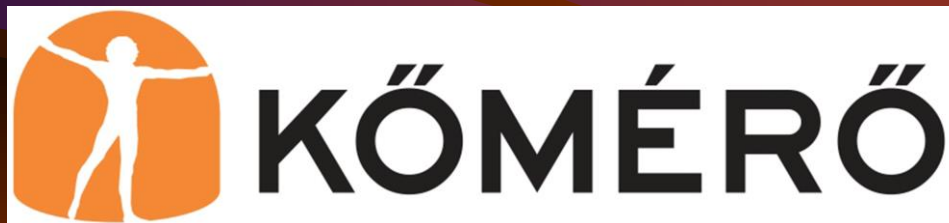


Az uránércbányászati üregrendszer hosszú távú mechanikai hatásai a BAF, mint befogadó közettest szempontjából

Kovács L.¹, Krupa Á.¹, Mészáros E.¹, Somodi G.¹, Szujó G.¹, Szamos I.², Hámos G.², Benő D.²

¹: KÖMÉRŐ Kft. - komero@komero.hu

²: MECSEKÉRC Zrt. - mecsekerc@mecsekerc.hu



BAF Előadói Nap, Pécs, PAB-Székház
2018. 11. 14.

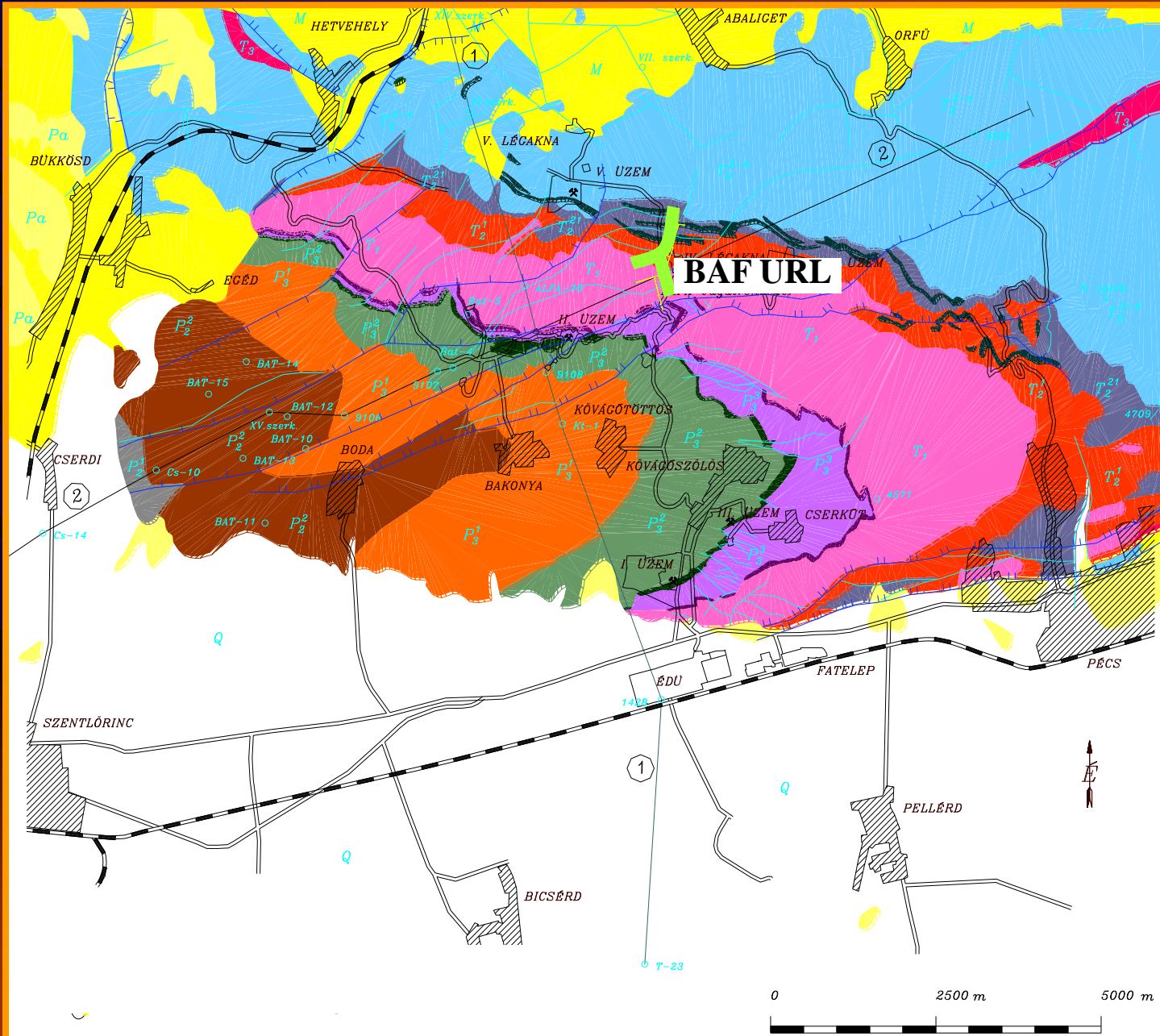
Amiről ma beszélni szeretnék...



