

Földalatti müográfia precíziós vizsgálata

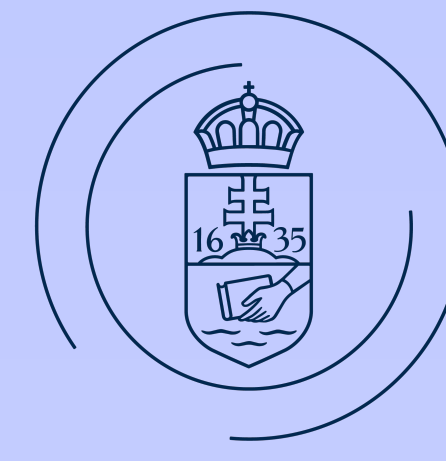
Stefán Boglárka Abigél^{1,2}, Balázs László², Hamar Gergő², Surányi Gergely²

HUN
REN

Wigner

¹ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézete,
Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, Budapest

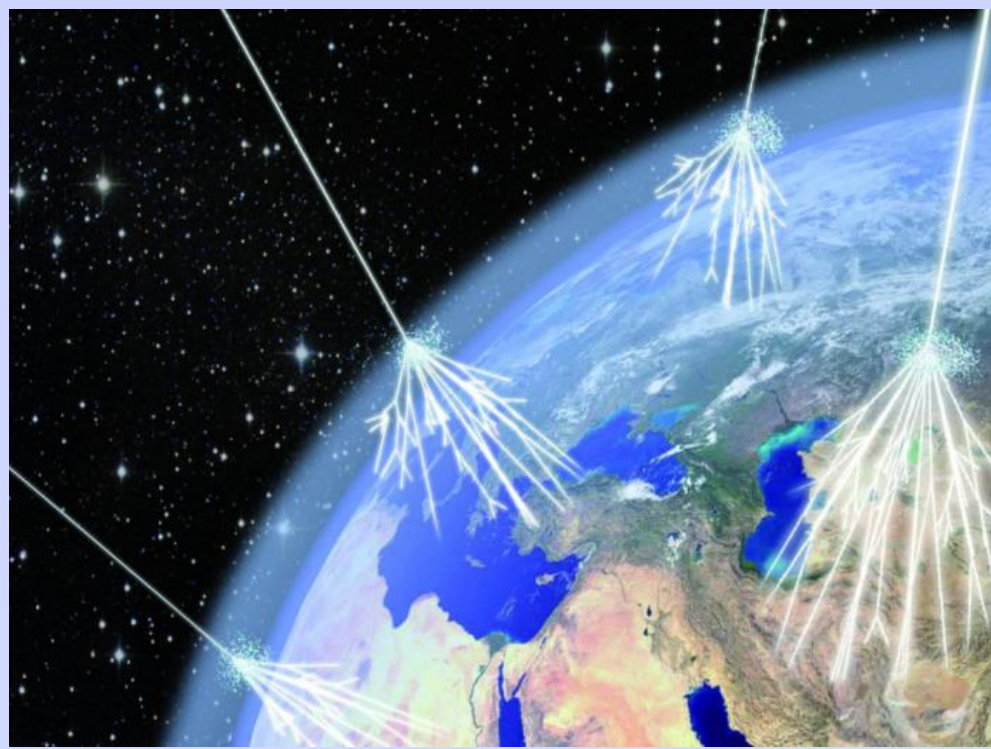
²HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont, Nagyenergiás Fizikai Osztály, Budapest



ELTE
EÖTVÖS LORÁND
UNIVERSITY

I. Müográfia

A kozmikus sugárzás által keltett müon részecskék eljutnak a Föld felszínére, és behatolnak a természet és ember alkotta struktúrákba (1. ábra). A müonok energiavesztesége függ a közegben megtett út hosszától és a közeg sűrűségétől. Magasabb sűrűségű közegből kevesebb müon, alacsonyabb sűrűségű közegből több müon várható. A beérkező müonok számának mérése részecskefizikai detektorokkal történik (pl.:szcintillátorok, emulziós, és gáztöltésű detektorok), amik lehetővé teszik a sűrűségkontraszt kimutatását. Ezt hívjuk müográfiának. Több alkalmazási területe is van mint bányászat, vulkánmegfigyelés, régészet, üregkutatás. Az egyik fő felhasználása területe a bányászat. Több nemzetközi kutató csoport folytat fejlesztéseket és kutatásokat ezen a területen.



