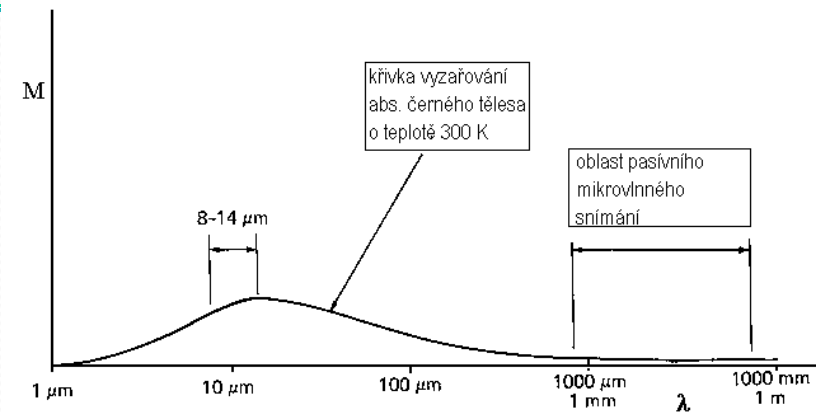


## **Dálkový průzkum země v mikrovlnné části spektra II**

**Pasivní mikrovlnné snímání, interferometrie,  
družicová altimetrie, laser scanning - LIDAR**

# Pasivní mikrovlnné snímání



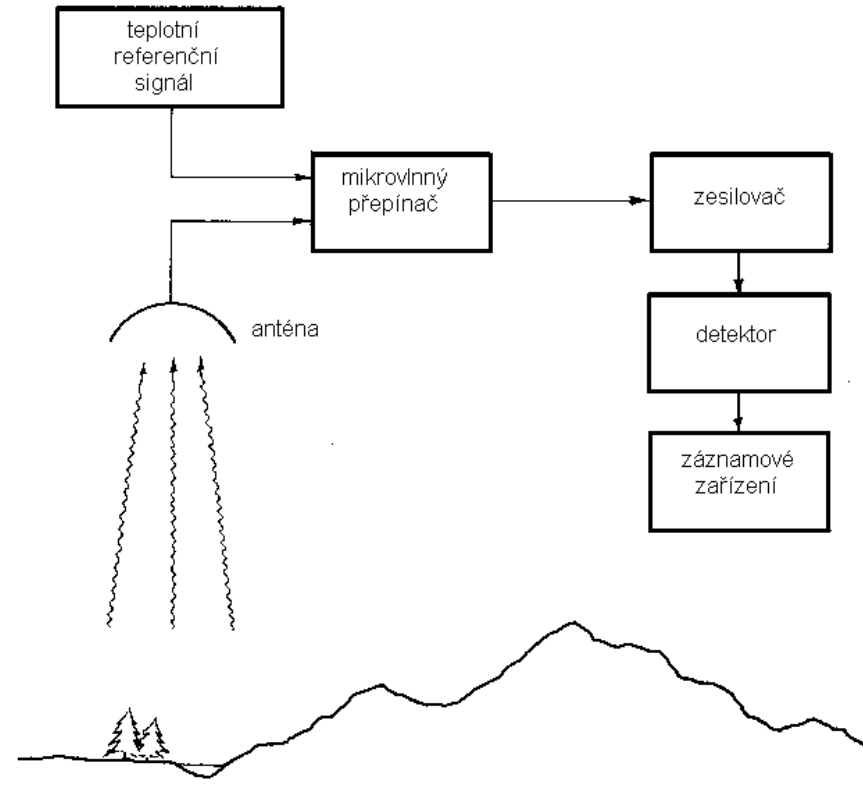
Těmito metodami je měřena přirozená dlouhovlnná energie vyzářená objekty na zemském povrchu.

Systemy pracují na stejném principu jako termální radiometry a skenery.

Intenzita naměřeného signálu závisí nejenom na teplotě a množství dopadajícího záření, ale také na jeho schopnosti vyzařovat, vést či odrážet (chemické, fyzikální, elektrické, geometrické vlastnosti povrchů) elm. energii – kombinace všech faktorů – má za následek, že měřený signál má vždy velký podíl šumu a jeho interpretace je obtížnější.

Výhodou je nezávislost na podmínkách počasí

# Princip mikrovlnného radiometru



- Systémy pracují na letadlech i družicích
- Mikrovlnný přijímač přepíná mezi anténou a kalibračním teplotním signálem – z rozdílu vzniká záznam

# Využití metod pasivního mikrovlnného snímání

- měření teplotních profilů atmosférou
- zjišťování charakteristik svrchní vrstvy půdy
- mapování teploty půdy a půdní vlhkosti
- studium minerálního obsahu půd
- mapování rozsahu mořského ledu
- mapování rozsahu a mocnosti sněhové pokrývky
- zjišťování průběhu tání sněhu
- studium charakteristik mořských proudů
- mapování směru a rychlosti větru
- detekce ropného znečištění

# Družicové systémy využívající metod pasivního mikrovlnného snímání

**Družice NIMBUS 5, ESMR** (období 1972 - 1976)

Jednokanálový radiometr pracující na vlnové délce 1,55 cm.

**Družice NIMBUS 7, SMMR** (říjen 1978 - srpen 1987)

Pětikanálový mikrovlnný radiometr pracující s vertikální i horizontální polarizací. Použité vlnové délky: 0,81, 1,36, 1,66, 2,80, 4,54 cm

**Družice DMSP, SMMI** (červen 1987 - souč.)

Desetikanálový mikrovlnný radiometr

**GCOM W1, 2012** (z anglického *Global Change Observation Mission Water Satellite*, japonsky pojmenovaný jako *SHIZUKU*), klimatologická družice o hmotnosti 1900 kg, vybavená pokročilým skenujícím radiometrem AMSR2 (z angl. *Advanced Microwave Scanning Radiometer 2*), 6 vlnových délek (frekvencí)

## Monitorování rozsahu mořského ledu

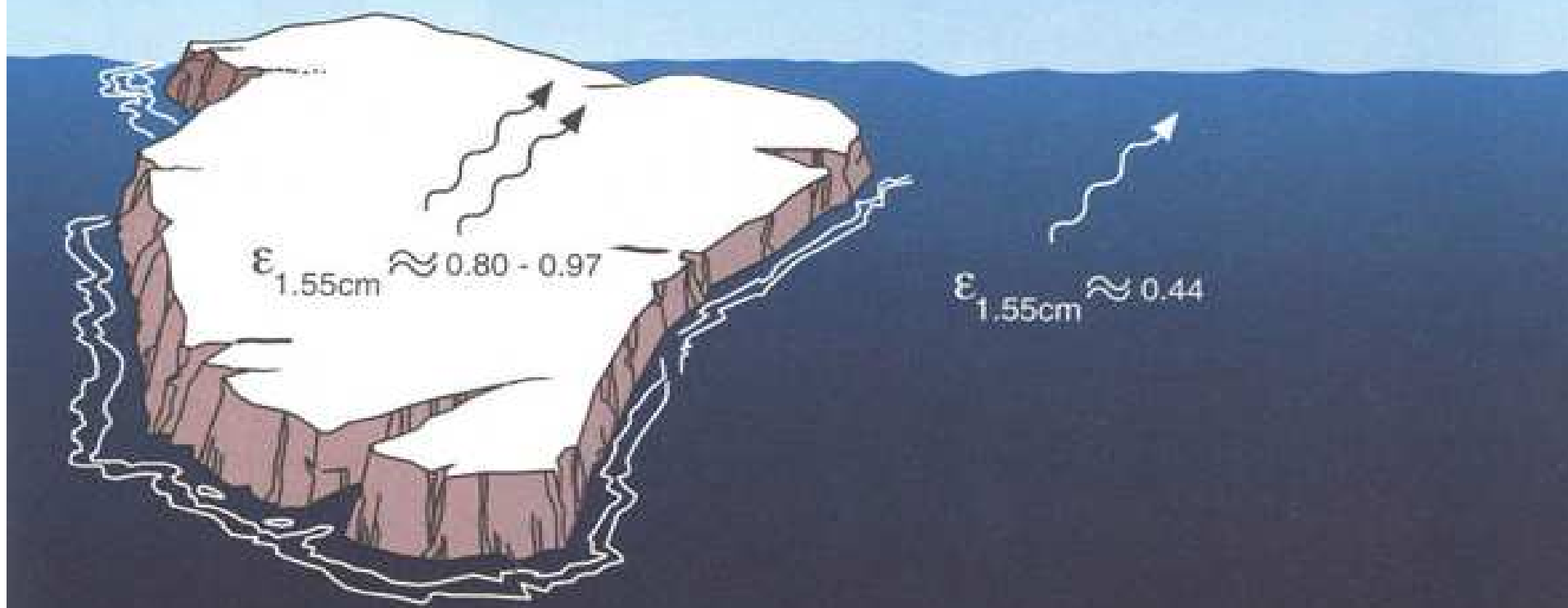
Mapování je založeno na **měření jasové teploty** v oblasti mikrovln a na **rozdílné emisivitě volné mořské hladiny a mořského ledu**.

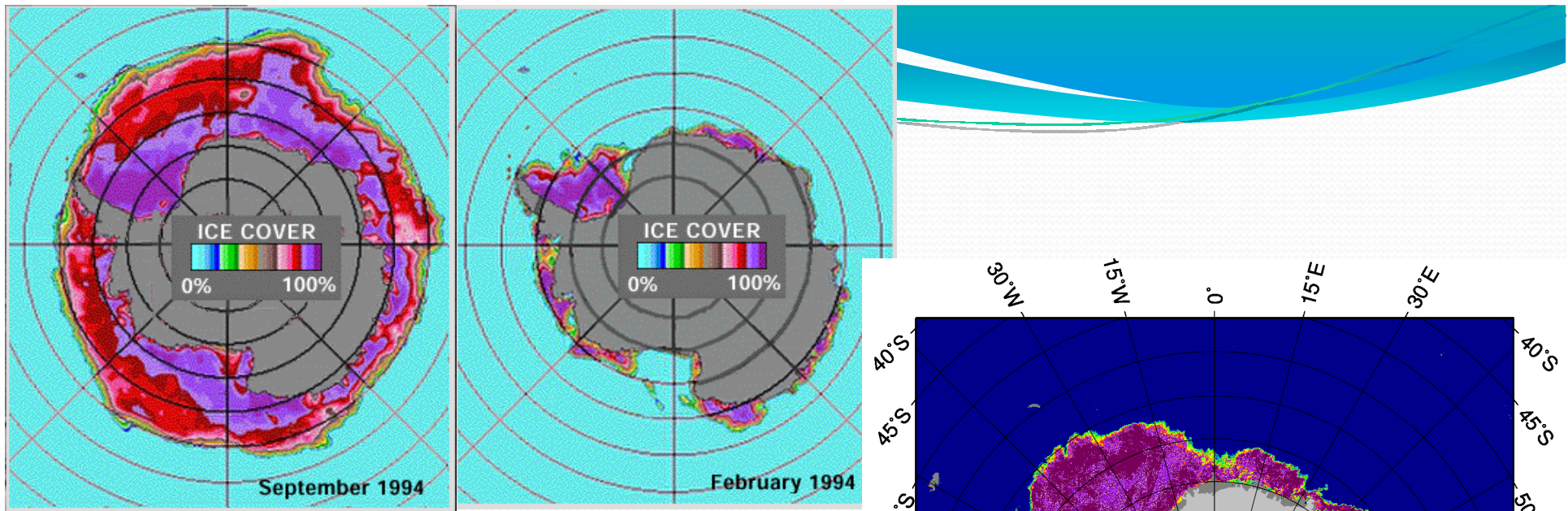
Např. na vlnové délce 1,55 cm je emisivita mořského ledu vysoká (0,80-0,97), avšak emisivita volné mořské hladiny je pouze 0,44.

Výrazně vyšší emisivita mořského ledu převažuje skutečnost, že led je chladnější než voda a tedy jeho jasová teplota by měla být nižší.

Jasová teplota mořského ledu nabývá hodnot vyšších než 190 K, jasová teplota mořské vodní hladiny je většinou nižší než 160 K.

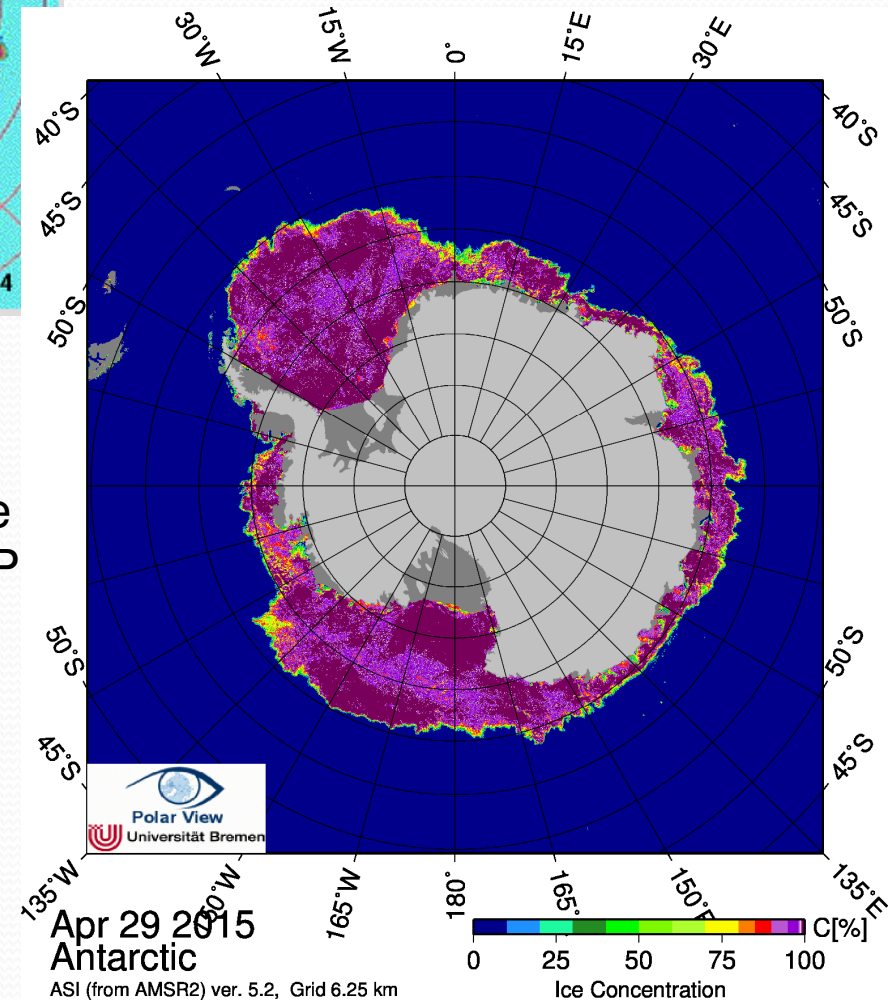
# Princip mapování charakteristik mořského ledu mikrovlnným radiometrem





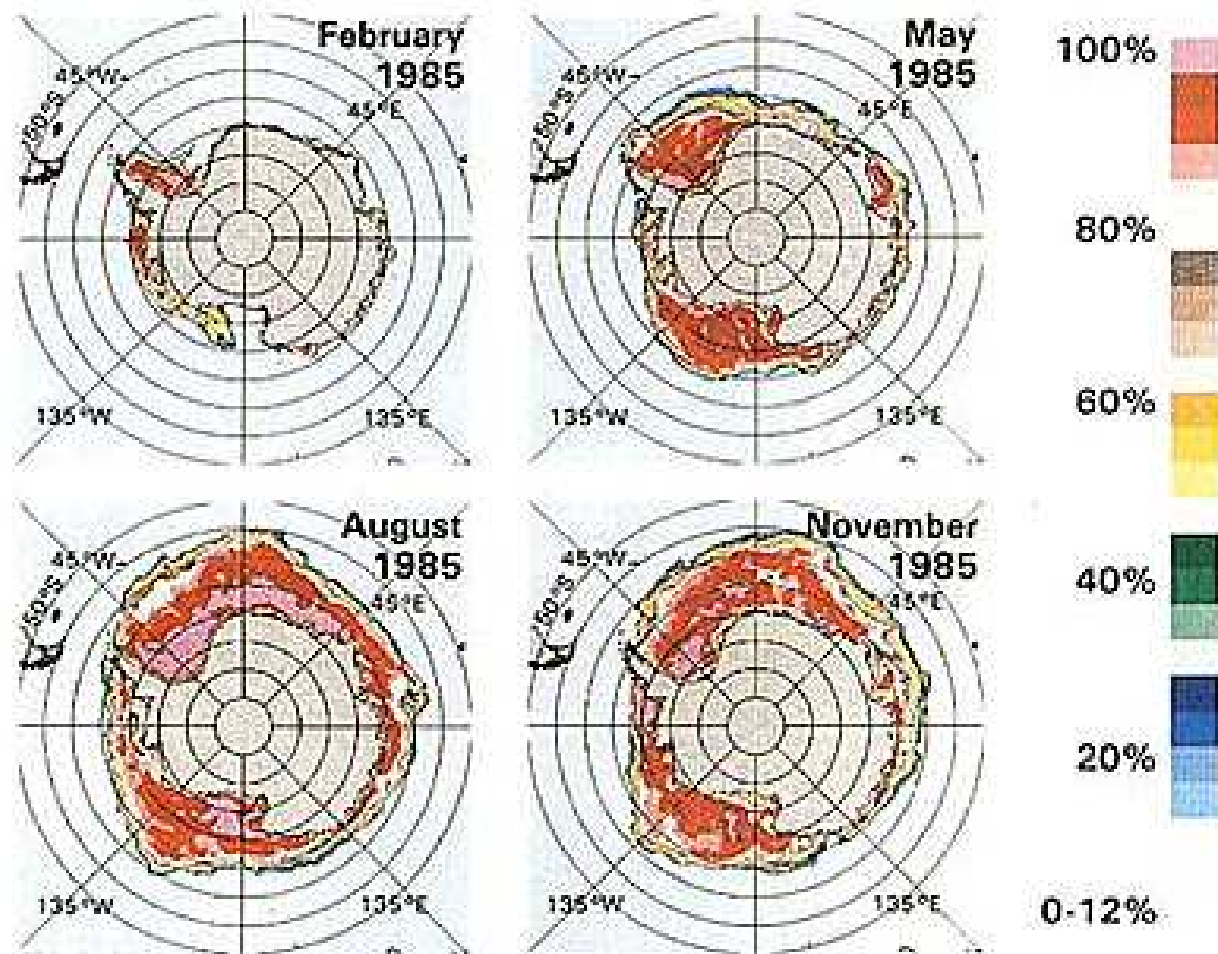
Mapy průměrné koncentrace mořského ledu v oblasti Antarktidy v září (maximální rozsah) a v únoru (minimální rozsah v ročním chodu) v roce 1994. Mapy sestaveny ze snímků družice DMSP s mikrovlnným radiometrem SSM/I

Archiv:  
<http://iup.physik.uni-bremen.de:8084/ssmis/archivebrowse.php?sensor=A>  
 MSR2



zdroj: <http://iup.physik.uni-bremen.de:8084/amr2/>





**Mapy rozsahu mořského ledu v oblasti Antarktidy v r. 1985 sestavené z dat pořízených mikrovlnným radiometrem SMMR na družici Nimbus 7.**

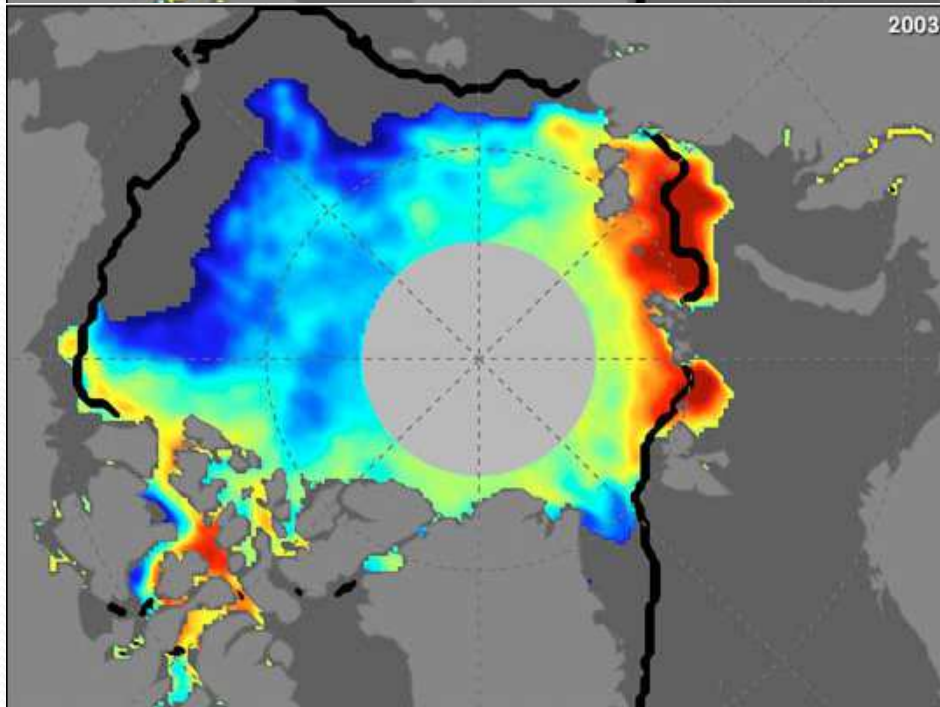
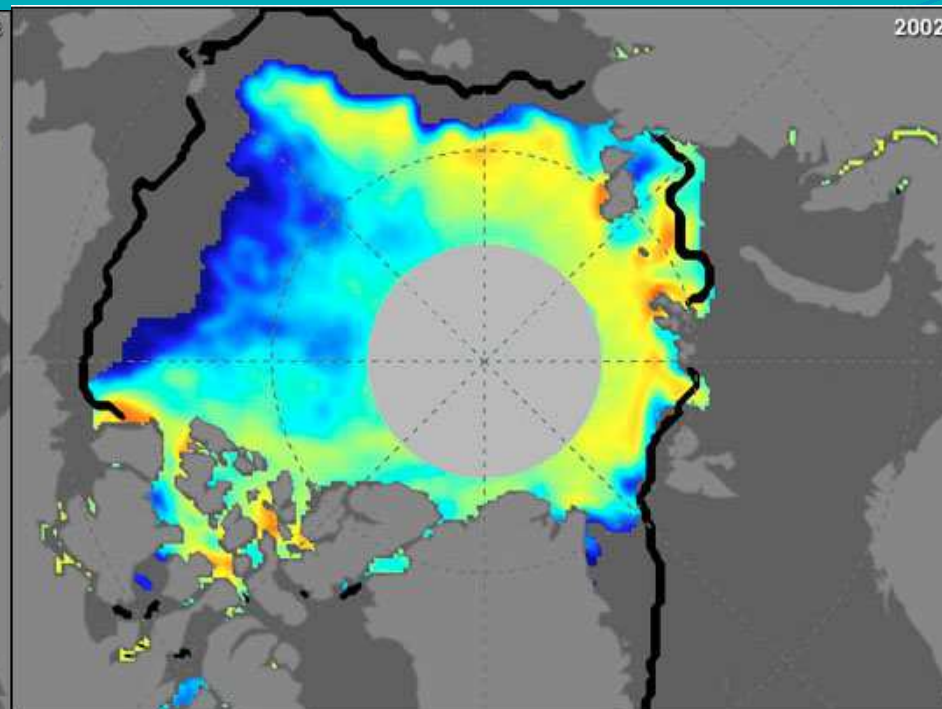
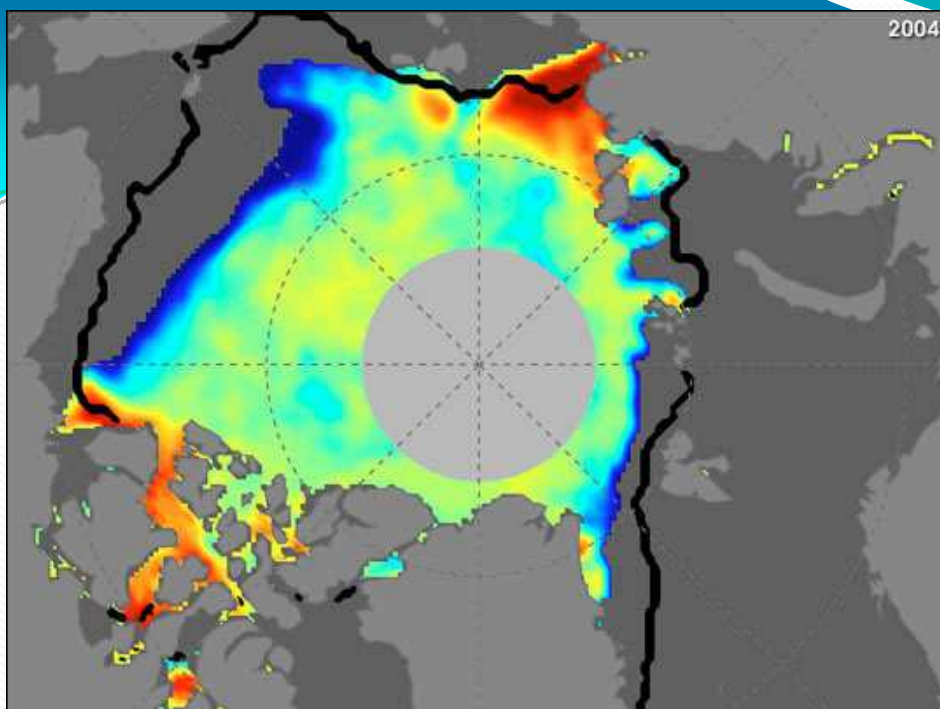
## Monitorování rozsahu mořského ledu

Použité algoritmy poskytují nesprávné hodnoty o rozsahu ledu podél pobřeží v důsledku tzv. smíšených pixelů.

