

# Stručně k radarové interferometrii

Deformace vlivem poklesů terénu lze sledovat různými způsoby, tím nejrozšířenějším je nivelace. Avšak vzhledem k tomu, že se niveluje v liniích, jde o metodu náročnou, jde-li o sledování deformací na větším území.

Radarová interferometrie (InSAR) umožňuje mapování deformací na větším území, a to za cenu jen mírně závislou na velikosti území. Jedná se o zpracování série družicových snímků, kde cena je odvislá především od počtu těchto snímků.

InSAR se hodí především pro dlouhodobé sledování deformací (několik let). Například družice ENVISAT snímkuje cca jednou za měsíc a pro kvalitní zpracování je třeba více než 30 snímků (a je možné, že některé ze snímků nebude možné použít).

Reálná velikost jednoho pixelu ve snímku je určena rozlišením. Výpočet deformací nelze provést na celém území, ale pouze na tzv. trvalých odražečích, které jsou identifikovány během zpracování (tj. nelze je vybrat předem). Jedná se o body s vysokou odrazivostí směrem k radaru, které jsou zároveň dlouhodobě stabilní. Typicky jde o mosty nad vodou, budovy, skály. Metoda selhává v zarostlých oblastech, zde je možné nainstalovat k tomuto účelu vyrobené rohové odražeče (velikost cca 1 m). Trvalý odražeč odráží signál zpět k radaru tak silně, že signál odražený od ostatních bodů daného pixelu bude vůči tomuto zanedbatelný, případně jich může být více, měly by se pohybovat (poklesávat) stejně. V případě, že tomu tak nebude, metoda daný bod jakožto trvalý odražeč nekvalifikuje.

Standardní zpracování předpokládá, že rychlost poklesu terénu je v čase konstantní, to ale není podmínkou. Pro přesnější zpracování je ale třeba znát model deformací, které zpracování potvrdí a zpřesní, nebo vyvrátí.

Metoda umožňuje sledovat deformace zhruba od 1 mm ročně, tyto deformace by měly být pozvolné. Povolenou prostorovou změnu deformací však lze stěží určit; závisí na hustotě trvalých odražečů. Nesmí překročit polovinu vlnové délky (několik cm) mezi dvěma nejbližšími odražeči; pokud se deformace bude této hodnotě blížit, opět hrozí, že zpracování nebude možné či bude nespolehlivé.

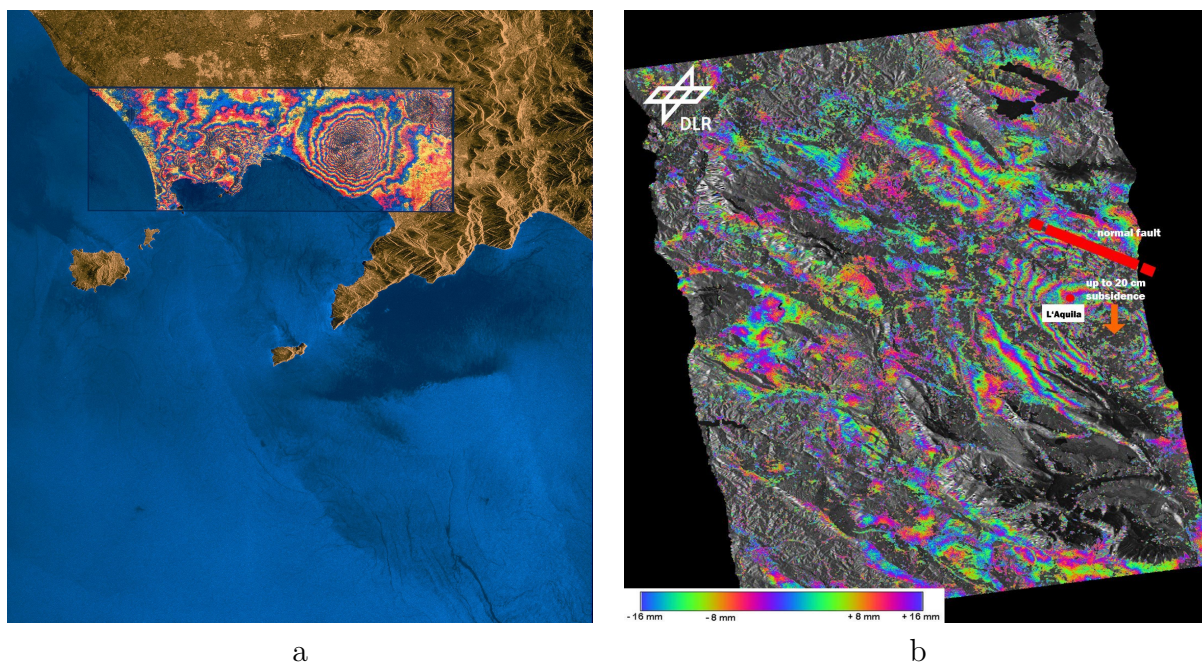
Metoda je přesnější, použije-li se přesný digitální model terénu (DEM); méně přesný SRTM je dostupný zdarma a když je dostatečný počet snímků, lze získat korekce k méně přesnému modelu – tzn. přesný DEM je jako výstup.

