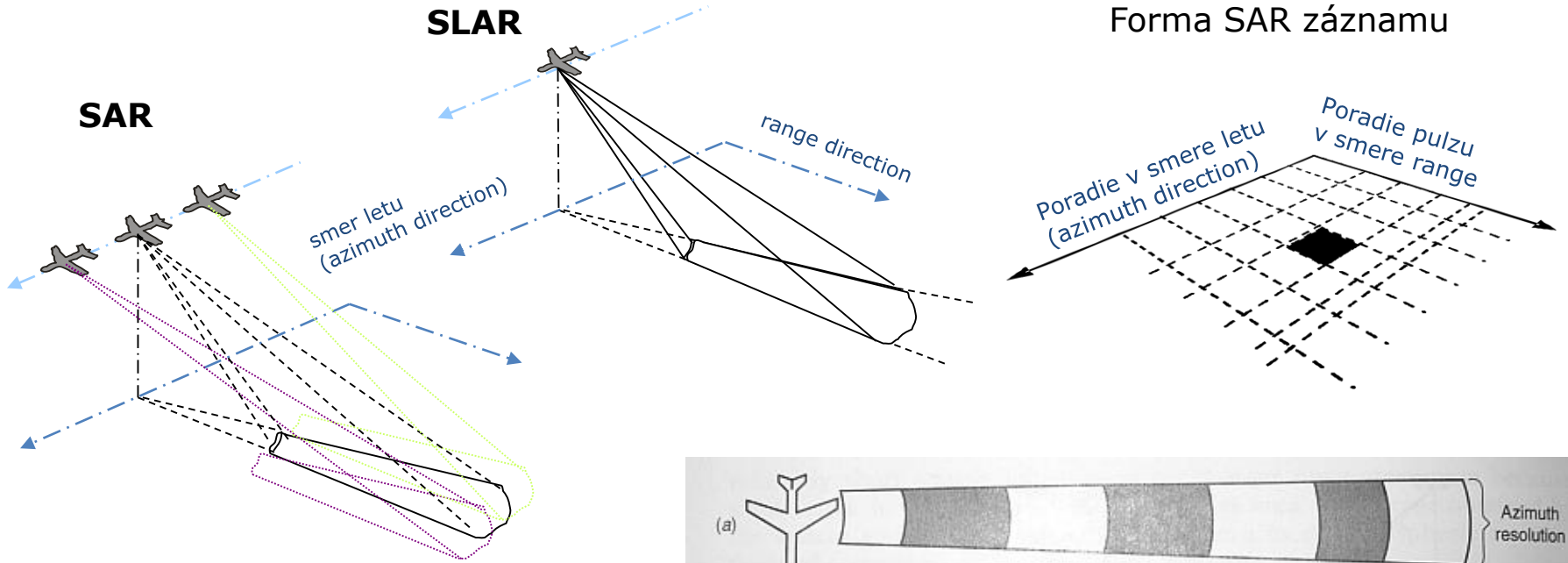
$$\Delta x = \frac{L}{2}$$

$$\Delta y = \frac{c \cdot \tau_p}{2 \cdot \sin \theta_i}$$

L - dĺžka antény
 c - rýchlosť svetla
 τ_p - dĺžka trvania pulzu

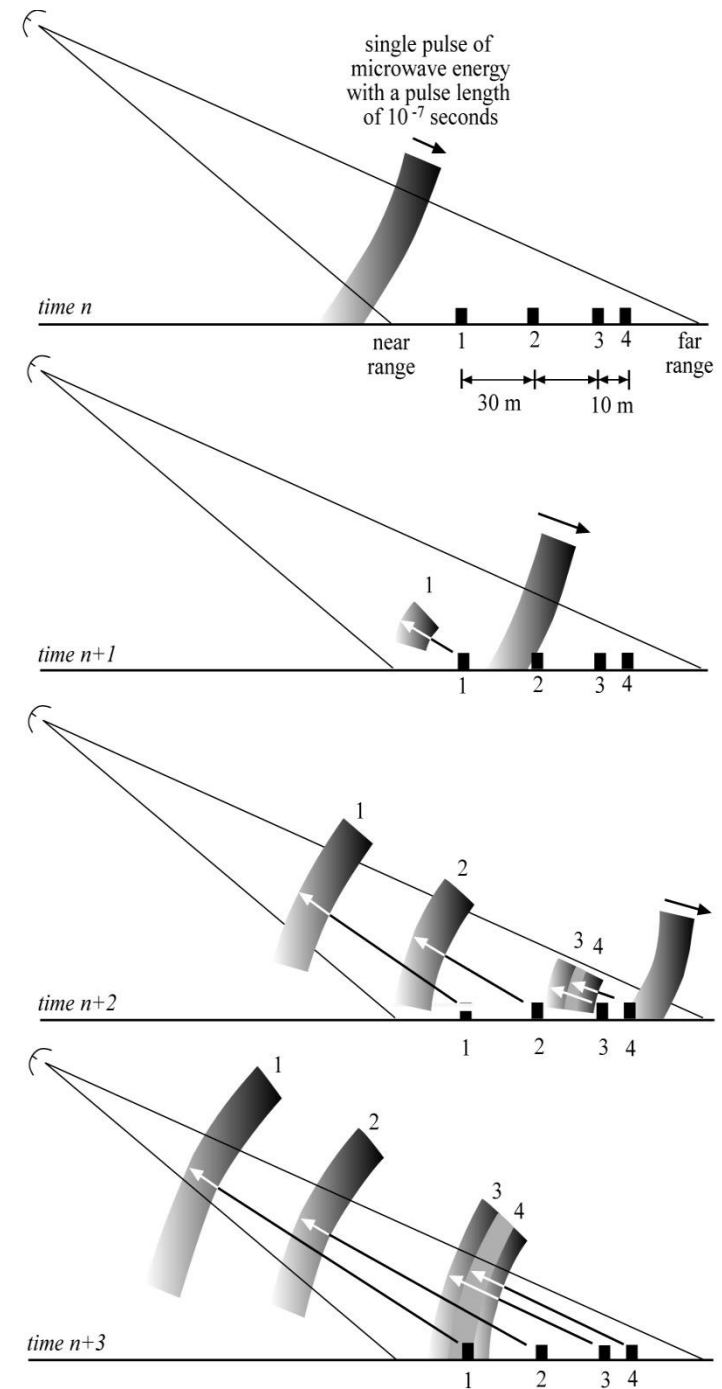
Synthetic Aperture Radar (SAR)

Dôsledky šikmého snímania



Princíp radarového snímania

- EMG vysielané v dávkach energie – pulzoch (cca. každých 0,000 000 1 s)
- Energia jedného pulzu sa odráža od objektov na povrchu v poradí podľa vzdialenosti od zdroja/vysielača na palube
- Zaznamenáva sa intenzita odrazenej energie a čas za ktorý sa odrazy daného pulzu vrátia.