Tento efekt se označuje jako "**land contamination**" - jasová teplota smíšených pixelů má hodnoty blízké hodnotám mořského ledu.

Uvedený efekt lze potlačit použitím map SST.

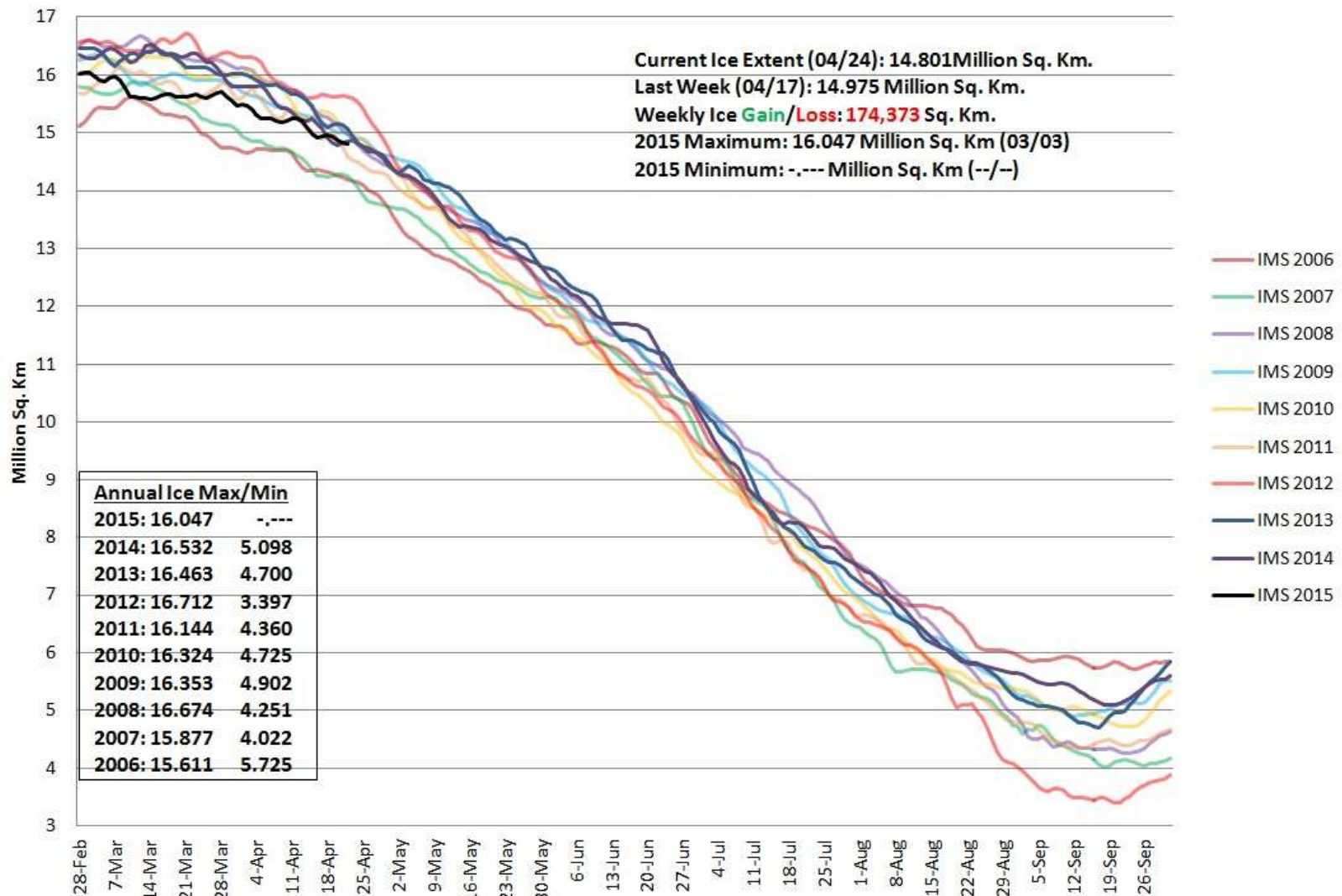
Vedle rozsahu mořského ledu lze zjišťovat i jeho koncentraci (procento pokrytí) a ze série map též charakteristiky pohybu.



**Mapování  
zmenšujícího se  
rozsahu arktického  
zalednění  
2002 - 2004**

## IMS Total Ice

3-Day Mean



**Vývoj rozsahu mořského ledu na severní polokouli**

**zdroj: <http://www.natice.noaa.gov/ims/>**

## Monitorování rozsahu sněhové pokrývky

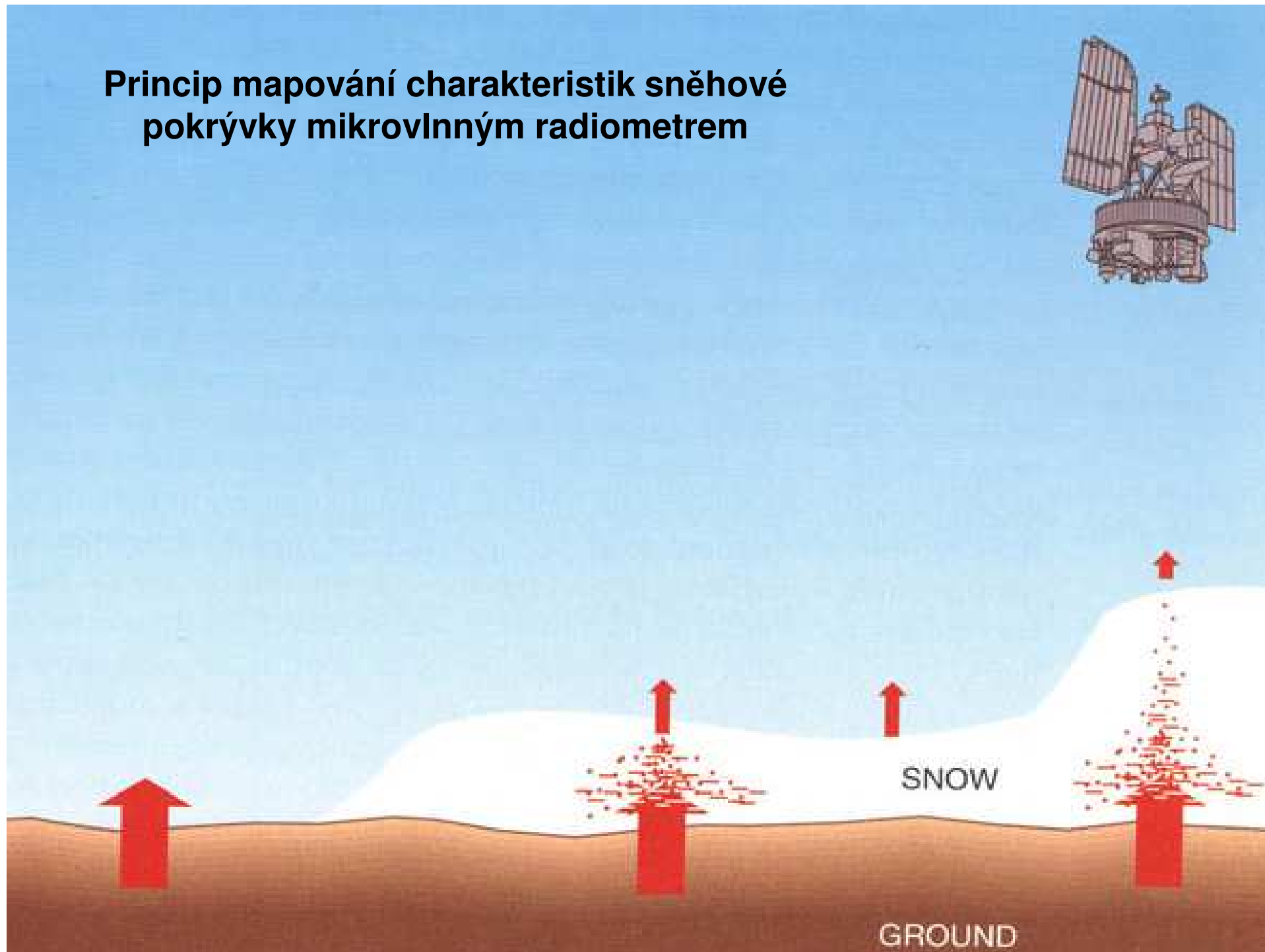
Rozsah sněhové pokrývky je monitorován na snímcích družic NOAA využívajících optické (viditelné a infračervené) části spektra od r. 1966. Řady map jsou k dispozici s týdenním rozlišením.

Snímky z optické části spektra jsou degradovány oblačností, nelze je pořizovat v době polární noci, neposkytují informace o mocnosti sněhové pokrývky, pouze o jejím rozsahu.

Princip pasivního mikrovlnného snímání spočívá v přímé závislosti mezi mocností sněhové pokrývky a pohlcováním dlouhovlnného záření.

Jasová teplota měřená mikrovlnným radiometrem je nepřímo úměrná mocnosti sněhové pokrývky.

# Princip mapování charakteristik sněhové pokrývky mikrovlnným radiometrem



## Monitorování rozsahu sněhové pokrývky

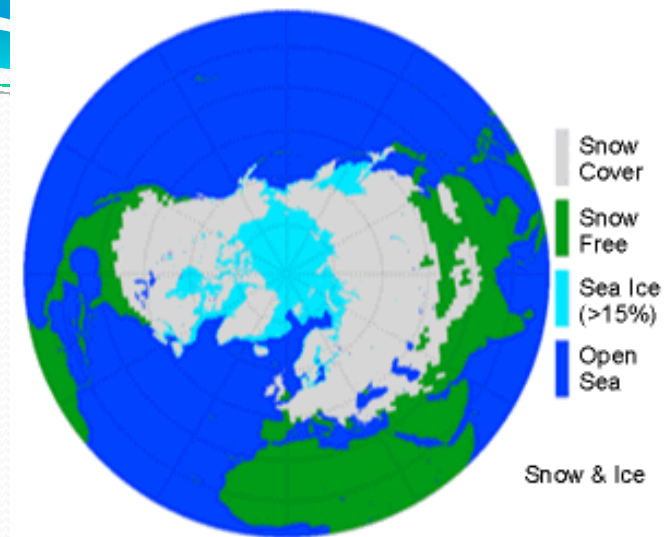
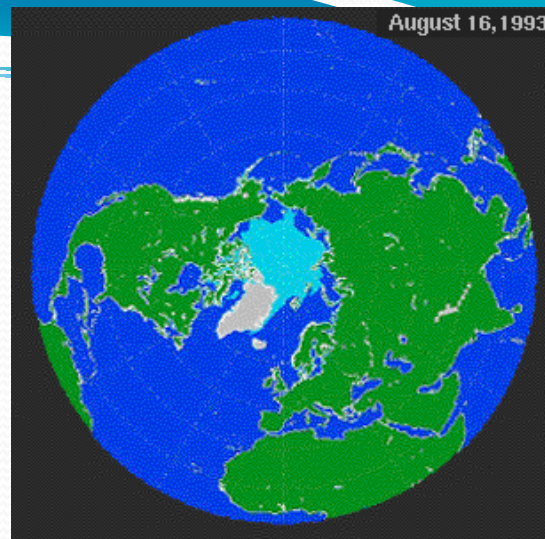
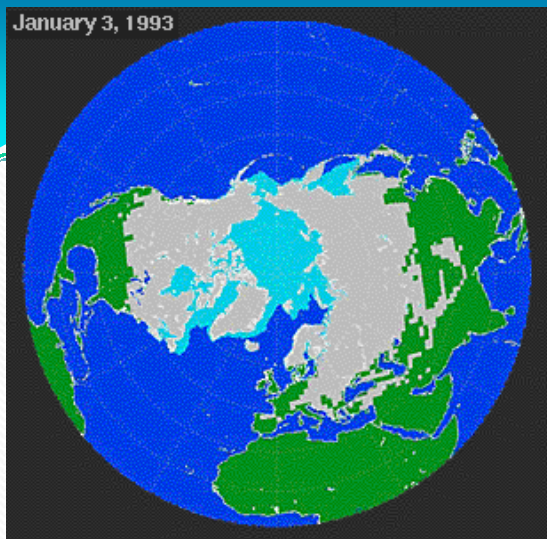
Většina algoritmů používaných pro sestavování map rozsahu a mocnosti sněhové pokrývky je založena na empirických vztazích.

Snímky z radiometru SMMR na družici Nimbus zaznamenávají jasovou teplotu na frekvenci 18 GHz a 37 GHz.

Sněhová pokrývka absorbuje méně záření na nižší frekvenci. Čím mocnější bude sněhová pokrývka, tím větší bude rozdíl jasových teplot 18 a 37 GHz.

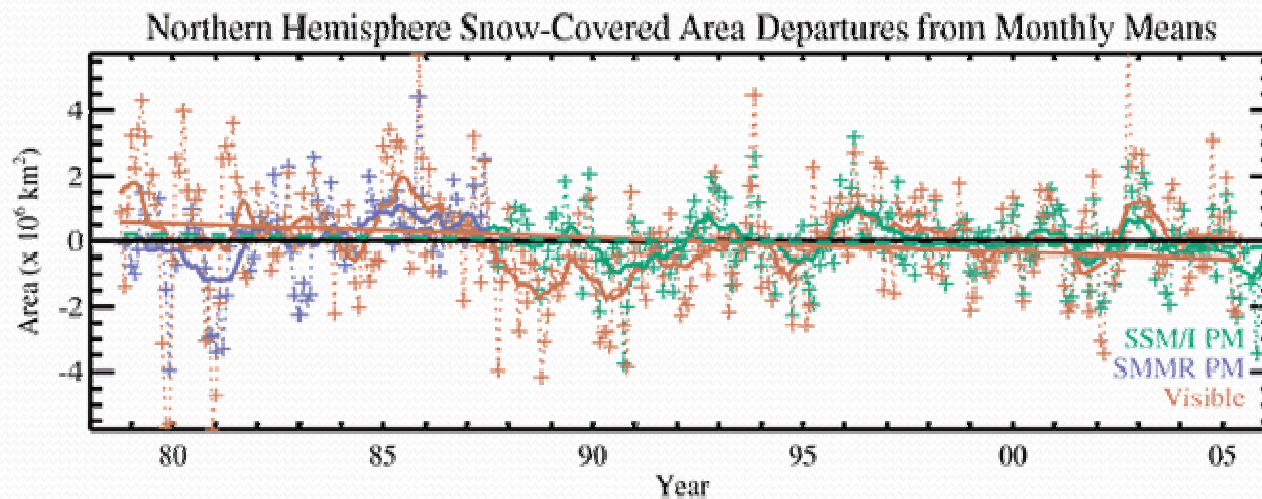
Mapuje sněhovou pokrývku o mocnosti 5-70 cm – oproti reálným podmínkám tedy podhodnocuje rozsah sněhové pokrývky.

Nelze využít na mapování sněhu, který se nachází na ledovcovém příkrovu (Grónsko, Antarktida).



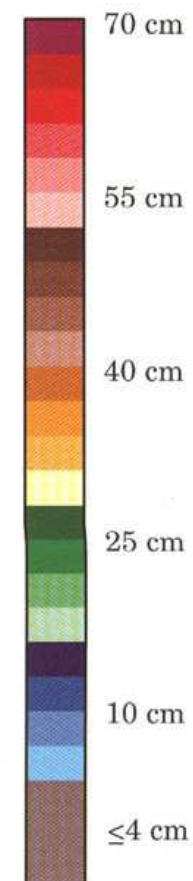
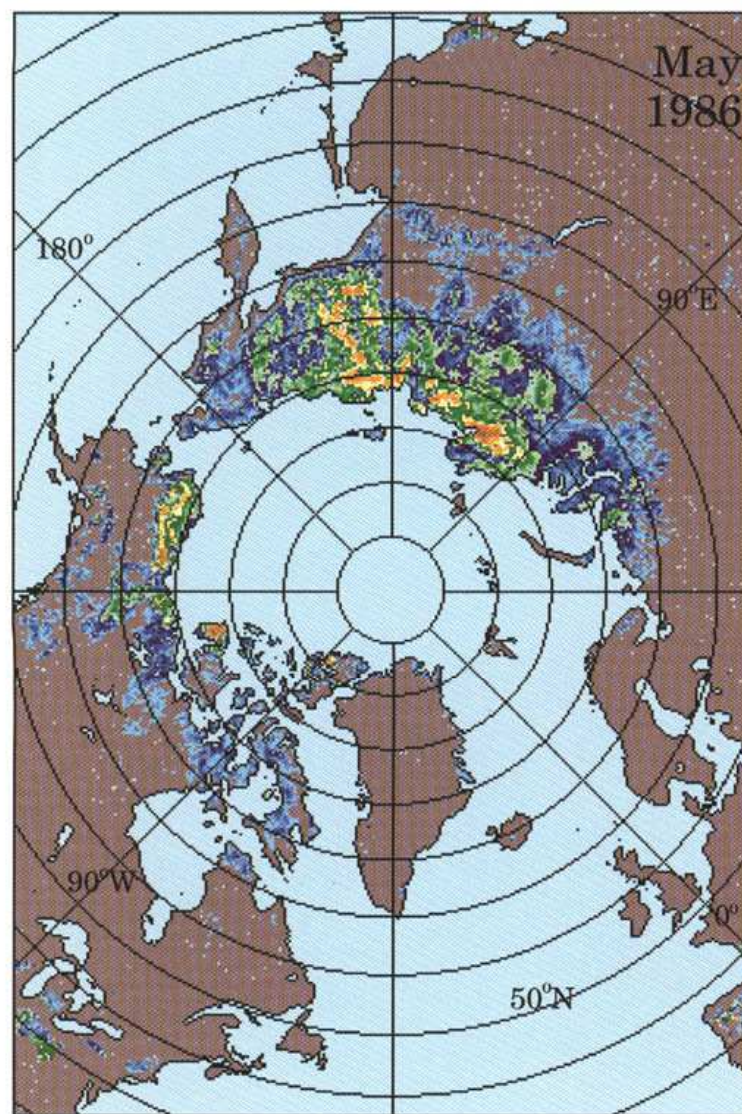
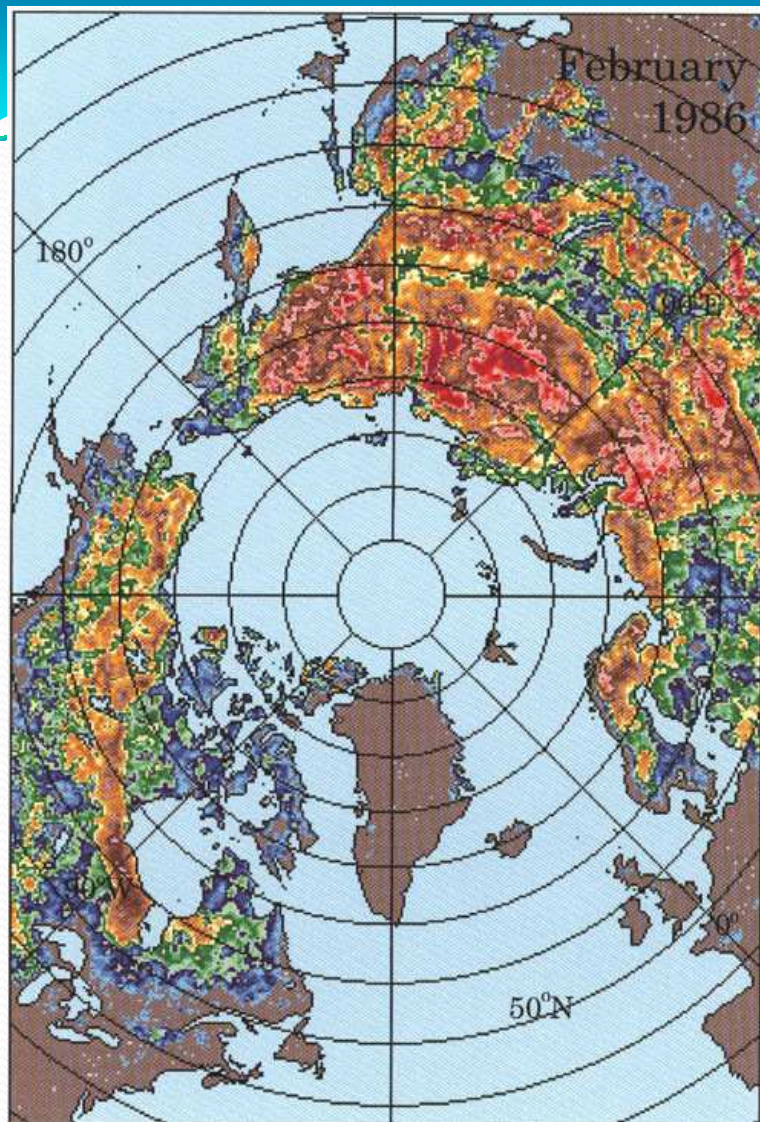
Rozsah sněžové pokrývky v lednu a srpnu 1993, družice DMSP

