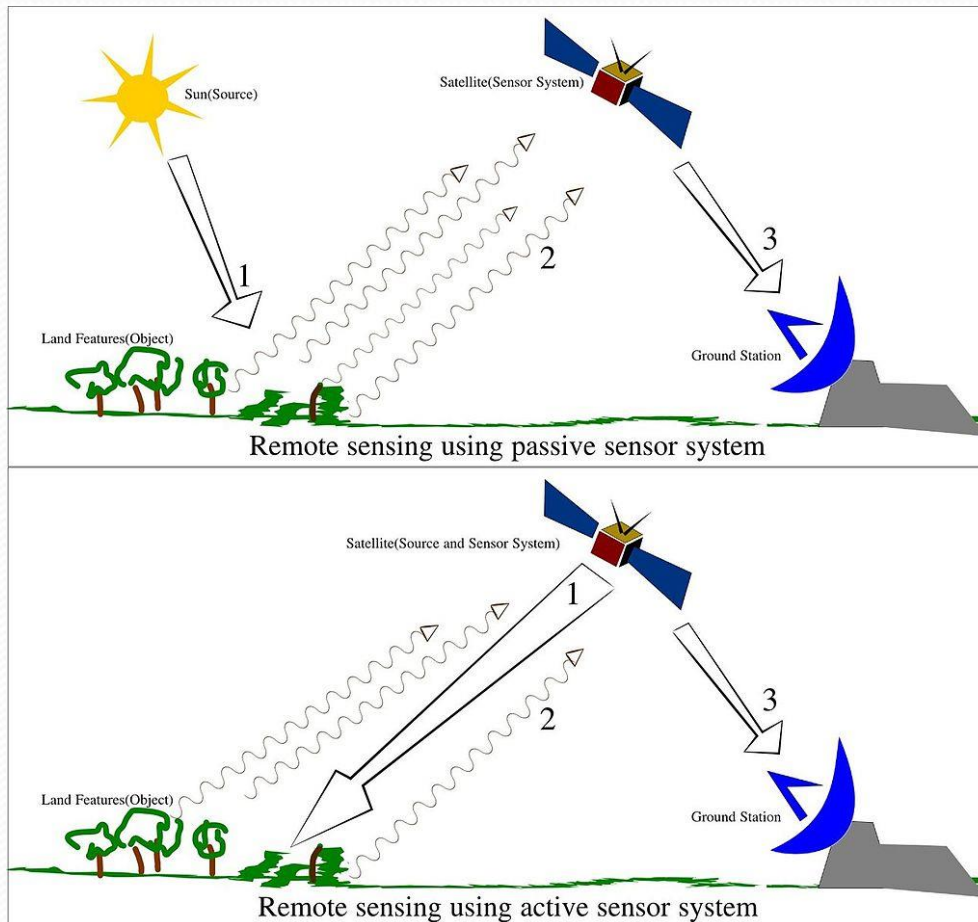


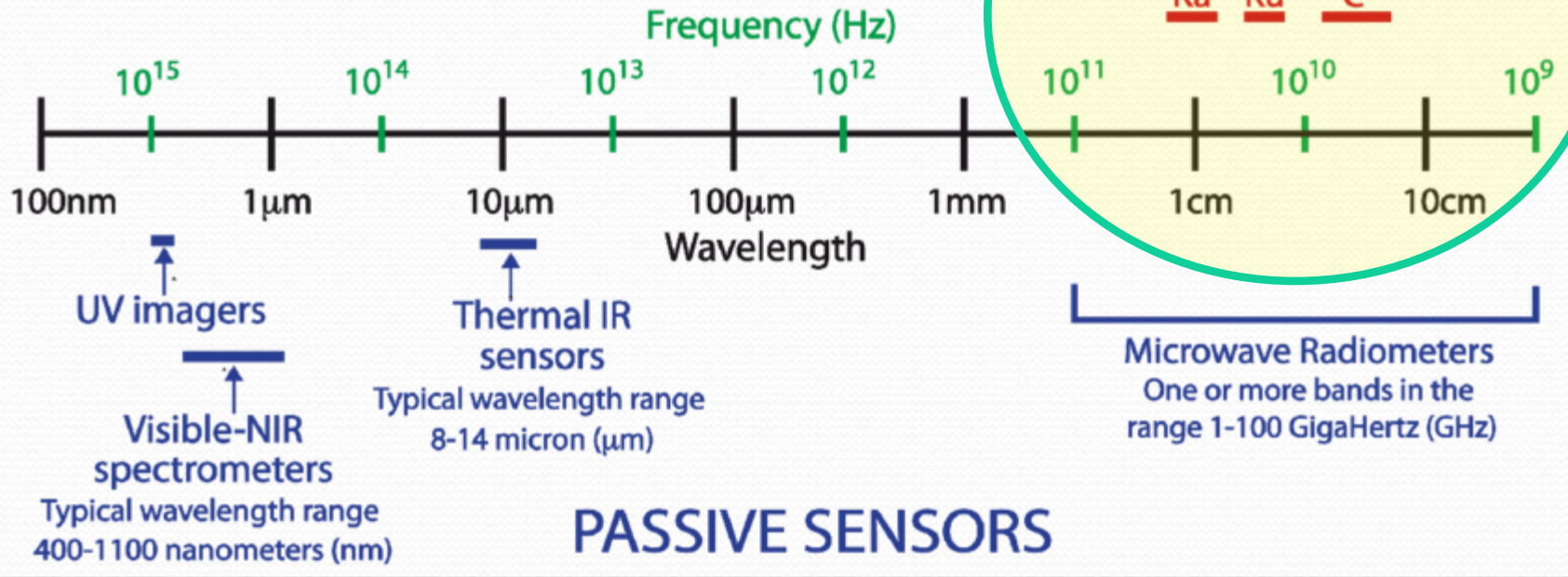
Zpracování radarových dat

RADAR – RAdio Detection and Ranging → aktivní senzor

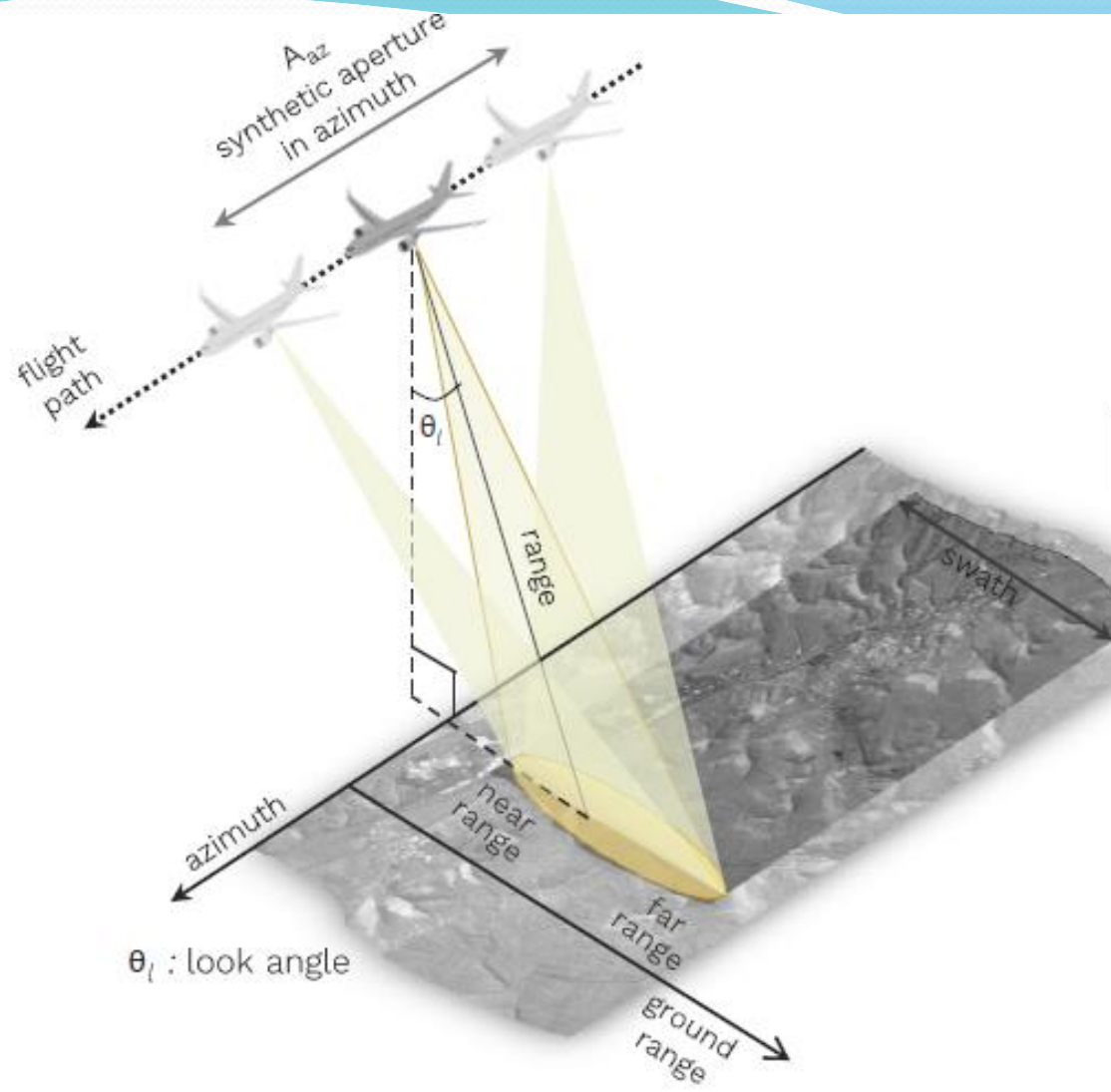


ACTIVE SENSORS

Laser Fluorosensors
Typical excitation wavelength 355nm
Emission measurements: 430-750nm



PASSIVE SENSORS



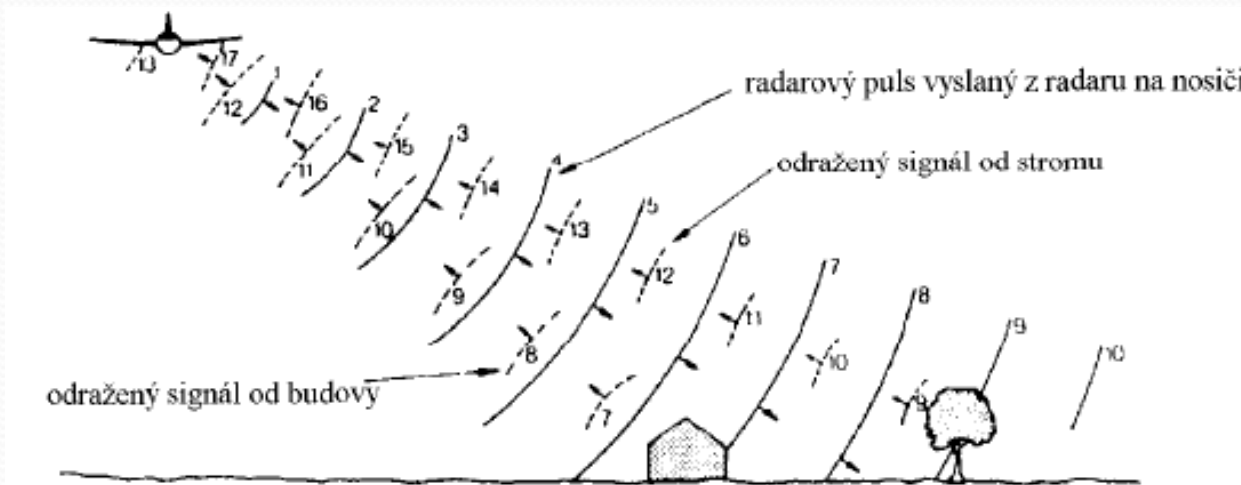
SAR imaging geometry

(SAR EDU)

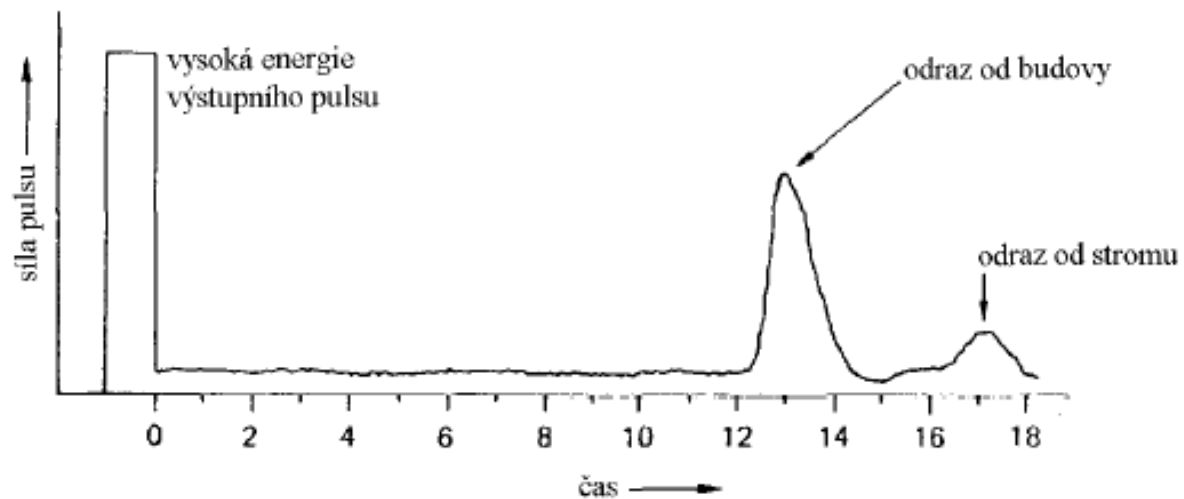
Odlišný princip snímání → odlišný vznik výsledného obrazu → specifický vzhled snímků i metod zpracování

- **Geometrie** zcela odlišná oproti snímkům pořízeným senzory v *optické části EM spektra*?
- **Vzhled:**
 - Intenzita odraženého signálu
 - Do hry vstupuje interakce záření s objekty na zemském povrchu (! závislost na vlnové délce paprsku)
 - Zaznamenání fyzikálních vlastností (drsnot povrchu, orientace k dopadajícímu záření, elektrické vlastnosti apod.)
 - Výrazná textura
- Odlišné **metody** analýzy radarových dat
- Nelze mluvit o teorii spektrálního chování objektů
 - odrazové a vyzařovací schopnosti objektů na zemském povrchu jsou v oblasti mikrovln odlišné od těchto charakteristik v optické části spektra (chemické x fyzikální vlastnosti)

Princip fungování radaru



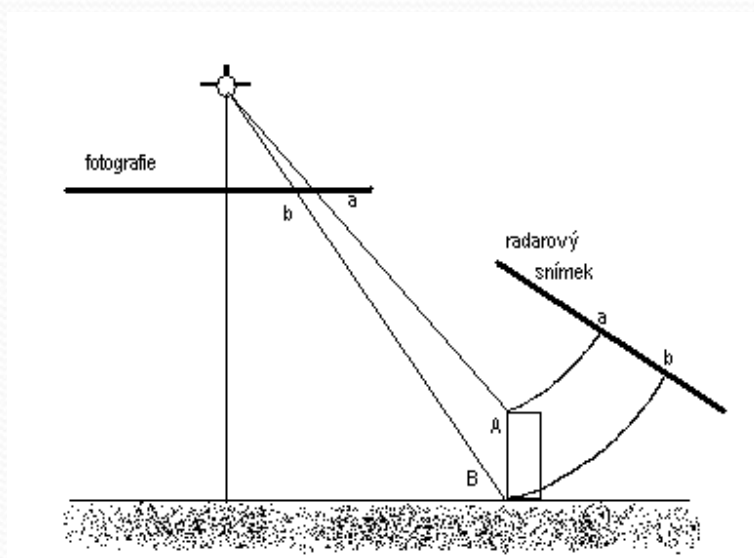
(a)



(b)

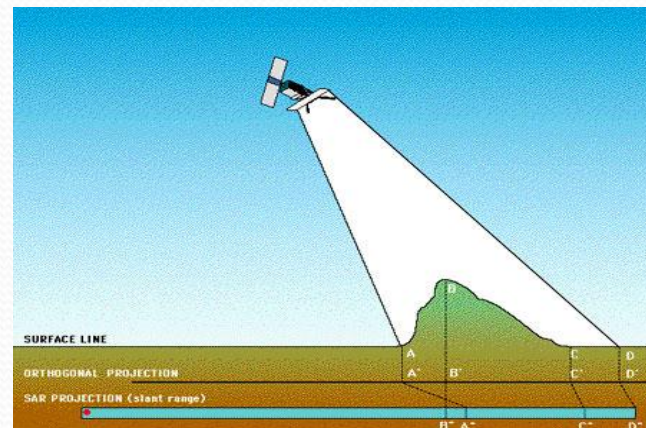
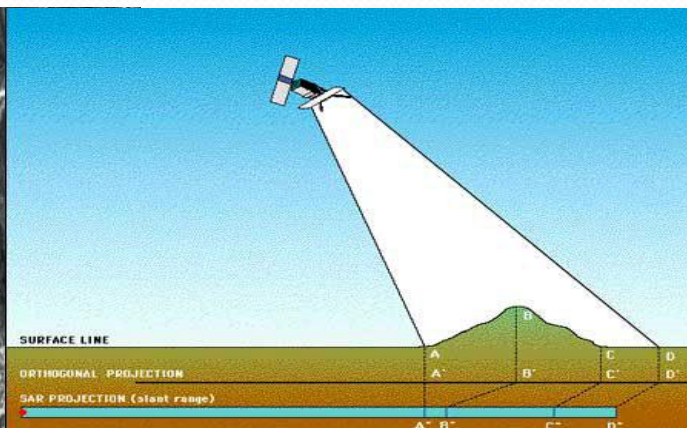
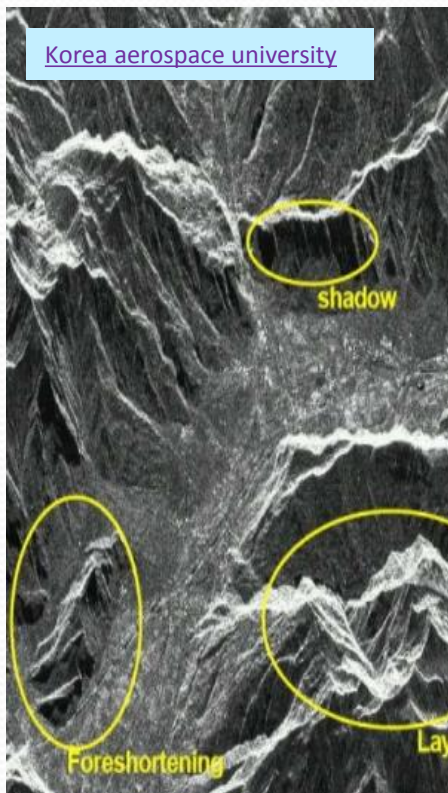
I. Geometrie

- Způsobená vlastním **principem snímání radaru**, nicméně jde o „imaging radar“ – tedy radar pořizující obrazová data a výsledek je označován jako *image* (snímek)
- Basic radar imaging geometry

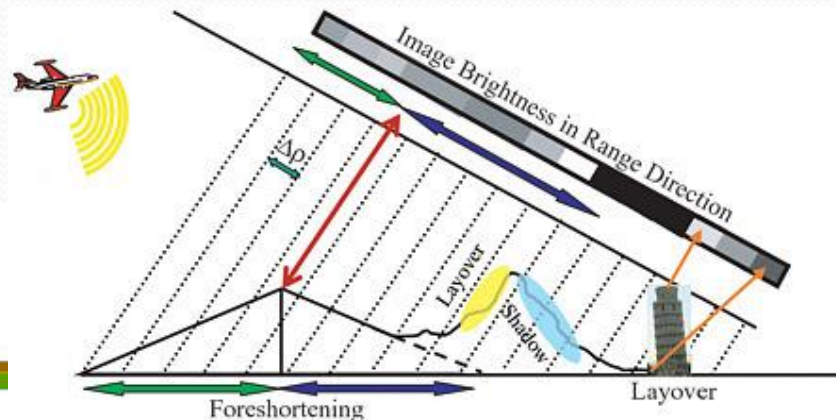


← Rozdíl v geometrii letecké fotografie a radarového snímku

Zhuštění signálu, stín, překryv (Foreshortening, shadow, layover)

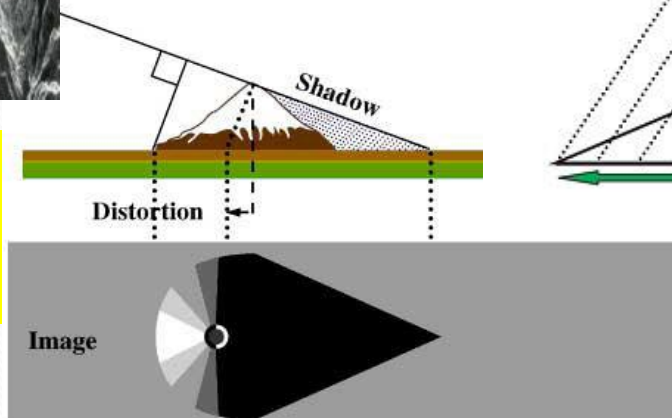


Radar Course 2, ESA



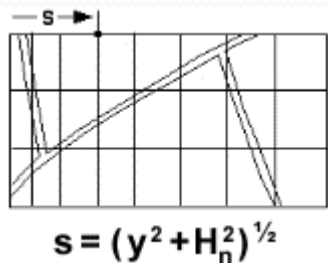
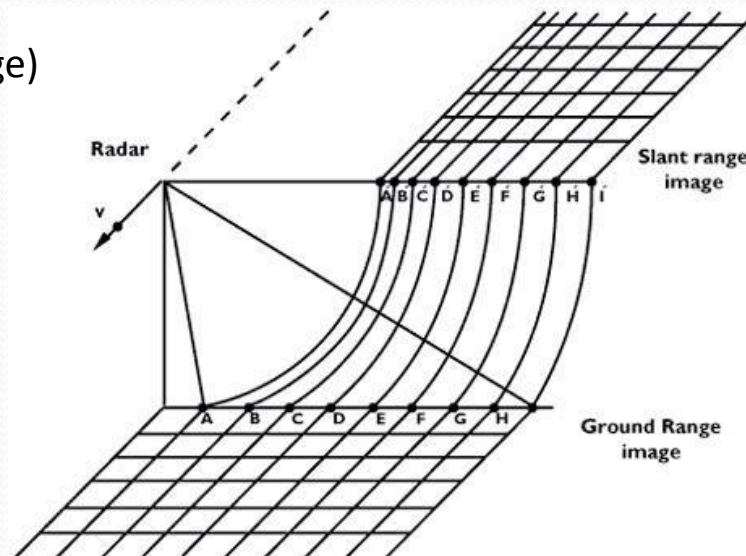
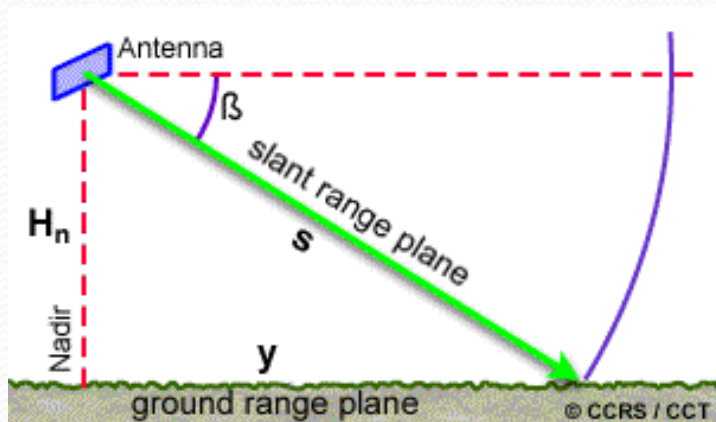
<https://www.nap.edu/read/11829/chapter/6>

Na kterých částech
obrazu budou
nejpřesnější data?

