

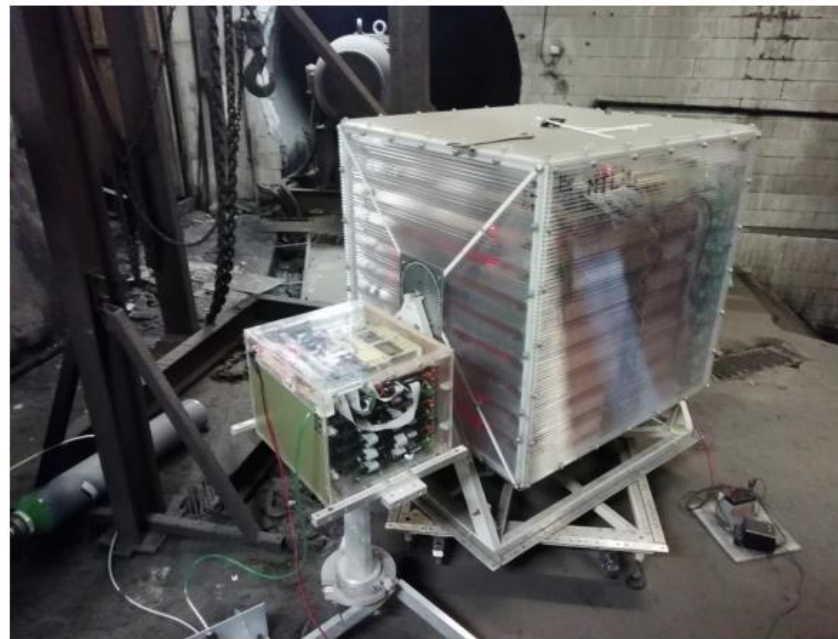
# Kozmikus müonok a földtudományokban

Balázs László  
Surányi Gergely  
Hamar Gergő  
Varga Dezső  
Oláh László

Wigner FK  
RMI NFO

**Simonyi-nap**

2025.10.16



**HIGH-ENERGY GEOPHYSICS RESEARCH GROUP**

<https://wigner.hu/s/high-energy-geophysics/>

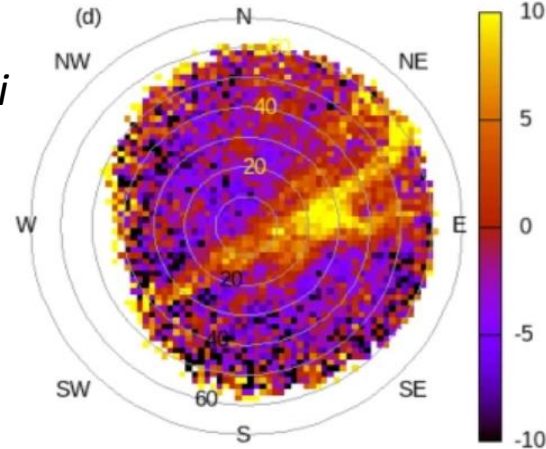
**INNOVATIVE GASEOUS DETECTOR DEVELOPMENT GROUP**

## Müonsugárzás gyengülésén alapuló képalkotó módszer:

„Nagyskálájú” 2D és 3D szerkezeti rekonstrukció

**Képpalkotó** geofizikai módszer.

Geológiai, vulkanológiai, bányászati, barlangászati, geotechnikai, régészeti stb. alkalmazásokkal

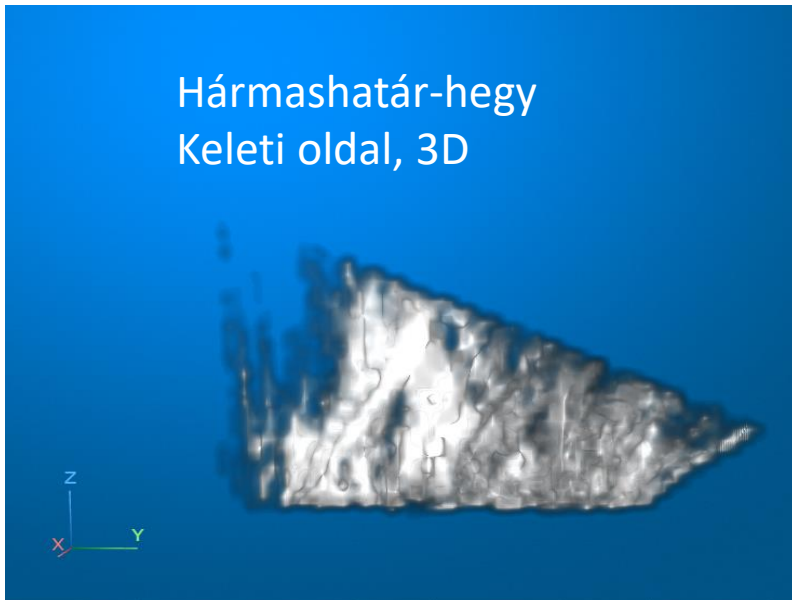


Abszorpció

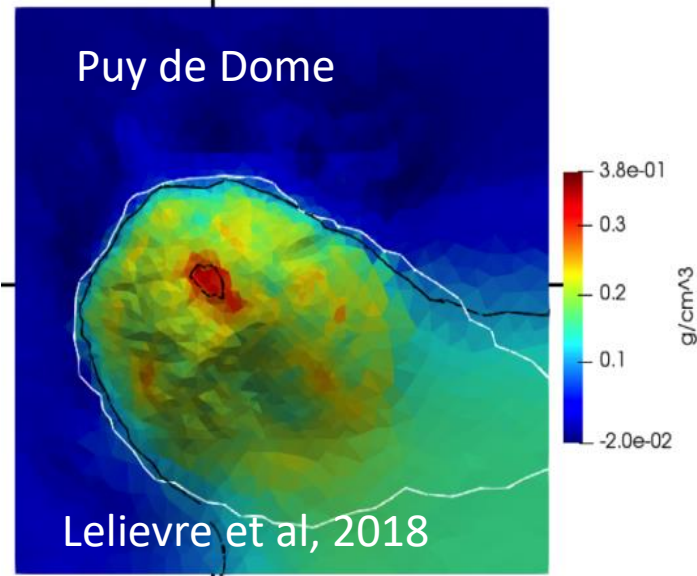
### Müográfia

### Müontomográfia

(Több müográfiai mérés felhasználásával)



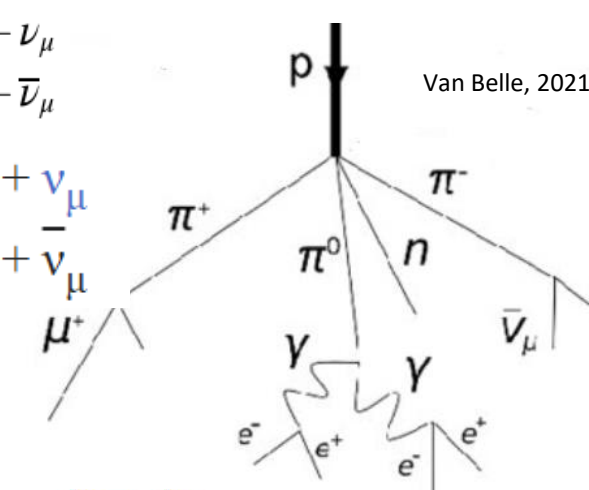
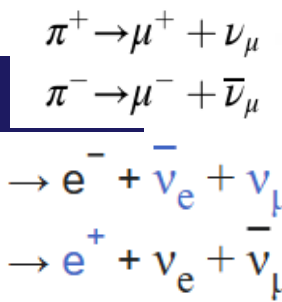
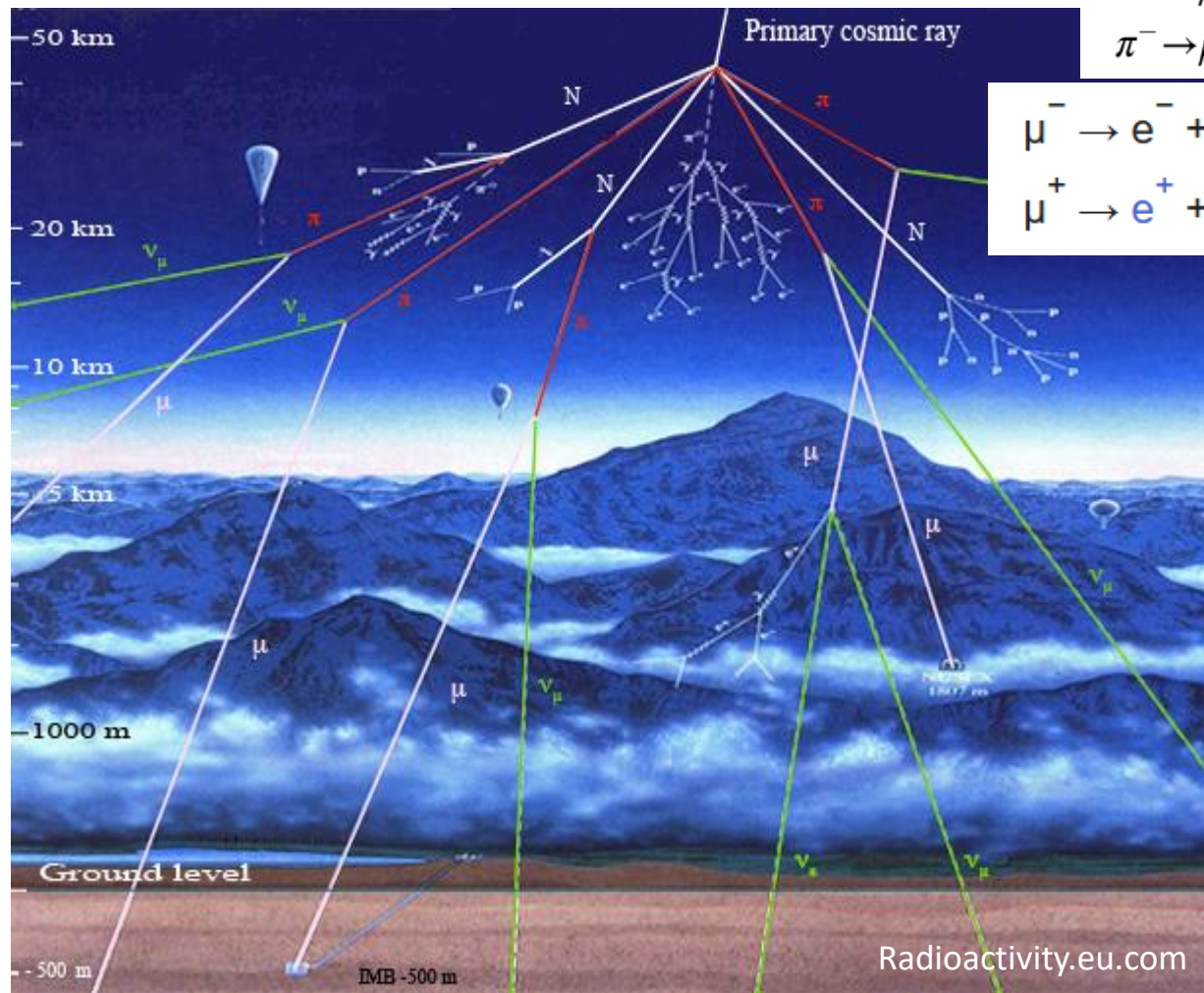
Hármashegy  
Keleti oldal, 3D



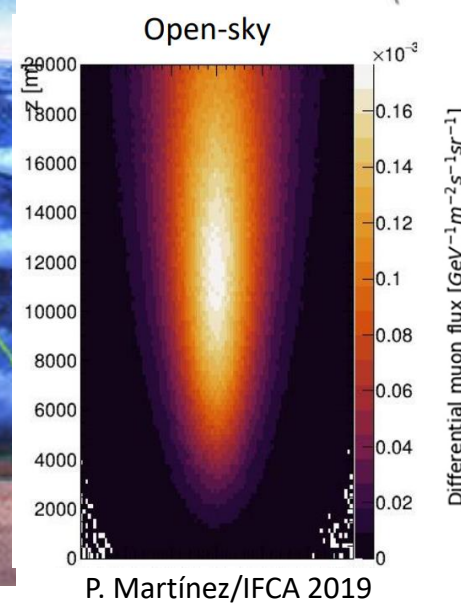
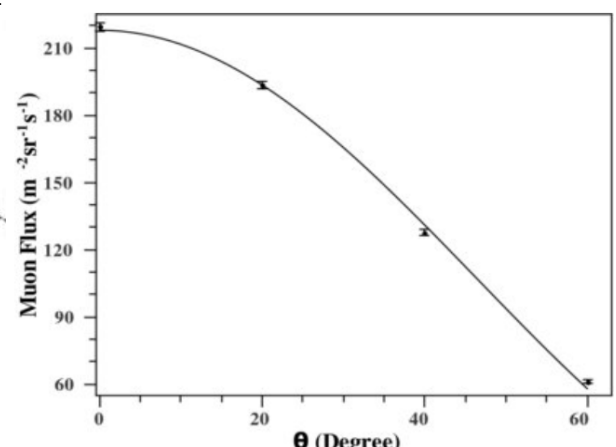
Puy de Dome

Lelievre et al, 2018

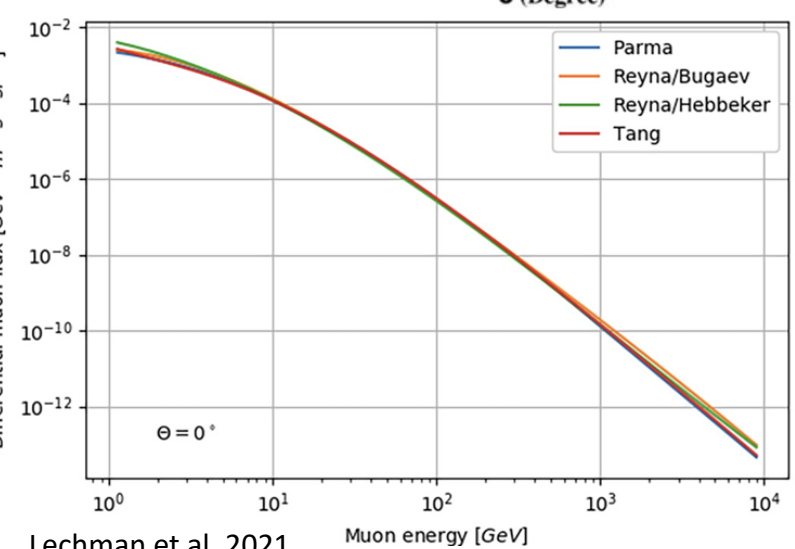
# Kozmikus müonok a földtudományokban: A müöntér forrása