1. Ábra: Kozmikus zápor [2]



2. Ábra: Detektor telepítése egy barlangban

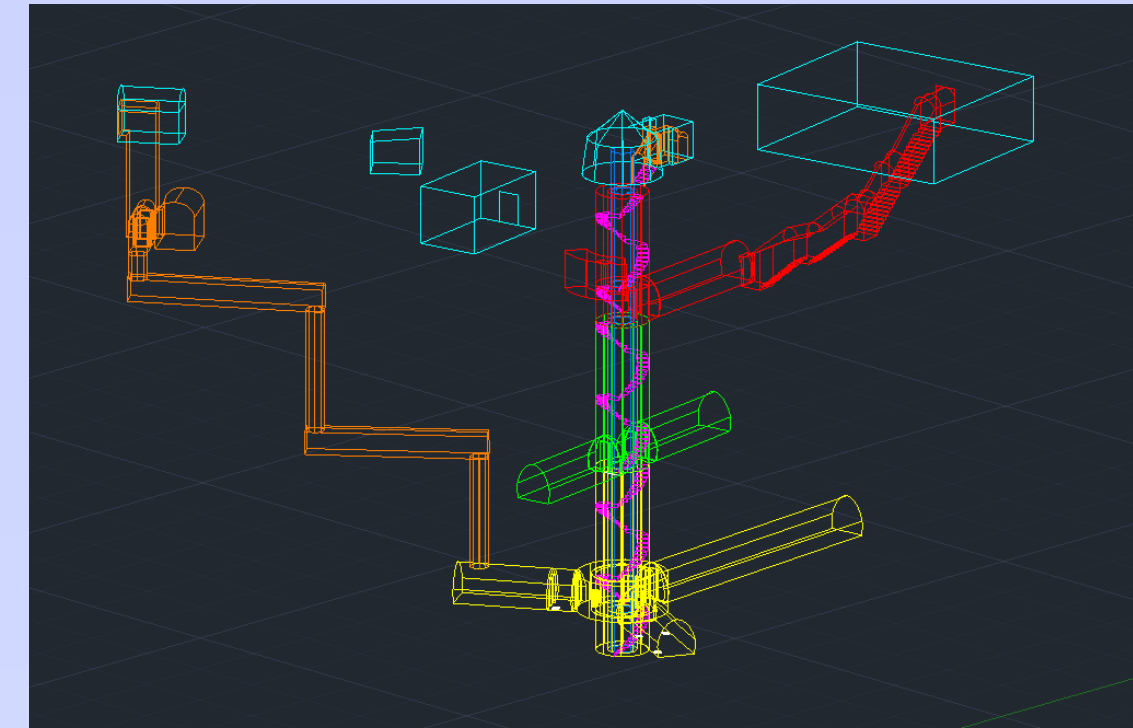


3. Ábra: Sikeres mérést végeztünk Kemiben, Finnország egyik legnagyobb földalatti bányájában.