Maximální rozsah (8-14. 1.1979)

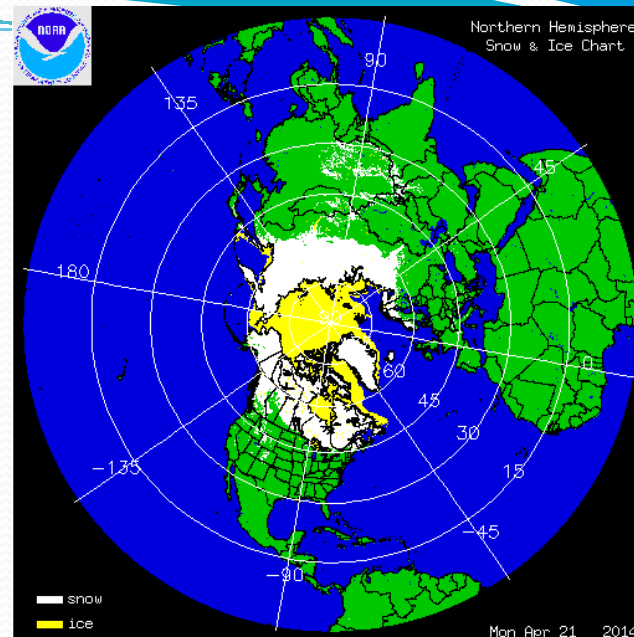
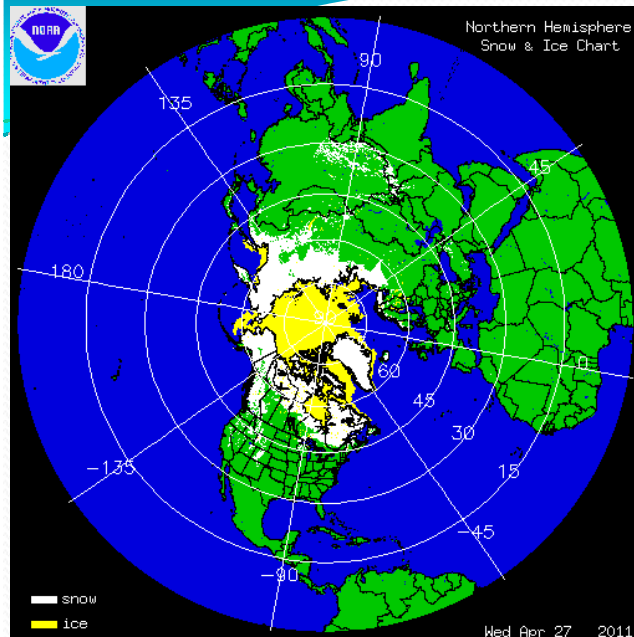


[http://nsidc.org/cryosphere/sotc/snow\\_extent.html](http://nsidc.org/cryosphere/sotc/snow_extent.html)

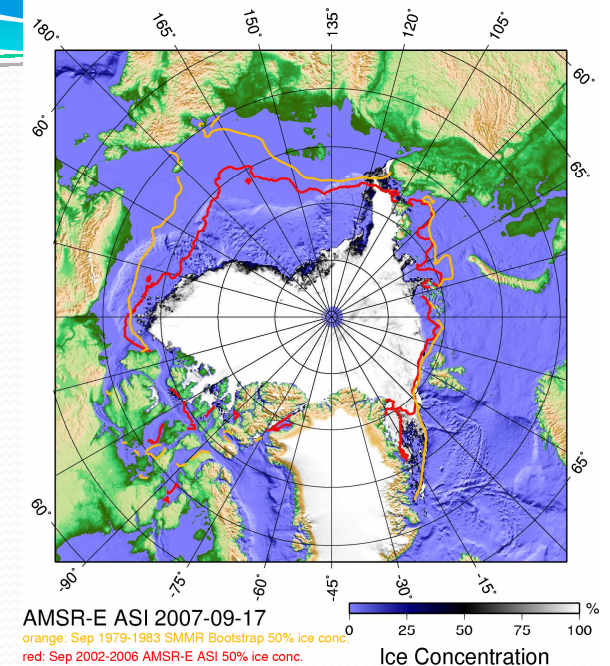




**Rozsah a výška sněhové pokrývky v únoru a květnu roku 1986 (max a min v ročním chodu), mapy sestaveny ze snímků družice NIMBUS**

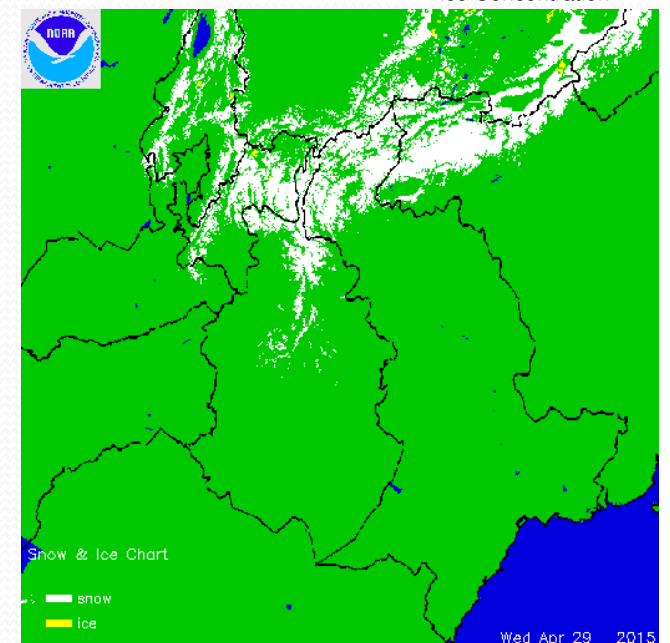


2007 Minimum Sea Ice Extent

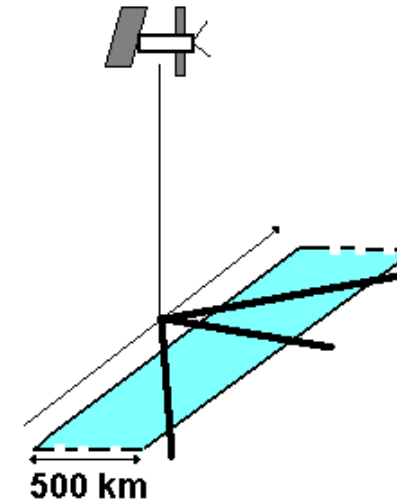


**Rozsah sněhové pokrývky a mořského ledu na severní polokouli (nahore duben 2011 a 2014) a současný rozsah sněhové pokrývky v oblasti Afghánistánu (vpravo)**

**Zdroj:** <http://www.natice.noaa.gov/ims/>



## Rozptyloměr (Skaterometr)



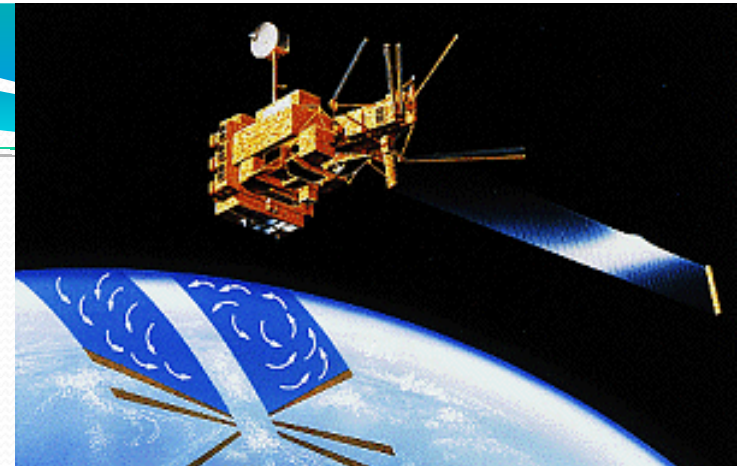
Měření je založeno na kvantifikaci rozptylu intenzivního mikrovlnného signálu odraženého od zemského povrchu.

Nad hladinou oceánu je rozptyl způsoben především vlněním a je úměrný směru a rychlosti větru

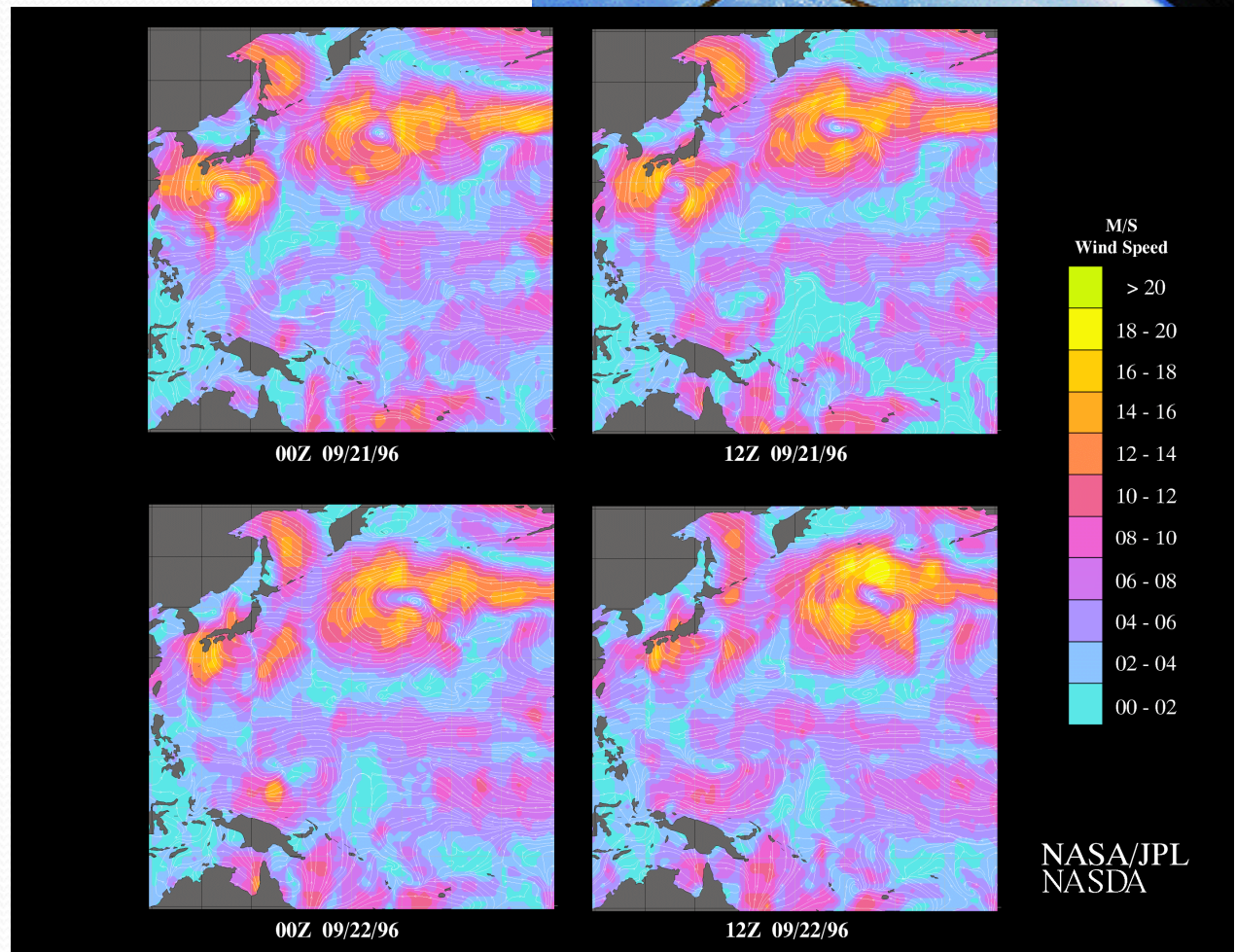
Pracuje s hrubým prostorovým rozlišením (cca 45 km) což omezuje jeho použití na mapování v regionálním a globálním měřítku

# Využití rozptyloměru

- Studium charakteristik pole větru
- Mapování vlhkosti půdy
- Studium dynamiky permafrostu



NASA Scatterometer  
(NSCAT) družice ADEOS  
tajfuny Violet a Tom (1996)  
u japonských ostrovů  
zdroj:  
[http://www.eorc.jaxa.jp/en/hatoiyama/satellite/firstimage/nscat\\_first\\_e.html](http://www.eorc.jaxa.jp/en/hatoiyama/satellite/firstimage/nscat_first_e.html)

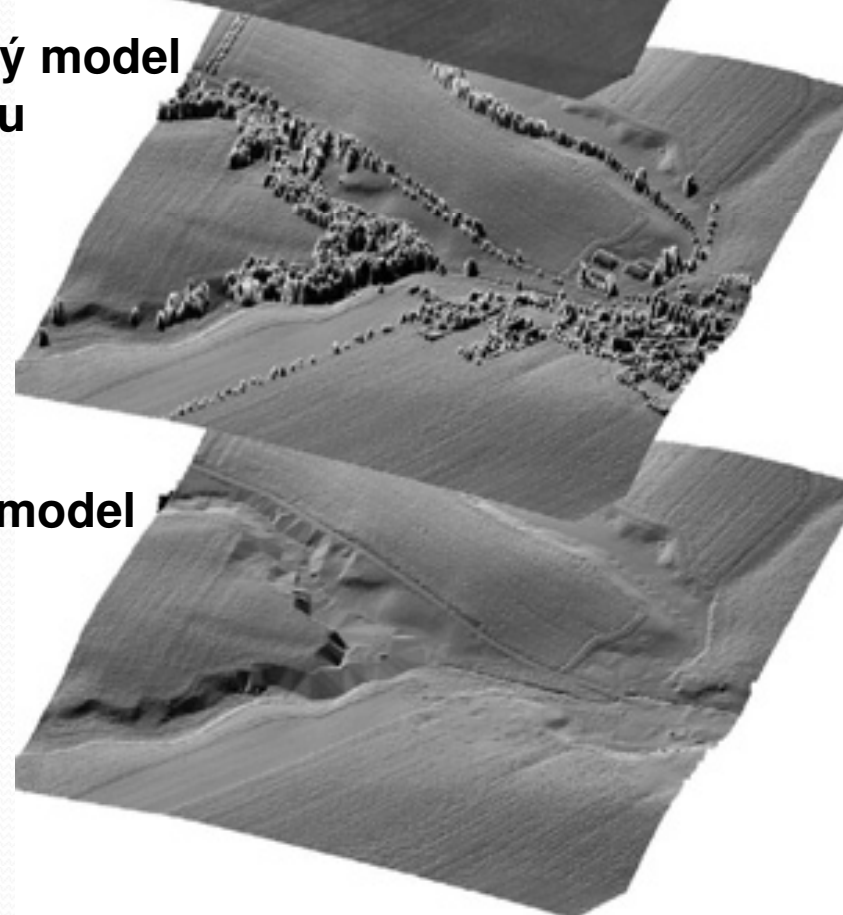


# Měření výškových poměrů aktivními metodami DPZ

výškový model povrchu



výškový model terénu



# Interferometrie

Metoda přesných výškových měření na základě rozdílů ve fázi dvou radarových signálů získaných z odlišné pozice

Rozdíl (interference) fází je nositelem informace o výšce daného místa.

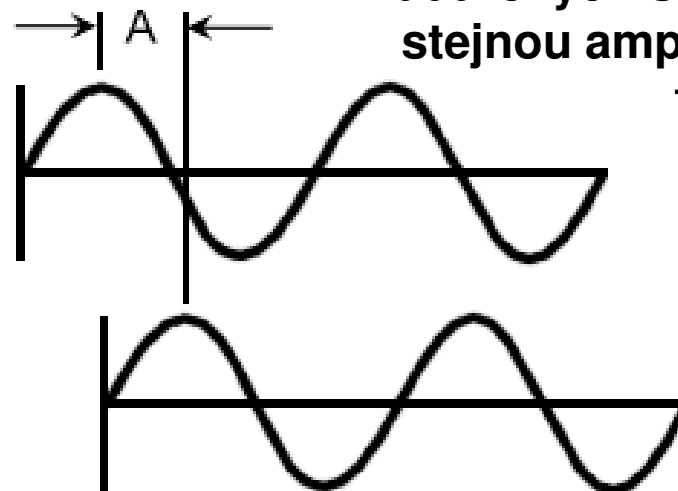
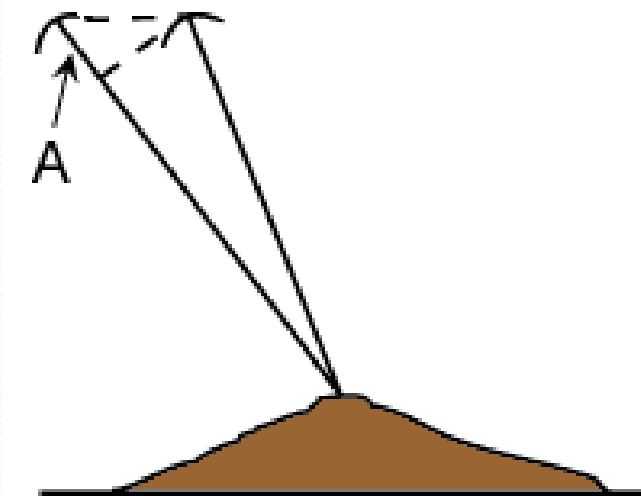
Zpracováním hodnot korespondujících obrazových prvků z obou radarových snímků se vytváří tzv. **interferogram**. Z něj lze zjistit relativní výškové rozdíly bodů na snímcích.

Využitím vlíčovacích bodů lze relativní hodnoty převést na hodnoty absolutní.

Přesnost interferometrie je v řádu použitých vlnových délek – tedy v centimetrech.

# Princip interferometrie

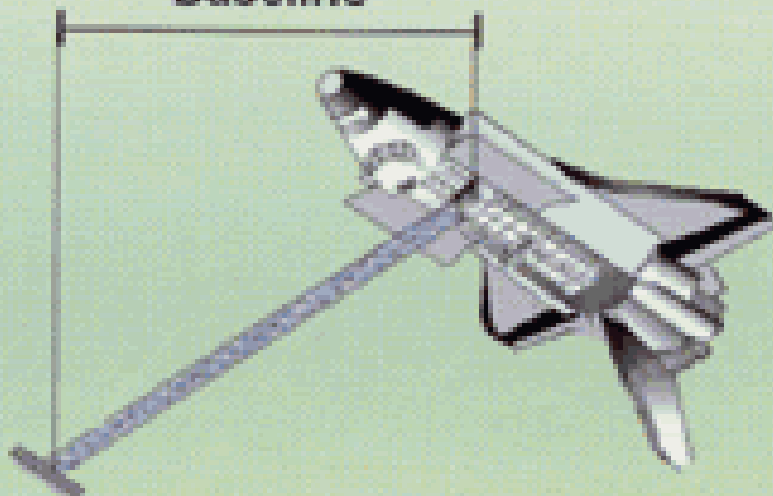
Rozdíl ve fázi ( $A$ ) dvou radarových signálů se stejnou amplitudou a frekvencí



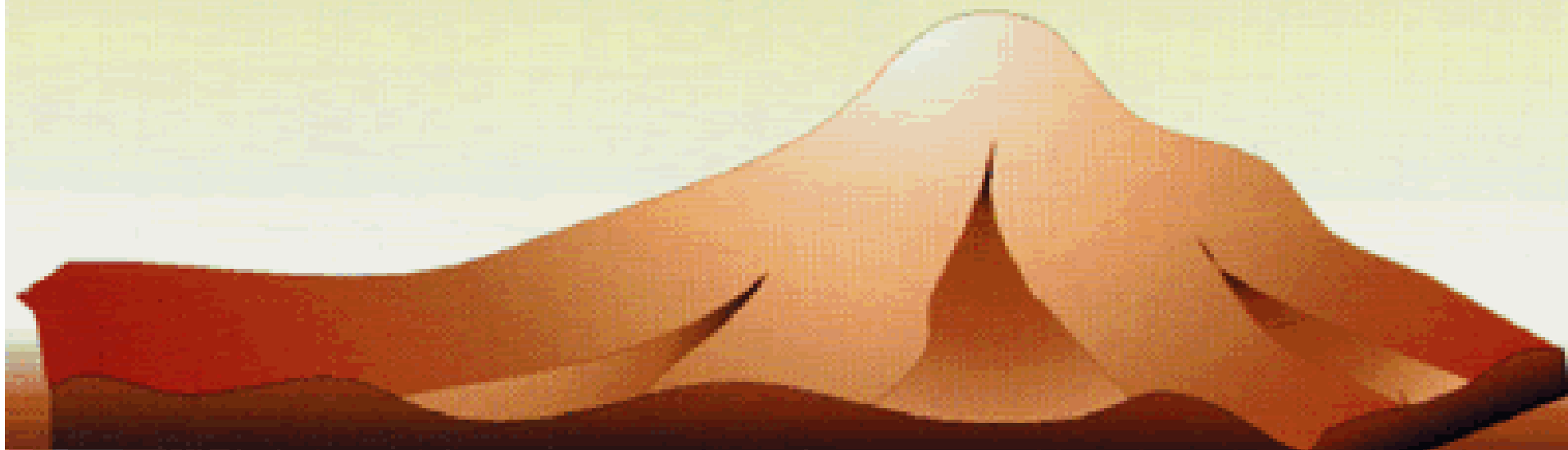
## Možné konfigurace měřících systémů:

- snímání jedním radarem ze dvou sousedních drah
- snímání dvěma radarovými systémy umístěnými na dvou družicích (tandem - ERS-1 a ERS-2)
- jeden nosič (družice či letadlo) může mít jeden radar a dvě přijímací antény umístěné ve známé vzdálenosti od sebe (raketoplán - SRTM).