Van Belle, 2021



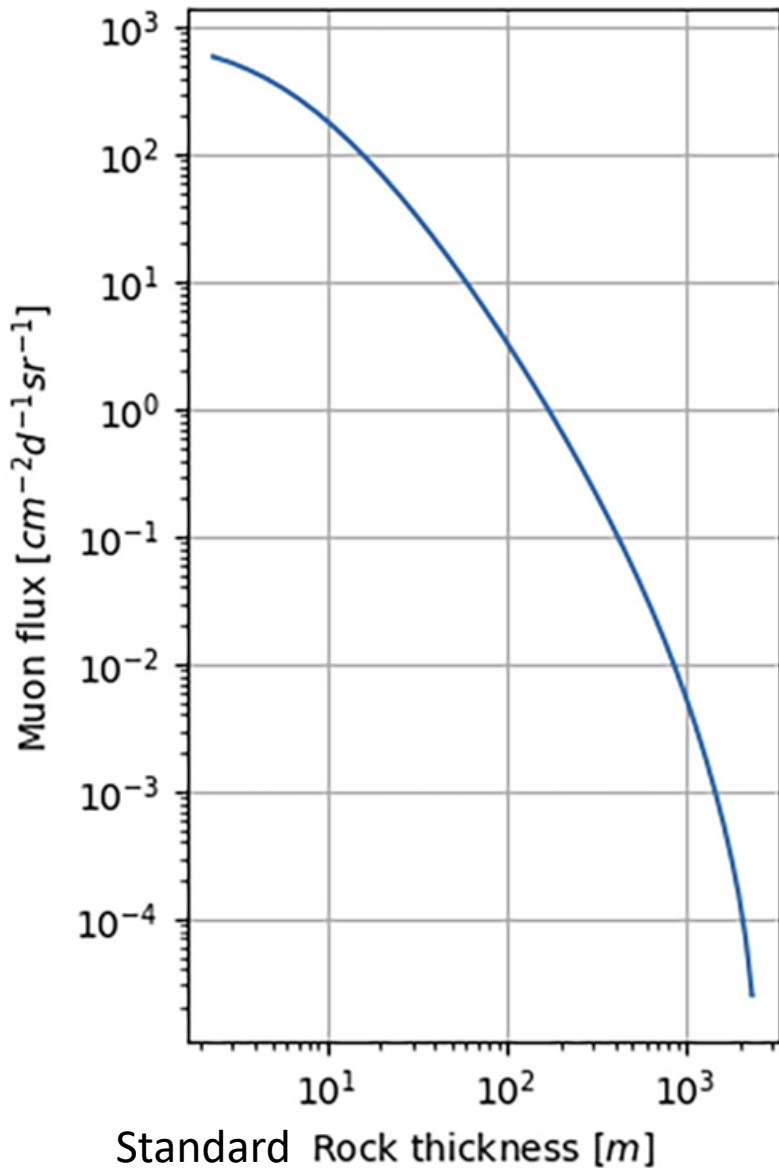
P. Martínez/IFCA 2019



Lechman et al, 2021

Forrás: Időben kevésbé fluktuáló müöntér, ismert szögeloszlással és energia spektrummal

Nagy áthatolóképesség – Egyenes trajektória !!  
Sűrűségtől függő fluxus gyengülés



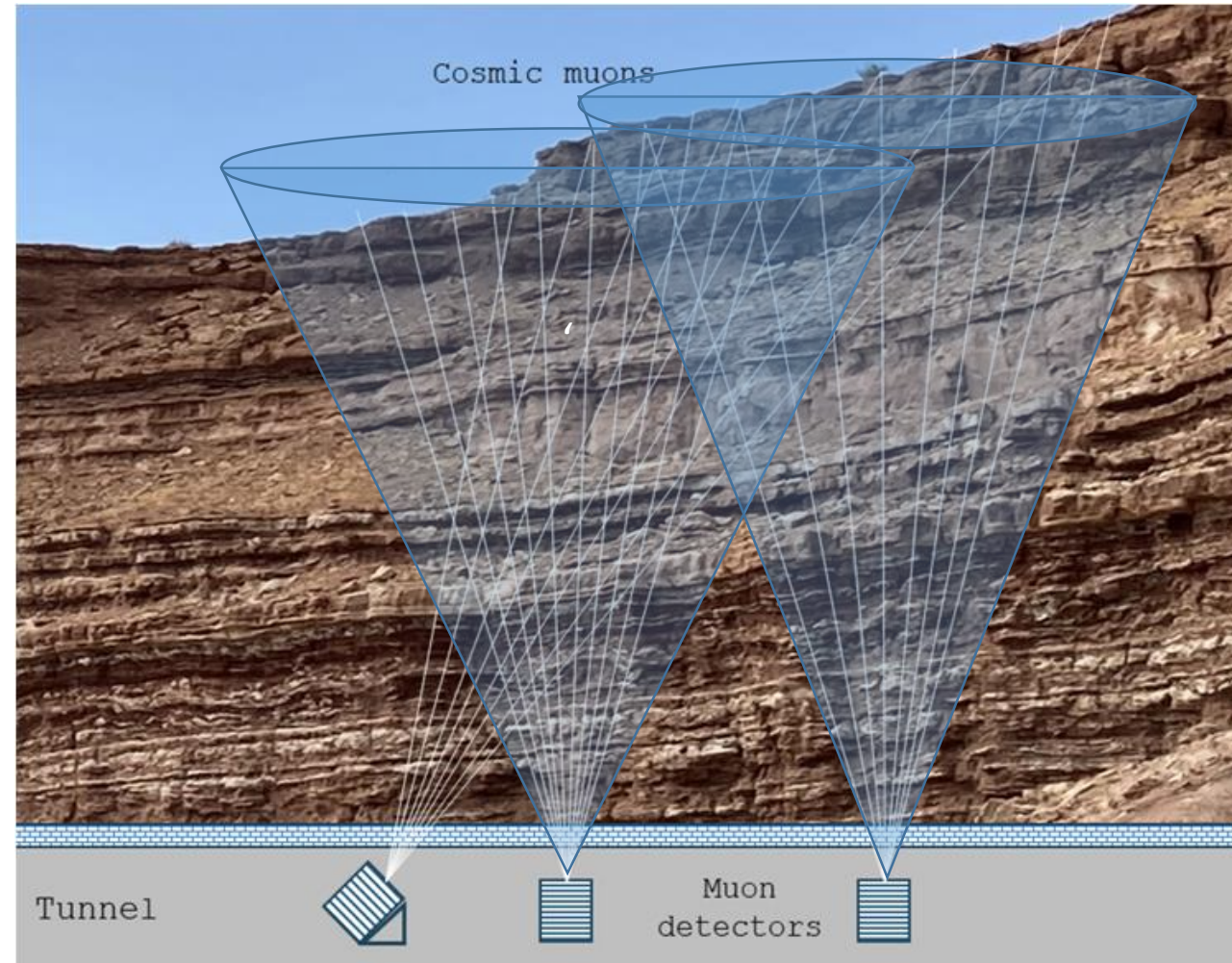
Energia veszteség



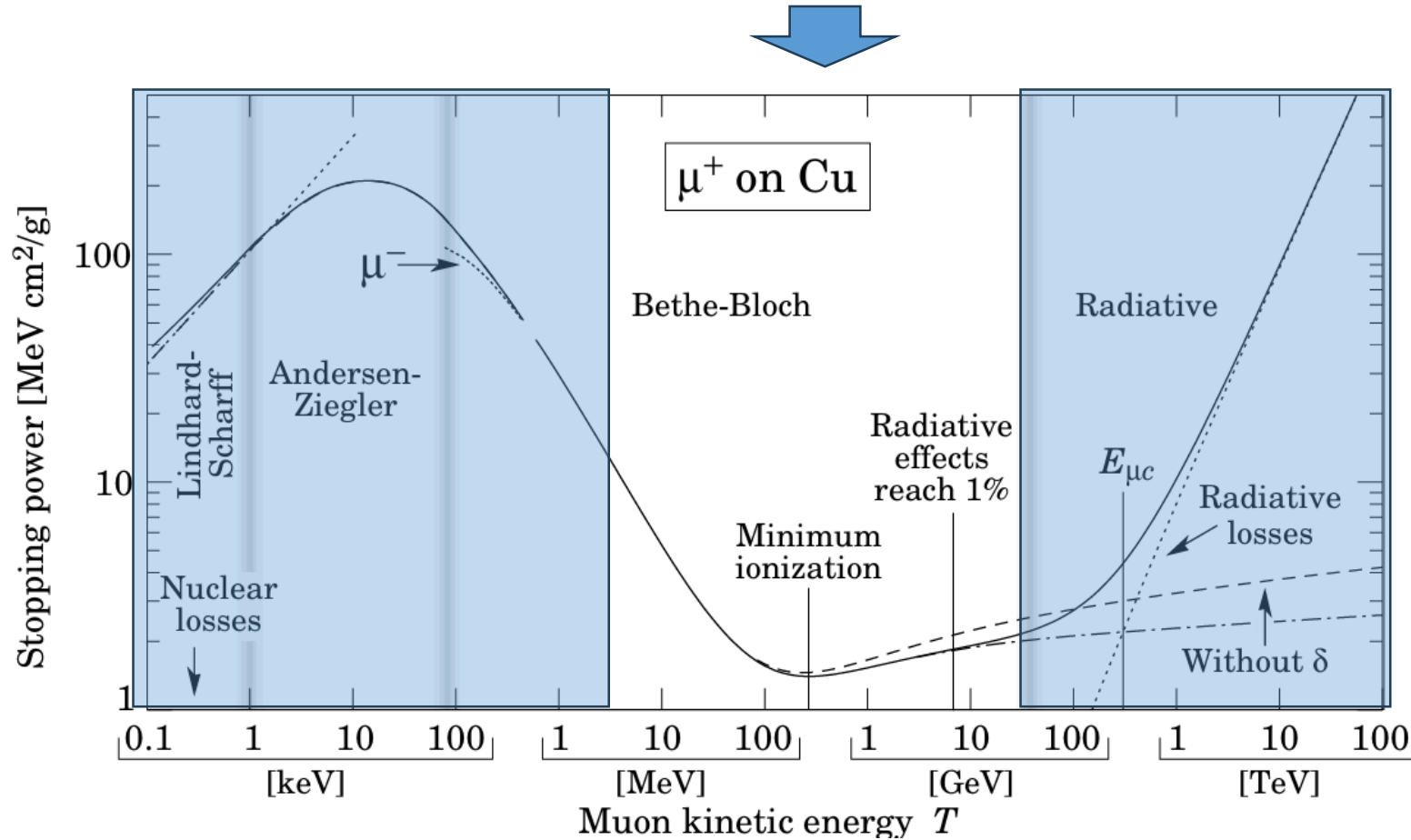
Fluxus csökkenés



A sűrűség pályamenti integrálja



Nagy áthatolóképesség (több száz méter) – Egyenes trajektória !!  
Kőzet sűrűségétől függő fluxus gyengülés



Ionizációs energia veszteség dominál

Elektron sűrűségtől és így **közetsűrűségtől** függő differenciális energiaveszteség

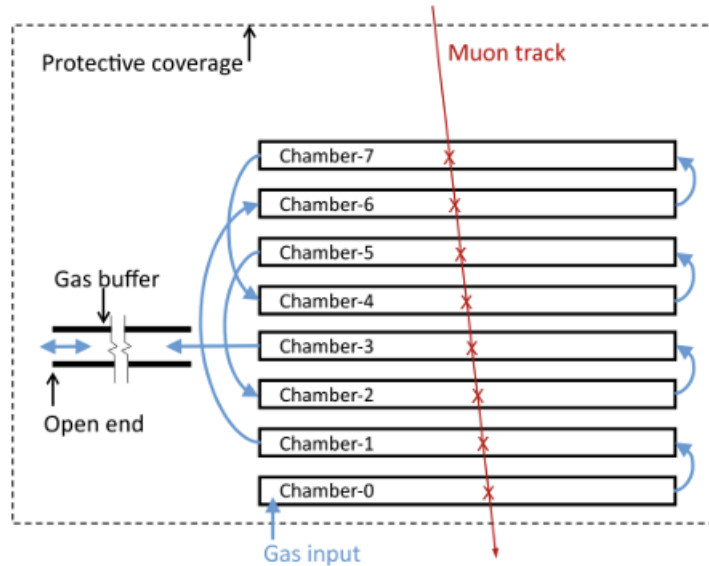
Közetsűrűség pályaintegrálja (vetülete) fluxusgyengülésből megkapható. (Irányok szerint)

Cheymol, 2011

Detektálható müonok energiatartománya

ABSZORPCIÓS MÜOGRÁFIA

**Cél:** Finom irány szerinti felbontásban kell mérni a müonfluxust (nehéz körülmények között 😊)



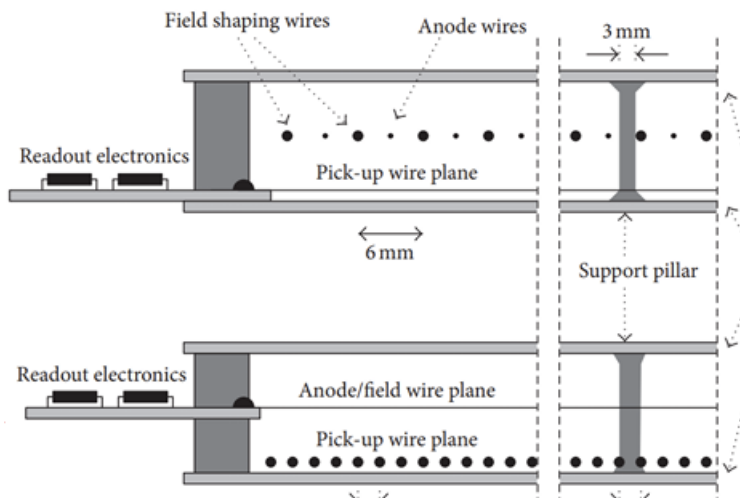
Lokalizált, kiolvasható ionizációs nyom („tracking”)



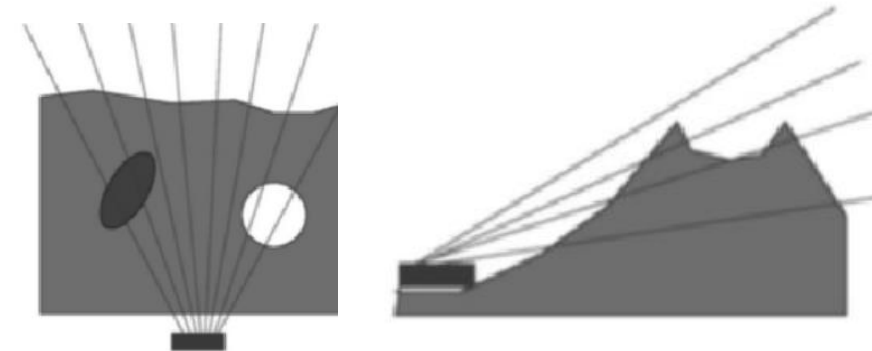
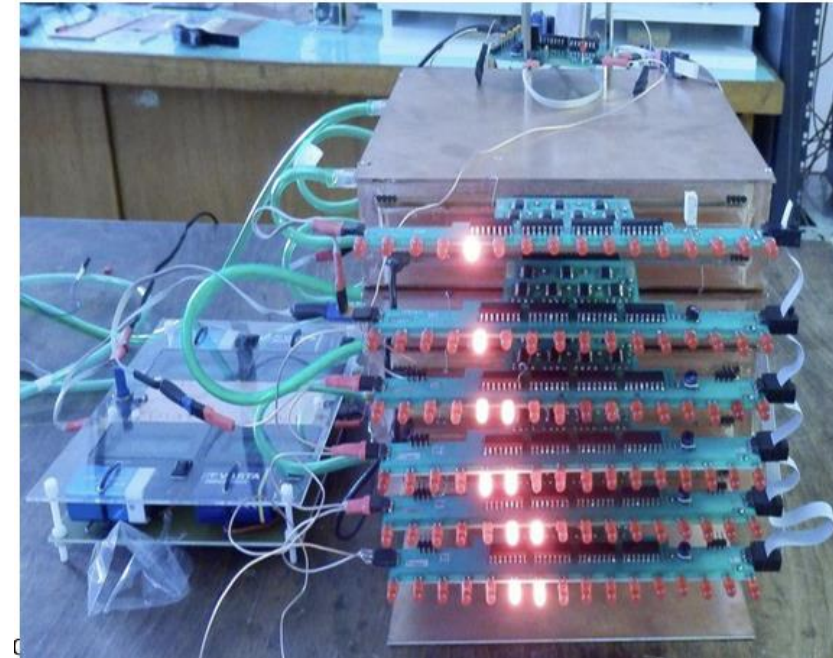
Trajektóriaszögek pontos meghatározása  
(Nem informatív események kiszűrése)