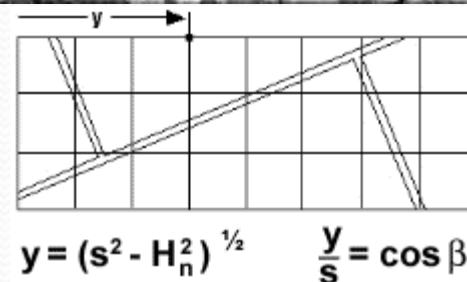


Obrazová řádka v šikmém směru (slant range)

Nasnímaná data jsou v šikmé rovině snímání (slant range) a následně jsou převedena do horizontální roviny (ground range)



Oprava šikmé vzdálenosti (slant r.) na horizontální (ground range)

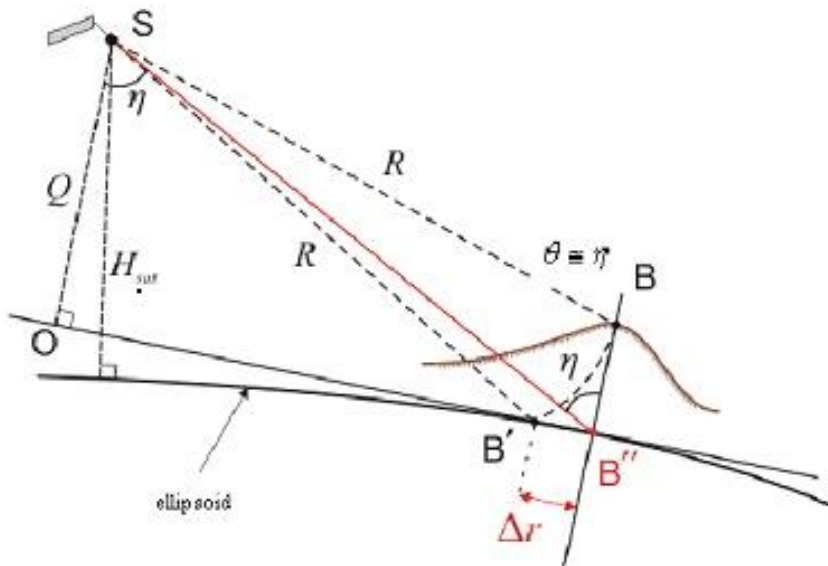


Terénní korekce a převod ze souřadnic radaru (azimut vs. range) do geografických souřadnic

- Korekce terénu
 - odstranění efektu bočního snímání, nutný DEM
 - posun terénu do „správné“ pozice (ale stín zůstane stínem)
- Transformace do souřadnic. systému - nutný krok pro kombinaci s ostatními prostorovými geografickými daty
- ! Geometricky korigovaná radarová data již nemohou nést informaci o fázi signálu! Při zpracování dat vycházejících z fáze se geom. korekce provádí až úplně nakonec
- Nejčastěji se používá „Range Doppler Terrain Correction“

Range Doppler Terrain Correction

- Účelem je v podstatě „orthorektifikace“ radarového snímku
- (Slant range \rightarrow) ground range \rightarrow geogr. souřadnice



Point B with elevation h above the ellipsoid is imaged at position B' in SAR image, though its real position is B'' . The offset Δ_r between B' and B'' exhibits the effect of topographic distortions. (podle S1TBX Help)

The Range Doppler Terrain Correction Operator implements the Range Doppler orthorectification method [1] for geocoding SAR images from single 2D raster radar geometry. It uses available **orbit state vector** information in the metadata or external precise orbit (only for ERS and ASAR), the **radar timing annotations**, the slant to ground range **conversion parameters** together with the **reference DEM data** to derive the precise geolocation information.

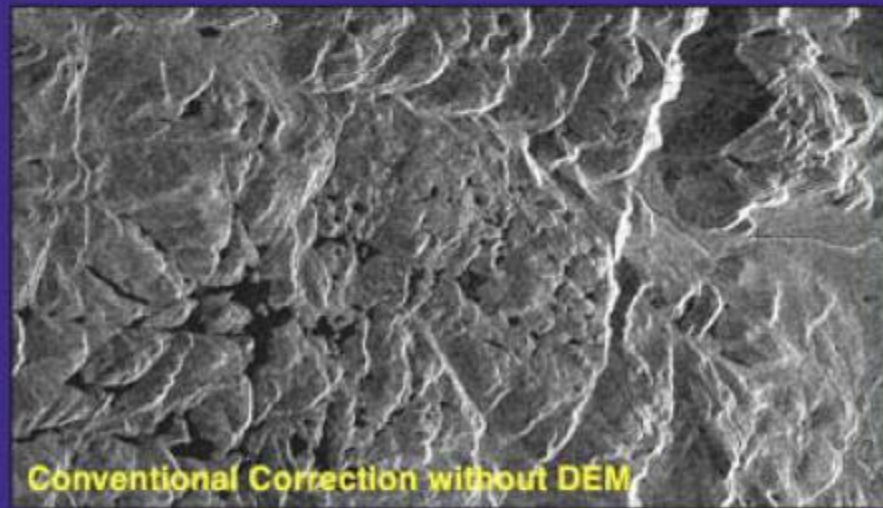
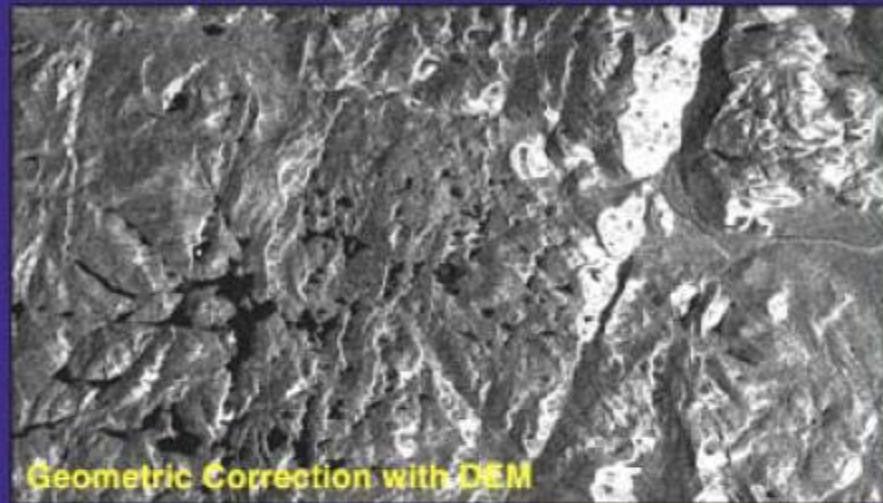
[1] Small D., Schubert A., Guide to ASAR Geocoding, RSL-ASAR-GC-AD, Issue 1.0, March 2008

Další metody geometrických korekcí viz Help SNAPu

- **Geolocation-Grid (GG) method** [1]. The implementation is exactly the same as for the [Range Doppler Terrain Correction operator](#) except that the slant range is computed from slant range time tie point of the source product instead of using DEM.
- **Range Doppler orthorectification method** [1]. The implementation is exactly the same as for the [Range Doppler Terrain Correction operator](#) except that the averaged scene height is used instead of DEM.
- [1] Small D., Schubert A., Guide to ASAR Geocoding, Issue 1.0, 19.03.2008
- **SAR Simulation Operator**
- The operator generates simulated SAR image using DEM, the Geocoding and orbit state vectors from a given SAR image, and mathematical modeling of SAR imaging geometry. **The simulated SAR image will have the same dimension and resolution as the original SAR image.**

Geometrické korekce radarových snímků

Comparison of Geocoding with and without DEM
(ERS-1) Charlevoix, Québec

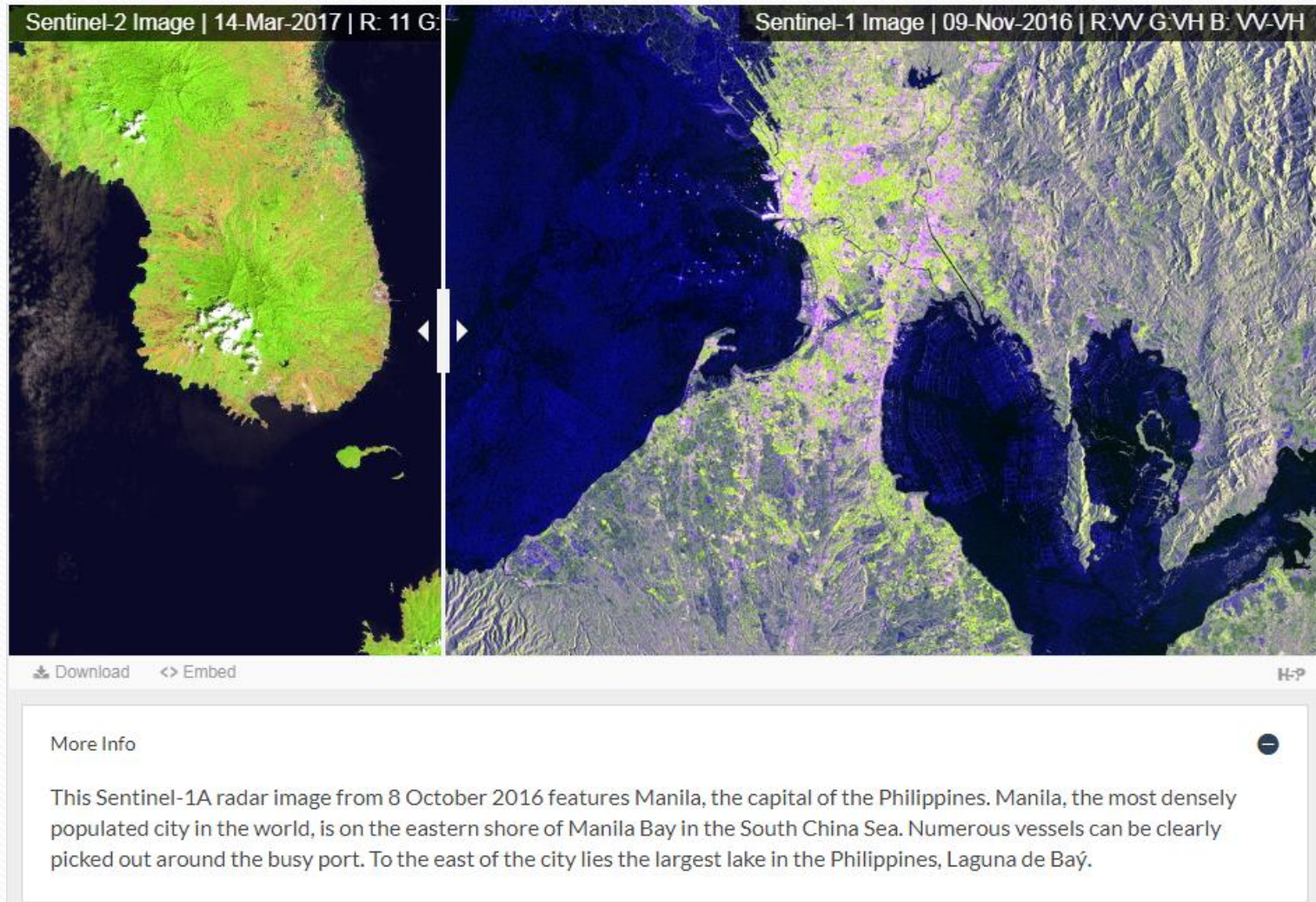


Spatial Resolution: 30m

© European Space Agency

II. Vzhled radarových snímků

<https://eo-college.org/topic/comparison-to-optical-images/>



Parametry ovlivňující odražený signál (backscatter) a tedy i vzhled radarových snímků

Parametry vnitřní – *senzor a jeho nosič*

- vlnová délka (frekvence) použitého mikrovlnného záření
- úhel dopadu (úhel pohledu) radarového paprsku
- polarizace použitého záření
- azimut dopadajícího radarového paprsku ve smyslu jeho orientace vzhledem ke snímanému objektu
- dráha letu

Parametry ovlivňující odražený signál (backscatter) a tedy i vzhled radarových snímků

Parametry vnější – *snímaný povrch*

- topografie
- lokální úhel dopadu
- “drsnot” povrchu (roughness)
- dielektrická konstanta – zejména obsah vody
- geometrie a orientace snímaných objektů
- orientace snímaných objektů

Vzájemná provázanost vnějších a vnitřních parametrů

Vlnová délka záření (pásmo)



Pásmo	λ [cm]
Ka	0,75-1,1
K	1,1-1,67
Ku	1,67-2,4
X	2,4-3,75
C	3,75-7,5
S	7,5-15
L	15-30
P	30-100



S výjimkou radaru na raketoplánu jsou systémy většinou jednopásmové

Intenzita odraženého signálu v rozdílných pásmech

X-band



L-band



P-band



Odraz signálu od stromu v závislosti na vlnové délce



Austrian pine



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



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

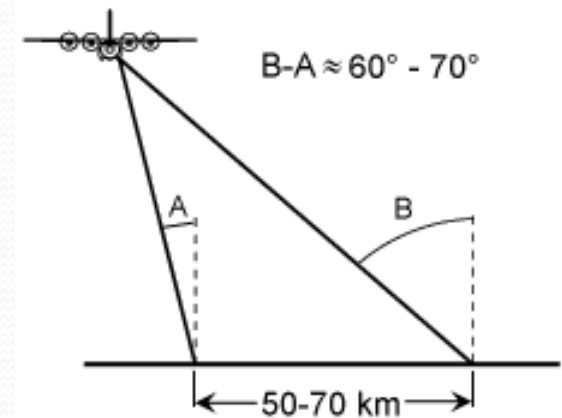
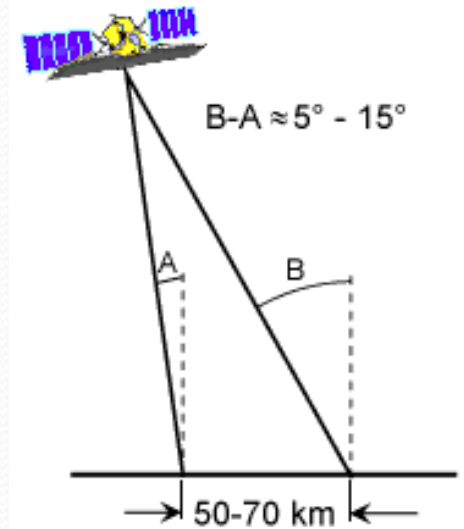


P band
 $\lambda = 70 \text{ cm}$

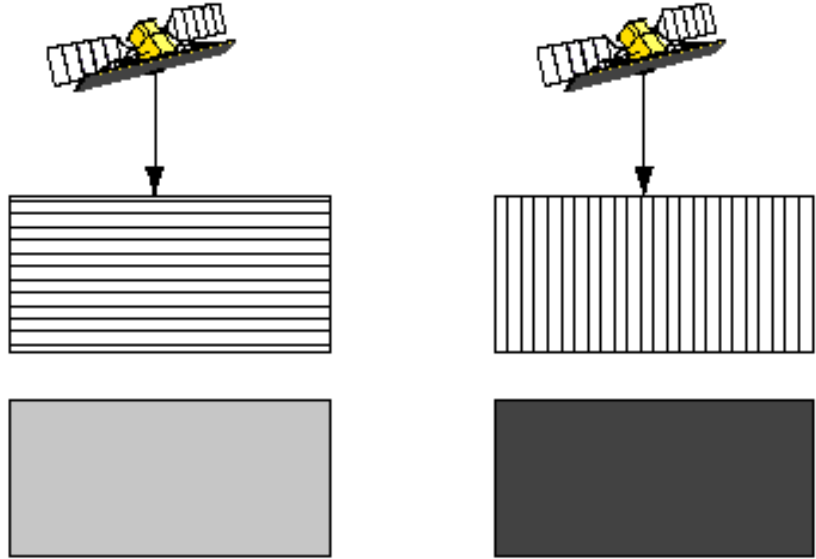
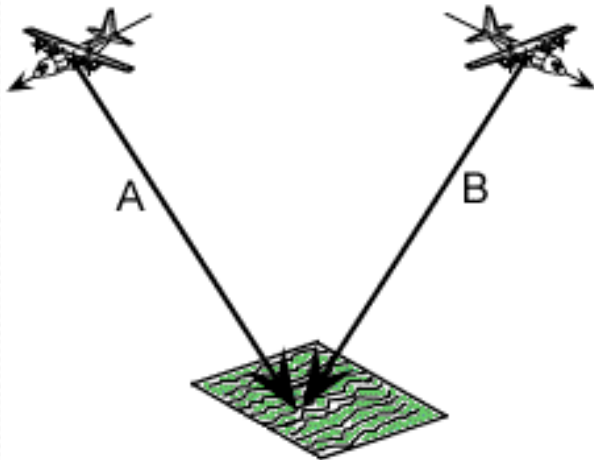
Frequency Band	X-Band	C-Band	L-Band	P-Band
Main Scatterers	Leaves, Twigs	Leaves, small branches	Branches	Branches & Trunk

Úhel dopadu radarového signálu (senzor)

- Ovlivňuje rozsah radarových stínů
- Malý úhel dopadu způsobuje intenzivní odraz od relativně hladkých povrchů
- Při velkém úhlu dopadu jsou hladké plochy naopak tmavé
- Velký úhel dopadu zdůrazňuje tvary snímaného reliéfu.



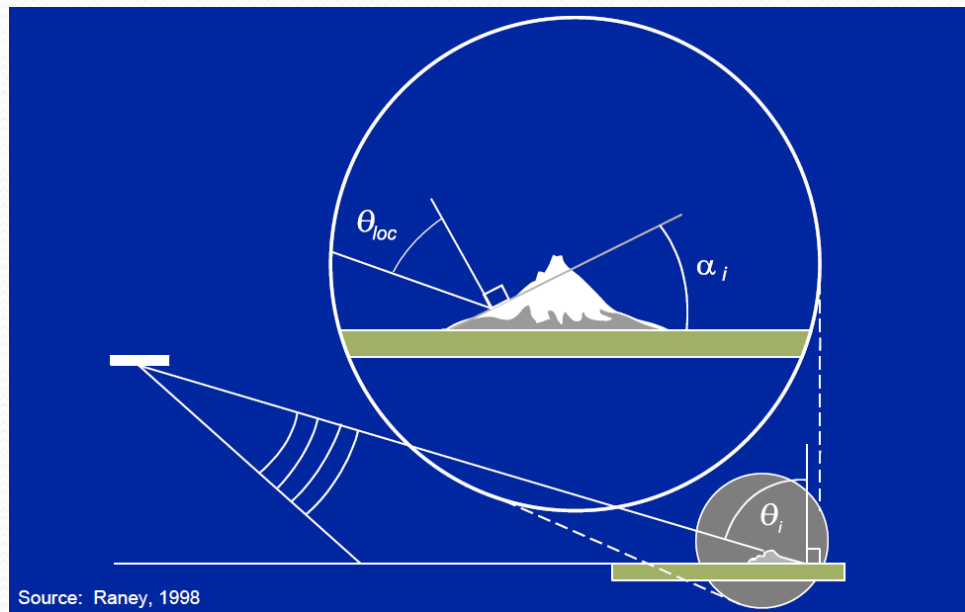
Azimut dopadu radarového signálu (orientace)



Vzájemná orientace dopadajícího radarového paprsku a snímaného objektu má výrazný vliv na vzhled výsledného snímku

Objekty uspořádané do linií kolmých k dopadajícímu paprsku (A) dávají daleko silnější odraz, než objekty v liniích orientovaných rovnoběžně s dopadajícím paprskem (B) – ulice, polní plodiny, ...