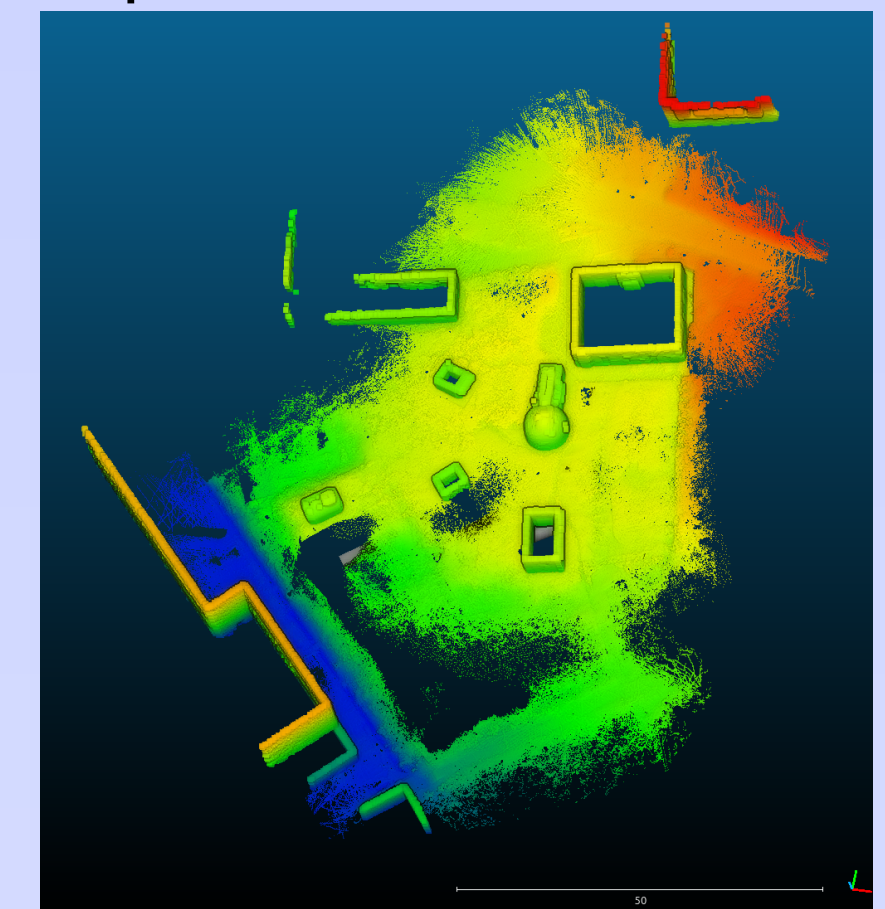
II. Jánossy Földalatti Laboratórium (JURLab)

A Jánossy Földalatti Laboratórium az 1950-es években az első épületek között volt, amit a HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont területén felépítettek. Ez egy földalatti laboratórium, mely egyszerű geometriával rendelkezik, mely tulajdonsága tökéletessé teszi az általunk fejlesztett detektorok tesztelésére. Munkám célja egy mérőszorozat elvégzése, melynek segítségével vizsgálhatóvá válik az adatfeldolgozás, direkt probléma és inverzió helyességének vizsgálata, és elvégezhetővé válik precíziós vizsgálat is.

5. Ábra: Lézer szkenneléssel készült pontfelhő a felszínről és az épületekről.