- Az alapprobléma: a BAF és a 18 millió m³ uránércbányászati üregrendszer szomszédsága - a 155/2014. (VI. 30.) Korm. rendelet szerinti értékelés szükségessége
- A Nyugat-mecseki uránércbányászat földtani környezetének rövid jellemzése
- Az üregrendszer, illetve a hosszú távú viselkedést befolyásoló technológiai elemek jellemzése
- A működés, illetve az uránércbányászat felszámolása során szerzett kőzetmechanikai-kőzetmozgási tapasztalatok
- Hosszú távú vizsgálati időtartam: a természeti, illetve technikai analógiák elemzése
- Ellenőrző numerikus modellezés a mechanikai hatástávolságok vizsgálatára
- A probléma térinformatikai módszerekkel történő kezelése



A Nyugat-Mecsek földtani térképe



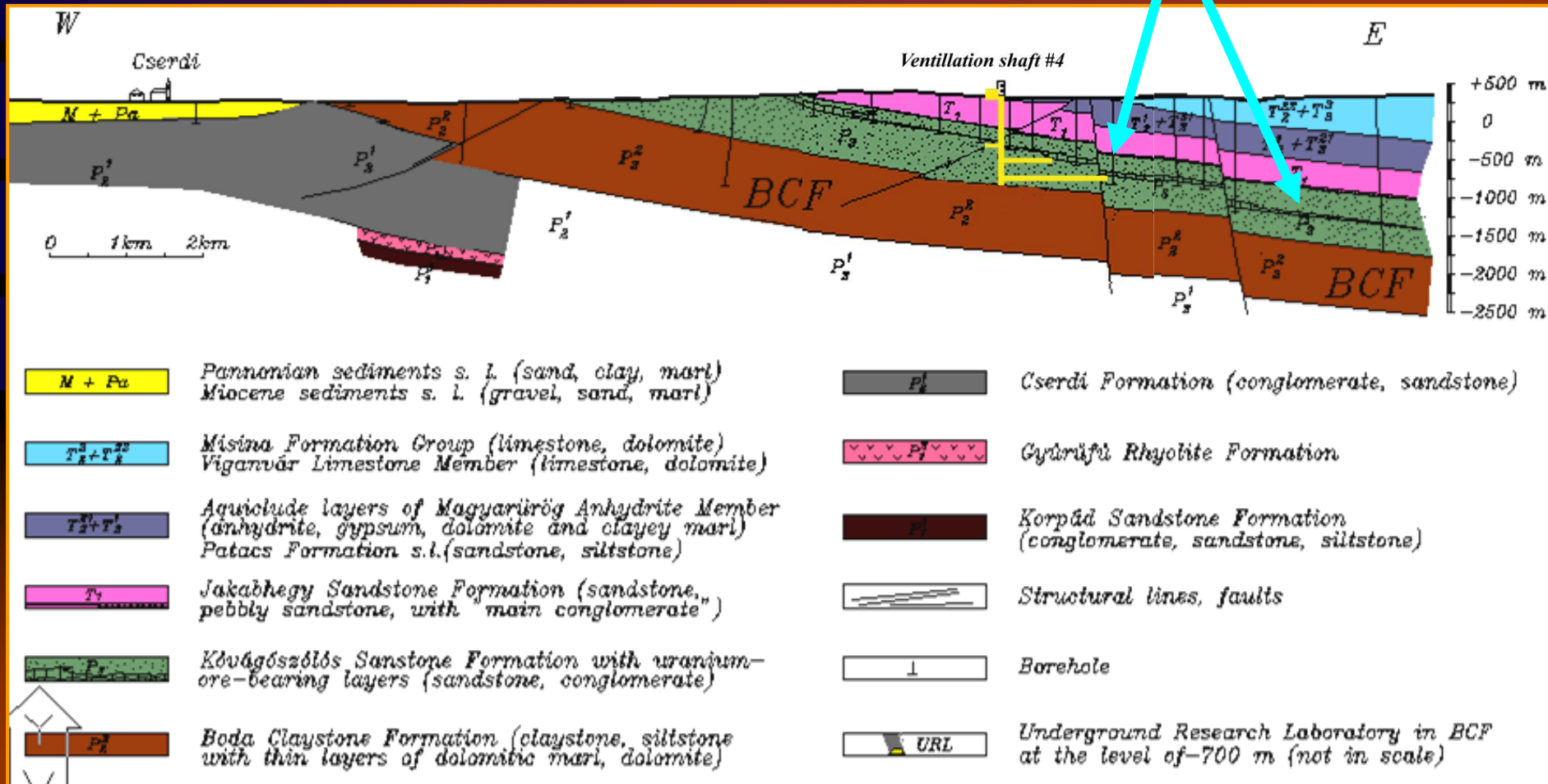
A NY-MECSEK FÖLDTANI TÉRKÉPE

JELMAGYARÁZAT :

- | | |
|--|---|
| | Negyedidőszaki képződmények |
| | Pannóniai képződmények |
| | Miocén képződmények |
| | Alsó kréta bazalt |
| | Felső triász homokkő, palás agyagkő, agyagos mészkő |
| | Középső triász mészkő dolomit, (márga) |
| | Középső triász dolomitmárga, anhidrit, gipsz |
| | Középső triász homokkő, aleurolit |
| | Alsó triász Jakabhegyi Főkonglomerátum és Homokkő |
| | Felső perm vörös homokkő |
| | Felső perm "zöld" uránércartalmú homokkő |
| | Felső perm szürke homokkő |
| | Felső perm "tarka" homokkő |