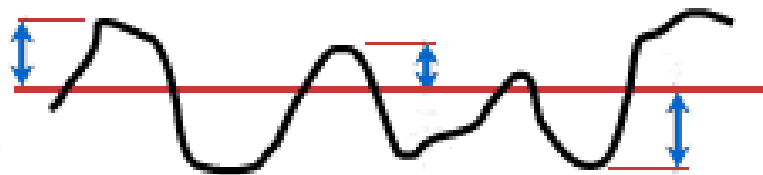
Lokální úhel dopadu (povrch)



Lokální úhel dopadu nejvíce ovlivňuje výslednou hodnotu radiometrické charakteristiky každého obrazového prvku charakteristiky

Ke korekci vlivu lokálního úhlu dopadu je zapotřebí znát výškové poměry území v podobě modelu terénu a parametry definující geometrii snímání konkrétního systému

Drsnost povrchu



Hladký povrch:

$$h < \frac{\lambda}{8 \cdot \cos \theta}$$

Drsný povrch:

$$h > \frac{\lambda}{8 \cdot \cos \theta}$$

h - průměrná výška nerovností povrchu

λ - vlnová délka radarového signálu

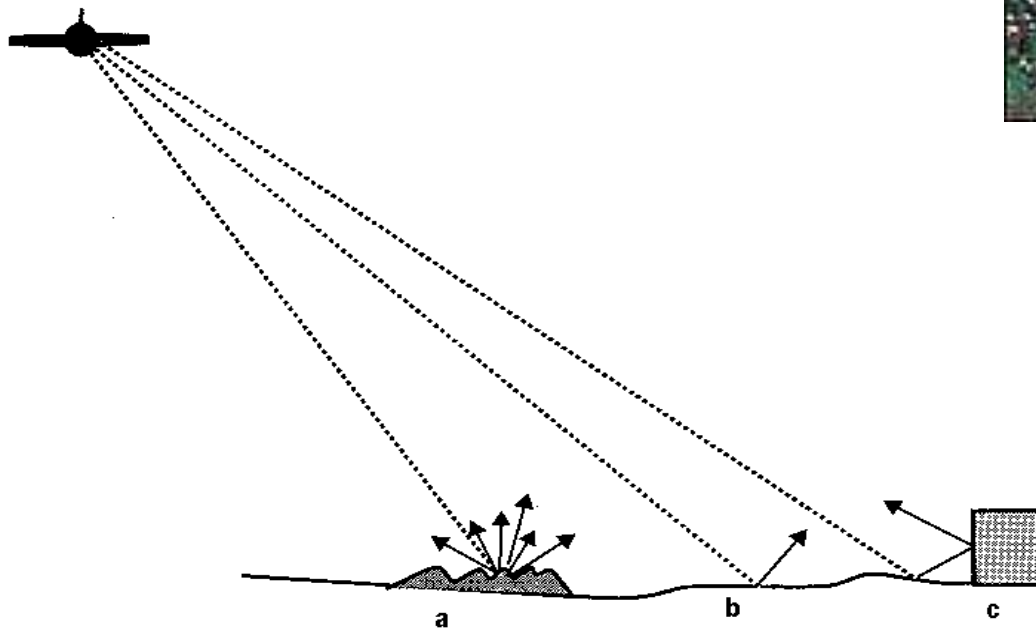
θ - úhel dopadu



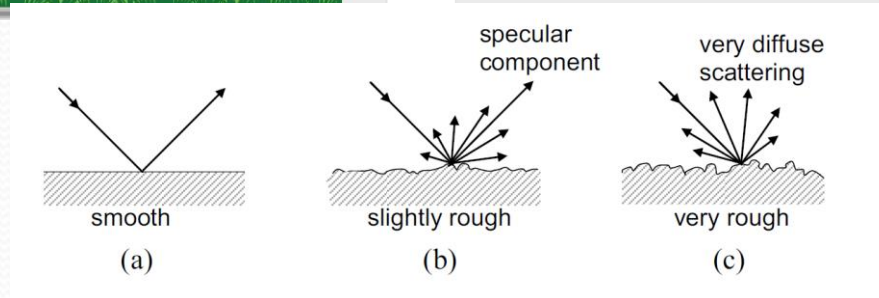
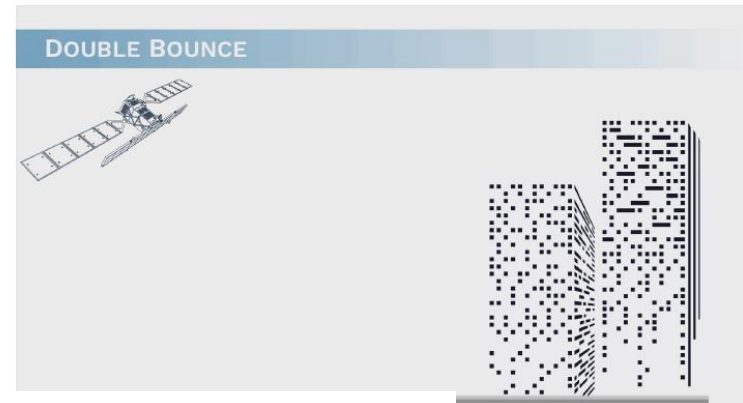
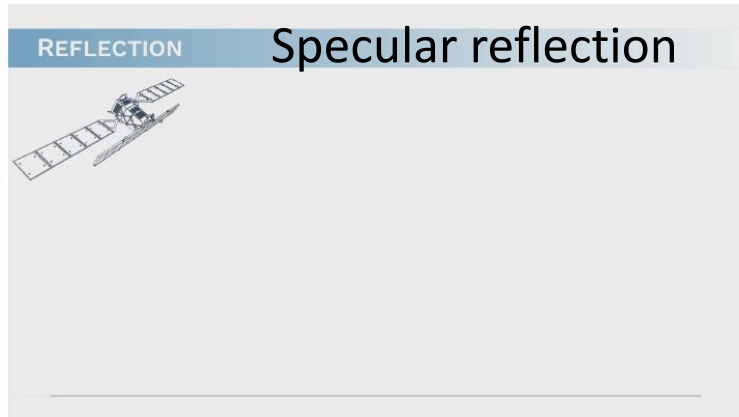
Drsnost povrchu

Základní druhy odrazů:

- a. Difuzní
- b. Zrcadlový (specular reflection)
- c. Koutový (double bounce)

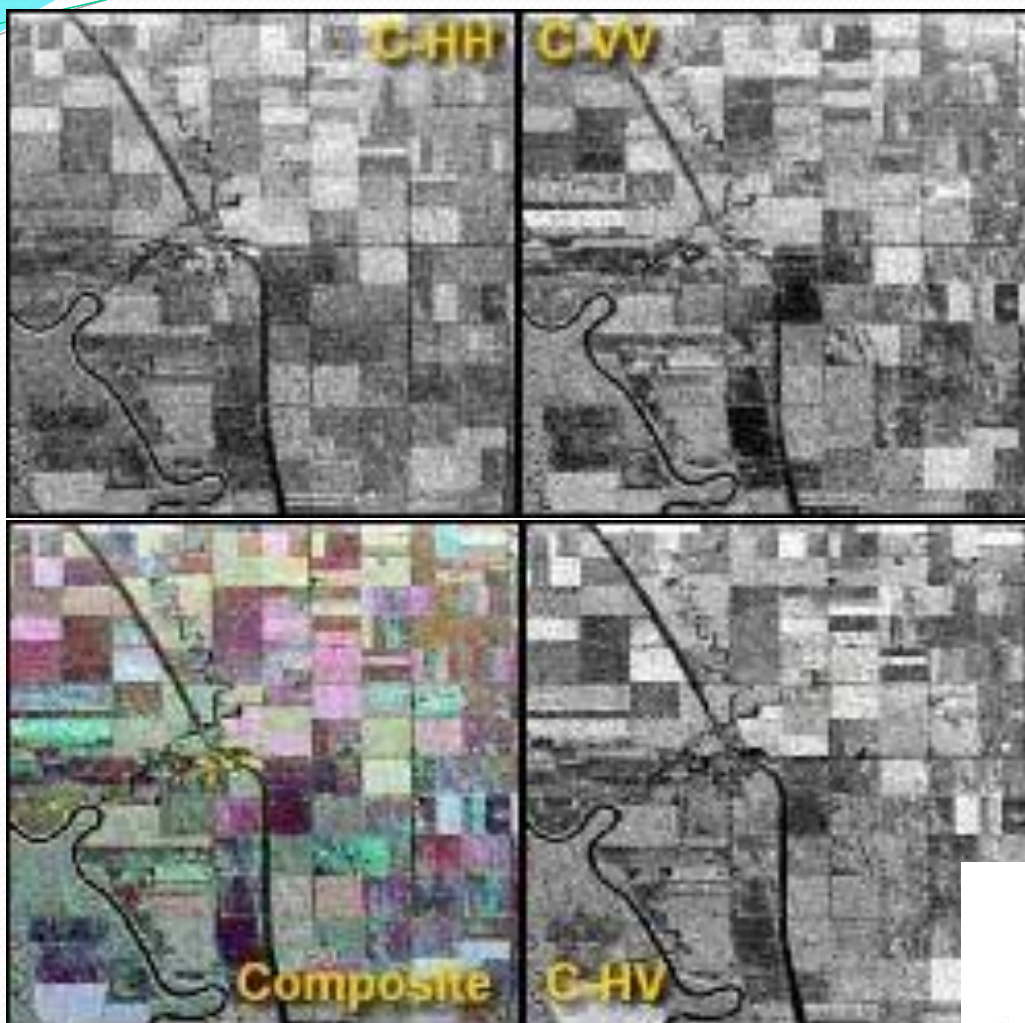


Druhy odrazů radarového signálu



<https://eo-college.org/topic/the-scattering-mechanisms/>

Polarizace signálu

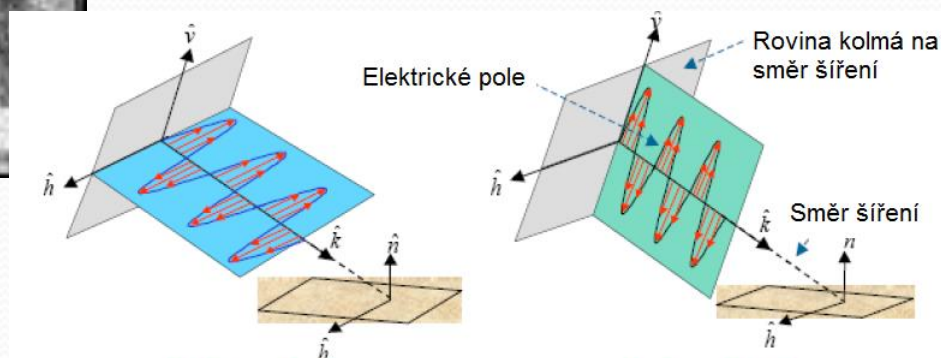


Polarimetrie popisuje techniku, která zahrnuje měření, the zpracování and the interpretaci of the **stavu polarizace** elektromagnetické vlny.

Stav polarizace odražené vlny ze zemského povrchu může být vázán na **geometrické vlastnosti** jako *tvar, drsnost, orientace a vnitřní vlastnosti odražeče* (vlhkost, obsah soli, hustota). (podle EO-college)

Depolarizace signálu je způsobena především odrazem z vrstvy vegetace

II. Vzhled radarových snímků - polarizace

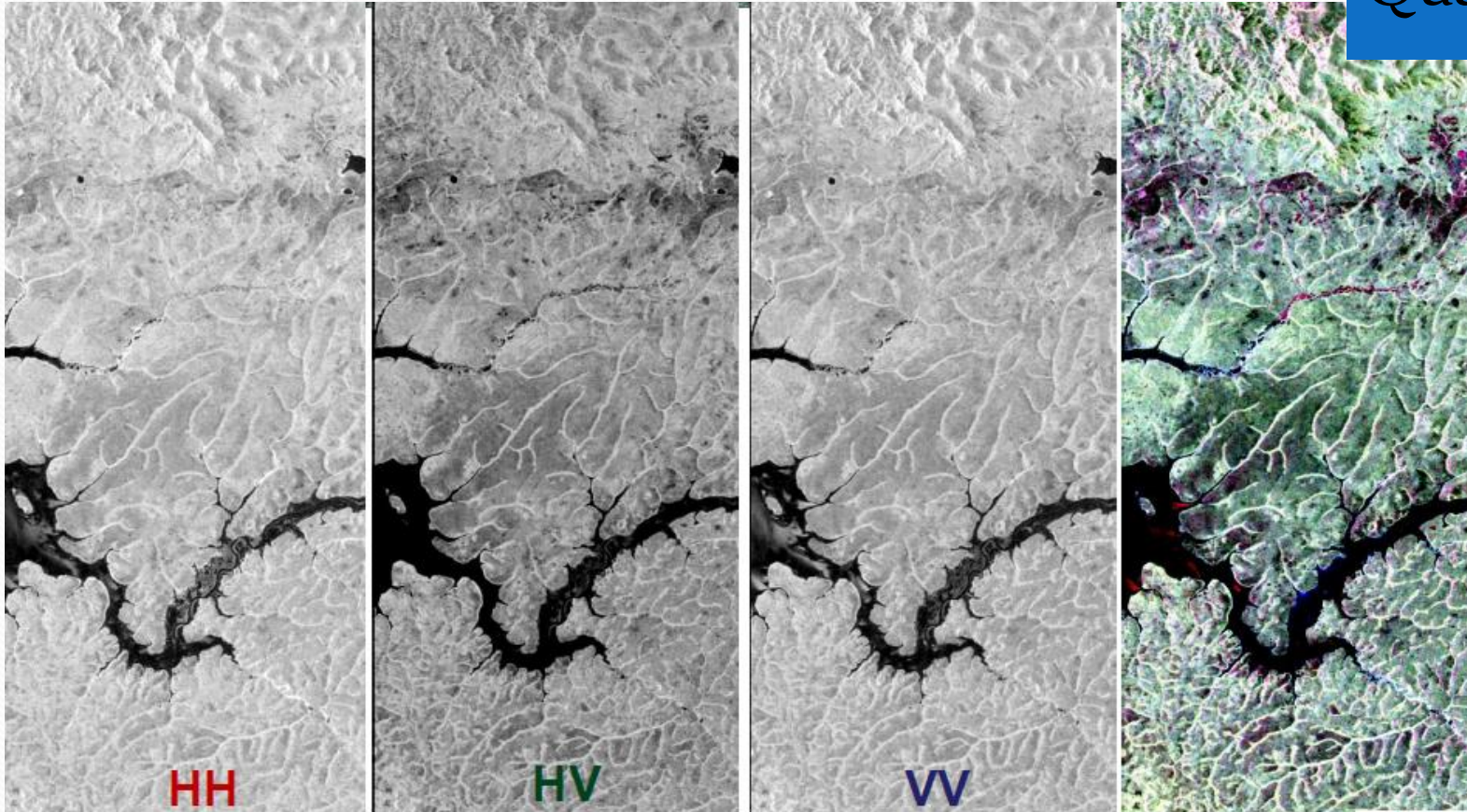


Horizontální lineární polarizace

Vertikální lineární polarizace

Odrazivost pro různé polarizace

Co - pol
Cross - pol
Quad - pol



ALOS-PALSAR , Adamawa region, Cameroon, 11 -12-2009



Pauli composition



© Google Earth



$$|HH+VV|$$
$$T_{11}=2A_0$$

$$|HV|$$
$$T_{33}=B_0-B$$

$$|HH-VV|$$
$$T_{22}=B_0+B$$

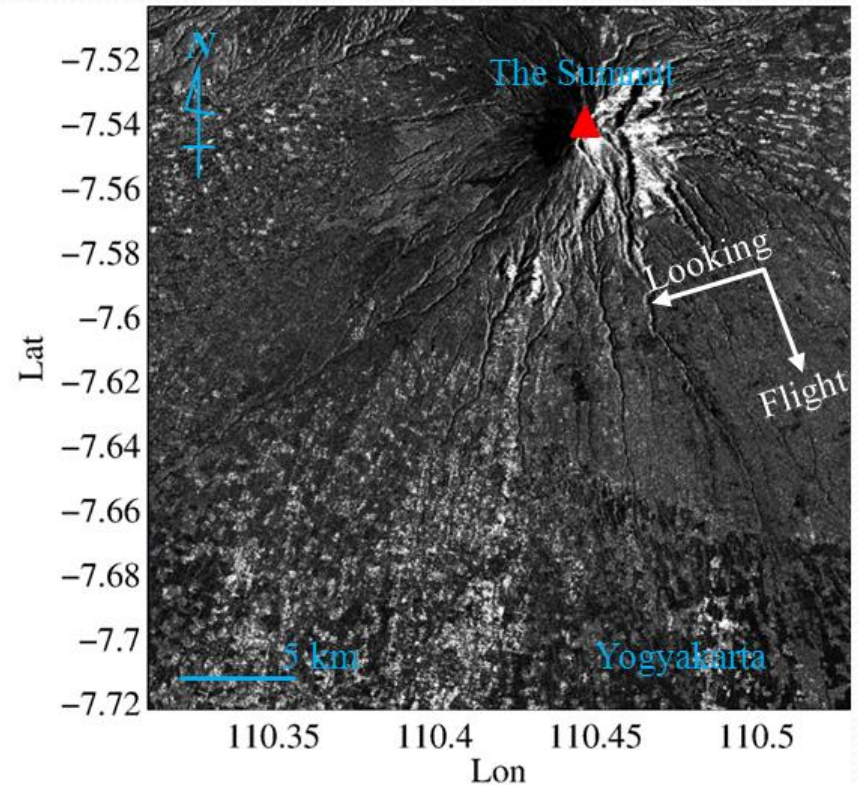
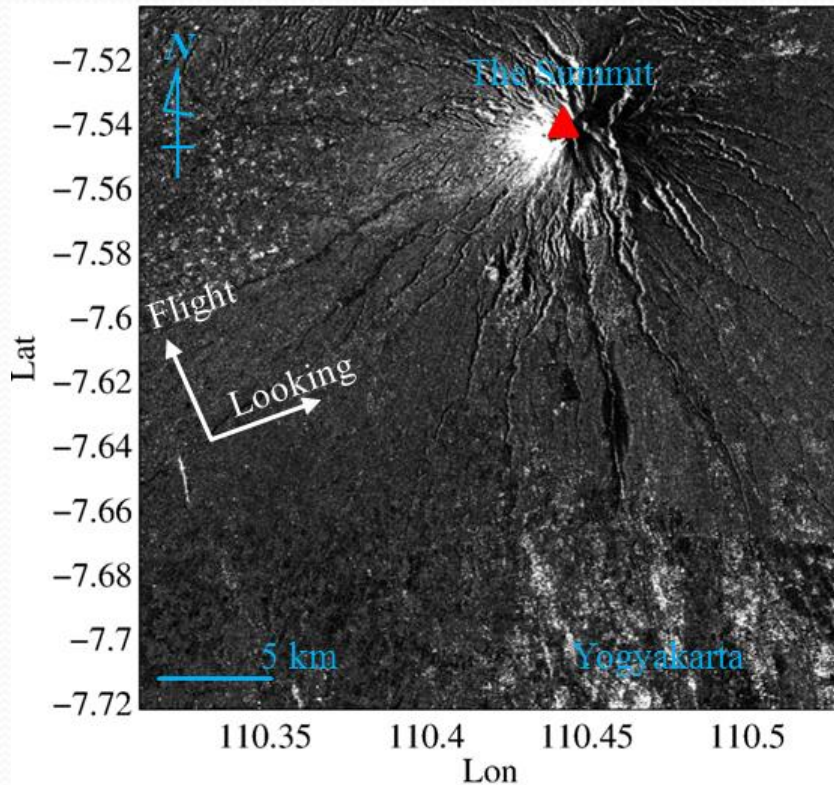
R: double bounce, G: volume scattering, B: single bounce

Dráha letu

- Výstupná a sestupná dráha družice (ascending vs. descending)
- Vliv na úhel dopadu vzhledem ke světovým stranám
- „nespolehlivější“ data jsou na mírných odvrácených svazích vzhledem k letu družice
- Většina družic „vidí“ doprava, jen některé doleva (i oba směry)

Ascending pass

Descending pass



Backscattering intensity images of ALOS PALSAR in Ascending (A) and Descending (B) orbits show the surface characteristics of Mt. Merapi in different looking direction.

