

# Műholdradar interferometria és alkalmazása a geodéziában

*Ambrus Bence*

*Geodéziai alapkérdések 2018/19/1*




**BUDAPESTI MŰSZAKI  
ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM**  
Építőmérnöki Kar - építőmérnöki képzés 1782 óta

Általános és Felsőgeodézia Tanszék

# MICSODA A RADAR?

- Alapvetően távmérő eszköz: a kibocsátott jel (elektromágneses hullám) és annak visszaérkezése között eltelt időt méri.
- A geodéziában/távérzékelésben alkalmazott radarok az ún. képalkotó radarok (a visszaérkező jel intenzitását is rögzítik):
  - *RAR (Real Aperture Radar, Valódi Apertúrájú Radar): valós, fizikai antennával (apertúrával) rendelkezik.*
  - *SAR (Synthetic Aperture Radar, Szintetikus Apertúrájú Radar): matematikailag szintetizált (számolással, mesterségesen “létrehozott” apertúra).*

# RADAR HULLÁMHOSSZAK, FREKVENCIÁK ÉS PENETRÁCIÓJUK

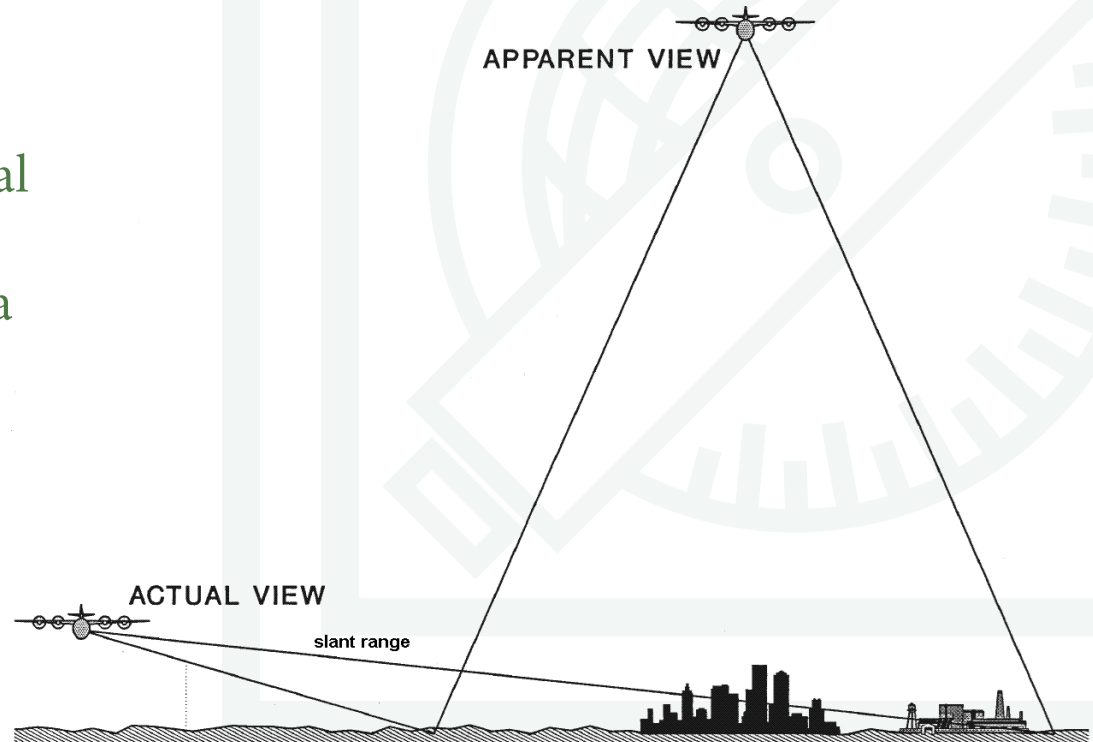


$\lambda / f$	Atmo	Vegetation		Snow	Ice	Soil	Sand
		Forest	Agric.				
P-Band 90cm/330MHz							
L-Band 24cm / 1.2GHz							
S-Band 12cm / 2.5GHz							
C-Band 6cm / 5GHz							
X-Band 3cm / 10GHz							
Ku-Band 2cm / 15GHz							
K-band 1cm / 30GHz							
Ka-Band .75cm / 40GHz							

# A RADAR KÉPALKOTÁSA

A felvétel koordináta-rendszere:

- azimut: haladási iránnyal megegyező
- range: a haladási irányra merőleges, oldalra néző



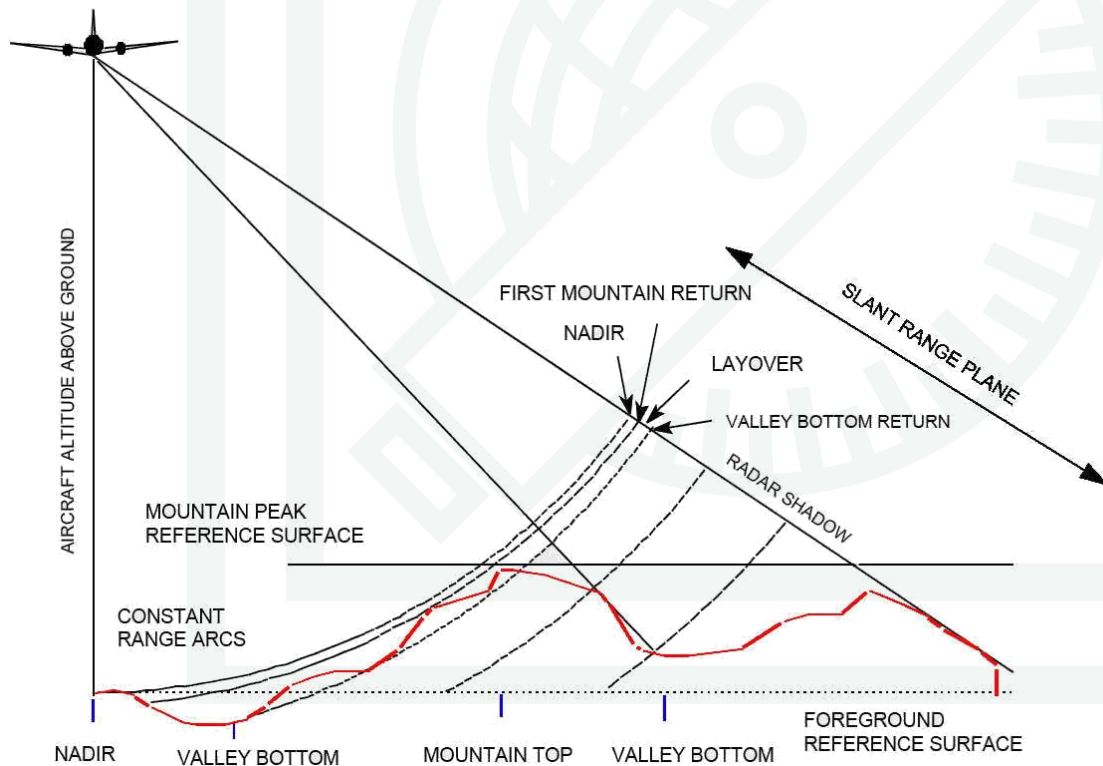
**Figure 5-10.** Perceptual confusion in synthetic aperture radar (SAR) images – images obtained from the side appear like images obtained from overhead.

# KÉPALKOTÁS – ÁTHAJLÁS (LAYOVER)

A radar koordináta-rendszerének irányai:

- azimut (haladási irány)
- range (oldalirány, a haladásra merőleges)

Áthajlás: a hegycsúcs “hamarabb” képződik le, mint a hegy lába.



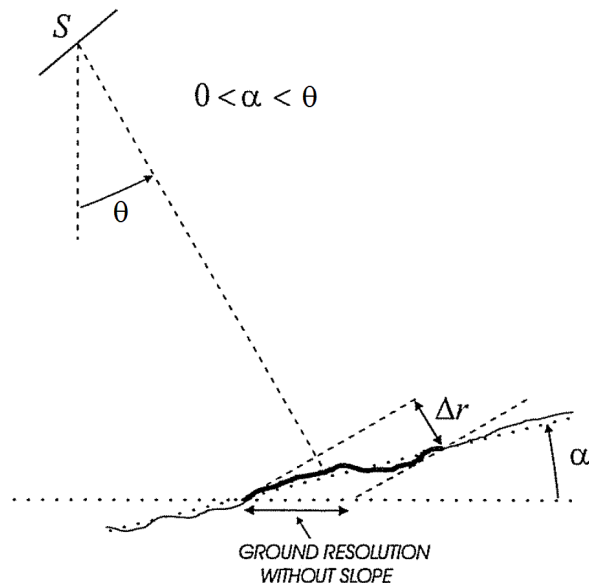
# KÉPALKOTÁS – ÁTHAJLÁS (LAYOVER)



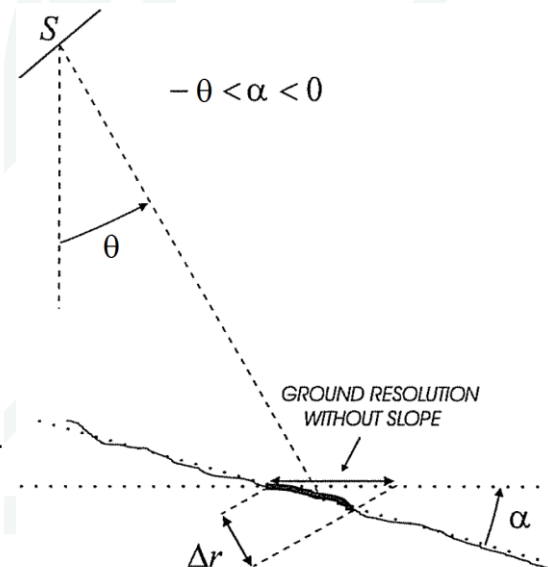
0 2 km

# KÉPALKOTÁS – ELŐRÖVIDÜLÉS (FORESHORTENING)

A radar felé néző  
meredeken emelkedő  
domboldal megrövidül, a  
felvételezés irányába eső  
lejtő meghosszabodik.