Baseline

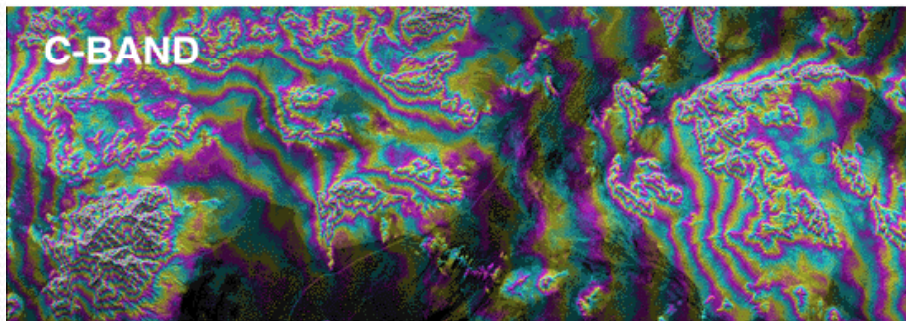
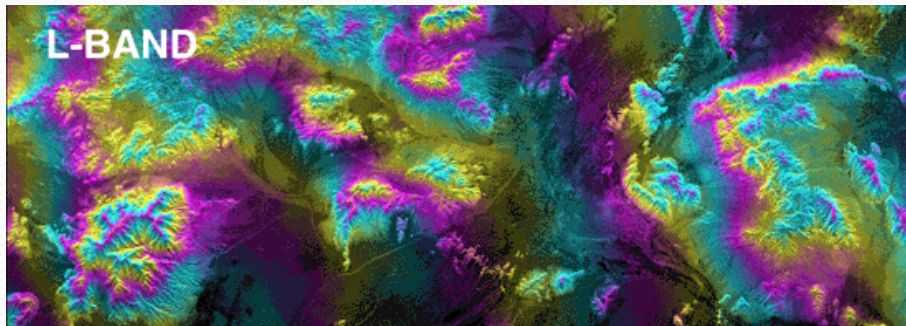


## Interferometrická měření z raketoplánu

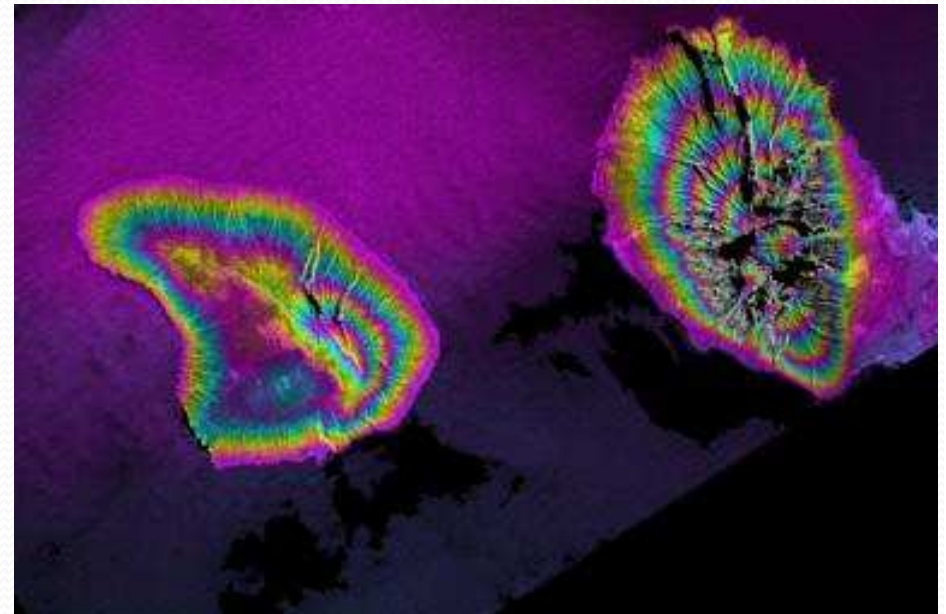
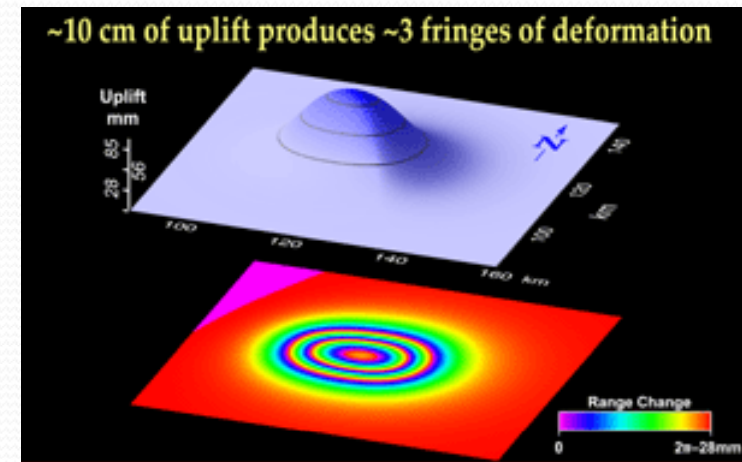




Zpracováním korespondujících obrazových prvků lze získat tzv. **interferogram**

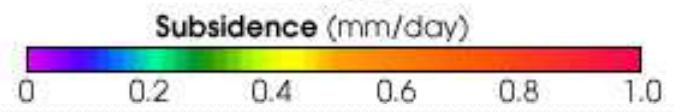
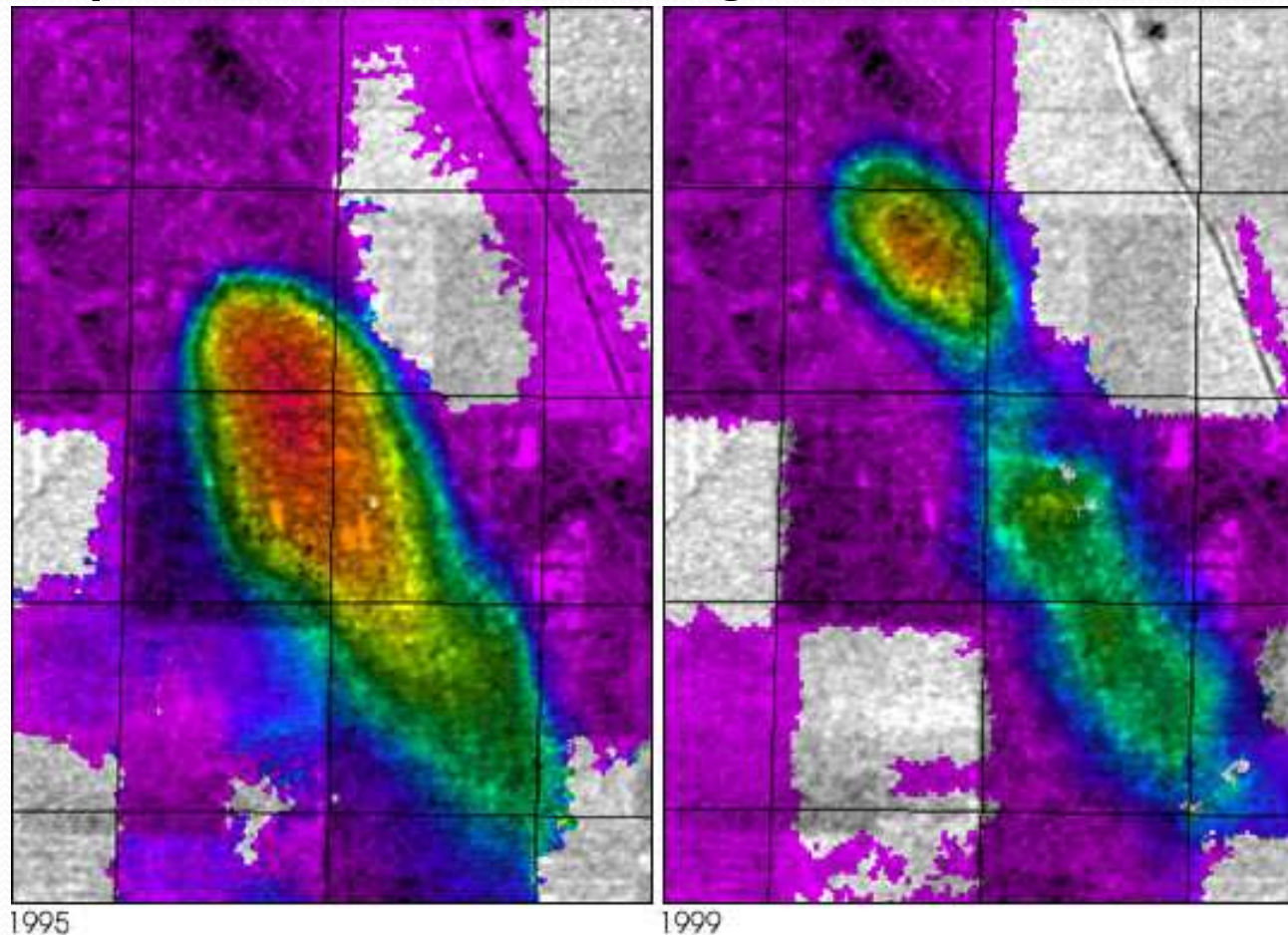


SIR-C L, C BAND INTERFEROGRAMS  
FT. IRWIN, CALIFORNIA



# Diferenční interferometrie

Metoda založená na rozdílu dvou interferogramů. Tímto postupem lze zjišťovat řádově centimetrové výškové rozdíly, ke kterým došlo v čase mezi pořízením obou interferogramů



**Poklesy půdy v důsledku těžby ropy – Družice ERS**

# Oblasti aplikací

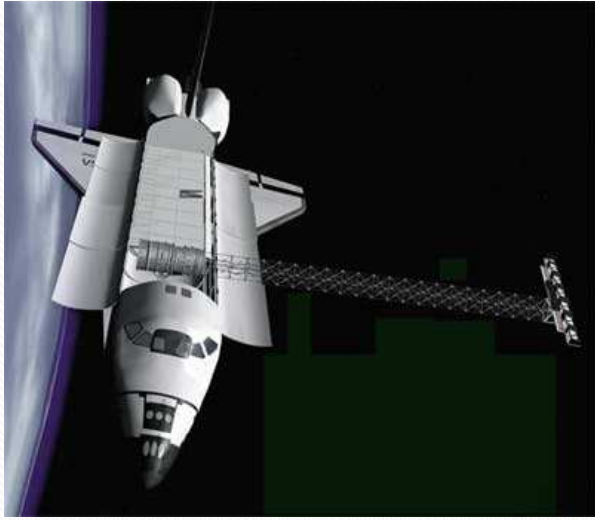
- detekce sesuvů
- zemětřesných pohybů
- měření výšky vodní hladiny
- mocnosti sněhové pokrývky
- tvorba digitálního modelu terénu
- morfometrická analýza a topografické mapování
- tvorba družicových ortofotomap a tématické mapování
- zjišťování časových změn
- geologické a hydrologické aplikace
- výzkum kryosféry
- regionální plánování
- monitorování projevů vulkanismu

# Letecké interferometrické systémy

**TOPSAR (Topographic SAR)** – nosič – letadlo DC-8, RADAR - C pásmo (6 cm), signál je přijímán na dvou anténách umístěných 2,6 metru od sebe. Produkuje DTM s vertikální přesností 1 až 3 metry v závislosti na komplexitě terénu, s horizontální přesností 5 až 10 metrů a to z plochy 10 x 50 km.

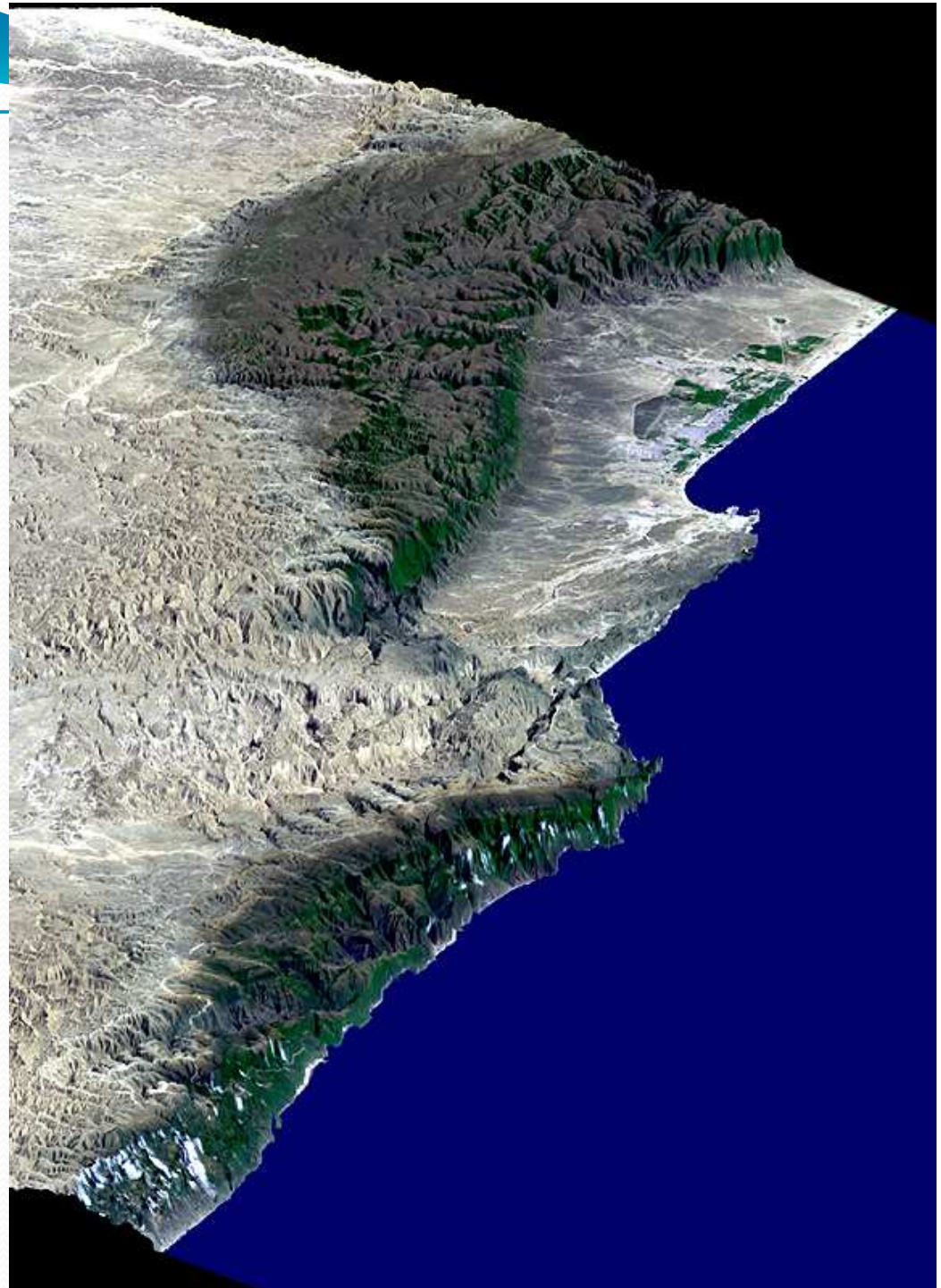
**IFSARE** (nosič - letadlo LearJet36). RADAR - X-pásmo a dva anténní systémy. Systém vybaven diferenčním GPS a laserem. Výška letu 12 km, šířka snímaného území 10 km, rozlišení 2,5 metru. Produkuje DTM s vertikální přesností do 3 m.

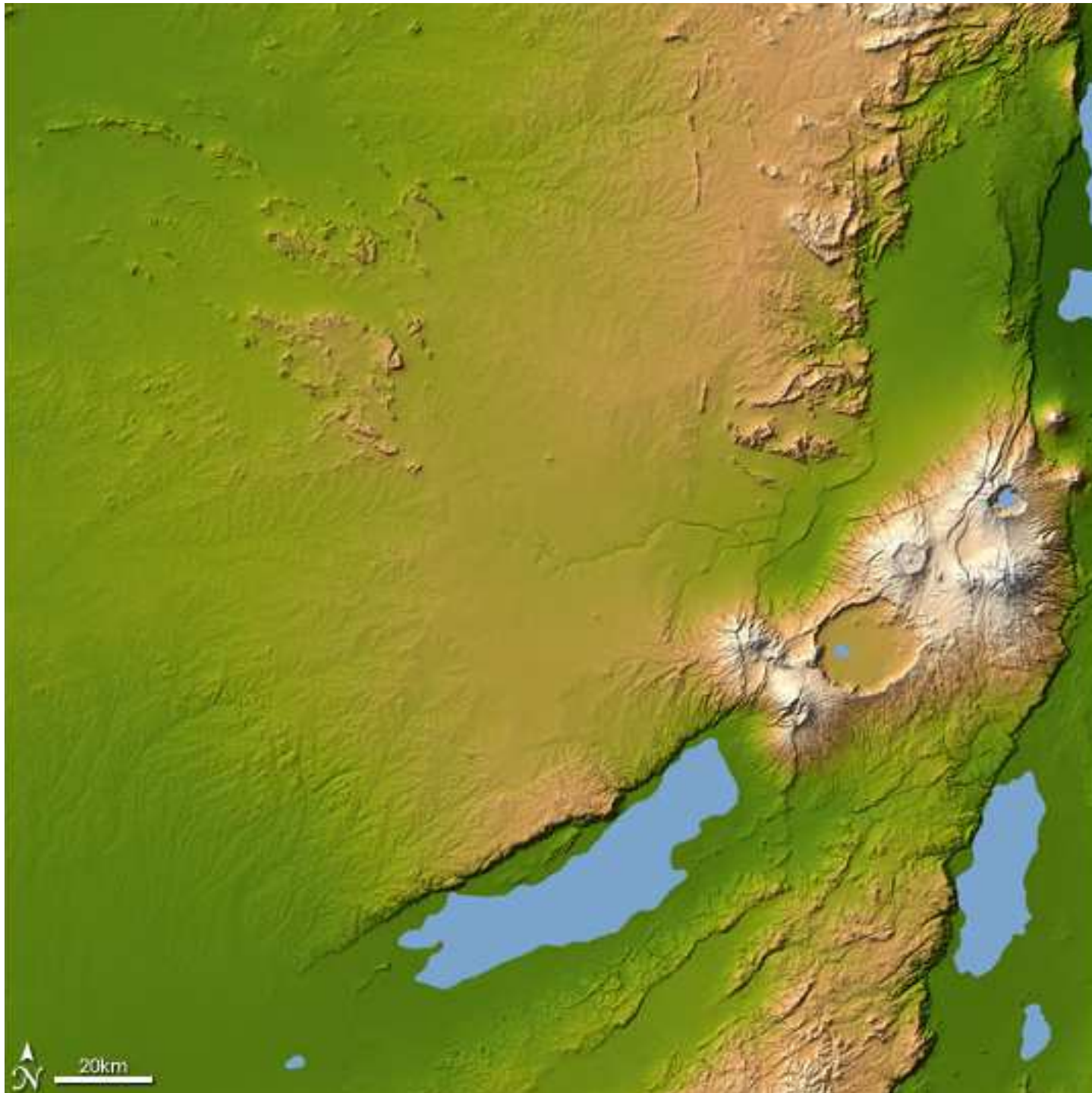
# SRTM (Shuttle RADAR Topography Mission)



V období od 11. do 22. února 2000 bylo z raketoplánu nasnímáno území v rozsahu od 60° j.z.š. do 60° s. z. š. Tato měření slouží k sestavení výškového modelu Země