Deformácie obrazu - predskrátene, predloženie, a tieň

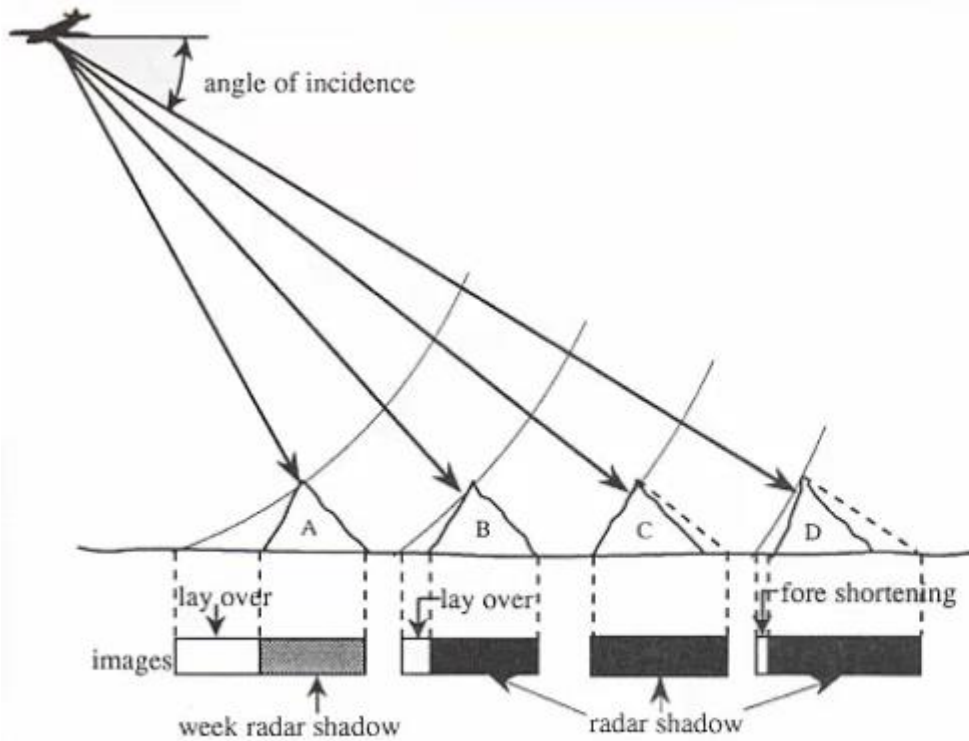
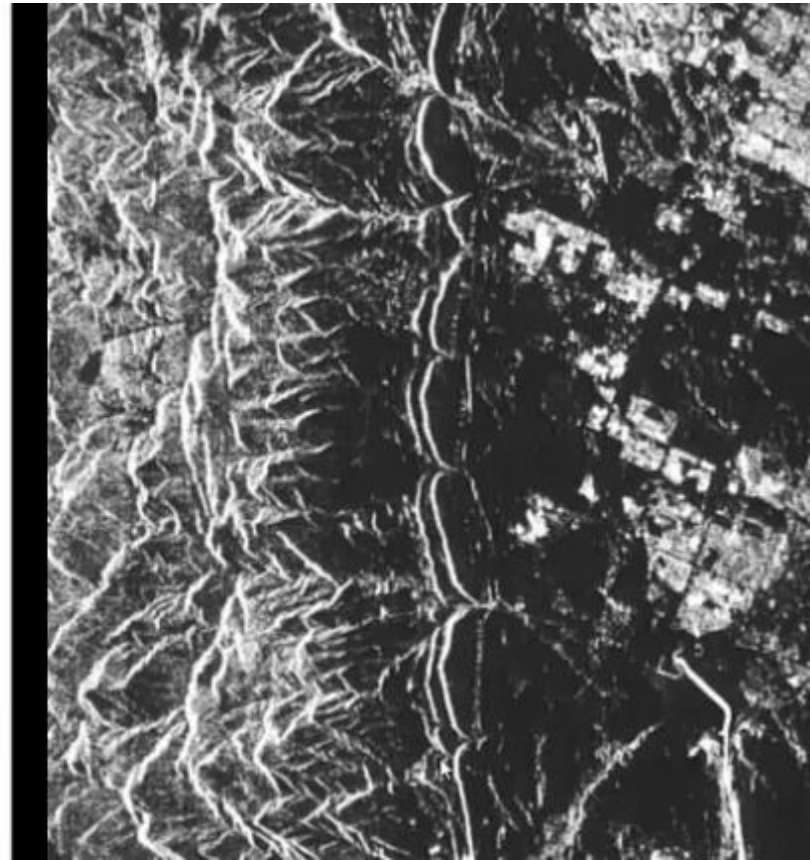
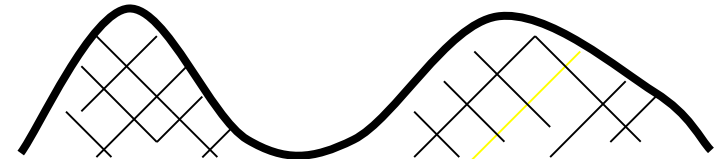
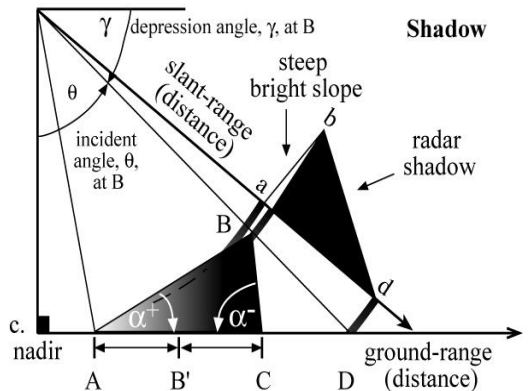
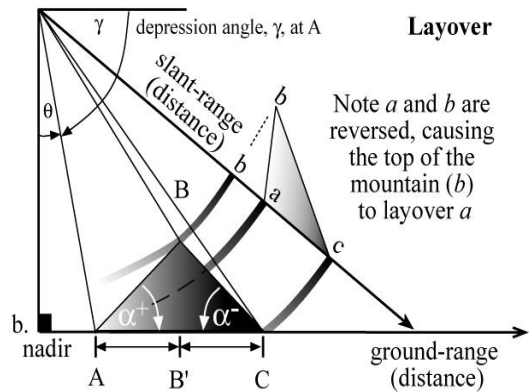
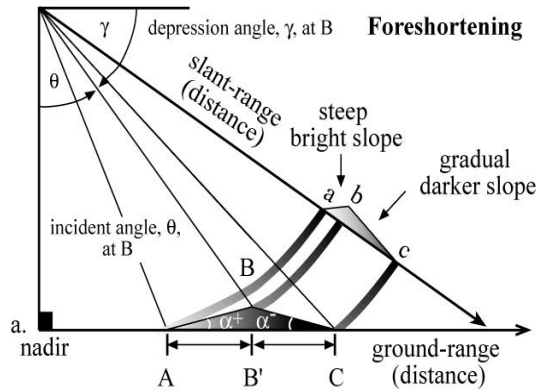