**FIGURE 32** Foreshortening effect:  $0 < \alpha < \theta$ . The resolution cell on the ground is highlighted.



**FIGURE 33** Foreshortening effect:  $-\theta < \alpha < 0$ . The resolution cell on the ground is highlighted.

# ELŐRÖVIDÜLÉS GEOKÓDOLÁS ELŐTT/UTÁN

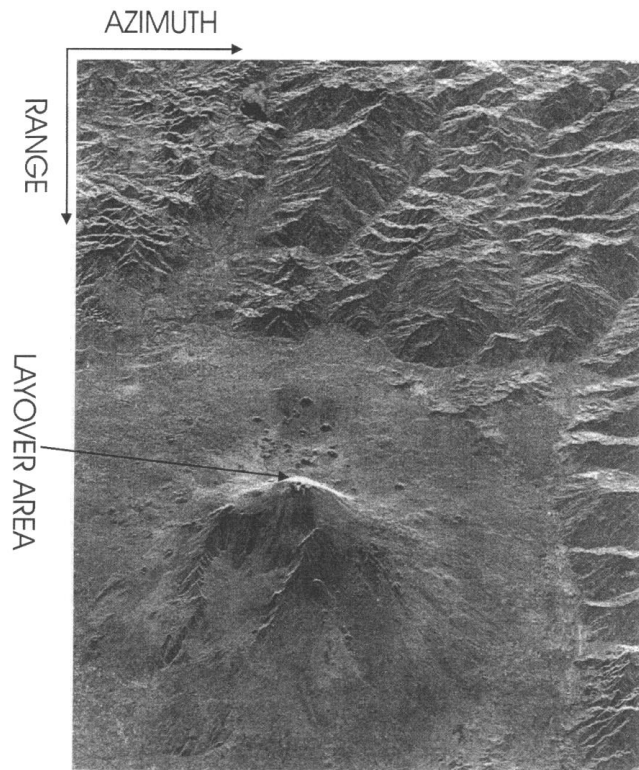


FIGURE 37A ERS-1 SAR image of the Mt. Etna, Italy, in the azimuth, slant range plane (copyright ESA on ERS-1 raw data).

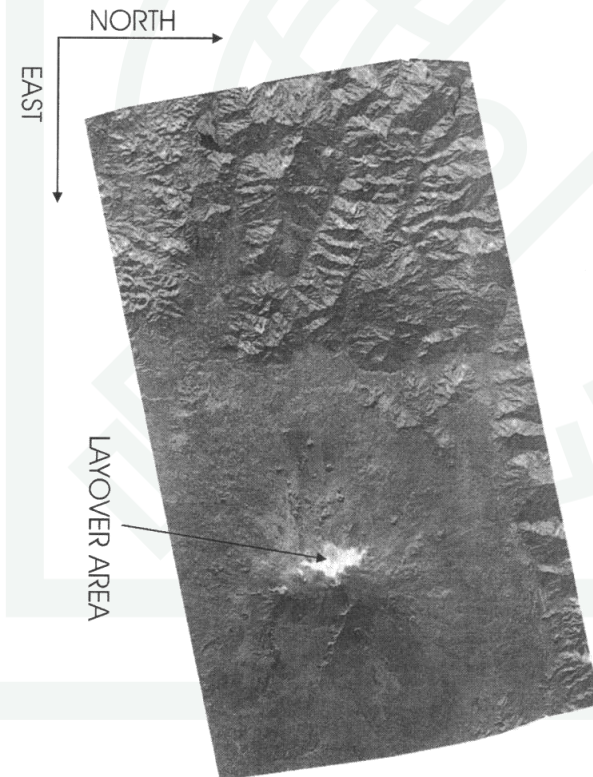


FIGURE 37B Geocoded version of the SAR image in Figure 37A.



# KÉPALKOTÁS – RADARÁRNYÉK (SHADOW)

A meredek hegyoldalak/tereptárgyak kitakarhatják (árnyékolhatják) a mögöttük lévő objektumokat.

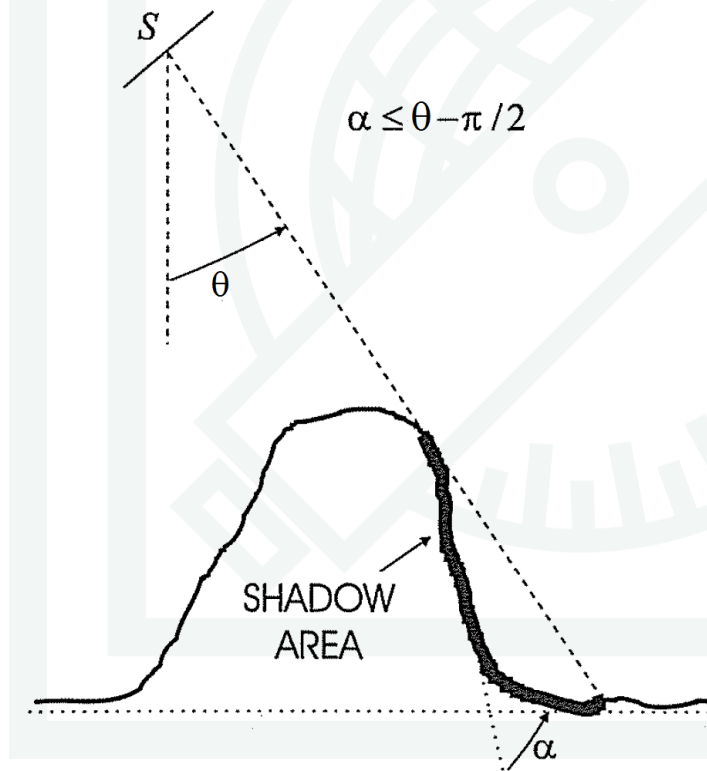


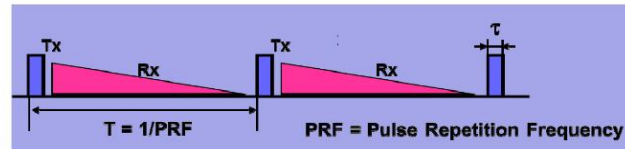
FIGURE 35 Shadow effect:  $\alpha \leq \theta - \pi/2$ .

# SZINTETIKUS APERTÚRÁJÚ RADAR (SAR)

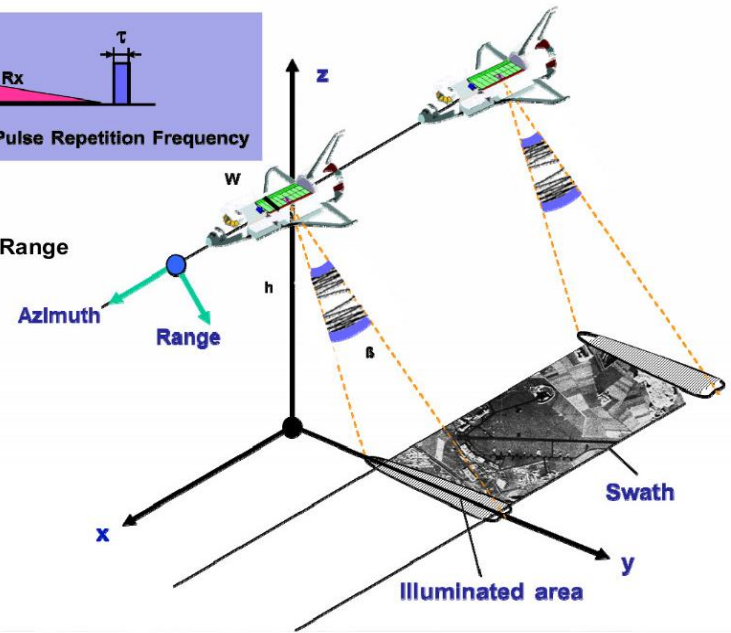
A gyenge azimut irányú felbontás növelésére a képalkotás egy bizonyos távolságon történik, ez a távolság less a szintetizált apertúra nagysága.

A Doppler-frekvencia felhasználásával egy objektum mindaddig részt vesz a képalkotásban, amíg a radar látómezejében tartózkodik.

