

Vybrané aplikace radarových dat

Mgr. Kateřina FÁROVÁ
Česká geologická služba

Hlavním zdrojem teoretické části je radarový kurz ESA
“Echoes in space”

<https://eo-college.org/courses/echoes-in-space/>

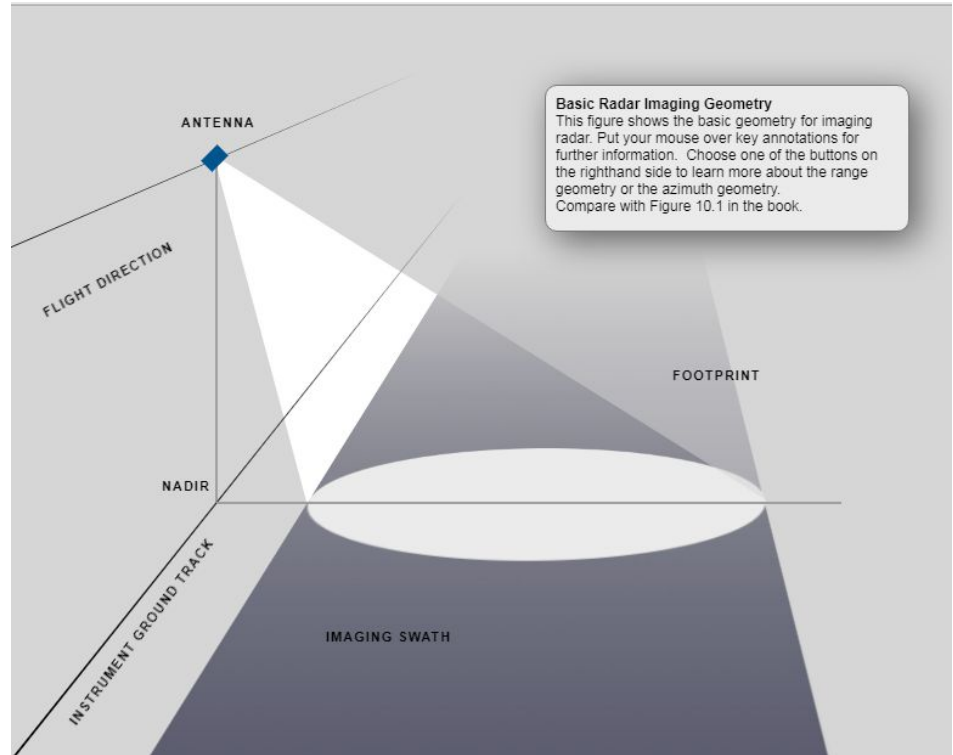
Data z Nového Zélandu byla zpracována
s kolegou Janem JELÉNKEM

SAR - Základní principy - rychlý přehled

Geometrie radarového snímání

(vyslaný signál - odraz - příjem
odraženého signálu: **transmitt-
backscatter-receive**)

<https://www.geos.ed.ac.uk/~ihw/hype/radar/intro2radar.html> 



Parametry ovlivňující odražený signál (backscatter)

Parametry senzoru:

- vlnová délka / frekvence
- polarizace
- prostorové rozlišení
- úhel dopadu (incidence angle)
- dráha letu

Parametry snímaného povrchu:

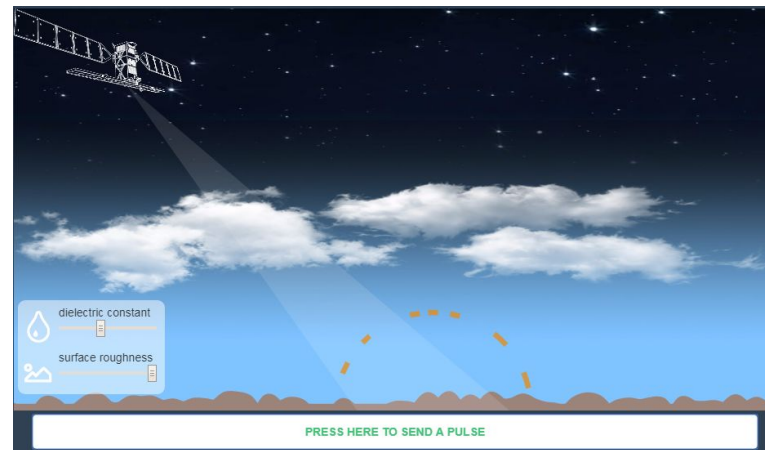
- topografie
- “hrubost” povrchu (roughness)
- geometrie snímaných objektů
- orientace snímaných objektů
- dielektrická konstanta (obsah vody)

Odraz radarového signálu

- zrcadlový odraz (specular reflection)
 - vodní hladina, antropogenní tvary
- odraz z relativně homogenního nerovného povrchu (surface scattering)
 - topografie
- koutový odraz - vícenásobný, dvojitý odraz (double bounce)
 - zastavěná území
- odraz z 3D povrchu (volume scattering)
 - vegetace

další vlivy na intenzitu odraženého signálu:

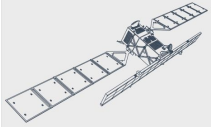
- dielektrická konstanta
- hrubost povrchu



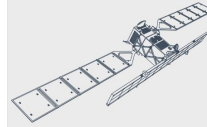
<https://eo-college.org/topic/the-scattering-mechanisms/>



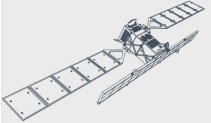
REFLECTION



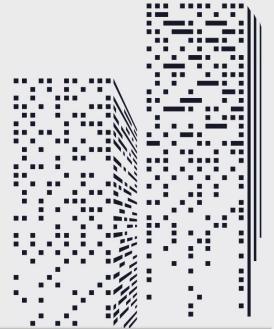
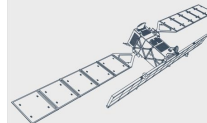
SURFACE SCATTERING



VOLUME SCATTERING



DOUBLE BOUNCE



Úrovně zpracování radarových dat

RAW - data, která byla zachycena senzorem. Každý řádek je echo signálu, který byl zachycen podél dráhy družice. Zachycený signál je komplexní číslo nesoucí informace o fázi a amplitudě. Energie signálu z určitého bodu je “roztažena” v azimutu a range.

SLC - SAR focusing → “the purpose of SAR focusing is to collect this dispersed energy into a single pixel in the output image (Single Look Complex, or SLC image).”

GRD - viz dále

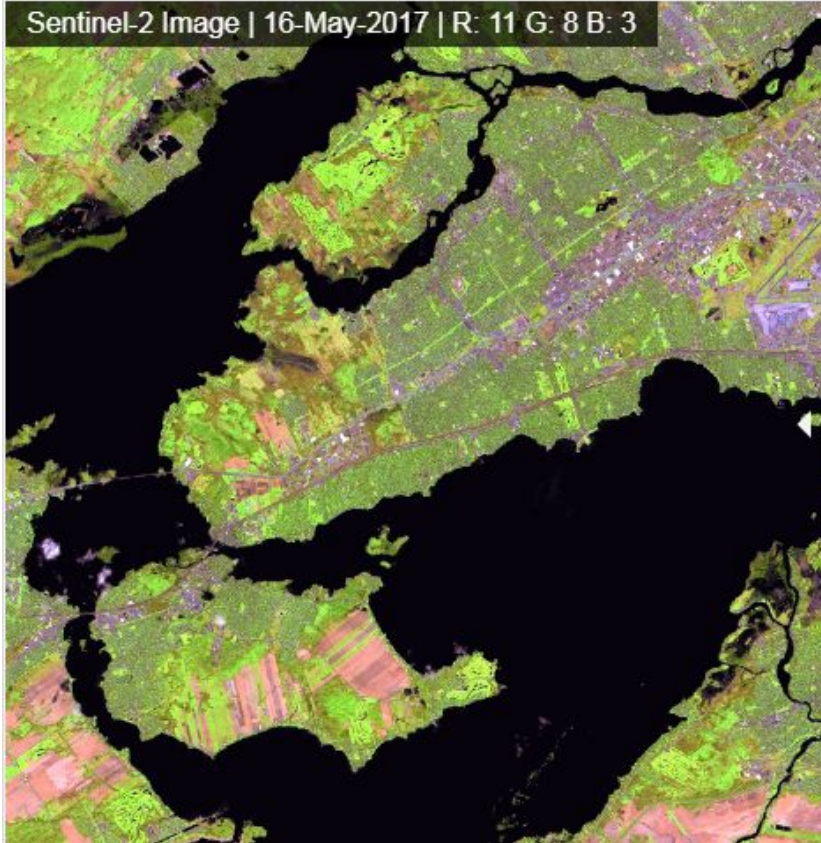
Srovnání radarových a optických dat

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

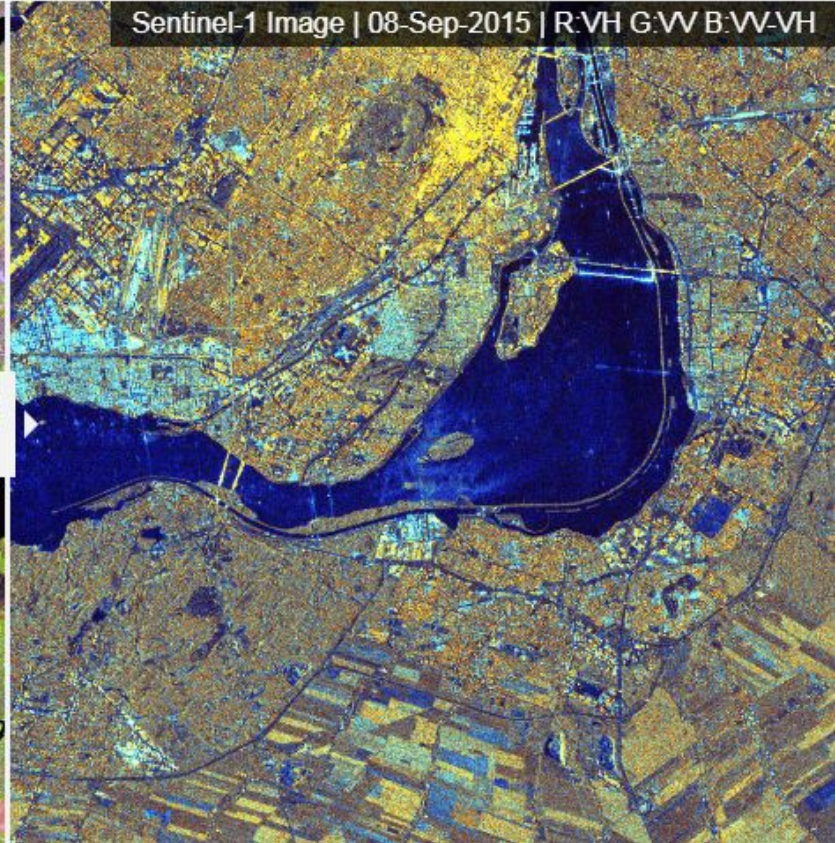


Montreal, Canada

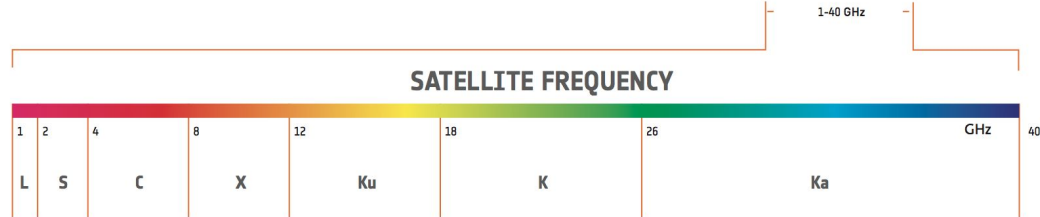
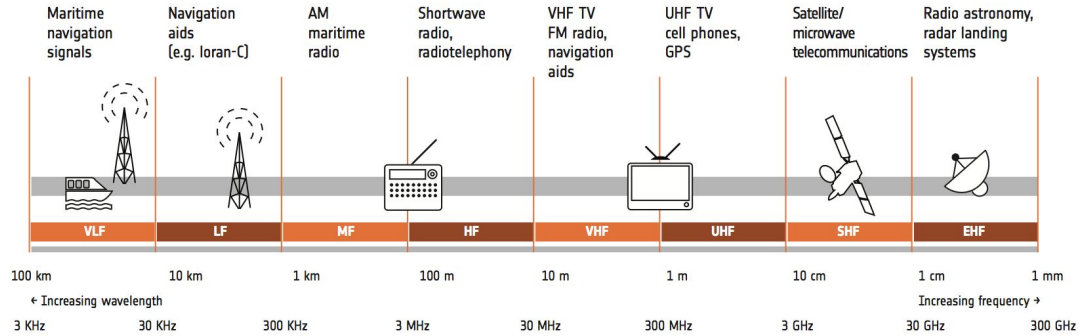
Sentinel-2 Image | 16-May-2017 | R: 11 G: 8 B: 3



Sentinel-1 Image | 08-Sep-2015 | R:VH G:WV B:WV-VH



L, C, X band



<https://eo-college.org/topic/the-sar-bands/>

Jak radar “vidí” stromy v závislosti na vlnové délce:



Austrian pine



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



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

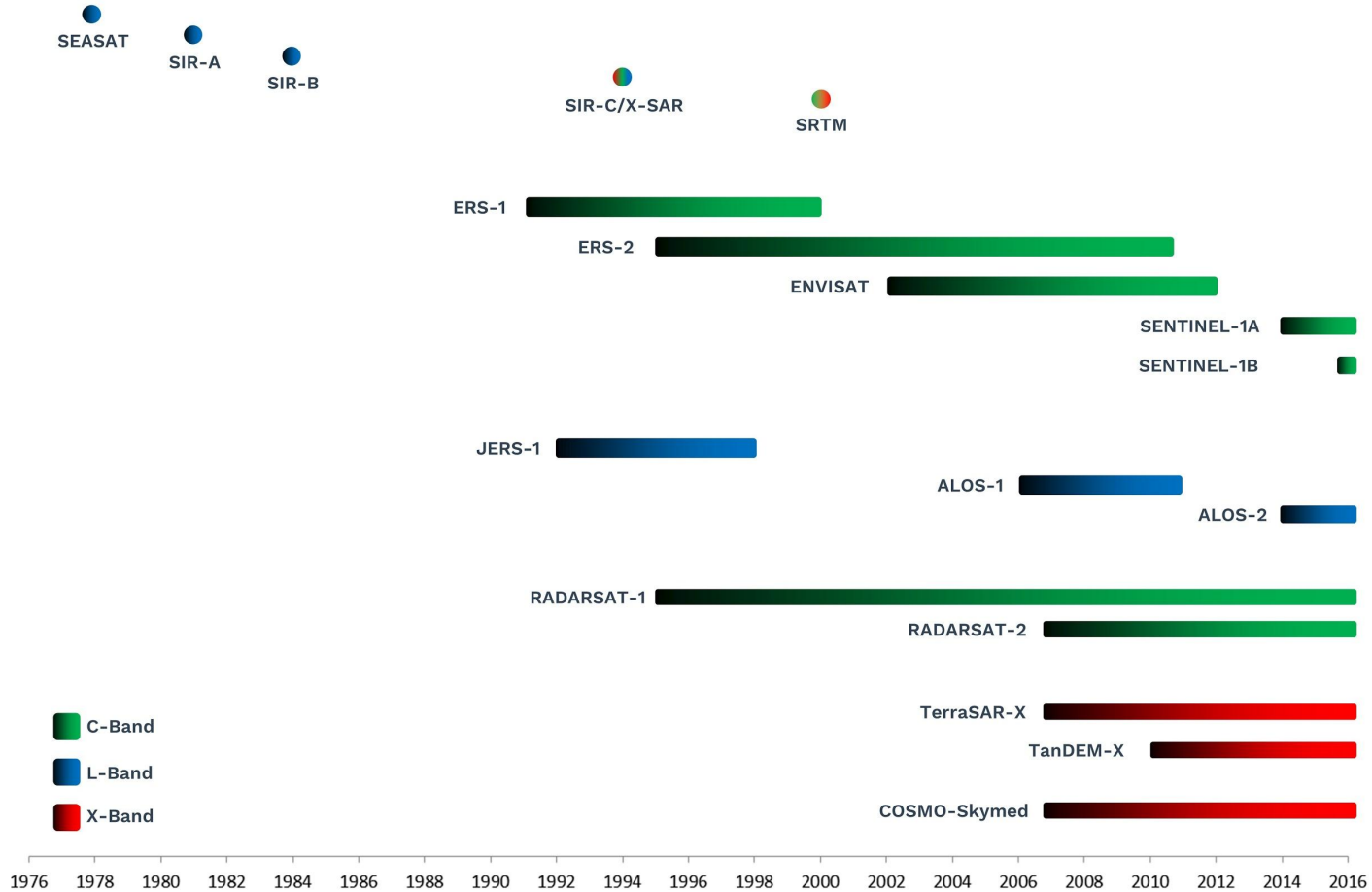


P band
 $\lambda = 70 \text{ cm}$

<https://eo-college.org/topic/forest-applications/>

© Thuy Le Toan

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)

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

Wasowski et al. (2014): Investigating landslides and unstable slopes with satellite Multi Temporal Interferometry: Current issues and future perspectives. *Eng. Geol.* **2014**, 174, 103-138.

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

Wasowski et al. (2014): Investigating landslides and unstable slopes with satellite Multi Temporal Interferometry: Current issues and future perspectives. *Eng. Geol.* **2014**, 174, 103-138.

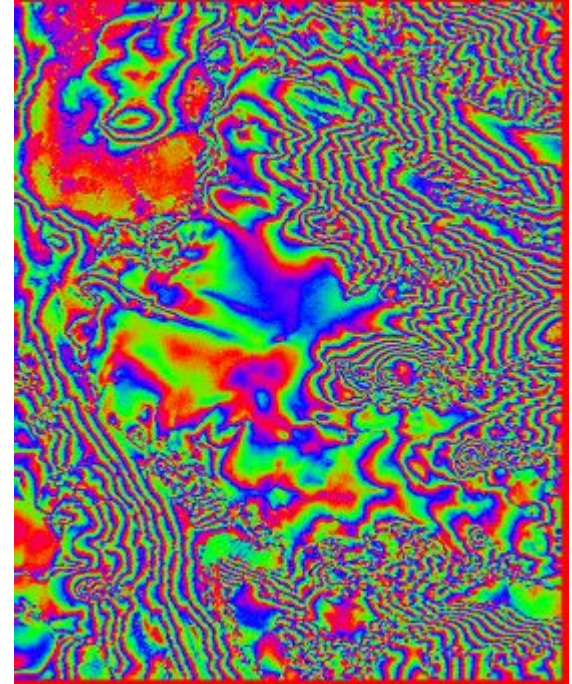
Satellite mission	Wave-length (cm)	Life status	Resolution az./range (m)	Repeat cycle (days)	Swath width (km)	Max. vel. (cm/yr)	Incident Angle(°)
X-band							
COSMO-SkyMED (4 Sat)	3.1	2007–2014	≈2.5/2.5 1.0/1.0	2, 4, 8, 16	10 (spot) 40 (strip) 200 (scan)	17.7 35.4 70.7 141.4	20–60
TerraSAR-X	3.1	2007–2018	≈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		

Note: Future missions shown in gray.

Wasowski et al. (2014): Investigating landslides and unstable slopes with satellite Multi Temporal Interferometry: Current issues and future perspectives. *Eng. Geol.* **2014**, 174, 103-138.

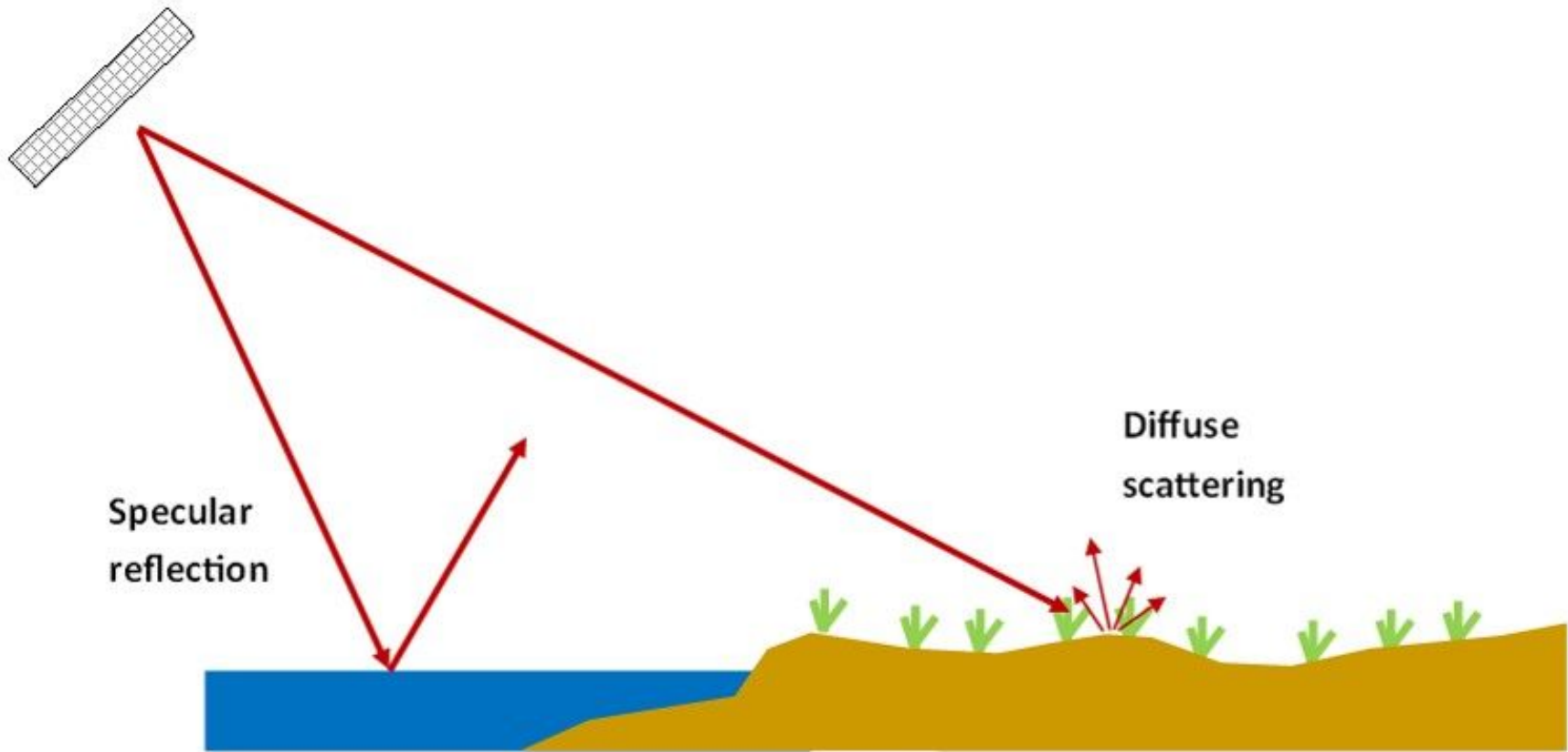
Vybrané aplikace radarových dat

1. Mapování území zaplavených povodněmi
2. DInSAR
 - a. Rozsah a velikost zemětřesení
 - b. Pohyby terénu na rozestavěné dálnici D8
3. Mapování pohybu ledovců

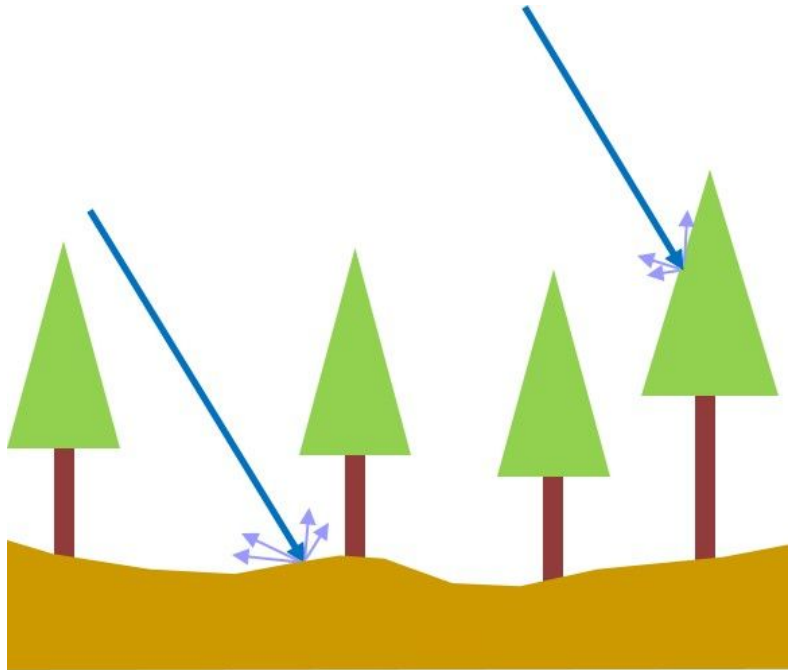


Mapování území zaplavených povodněmi

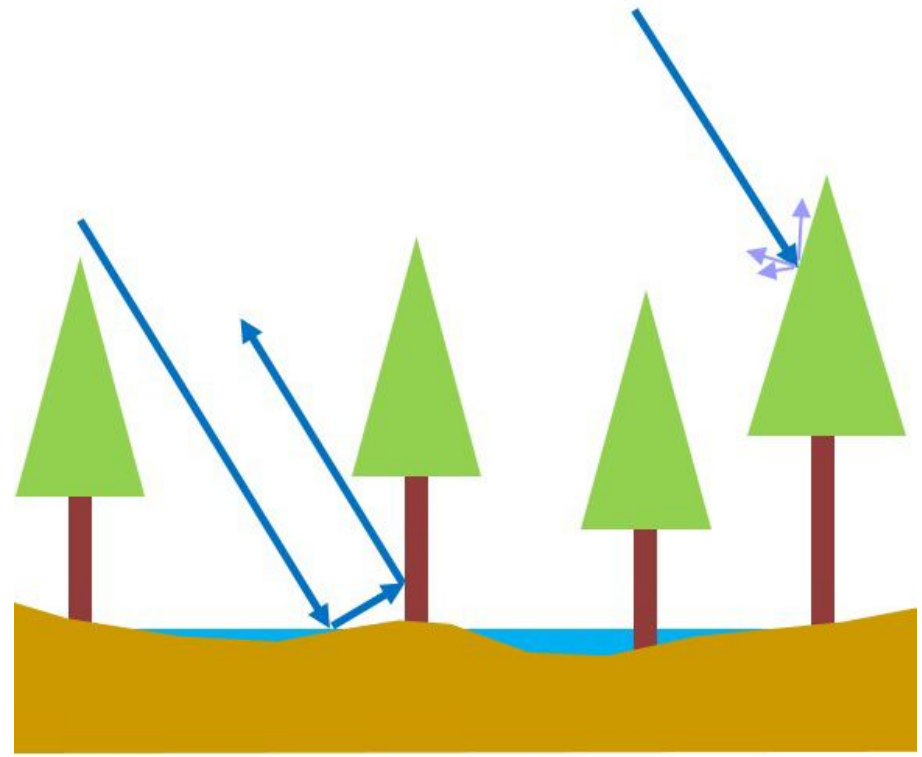
- zrcadlový obraz vodní hladiny
- *! nadhodnocení - jako voda se chovají hladké povrchy*
- vliv parametrů senzoru:
 - **frekvence** (čím vyšší, tím větší rozdíl mezi intenzitou odrazu vody a okolního povrchu)
 - zaplavená vegetace (stromy) - **L band** (silný signál zpět oproti difúznímu odrazu v okolí)
 - **polarizace** (nejlepší HH - nízký rozptyl horizontální komponenty signálu od hladké vodní hladiny, při vlnách je lepší VV)
- pro odlišení normálního stavu vodní hladiny v řekách od povodní se používají archivní snímky nepovodňového stavu