**SRTM – Pobřeží Ománu**

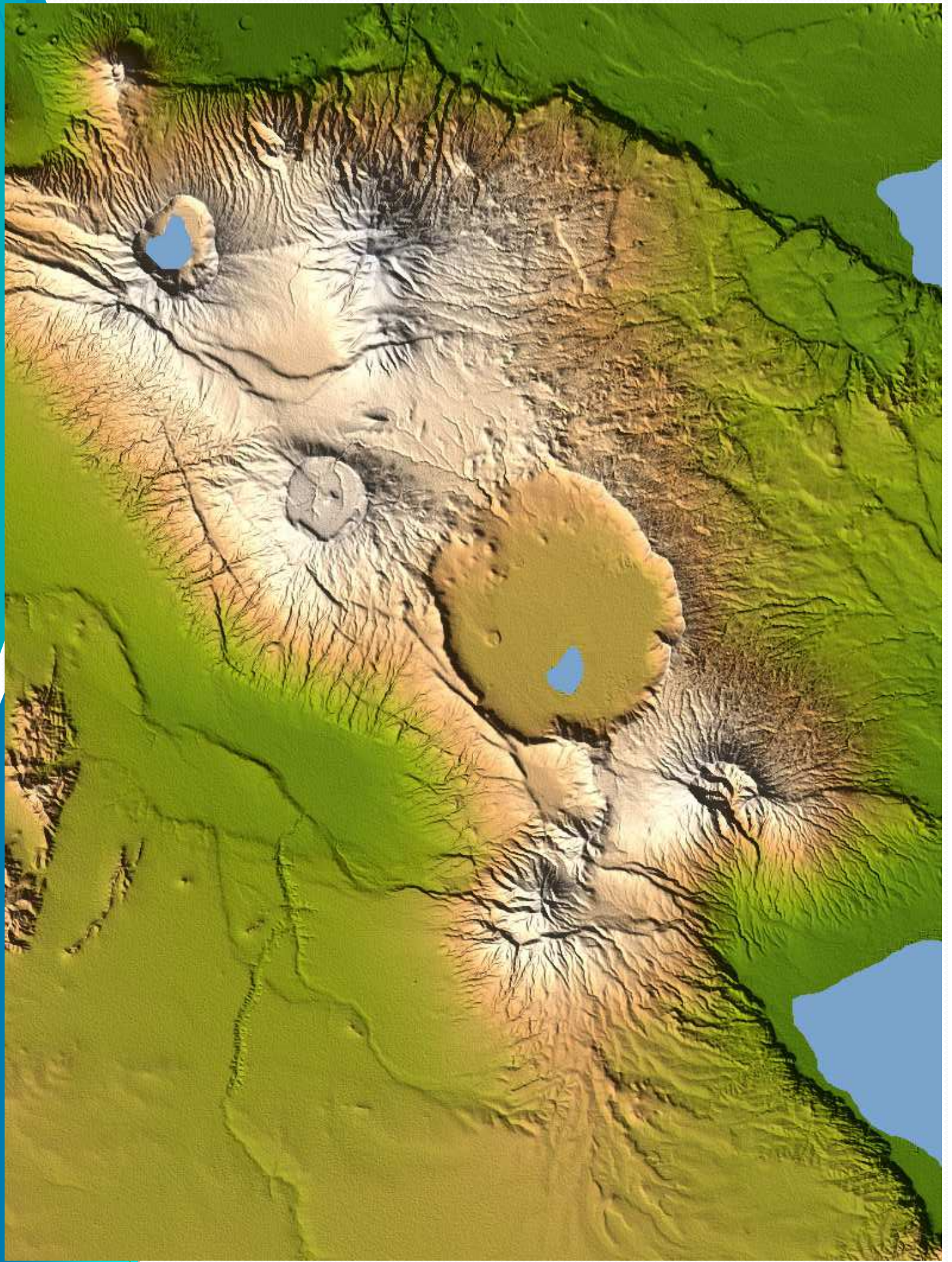


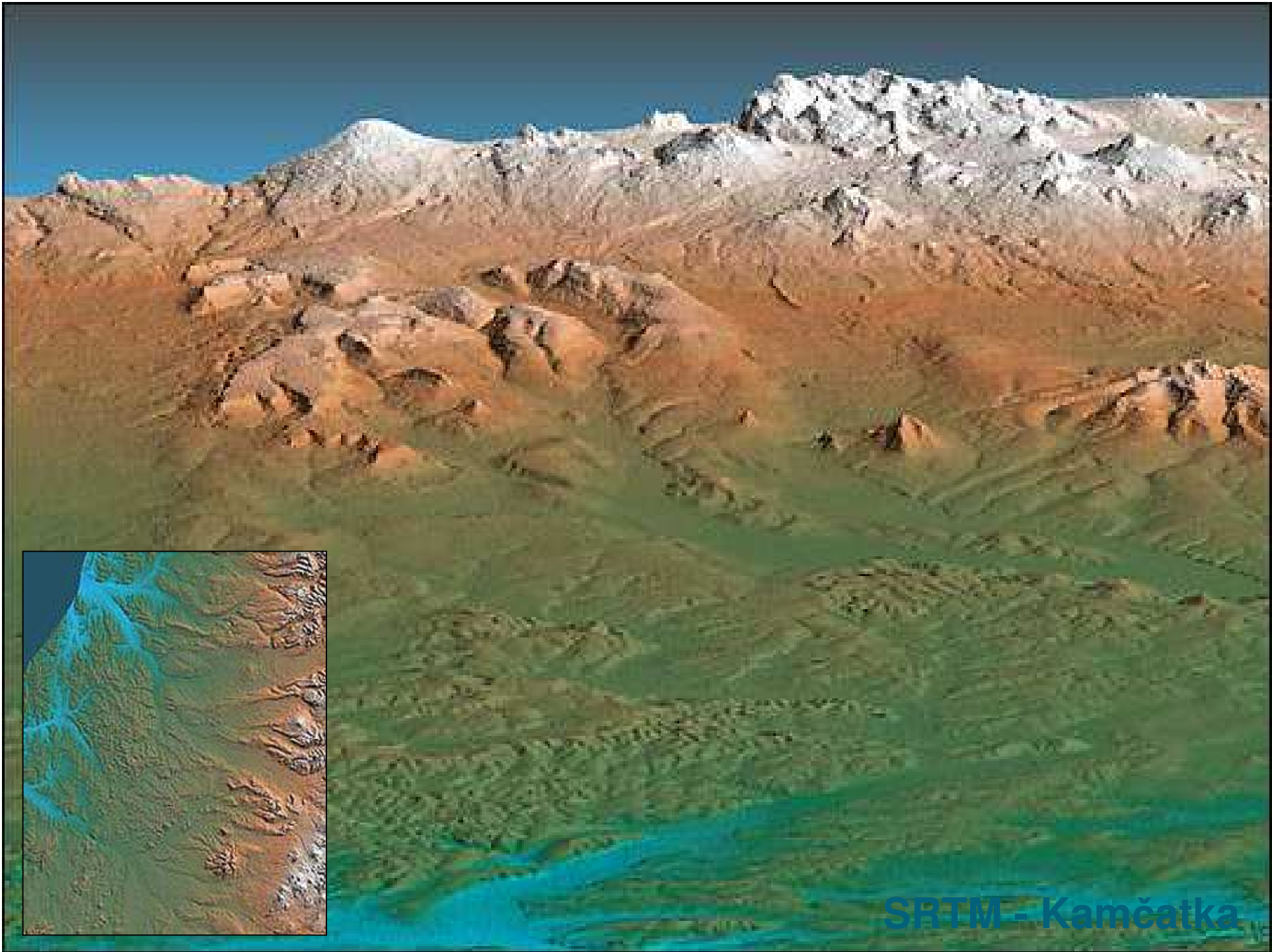


**Tanzánie,  
kráter  
vyhaslé  
sopky  
Ngorongoro  
a údolí  
Olduvai.**

**Výškový  
model  
terénu (223  
x 223 km)  
vytvořený z  
radarových  
snímků**

**raketoplán  
(SRTM)**

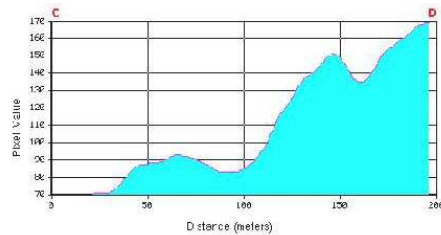
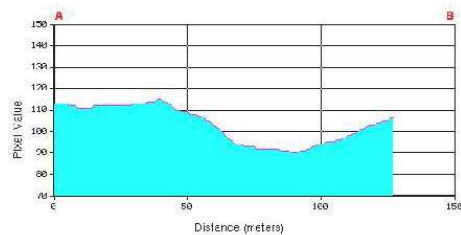
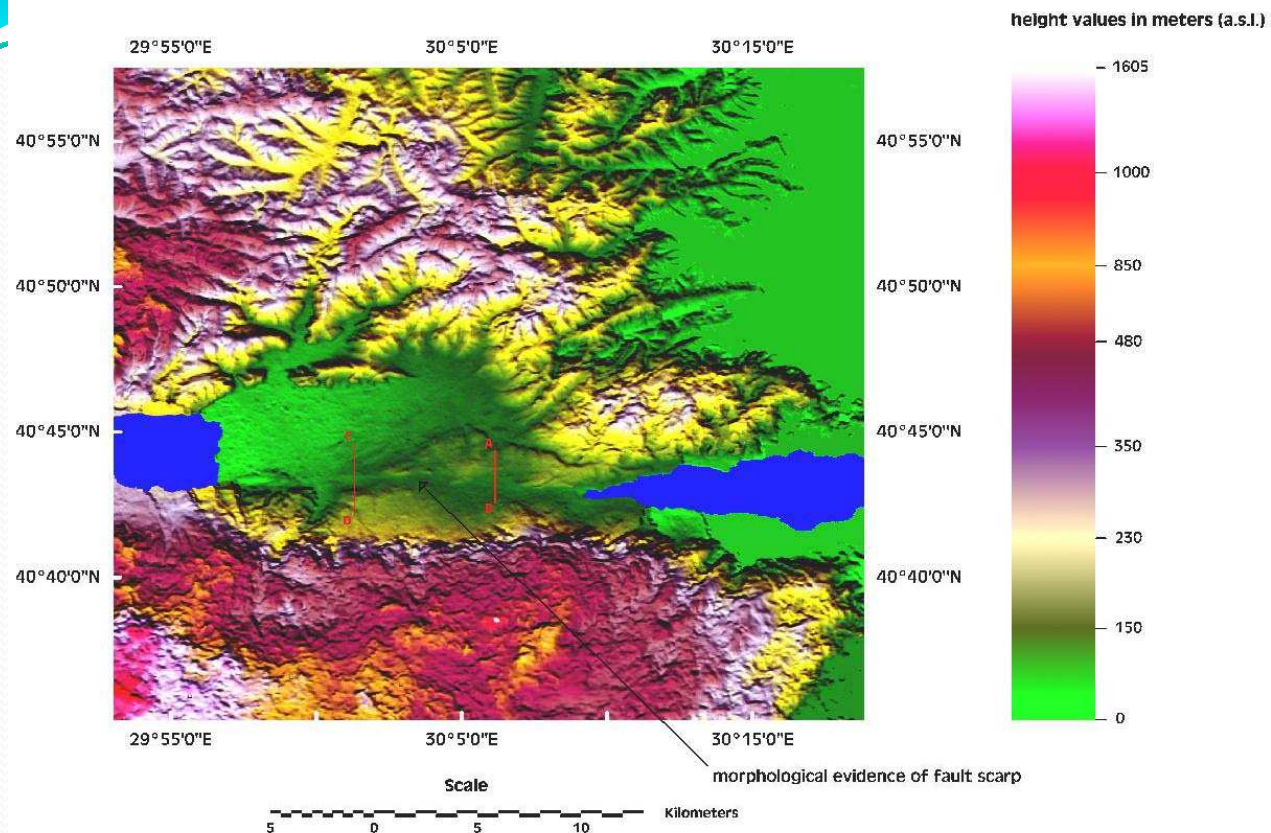




SRTM - Kamčatka



# ERS SAR tandem color shaded DEM

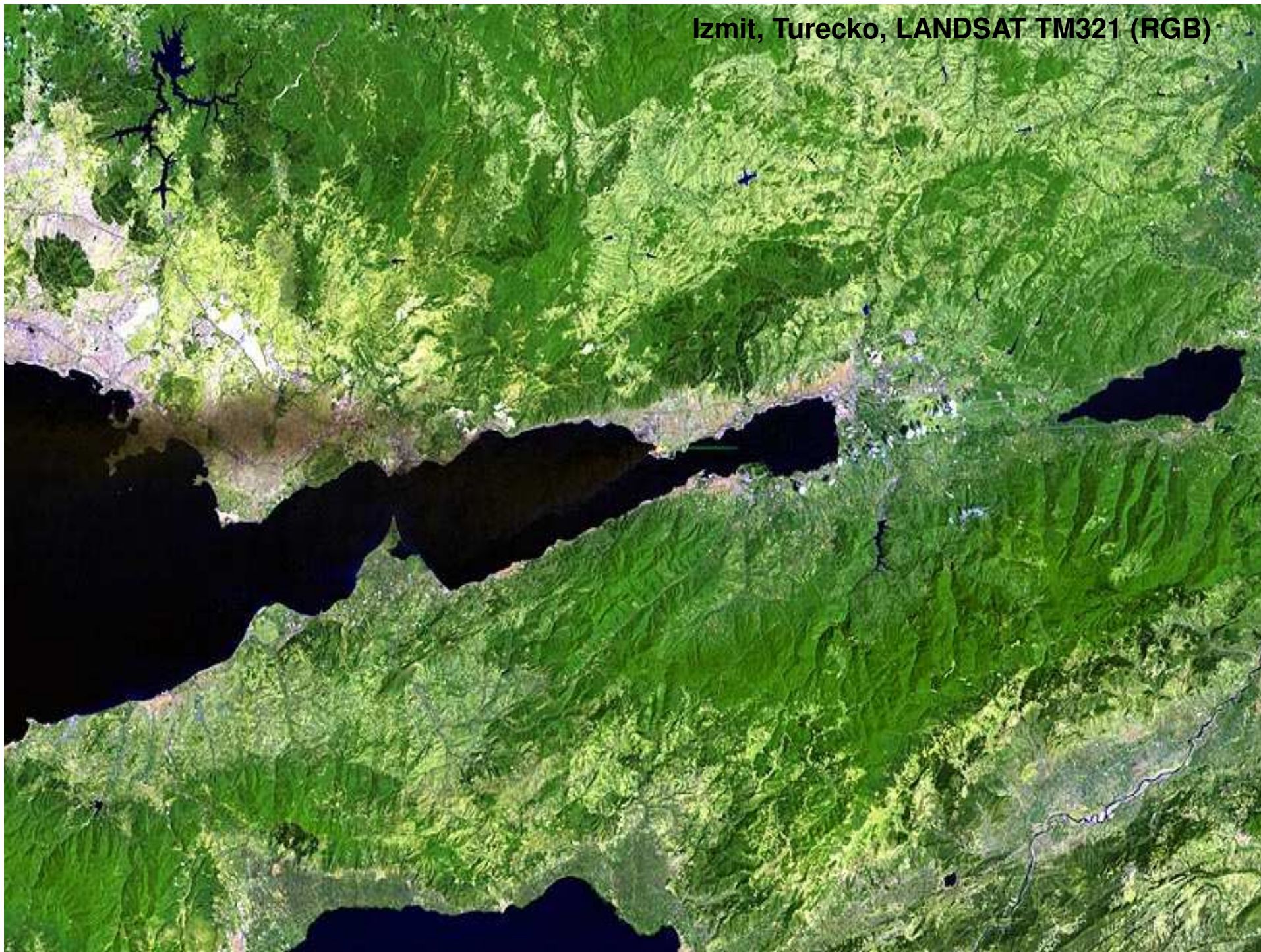


topographic sections crossing the fault line

Izmit, Turecko

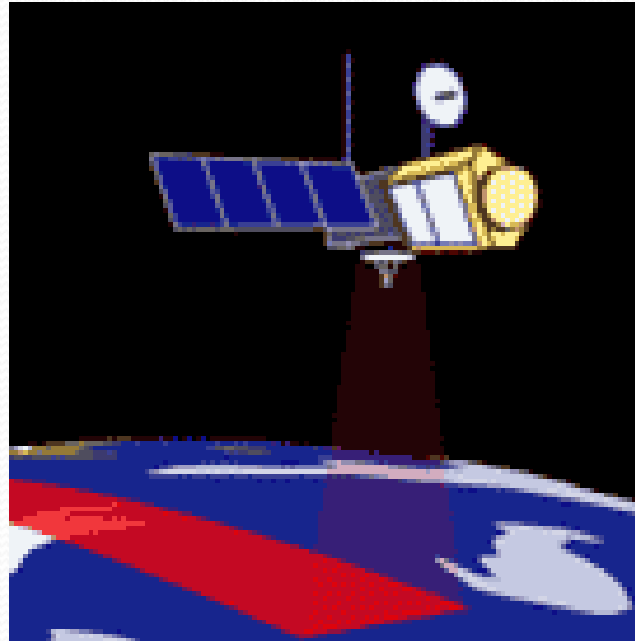
Model terénu  
sestavený  
z interferometrických  
měření družic ERS 1 a  
ERS 2

Izmit, Turecko, LANDSAT TM321 (RGB)



## Výšková měření - ALTIMETRIE

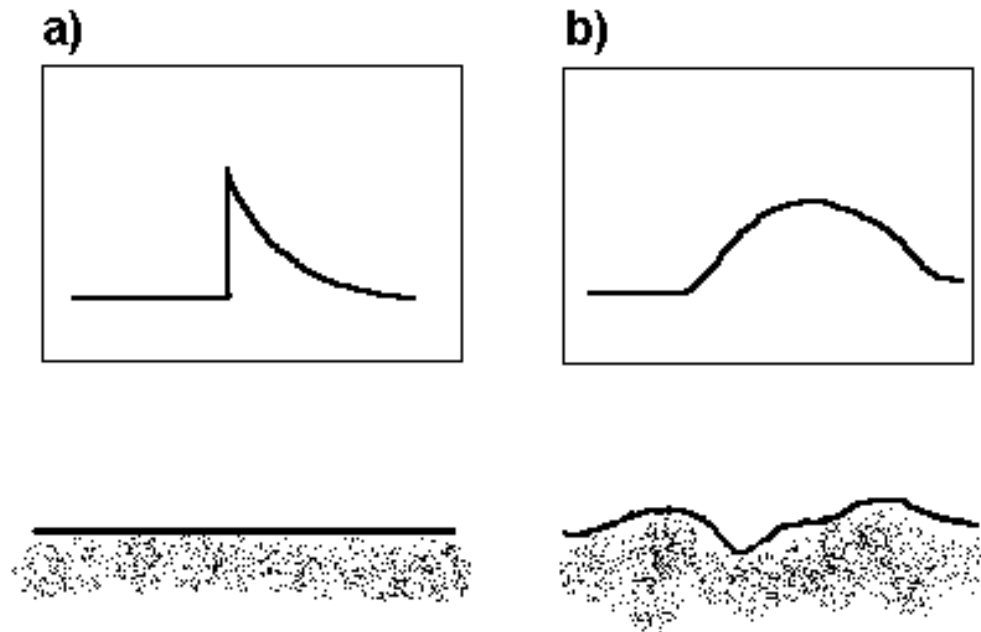
**Altimetr** (výškoměr) je zařízení využívající toho, že radarová měření jsou ve své podstatě také měřeními vzdálenosti.



Signál je vysílán z nosiče kolmo k zemskému povrchu

Radarové echo je zaznamenáno jednak jako časový interval mezi vysláním a přijetím signálu a jednak jako signál modifikovaný povrchem, od něhož se signál odrazil.

# Křivka intenzity signálu



Tvar křivky intenzity signálu pro hladký (a) a drsný (b) povrch

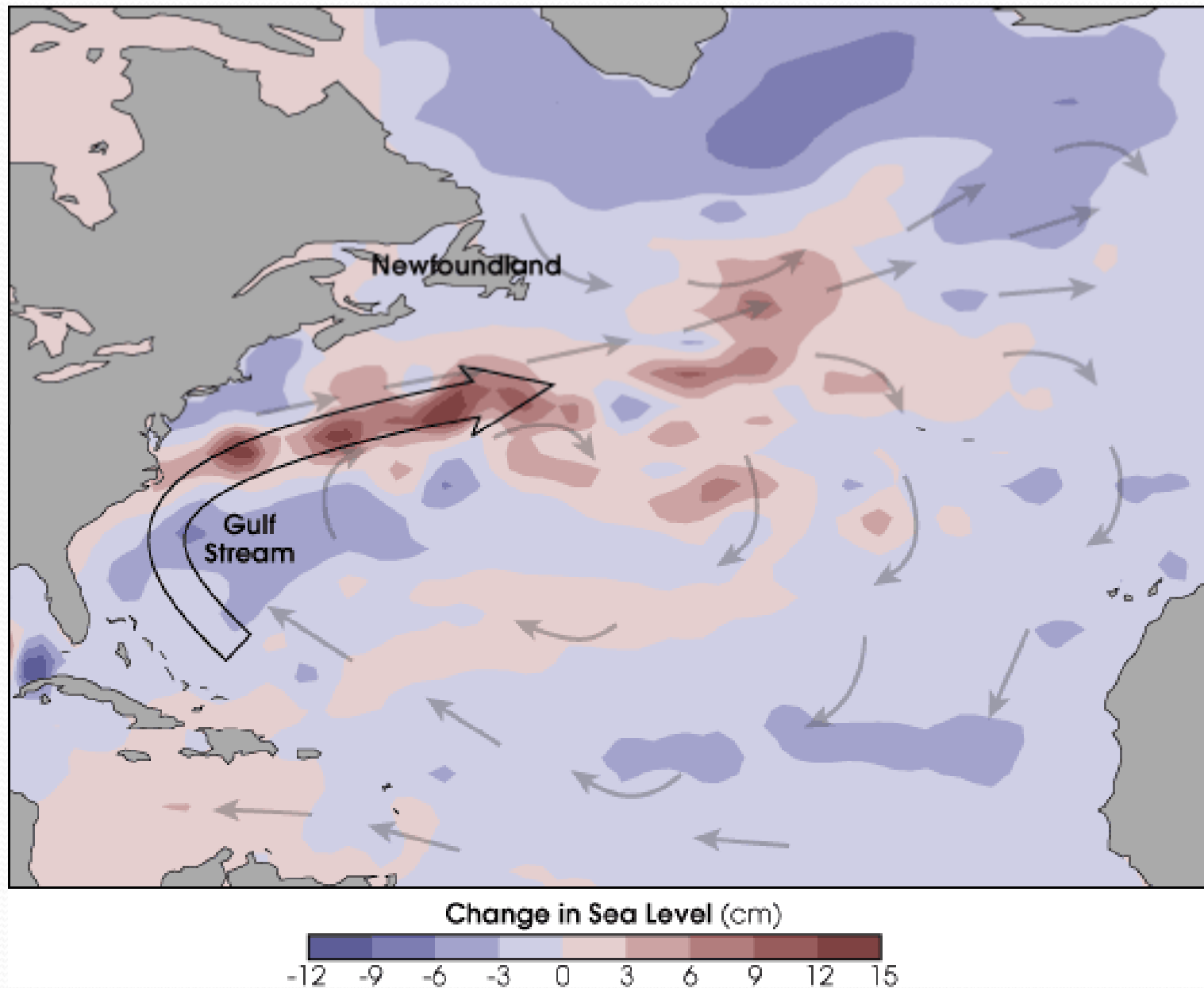
Z tvaru křivky lze získat informaci nejen o výšce daného povrchu, ale také o jeho odrazových vlastnostech a drsnosti.

Přesnost výškových měření může být lepší než 10 cm.

# Využití altimetrických měření

- měření výšky hladiny oceánů
- měření výšky povrchů pokrytých ledem
- měření charakteristik vlnění (výška vln a jejich rychlost)
- měření charakteristik pole větru
- studium slapových jevů
- studium mořských proudů
- batymetrická měření
- sestavení map dna světového oceánu
- studium anomálií gravitačního pole Země
- mapování výškových poměrů Antarktidy

# Altimetrická měření výšky vodní hladiny oceánu



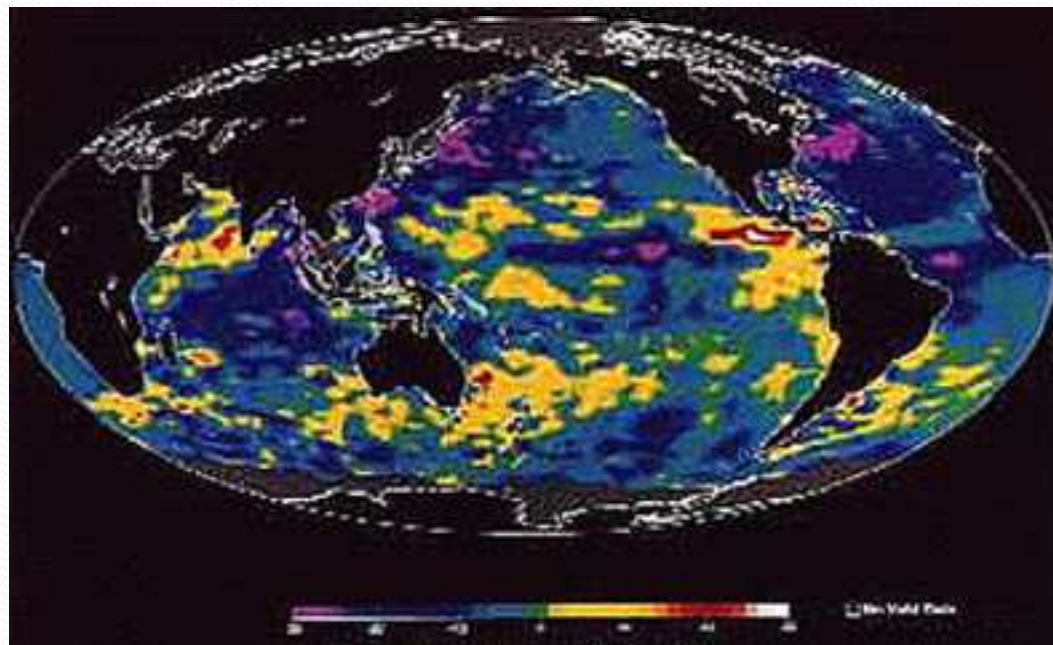
# Monitorování jevu ENSO



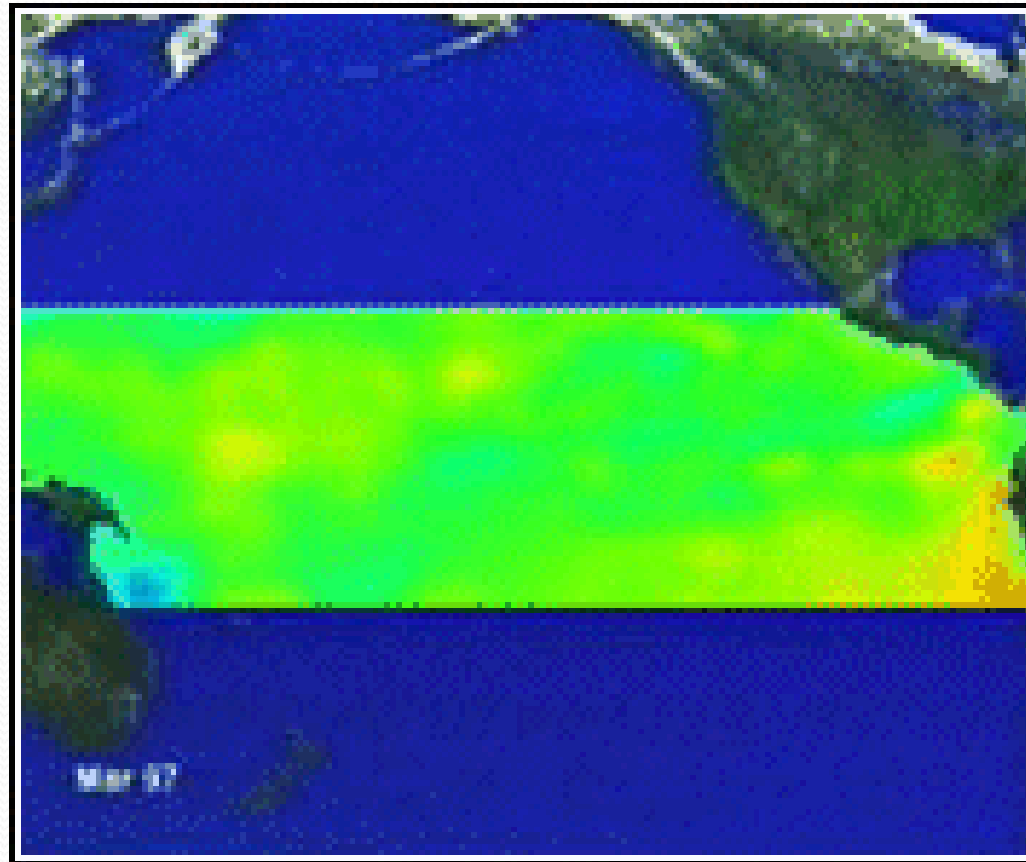
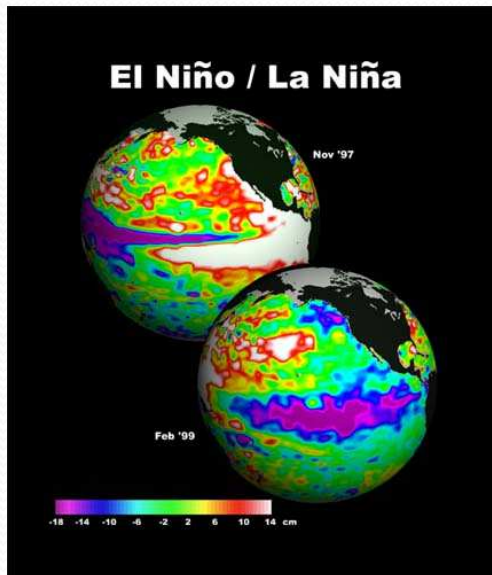
Družice TOPEX/Poseidon

Zjišťování výšky hladiny oceánu s přesností 4-5 cm

Pro každé místo na hladině světového oceánu s periodou 10 dní.