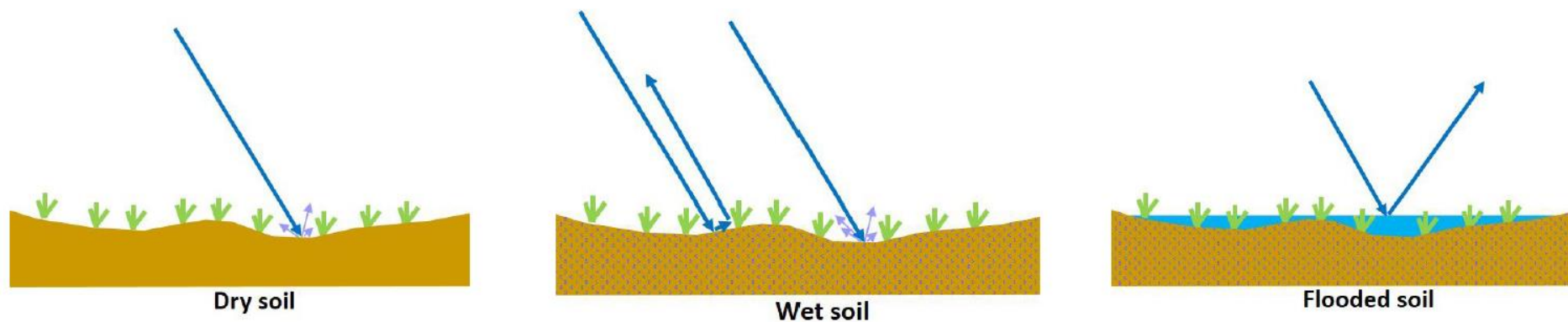
<http://asepsaepuloh.com/?p=452>

Elektrické vlastnosti objektů



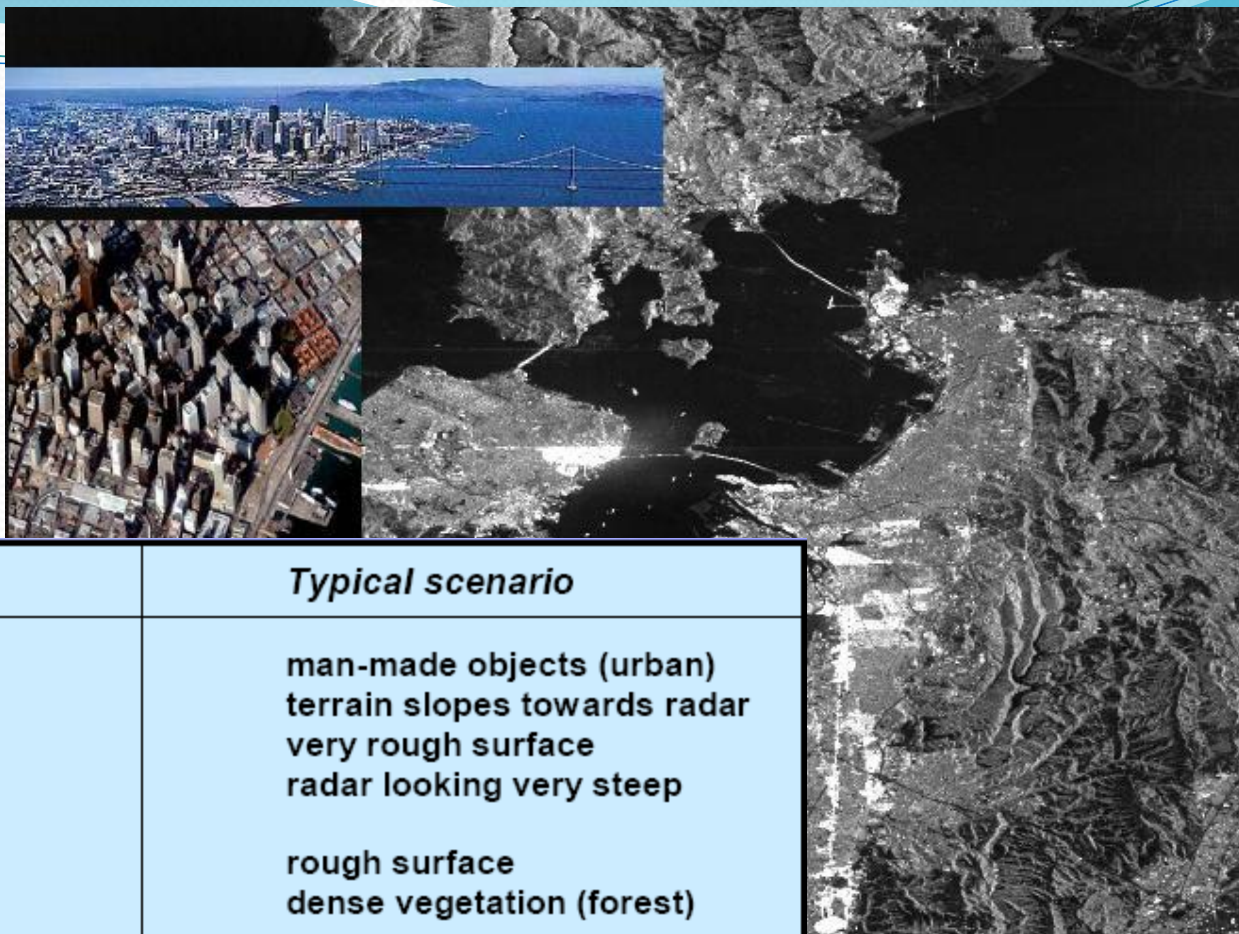
- Vysoké hodnoty dielektrické konstanty způsobují vysoké hodnoty zaznamenaného odraženého signálu (kovové konstrukce)
- Povrchy s vysokým vodním obsahem vykazují zvýšenou vodivost
- Přítomnost vody v půdě nebo ve vegetaci zvyšuje odraz radarového signálu.
- Dielektrická konstanta většiny přirozených povrchů v suchém stavu je 3-8, vody je 80 !!!

Vliv obsahu vody a výšky hladiny na intenzitu a směr odraženého signálu



Inundation effects on radar backscatter for wet meadows (after [Bourgeau-Chavez et al., 2009](https://doi.org/10.1016/j.jwaia.2009.05.001))
<https://eo-college.org/topic/introduction-to-water-bodies/>

Typické hodnoty odrazivosti povrchu



Hansen, 2008

Helwich, 2008

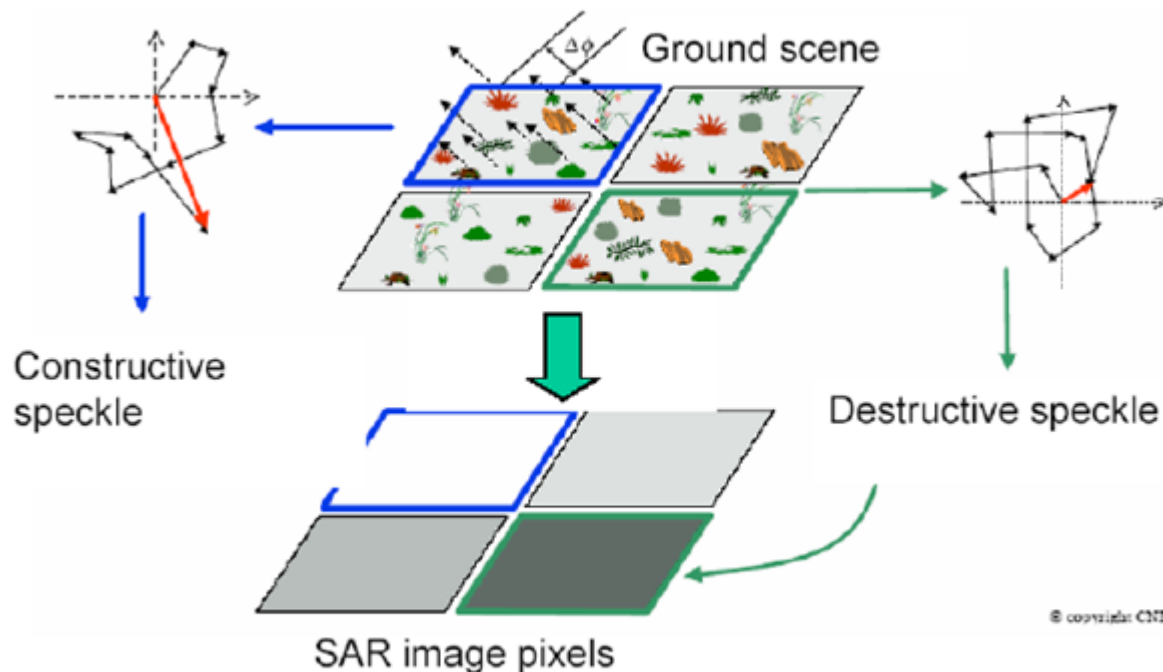
<i>Levels of radar backscatter</i>	<i>Typical scenario</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Very high backscatter (above -5 dB) 	<ul style="list-style-type: none"> man-made objects (urban) terrain slopes towards radar very rough surface radar looking very steep
<ul style="list-style-type: none"> • High backscatter (-10 dB to 0 dB) 	<ul style="list-style-type: none"> rough surface dense vegetation (forest)
<ul style="list-style-type: none"> • Moderate backscatter (-20 to -10 dB) 	<ul style="list-style-type: none"> medium level of vegetation agricultural crops moderately rough surfaces
<ul style="list-style-type: none"> • Low backscatter (below -20 dB) 	<ul style="list-style-type: none"> smooth surface calm water, road very dry terrain (sand)

Textura radarových snímků

„Speckle“ výrazná zrnitá textura - textura "soli a pepře". Vzniká z náhodné interference záření.

Podrobnosti viz prezentace ze cvičení

The physical origin of speckle



Resolution cells are made up of many scatterers with different phases, leading to interference and the noise-like effect known as **speckle**.

Zpracování radarových snímků – přehled (1)

Posloupnost etap zpracování závisí na:

- úrovni zpracování vstupních dat (SLC, GRD, RAW)
- zvolené technice, metodě
- požadovaný výstup

Nutno **rozlišovat** dílčí **etapy** od komplexních **metod a technik**

- radiometrické korekce a potlačení šumu
- geometrické korekce (!někdy až nakonec), geokódování
- zvýrazňování snímků a zpracování textury
- vizuální analogová interpretace
- klasifikace snímků, integrace s optickými daty

Zpracování radarových snímků – přehled (2)

- Koregistrace (etapa)
 - nutná pro jakoukoliv metodu využívající více snímků z různých časových období
- Detekce změn (change detection)
- Interferometrie (InSAR, resp. DInSAR)
 - vlastní řetězec etap zpracování (viz dále)
 - pokročilé metody: PSI, SBAS
- Offset tracking
- Radarová tomografie (TomoSAR)
-
- Každá družice má svá specifika a tedy i specifika zpracování (např. formát TOPS u Sentinelu-1, tzv. deskewing dat ALOS apod.)

Formáty radarových dat

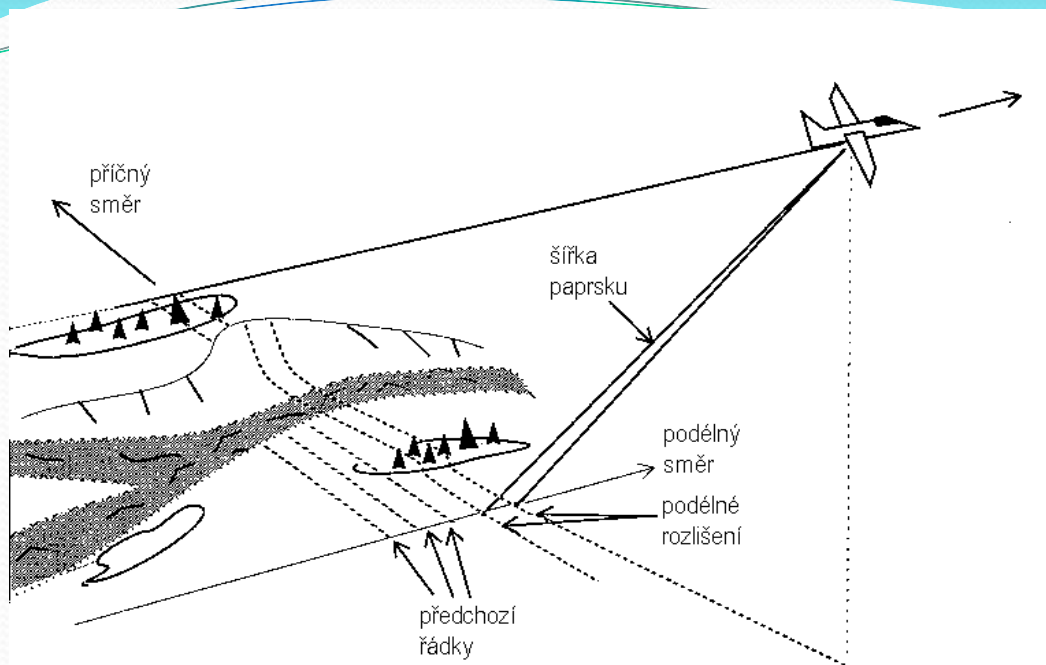
- Level 0 – RAW - nezpracovaná (unfocused, compressed)
- Level 1.1 - SLC – „single look complex“
 - products consist of **focused** SAR data geo-referenced using orbit and attitude data from the satellite and provided **in zero-Doppler slant-range geometry**. The products include a single look in each dimension using the full transmit signal bandwidth and consist of complex samples **preserving the phase information**.
- Level 1.5 – GRD – „ground range detected“
 - consist of focused SAR data that has been **detected, multi-looked** and projected to **ground range** using an Earth ellipsoid model. **Phase** information is **lost**. The resulting product has approximately square spatial resolution pixels and square pixel spacing with reduced speckle at the cost of worse spatial resolution.

<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/data-products>

Radiometrické korekce a potlačení šumu

- **multilooking** - průměrování několika tzv. pohledů (looks) – tj. obrazů stejného objektu pořízeného různými radarovými signály.
- speciální druhy **nízkofrekvenční** filtrace
- **adaptivní filtry** – definují lokální míry heterogenity s cílem potlačit vysokofrekvenční šum při zachování radiometrické a texturální informace ve snímku
- definování **texturey** (např. pomocí GLCM matice)

Potlačení šumu – multilooking

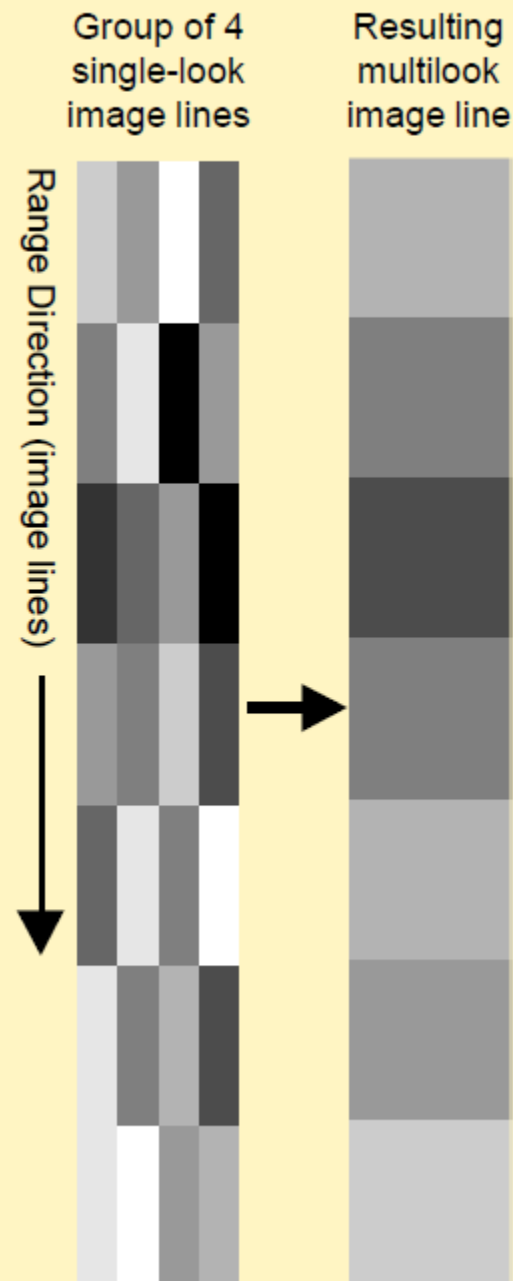


Radarový snímek má odlišné rozlišení ve směru příčném (range direction) a podélném (azimut direction). Podélné je dáno šířkou paprsku, příčné dáno délkou pulzu a závisí na úhlu dopadu.

Principem „multilooking“ je průměrování hodnot sousedních (3-4 řádků) v podélném směru.

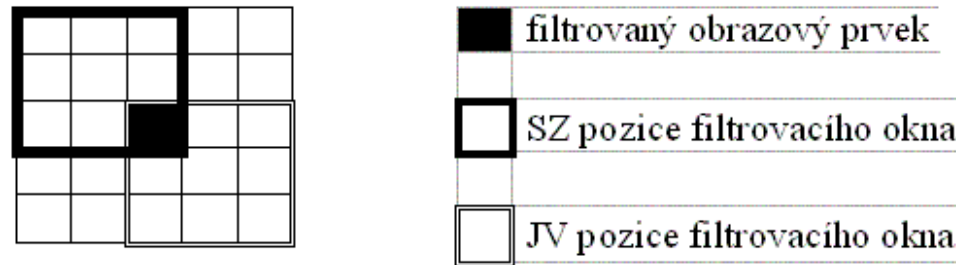
Tato operace je většinou prováděna standardně již při vytváření snímků.

Multi-look Processing



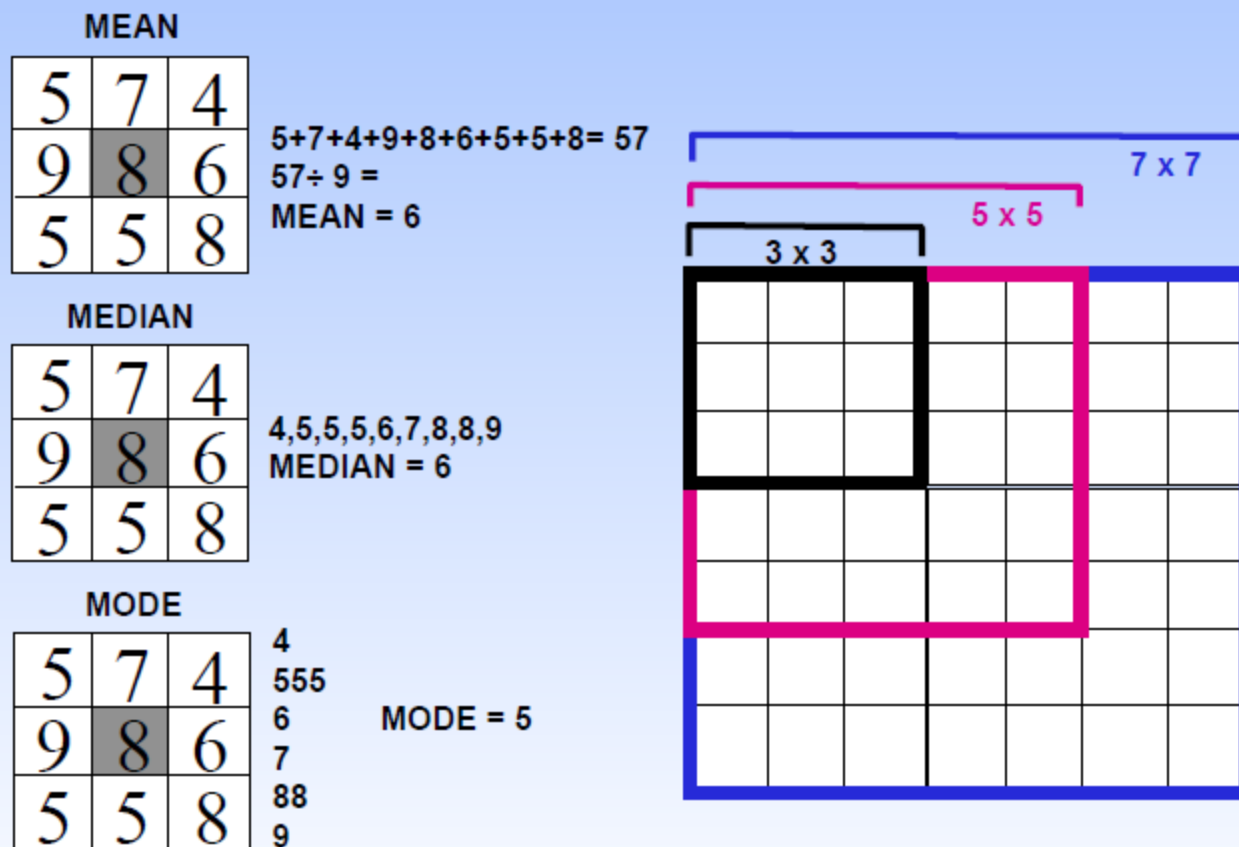
Potlačení šumu – filtrace

- **neadaptivní filtry** („globální“, používají statistiku celého snímku, nepracují s lokálními specifiky, které jsou dány např. terénem, vlhkostními poměry atp.):
průměrový, mediánový filtr
- **adaptivní filtry** („lokální“): Frost, Lee, Map Gamma, local mean and local median filters