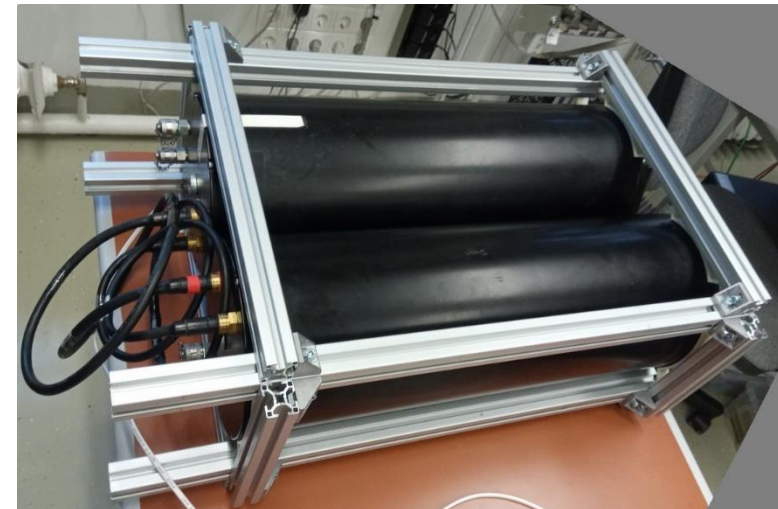
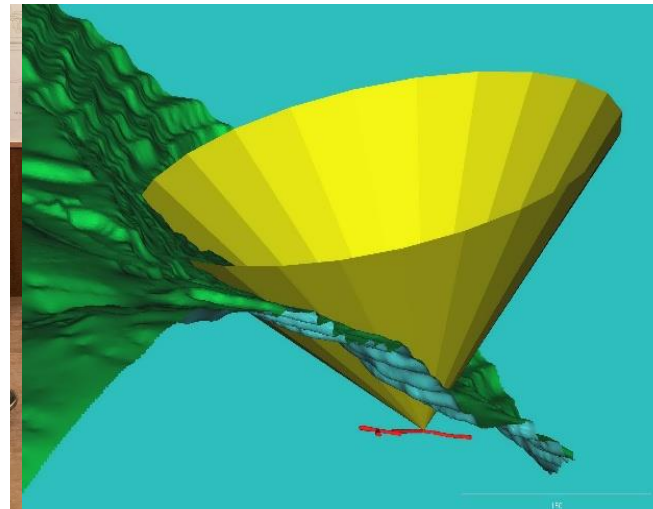
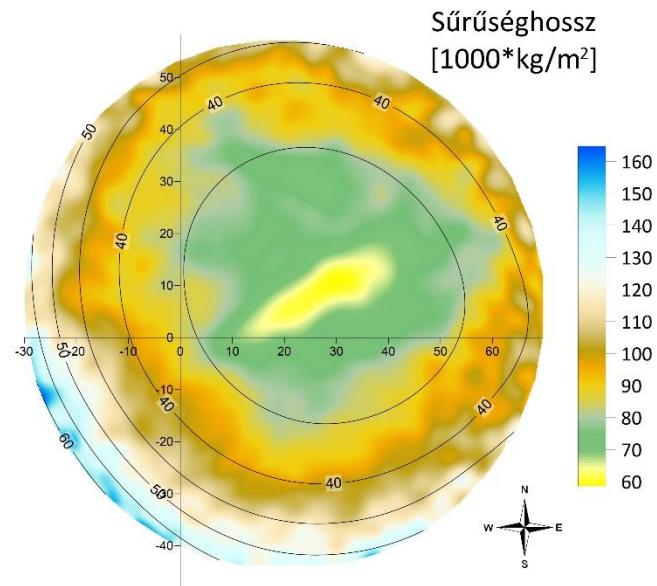
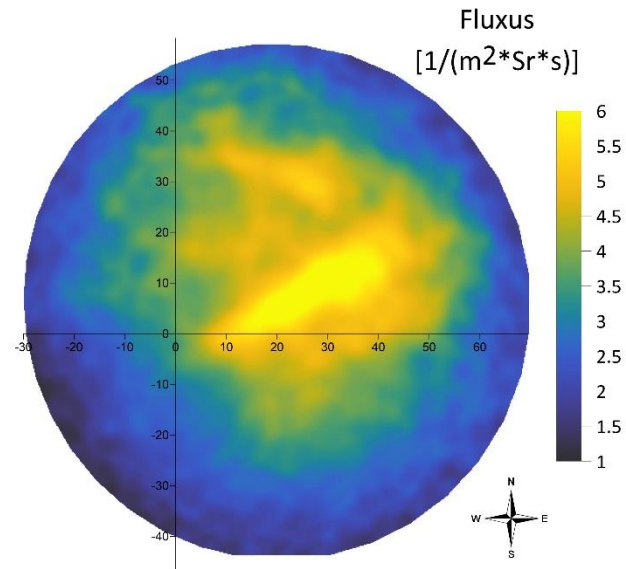


Írányzög szerinti (diszkrétizált) Fluxuseloszlás meghatározása



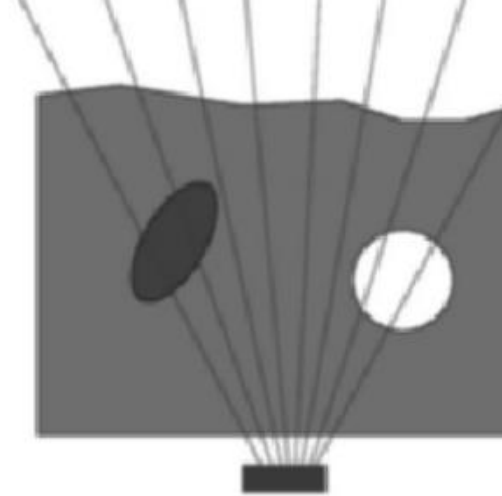
Hordozható, nagy hatásfokú, szelektív  
**1-2 fok szögfelbontás**





Müográfia: Müöntér mintavételezése finom szögfelbontásban a vizsgált objektum „mögött”

Felszín alatti müográfia



Zenitszög:  
0-45

Felszíni müográfia

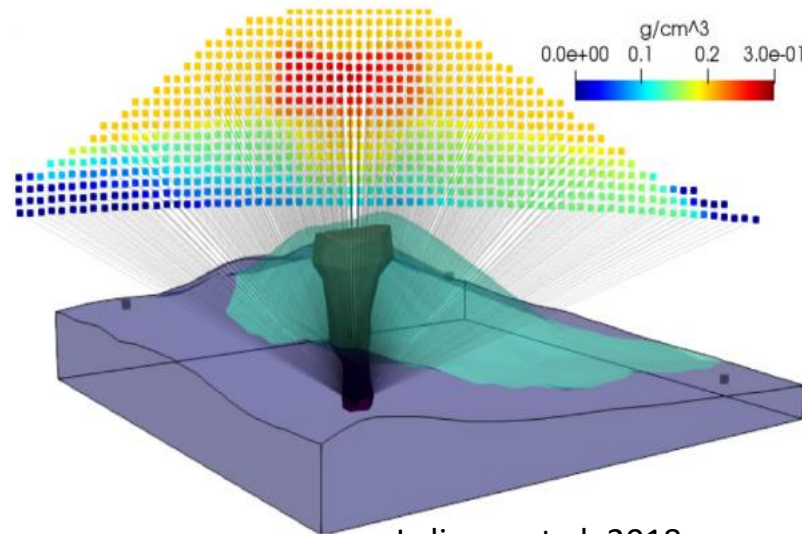
Nagy  
zenitszögek



Detektor módosítása is szükséges

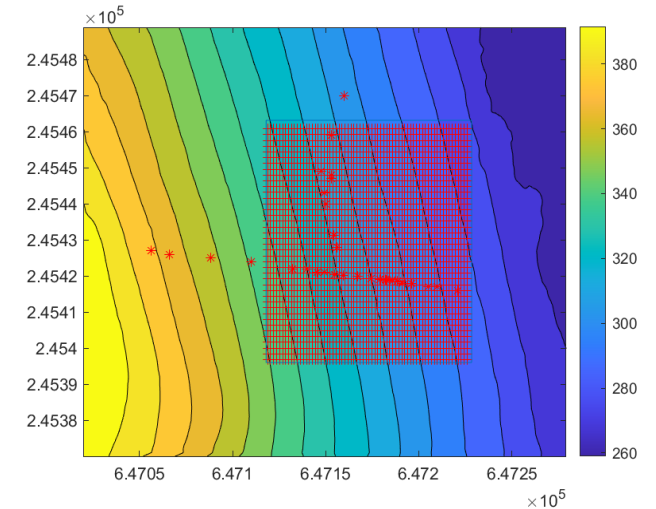
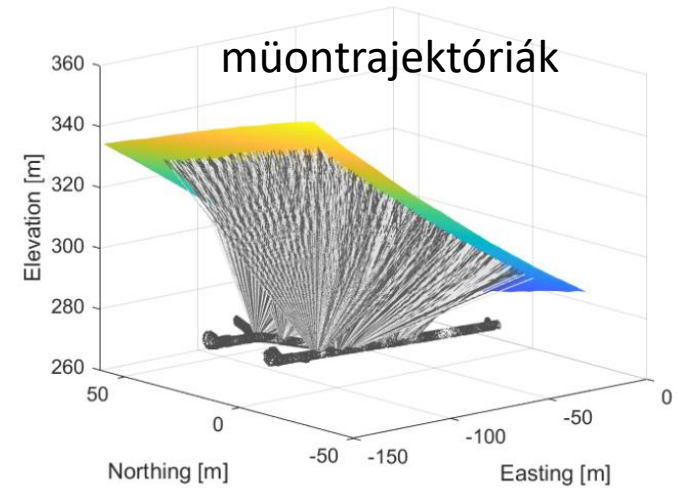
## Müontomográfia

Mérési pontok hálózatában végzett mérések  
Sűrűségeloszlás rekonstrukció (2D, 3D)  
A nagy szögfelbontás – konvertálódik jó térbeli felbontássá

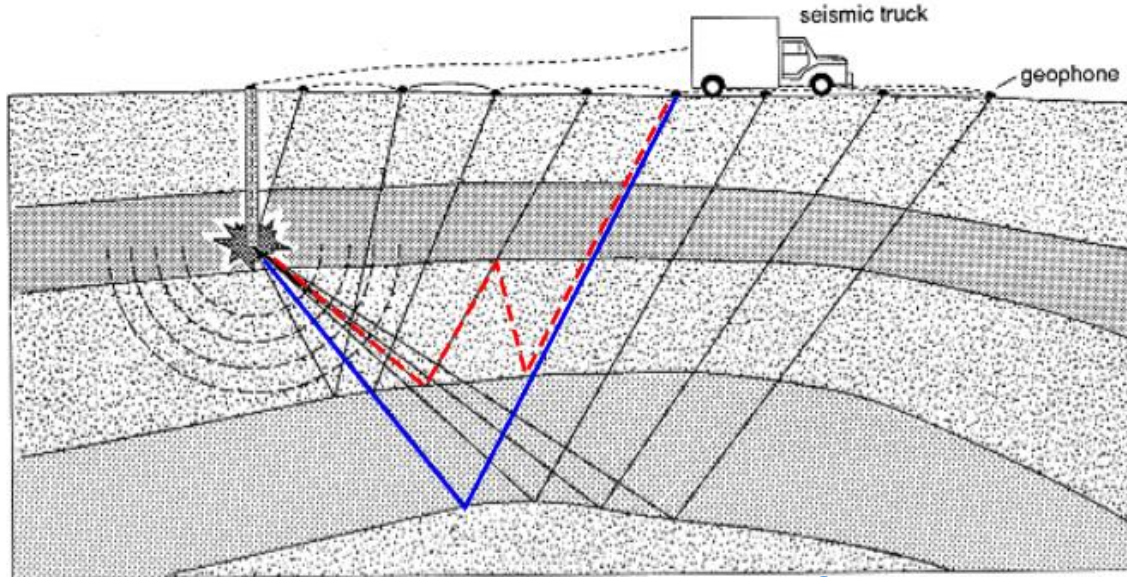


Lelievre et al, 2018

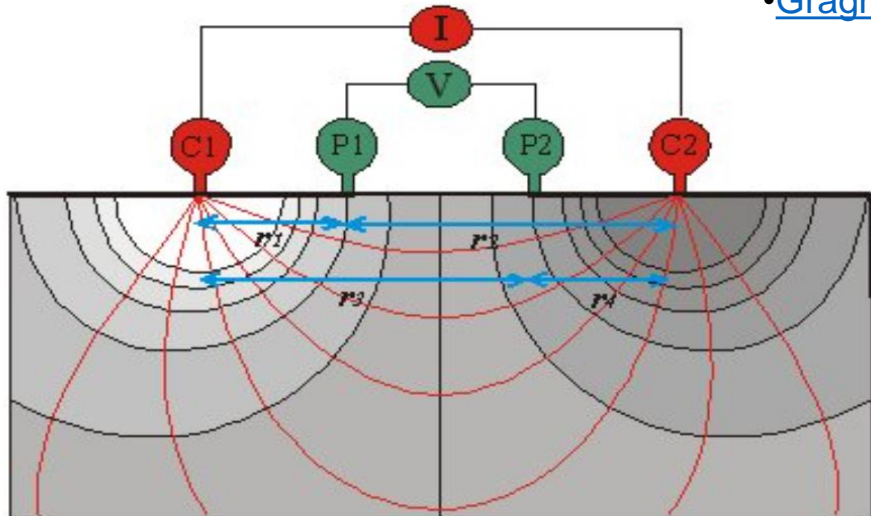
Sűrűségeloszlás - voxelhálózaton



## Hagyományos felszíni geofizikai módszerek



•[Gragnaniello](#) 2012



Prasetia, 2020

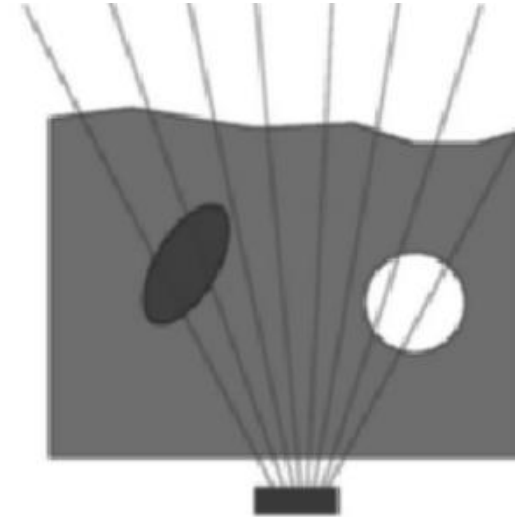
## Előnyök:

A leképezés egyenes (kúpok) mentén történik, a közeg tulajdonságaitól függetlenül.  
**Élesebb kontúrok**