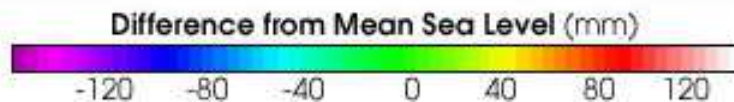
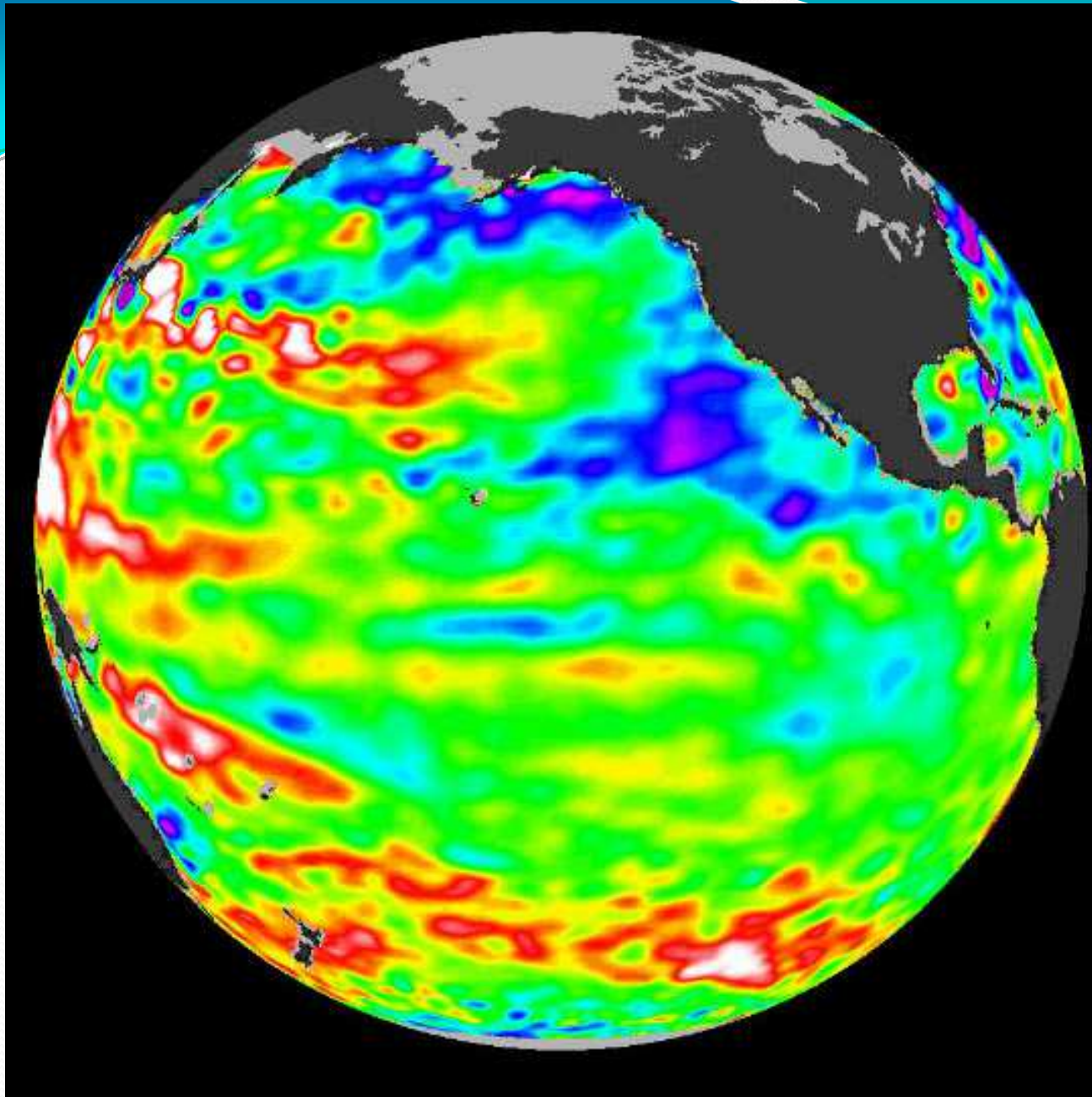


# Monitorování jevu ENSO

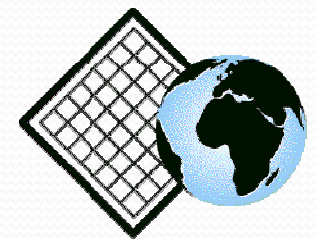


**March**





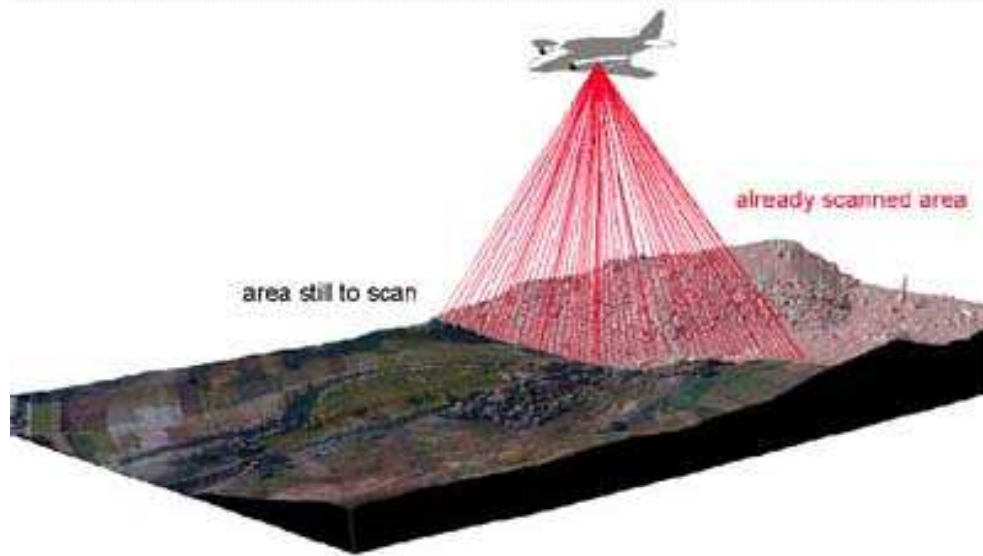
**TOPEX/  
Poseidon**



## **Aktivní metody snímání - LIDAR**

(Light Detection And Ranging)

# Airborne Laser Scanning (ASL) - LIDAR (light detection and ranging)



Základní komponenty:

- laserový skener
- navigační systém (GNSS+INS).
- laserové paprsky
- časový interval mezi vysláním a přijetím paprskem slouží k určení 3D polohy snímaného bodu.
- Změna intenzity signálu slouží k určení charakteru objektu, od kterého se signál odrazil.

## Významné vlastnosti laserového světla

- vysoká pulzní energie
- krátké trvání pulzu
- vysoká přesnost měření vzdáleností ( $10^{-6-8}\text{m}$ )
- úzká šíře paprsku
- dobře se odlišuje od ostatního záření
- negativní vliv vodní páry a aerosol - zeslabují záření (dosah)
- odražené sluneční světlo – někdy problém

### Typické hodnoty leteckých laserových systémů

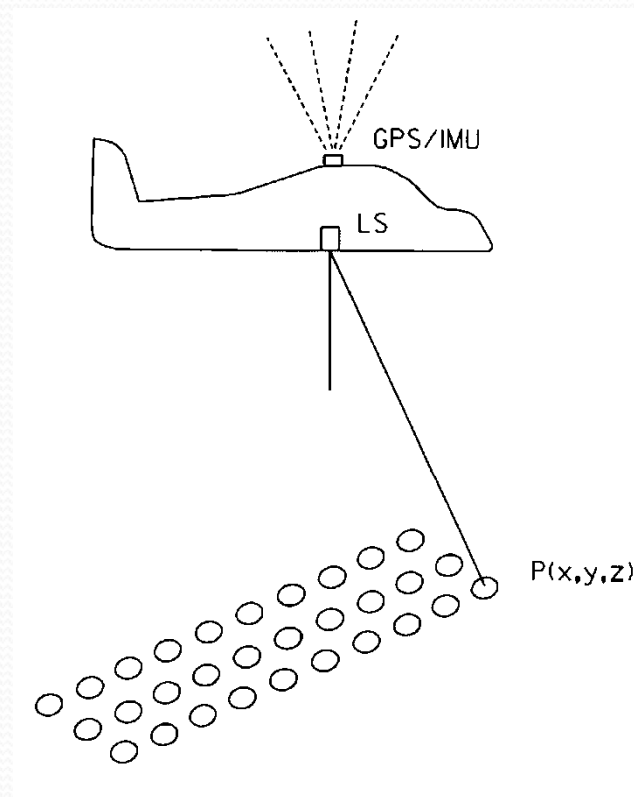
- Vlnová délka většinou 0,8-1,6 $\mu\text{m}$
- Trvání pulsu cca 5 ns
- Frekvence měření 50-500 kHz

## Laserové skenování

- **Letecké skenery** - DMT , mapování liniových staveb, 3D modely  
Přesnost 0,10- 0,50 m
- **Pozemní skenery** - měření různých objektů (bližší vzdálenost, statika)  
Přesnost 0,001- 0,025 m, přesnější jsou omezené dosahem, méně přesné větší vzdálenost – doly, lavinové vzdálenosti, dosah až 2km
- **Mobilní skenery** – mobilní mapování dopravního značení, inženýrských sítí, budov (streetview, panorama)
- relativní přesnost 5-10mm

# Palubní laserové systémy (ALS Airborne Laser Scanning)

- Laserový dálkoměr pevně spojený s letadlem vysílá kontinuálně pulsy z laserové diody pracující v blízkém IR spektru. (pro určení prostorových souřadnic je potřeba měřit vzdálenost k bodu, náklon od svislé osy – viz obr. a souřadnice skeneru v okamžiku vysílání pulsu), rozmítáním paprsku vzniknou otisky - footprint
- Snímají:
  - jednotlivé diskrétní odrazy (Discrete Return DR)
  - celý průběh křivky (vlny) návratu signálu (Full-waveform skenery FWF)



## Vývoj palubních laserových systémů

- Po delší a pomalejší vývojové etapě v 90. letech učinilo letecké laserové skenování velký pokrok v posledních 8 letech.
- Letecké laserové skenování (ALS) se stalo vedle snímkování významnou mapovací technologií. Obě technologie se používají pro mapovací účely (výškový digitální model snímková data pro tvorbu ortofotomap).
- Přibližně 500 leteckých skenerů je používáno po celém světě.
- V inženýrských aplikacích je požadována vysoká hustota přesně měřených dat (obvykle desítky bodů na metr čtvereční v sub-decimetrové přesnosti). Na druhé straně je voláno po větším pokrytí terénu (data musí být získána ze stále větší výšky létu).
- Rozsah vlnových délek: NIR 0,7-1,4  $\mu\text{m}$ , Green 0,45-0,55  $\mu\text{m}$ , SWIR 1,4-3,0  $\mu\text{m}$

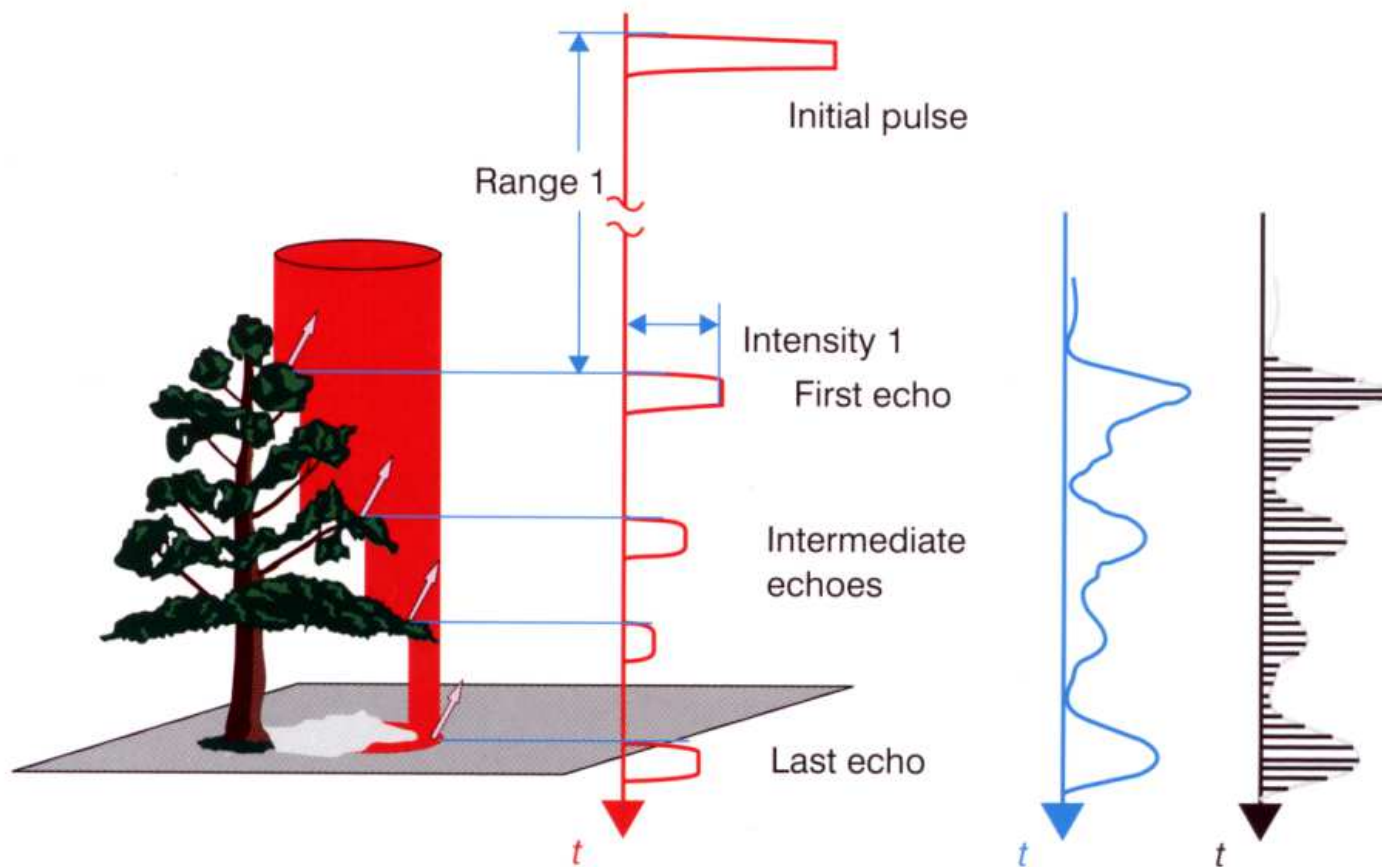
## Princip určení geometrické polohy

- Obecně laserové skenery pracují na základě měření doby letu vyslaného paprsku.
- Jsou využívány dvě možnosti určení vzdálenosti:
  - čas letu laserového pulsu (je vyslán laserový puls a měří se čas mezi vysláním pulsu a přijutím odrazu)
  - porovnání fáze (je vyslán paprsek, který je modulován harmonickou vlnou a vzdálenost k předmětu se vypočte jako fázový rozdíl mezi vyslanou a přijatou vlnou).
- Celková koncepce a hlavní komponenty ALS jsou dány tím, že pozice a orientace skeneru je průběžně měřena pomocí GNSS / IMU. Současně řada délek a odpovídajících snímacích úhlů se měří laserovým dálkoměrem a úhlovým snímačem, který je připojen k mechanismu skenování. Spojení těchto dvou sad měření vede k určení bodů (s X, Y, Z souřadnicemi).

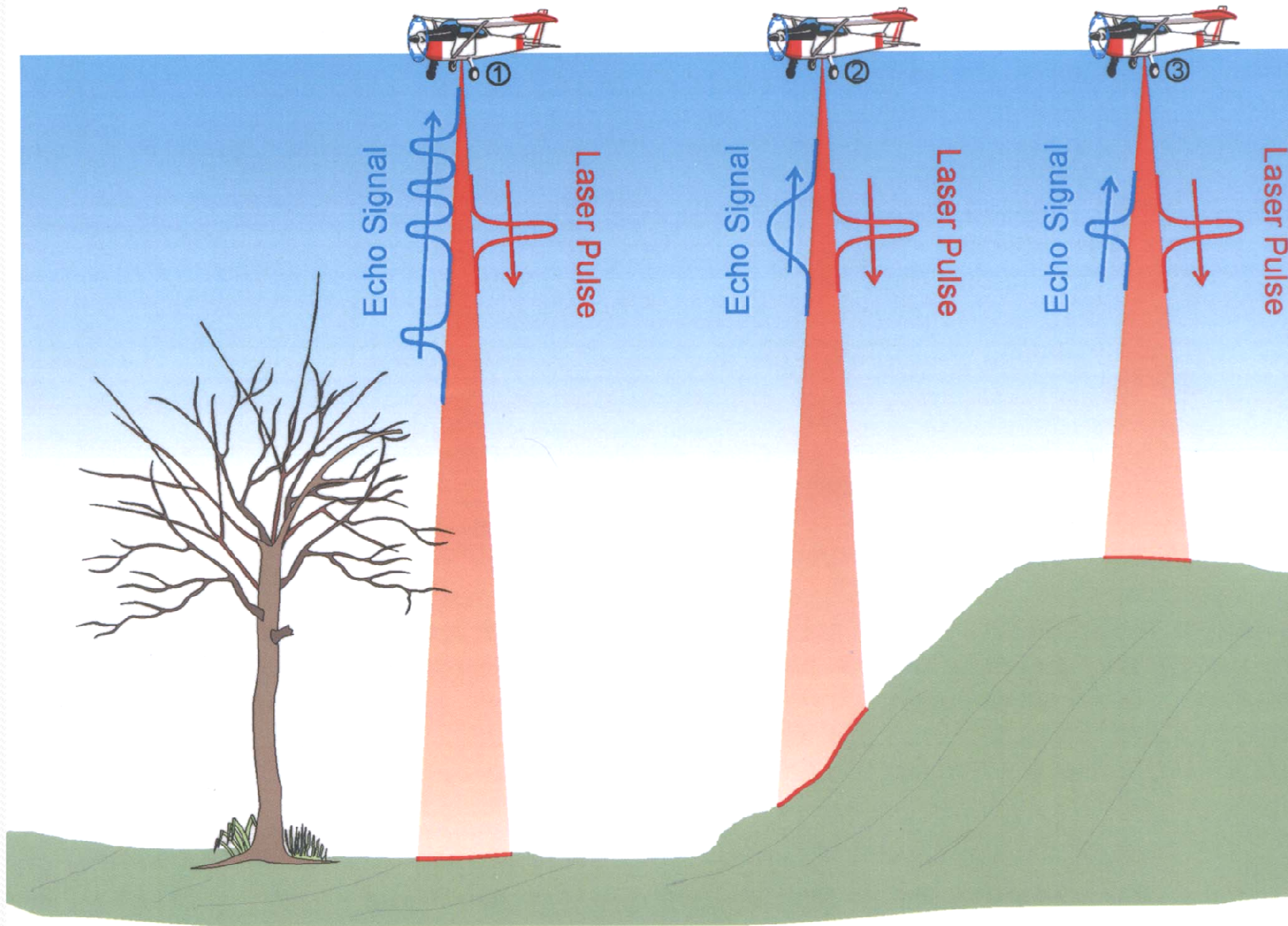


# Odraz pulzů – tvar vlny

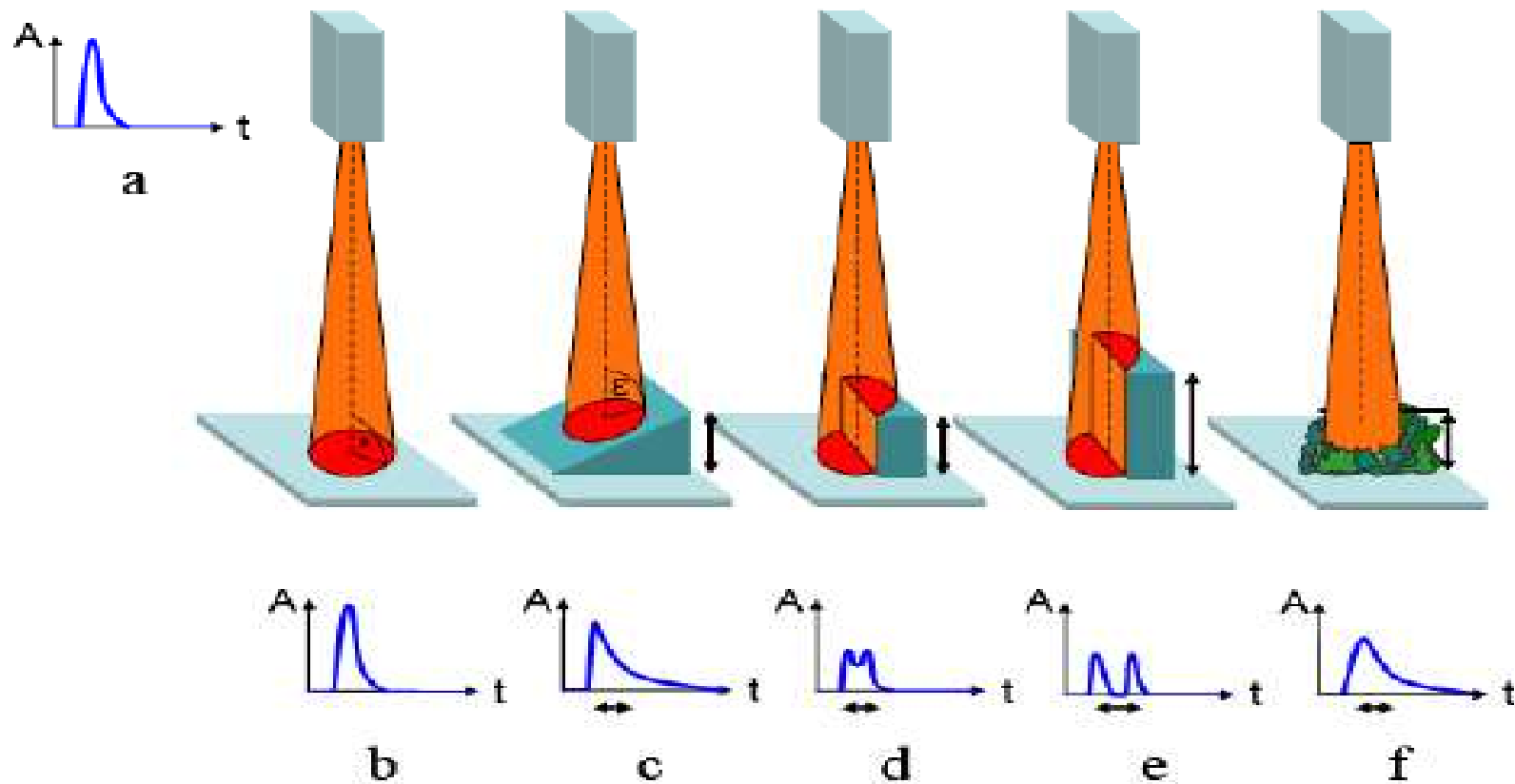
Novější přístroje umí zaznamenat i plně digitalizovaný tvar vlny (Full-WaveFormProcessing) – několikanásobný odraz, závisí na tv:



# Odraz pulzů



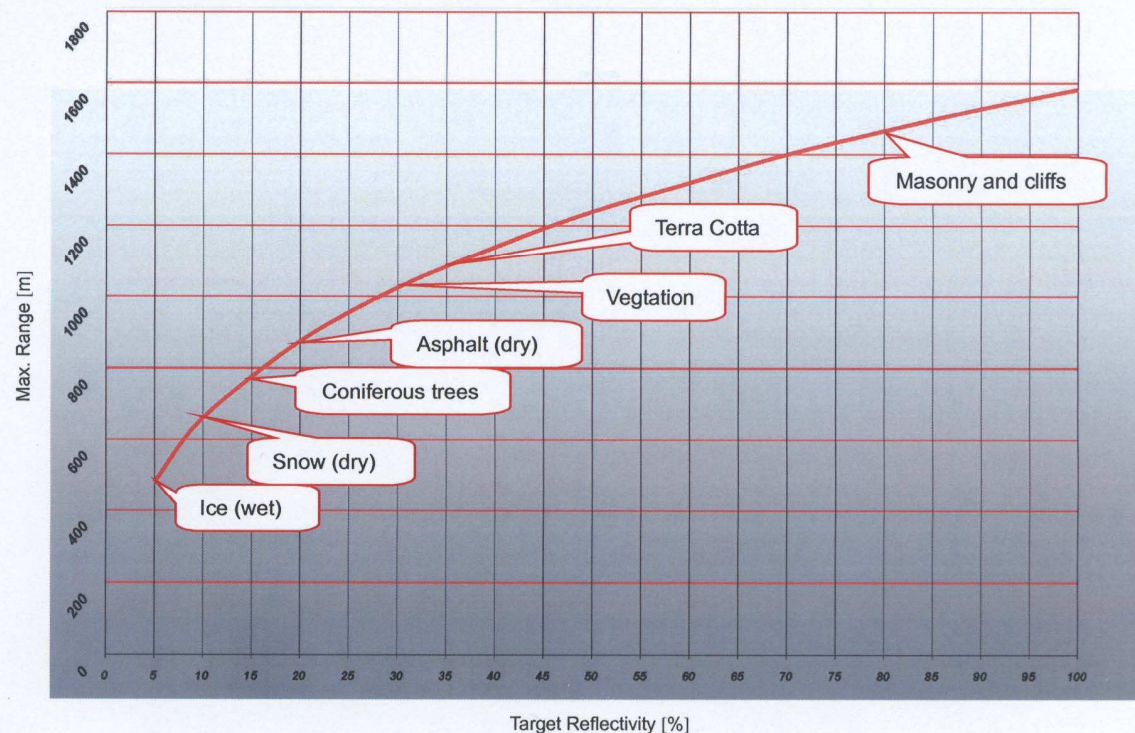
# Vliv povrchu na tvar odražené vlny



# Dosah skeneru

- Odrazivost (při odrazivosti povrchu 80% je konkrétní dosah dle tabulky od výrobce)
- Znečistění vzduchu, viditelnost, obsah aerosolu, prachu
- Rychlost skenování – pomalejší rychlost skenování znamená větší dosah

RIEGL LMS-Q560 Range Performance



## Dosah skeneru

- příklad pro Riegl LMS- Q 680
- 30% odrazivost dohlednost 23 km

dosah pro 80kHz 2400m

dosah pro 240kHz 1500m

- 30% odrazivost dohlednost 10 km

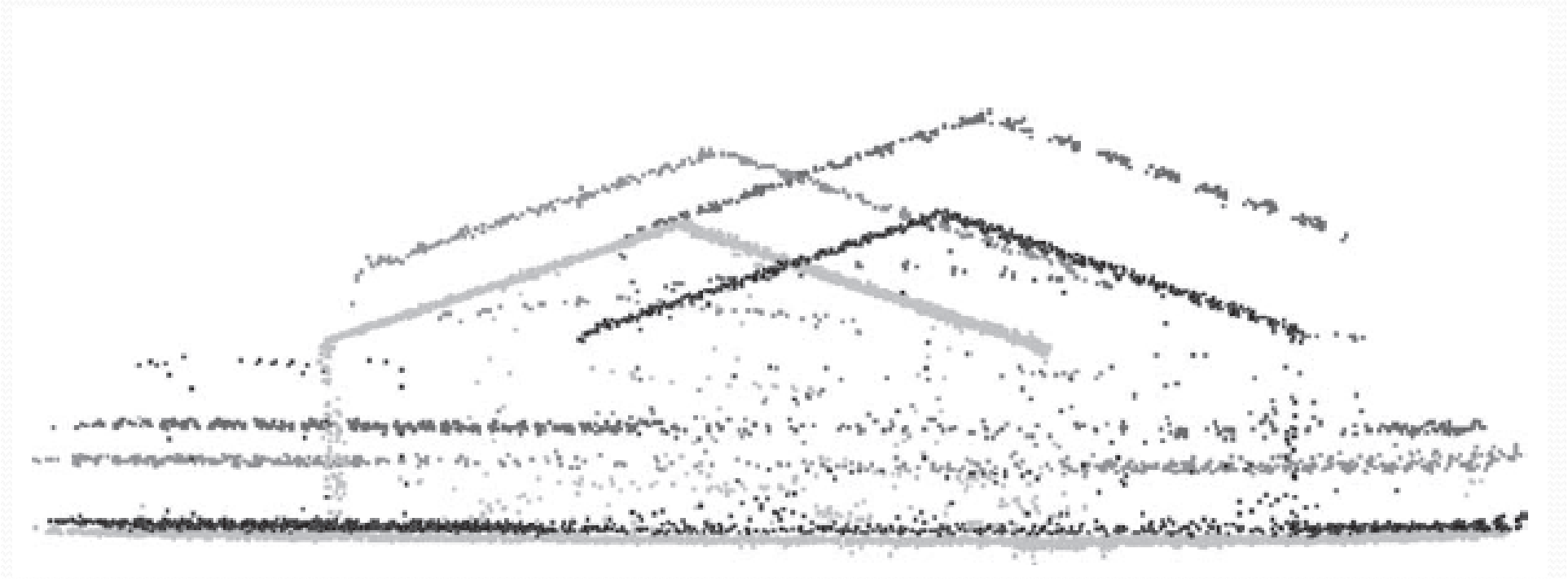
dosah pro 80kHz 1950m

dosah pro 240kHz 1300m

# Přesnost polohy bodu

- Složení více systémů a jejich přesností
- GPS/IMU je cca 0,10 m (pro letadlo letící rychlostí 80m/sec s referenční stanicí vzdálenou do 50 km). Čím větší je výška letu, tím více se projeví chyby v úhlových hodnotách získaných pomocí inerciální jednotky.
- Přesnost rozmítání paprsku 5-10mgon je nutno připojit k chybám IMU (10mgon=16cm/1km).
- Přesnost laserového dálkoměru je 0,02- 0,03 m.
- Další náhodné chyby: efekt divergence paprsku (footprint), atmosférická refrakce, terénní vlivy, časová synchronizace, transformace souřadnic
- Celková přesnost ve výšce je v rozsahu 0,1-0,5 m, polohová přesnost 0,1-1 m.
- Rozdíl ze dvou náletů může být 25-30cm

## Rozdílné výsledky ze 4 náletů



# Faktory přesnosti

- Část paprsků z jednoho pulzu projde vegetací, část se odrazí v různých úrovních porostu. Pro eliminaci bodů, které mají měřenou vzdálenost ovlivněnou více odrazy jsou používány speciální filtry.
- Jelikož palubní laserové systémy neposkytují nadbytečná měření, doporučuje se mít v zájmovém území nezávislé údaje –“vlíčovací plochy“
- Vliv počasí je u ALS menší než u fotogrammetrického snímkování. Lze skenovat pod mraky a v noci. Využití je
  - pro tvorbu DMT, DMP
  - speciální mapování, např. dokumentace liniových staveb – vedení vysokého napětí.
- Výsledkem je zaměření terénu, výšky porostů, prostorové polohy elektrických vodičů a stožárů.



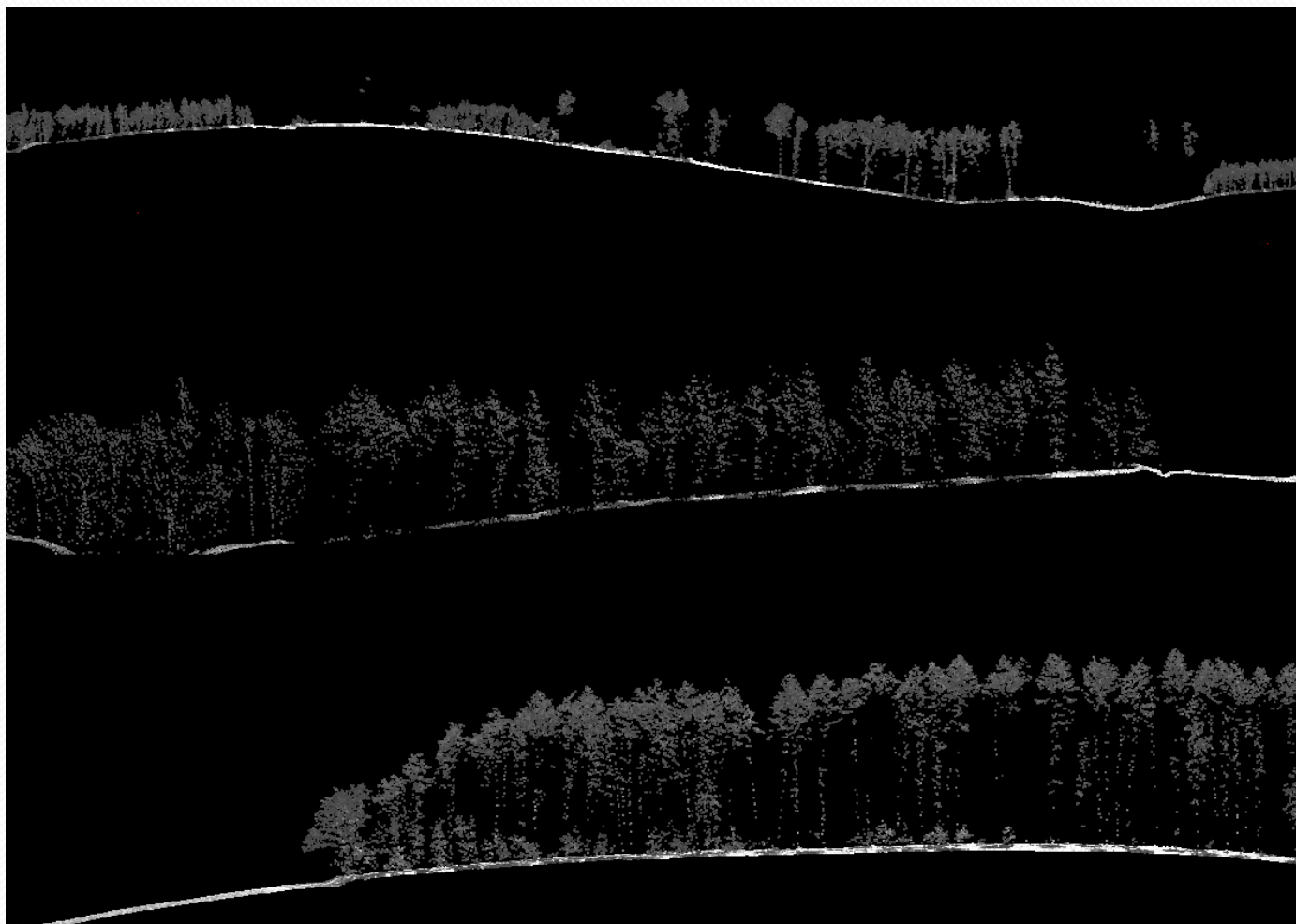
# Výsledky měření, zpracování

- Je vyřešena automatická klasifikace odrazů od země a ostatních povrchů. Řeší se otázky podrobnější tematické interpretace (fúze dat).
- surová data – mračno bodů X,Y,Z
- vícenásobné odrazy – možnost extrakce DMT, DMP
- obarvení, filtrace (odstranění šumu, chyb)
- klasifikace do tříd (porosty, budovy), vektorizace, konverze do rastru
- možné využití intenzity odrazu
- specializované softwary, moduly (pluginy) pro GIS, CAD



*Letecké laserové skenování - svislý profil bodovým mračnem*

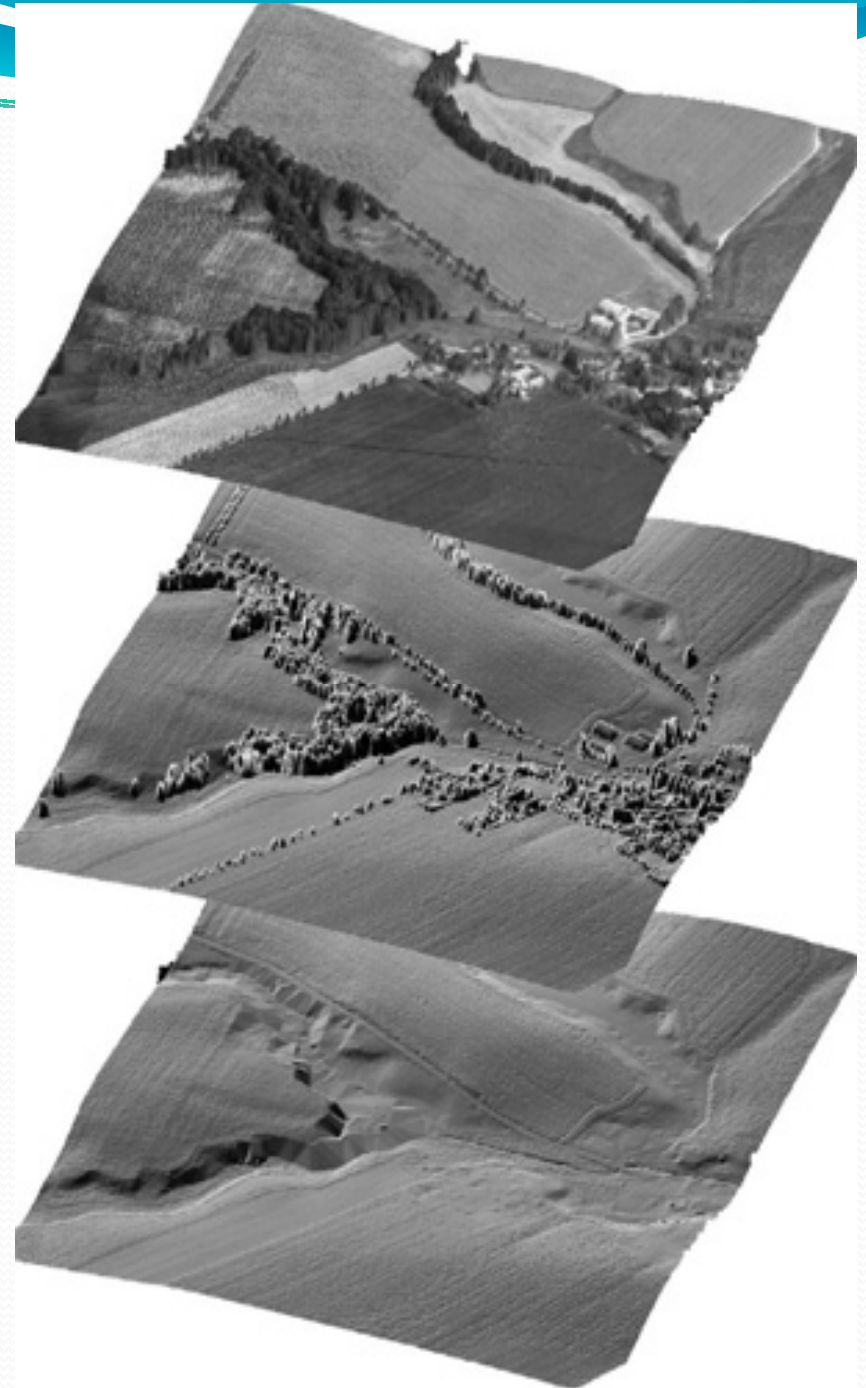
<http://photogrammetrydevelopment.blogspot.com/search/label/Lidar%20Tutorial>

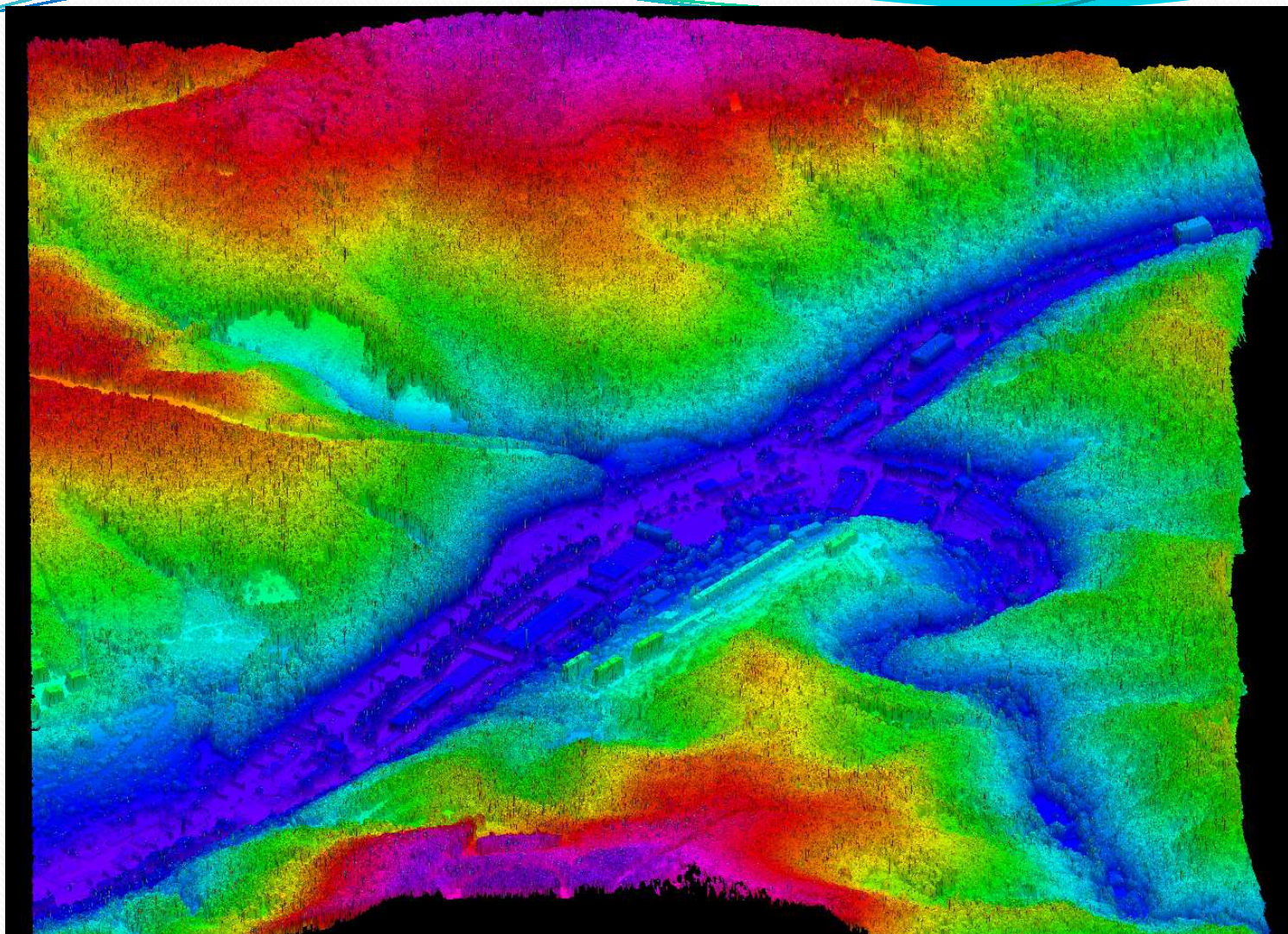


*Letecké laserové skenování - svislý profil terénem*

# LIDAR - Aplikace

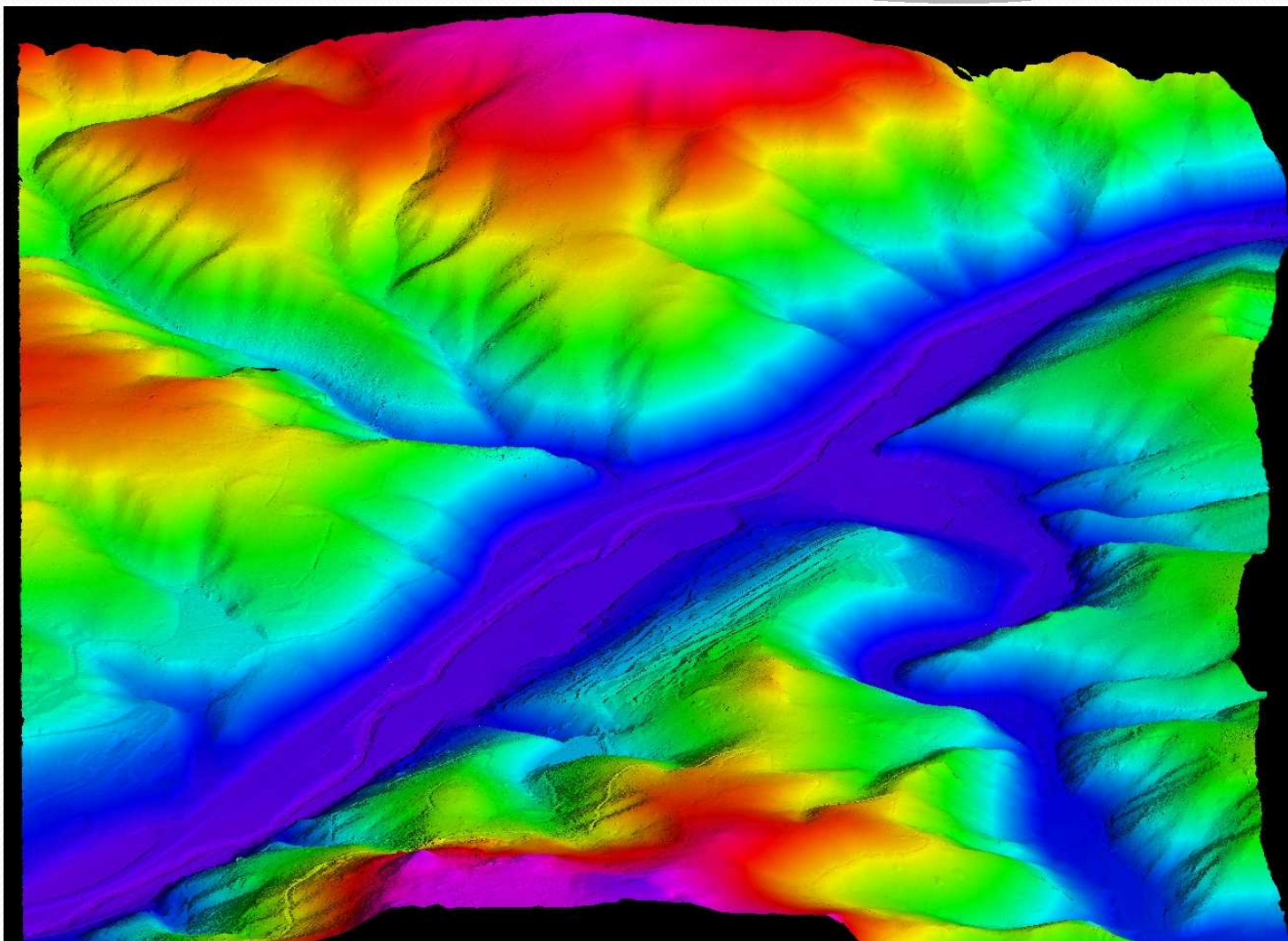
- Tvorba digitálního modelu terénu
- Vodní hospodářství
- Lesní hospodářství
- Telekomunikace
- 3D vizualizace