Pulsed radar system



2-D Imaging: Azimuth x (Slant) Range



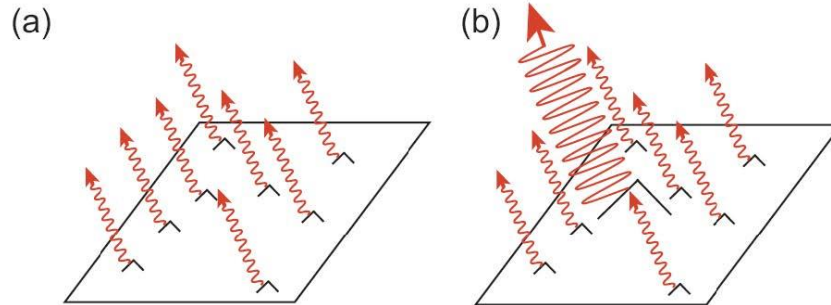
Forrás: Konstantinos P. Papathanassiou – Introduction to Synthetic Aperture Radar and SAR-Interferometry

# KOMPLEX SAR FELVÉTELEK (SLC)

Minden SAR képpont egy komplex szám:

- Valós rész: amplitúdó (anyag, nedvesség, beesési szög, stb.)
- Képzetes rész: fázis ( $0-2\pi$ , radar-terep távolság)

Képpont terepi mérete (Sentinel-1 IWS mód): 5 x 20 m



Forrás: Malte Westerhaus, GIK-KIT

# SAR INTERFEROMETRIA

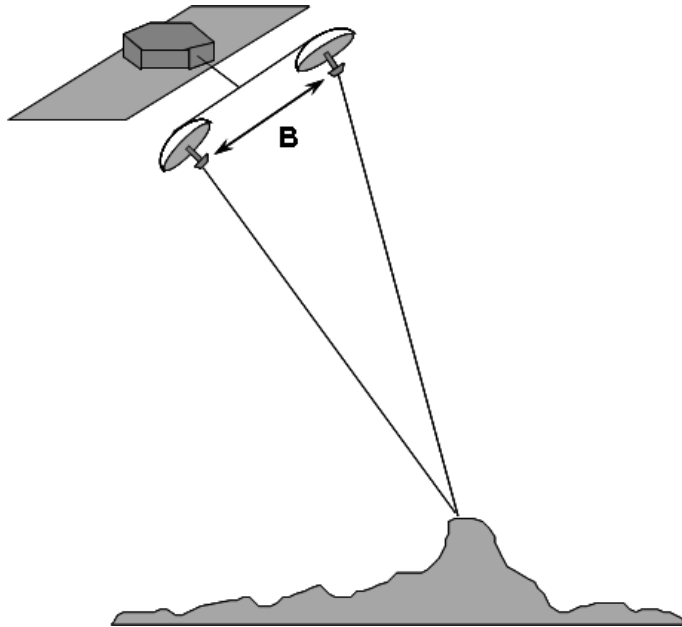
Alapvetően kétféle elrendezés lehetséges:

- Single-pass: egyetlen platform két radar szenzonnal, célja a topográfia térképezése (pl. SRTM).
- Repeat-pass/multipass/multi-temporal: egy vagy több platform, platformonként egyetlen radar szenzonnal, célja a felvételek közötti változások (mozgásvizsgálat, polarimetria stb.) monitorozása (pl. Envisat, TerraSAR-X, Sentinel-1A/B).

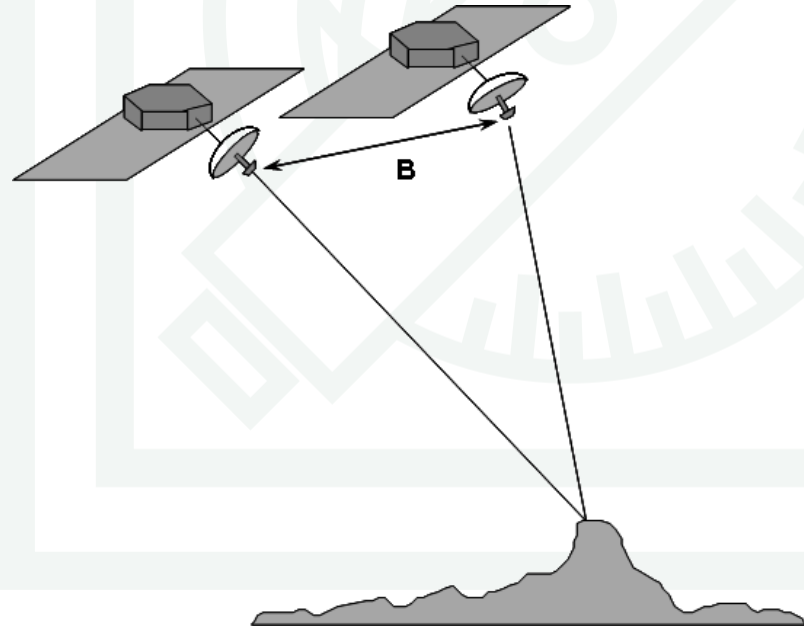
Forrás: Malte Westerhaus, GIK-KIT

# SAR INTERFEROMETRIA

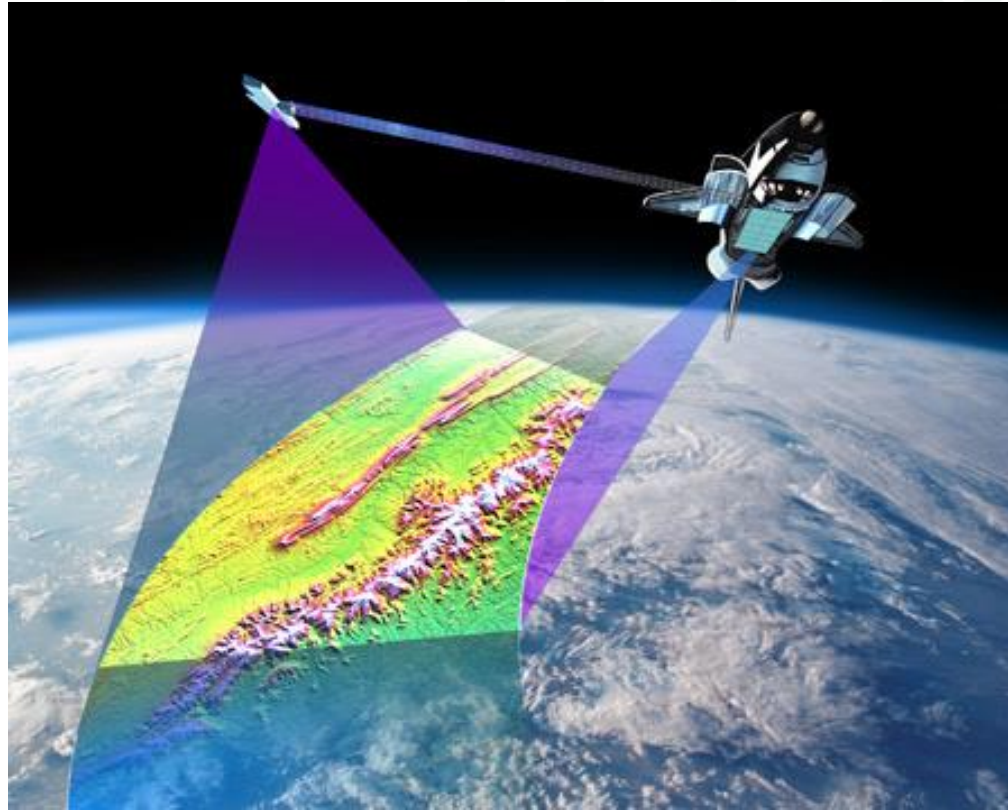
Single-pass



Repeat-pass

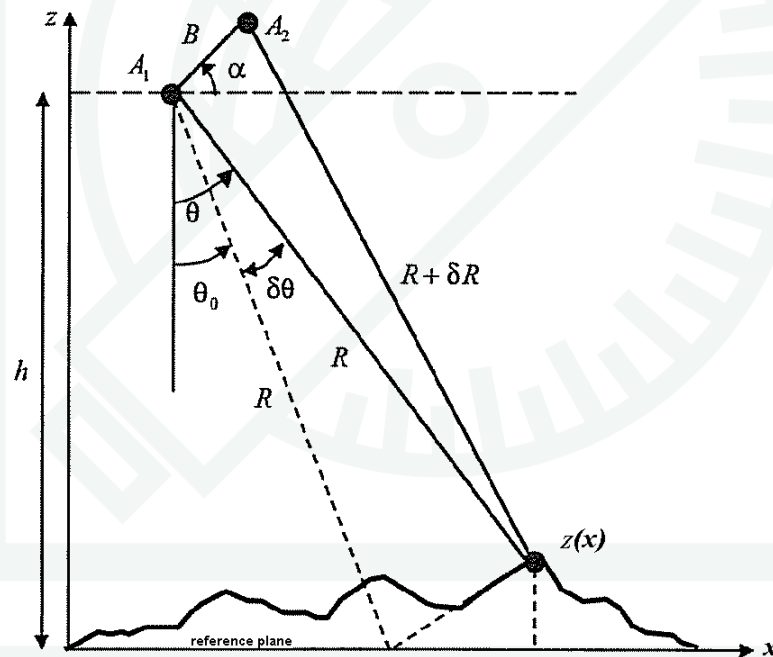


# SINGLE-PASS (SRTM – SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION)



# SINGLE-PASS INTERFEROMETRIA

Kapcsolat teremthető a referencia felszín feletti magasság ( $z(x)$ ) és a bázisvonal által eredményezett  $\delta R$  eltérés között, tehát a fázisváltozásból meghatározható a referencia felszín feletti magasság.