Metoda pracuje relativně vůči referenčnímu bodu (je lepší, pokud jich je více). Tyto referenční body musí být trvalé odražeče a musí o nich být známo, že jsou stabilní (případně je nutné znát vývoj jejich poklesů v čase).

Náš tým dosud zpracovával snímky z družic ERS-1 a ERS-2 z 90. let 20. století. Nyní pracujeme na projektu, který by měl sledovat poklesy uměle vyrobených odražečů v hnědouhelné pánvi. Zde používáme snímky z družice ENVISAT, které se snímají od r. 2009.

Výsledkem zpracování metodou radarové interferometrie je georeferencovaná mapa deformací na zadaném území.

InSAR implicitně sleduje pouze deformace ve směru radarového paprsku, tj. (u ERS-1/2) cca 23 stupňů od svislice. Pokud jsou očekávány pouze svislé deformace, lze je snadno přepočítat. Vektor deformací jako takový pro každý bod vypočítat nelze, lze však použít více



Obrázek 1: Příklad interferogramů z družic ERS (a) a TerraSAR-X (b). Obrázky pocházejí od zahraničních týmů a zobrazují území v zahraničí. Zdroje: [http://www.esa.int/esaEO/SEMA20W4QWD\\_index\\_1.html](http://www.esa.int/esaEO/SEMA20W4QWD_index_1.html) (a), [http://www.dlr.de/en/DesktopDefault.aspx/tabid-3086/4804\\_read-17678/gallery-1/gallery\\_read-Image.1.9471/](http://www.dlr.de/en/DesktopDefault.aspx/tabid-3086/4804_read-17678/gallery-1/gallery_read-Image.1.9471/) (b). Barevné proužky ("fringe" znamenají změnu fáze o jeden cyklus ( $2\pi$ )). Mohou znázorňovat buď topografii, nebo deformace (poklesy, sesuvy, seismické efekty) nebo atmosférické vlivy, což nejspíše není tento případ. Interferogram lze interpretovat kvalitativně, tj. došlo či nedošlo k deformaci, ale kvantitativní interpretace je složitější.