Figure 4.4.5 Geometric distortions in SAR images



Deformácie obrazu - predskrátenie, predloženie, a tieň



Jensen, 2008

Layover
(predloženie obrazu)

Radar shadow
(radarový tieň)

Foreshorteing
(skrátene obrazu)

Predskrátene Foreshortening

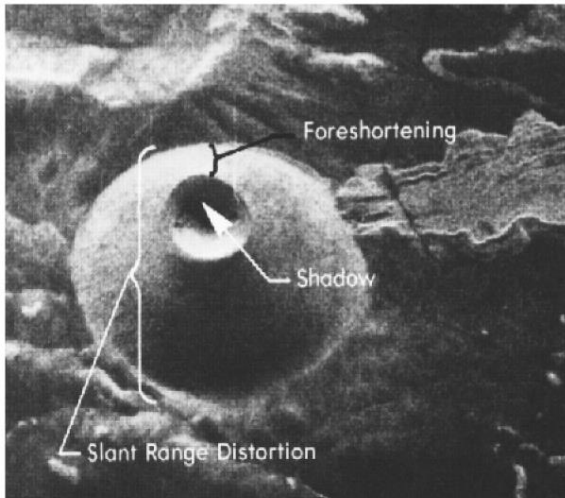


a. **C-band ERS-1**
depression angle 67°
incident angle 23°

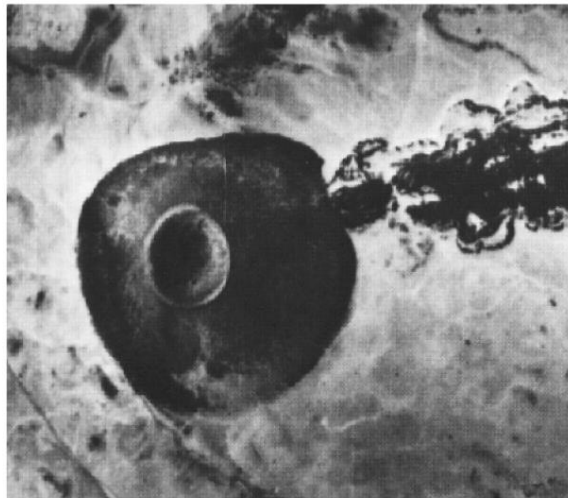


b. **L-band JERS-1**
depression angle 51°
incident angle 39°

look direction
↓



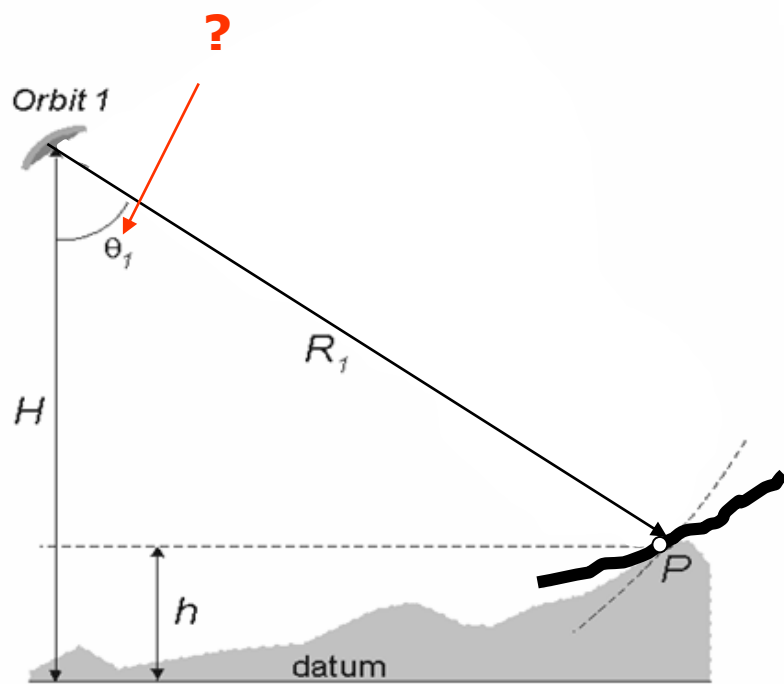
c. **X-band**
↓ look direction



d. **Aerial photograph**
—N→

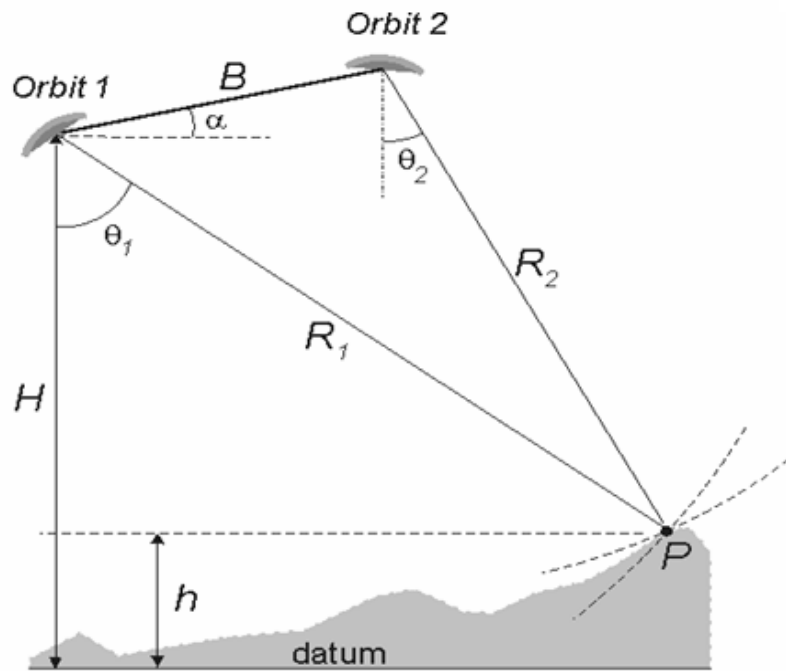
Synthetic Aperture Radar (SAR)