Difference in backscatter mechanisms for open water surfaces and dry land surfaces (after Solbø & Solheim, 2004) <https://eo-college.org/topic/introduction-to-water-bodies/>

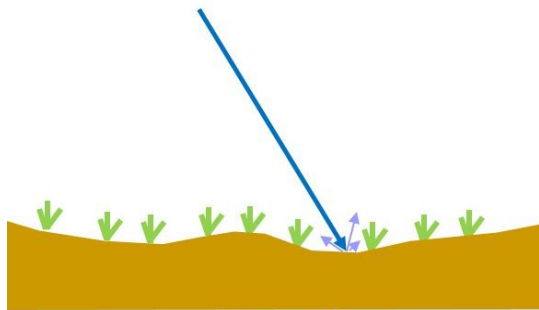


Dry

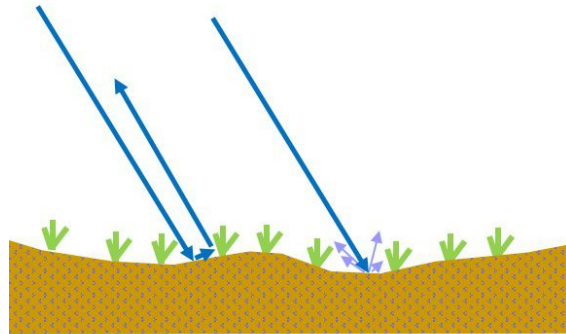


Flooded

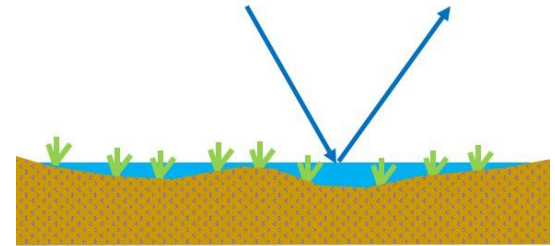
Inundation effects on radar backscatter in a forested wetland (after Bourgeau-Chavez et al., 2009) <https://eo-college.org/topic/introduction-to-water-bodies/>



Dry soil



Wet soil



Flooded soil

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

Používané metody pro detekci zaplavených území z radarových dat

- vizuální interpretace
- prahování
- detekce změn na multitemporálních datech
- klasifikace obrazu (objektový přístup, textura)
- region growing
- active contour models

Pro přesné výsledky nutná **podpůrná data**

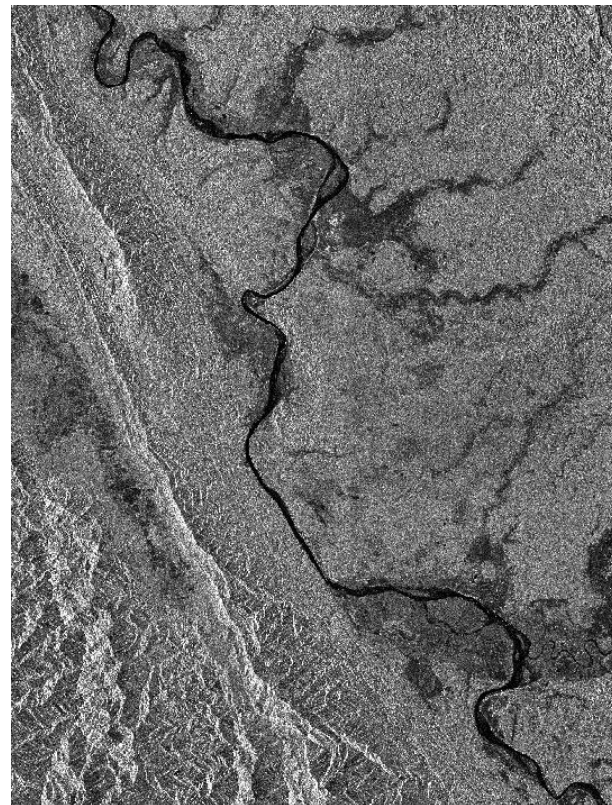
- DEM a jeho odvozeniny
- landcover

Vymezení zaplavených ploch - kombinace snímků během záplav a bez záplav

- záplavy v Myanmaru, září 2015
- snímky z 20. března a 4. září 2015
- level 1 - GRD, VV, ascending
- stejný incidence angle, stejná geometrie
- proveden ořez obou scén na menší území

Level-1 Ground Range Detected (GRD) products 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 resolution pixels and square pixel spacing with reduced speckle at the cost of reduced geometric resolution.

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



amplituda, VV, 20.3.2015

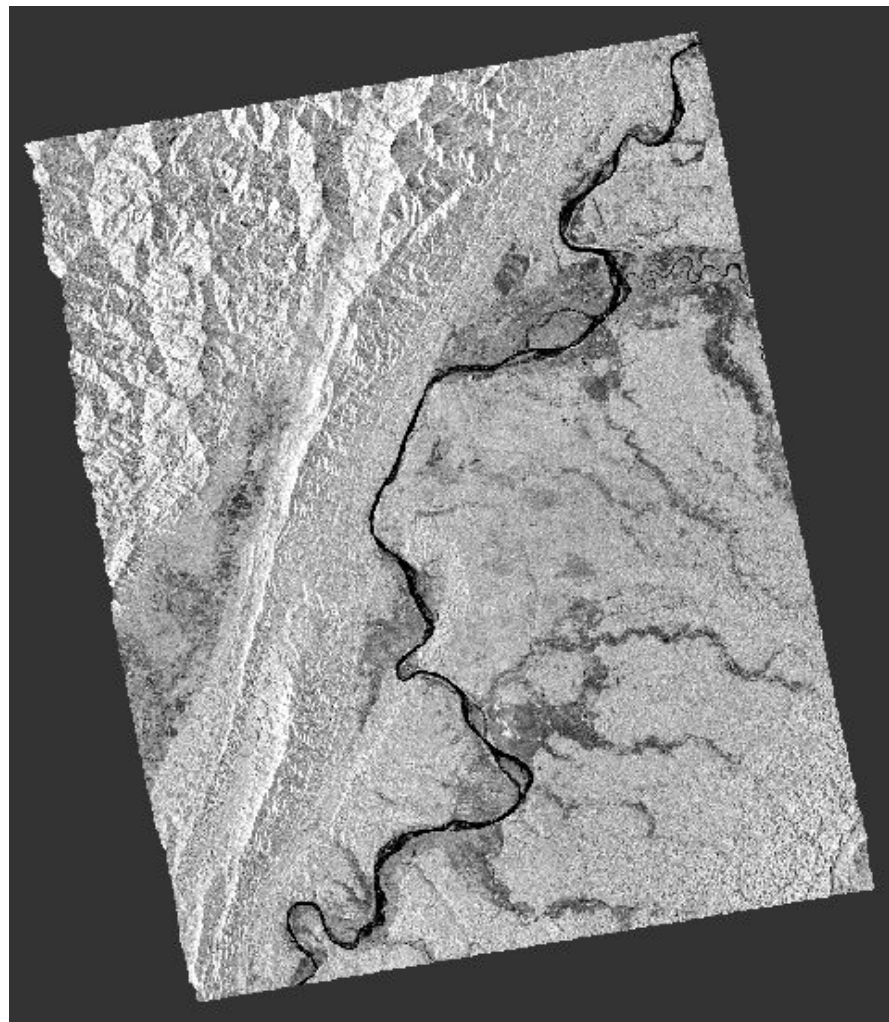
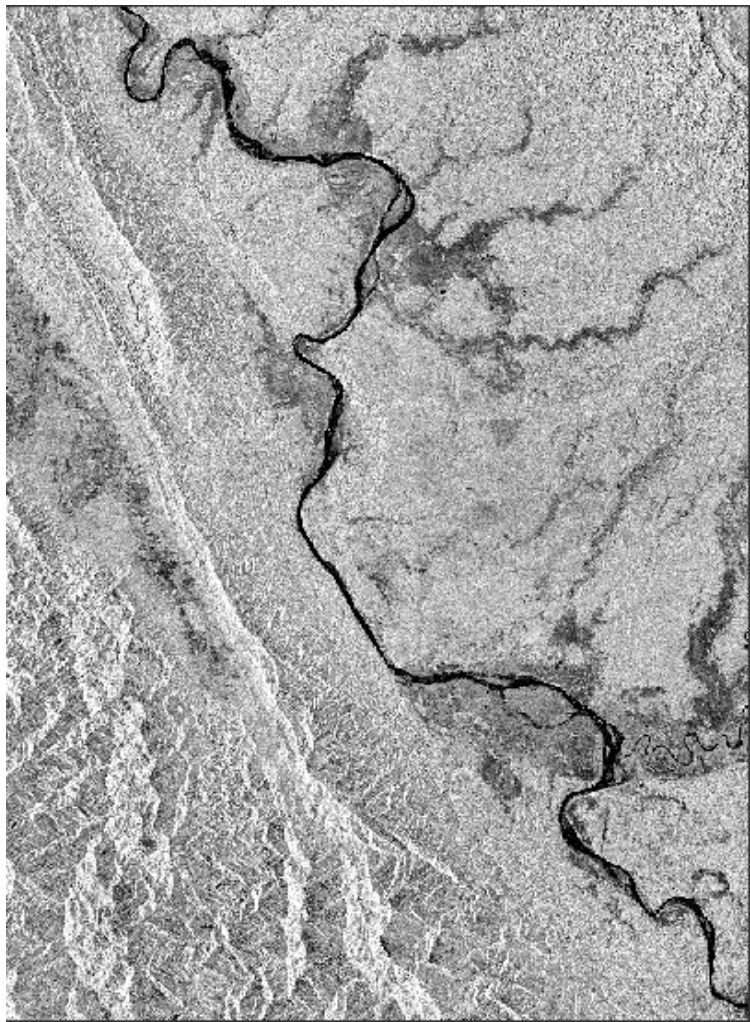
Multilooking, kalibrace

- multilooking 3x3, redukce speckle, menší rozlišení
- Radar → Multilooking, Range x Azimuth: 3x3
-
- calibration: sigma0 band
- Radar → Radiometric → Calibrate
- pro porovnatelnost obou snímků


- pozorování layover, foreshortening (synchronizace View - Tile Evenly)
- z které strany a kterým směrem letěla družice?
- zobrazení incidence angle (Tie Point Grids)

Vizualizace, zobrazení histogramu, terrain correction

- převedení zobrazení hodnot z lineární stupnice na logaritmickou pro vylepšení kontrastu
- Linear to/from dB
- Terrain Correction (odstranění chyb vlivem terénu, geokódování)
- Radar → Geometric → Terrain Correction → Range Doppler Terrain Correction
- srovnání terénu před a po (zrušit synchronizaci View!)
- převod na dB a uložení virtuálního bandu, histogram stretching



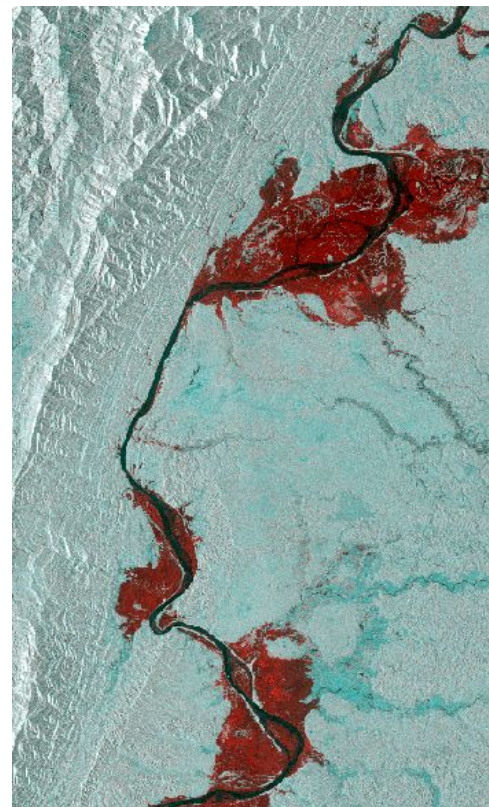
Layer stack, vizualizace: průhlednost, swipe

- pro zobrazení RGB jednotlivých časových horizontů musí být snímky pro jednotlivé barevné kanály v jednu souboru
- Layer Stacking (shrnutí více pásem do jednoho souboru, dle souřadnic a prostorového rozlišení, používá se i pro optická data)
- Radar → Coregistration → Stack Tools → Create Stack
 - Initial Offset Method: Product Geolocation (pro interferometrii nutná přesnější metoda koregistrace)
- Layer Manager  , Image of Band (výběr druhého snímku)
 - transparency, swipe

RGB kompozice

Pro rozlišení zaplavených území od stálých vodních ploch (toků) - RGB kompozice:

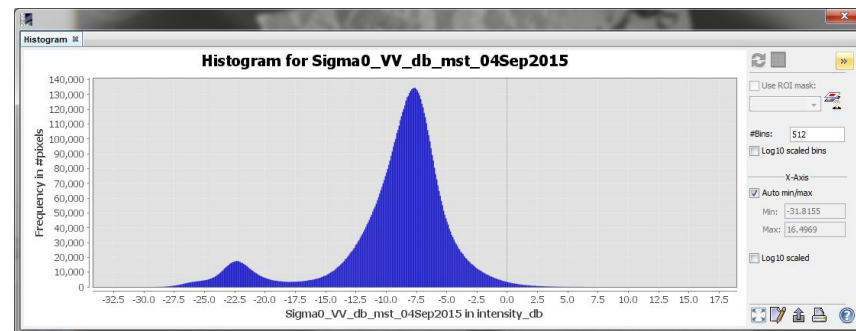
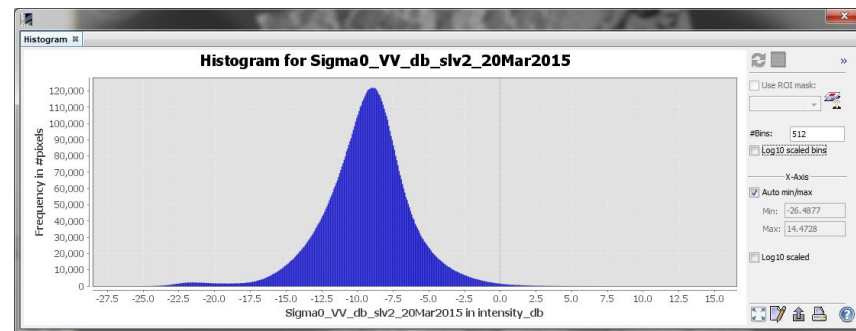
- výběr produktu, kde byl proveden Layer Stack
- **Window → Open RGB Image Window:**
 - R: archivní snímek 20. března
 - G: snímek s povodní 4. září
 - B: snímek s povodní 4. září
 - interpretace



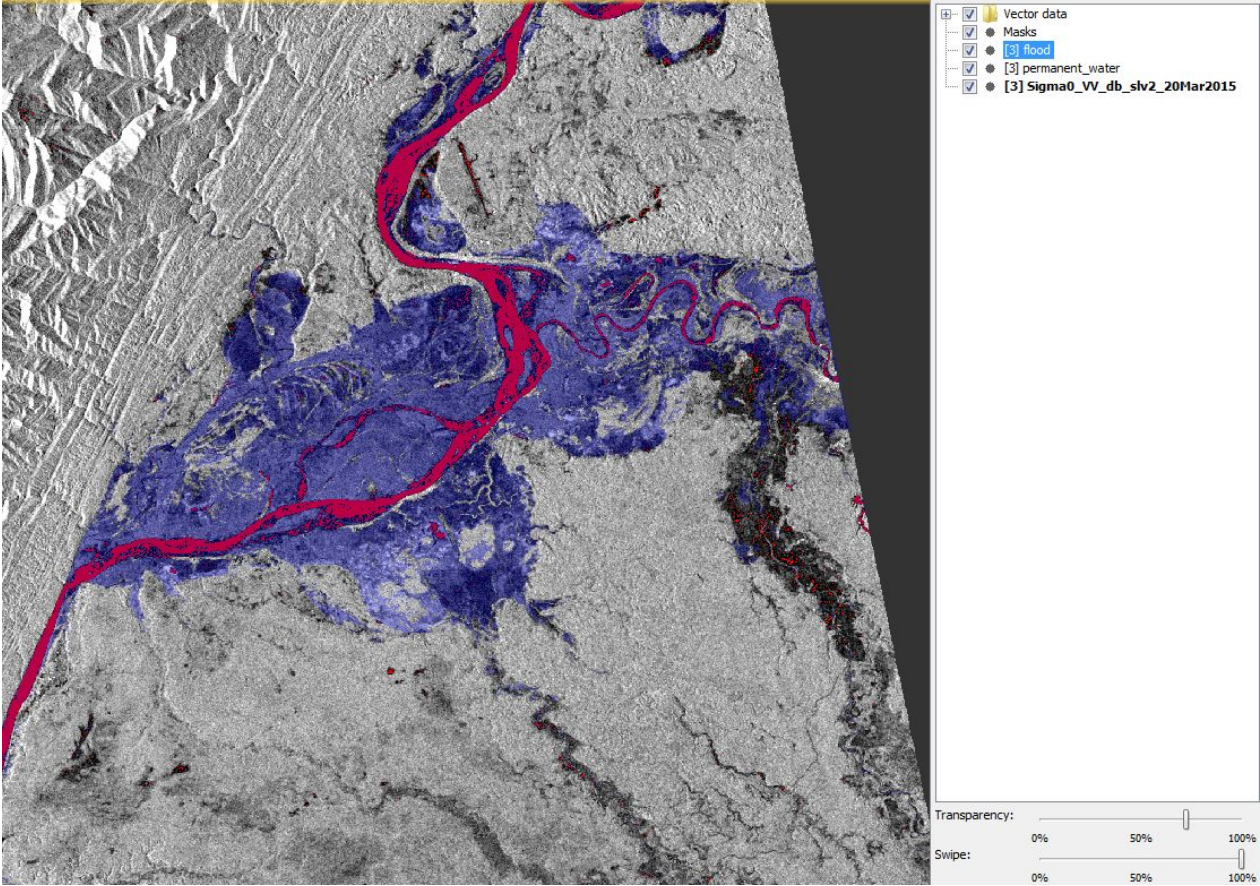
Prahování (thresholding), tvorba masek

- Analysis → Histogram (refresh)
- Zjištění prahové hodnoty z histogramu
- Raster → Band Maths:
 - new band name: “permanent_water”
 - expression:
 $\text{Sigma0_VV_db_slv2_20Mar2015} < -17.5$
 - voda: 1, ostatní: 0
 - maska pro archivní i krizový snímek

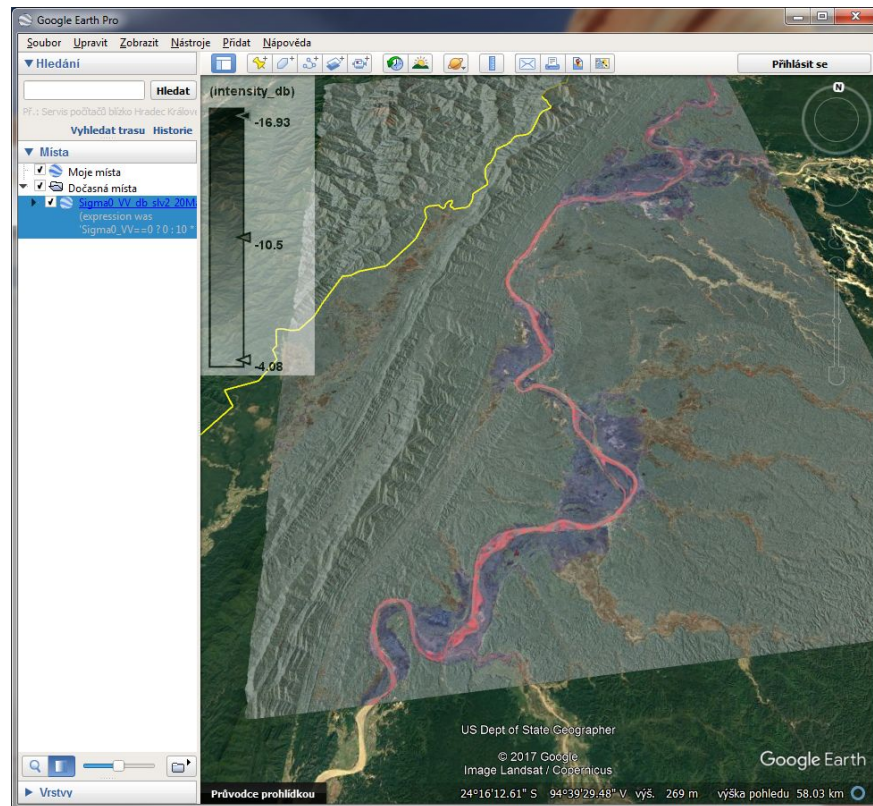
- úprava zobrazení histogramu tak, aby permanent_water byla červená a ostatní transparentní...



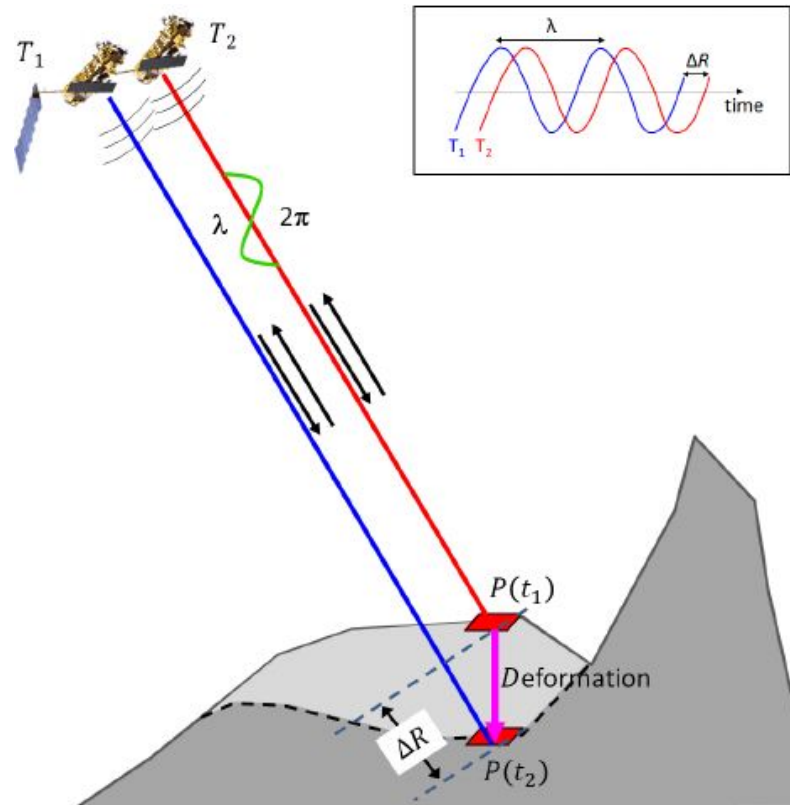
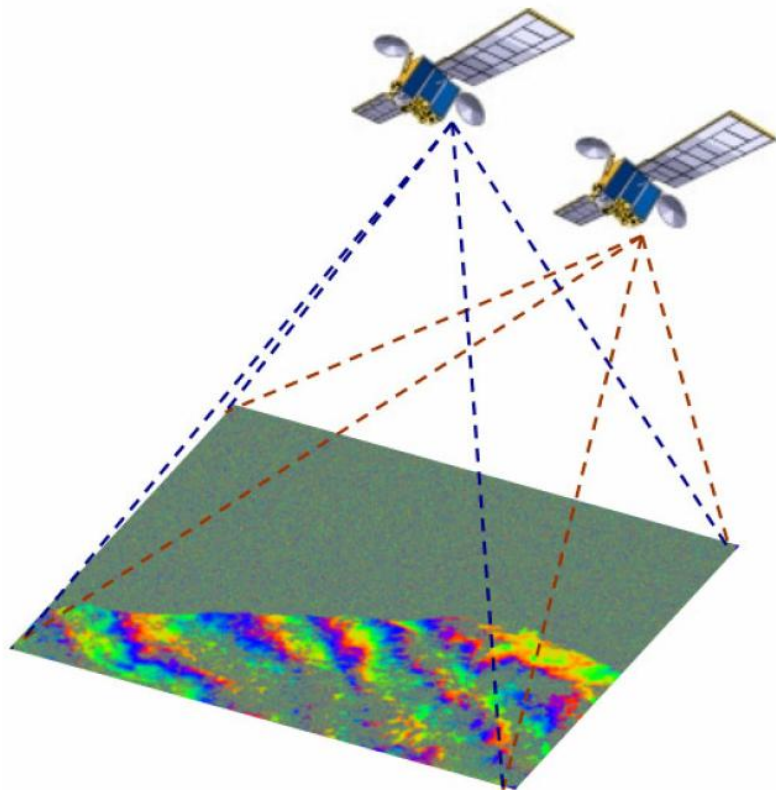
Přidání masek k
archivnímu snímku