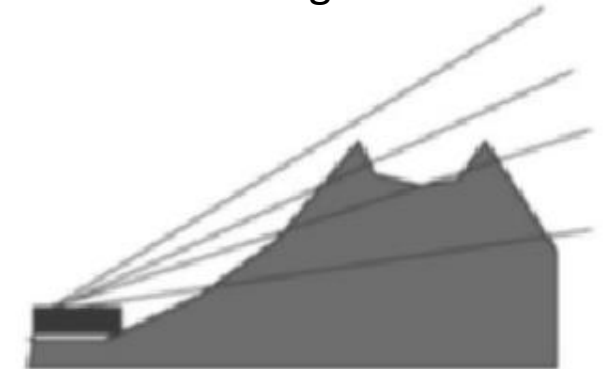
Megközelíthetetlen vagy más mérésre kevésbé alkalmas terepviszonyoknál alkalmazható. (pl. Vulkanológiai alkalmazások)

A mérési módszerek információ tartalma egyesíthető:  
„Joint Inversion”

## Felszín alatti müográfia

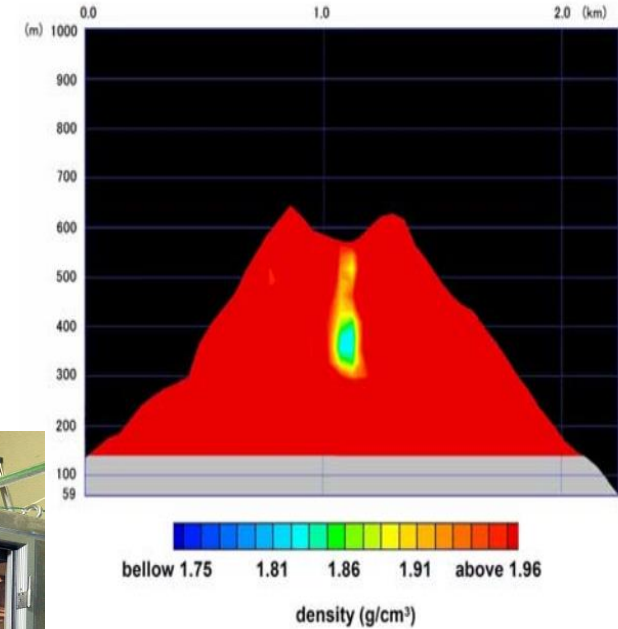
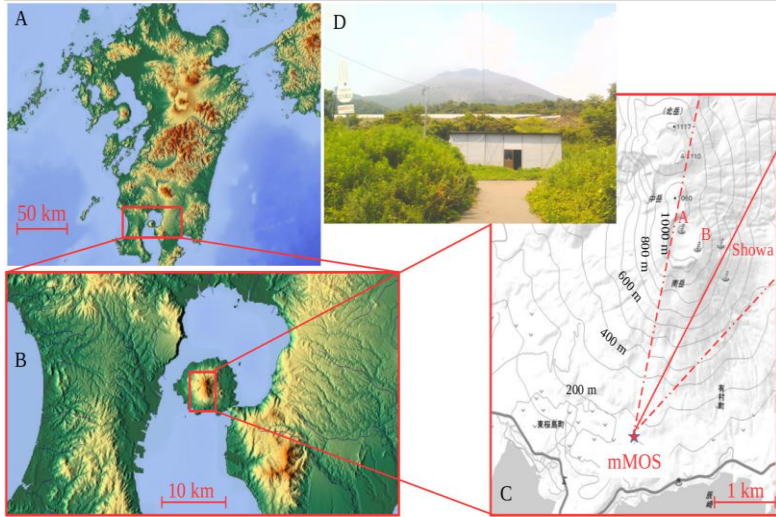


## Felszíni müográfia



## Vulkanológiai alkalmazások:

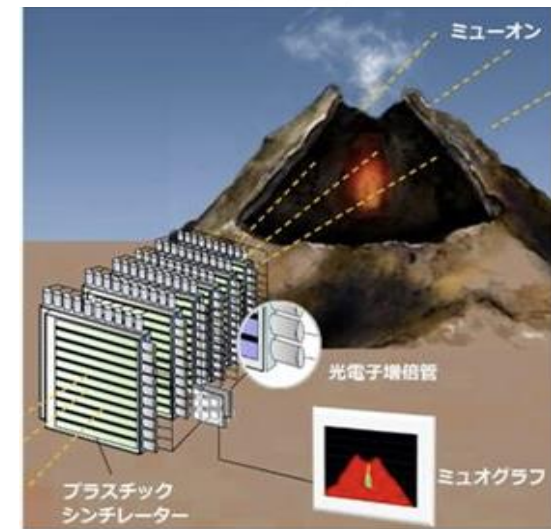
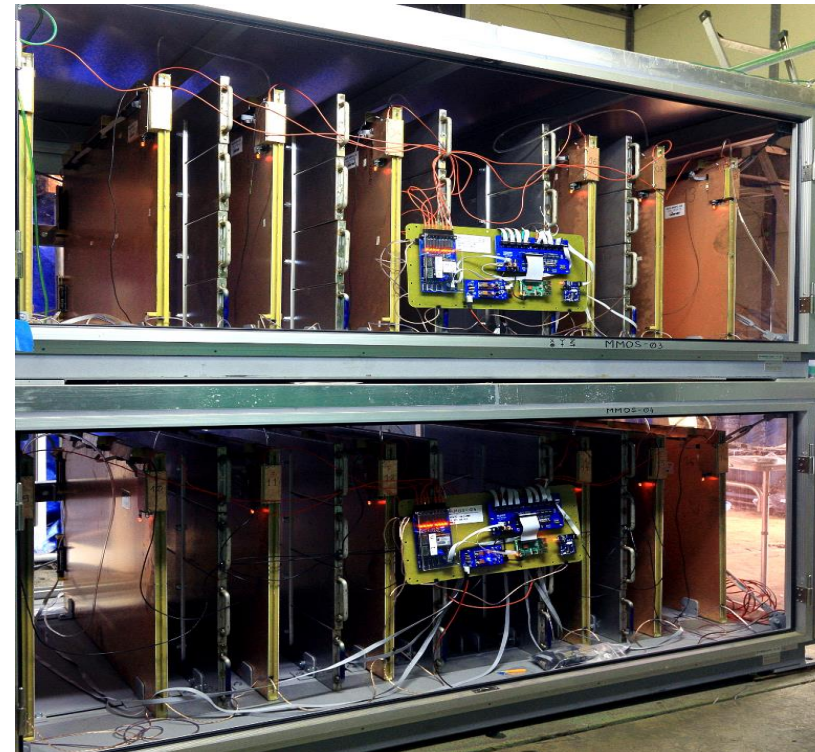
## Működő vulkán monitorozása



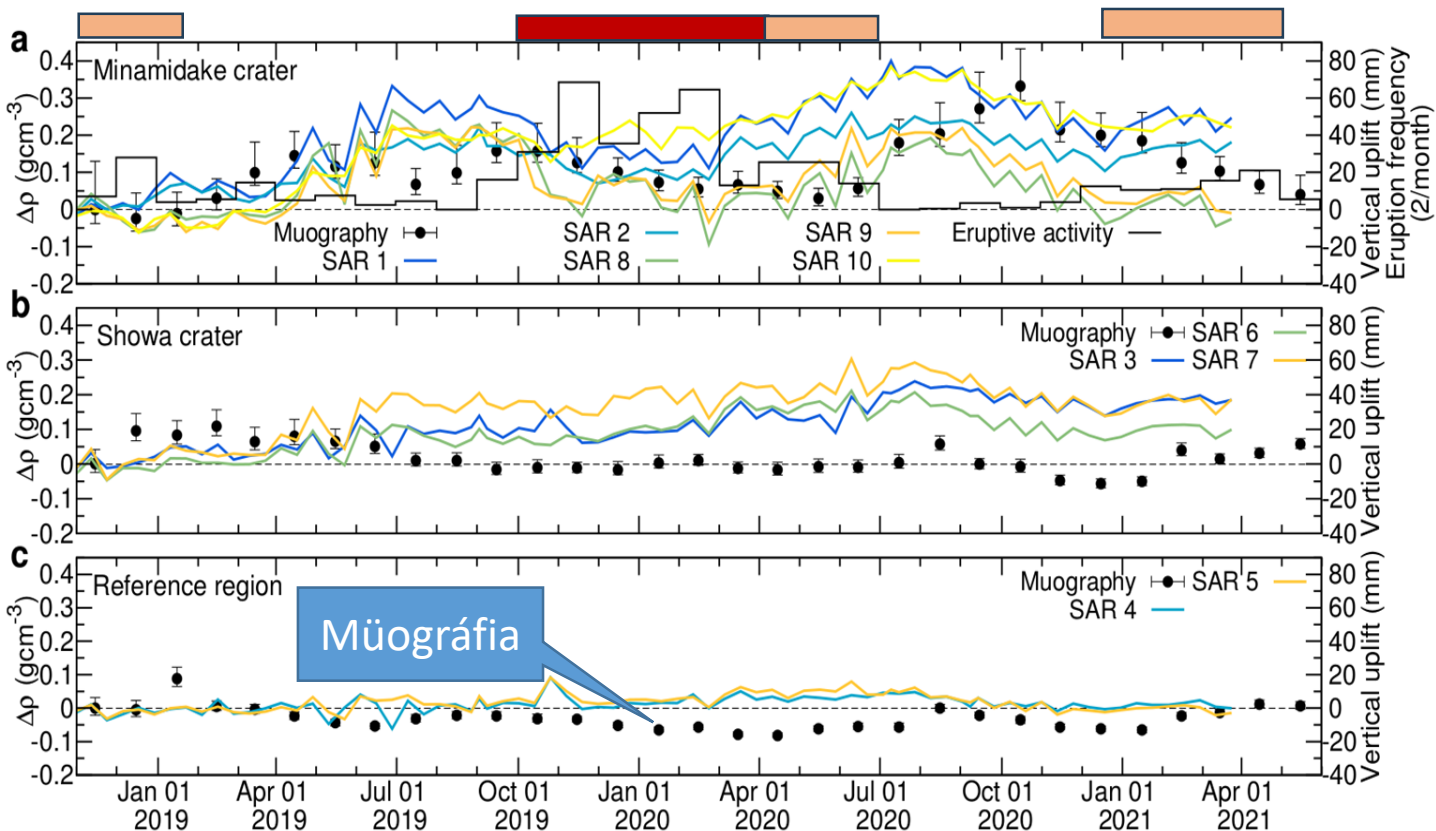
**Szakuradzima-vulkán egy aktív vulkán az Aira kalderában, a Kagoshima-öbölben, Kjusú-szigeten, Japánban.**

**Folyamatos veszélyt jelent a környező területekre (Kagoshima város kb. 10 km-re van)**

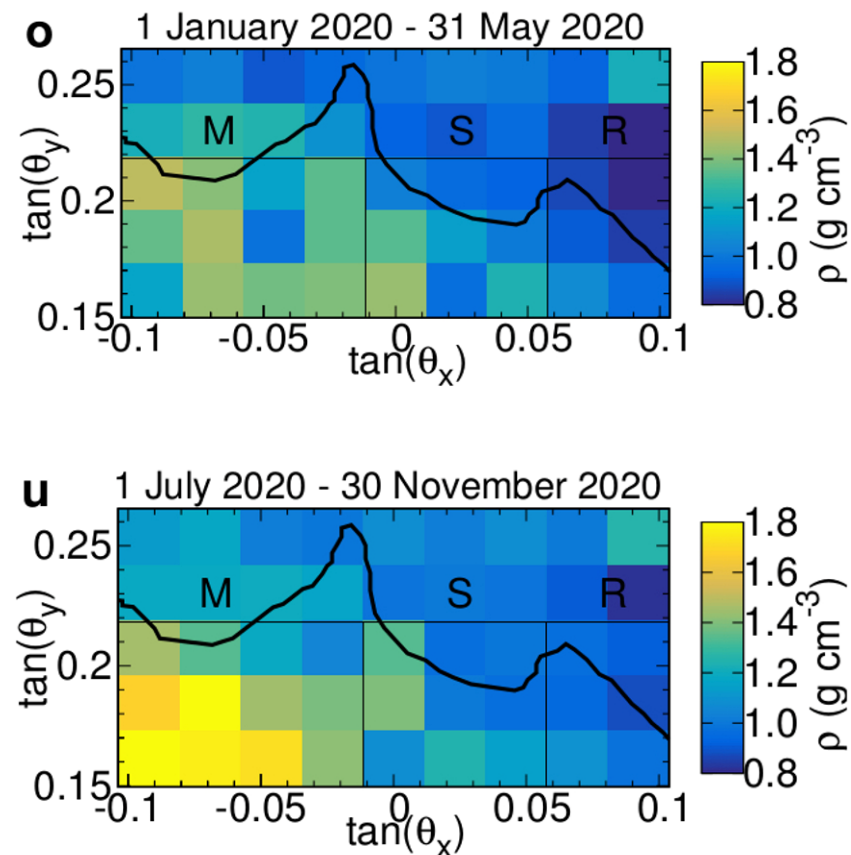
**Tokiói Egyetem és Wigner FK 2017. januárja óta végez müográfias megfigyeléseket**  
<https://kazan-pj.bosai.go.jp/next-generation-volcano-pj-2019-jun>