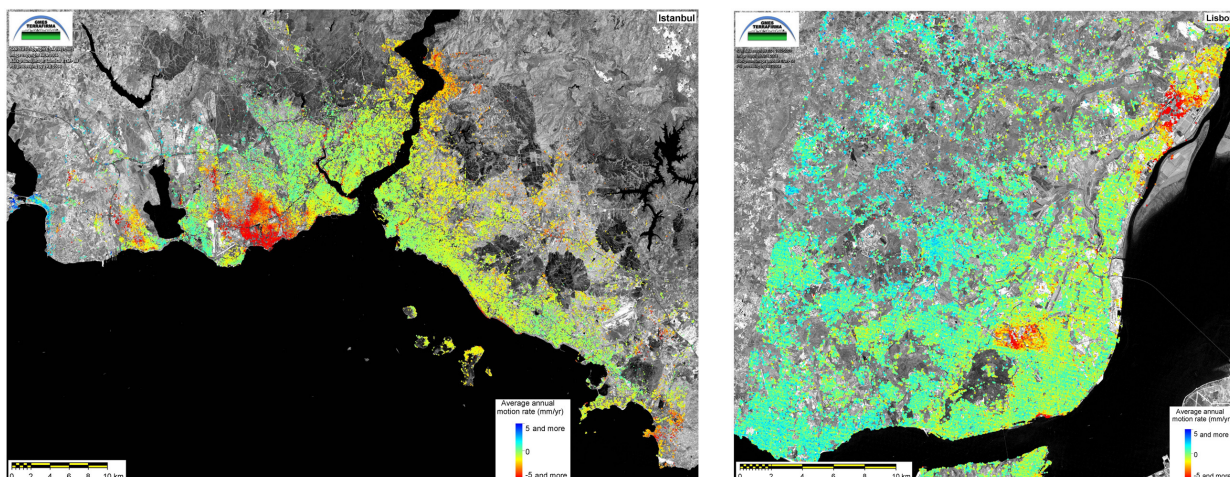
sérií dat z různých drah družic, kde jsou paprsky vysílány pod jiným úhlem, případně i série z jiných družic. Tato kombinace v sobě skrývá nebezpečí, že jiné body budou identifikovány jako trvalé odražeče.

Přesnost metody je obtížné kvantifikovat, je odvislá od počtu snímků a jejich kvality (ovlivněna především terénem, problematické jsou zarostlé oblasti, oblasti s prudkými svahy, nejlepších výsledků dosahuje metoda v zastavěných oblastech), zahraniční týmy se dostávají na několik desetin mm/rok (záleží i na časové hustotě dostupných dat), schopnosti našeho týmu odhadujeme na několik mm/rok.

Problematická je velká a velmi prudká deformace - nejlépe se sledují deformace pozvolné v čase i v prostoru - hranice nelze jednoznačně určit, protože opět záleží na terénu, ale dejme tomu 10 cm/rok a 10 cm/km.

## ERS-1/2

- historická záležitost, ERS-1 do r. 1996 (potom sporadicky), ERS-2 má od r. 2000 porouchaný gyroskop a většinu snímků nelze použít; použitelné pouze pro sledování v letech cca 1995-2000
- vlnová délka 5.67 cm



Obrázek 2: Ukázky map poklesů, získaných z družice ERS v různých zahraničních lokalitách. Zdroj: [www.esa.int/esaCP/SEMFW08LURE\\_Italy\\_1.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMFW08LURE_Italy_1.html). V obrázcích je stěží viditelná barevná škála znázorňující, že v oblastech znázorněných červenou barvou jsou poklesy nejrychlejší, v oblastech znázorněných žlutou jsou poklesy již nižší a zelenomodrá barva znázorňuje stabilní území.

- perioda snímkování 35 dnů
- cena snímku 25 euro<sup>1</sup>
- minimum 10 snímků pro zpracování, obvykle však přes 30
- rozlišení 4.5 m ve směru letu, 20-30 m ve směru kolmém
- velikost snímaného území cca 100 × 100 km<sup>2</sup>