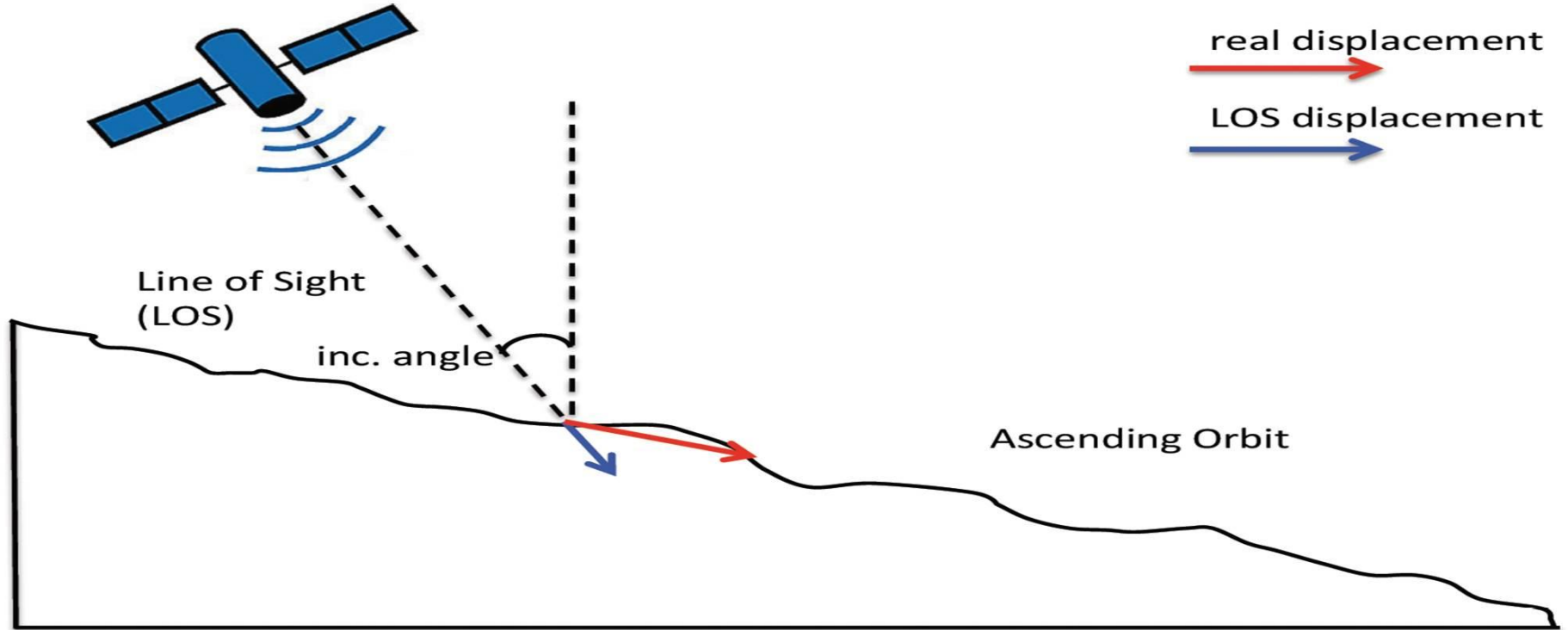
Export do KMZ



DInSAR

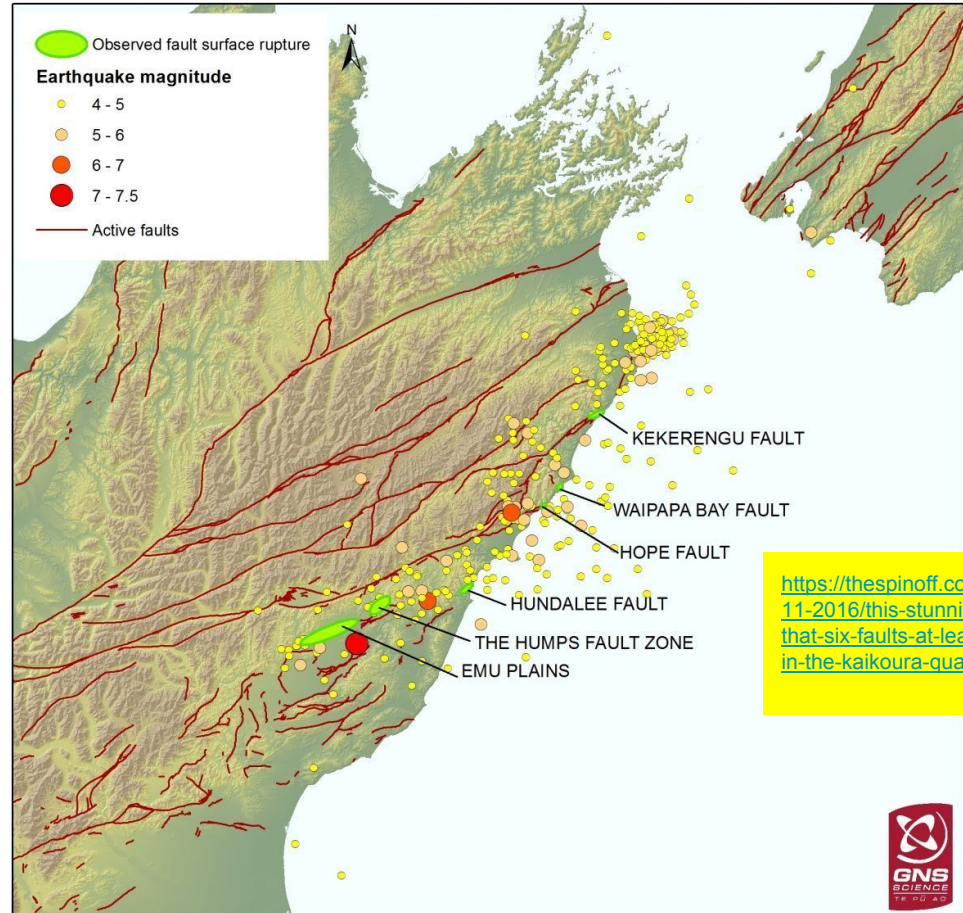


DInSAR

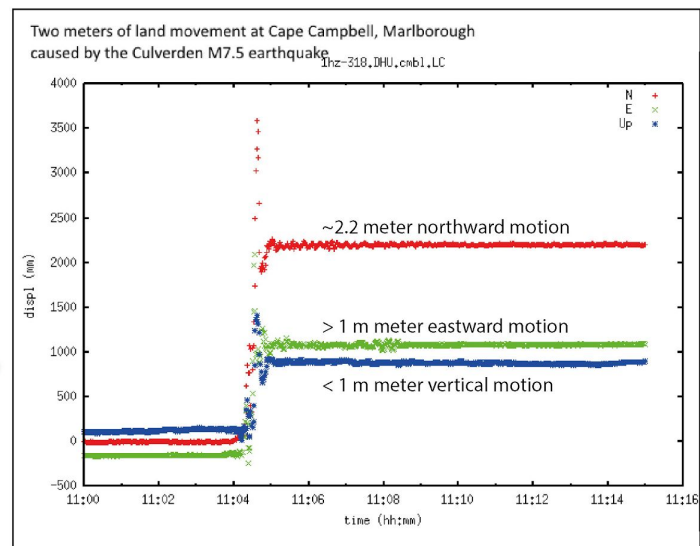
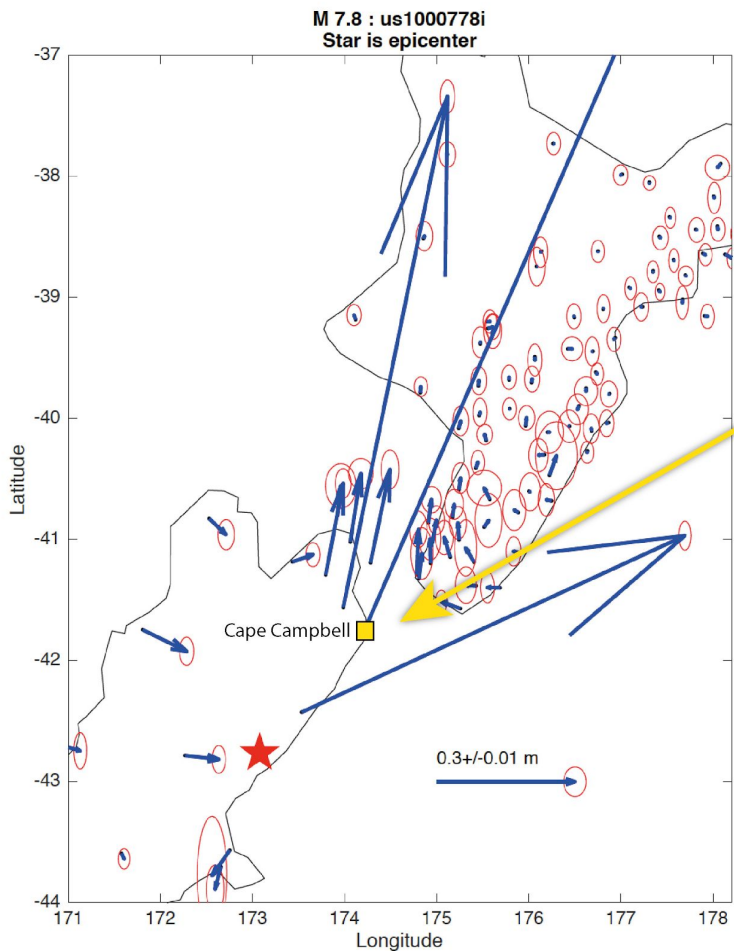


Zemětřesní na Novém Zélandu

- 13. listopadu 2016, Kaikoura
- velikost 7,8 Mw
- data Sentinel-1A
 - 3.11.2016, 15.11.2016



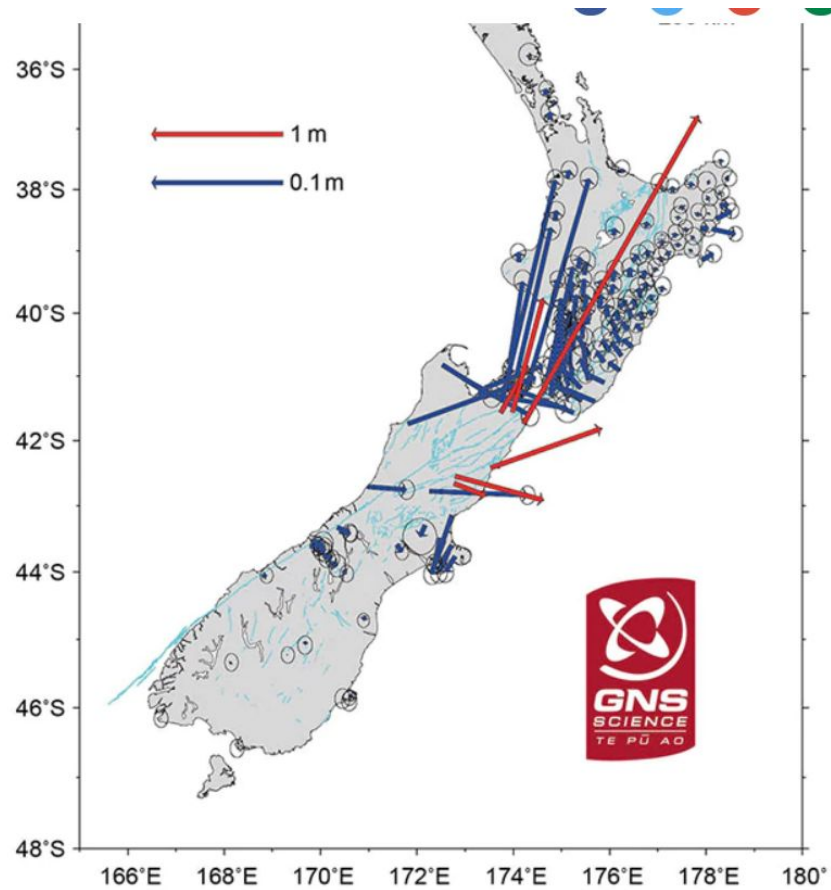
Ground deformations in New Zealand based on rapid solution of GPS



(Source: <http://info.geonet.org.nz>)

Figure credit: William Hammond (University of Nevada Reno)

Acknowledgement: Jianghui Geng (GNSS Research Center, Wuhan University)



<http://www.stuff.co.nz/national/86565581/finding-out-how-much-the-earth-moved-during-massive-earthquake>



Rozsah zemětřesení – 2 scény IW -sever a jih, SLC

Každá scéna ještě rozdělená na IW1, IW2, IW3 – nutno vše propojit

Objem stažených dat: 24,5 GB (4 scény celkem)

Spojení severu a jihu přes Slice Assembly

Metadata stažených dat

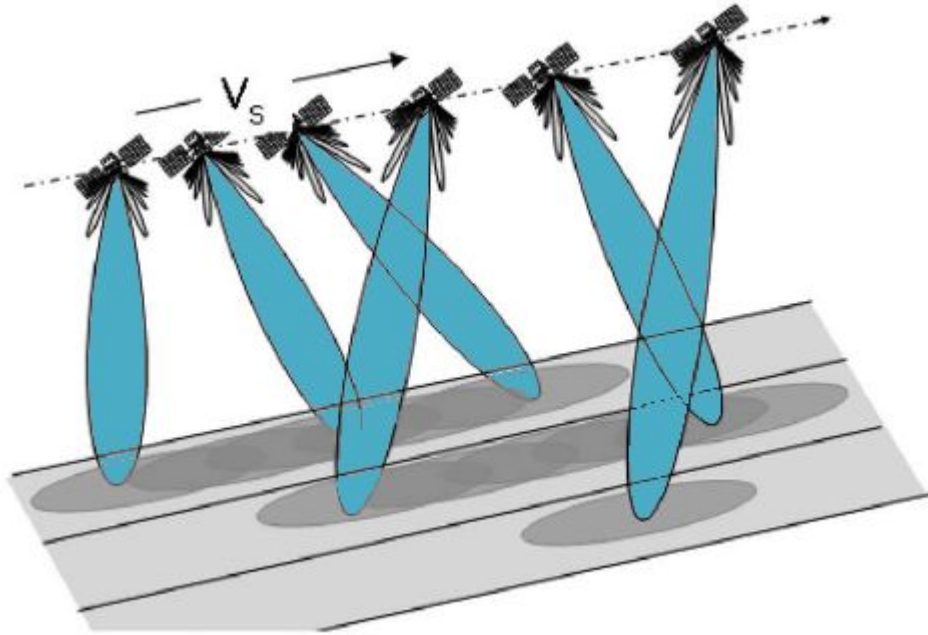
Name	Value	T...	...	Description
PRODUCT	S1A_IW_SLC__1SD	ascii		Product name
PRODUCT_TYPE	SLC	ascii		Product type
SPH_DESCRIPTOR	Sentinel-1 IW Level	ascii		Description
MISSION	SENTINEL-1A	ascii		Satellite mission
ACQUISITION_MODE	IW	ascii		Acquisition mode
antenna_pointing	right	ascii		Right or left facing
BEAMS	-	ascii		Beams used
SWATH	-	ascii		Swath name
PROC_TIME	15-NOV-2016 08:4	uint32	utc	Processed time
Processing_system_id	ESA Sentinel-1 IPF	ascii		Processing system id
orbit_cycle	94	int32		Cycle
REL_ORBIT	52	int32		Track
ABS_ORBIT	13949	int32		Orbit
STATE_VECTOR_TIME	15-NOV-2016 07:2	uint32	utc	Time of orbit state ve
VECTOR_SOURCE	-	ascii		State vector source
incidence_near	99,999	float64	deg	
incidence_far	99,999	float64	deg	
slice_num	2	int32		Slice number
data_take_id	92021	int32		Data take identifier
first_line_time	15-NOV-2016 07:2	uint32	utc	First zero doppler azin
last_line_time	15-NOV-2016 07:2	uint32	utc	Last zero doppler azin
first_near_lat	-42.94	float64	deg	
first_near_long	171.7	float64	deg	
first_far_lat	-42.123	float64	deg	
first_far_long	174.583	float64	deg	
last_near_lat	-41.293	float64	deg	