## Monitor rendszer idősorai a 3 kráterre



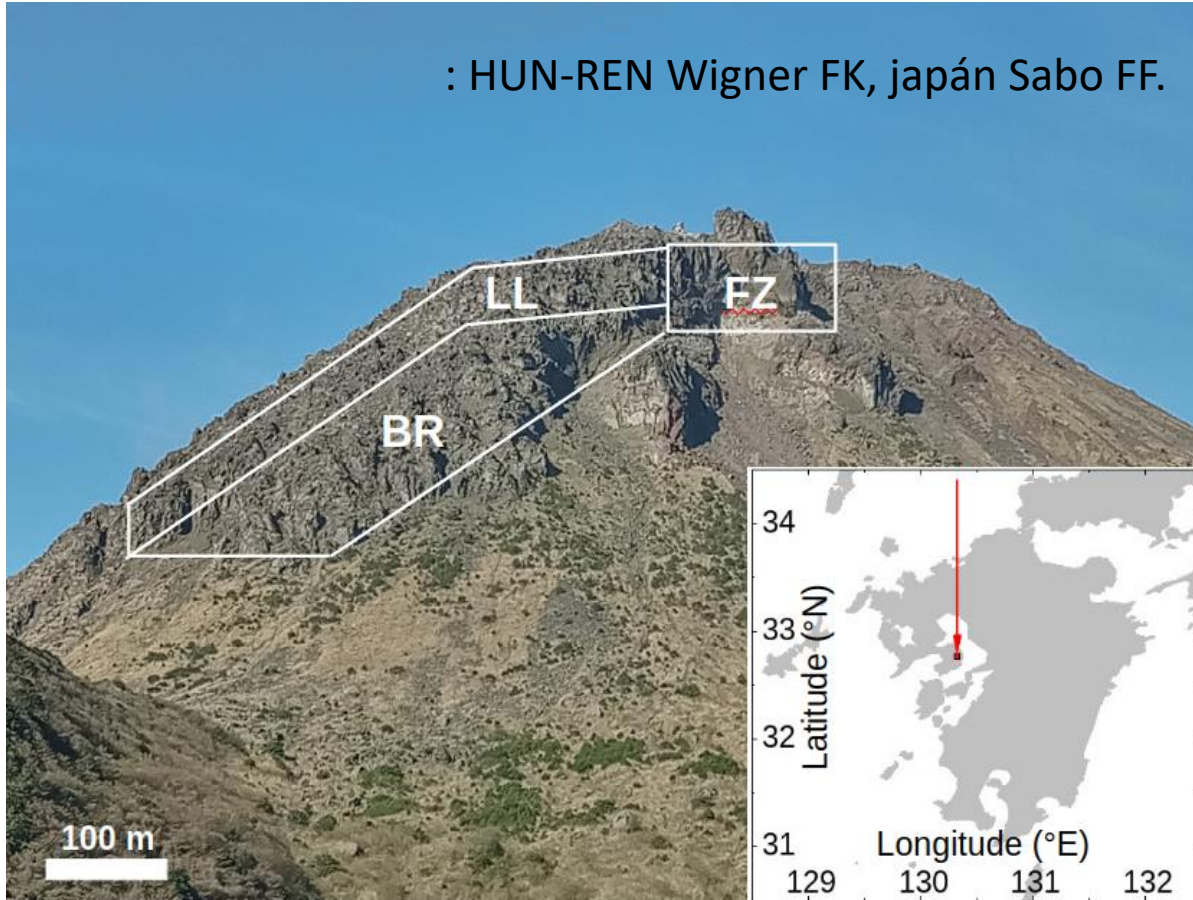
## Müográfiai felvételek



Sűrűségváltozások  
Minamidake-kráter alatt

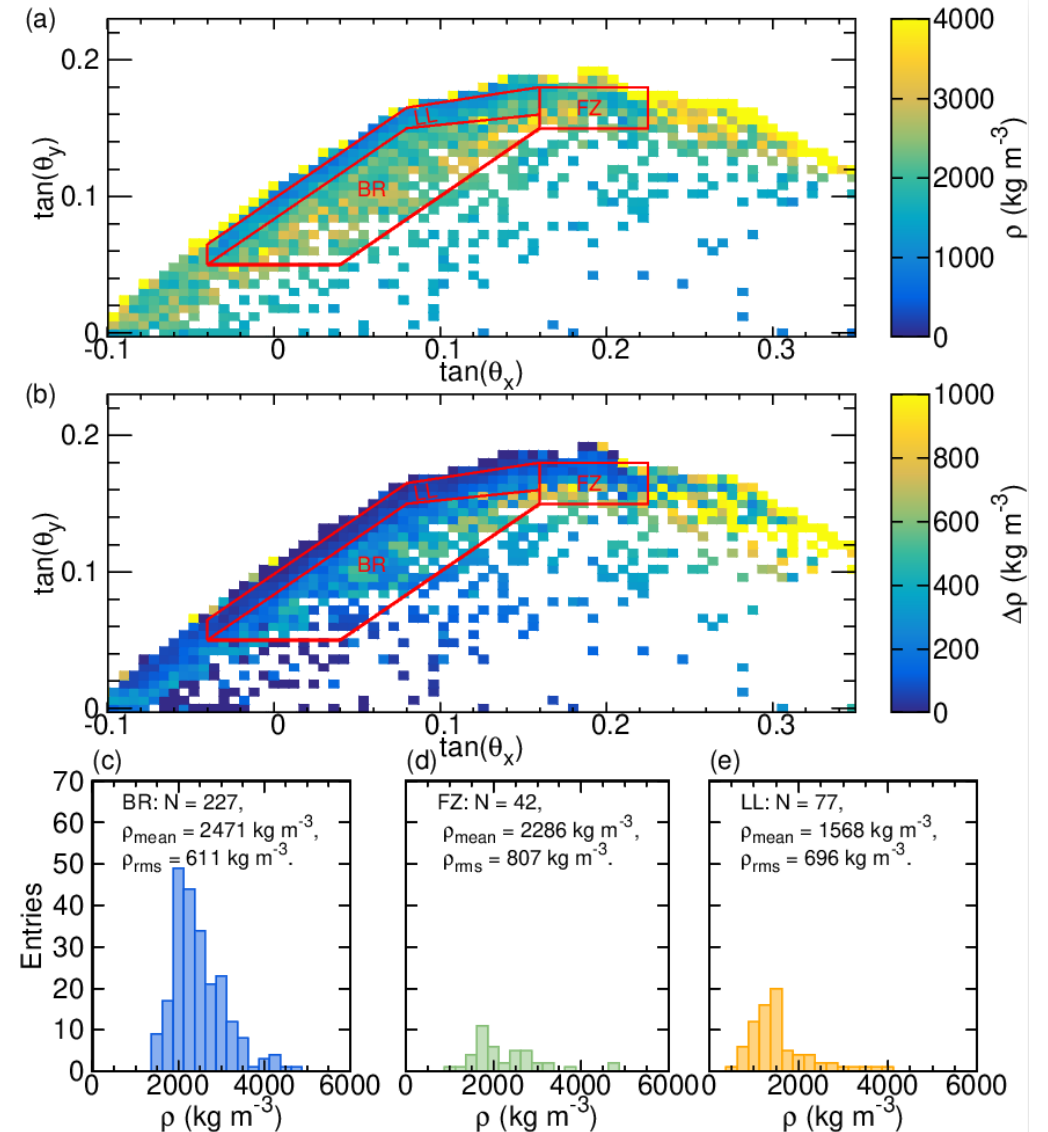
Müográfia fontos eleme a monitorrendszernek  
Kráterek aktivitása közötti kapcsolat is vizsgálható

: HUN-REN Wigner FK, japán Sabo FF.

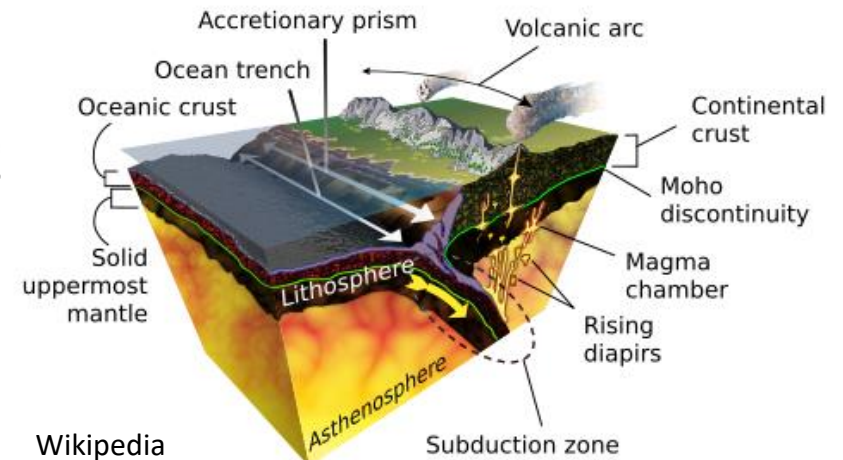
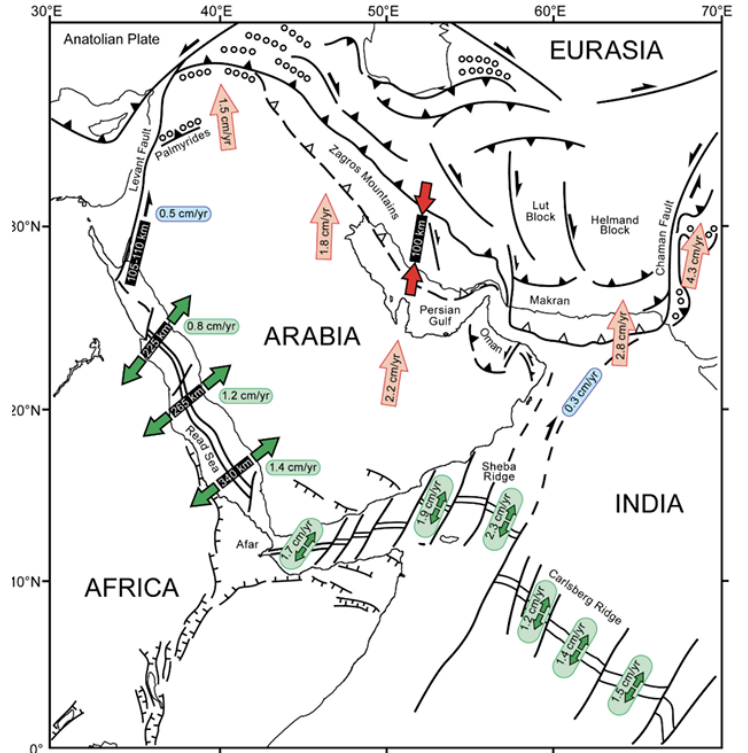
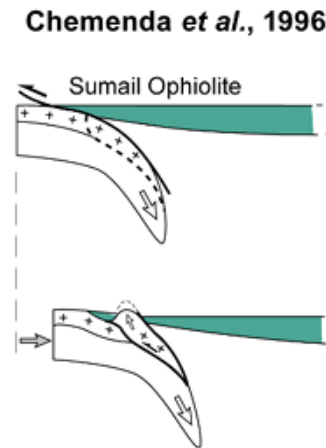
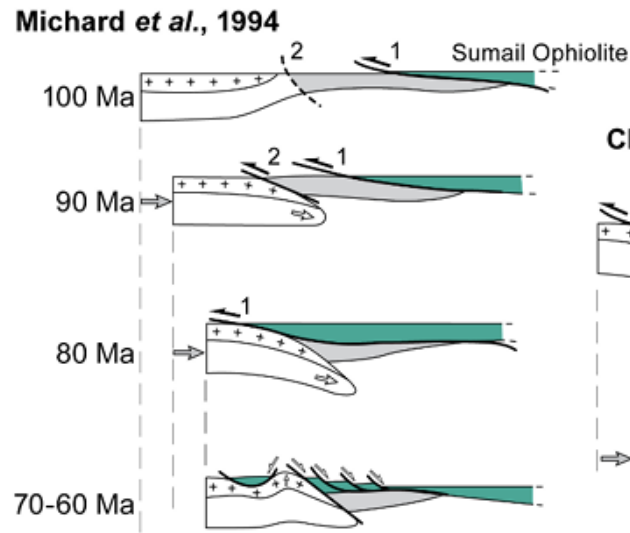
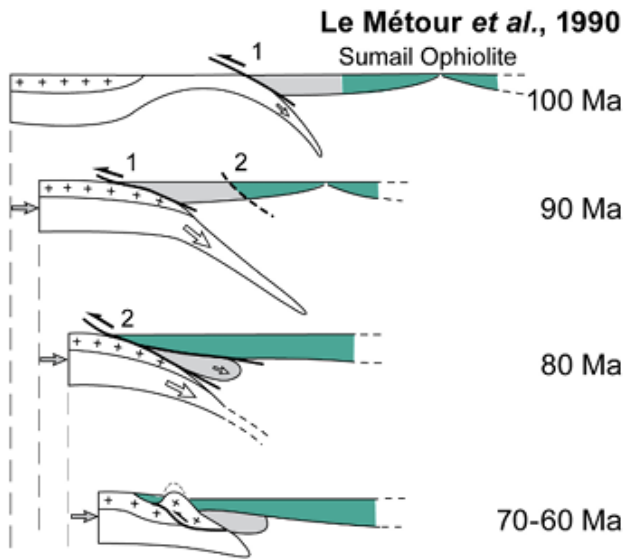
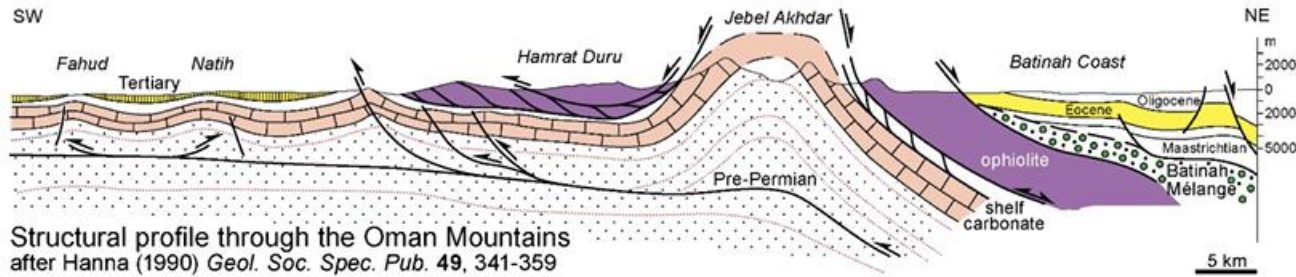