Princip „rotujícího“ okna

Figure 5.5 - Filtering Kernel



Source: CCRS

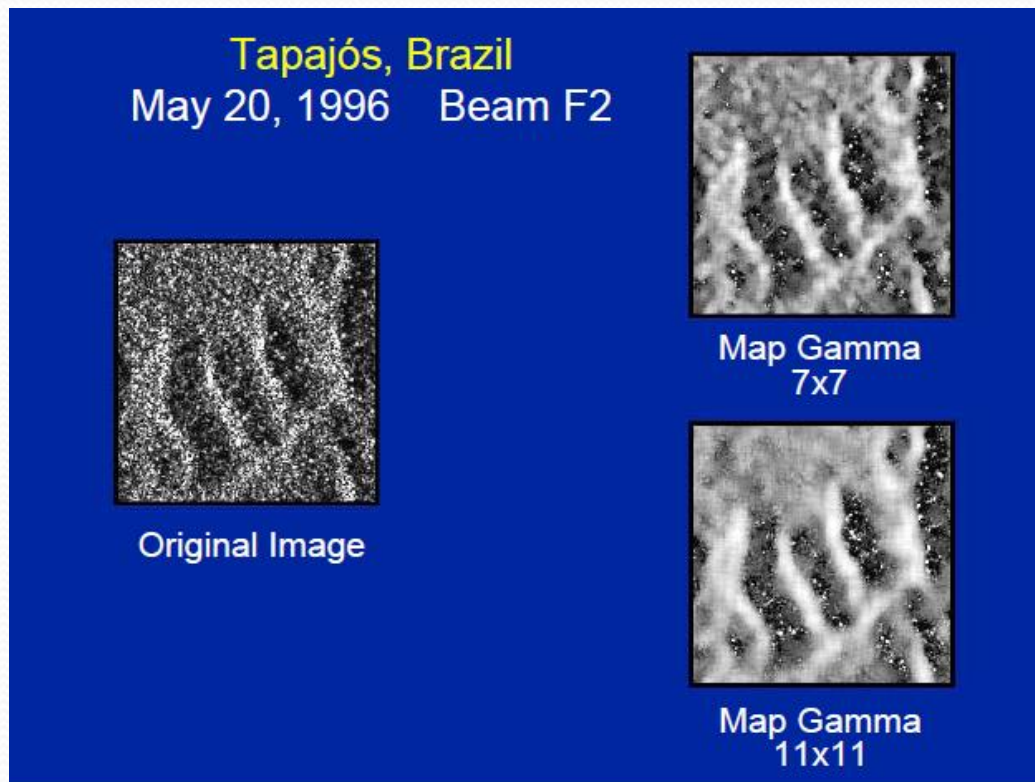
Canada Centre for Remote Sensing, Natural Resources Canada



Potlačení šumu – filtrace

Adaptivní filtry:

Princip: potlačit šum v homogenních plochách snímku a zachovat variabilitu DN hodnot na hranách



Gamma filtr (dále např. Frost filter, Lee filter)

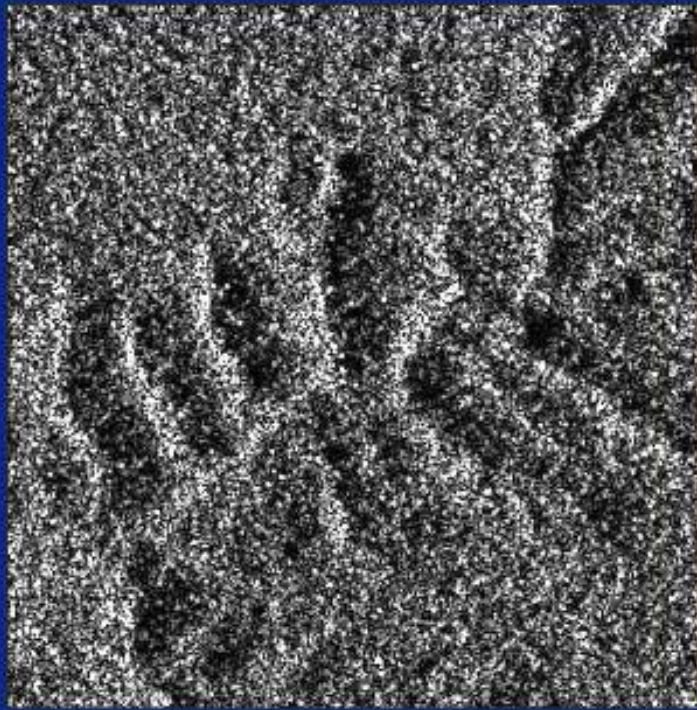
Detekce hran – vysokofrekvenční filtrace

- Slouží k segmentaci snímků, ke klasifikaci
- „Klasické“ vysokofrekvenční filtry mají omezené použití, je nutné nejdříve potlačit šum (nízkofrekvenční filtrace)
- Díky značnému podílu šumu generují vysokofrekvenční filtry „nepravé“ (false) hrany
- **Ratio edge detector** – oproti běžně používaným adaptivním filtrům předpokládá tzv. nestacionaritu (tj. variabilita hodnot na snímku není všude stejná, ale mění se)

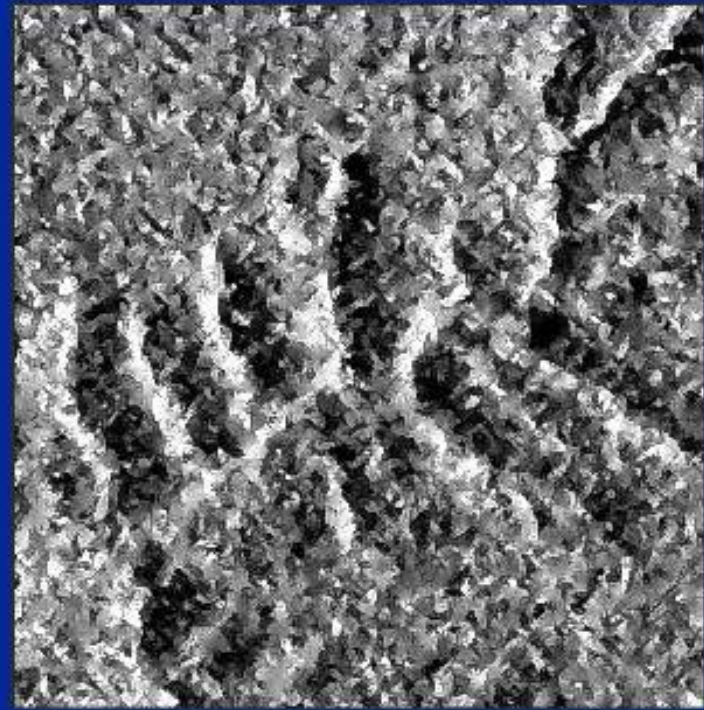
Detekce hran – vysokofrekvenční filtrace

Tapajós, Brazil

May 20, 1996 Beam F2



Original Image



Touzi filter

Textura na radarových snímcích

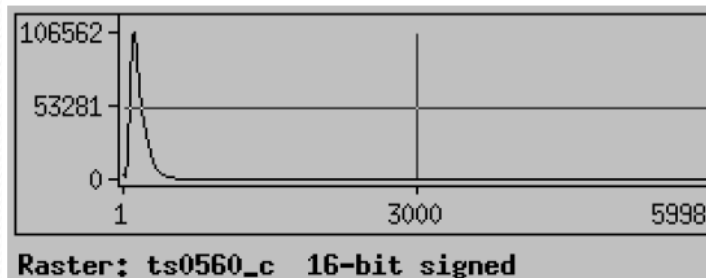
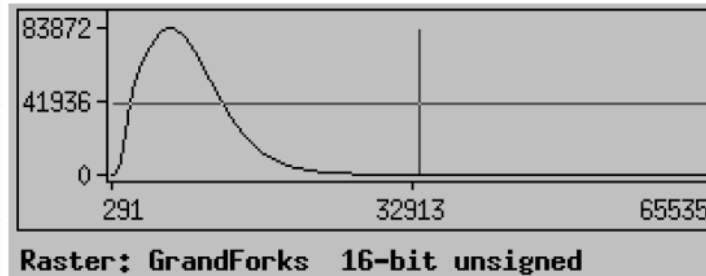
Textura jako plošná tónová proměnlivost má na radarových snímcích dvě komponenty:

- a) prostorovou variabilitu tónů danou radarovým echem každého objektu
- b) šum (speckle)

Metody k definování textury na radarových snímcích:

- **Co-occurrence matrix (GLCM)**
- Grey level difference vector (GLDV)
- Neighbouring grey level dependence matrix (NGLDM)
- Spatial correlation function

Histogram radarových snímků



Geometrické či elektrické vlastnosti povrchů mohou způsobovat extrémně silné radarové echo; histogram radarových snímků má výrazně asymetrický tvar.

Asymetrický tvar histogramu vyžaduje nelineární zvýraznění



Exponential Contrast Enhancement

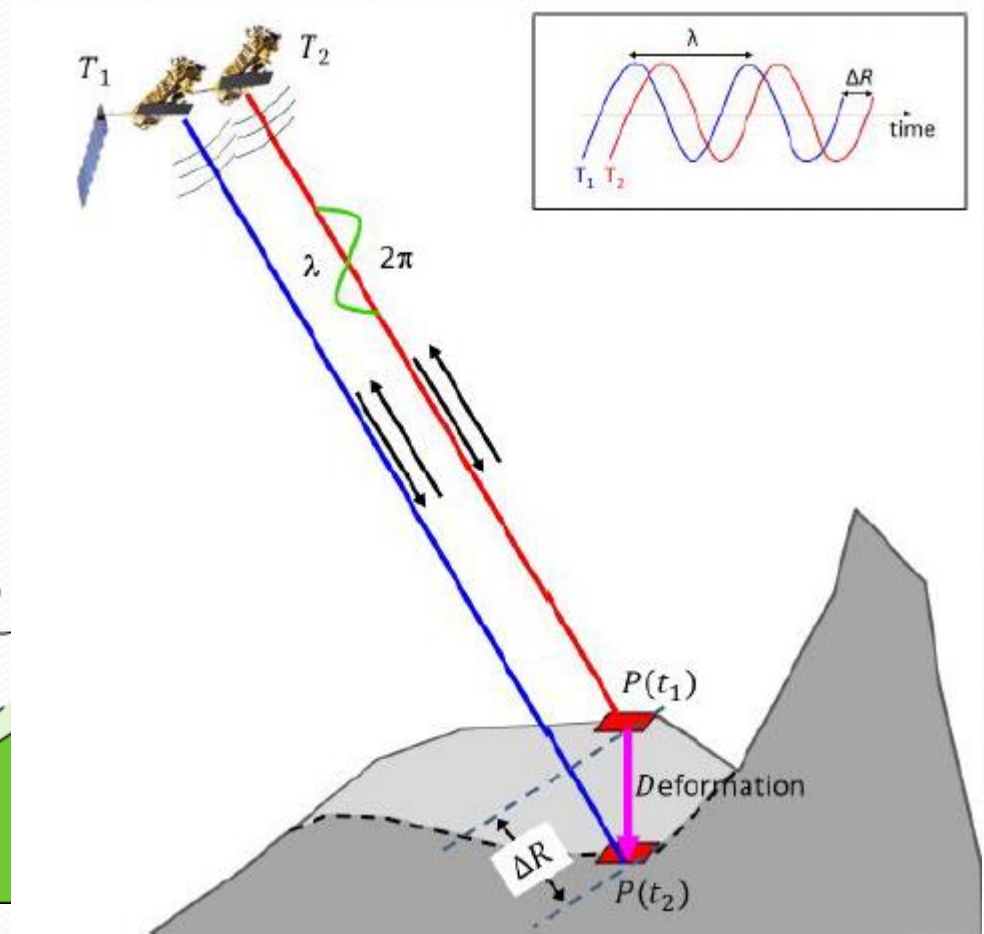
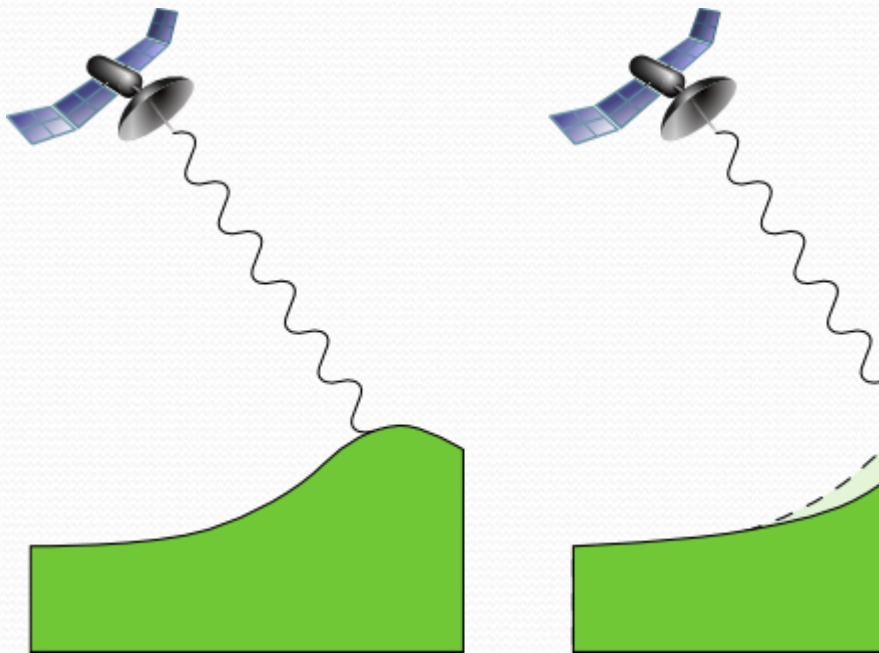


Auto-Normalize Contrast Enhancement



Auto-Equalize Contrast Enhancement

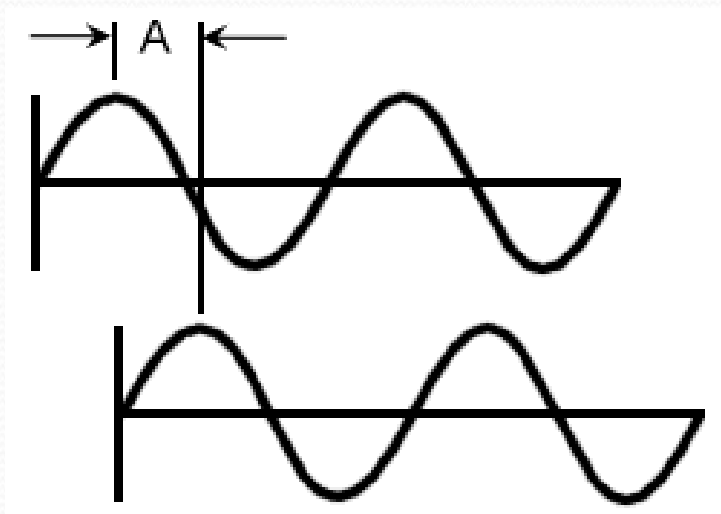
Radarová interferometrie (InSAR)



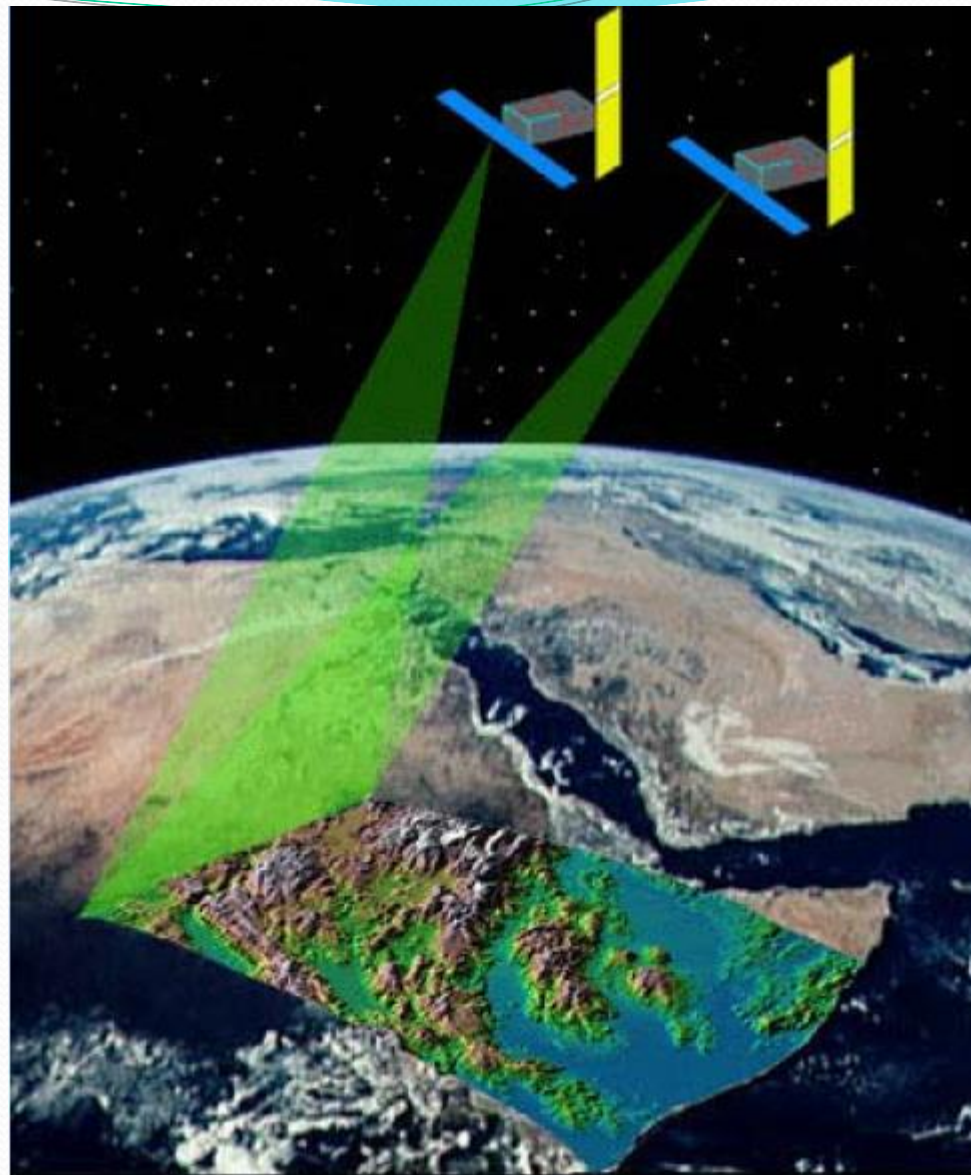
InSAR

Extrahování topografické informace nebo vertikálního posunu reliéfu

INTERFEROMETRIE



Nositelem informace o výšce je **rozdíl ve fázi** dvou radarových signálů



Drawing courtesy of Prof. Howard Zebker, Stanford University

Podmínky vstupních dat pro InSAR

- 2 snímky pořízené z téměř stejné pozice družice, většinou s časovým rozdílem (x tandem mise)
- stejná dráha letu (asc. vs. desc.)
- stejná orbita
- stejná polarizace
- kolmá vzdálenost mezi orbitami (tzv. perpendicular baseline) nesmí přesáhnout kritickou mez, jinak je informace z rozdílu fází již jen šum