**Figure 6-45.** Basic interferometric radar geometry. The path length difference between the signals measured at each of the two antennas is a function of the elevation of the scatterer.

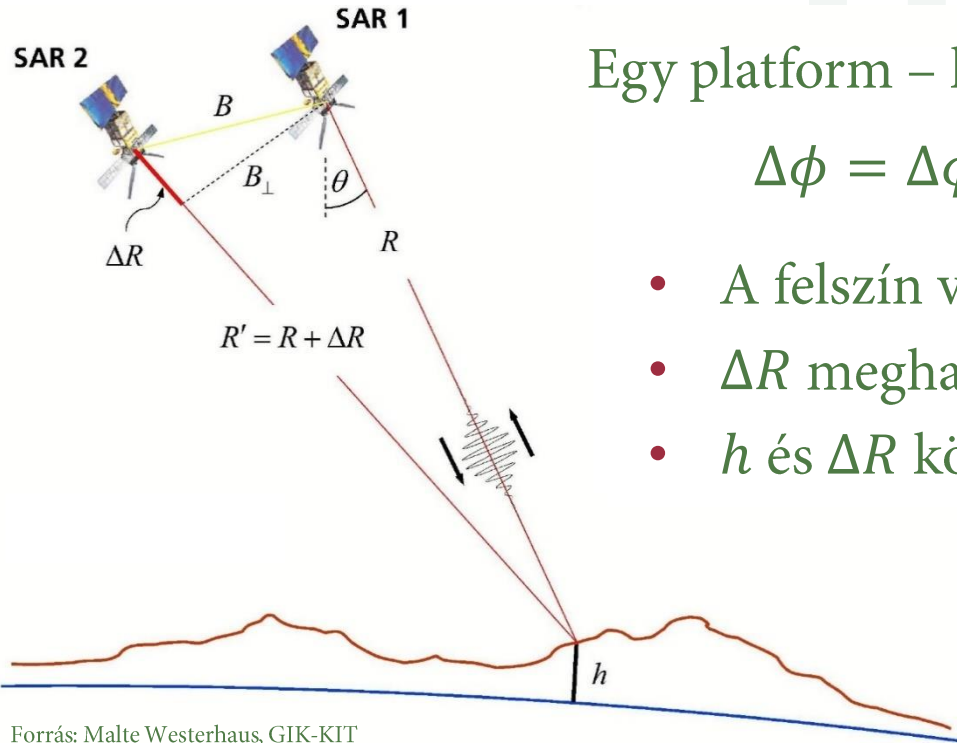
# SINGLE-PASS INTERFEROMETRIA

Interferogram: két SLC fázisainak különbsége

Egy platform – két antenna (single-pass)

$$\Delta\phi = \Delta\phi_{\text{ref}} + \Delta\phi_{\text{topo}} + \Delta\phi_{\text{zaj}}$$

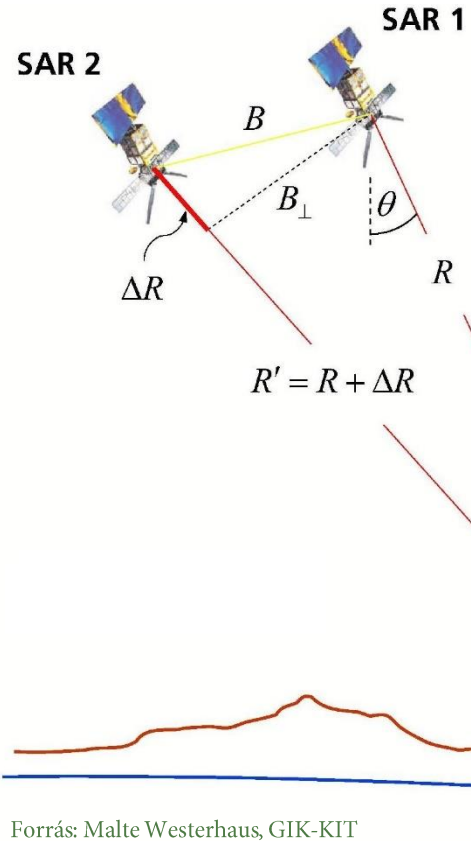
- A felszín változásmentes
- $\Delta R$  meghatározható a fáziskülönbségből
- $h$  és  $\Delta R$  között függvénykapcsolat



Forrás: Malte Westerhaus, GIK-KIT



# REPEAT-PASS INTERFEROMETRIA



Egy platform – egy antenna (multi-pass)

- A felszín megváltozhat
- Fáziskülönbséget okozó hatások:

$$\Delta\phi = \Delta\phi_{\text{ref}} + \Delta\phi_{\text{topo}} + \Delta\phi_{\text{def}} + \Delta\phi_{\text{atm}} + \Delta\phi_{\text{szp}} + \Delta\phi_{\text{zaj}}$$

$\Delta\phi_{\text{def}}$  : deformációból származó fázisváltozás

$\Delta\phi_{\text{atm}}$  : atmoszferikus hatásokból származó fázisváltozás

$\Delta\phi_{\text{szp}}$  : a szórópont karakterisztikájának megváltozásából adódó fázisváltozás

Forrás: Malte Westerhaus, GIK-KIT

# INTERFEROGRAM

Két SLC felvétel fáziskülönbségét tartalmazó kép.

Egy adott pixel SLC1-nél:  $u_1 = r_1 \cdot e^{-i\phi_1}$

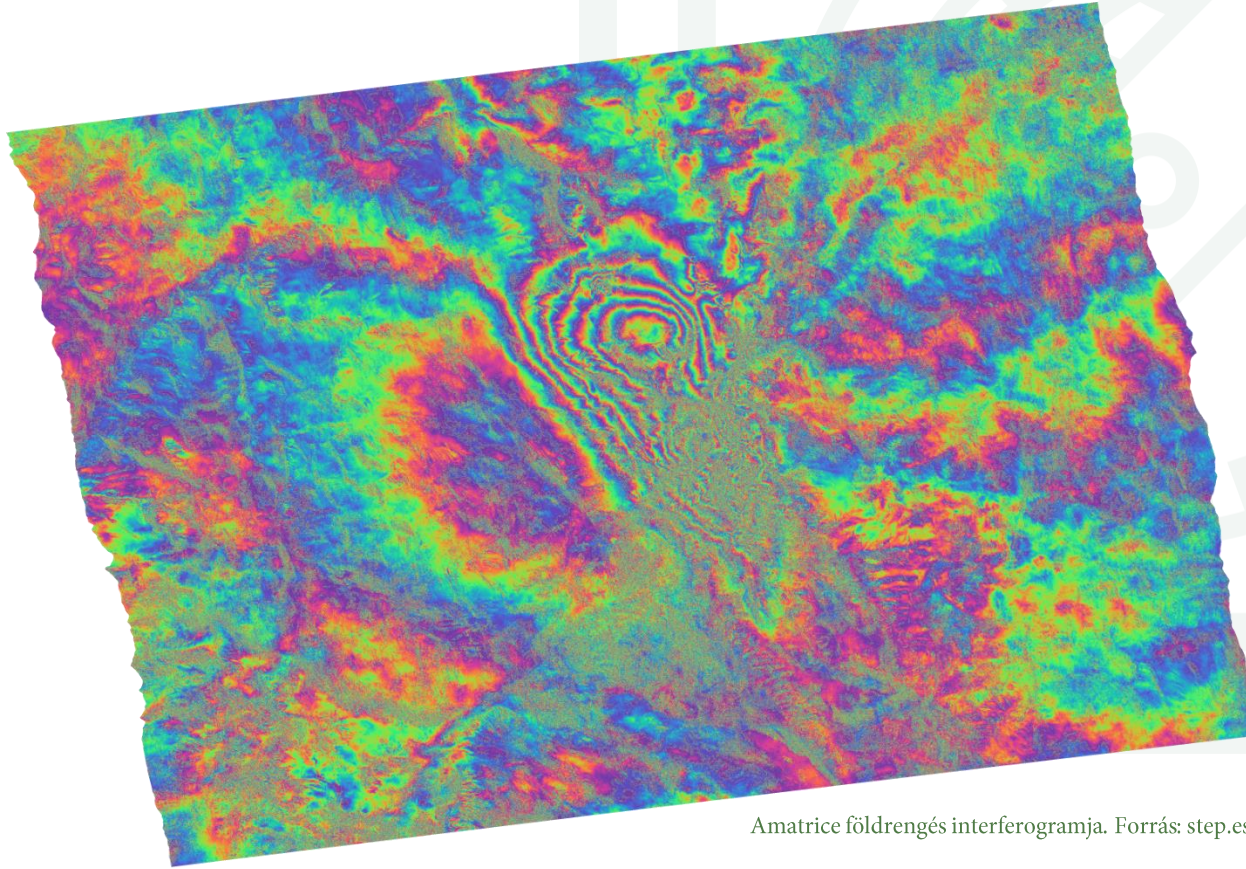
Ugyanez a pixel SLC2-nél:  $u_2 = r_2 \cdot e^{-i\phi_2}$

Az interferogramot úgy kapjuk, ha megszorozzuk SLC2-t SLC1 komplex konjugáltjával:

$$u_2 \cdot u_1^* = r_1 \cdot e^{-i\phi_2} \cdot r_2 \cdot e^{-i\phi_1} = r_1 \cdot r_2 \cdot e^{-i(\phi_2 - \phi_1)}$$

Vagyis az interferogramon minden pixel a fáziskülönbséget tartalmazza.