Unzen-vulkán

Geotechnikai mérések: stabilitás vizsgálatok

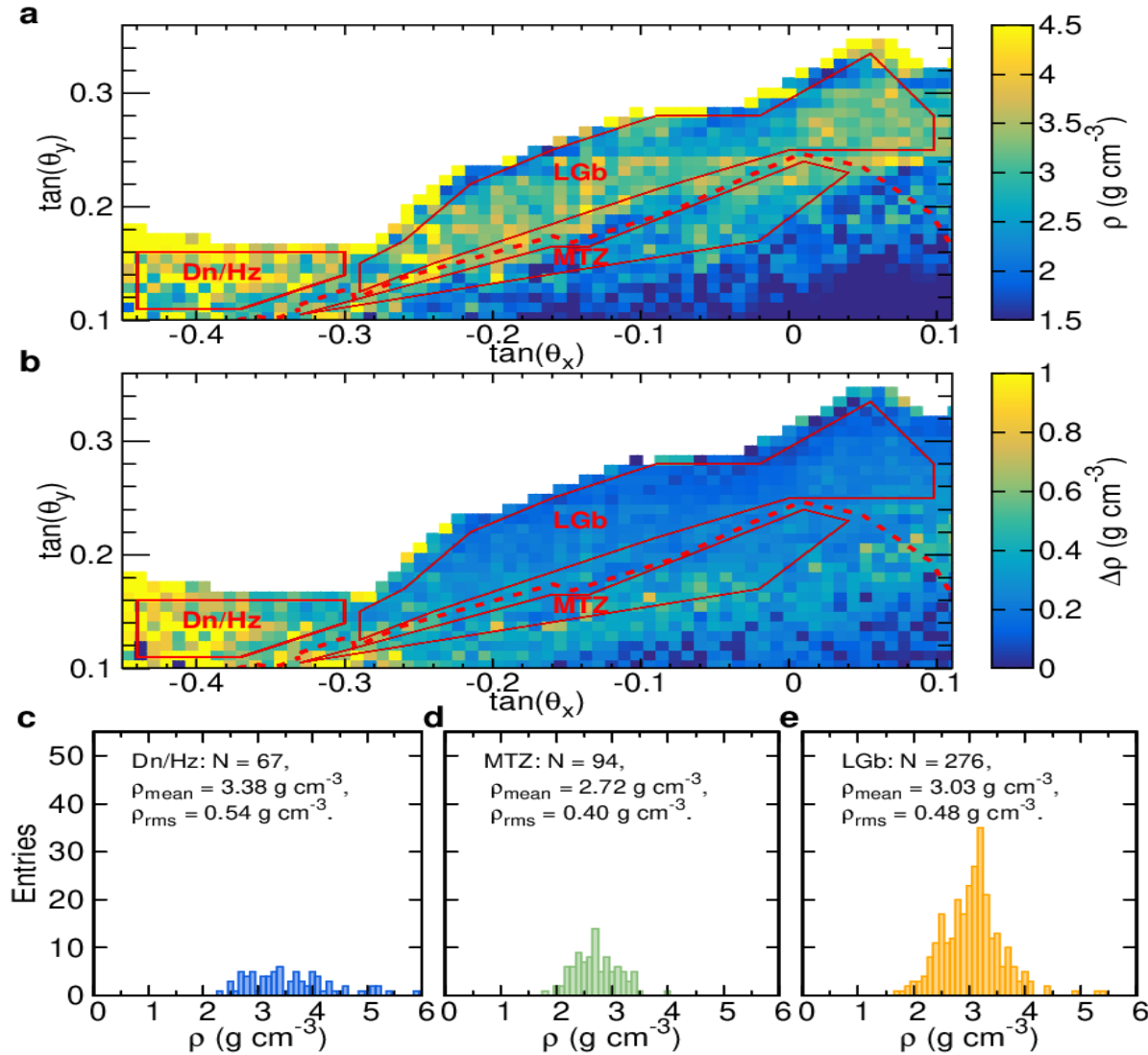
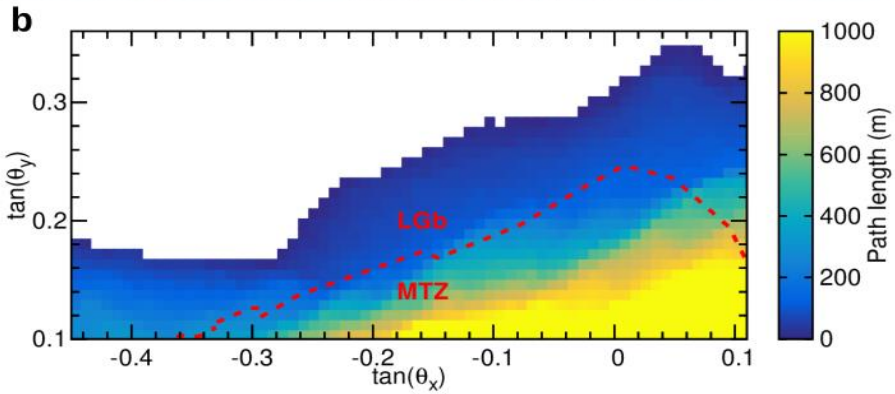
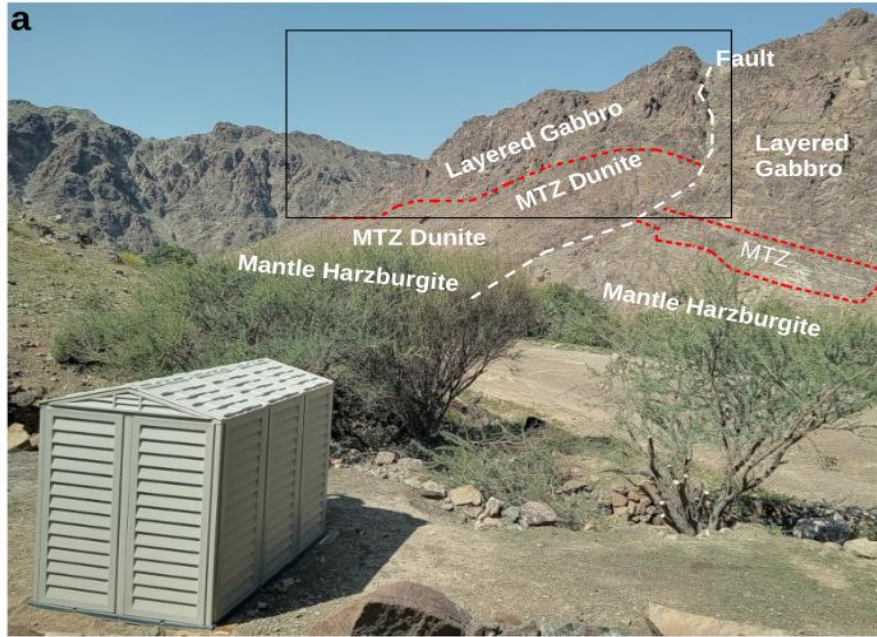


## Ománi Ofiolitok kutatása:

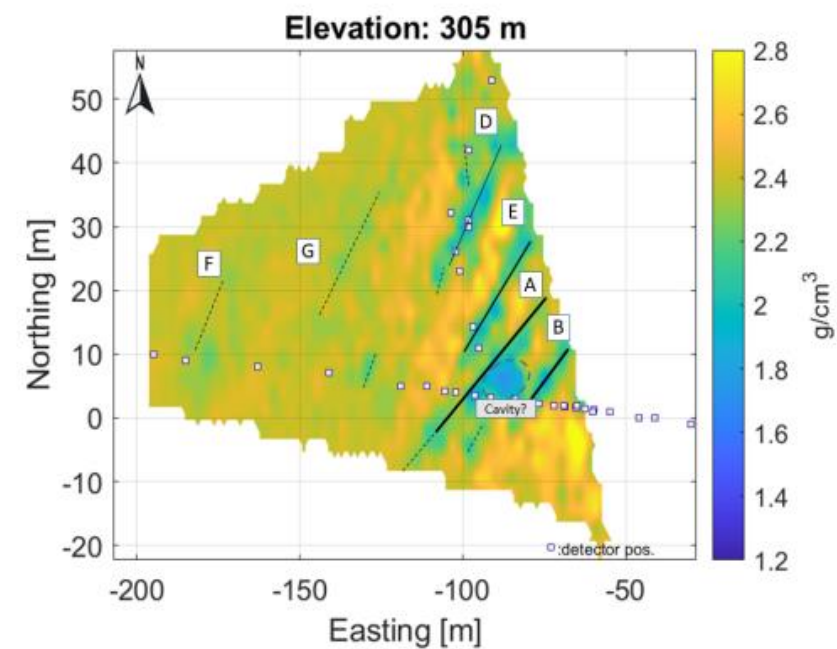
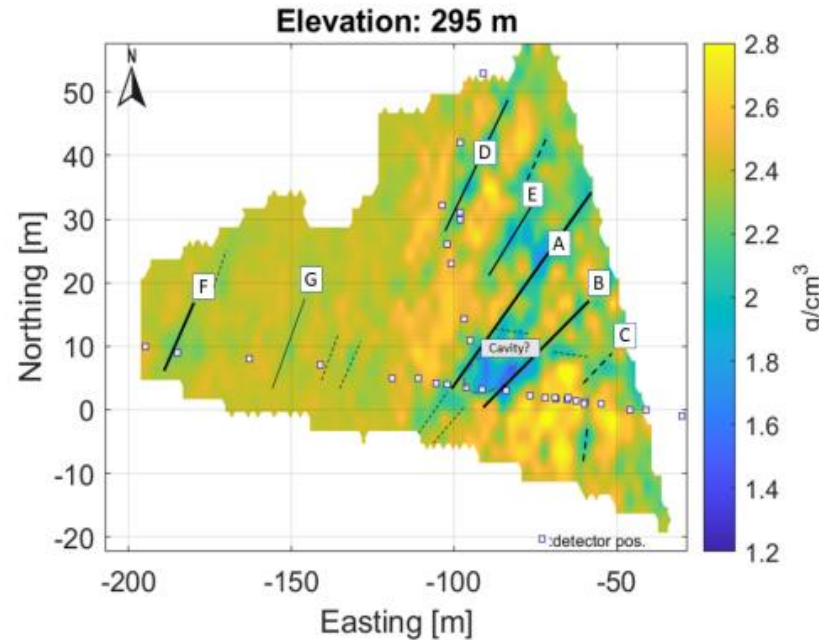
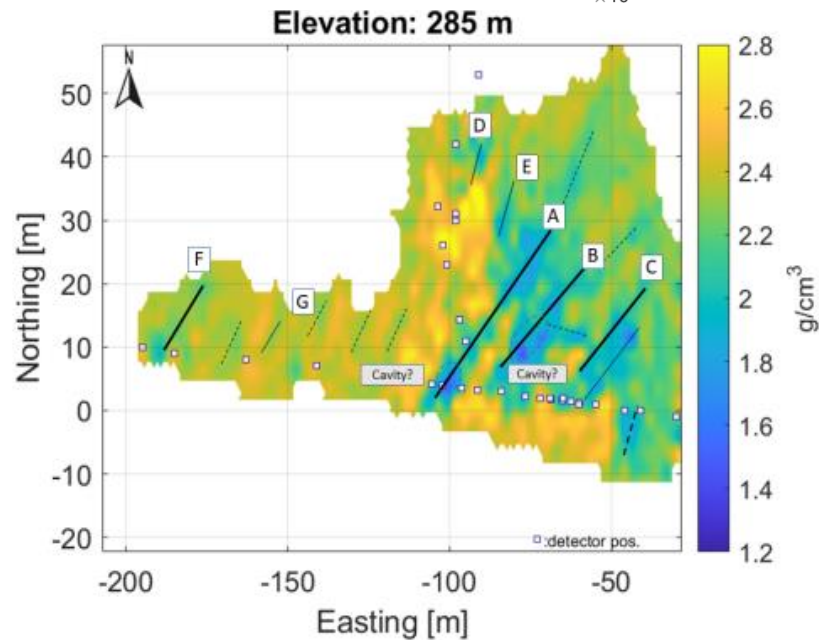
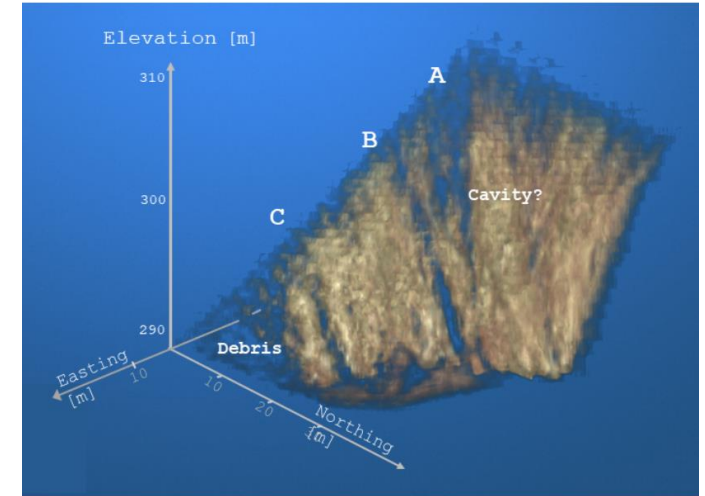
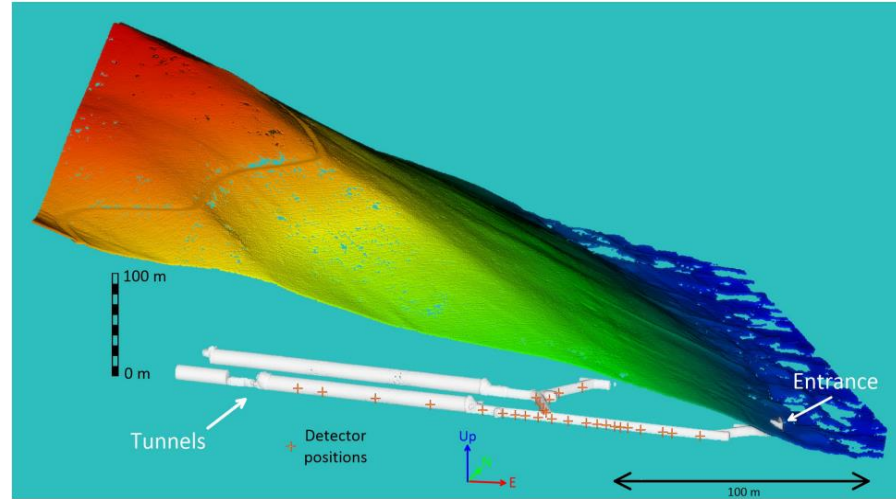
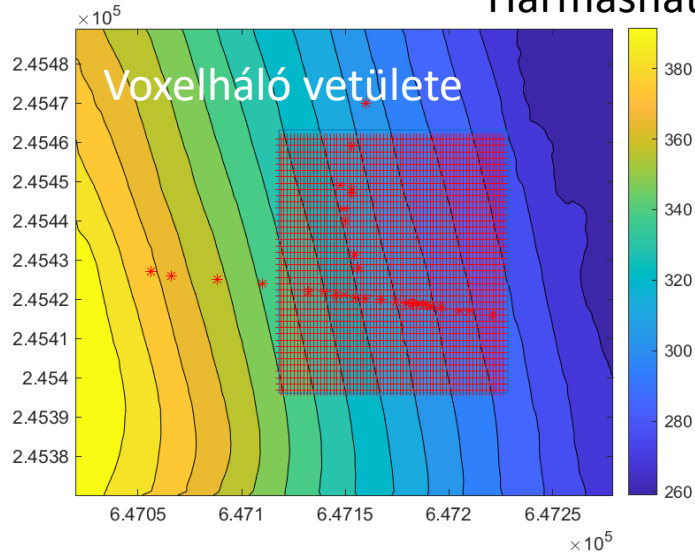