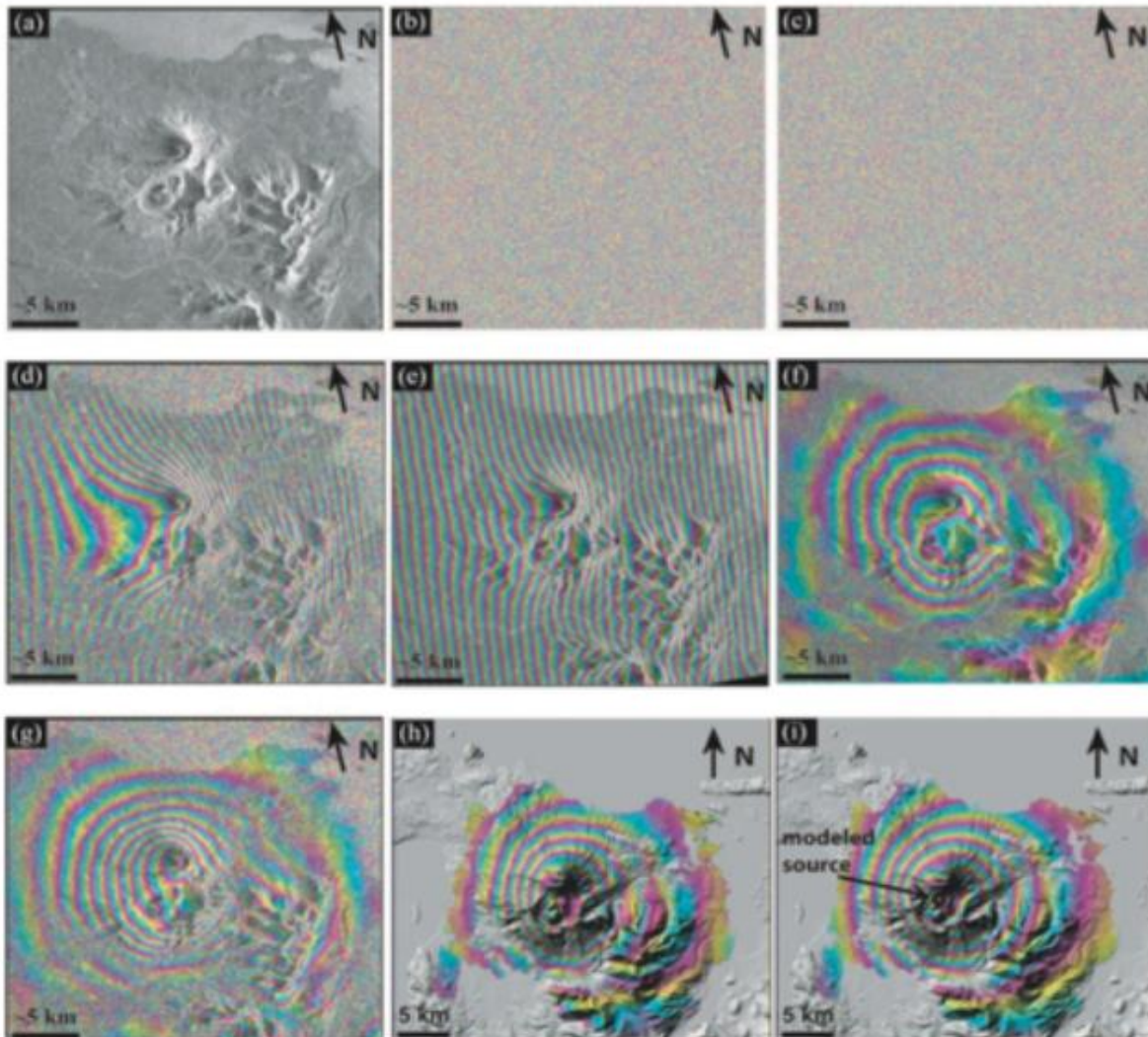
Omezení techniky InSAR

- rozdíl fáze se neskládá jen z informace o topografii a případném vertikálním posunu, ale vstupují zde další faktory → vliv atmosféry a šum, také zakřivení Země
- výsledkem je posun v tzv. line of sight (LOS)
- aby bylo možné získat relevantní výsledky, pár dat se musí vyznačovat vysokou **koherencí** (volně řečeno kvalita interferometrické fáze), jinak dochází k dekorelaci
 - časová
 - geometrická ...
 - vysokou koherencí se vyznačují stabilní odražeče, jako jsou např. zastavěné plochy, holé skály apod.
 - nízká až nulová koherence je typická pro vegetaci

Příklad postupu zpracování InSAR dat S-1

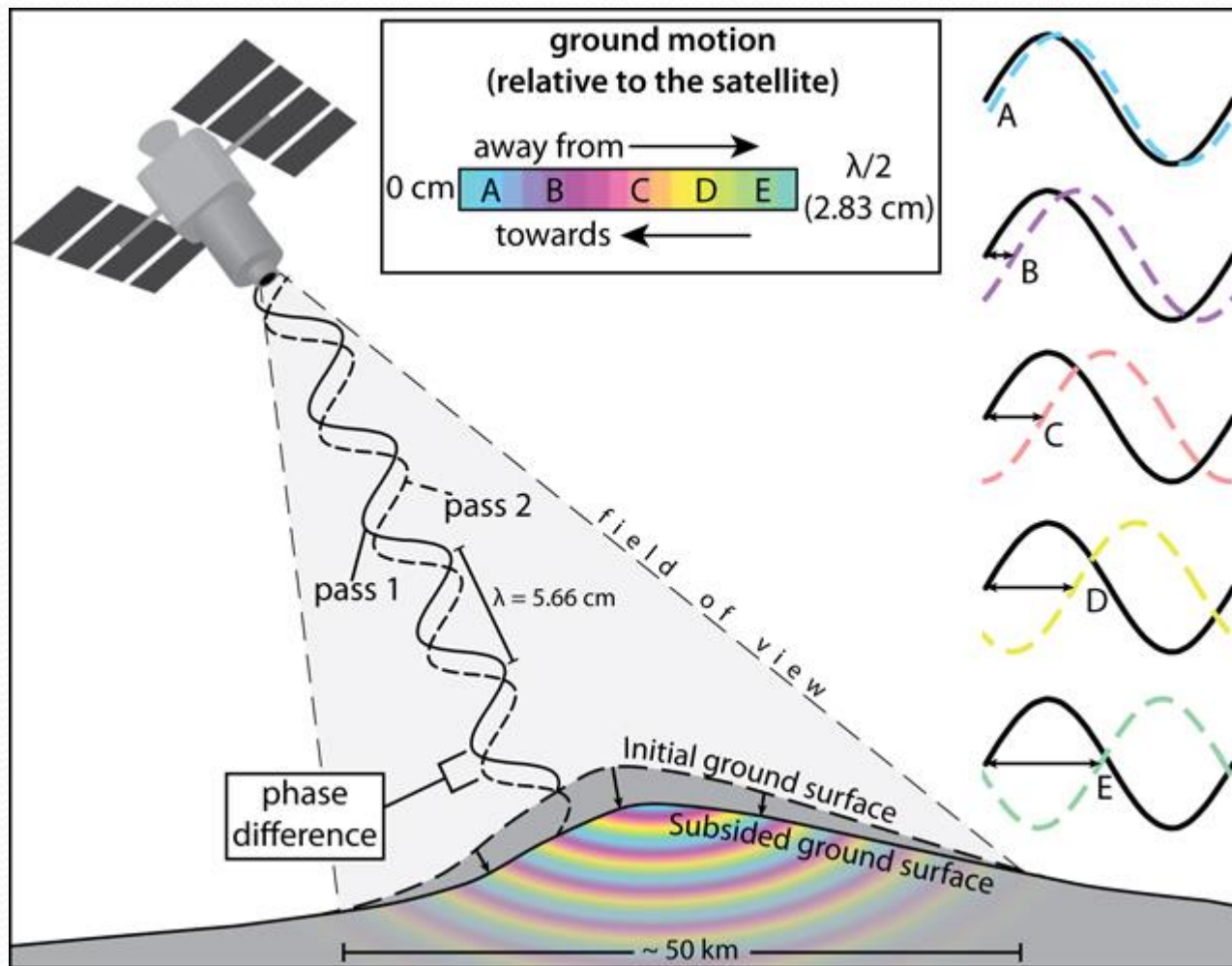
- Koregistrace
- Tvorba interferogramu, flattening
- Deburst
- Merge
- Odstranění fáze způsobené topografií
- Filtrace
- Multilooking
- Interferogram unwrapping
- Výpočet vertikálního posunu, převedení relativního na absolutní
- Geocoding (terrain correction)

Major steps to form interferogram



- A) Common Amplitude
- B) Phase 1
- C) Phase 2
- D) Delta Phase
- E) Simulated topography
- F) Topo-removed
- G) Curvature removed (“flattened interferogram”)
- H) Geocoded Result
- I) Modeling Result

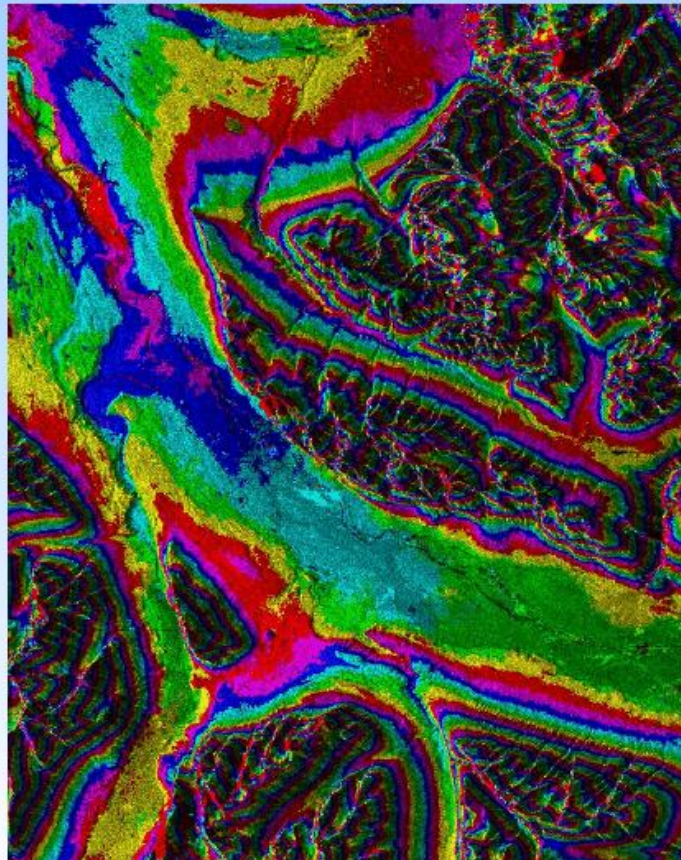
(Lu 2007)



<https://volcano.si.edu/showreport.cfm?doi=10.5479/si.GVP.BGVN201205-332020>

Topography from Interferogram

Chitina River Valley, S.E. Alaska



Relative height (m)



- $B_{\perp} = 40 \text{ m}$
- Flat-earth fringes were removed.
- Phase is still wrapped.
- Each revolution of the colour wheel represents an increase of 200 m in altitude.

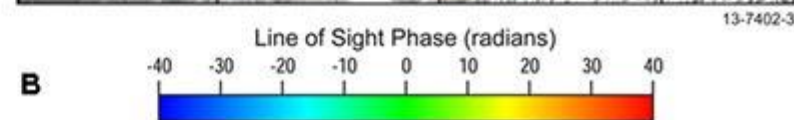
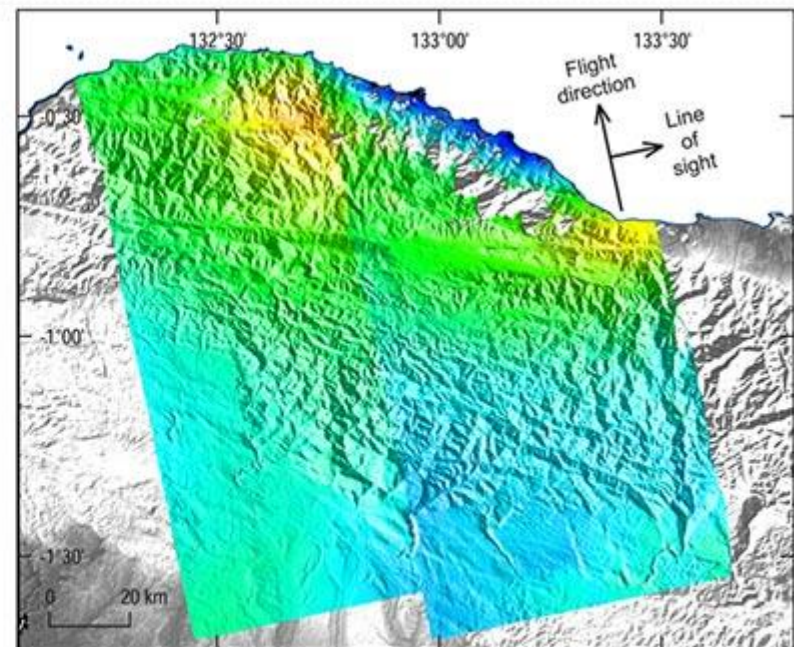
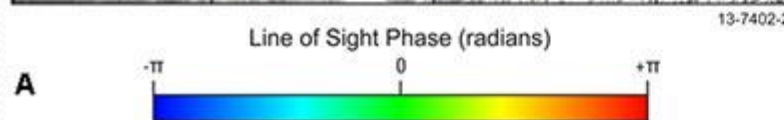
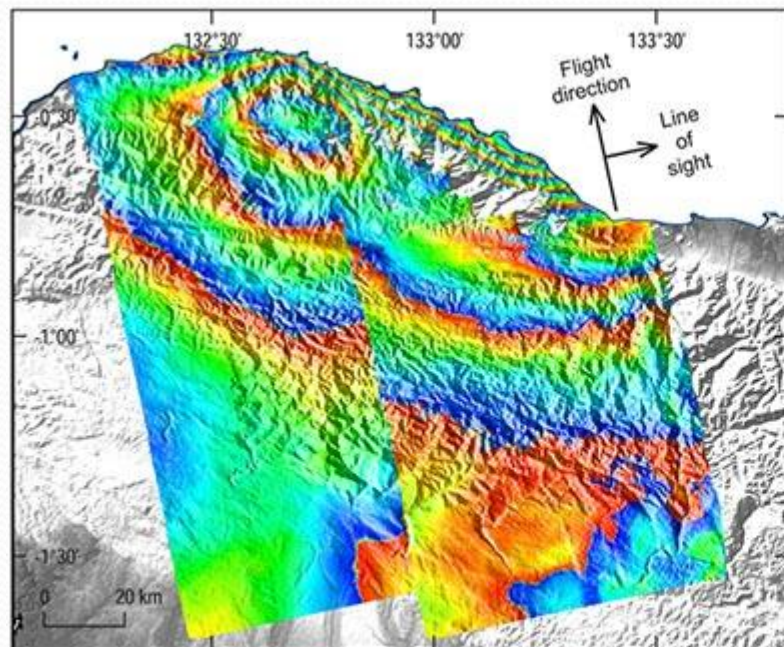
ERS images acquired Feb. 1994
Courtesy of Dennis Fatland,
Alaska SAR Facility

Canada Centre for Remote Sensing, Natural Resources Canada



InSAR – unwrapping (rozbalení fáze)

- Wrapped vs. unwrapped interferogram



<http://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/geodetic-techniques/interferometric-synthetic-aperture-radar>

Pokročilé metody InSAR

- Interferometrie se využívá rovněž **pro generování DEMu**
 - (SRTM mise, DEM z dat TSX/TDX)
 - Sentinel-1 nedává příliš dobré výsledky
- multitemporální metody, též A-DInSAR (A=advanced)
- využívají sadu mnoha radarových snímků v časové řadě pro odstranění vlivu atmosféry
- min. 20 snímků, ale běžně několik desítek
- PSI – permanent scatterers interferometry
- SBAS – small baseline subset

Vizuální interpretace radarových snímků

Hlavní interpretační znaky:

- **textura**
- **tón**
- **tvar**
- **velikost**

Vzhled povrchů (objektů) na radarových snímcích budou ovlivňovat dvě skupiny parametrů:

- **vnitřní (frekvence, polarizace, úhel dopadu, azimut)**
- **vnější (drsnost, vodní obsah, topografie, vodivost)**

Klasifikace vyžaduje více snímků v příznakovém prostoru.

Ty lze získat např.:

- **jako sérii snímků z různých časových horizontů**
- **transformací (výpočtem měř textury)**
- **polarimetrií**

Integrace radarových snímků s jinými obrazovými daty

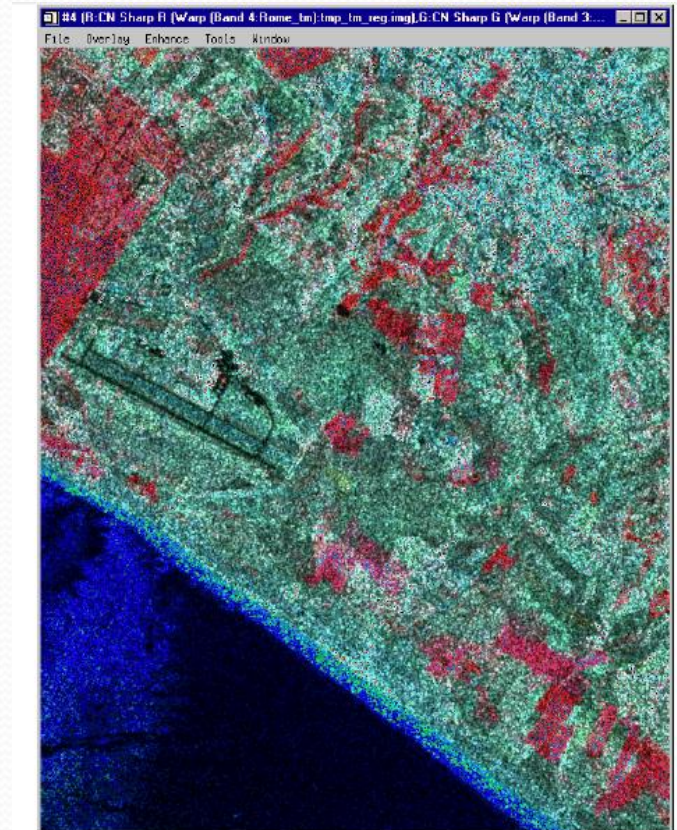
- transformace barevného systému RGB a IHS



Figure 12-1: Landsat TM False-color Infrared Composite (bands 4, 3, 2 as RGB), left. ERS-2 SAR Data, right

- registrace snímků
- transformace IHS
- nahrazení složky intesity
radarovým snímkem

III. Zpracování radarových snímků – vizuální interpretace



Fused Landsat CIR Image with ERS-2 Data to Improved Texture

Interpretace obrazu z radaru

používá se pro mapování využívající detekci

1. drsnosti

- geologických jednotek starého podkladu a nových materiálů
- geologických struktur
- druhů vegetace
- určení druhů mořského ledu
- vodních ploch zvláště při katastrofách - povodně, ropné skvrny

2. vlhkosti

- půdní vlhkosti

Různé typy odrazivosti

- **rostliny** - většinou mají hodně vlhkosti - velká odrazivost
- **kovové předměty** - velký odraz - světlá místa - jasně rozpoznatelné kovové mosty, železnice i na snímcích s horší rozlišovací schopností
- **půda** - suchá má 10 x menší odrazivost než vlhká
odrazivost je ze zóny o hloubce několika cm, čím větší vlnová délka, tím větší hloubka půdy, z níž dochází k odrazu
(extrémně suché půdy pro $\lambda = 23.5$ cm odraz z hloubky až několik metrů)
- **půda a vegetace** - je-li vlnová délka blízká rozměrům částí rostlin, které odrážejí - velký odraz z vrstvy rostlin, je-li hustá

• **pro zkoumání listů** vegetace $\lambda = 2$ cm i 6 cm - tehdy je minimální odraz půdy