Name	Value	T...	...	Description
PRODUCT	S1A_IW_SLC__1SS	ascii		Product name
PRODUCT_TYPE	SLC	ascii		Product type
SPH_DESCRIPTOR	Sentinel-1 IW Level	ascii		Description
MISSION	SENTINEL-1A	ascii		Satellite mission
ACQUISITION_MODE	IW	ascii		Acquisition mode
antenna_pointing	right	ascii		Right or left facing
BEAMS	-	ascii		Beams used
SWATH	-	ascii		Swath name
PROC_TIME	04-NOV-2016 08:0	uint32	utc	Processed time
Processing_system_id	ESA Sentinel-1 IPF	ascii		Processing system id
orbit_cycle	93	int32		Cycle
REL_ORBIT	52	int32		Track
ABS_ORBIT	13774	int32		Orbit
STATE_VECTOR_TIME	03-NOV-2016 07:2	uint32	utc	Time of orbit state ve
VECTOR_SOURCE	-	ascii		State vector source
incidence_near	99,999	float64	deg	
incidence_far	99,999	float64	deg	
slice_num	2	int32		Slice number
data_take_id	90617	int32		Data take identifier
first_line_time	03-NOV-2016 07:2	uint32	utc	First zero doppler azin
last_line_time	03-NOV-2016 07:2	uint32	utc	Last zero doppler azin
first_near_lat	-42.608	float64	deg	
first_near_long	171.599	float64	deg	
first_far_lat	-41.798	float64	deg	
first_far_long	174.448	float64	deg	
last_near_lat	-40.965	float64	deg	

Postup pro výpočet interferogramu a vertikálního posunu

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

Sentinel-1 TOPS (TOPSAR)



<https://earth.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar/products-algorithms/level-1-algorithms/topsar-processing>

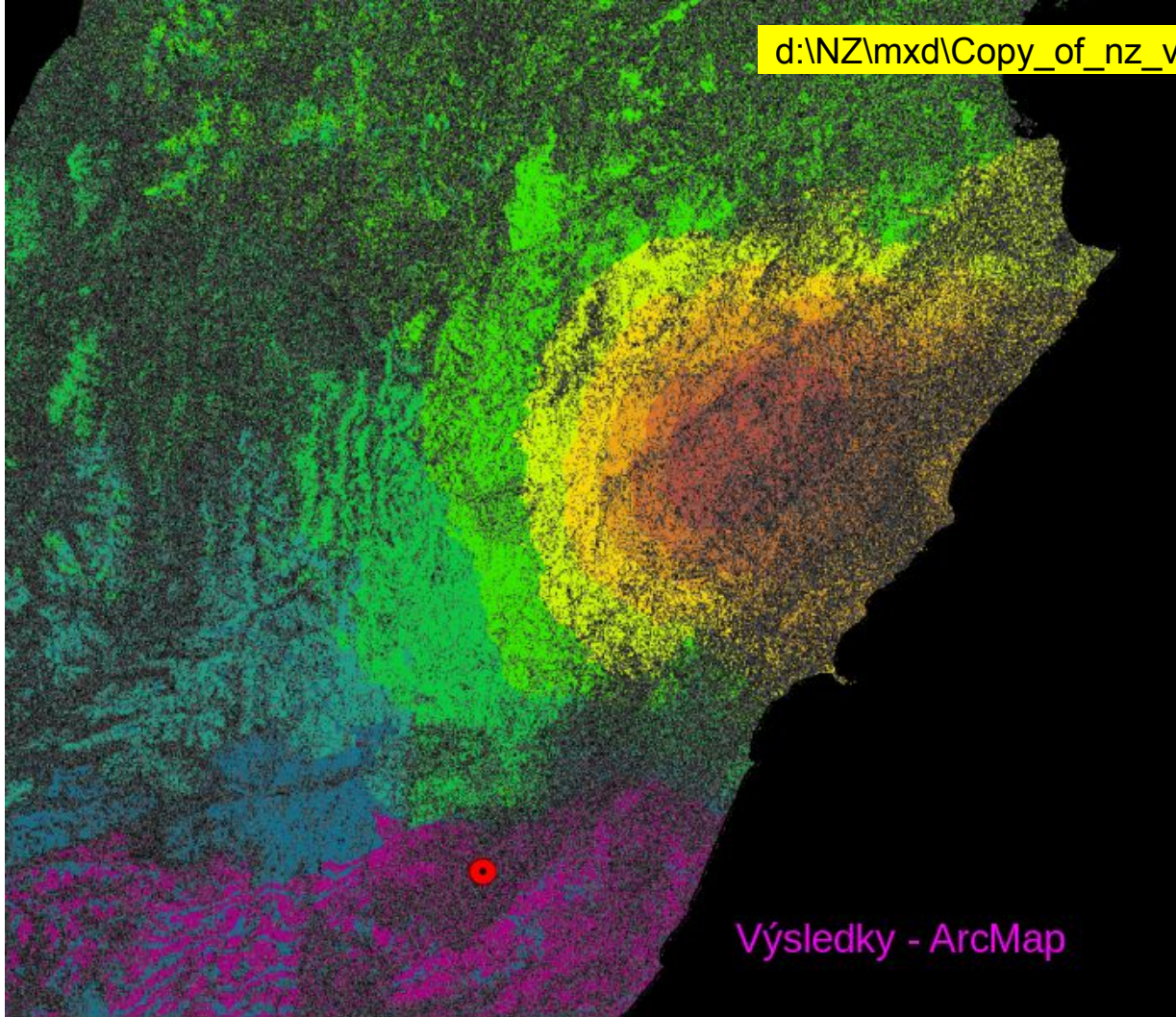
S1 TOPS Coregistration

- Zvolit master, slave
- zvlášť IW1, IW2, IW3
- Koregistrace zahrnuje stažení přesných informací o dané orbitě (precise orbit)
- Back Geocoding

Sentinel-1 Back Geocoding

This operator co-registers two S-1 SLC split products (master and slave) of the same sub-swath using the orbits of the two products and a Digital Elevation Model (DEM).

In resampling the slave images into master frame, deramp and demodulation are performed first to the slave image, then the truncated-sinc interpolation is performed. Finally, the reramp and remodulation are applied to the interpolated slave image.



Výsledky - ArcMap

D8 - příklad z ČR

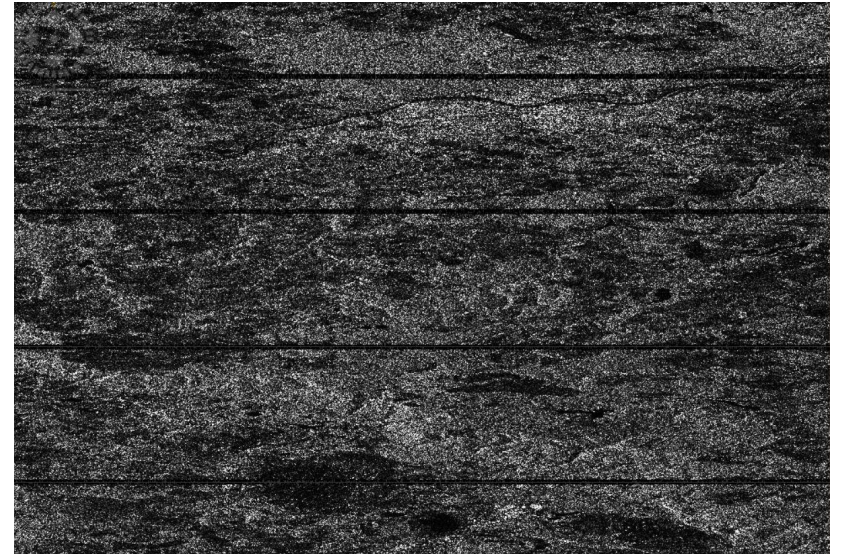
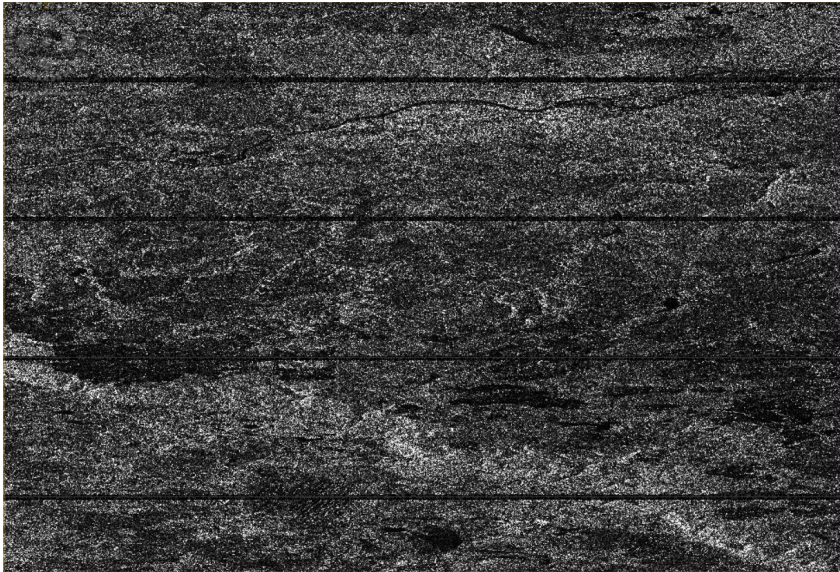
Sesuv - 7. června 2013



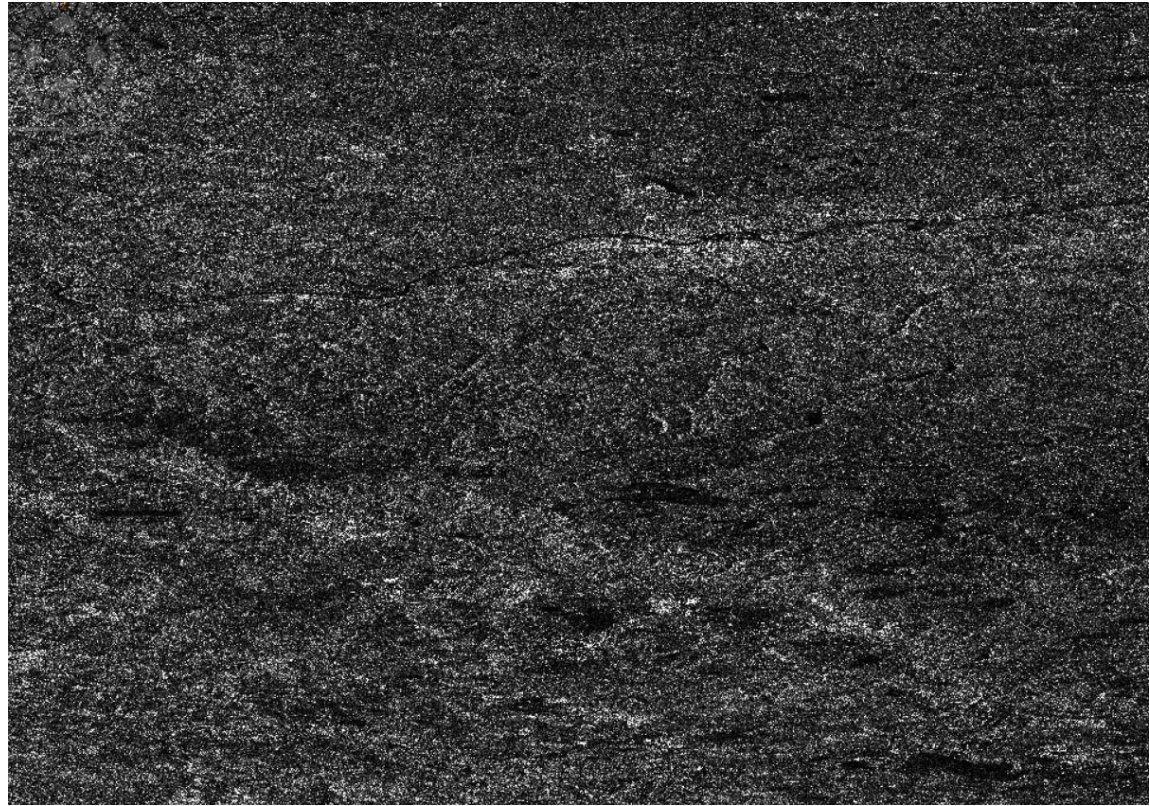
<https://www.denik.cz/galerie/foto.html?mm=litochovice-dalnice-u-kamenolomu-dobkovicky-sesuv-pudy&back=1508625958-36-1&photo=1>