Určovanie nadmorskej výšky



Synthetic Aperture Radar (SAR)

Určovanie nadmorskej výšky



Synthetic Aperture Radar (SAR)

Metódy analýzy obrazu

Radargrametria

Intenzita prijatého signálu

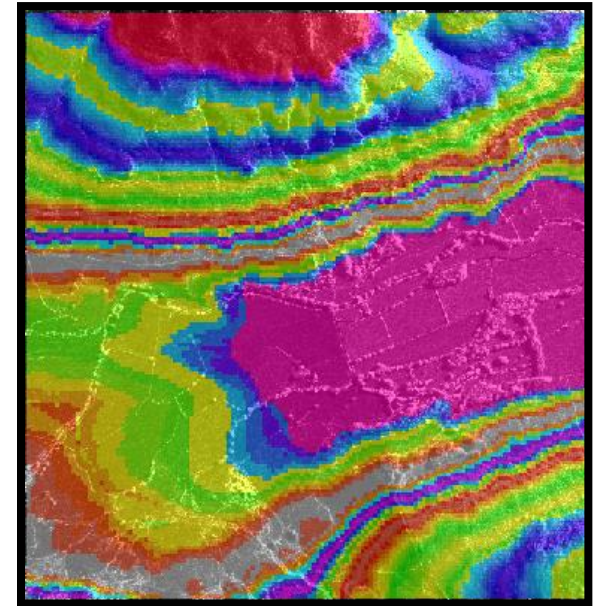


(c) Intermap Inc.



Interferometria

Fázový rozdiel prijatého signálu

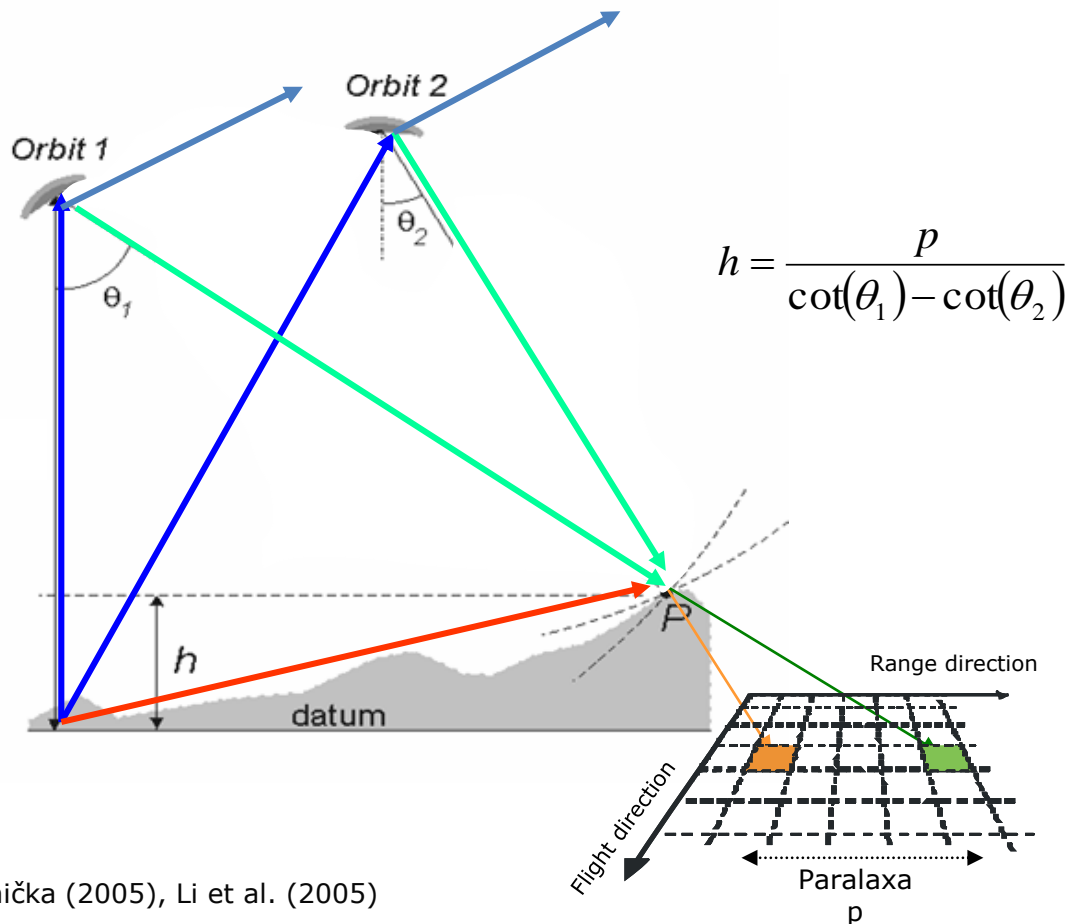


(c) Intermap Inc.

Synthetic Aperture Radar (SAR)