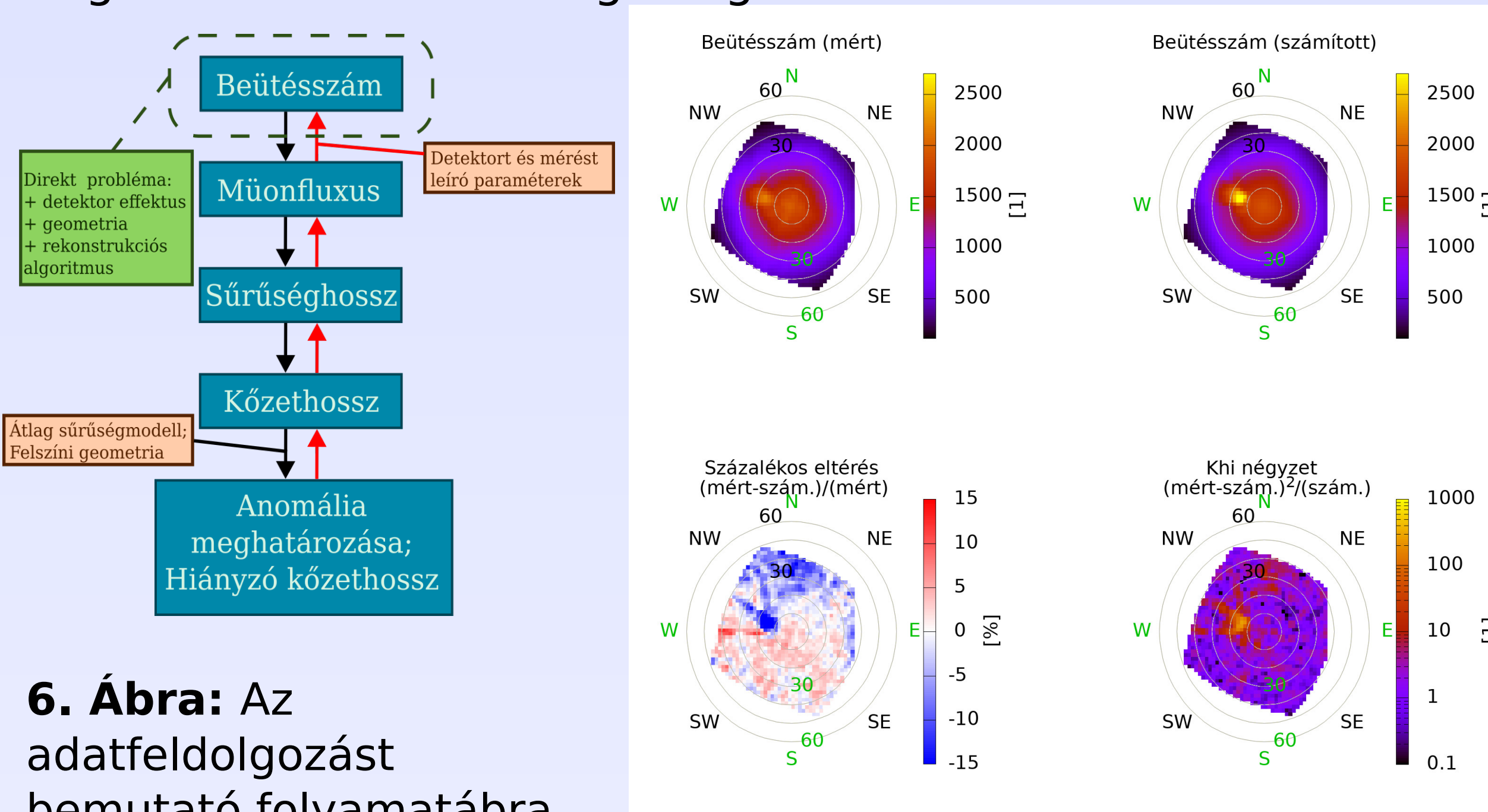
4. Ábra: A JURLab részletes CAD modellje. A világoskék részek a felszínen található épületek.



III. Direkt probléma

A direkt probléma a részecskefizikai detektor és a müonfluxus között teremt kapcsolatot, segítségével kiszámíthatóvá válik a müonok várható beütésszáma. Függ a detektor effektusától, a detektor geometriájától és a rekonstrukciós algoritmustól. Jelentősége, hogy ez által megválaszolhatóvá válnak mérés tervezéssel kapcsolatos kérdések, mint a használt detektor típusa, mérési pozíció, mérésidő és érzékenység. Továbbá az alkalmazás orientált detektorfejlesztésnél vizsgálhatóvá válik a mérési elrendezések.

A JURLab-ban eddig 18 mérést sikerült végezni. Ezen adatok segítségével vizsgálom direkt probléma modellem helyességét is. Az 7. ábrán a Run41 mérés mért és számított beütésszámainak összehasonlítása látható. A nagyobb eltéréseket a felszínen található objektumok okozzák, melyek még nincsenek benne a geológiai modellben.