Analýza vertikálních pohybů po sesuvu

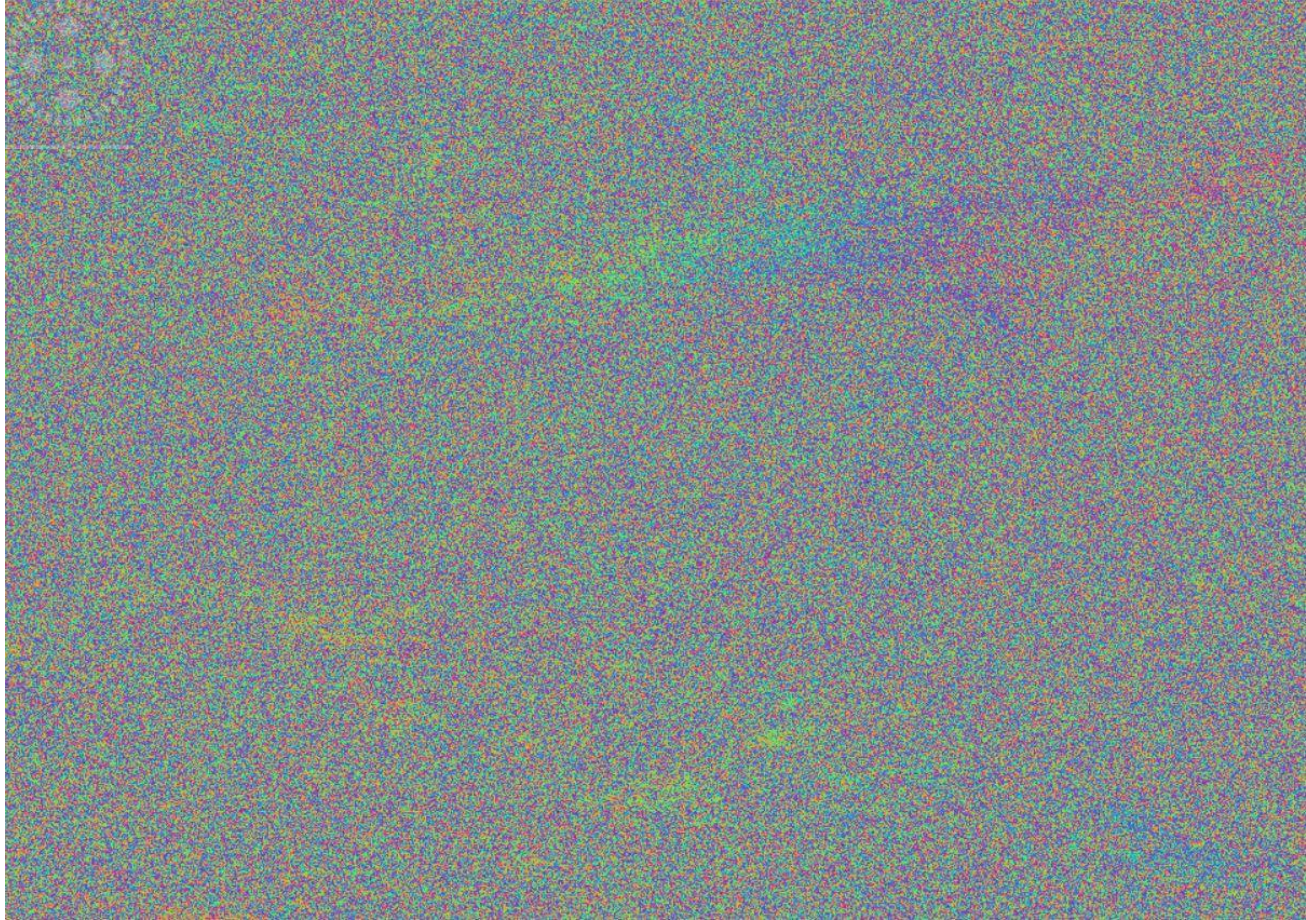
22.2. a 17.5. 2017, S-1, intensity images



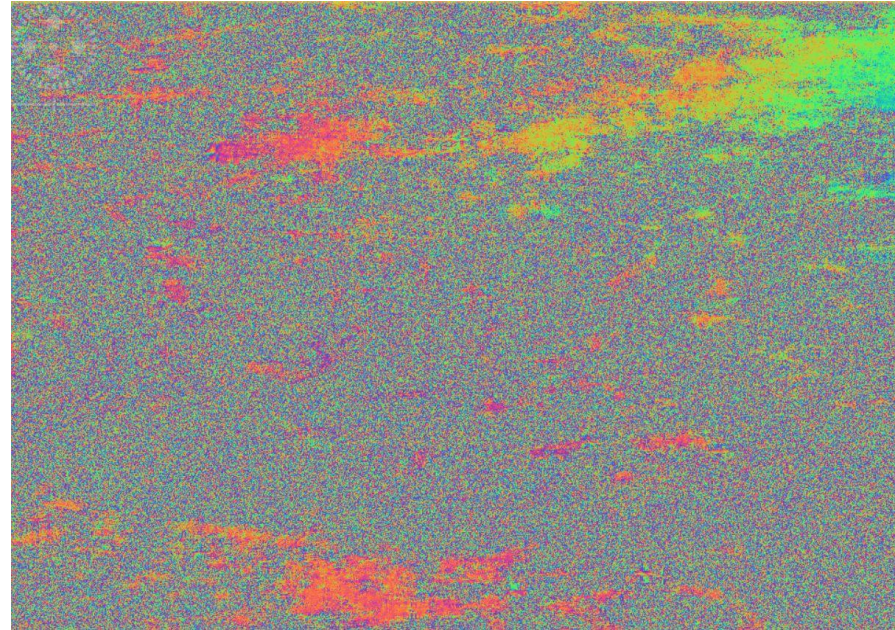
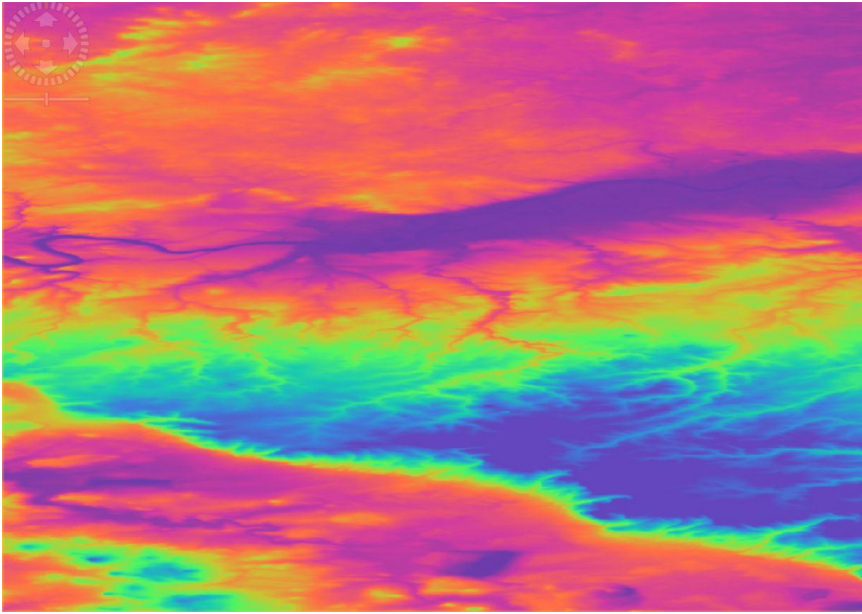
Deburst