Radargrammetria

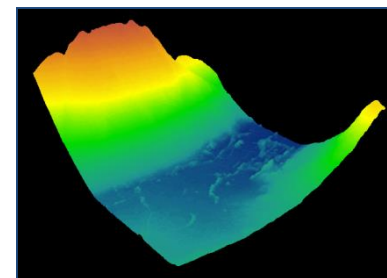
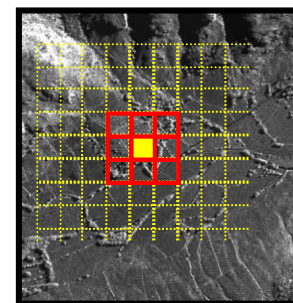
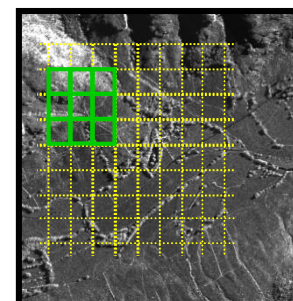
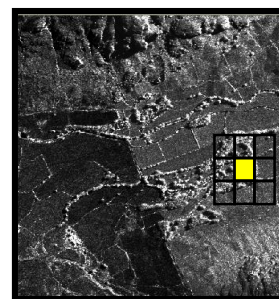
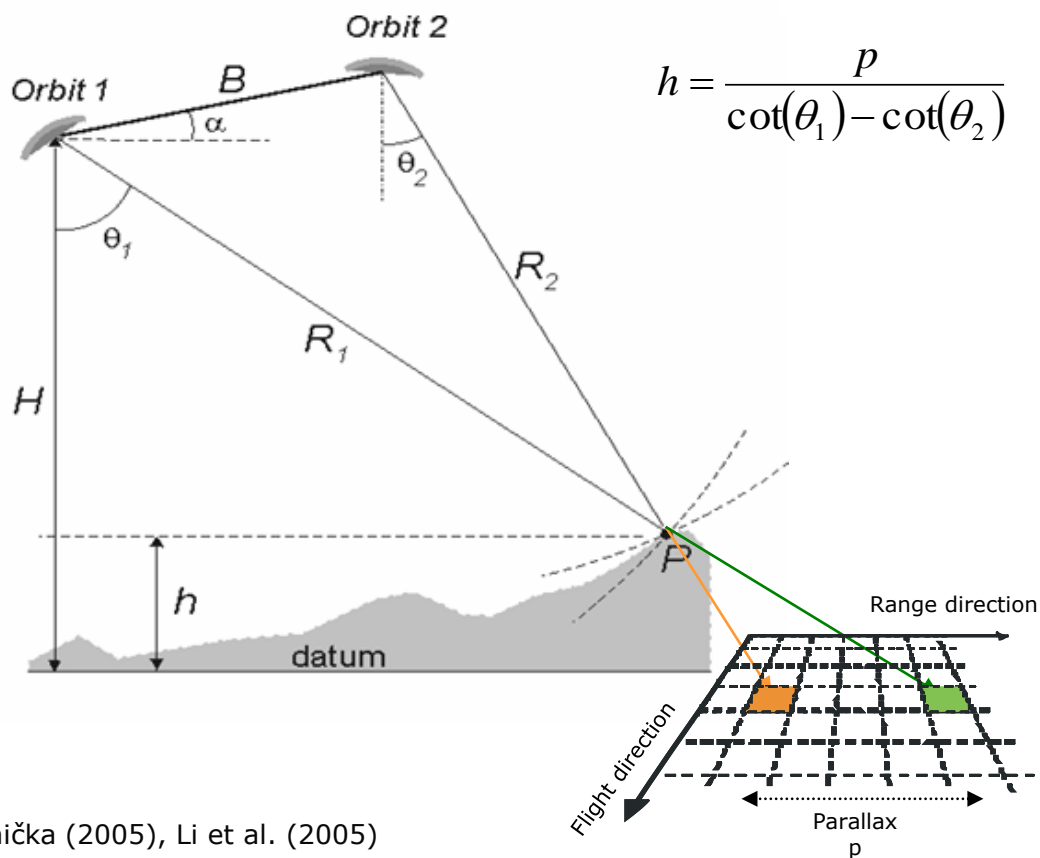
Princíp **merania paralaxy** bodu P pomocou SAR stereosnímkok.



Synthetic Aperture Radar (SAR)

Radargrammetria - podobne ako pri fotogrametrii

Stereosnímky s prekryvom

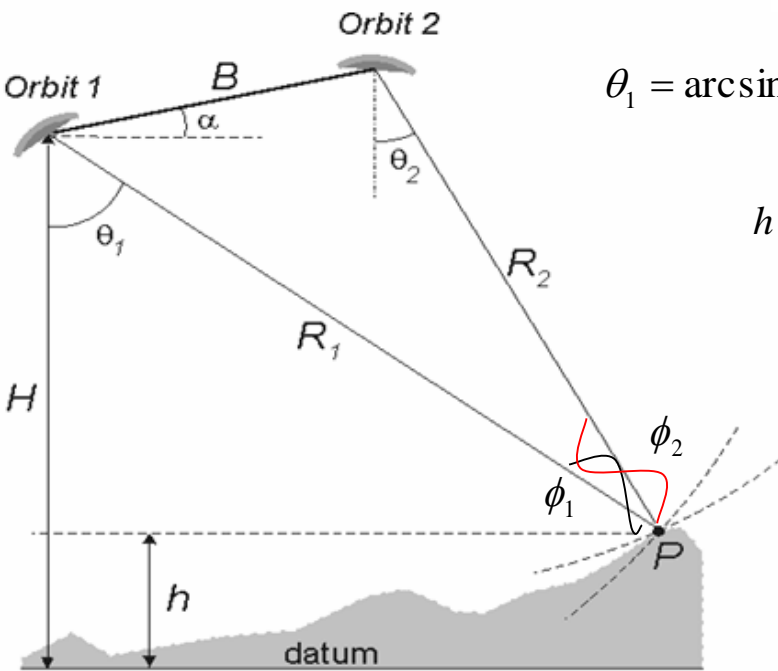


(c) Intermap Inc.

Synthetic Aperture Radar (SAR)

Interferometria

Princíp merania fázového rozdielu dvoch snímok



$$\theta_1 = \arcsin \left[\frac{\lambda \cdot (\phi_2 - \phi_1)}{4 \cdot \pi \cdot B} \right] + \alpha$$