6. Ábra: Az adatfeldolgozást bemutató folyamatábra

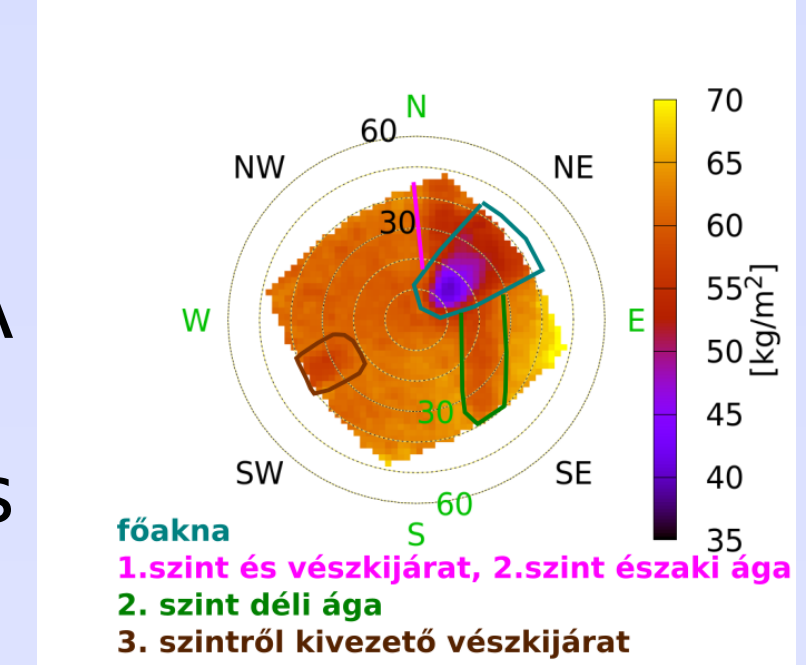
7. Ábra: A Run41 mérés mért és számított beütésszámai, és azok összehasonlítása. Az eltéréseket a felszíni épületek okozzák, melyek még nem kerültek bele a modellbe.