• **pro zkoumání kmenů, velkých větví** $\lambda = 10 - 30$ cm

• **voda s hladkým povrchem** - zrcadlový odražeč - nic se neodráží do antény

• **voda s drsným povrchem** signál s různou silou

SEASAT radarový systém - L pásmo $\lambda = 23.5$ cm s *úhlem pohledu $20^\circ - 26^\circ$ lze detekovat vlny s různou vlnovou délkou, jestliže výška vlny na povrchu vodní hladiny je > 1 metr*

lépe to lze pro vlny pohybující se ve směru kolmém na směr letu

mořský led - závisí na dielektrických vlastnostech a prostorovém uspořádání ledu

X-pásmový radar - $\lambda = 3.2$ cm - druhy ledu, tloušťka ledu

L-pásmový radar - $\lambda = 23.5$ cm - celkový rozsah ledu

difúzní plochy odrážejí poměrně slabý signál - mohou ukazovat texturu

zrcadlové plochy velmi nízký odraz - vodní plochy

stíny - žádný odraz

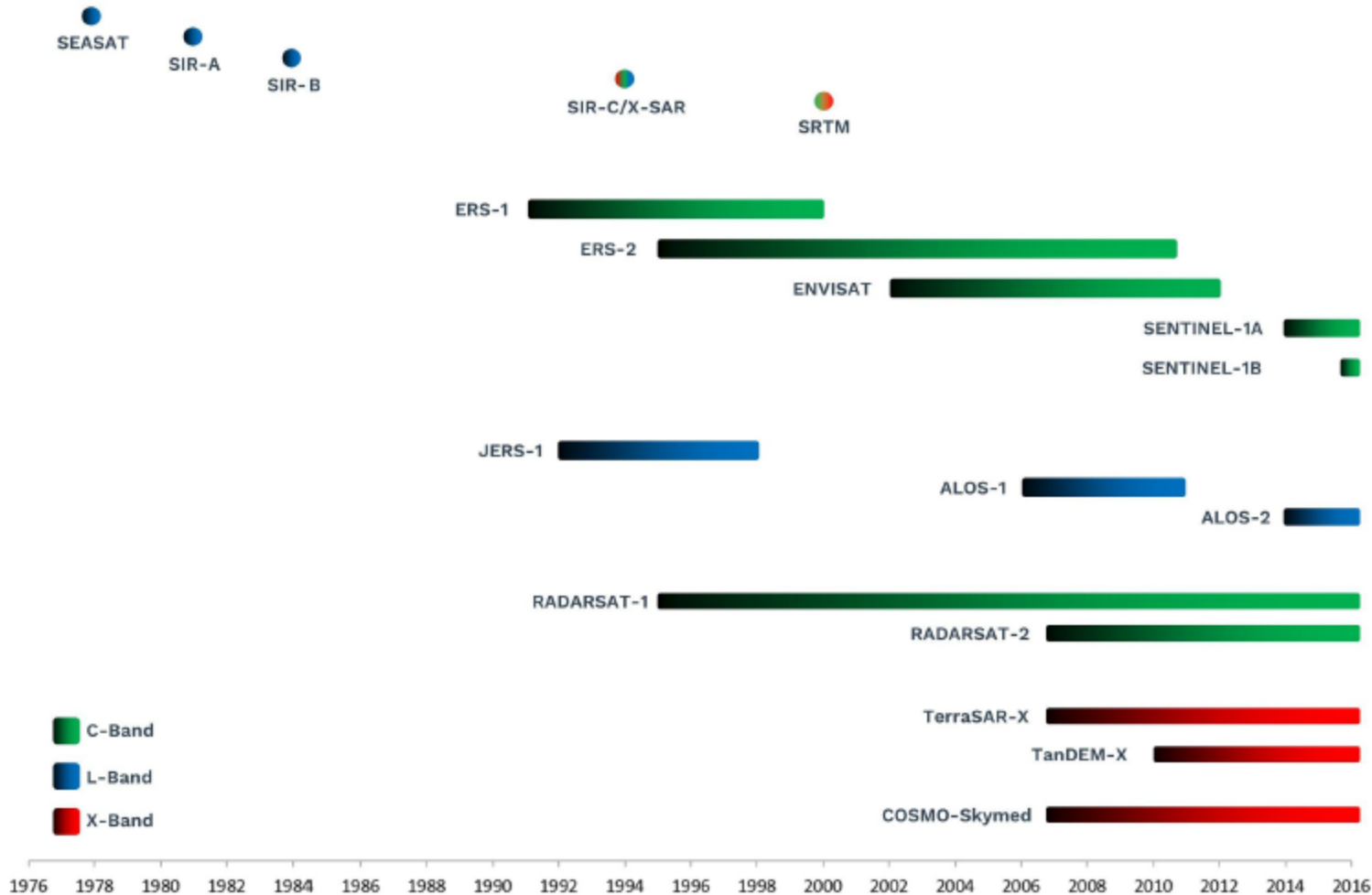
Přehled družicových radarových senzorů

Satellite mission	Wave-length (cm)	Life status	Resolution az./range (m)	Repeat cycle (days)	Swath width (km)	Max. vel. (cm/yr)	Incident Angle(°)
C-band							
ERS-1/2	5.6	1992–2001	≈6/24	35	100	14.6	23
ENVISAT	5.6	2003–2010	≈6/24	35	100	14.6	19–44
RADARSAT-1	5.5	1995–	≈8–30	24	45 (fine) 100 (strip) 200 (scan)	20.4	20–50
RADARSAT-2	5.5	2007–	≈3/3 ≈8/8 ≈26/25	24	10 (spot) 40 (strip) 200 (scan)	20.4	20–50
Sentinel-1	5.6	2014–2024	5–20	6, 12	250	85	30–46
RADARSAT Constellation Mission (3 Sat)	5.5	2018–2026	5–50	3, 12	30–350	163.2	20–55

Satellite mission	Wave-length (cm)	Life status	Resolution az./range (m)	Repeat cycle (days)	Swath width (km)	Max. vel. (cm/yr)	Incident Angle(°)
L-band							
J-ERS	23.5	1992–1998	18	44	75	48.7	35
ALOS PALSAR	23.6	2006–2011	≈5/7–88	46	40–70	46.8	8–60
ALOS PALSAR-2	22.9	2013–2017	1/3 3–10/3–10 100/100	14	25 (spot) 50–70 (strip) 350 (scan)	149.2	8–70
SAOCOM (2 Sat)	23.5	2014–2021	10–50	8, 16	20–150	268	20–50
X-band							
COSMO-SkyMED (4 Sat)	3.1	2007–2014	≈2.5/2.5 1.0/1.0	2, 4, 8, 16	10 (spot) 40 (strip) 200 (scan)	17.7 35.4 70.7 141.4	20–60
TerraSAR-X	3.1	2007–2018	≈3.3/2.8 1.0/1.0	11	10 (spot) 30 (strip) 100 (scan)	25.7	20–55
COSMO-SkyMED-2 (2 Sat)	3.1	2015–2023	1–3		10–40		
TerraSAR-X-2	3.1	2015–2018	0.5–4		10–40		

Wasowski et al. (2014): Investigating landslides and unstable slopes with satellite Multi Temporal Interferometry: Current issues and future perspectives. *Eng. Geol.* **2014**, 174,

Radar Satellite Timeline



<https://eo-college.org/topic/overview-of-existing-missions/>

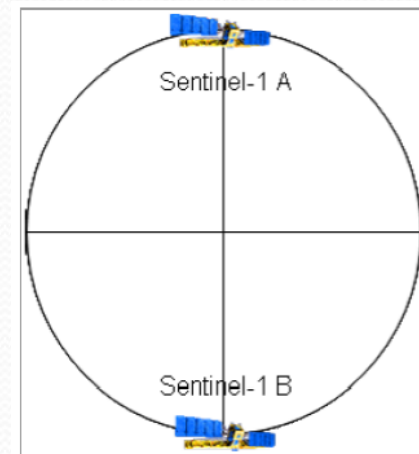
Title: Radar Satellite Timeline
 Author: SAR-EDU
 Source: <https://eo-college.org>
 License: [Attribution-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) (CC BY-SA 4.0)

SENTINEL-1A a SENTINEL-1B

- Sentinel 1A duben 2014
- Sentinel 1B duben 2016
- stejná relativní oběžná dráha - posun o 180°
- dráha blízká polární, slunečně synchronní
- hlavní mód snímání o polarizaci VV a VH
- možnost quad-polarizace
- prostorové rozlišení od 5 do 10 m
- repeat (orbit) cycle 12 dní, dohromady 6 dní

A+B

- denní pokrytí mezi $+45^\circ\text{N}$ a -45°S
- interferometrie
- interval globálního pokrytí max. 14 dní



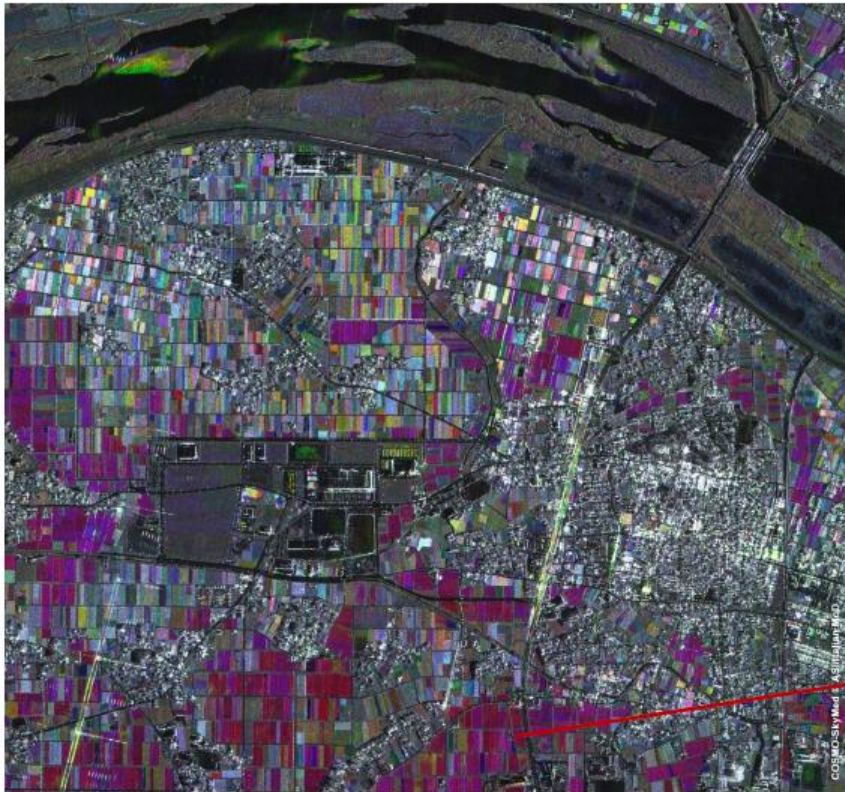
*Konstelace Sentinel-1A a 1B
ESA: Sentinel-1 User Handbook*



Ukázky využití SAR dat

- Land Use/Land Cover – klasifikace vegetačního krytu – zemědělských plodin

Crop observation in Japan using CosmoSkyMed



Kumagaya fields: COSMO-SkyMed © ASI/Italian MoD
Multitemporal image;

Red: 28/07/2008
Green: 26/06/2008
Blue: 25/05/2008

landtraining2011_

Rice: R & B colour
May: ploughed soil
June: water
July: small plant



Studie – Thiel et al. (2009)

klasifikace na základě následujících proměnných:

- minimální / maximální / průměrný zpětný rozptyl každého pixelu ve všech snímcích
- průměrná roční variace (MVA)
intenzity signálu
- největší rozdíly pozorované
pro polarizace HV
- nejobtížnější určit trvalé
travní porosty

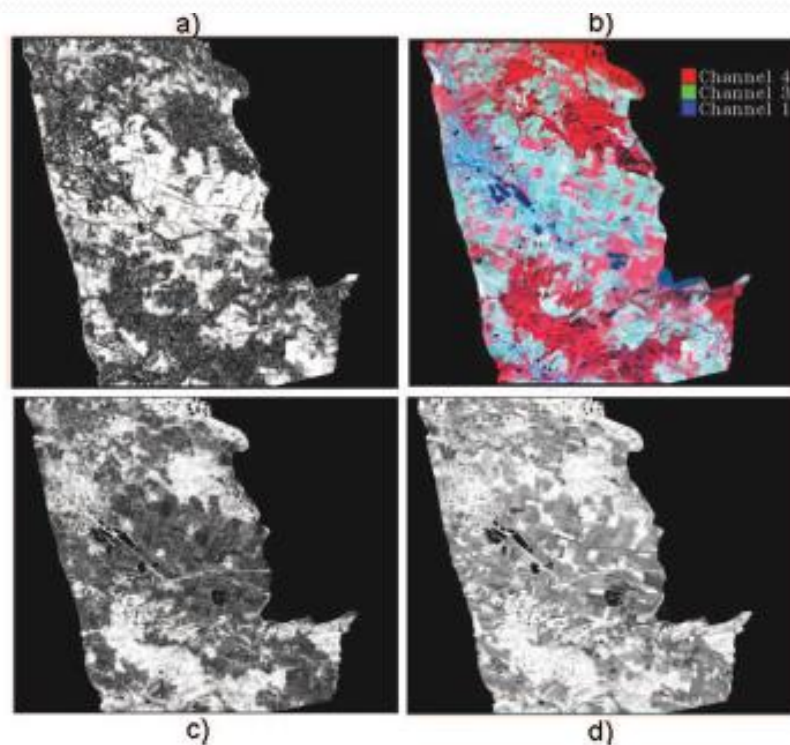


Fig. 2. Multi-temporal metrics of 14 ASAR AP HV polarisation intensity images with a) MVA, c) annual minimum σ^0 , d) annual mean σ^0 , b) Landsat ETM+ image 04.09.1999 R-4, G-3, B-1.

Studie – Thiel et al. (2009)

metody klasifikace: **maximum likelyhood (MLC)**, **decision tree (DT)**
> obě s dobrými výsledky

Tab. 2. Classification accuracy and confusion matrix of MLC using the annual mean backscatter, MVA and texture derived from four VV and HV polarized intensity images

MLC VV & HV (4 acq. Dates)	Water	Grassland	Agriculture	Forest	Settlement	User Accuracy
Water	96.82	4.08	0.37	0.01	1.09	88.66
Grassland	1.50	90.98	1.46	0.28	0	78.12
Agriculture	1.06	4.87	95.03	1.75	16.91	95.85
Forest	0	0.072	2.39	97.76	0.085	98.34
Settlement	0.62	0	0.74	0.19	81.91	83.53
Prod. Accuracy	96.82	90.98	95.03	97.76	81.91	96.13

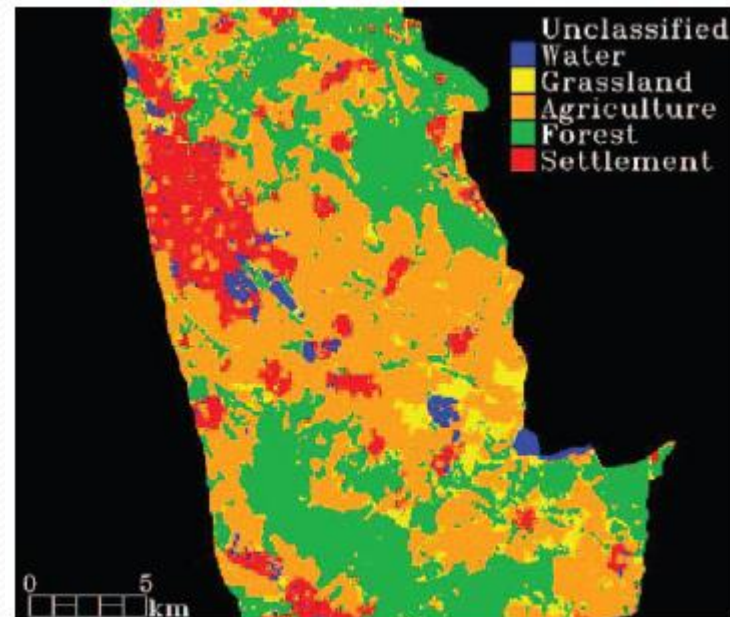


Fig. 4. Result of MLC and accuracy using four VV and HV polarized intensity image pairs.

pro dosažení přesnosti > 85 % je potřeba:

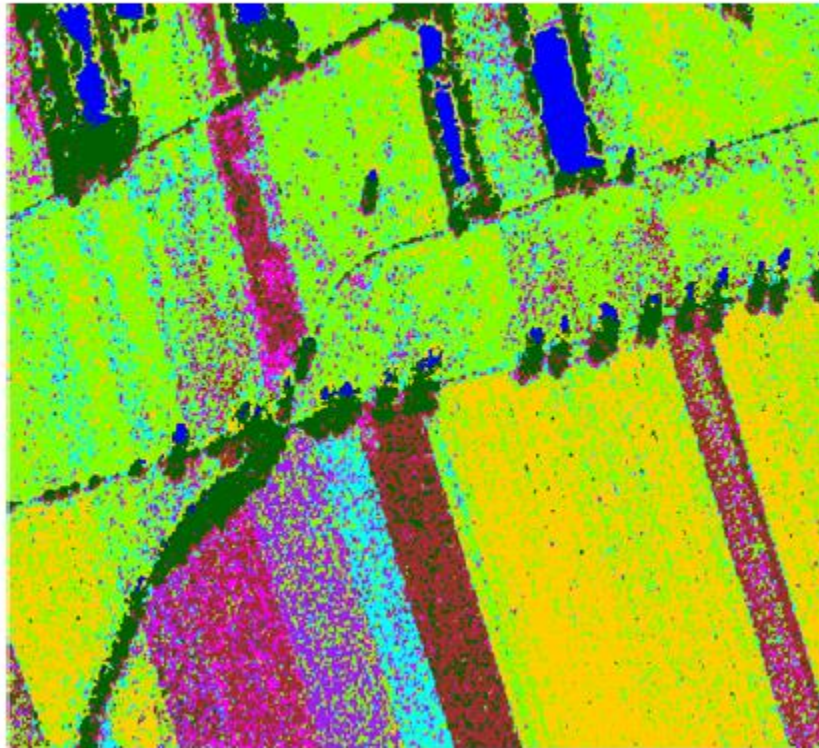
- dvě polarizace (HH/HV nebo VV/VH)
- nejméně 4 data pořízení během vegetační doby

Studie – Schmullius et al. (2013)

- pokud je to možné, je vhodnější klasifikovat objektově s využitím segmentace

→ „Salt-and-Pepper“ Effect of conventional classifiers

- not usable in a GIS

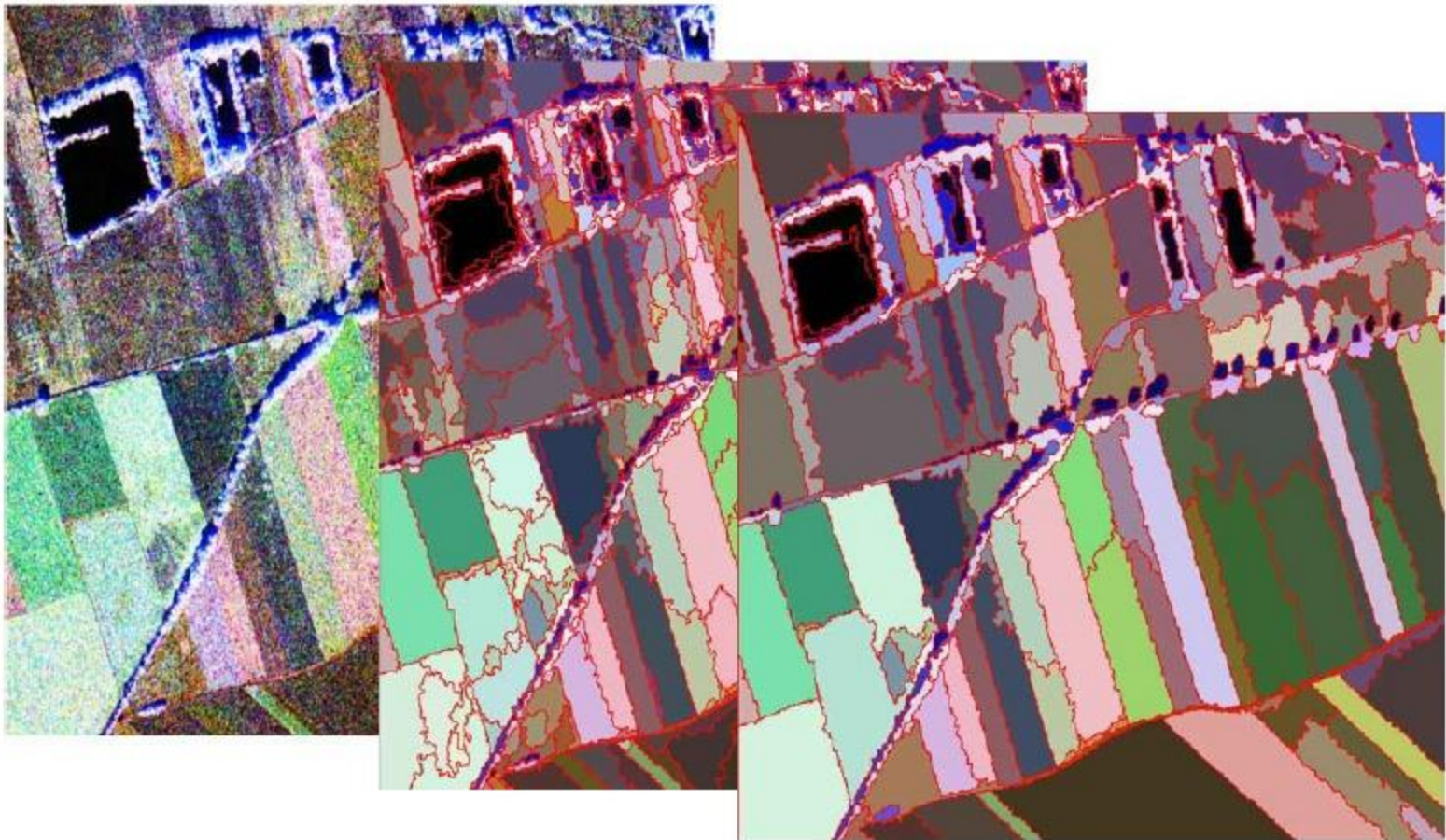


Result of a pixel-based maximum-likelihood classifier

Wasser	
Bäume	
Grünland	
Kartoffel	
Sommergerste	
Mais	
Hafer	
Zuckererbsen	

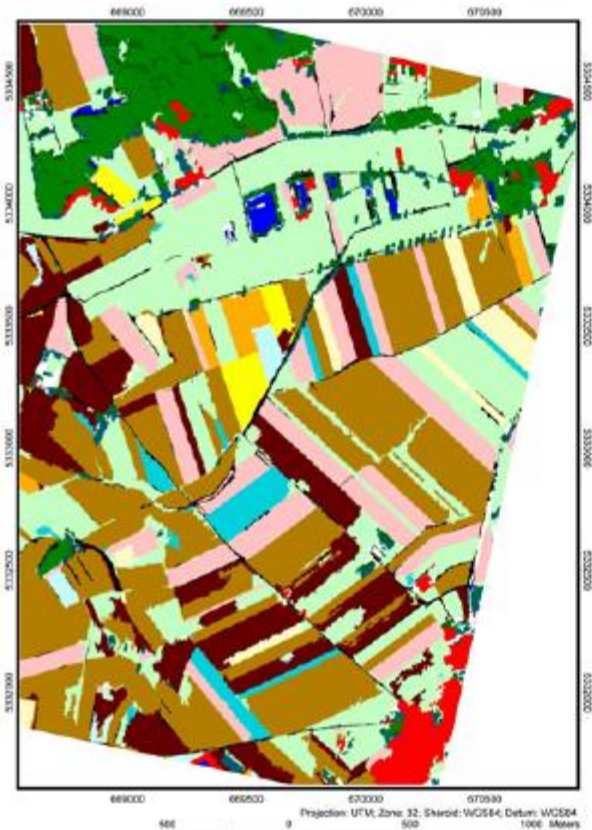
Studie – Schmullius et al. (2013)