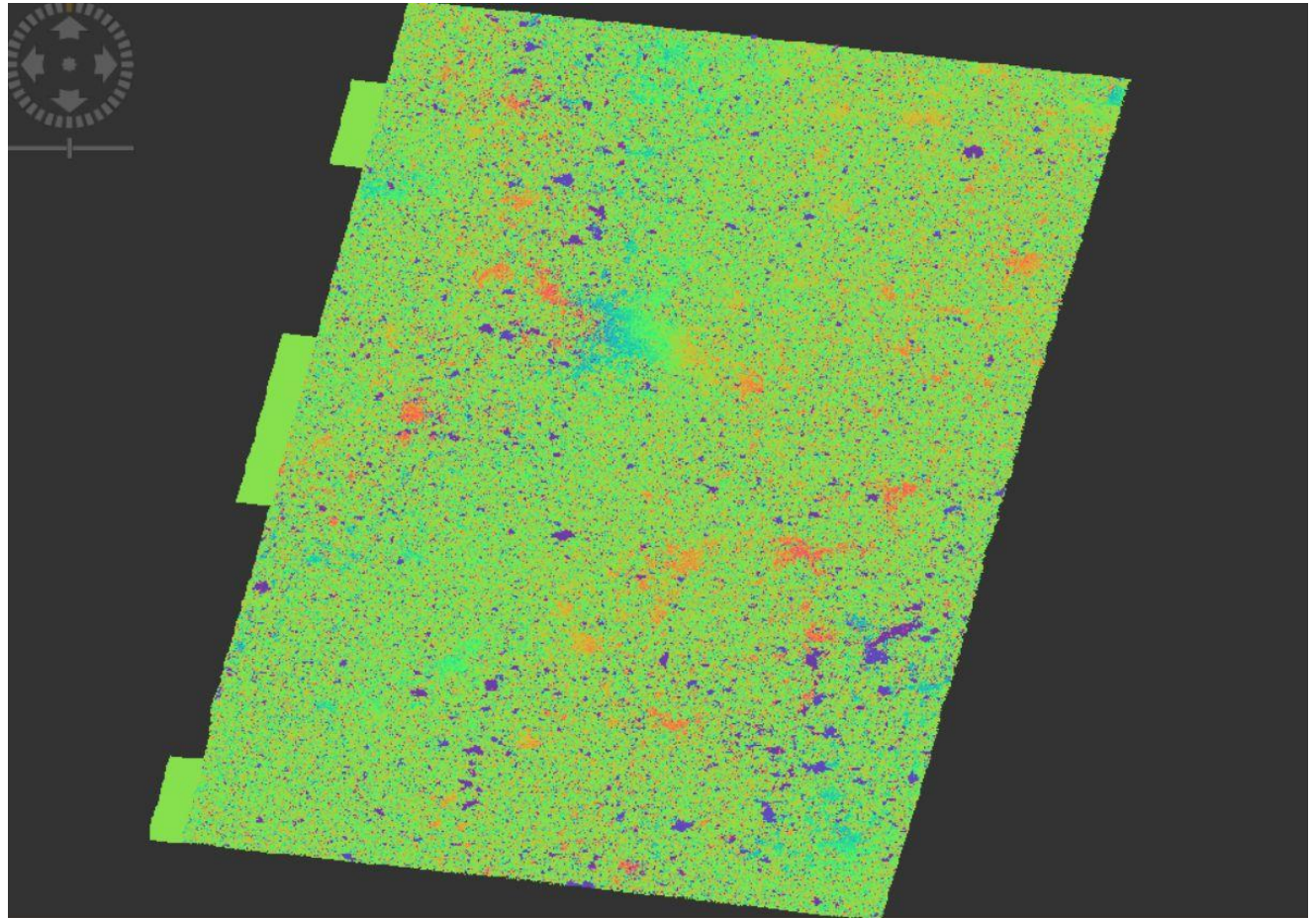
Interferogram



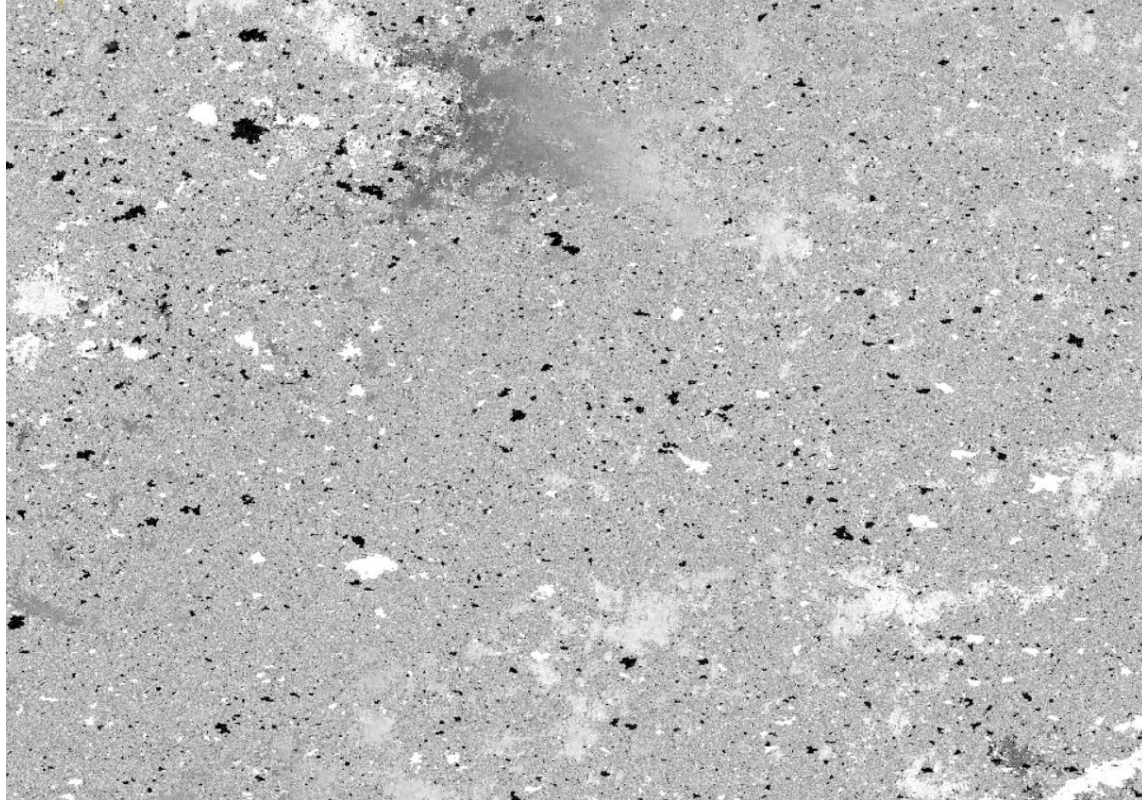
Topo-phase removal, Filtering



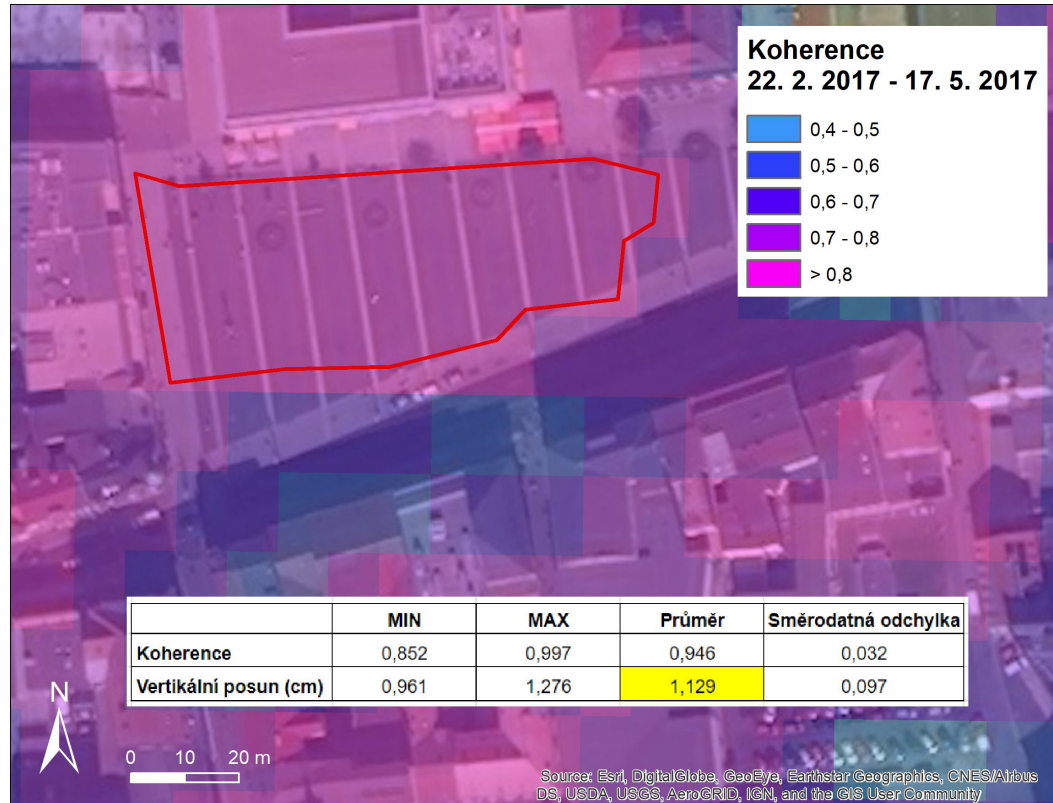
Phase Unwrapping



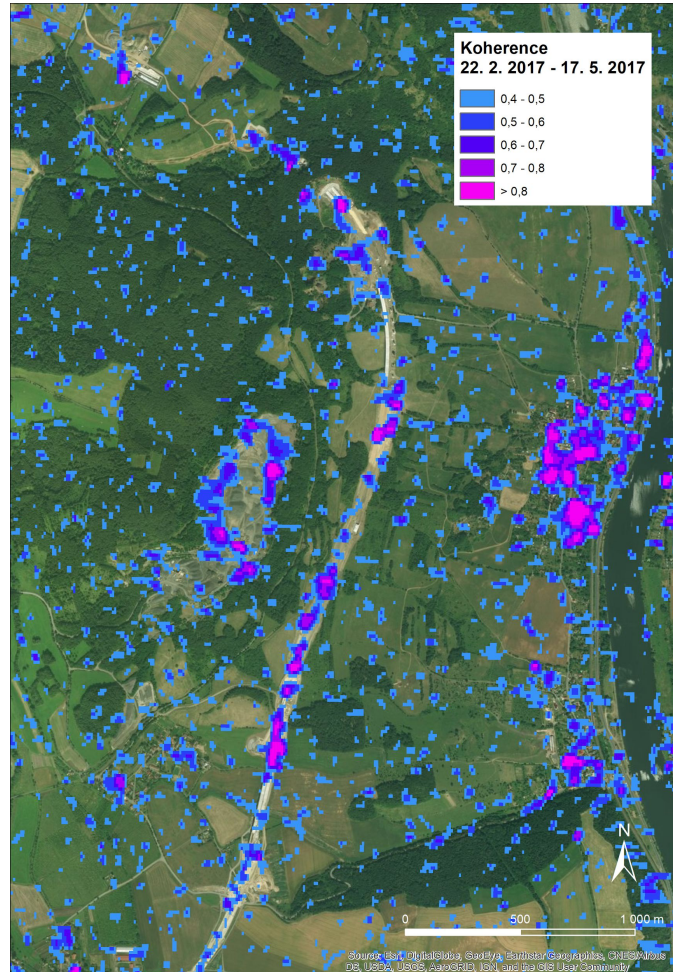
Výpočet vertikálního posunu



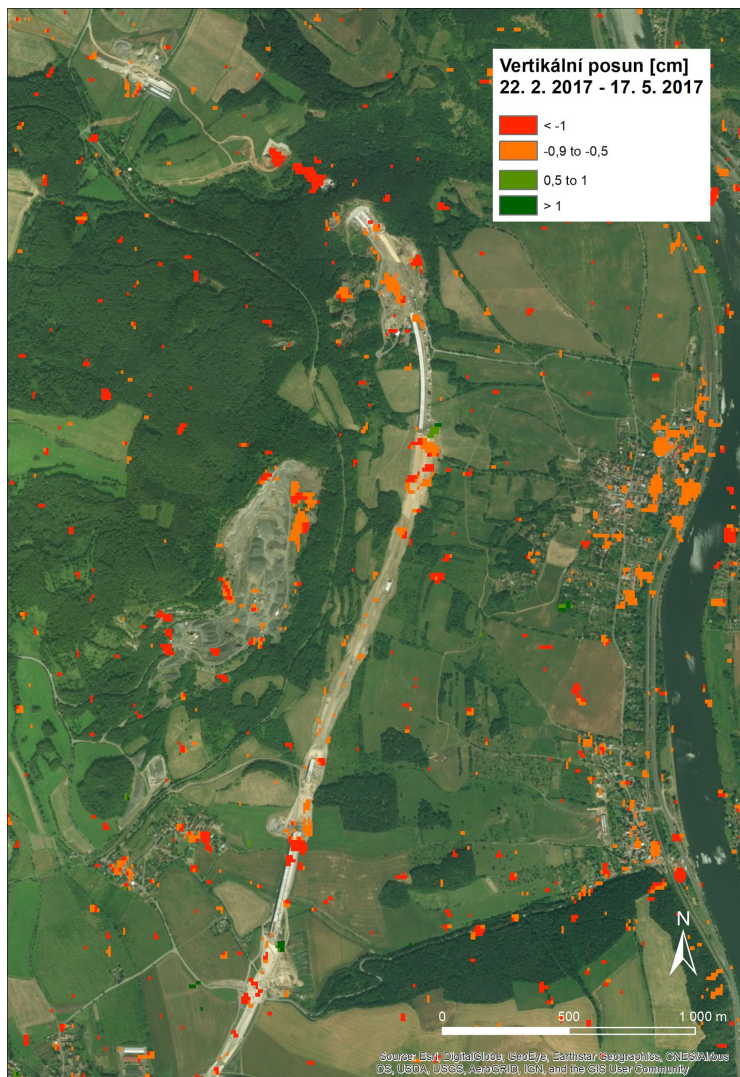
Výběr referenčního území, zjištění absolutního posunu



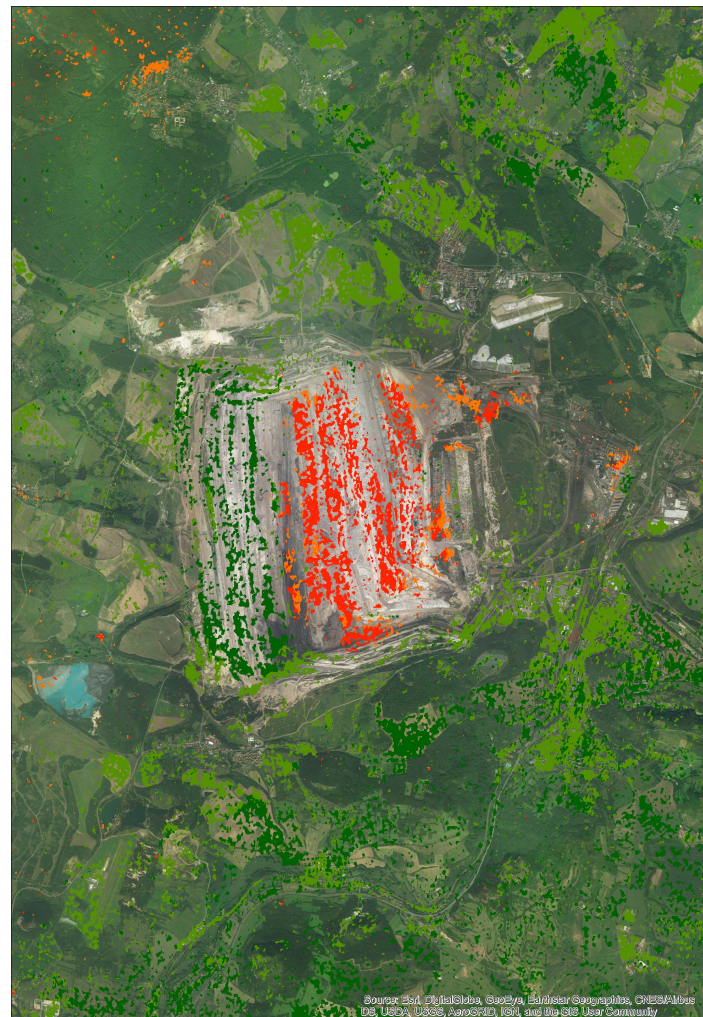
Koherence



Výsledná mapa vertikálního posunu



Iom Bílina



Offset tracking - mapování rychlosti pohybu ledovců

What is Offset Tracking?

Offset Tracking is a technique that measures feature motion between two images using patch intensity cross-correlation optimization. It is widely used in glacier motion estimation.

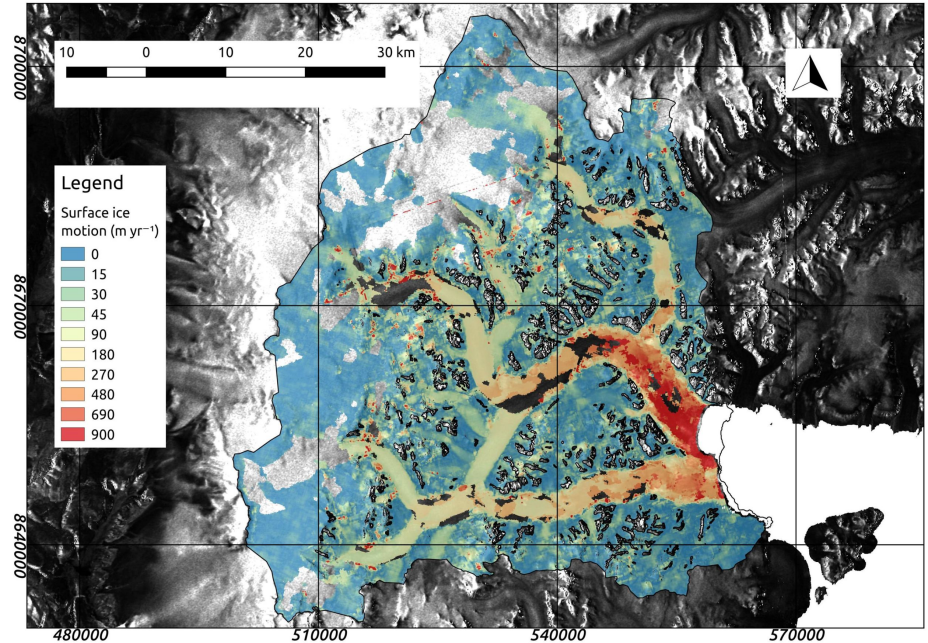
Offset Tracking

The Offset Tracking operator estimates the movement of glacier surfaces between master and slave images in both slant-range and azimuth direction. It performs cross-correlation on selected Ground Control Point (GCP) in master and slave images. Then the glacier velocities on the selected GCPs are computed based on the offsets estimated by the cross-correlation. Finally the glacier velocity map is generated through interpolation of the velocities computed on the GCP grid.


Glacier ice velocities for Trinity and Wykeham glaciers obtained using intensity offset tracking applied to ascending and descending passes. Velocities calculated from images acquired between 22 February and 12 March 2016. Velocity map overlaid on top of Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar (SAR) images acquired between 22 and 29 February 2016.

Sánchez-Gómez, P.; Navarro, F.J. Glacier Surface Velocity Retrieval Using D-InSAR and Offset Tracking Techniques Applied to Ascending and Descending Passes of Sentinel-1 Data for Southern Ellesmere Ice Caps, Canadian Arctic. *Remote Sens.* **2017**, *9*, 442.

<http://www.mdpi.com/2072-4292/9/5/442>



Offset tracking

- GRD data, obrazová korelace
- Zpřesnění informací z orbity: Apply Orbit File
 - Sentinel Precise
- Stack:
 - DEM Assisted Coregistration
- Výřez (spatial subset from view)  `d:\Offset_tracking\subset_Orb_Stack.dim`
- Radar → SAR Applications → Offset Tracking
- Vyzkoušet různá nastavení
- Existuje na to přímo S1TBX tutorial