$$h = H - R_1 \cdot \cos \theta_1$$

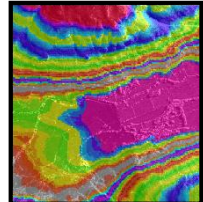
SAR záznam 1 SAR záznam 2



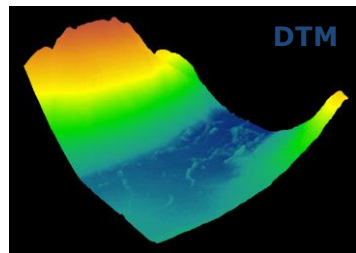
Koregistrácia snímok



interferogram



GCPs
rozbalenie fáz
prevod fáz na výšky



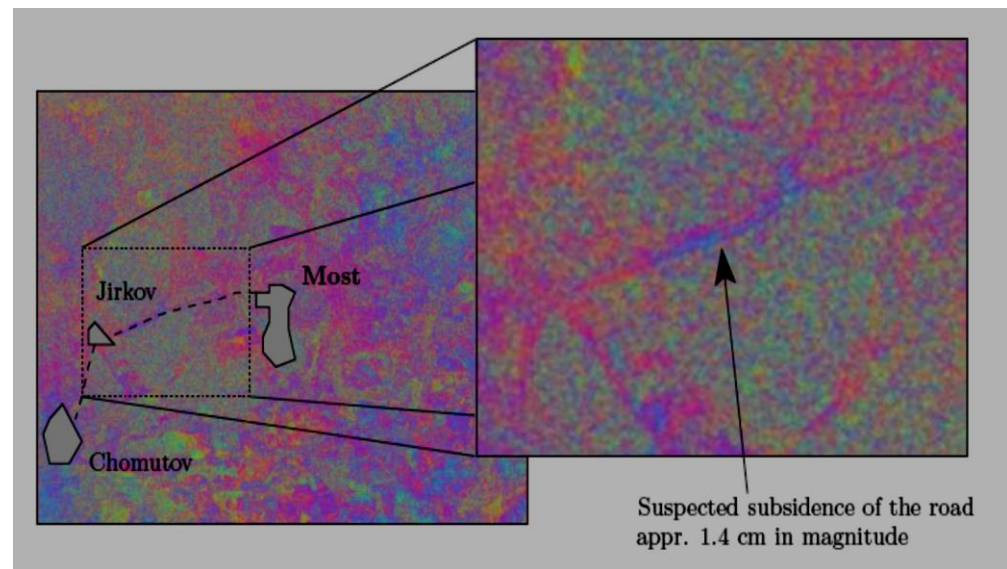
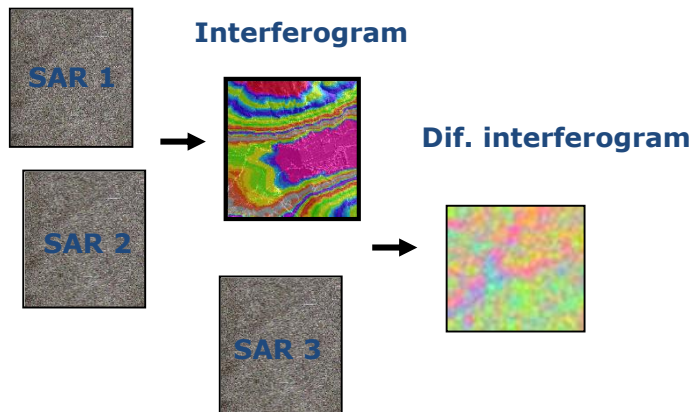
DTM

Synthetic Aperture Radar (SAR)

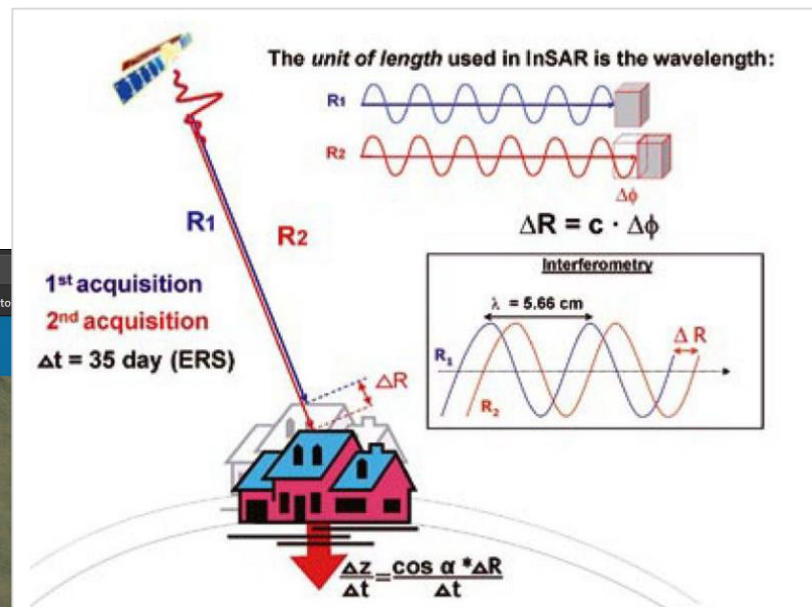
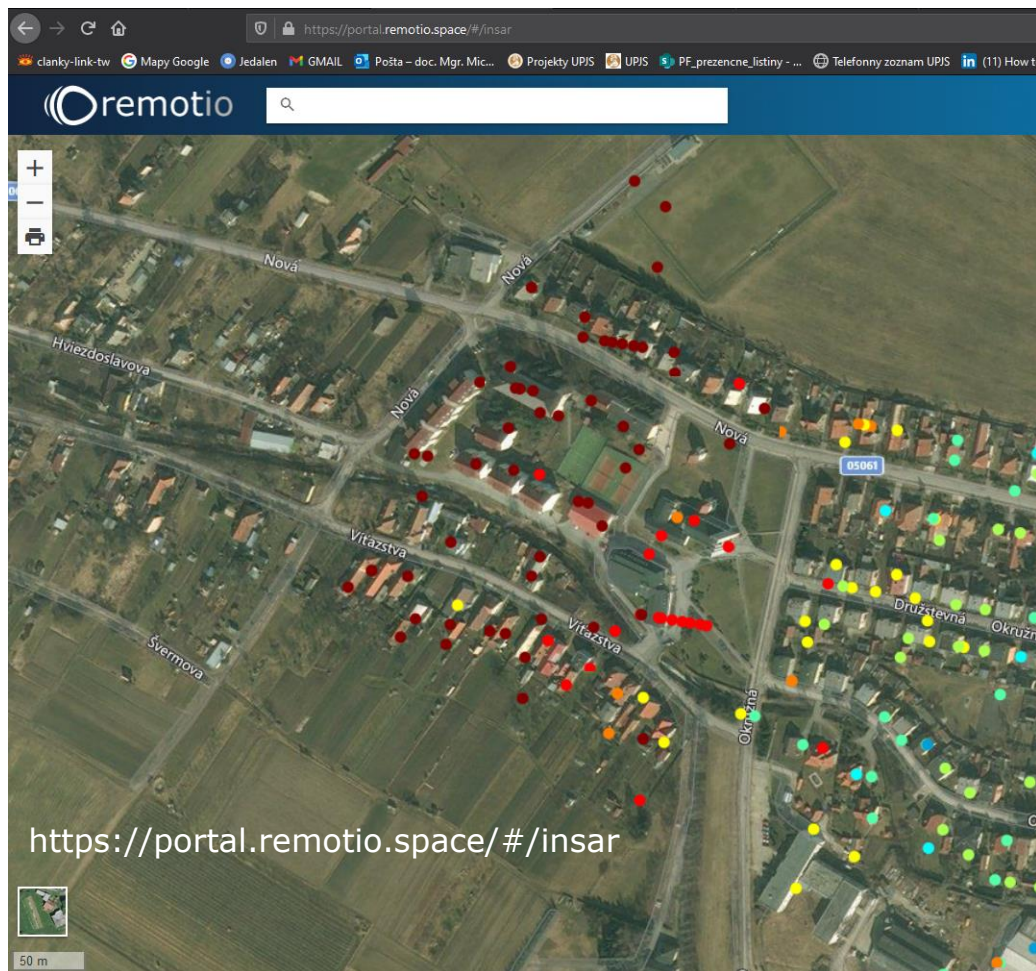
Diferenciálna interferometria

opakované snímanie s časovým odstupom

- meranie zmien výšky povrchu
(seizmické poruchy, pohyb ľadovca, morskej hladiny)
- **subcentimetrová presnosť**