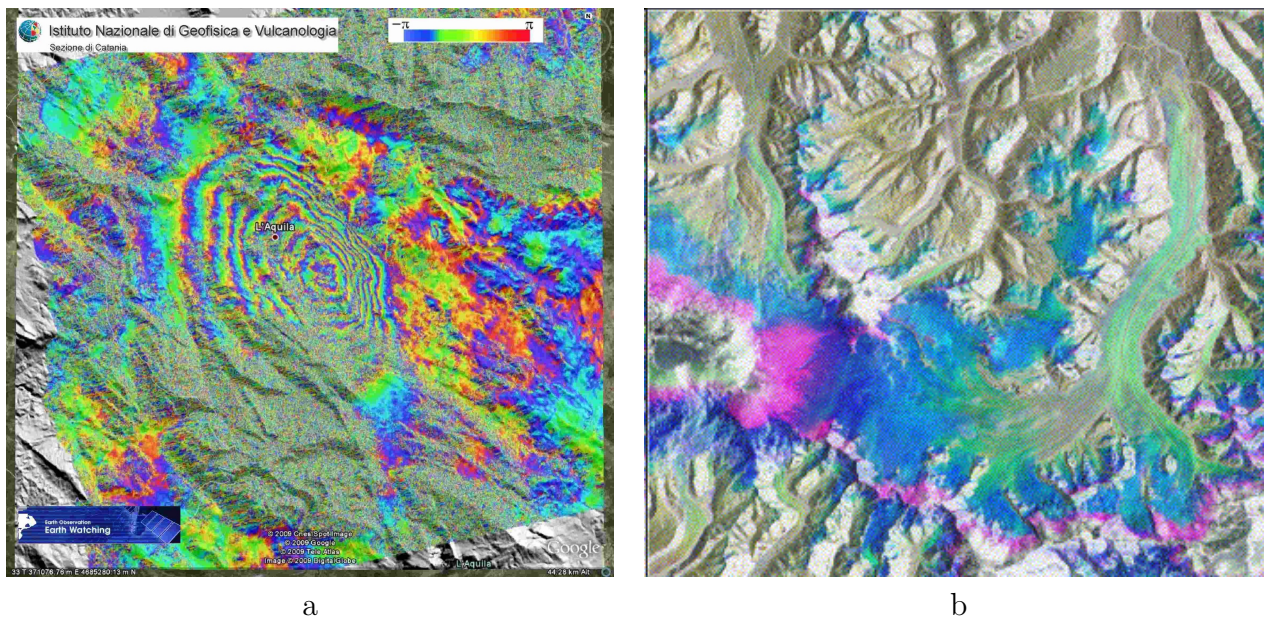
## ENVISAT

- vlnová délka 5.63 cm
- perioda snímkování 35 dnů (snímky se musí předem objednat, je možné, že v archívu budou nějaké snímky nalezeny, ale není to jisté)
- cena snímku 25 euro<sup>3</sup> + případné poplatky za programování družice
- minimum 10 snímků pro zpracování, obvykle však přes 30
- dva režimy snímkování, různé úhly dopadu (viz tab. 1)

<sup>1</sup>platí pro vědecké účely

<sup>2</sup>celé území nezpracováváme; výřez ideálně do 10km krát 20 km

<sup>3</sup>platí pro vědecké účely



Obrázek 3: Ukázka interferogramu (a) a mapy poklesů (b), získaných z družice ENVISAT v různých zahraničních lokalitách. Zdroje: <http://www.ct.ingv.it/Default.asp?Pagina=./Interferogramma.htm> (a), <http://envisat.esa.int/handbooks/asar/CNTR1-1-6.htm> (b). Zatímco interferogram vzniká ze dvou snímků, mapa poklesů pořízená jen ze dvou snímků je vysoce nespolehlivá – nelze lze odlišit pravou deformaci od atmosférických vlivů, chyb v poloze satelitů a chyb v DEM.

režim	rozlišení [m] (směr letu × kolmo)	velikost scény [km]	inc. úhel
PRECISION	6 × 20–30	100 × 56–100	45°–15°
WIDE SWATH (ScanSAR)	150 × 150	400 × 400	