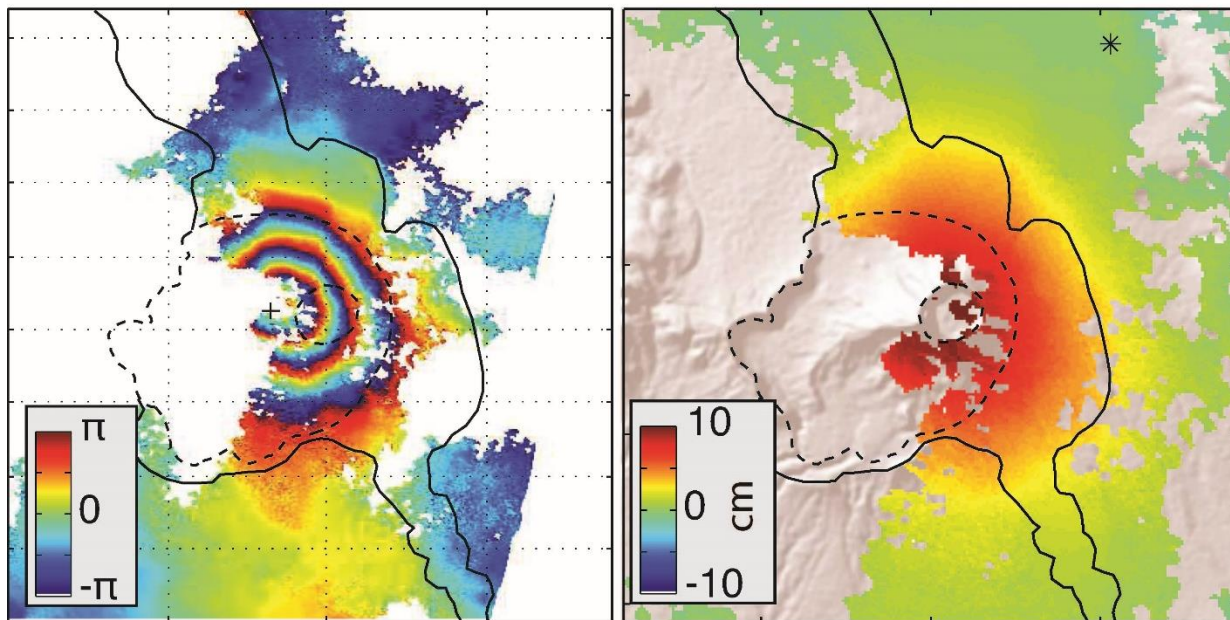
# INTERFEROGRAM



Amatrice földrengés interferogramja. Forrás: step.esa.int

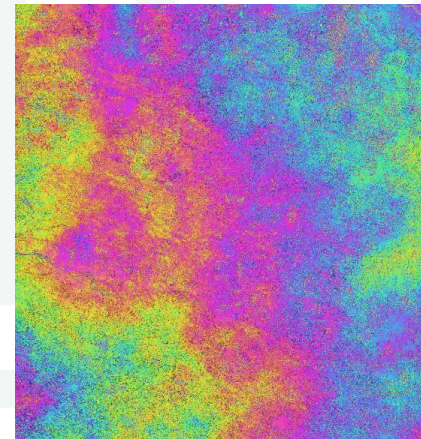
# FÁZISKIBONTÁS

Fáziskibontás (unwrapping): a ciklustöbbértelműségek meghatározása és hozzáadása a fázisértékekhez.

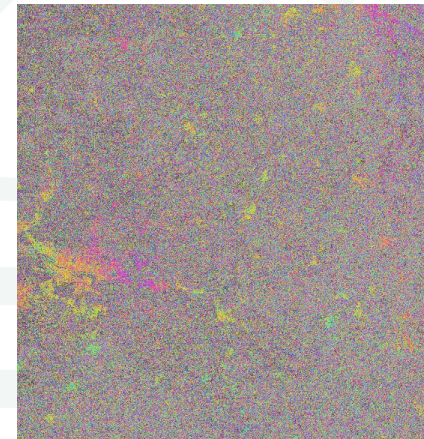


# DEKORRELÁCIÓ

- Dekorreláció: a felvételek között nagymértékű és véletlenszerű fázisváltozás értelmezhetetlenné teszi az interferogramot.
- Általában kisebb mértékű mozgásokat vizsgálunk hosszabb távon.
- 50–60 SLC-ből álló halmaz
- Dekorrelációs hatások
  - *Bázisvonal dekorreláció*
  - *Időbeli dekorreláció*
    - Atmoszféra
    - Visszaverő karakterisztika
    - Nagyobb felszínváltozás



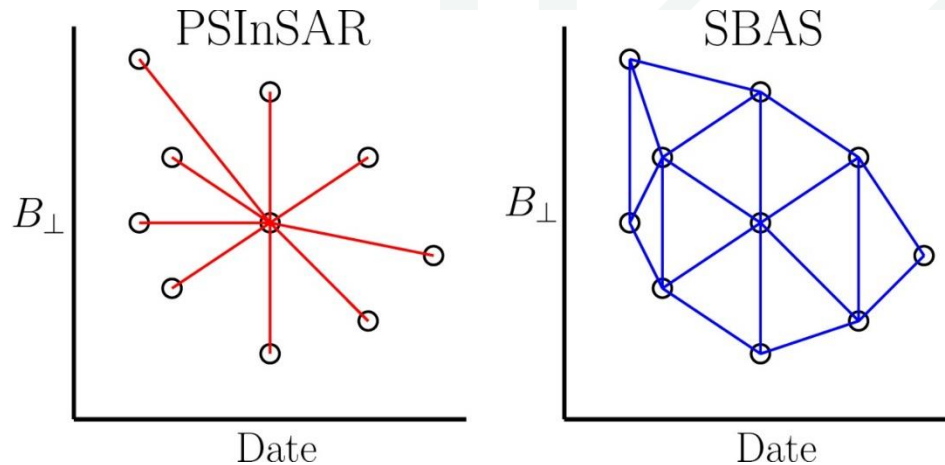
1 nap



1015 nap

# MULTI-TEMPORAL INSAR

- PSInSAR: Persistent/Permanent Scatterer (állandó szórópont)
  - *Egy master felvétel*
- SBAS: Small BAseline Subset
  - *Hálózat kialakítása, minimalizálva a bázisvonalakat*

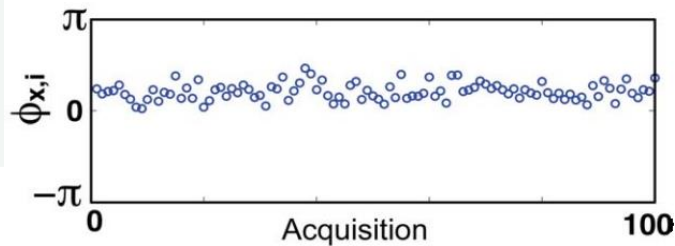
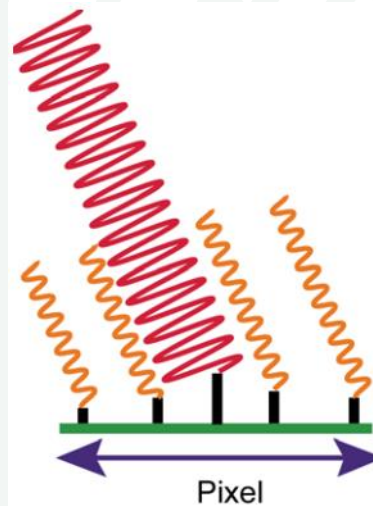
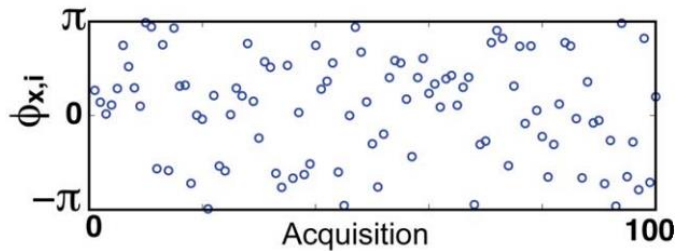
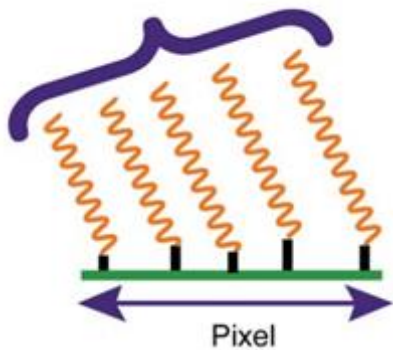