Persistent scatter SAR interferometry



LEVEL 2

Príehľadza_DSC51_LVL2.csv
 Kos_DSC51_LVL1_2.csv

INFORMÁCIE O DATASETE

Filtrácia
Kvalita [%]

70 100

Rozsah
-50 : 50 [mm]

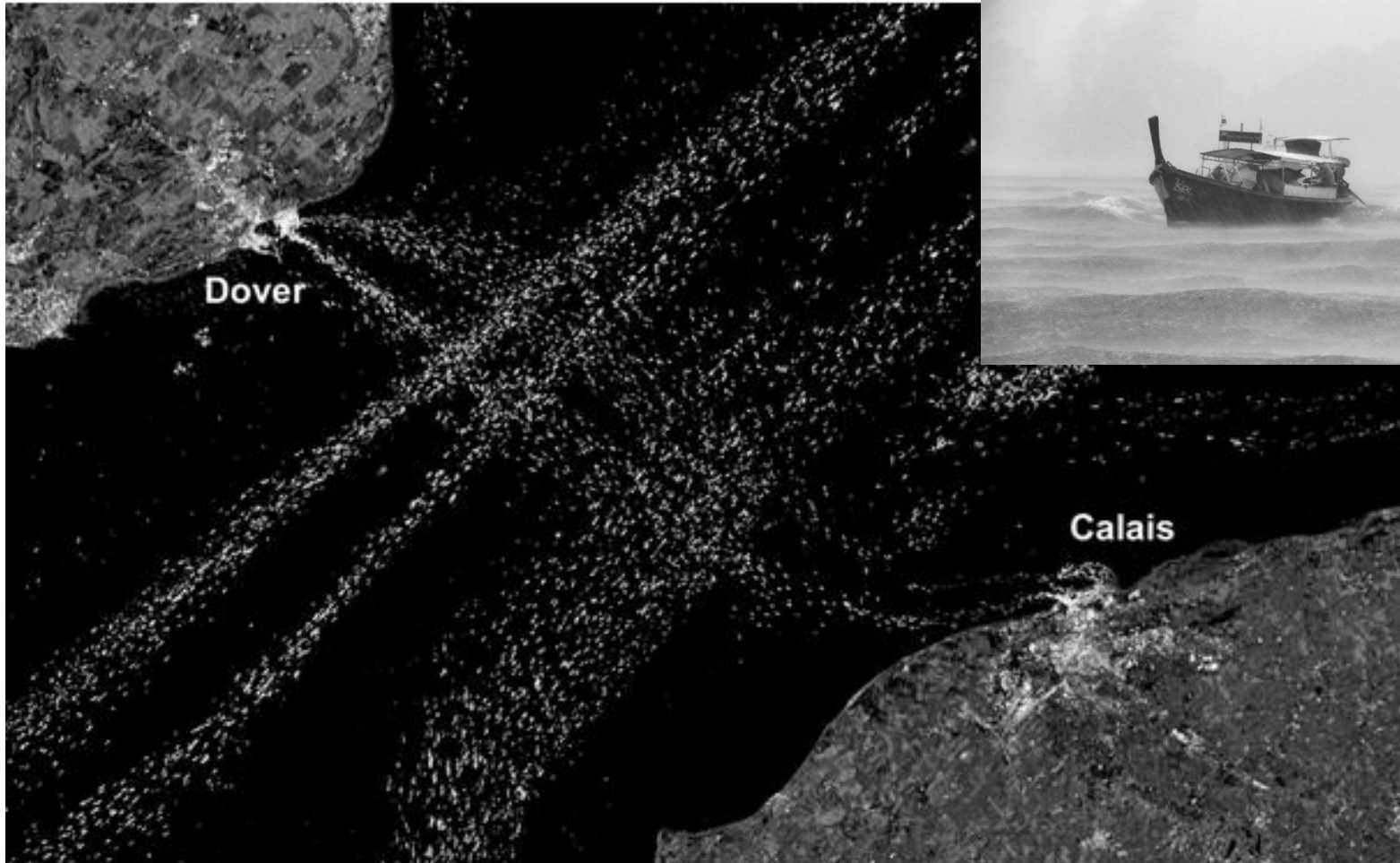
Rýchlosť Celkové posunutie

Názov: Kos_DSC51_LVL1.csv
Level: 1
Počiatkový čas: 21.10.2014
Konečný čas: 31.10.2020
Sklon snímania: DSC
Satelit: Sentinel-1
Ďalší dátum akv.: 06.11.2020
Ďalší čas akv.: 04:53 UTC

Persistent scatter SAR interferometry PSInSAR

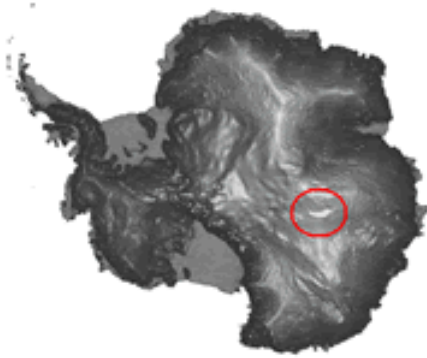
- Meranie pohybu na bodoch intenzívne odrážajúcich radarový signál,
- teda nepoužívajú sa všetky pixle radarového záznamu ako pri D-InSAR, z ktorých mnohé pixle majú nestabilnú koherenciu odrazeného žiarenia v čase (odrazivosť v čase sa mení) v dôsledku zmeny vlhkosti, rastu vegetácie
- Takéto objekty dobre a stabilne odrážajúce mikrovlny sa vyskytujú prirodzene - odkryvy hornín, skalné steny, alebo umelo - strechy, budov, rohy budov, antény, potrubia
- Metódou sa určuje zmena fázy vln v dôsledku malého pohybu odrážača signálu
- Takto možno určiť deformáciu zemského povrchu/pohyb objektov na ňom s milimetrovou presnosťou
- V porovnaní s GNSS meraniami, je výhodou PSInSAR možnosť monitoringu veľkého počtu bodov vo väčšej oblasti, a nižšia cena

Radar – aktívna metóda, nezávislá na počasí



Max composite of all Sentinel-1 images from 2015-Jan-01 to 2019-Jan-01 (interferometric wide swath mode, VH polarization, ground range detected, log scaling)