IV. Precíziós vizsgálat

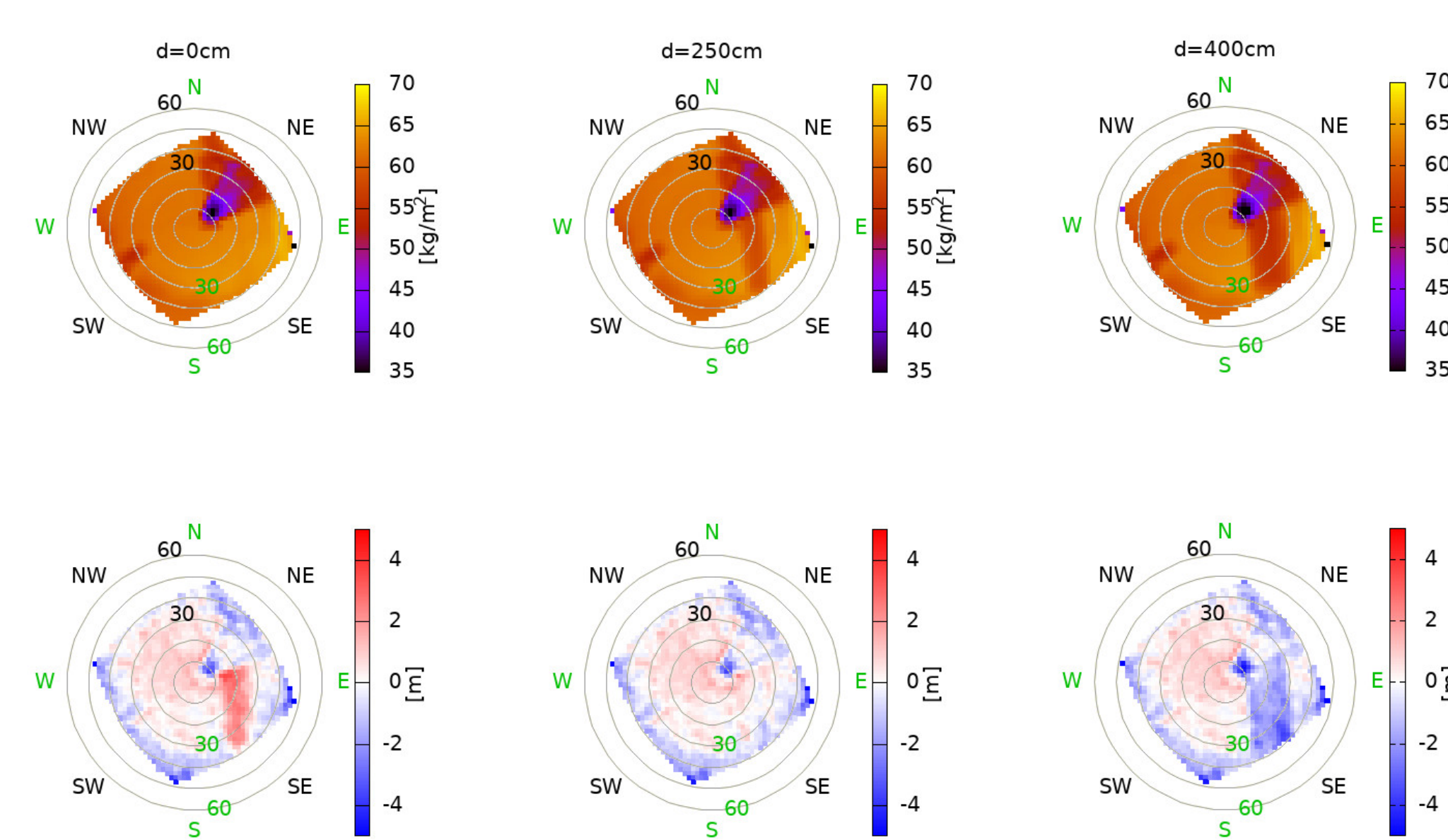
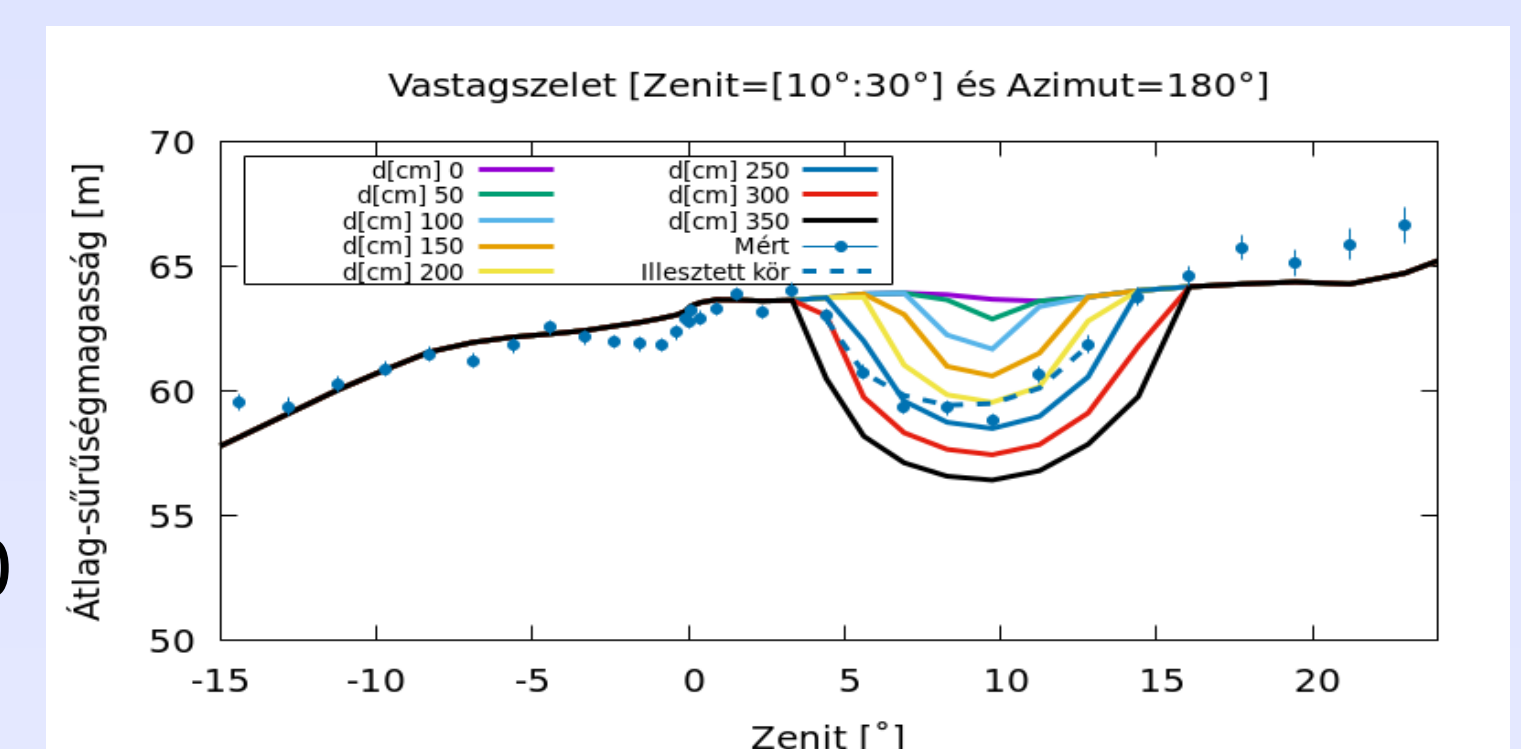
Fontos kérdés, hogy a müográfiai mérések segítségével meghatározható-e adott objektumok geometriai paraméterei. A JURLab-ban végzett mérések ennek vizsgálatára felhasználhatók, hiszen a labor jól definiált és ismert geometriával rendelkezik.