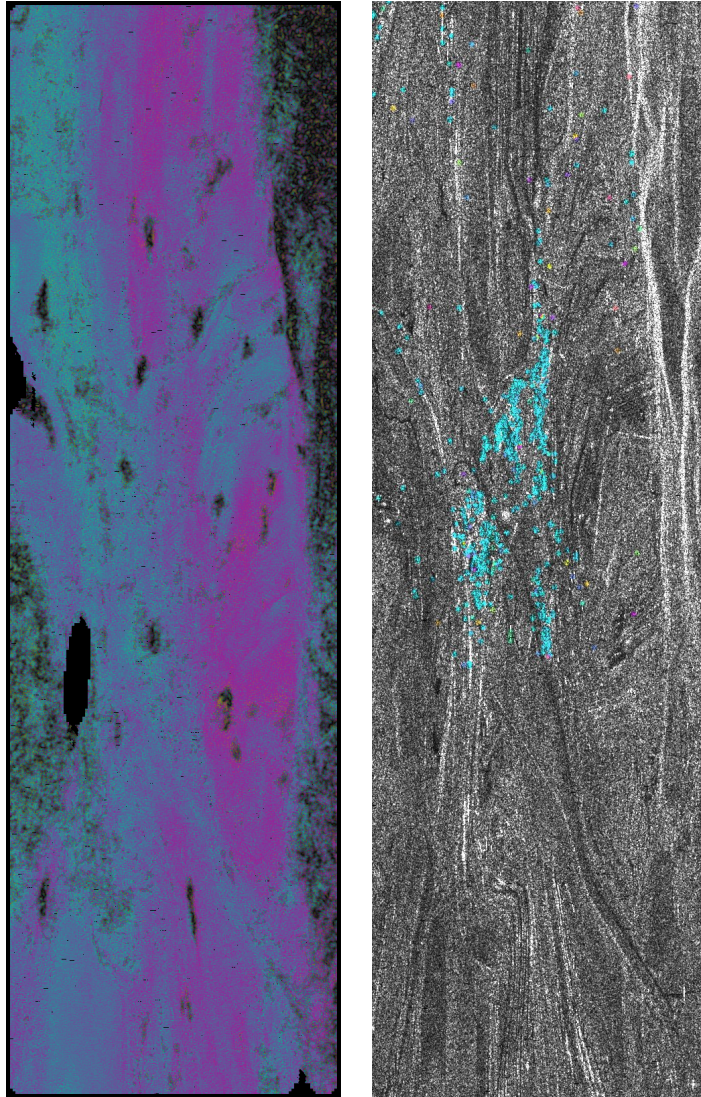
Tabulka 1: Snímkovací režimy družice ENVISAT

## TerraSAR-X

- vlnová délka 3.1 cm, tzn. cca dvakrát lepší přesnost
- perioda snímování 11 dnů
- cena snímku 175 euro <sup>4</sup>
- množství snímků odhadujeme stejně jako v ostatních případech
- různé druhy snímků (velikost scény a rozlišení; viz tab. 2)

Máte-li další dotazy k metodě, můžete je poslat na [hlavacova@insar.cz](mailto:hlavacova@insar.cz), máte-li zájem o spolupráci, ozvěte se prosím na [lena.halounova@fsv.cvut.cz](mailto:lena.halounova@fsv.cvut.cz).

<sup>4</sup>platí pro vědecké účely



Obrázek 4: Ukázka interferogramu (a) a mapy poklesů (b) na malé oblasti v ČR. Jedná se o poměrně zarostlou oblast s malým počtem bodů identifikovaných jako trvalé odražeče; mnoho bodů bylo zavrženo proto, že v jejich blízkosti nebyl identifikován bod "dostatečně přesný". Jedná se o předběžné výsledky, na kterých budeme nadále pracovat. Z obrázku je zřejmé, že zde větší oblast neklesá (alespoň v měřítku, ve kterém je mapa vyhotovena, kde barevný cyklus odpovídá 30 cm/rok. Osamocené barevné body lze považovat za chyby, které budou odstraněny v rámci dalšího zpracování.

režim	rozlišení [m] (směr letu × kolmo)	velikost scény [km]
High resolution	až 1 m	5 × 10
StripMap	až 3 m	50 × 30
ScanSAR	až 18 m	150 × 100

Tabulka 2: Snímkovací režimy družice TerraSAR-X. Tato tabulka byla přejata z [1].

## Reference

- [1] Webové stránky InfoTerra GmbH: <http://www.infoterra.de/terrasar-x/>