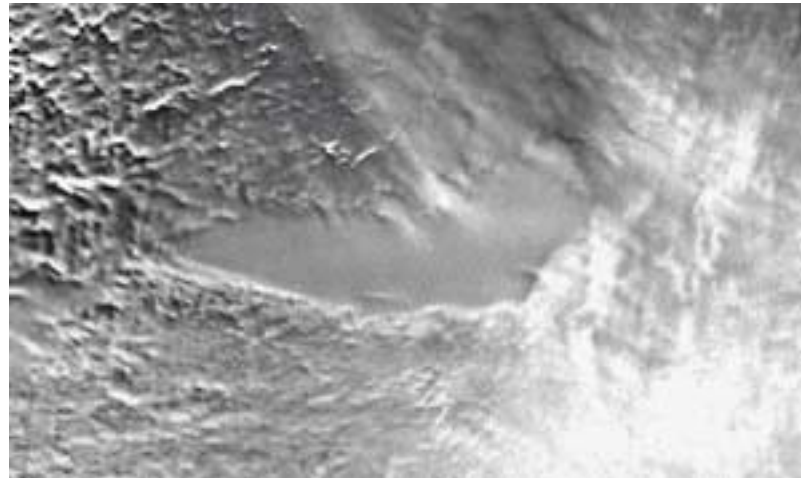
Jazero Vostok



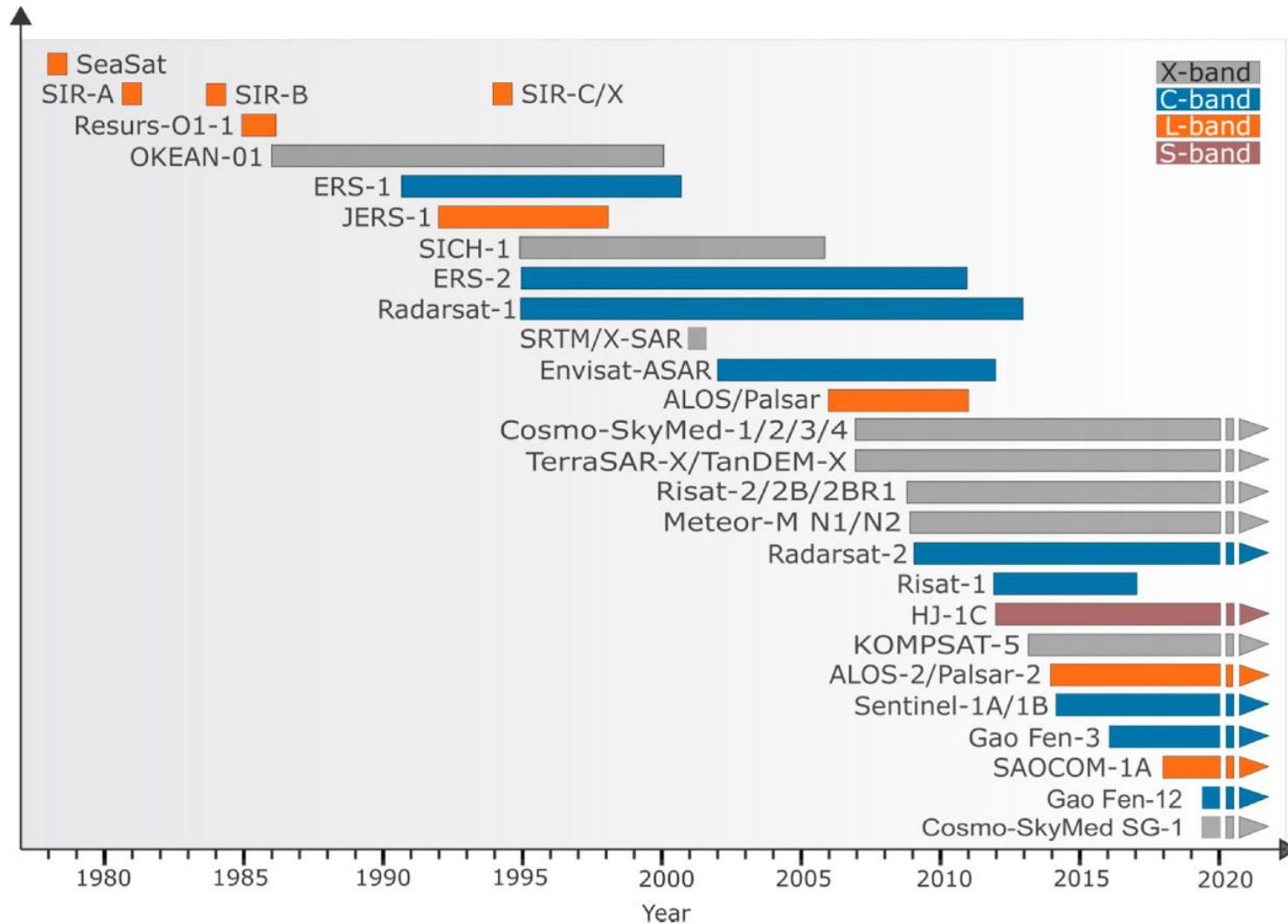
Antarktída

- pod 4000 m hrubou vrstvou ľadu
- ukryté pod ľadom min. 420 000 rokov
- hĺbka 670 m, plocha 14 000 km²

- objav 1996 - radar
- 250 x 50 km
- 5/2005 – ostrov v jazere



Timeline of inactive and active spaceborne SAR instruments with different wavelengths (X-, C-, L- and S-band).



Letecké SAR systémy



MetaSensing MetaSAR - Airborne Synthetic Aperture Radar
<https://www.metasensing-group.com>

Bezpilotné, micro radarové systémy



SPH Engineering GPR-drone
integrated system

Ground penetrating radar
for subsurface mapping

SPH Engineering
Daugavgrivas 140
LV-1007 Riga
Latvia

Zhrnutie: výhody a nevýhody radarového snímania

- zložitejší vznik obrazu ako vo fotogrametrii
- nezávislosť od dennej doby (deň-noc)
- nezávislosť od počasia (signál preniká oblačnosťou)
- potrebný vlastný zdroj energie, kratšia životnosť ako pri pasívnych systémoch
- možnosť snímania niekoľkých vlnových dĺžok (X,L,C pásma)
- mapovanie rozhraní pod povrchom ,dutiny, rozhrania sedimentov (dlhšie vlnové dĺžky)
- mapovanie výšok reliéfu, pre tvorbu modelov zemského povrchu
- mapovanie vlhkostných parametrov pôdy a vegetácie
- určovanie veľmi malých zmien relatívnej výšky povrchu (diferenciálna interferometria D-InSAR, PS InSAR)