Forrás: South Aegean Geodynamic And Tsunami Monitoring Platform

# ÁLLANDÓ SZÓRÓPONTOK (PS)

Egyetlen visszaverő  
dominálja a pixelt

A jelek összeadódva adják  
ki egyetlen pixel fázisát



Forrás: Andy Hooper – Persistent Scatterer InSAR

# FELDOLGOZÁS

1. Adatok beszerzése (Sentinel esetében: Copernicus Open Access Hub vagy 3<sup>rd</sup> party adatbankok)
2. Előfeldolgozás: a vizsgált terület leválogatása, képek összefűzése, stb.
3. Koregisztráció (Sentinel-1 esetében kritikus)
4. Interferogramok képzése
5. Szabályos fázistényezők (földgömbület, topográfia) eltávolítása
6. Előzetes PS pontok kiválasztása
7. Atmoszféra és maradék hibák hatásának csökkentése szűréssel
8. Végleges PS pontok meghatározása
9. Fáziskibontás
10. Fáziskülönbségek műholdirányú elmozdulássá konvertálása



# SENTINEL-1 A/B

- Része a Copernicus földmegfigyelési programnak
- C-sávú radar
- 2014/2015 április óta, 6 napos visszatérési idő
- Ingyenesen hozzáférhető termékek a Copernicus Open Access Hubon keresztül
- Nyílt forráskódú szoftverek: API-k, feldolgozó szoftverek, cloud computing
- Interferometriára és polarimetriára kihegyezett észlelési mód

# ADATOK BESZERZÉSE: COPERNICUS OPEN ACCESS HUB

Interaktív webes felület  
vagy az API  
használata.

The screenshot displays the Copernicus Open Access Hub search interface. The top navigation bar includes the ESA and Copernicus logos. A search bar is present with the placeholder text "Insert search criteria...". The main search panel is titled "Advanced Search" and contains several filter sections:

- Sort By:** Ingestion Date
- Order By:** Descending
- Sensing period:** From: 2017/08/01 to: 2017/08/31
- Ingestion period:** From: to:
- Mission: Sentinel-1 (checked):**
  - Satellite Platform: SJA\_\*
  - Product Type: SLC
  - Polarisation: VV
  - Relative Orbit Number (from 1 to 175):
- Mission: Sentinel-2 (unchecked):**
  - Satellite Platform:
  - Product Type:
- Cloud Cover % (e.g. [0 to 9.4])

On the right side, a satellite map shows a region around Hamburg, Germany. A yellow rectangular area of interest is overlaid on the map, covering a portion of the city and surrounding areas. The map includes labels for various locations such as Hamburg, Glinda, Lüneburg, and others.

Insert search criteria...

S1A\_IW\_SLC\_1SDV\_20170831T053306\_20170831T053333\_018163\_01E845\_EB71

Display 1 to 15 of 15 products  
Order By: Ingestion Date

Request Done: ( footprint: 53.02563692002107,10.021153.41566618494565,9.1829

S1A SAR-C S1A\_IW\_SLC



Download URL: [...](#)  
Mission: Sentinel

S1A SAR-C S1A\_IW\_SLC



Download URL: [...](#)  
Mission: Sentinel

S1A SAR-C S1A\_IW\_SLC



Download URL: [...](#)  
Mission: Sentinel

S1A SAR-C S1A\_IW\_SLC



Download URL: [...](#)  
Mission: Sentinel

S1A SAR-C S1A\_IW\_SLC



Download URL: [...](#)  
Mission: Sentinel

S1A SAR-C S1A\_IW\_SLC



Download URL: [...](#)  
Mission: Sentinel

Products per page: 25

https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('b7ccb84a-bbdf-4606-85e9-586631150285')/\$value

Footprint

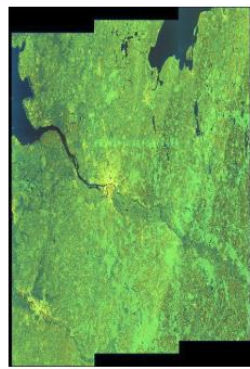


Attributes

Summary

**Date:** 2017-08-31T05:33:06.144Z  
**Filename:** S1A\_IW\_SLC\_1SDV\_20170831T053306\_20170831T053333\_018163\_01E845\_EB71.SAFE  
**Identifier:** S1A\_IW\_SLC\_1SDV\_20170831T053306\_20170831T053333\_018163\_01E845\_EB71  
**Instrument:** SAR-C  
**Mode:** IW  
**Satellite:** Sentinel-1  
**Size:** 7 65 GR

Quicklook



Inspector



# ADATOK ÖSSZEFÜZÉSE

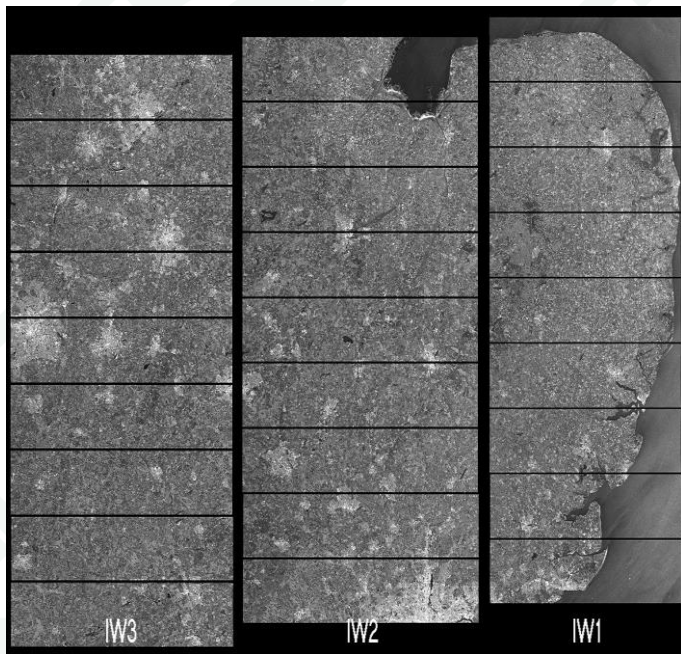
The screenshot displays the Copernicus Open Access Hub interface. At the top, the ESA and Open Access Hub logos are visible. A search bar contains the criteria: "Intersects(POLYGON((9.036531641471482 52.93967605224017,10.076139353360535 52.93967605224017,10.076139353360535 53.4023677167923,9.036531641471482 53.4023677167923,9.036531641471482 52.93967605224017)))" AND ( beginPosition:[2015-05-31T00:00:00.000Z TO 2015-05-31T00:00:00.000Z]).

Two search results are listed:

- Product 1:** **SENTINEL-1 SAR-C** s1a\_IW\_SLC\_1SDV\_20150531T054122\_20150531T054149\_006161\_008032\_4325. Download URL: [https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products\('s1aIW\\_SLC\\_1SDV\\_20150531T054122\\_20150531T054149\\_006161\\_008032\\_4325'\)/\\$value](https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('s1aIW_SLC_1SDV_20150531T054122_20150531T054149_006161_008032_4325')/$value). Mission: Sentinel-1. Instrument: SAR-C. Sensing Date: 2015-05-31T05:41:22.681Z. Size: 7 GB.
- Product 2:** **SENTINEL-1 SAR-C** s1a\_IW\_SLC\_1SDV\_20150531T054057\_20150531T054124\_006161\_008032\_6DC4. Download URL: [https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products\('s1aIW\\_SLC\\_1SDV\\_20150531T054057\\_20150531T054124\\_006161\\_008032\\_6DC4'\)/\\$value](https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('s1aIW_SLC_1SDV_20150531T054057_20150531T054124_006161_008032_6DC4')/$value). Mission: Sentinel-1. Instrument: SAR-C. Sensing Date: 2015-05-31T05:40:57.858Z. Size: 7 GB.

The map below shows a geographical view of Central Europe, with a red polygon highlighting the search area around Hamburg and Bremen. The interface also includes a 'Products per page' dropdown set to 25, a 'page 1 of 1' indicator, and a 'CLOSE' button.