Segmentation

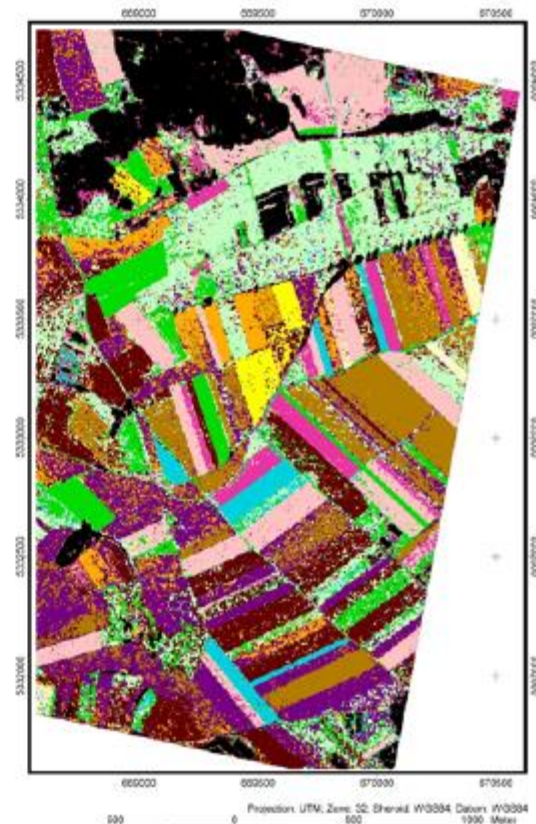


Studie – Schmullius et al. (2013)

objektorientiertes Klassifikationsergebnis (E-SAR)

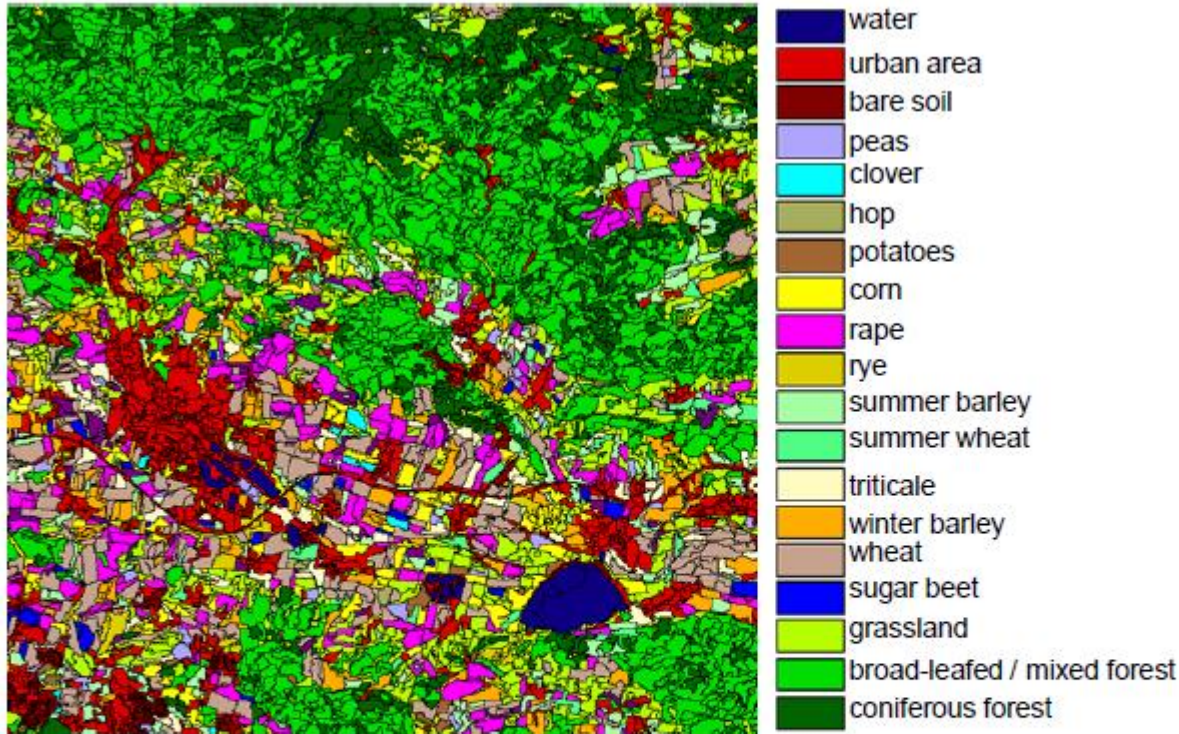


pixelbasiertes Klassifikationsergebnis (E-SAR)



Studie – Schmulius et al. (2013)

- dalším krokem k vylepšení výsledků klasifikace je kombinace SAR dat s optickými daty



	LS-5 TM	combination
overall accuracy	77,9	84,0
kappa	0,78	0,80

Improvements for: *urban areas, winter wheat, winter+summer barley, grassland, corn, peas*

Studie – Schmullius et al. (2013)

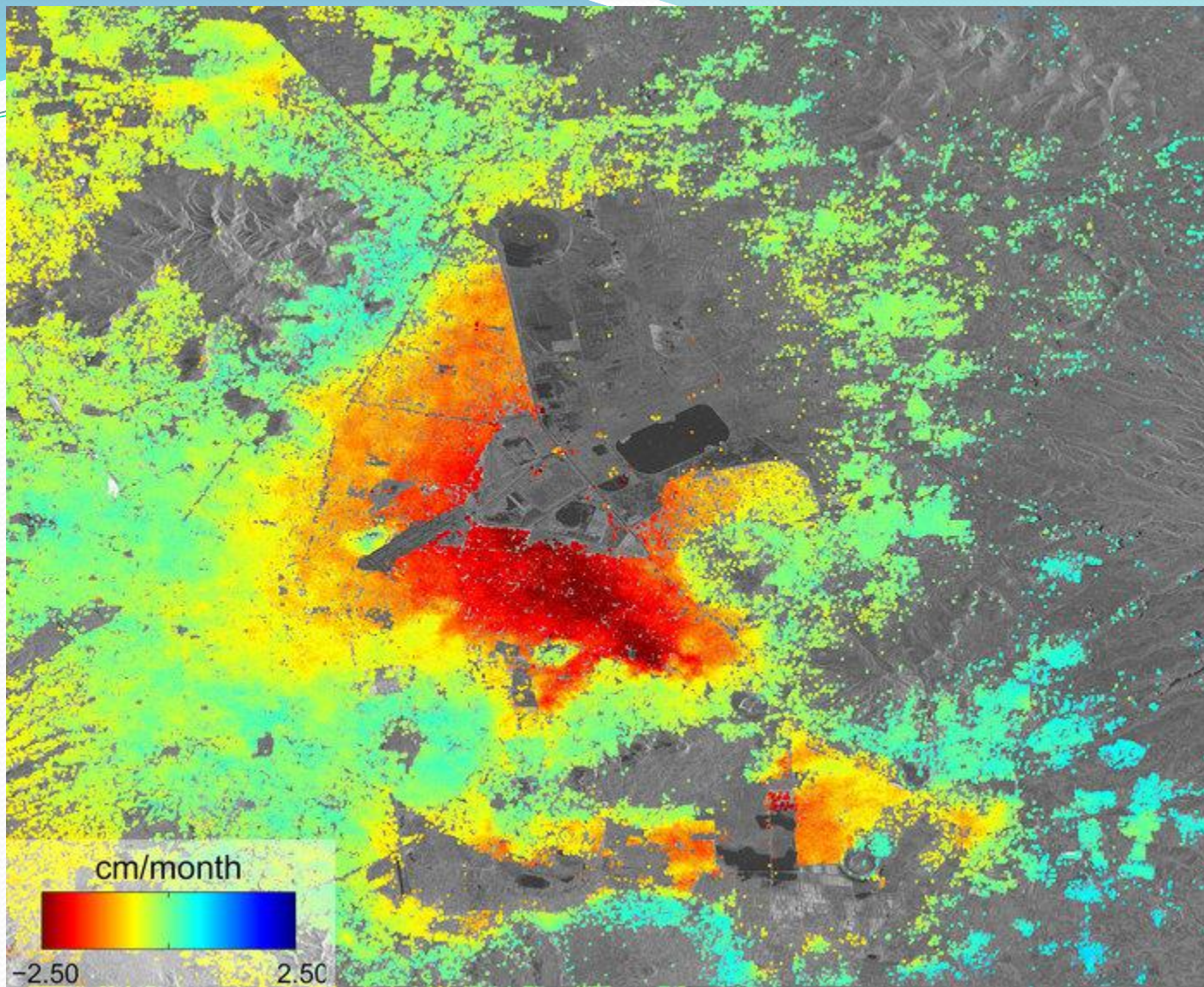
- dalším krokem k vylepšení výsledků klasifikace je kombinace SAR dat s optickými daty

Results – potential for land use mapping

Multitemporal optical & SAR data – information gain

Classification results combined approach – overall accuracy for 20 classes – 50 reference pixel per class

	Excluding SAR	SAR – HV, VV, texture, HV-min	SAR – HV, VV	SAR – HV, texture, HV-min	SAR – HV	SAR – VV, texture	SAR – VV
SAR		80.2	77.9	73.3	71.9	64.3	65.2
LS 21.04.05	52.8	82.8	81.8	80.4	80.4	75.8	76.8
LS 10.07.05	68.3	82.4	82.7	83.6	82.2	80.1	80.6
LS 21.04. & 10.07.	77.9	83.7	83.7	84.0	83.8	82.9	82.5

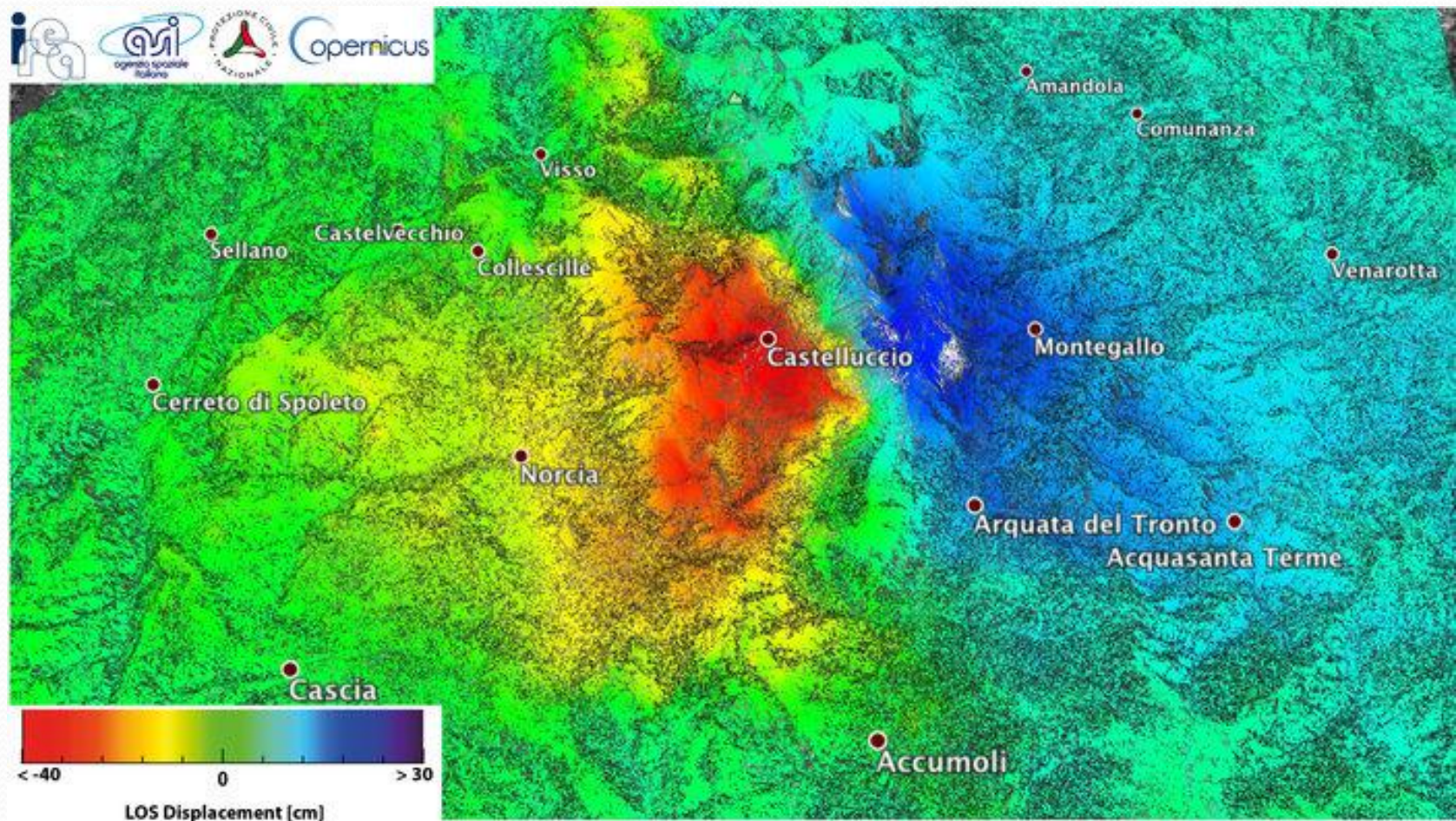


Data z družice Sentinel 1A 2.10. – 2.12.2014, pohyb povrchu v důsledku čerpání podzemních vod, Mexico City

zdroj:

http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2014/12/Mexico_City_subsidence

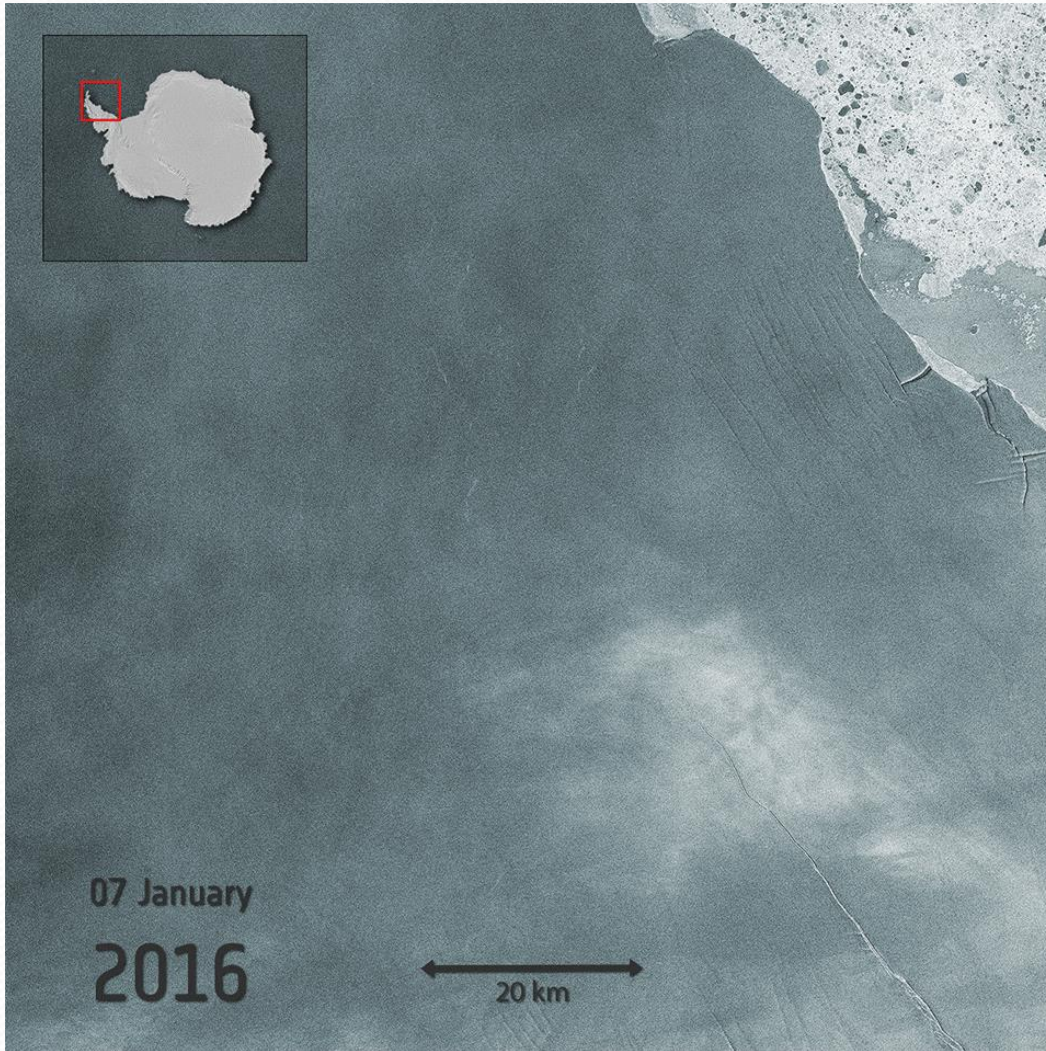
Ukázky radarových dat Sentinel1



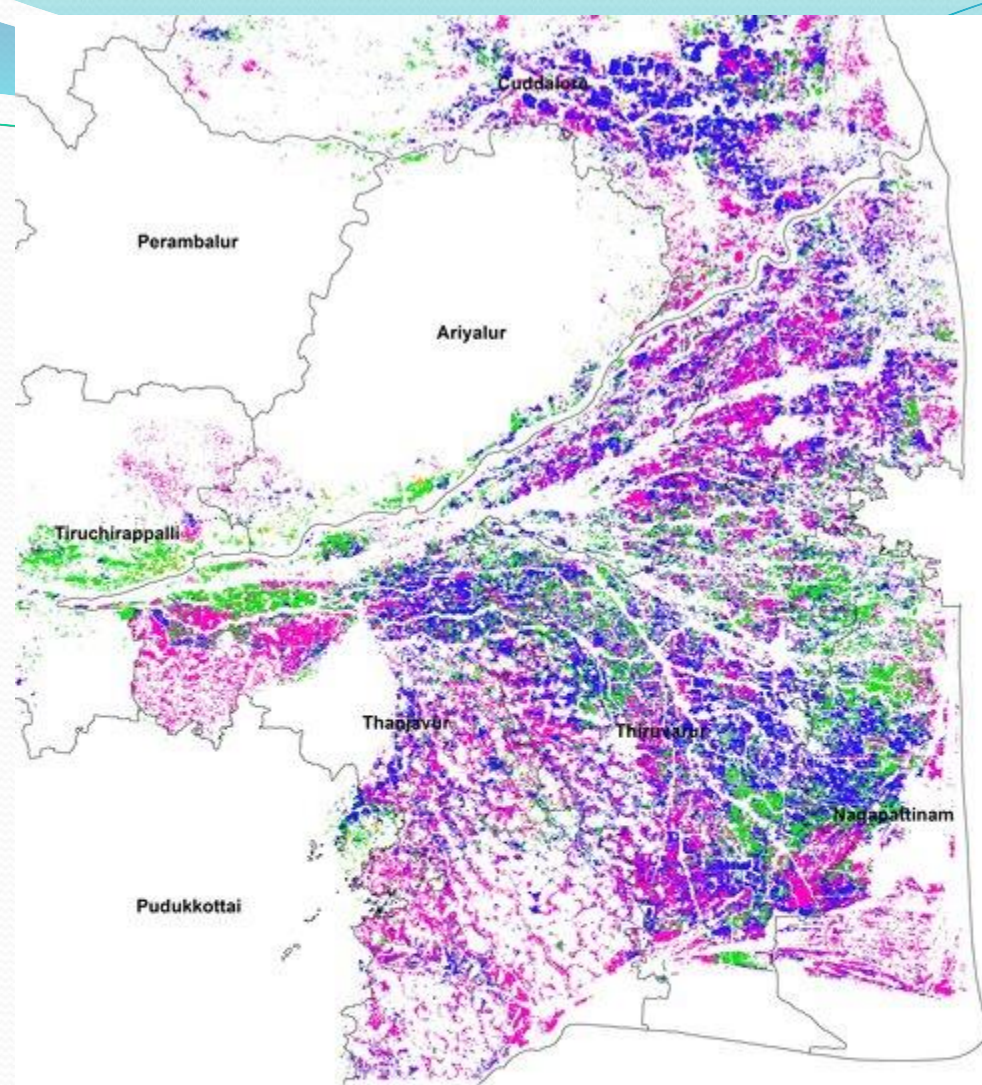
Vertikální posuny při zemětřesení v Itálii 2016 (26.10. a 1.11)

http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2016/11/Mapping_Italy_s_30_October_2016_earthquake

Odlomení ledovce Larsen - C



Sklizeň rýže v Indii



http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2017/08/Start_of_rice_cropping



Na závěr

- Je poměrně snadné podle tutorialů zpracovat vlastní data (zejména Sentinel-1), ale velmi nesnadná je interpretace výsledků, která vyžaduje komplexní znalosti o radarovém snímání a porozumění metodám a přednastaveným algoritmům