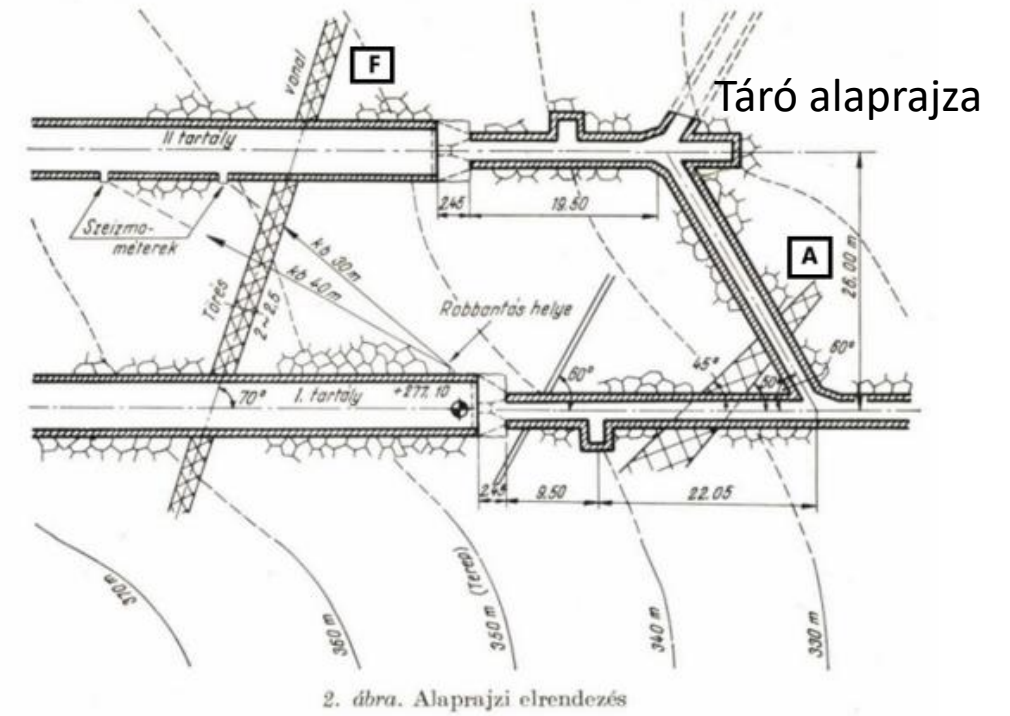
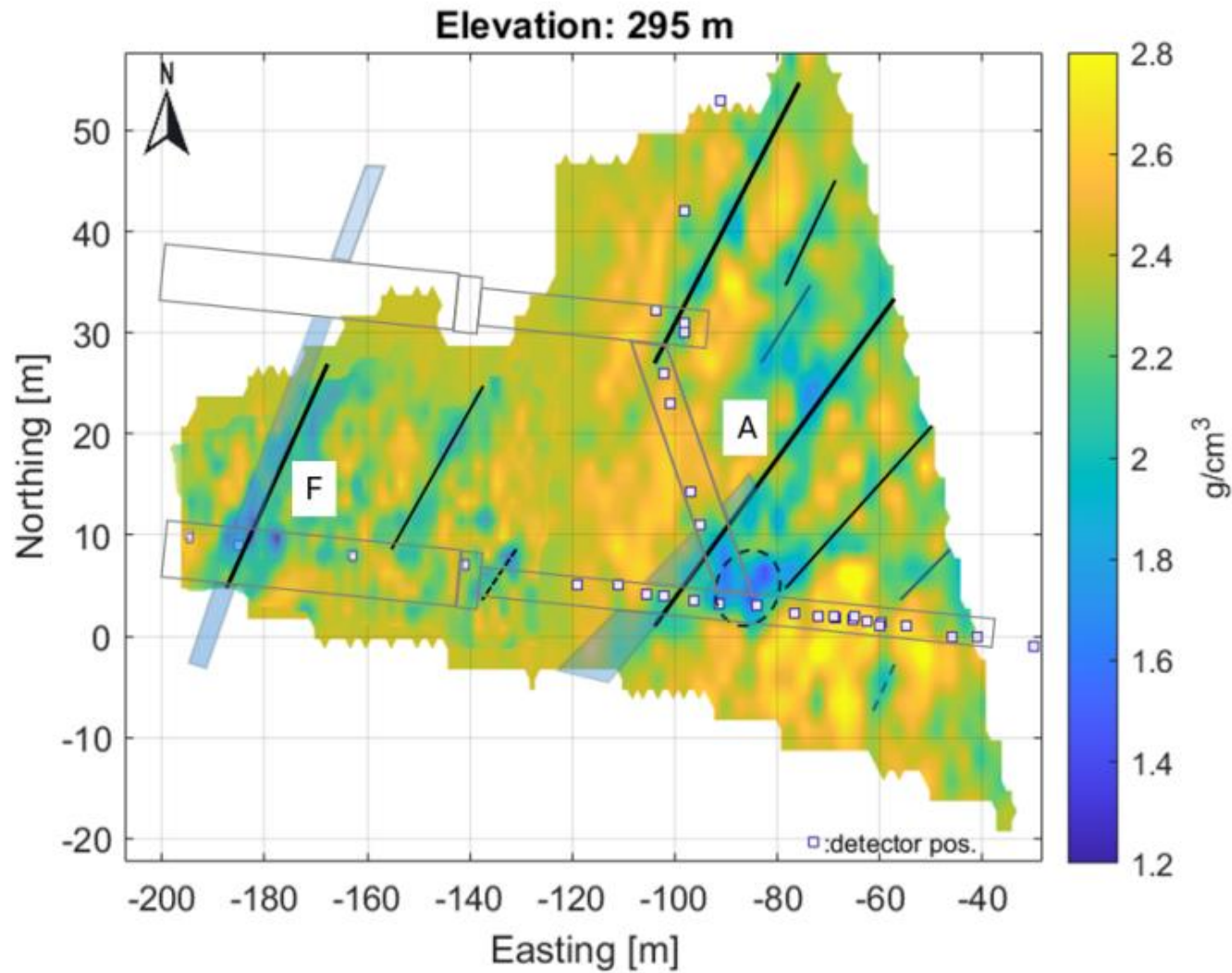
Ofiolit-szerkezete, genetikája és Mohorovicic felület környezete

## Ománi Ofiolitok kutatása:



## Háromashatár-hegy keleti oldalának müontomográfiai mérése a Királylaki-táróból



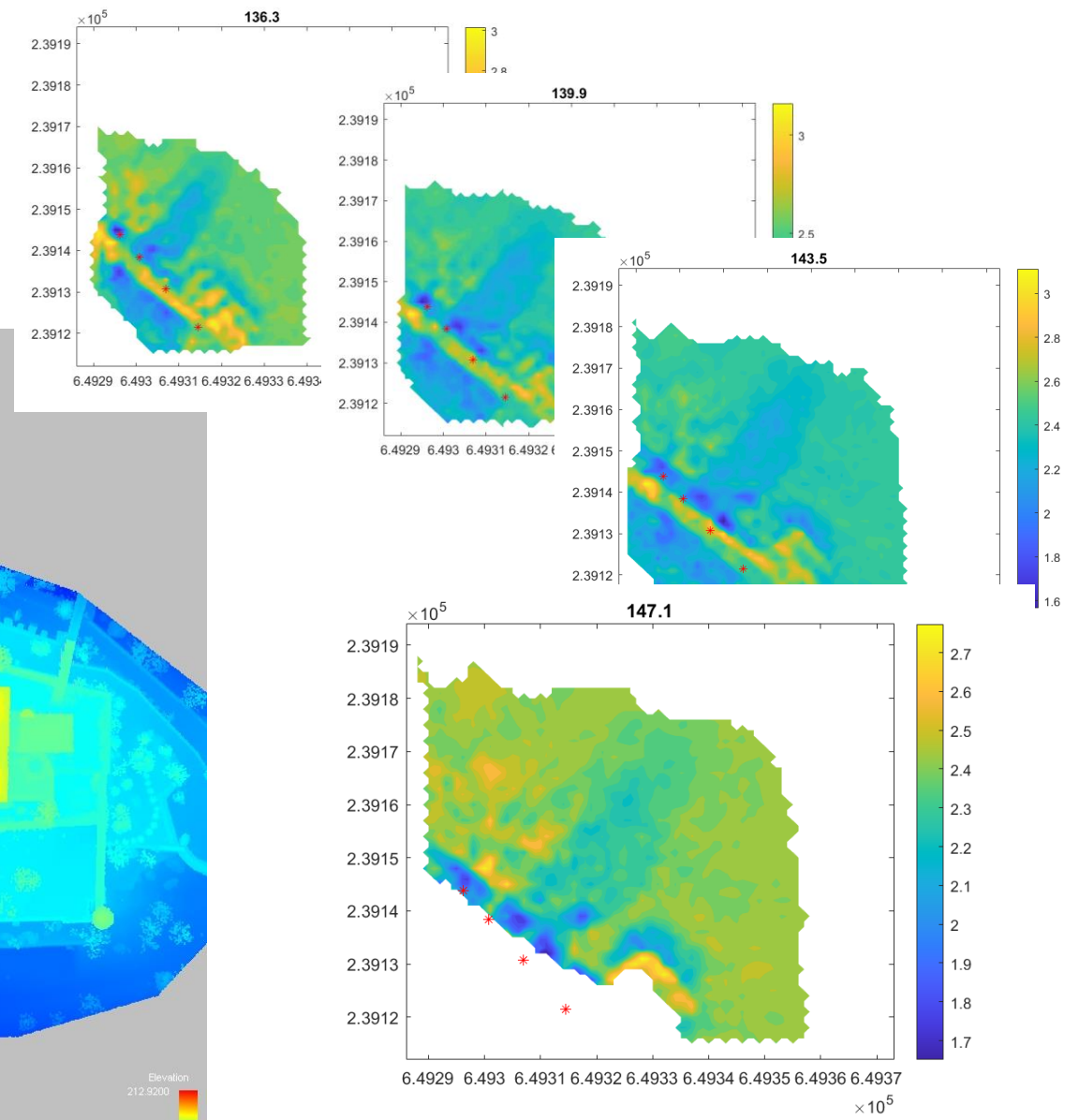
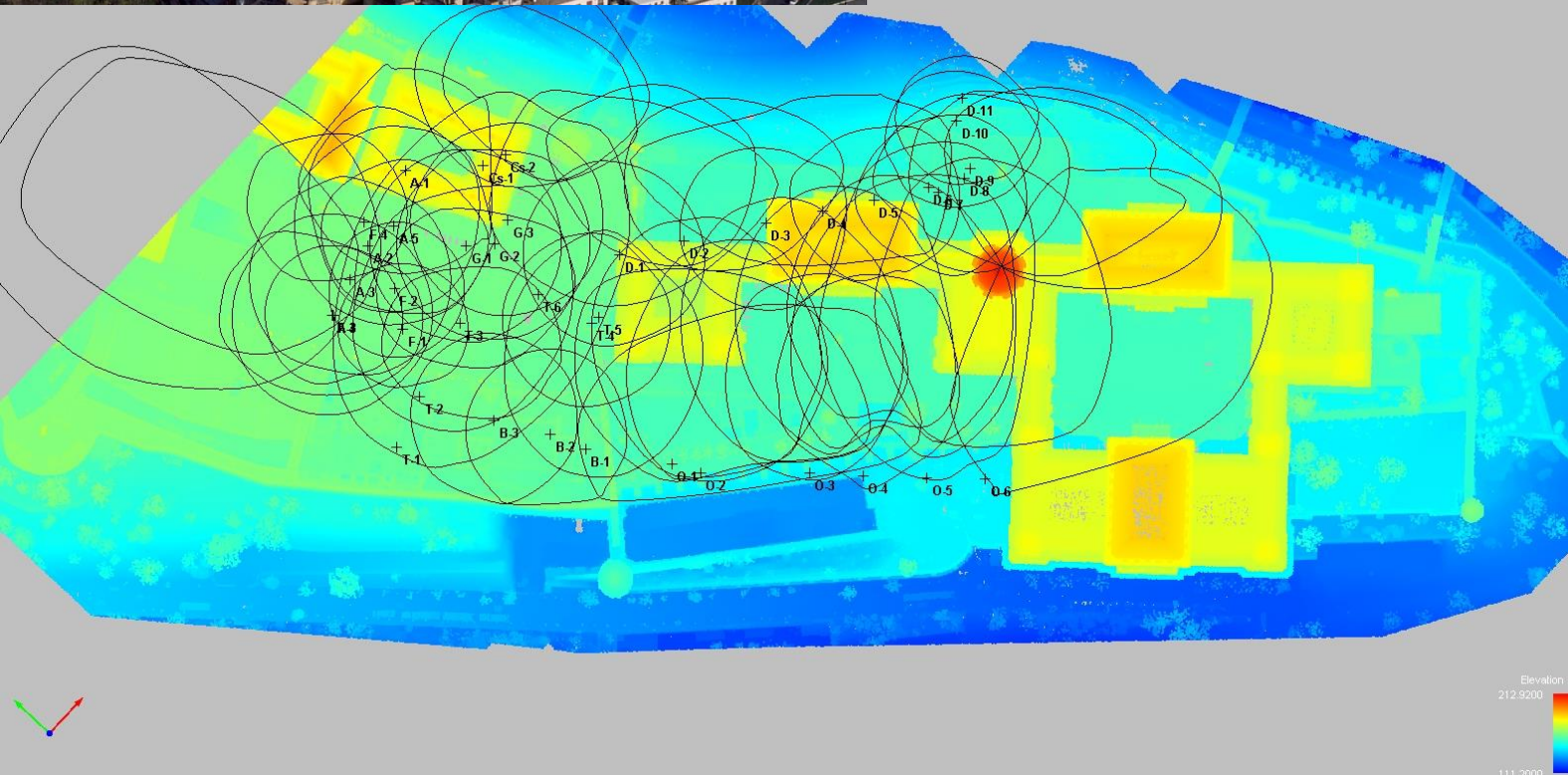


3D tomográfiai eredmények  
Vizsgálata

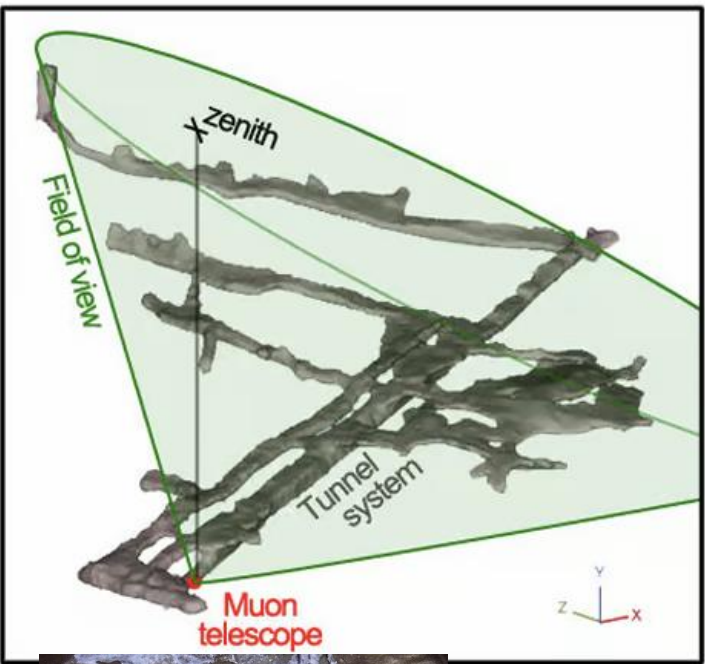
# Kozmikus müonok a földtudományokban: Felszín alatti müográfiai mérések: Épített környezetben



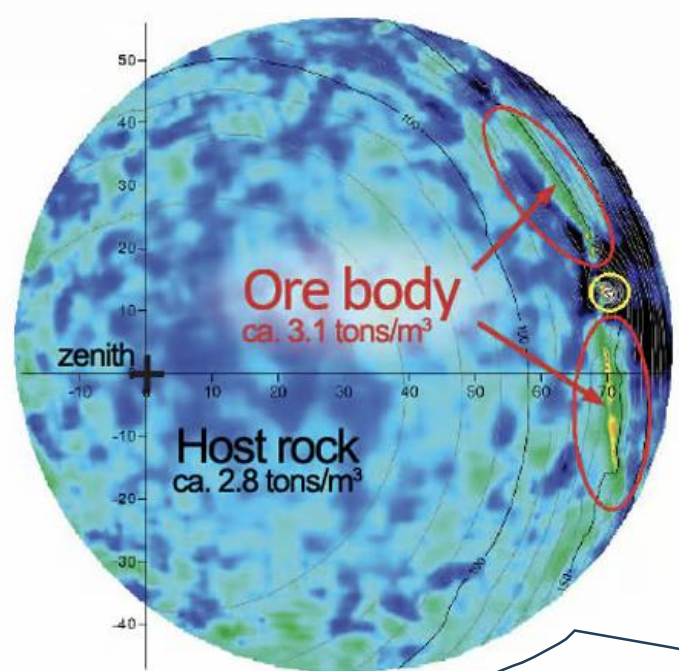
Budai-vár  
Müográfia és  
3D tomográfia



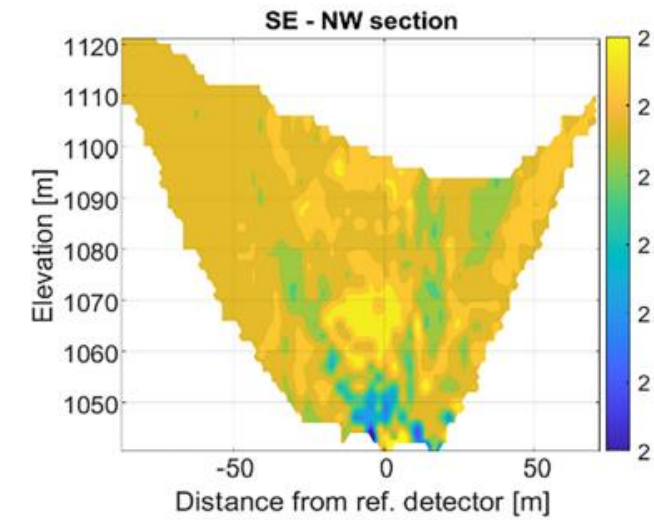
# Kozmikus müonok a földtudományokban: Felszín alatti müográfiai mérések: Bányászati alkalmazások