# SENTINEL-1 IW ÉSZLELESI MÓD

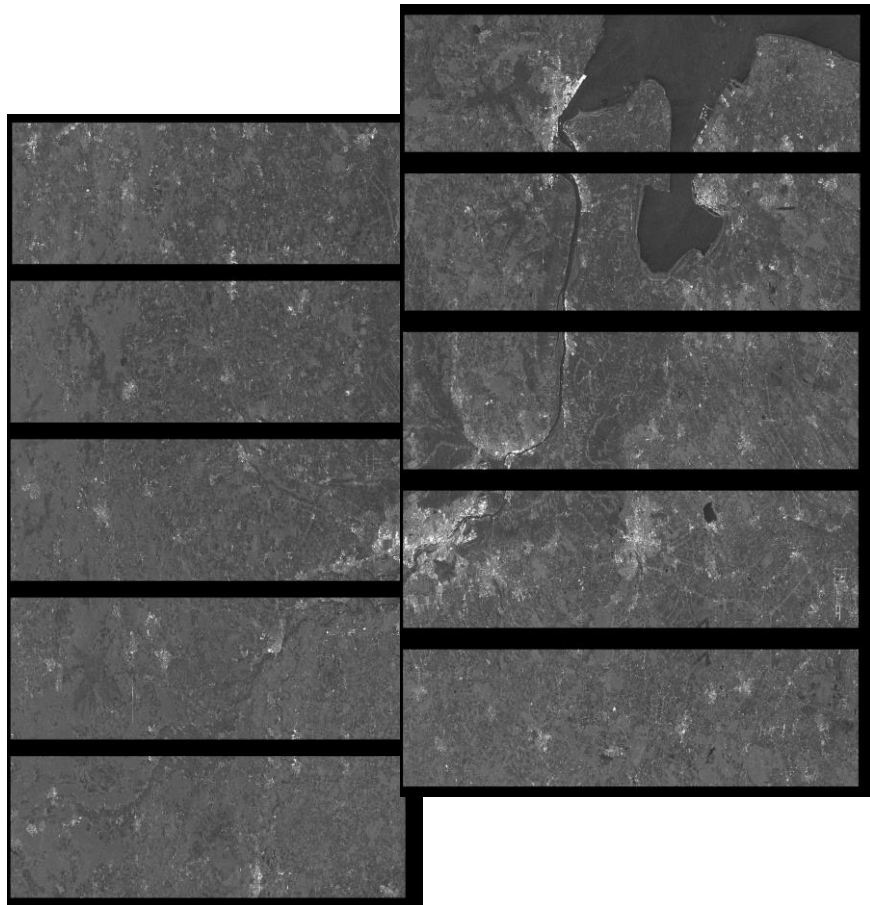


1 felvétel = 3 alsáv, 1 alsáv = 9 burst

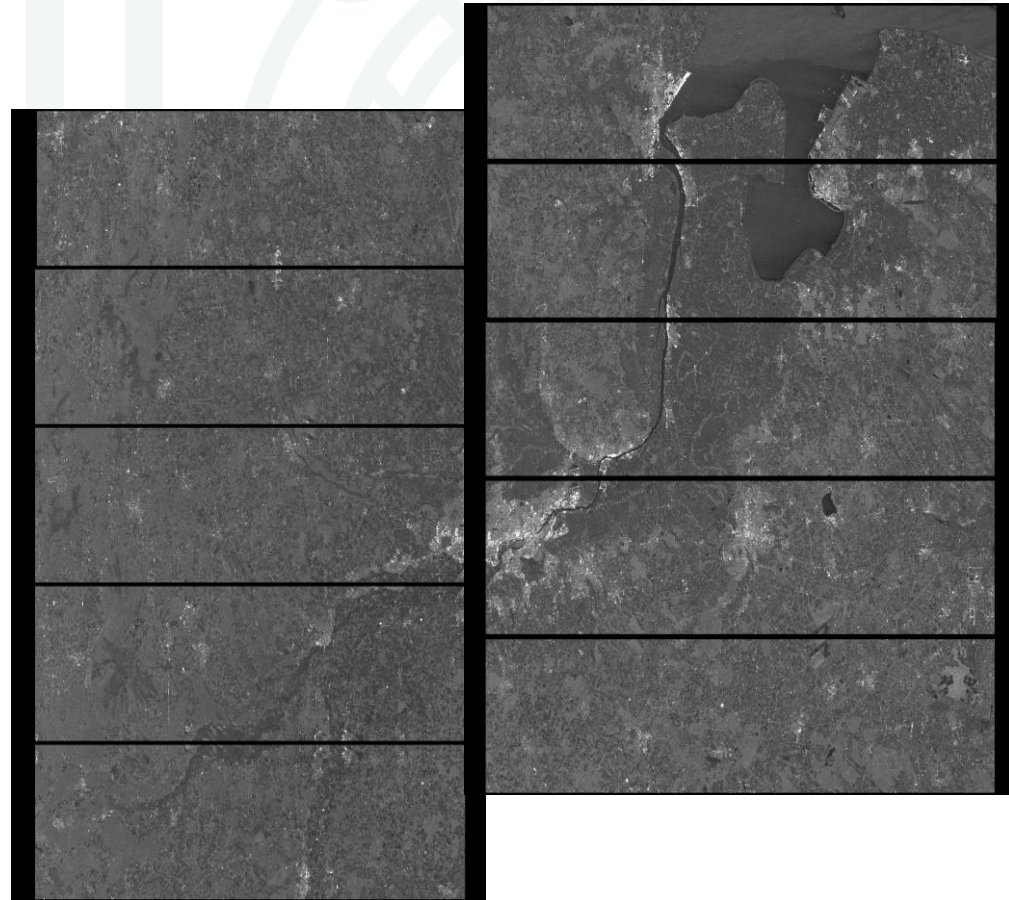
Az alsávok közötti átfedés ~2 km, a burstök közötti átfedés ~200 m.

A területnek megfelelő burstöket le kell válogatni.

2014. 12. 02.



2015. 04. 13.

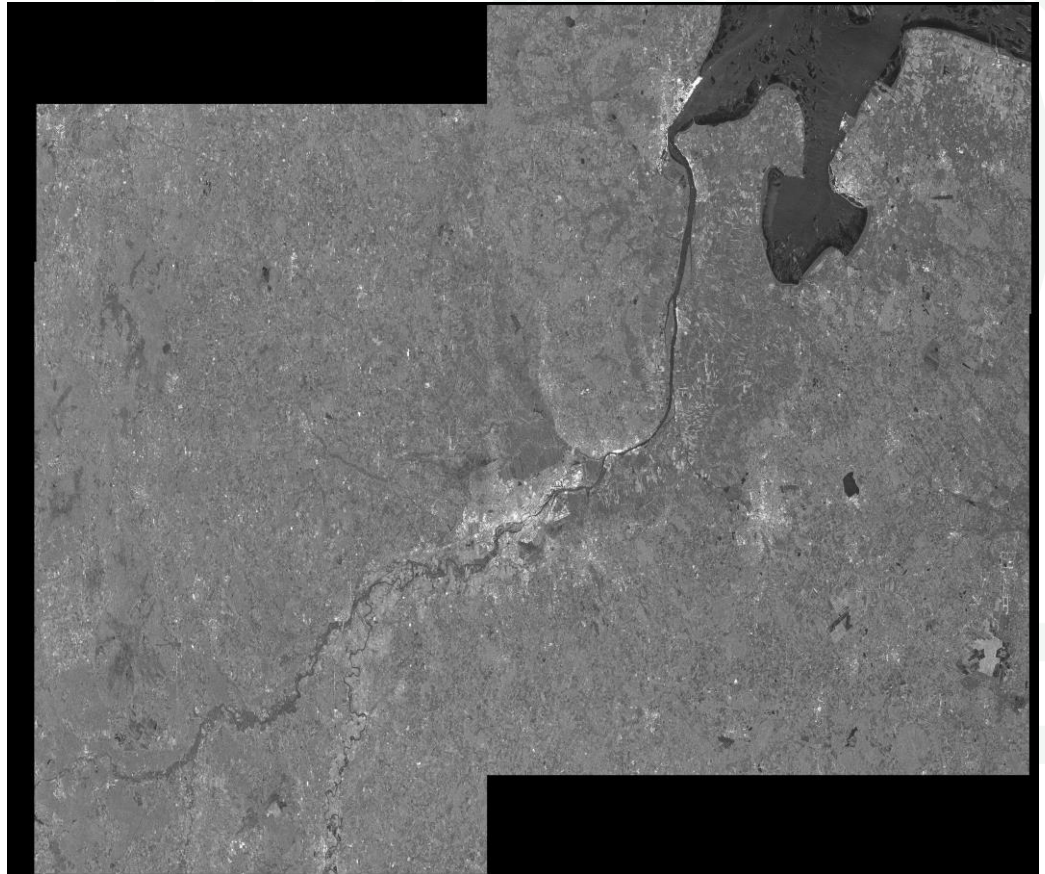


# SLC MOZAIK + MULTILOOKING

Multilooking: átlagolás

A pixelek az oldalra nézés miatt alapvetően téglalap alakúak, ezekből a multilookinggal négyzetes pixeleket csinálunk.