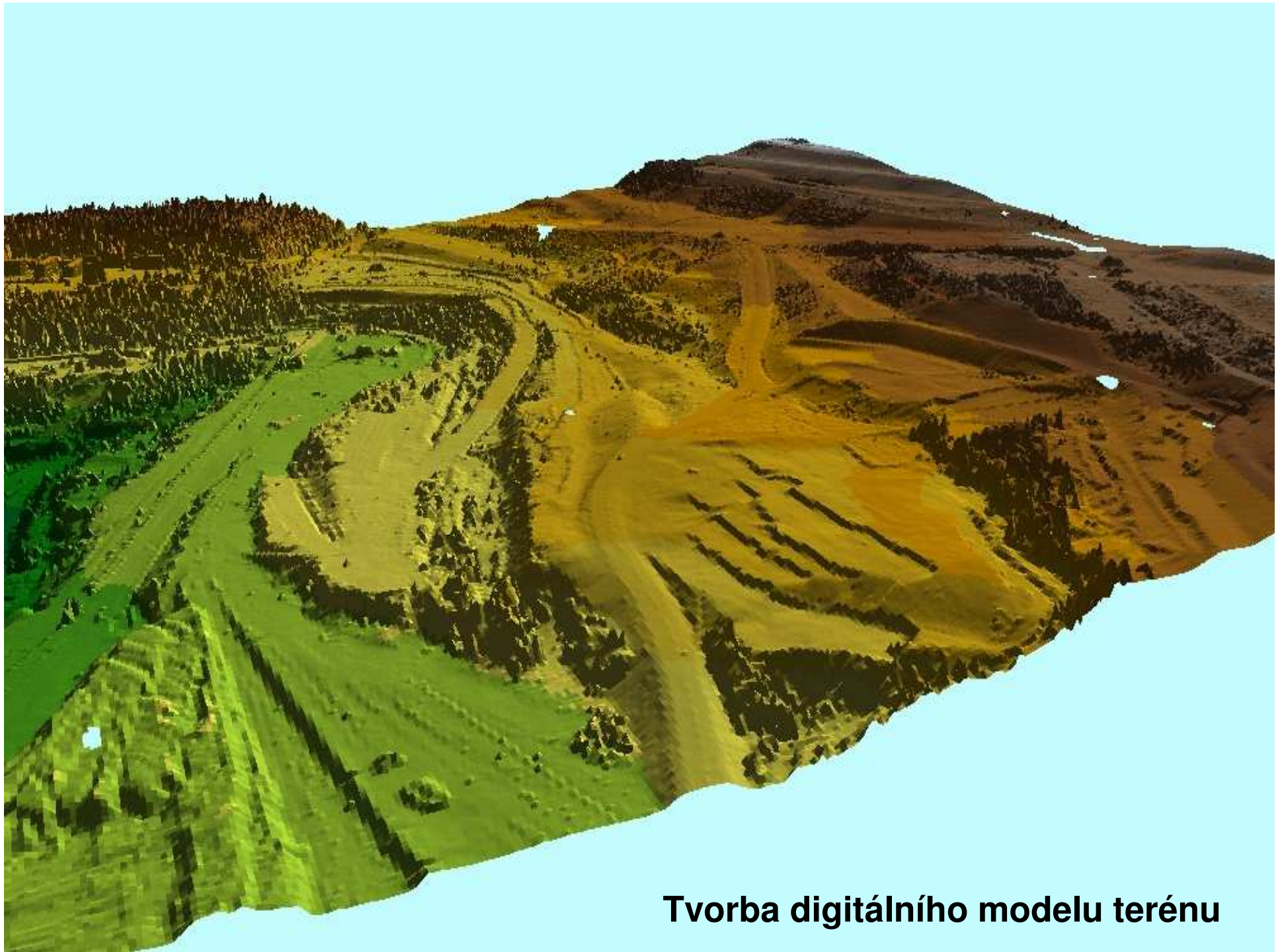
*Digitální model povrchu - řeka Svitava*

Zdroj: <http://www.geodis.cz/sluzby/letecky-laserscanning>

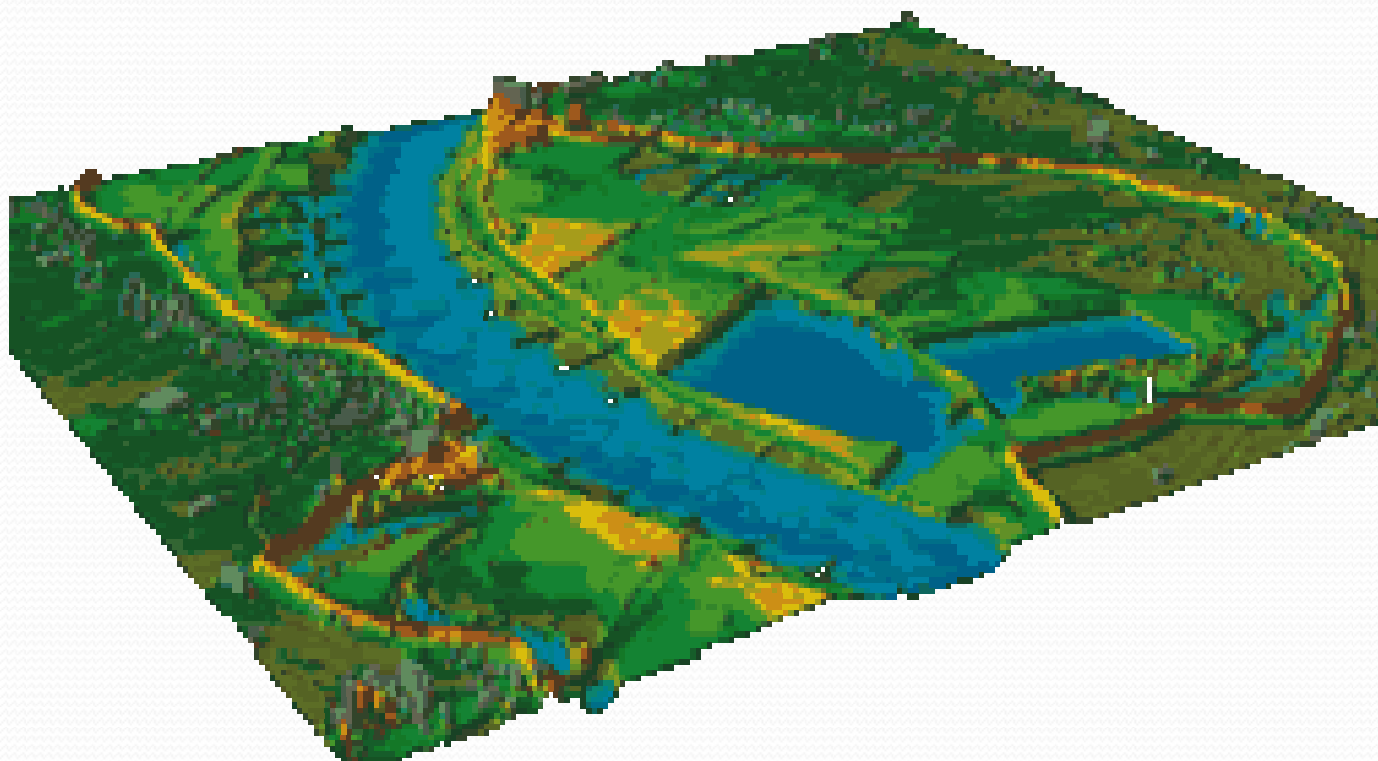


*Digitální model terénu - řeka Svitava*

Zdroj: <http://www.geodis.cz/sluzby/letecky-laserscanning>



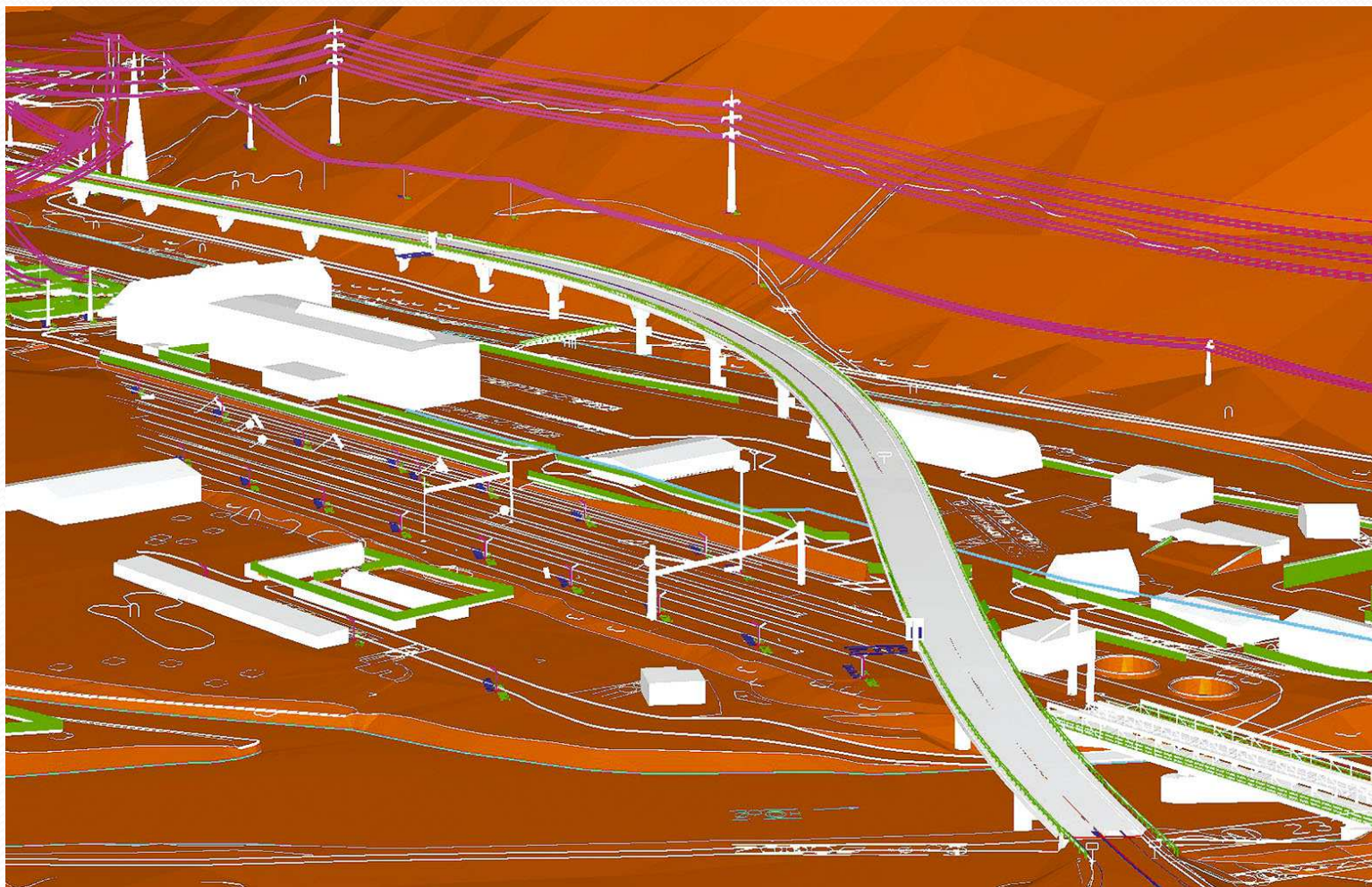
**Tvorba digitálního modelu terénu**



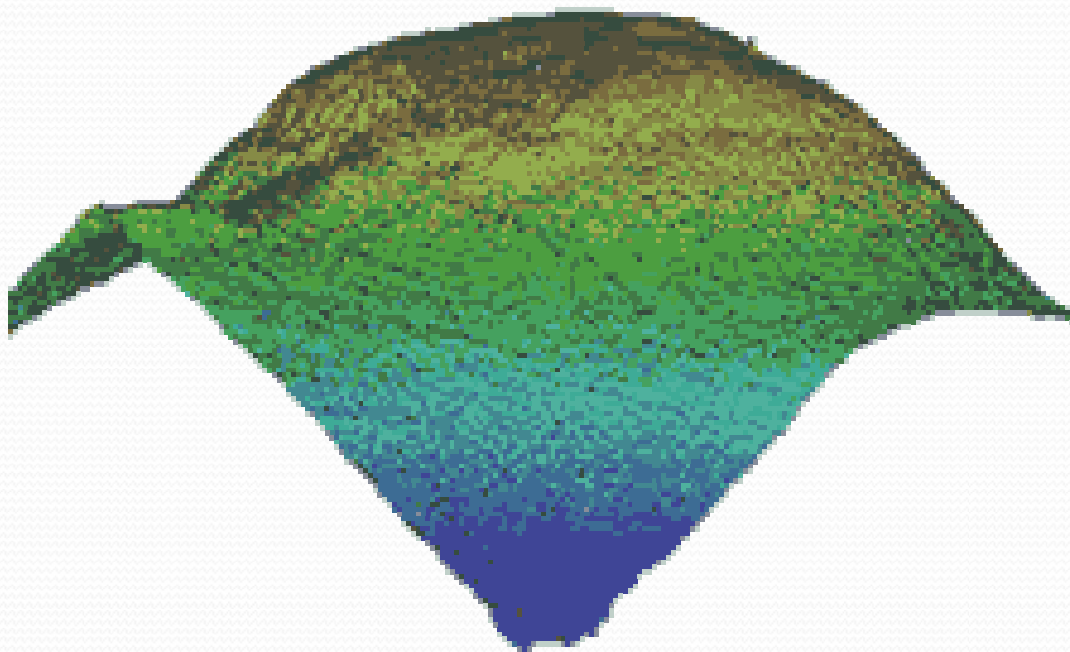
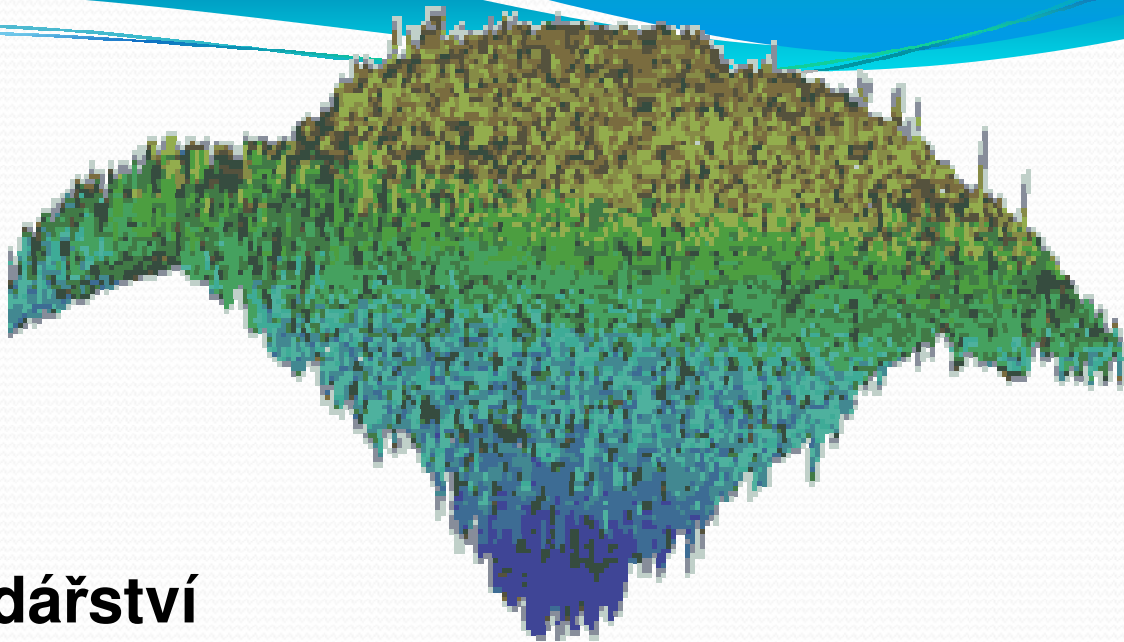
**Vodní hospodářství**



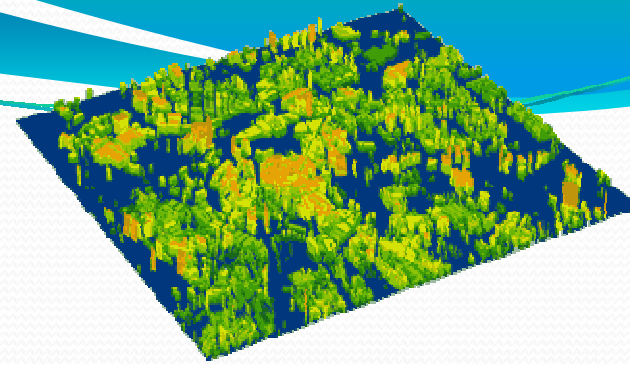
# Letecké skenování - výsledek 3D model



## Lesní hospodářství



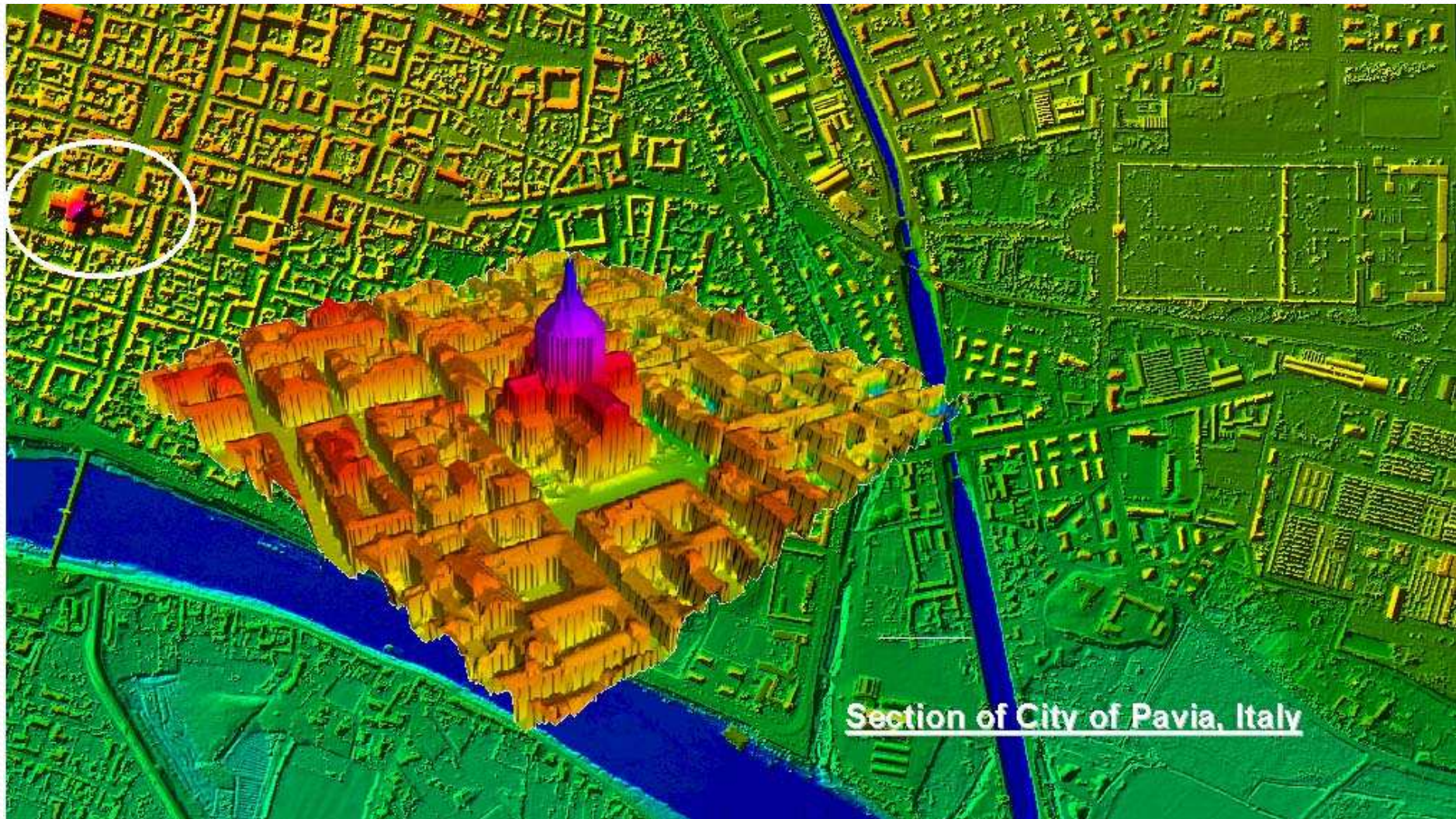
# Telekomunikace



# Mapování průběhu el. vedení



## 3D vizualizace



# Výrobci skenerů

Nejznámější výrobci jsou firmy

- **Optech** : skenery ALTM Orion (liniové objekty, Gemini (plošné mapování + DMT), Pegasus (universální typ s vysokou frekvencí 400 kHz při výšce letu 500m)
- **Leica Geosystems**: skenery, ALS70-HA (plošné mapování až z výšky 5km), ALS70-HP, ALS70-CM (liniové objekty z výšky 200-1000m)
- **Riegl**: skenery LMS - Q 680, LMS- Q 680i (použití je universální – topografické aplikace, mapování koridorů i městských oblastí, mapování území pokrytých ledem a sněhem, mapování elektrických vedení. Umožňuje Full-WaveForm Processing.), Toposys – skener LIDAR.

# Optech ALTM Gemini



# Leica ALS 70





# Riegl LMS Q680i