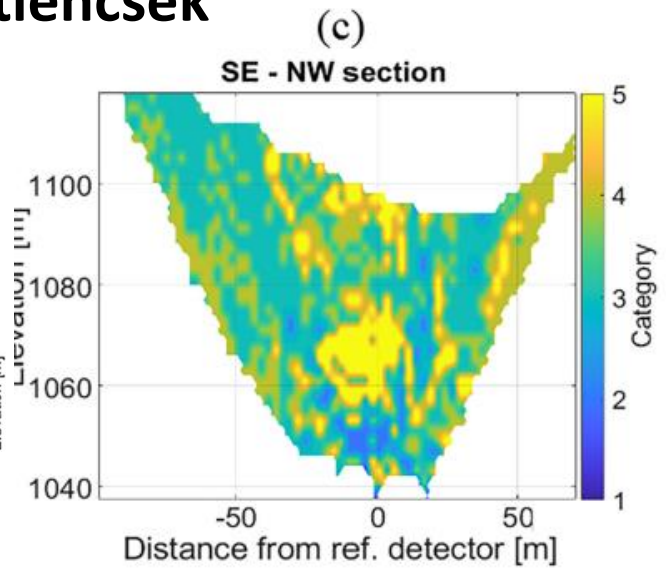
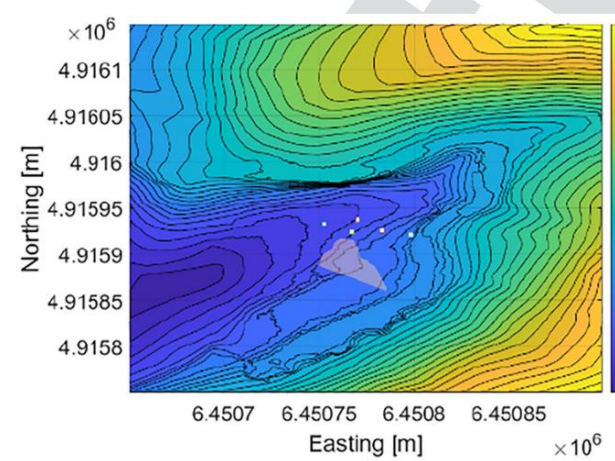
**CRM**  
Critical Raw Material



**Érckutatás**  
Türingia



**Bauxitlencsék**  
Bosznia

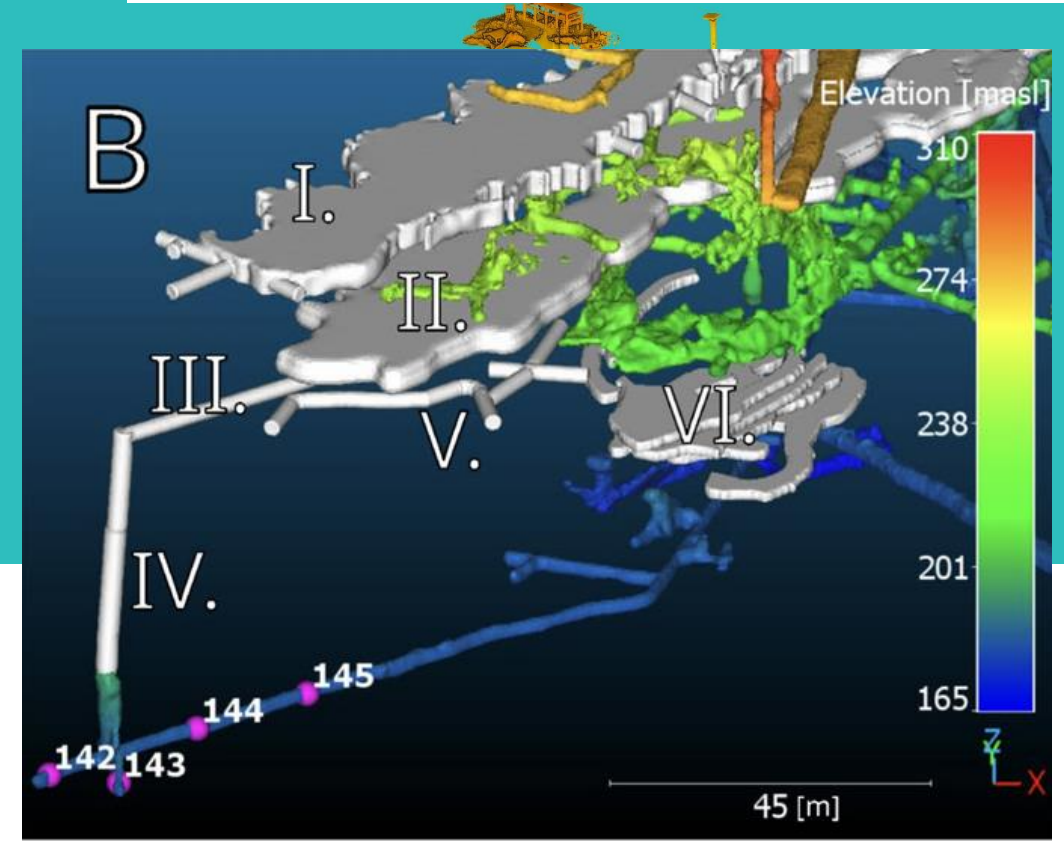
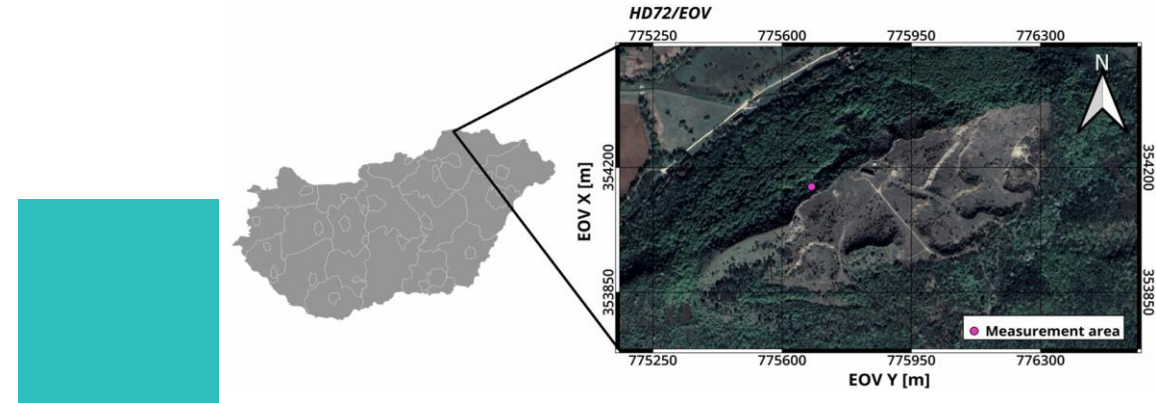
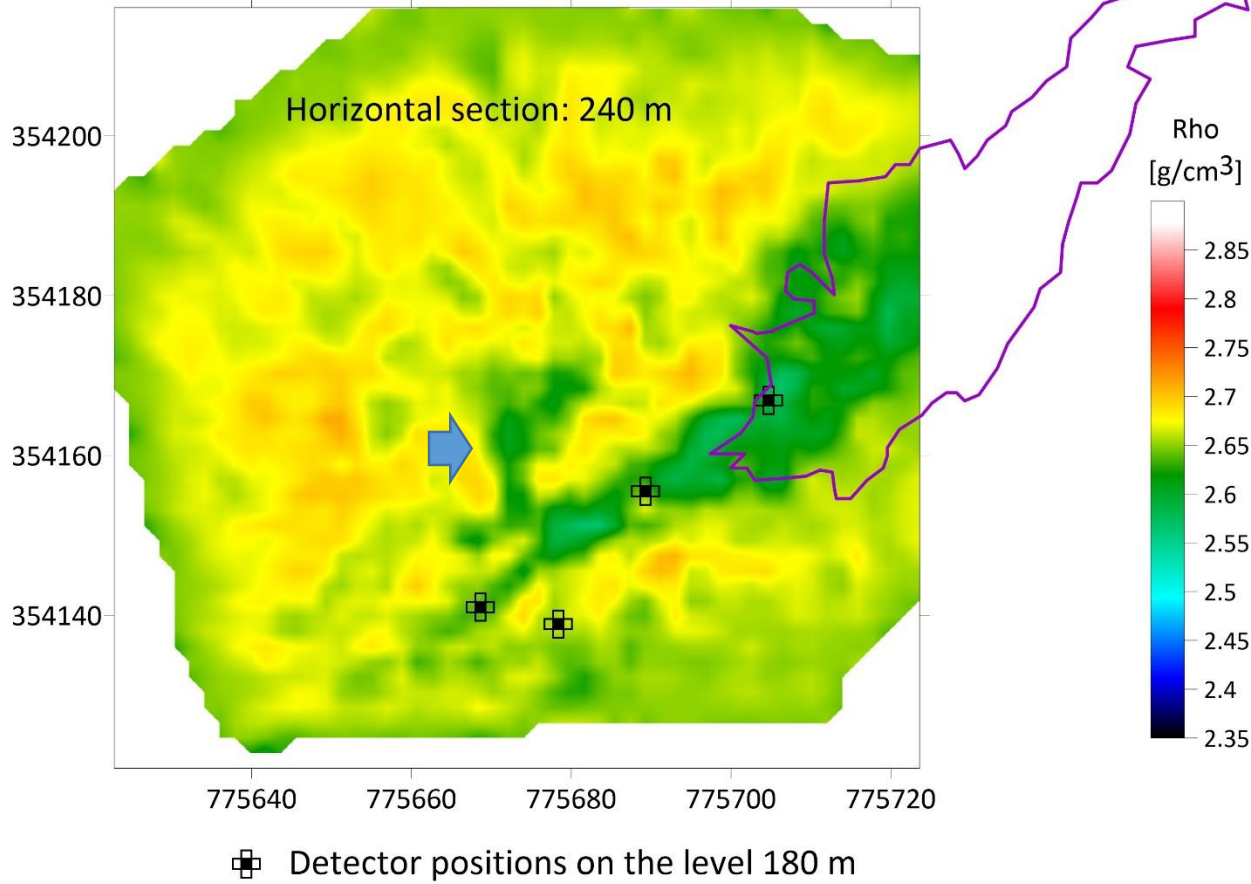


# Kozmikus müonok a földtudományokban: Felszín alatti müográfiai mérések: Elhagyott bányajáratok és barlangok

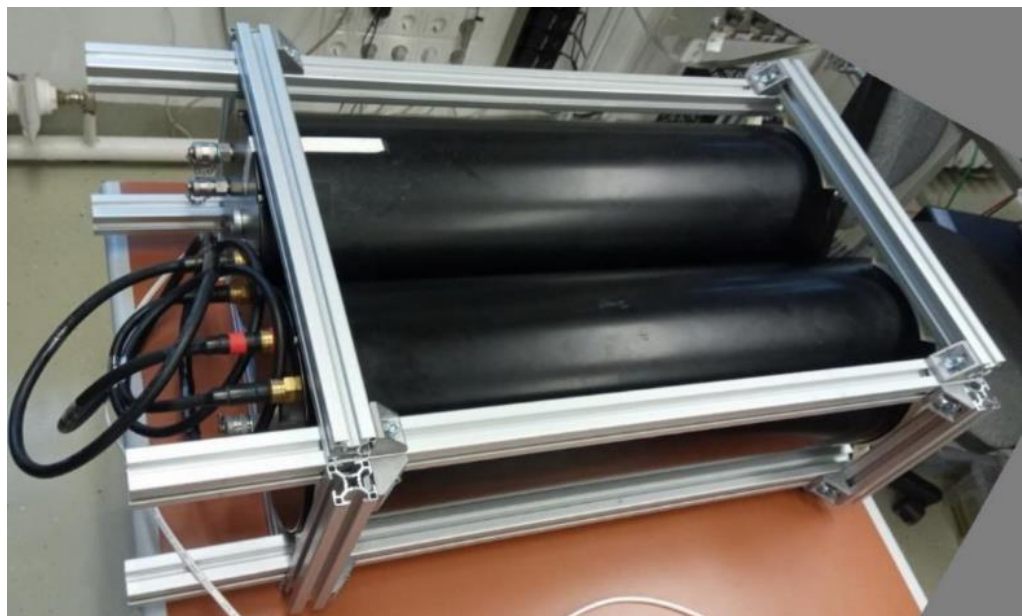
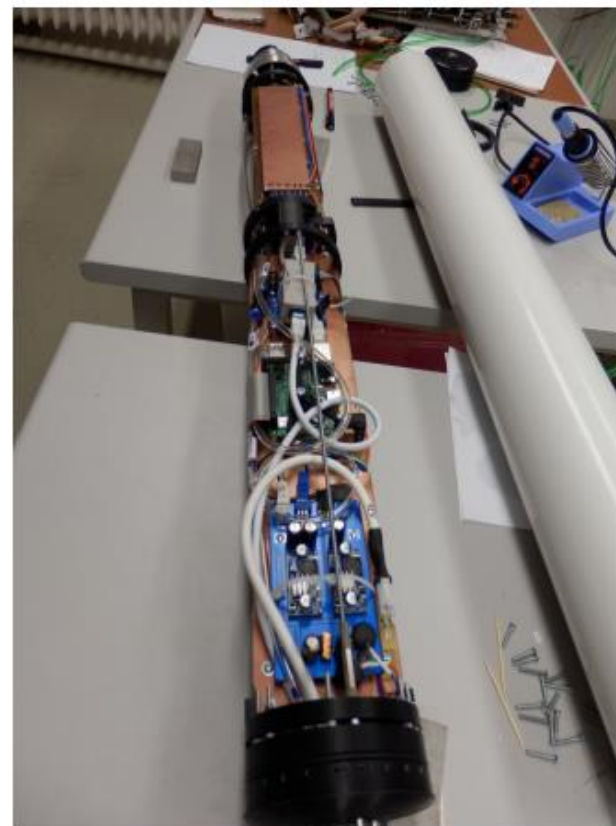
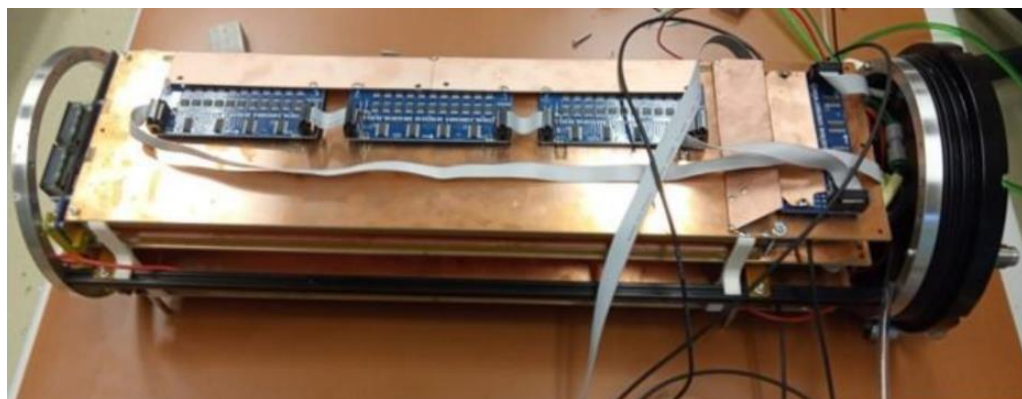
## Esztramos-hegy (barlangok és elhagyott bányajáratok)

Surface elevation above the detectors: ~280 m

Horizontal section: 240 m



# Kozmikus müonok a földtudományokban: Geofizikai célú detektorfejlesztések



## Köszönöm a figyelmet!