A paraméter meghatározásra a Run48 mérést használtam fel, mely a főaknát, az első szintet, a második szint két ágát és a két vészkijáratot látja. A célobjektumom a 2. szint déli ága, mely a legmarkánsabban emelkedik ki a mérésből. Irány és hossz paramétereit konstansnak vettem, így a meghatározni kívánt paraméter az alagút átmérője lett. A geológia modellben a déli ág átmérőjét változtattam 0 cm-től 400 cm-ig 50 cm lépésközzel.

A hiányzó közethossz sorozatában (10. ábra) jól látható az átmérő növelésével kezd eltűnni a többlet közetanyag az eredeti átmérőt megközelítve, majd azt meghaladva a közthiány növekszik. A vastagszeteleken láthatjuk, hogy a 250 cm átmérőjű illeszkedik legjobban a mért értékekhez (9. ábra).



8. Ábra: Mért sűrűségmagasság értékek



9. Ábra: Vastagszetele a mért és számított sűrűségmagasságoknak.

10. Ábra: A különböző alagút átmérővel rendelkező modellek sűrűségmagasság és hiányzó közethossz térképei

V. Összefoglaló

A müográfia egy dinamikus fejlődő új tudományág, mely a kozmikus sugárzásból származó müonok detektálásán alapuló roncsolásmentes képalkotási módszer. Széles alkalmazási spektrummal rendelkezik a bányászati célú mérésektől a vulkánmegfigyelésig. A terepi alkalmazások tapasztalatai és kutatások eredményeképpen a detektorok, adatfeldolgozási eljárások fejlődése folyamatos. A rendelkezésünkre álló Jánossy Földalatti Laboratórium lehetőséget nyújt számunkra a detektoraink és eljárásaink vizsgálatára. Az itt végzett méréseim segítségével teszteltem az adatfeldolgozás lépéseit, és validáltam a direkt probléma modellem. Továbbá geometriai paramétermeghatározást végeztem.

VI. Támogatóink

Ezt a munkát a „Mine.io” HEU projekt támogatta a GA No. 101091885 szám alatt, az NKFIH kutatási alapja az ID TKP2021-NKTA-10 szám alatt, a Hazahívó és Külföldi Kutatókat Toborzó Program (KSZF-144/2023), valamint a VLAB infrastruktúra. Köszönettel tartozom a REGARD csoportnál dolgozó összes kollégámnak. A Kulturális és Innovációs Minisztérium EKÖP-25 kódszámú egyetemi kutatói ösztöndíjprogramjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

VII. Hivatkozások

[1] Tanaka, H.K.M. et al., 2023. Muography, Nat Rev Methods Primers 3, 88, <https://doi.org/10.1038/s43586-023-00270-7>
[2] Louise Lerner, 2025.04.24., <https://news.uchicago.edu/explainer/what-are-cosmic-rays>