Tipikus multilooking értékek: 10 (range) x 2 (azimuth)

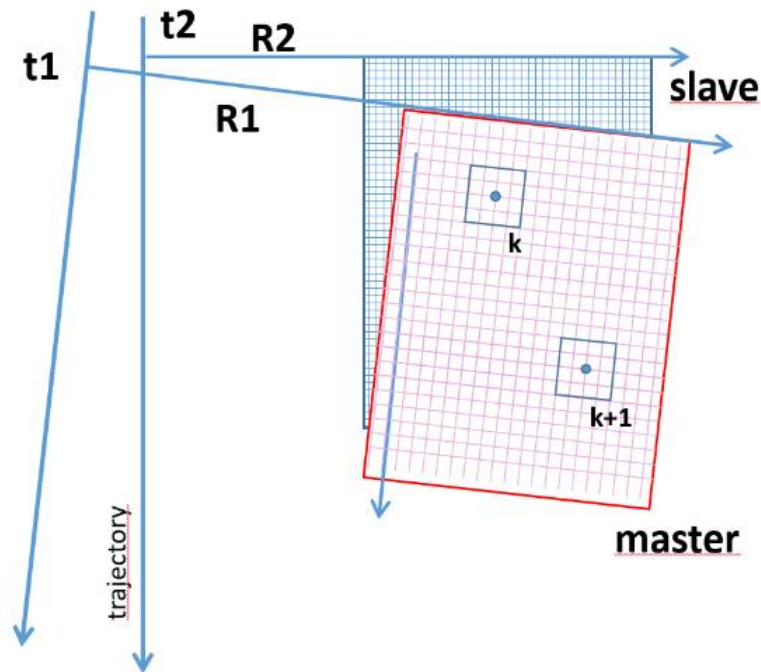


# KOREGISZTRÁCIÓ

A Sentinel felvételek esetében a koregisztrációt azimuth irányban  $\sim 0.002$  pixel pontossággal kell elvégezni, különben a burstök határainál fázisugrások jönnek létre.

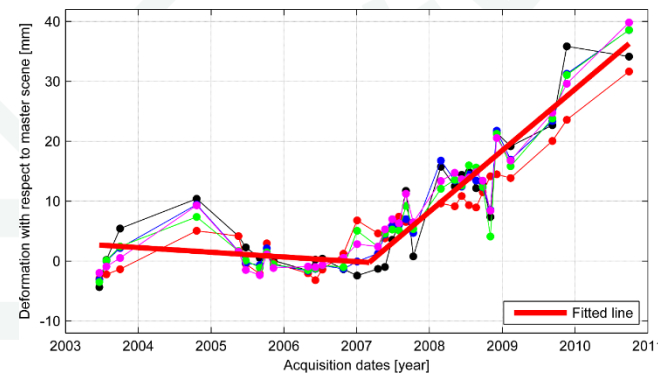
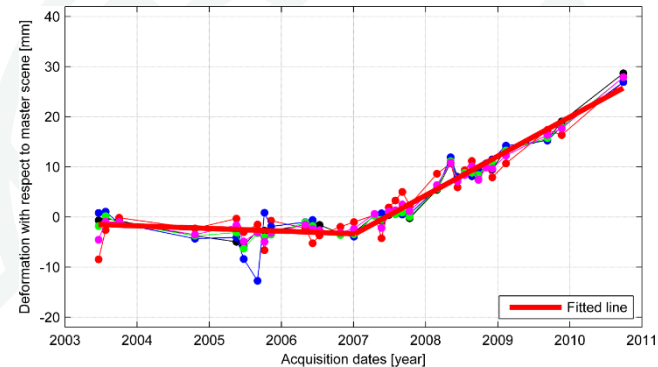
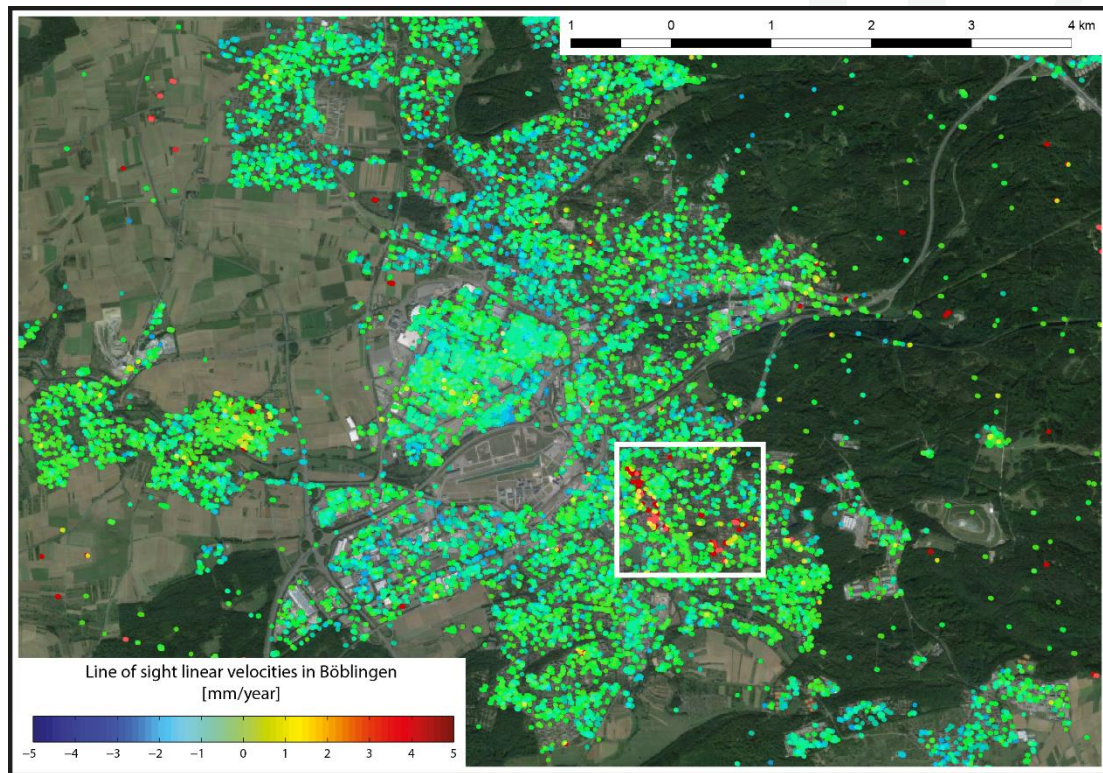
Ahhoz, hogy ez a pontosság elérhető legyen, a feldolgozás során felhasználjuk a burstök közötti átfedő területet. Egyetlen felvételen az átfedő területből interferogram készíthető, ezekből az interferogramokból pedig kettős különbségek vezethetők le.

A kettős különbségek kicsiny eltérésnél kapcsolatba hozhatók az azimut irányú eltolással, ez alapján javítják az azimutirányú eltolás értékét.





# PS PONTOK DEFORMÁCIÓI A FELDOLGOZÁS UTÁN



Böblingen város területe (piros = csökkenő LOS távolság, kék = növekvő LOS távolság).

# ELŐNYÖK ÉS HÁTRÁNYOK

## Előnyök:

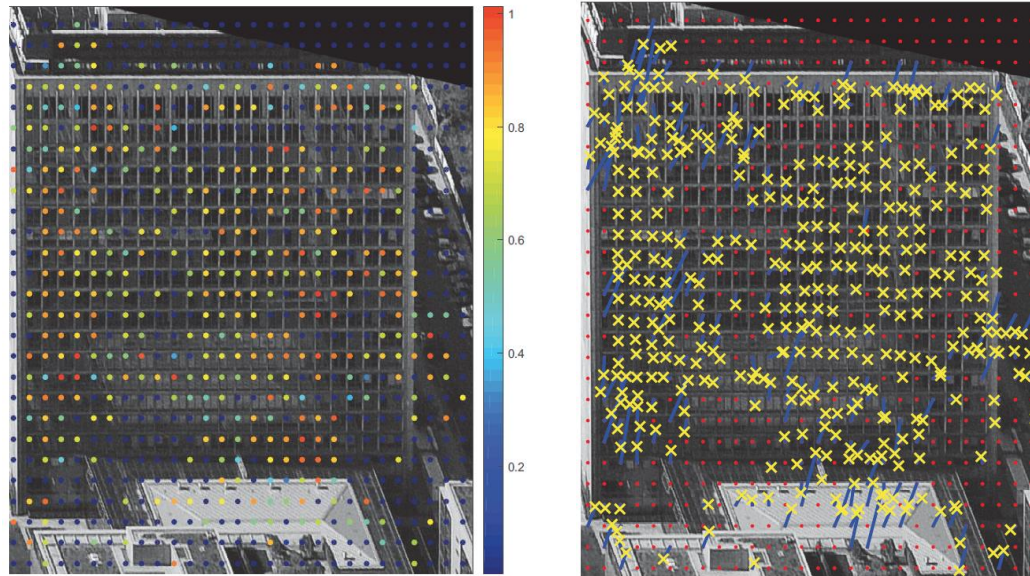
- Nagy területre kiterjedésű hatékony vizsgálatok
- Lassú mozgások nagy pontosságú meghatározása az interferometrikus jelleg miatt
- Archív adatok felhasználhatósága

## Hátrányok:

- Nem mi választjuk meg a mérés helyét
- Az elmozdulások LOS irányban értelmezettek (fel- és leszálló ágú pályák használata)
- Az alkalmazhatóság függ a felszínborítástól
- Számítási kapacitás és tárhelyigény

# KUTATÁSOK

- Lukas Schack, Uwe Soergel: Matching Persistent Scatterers to Optical Oblique Images



Forrás: Lukas Schack, Uwe Soergel. "Matching Persistent Scatterers to Optical Oblique Images." in *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, Boston, MA, 2015

- David Bekaert: TRAIN - *Toolbox for Reducing Atmospheric InSAR Noise*