| | Középső perm Bodai Aleurolit |
| | Középső perm Csérvölgyi Konglomerátum és Homokkő |
| | Szerkezeti és törésvonalak |
| | Fúrás |
| | Szelvények |

K-Ny irányú földtani szelvény a Ny-Mecsekről

Az ún. Északi bányáüzemek
aknához bekötött főfeltáró
szintjei (kb. 90-100 méterenként)



A magyarországi uránércbánya számokban

Az uránércbánya által létrehozott felszín alatti üregrendszer teljes térfogata közel **18 millió m³ (17.833.726 m³)**

Bánya-üzem	Függőleges akna			Vágat		Fejtés és egyéb üreg (m ³)
	Db	Hossz (m)	Térf. (m ³)	Hossz (m)	Térf. (m ³)	
I.	8	611	7,750	149,728	964,639	1,136,888
II.	9	1,474	18,600	328,946	1,928,202	2,541,289
III.	5	987	13,490	385.585	2,464,832	2,308,674
IV.	5	3,118	96,236	247,509	2,128,840	2,626,980
V.	5	3,397	100,447	82,000	766,004	730,855
Összesen	32	9,587	236,523	1,193,768	8,252,517	9,344,686

A legmélyebb akna a IV. Szállítóakna volt **(1146 m)**

Az uránércbánya legmélyebb pontja **1355,5 m** (13/21 vakakna)

A legnagyobb függőlegesakna-átmérő **7,5 m** (V. Szállítóakna)

A legmélyebb ponton a primer közethőmérséklet **57°C**

Az egyidejűleg foglalkoztatottak maximális száma a csúcsidőszakban (a 80-as években) **7300.**

Az alkalmazott bányászati technológiák főbb elemei

Jövesztés: Kizárólag fúrásos-robbantásos technológia

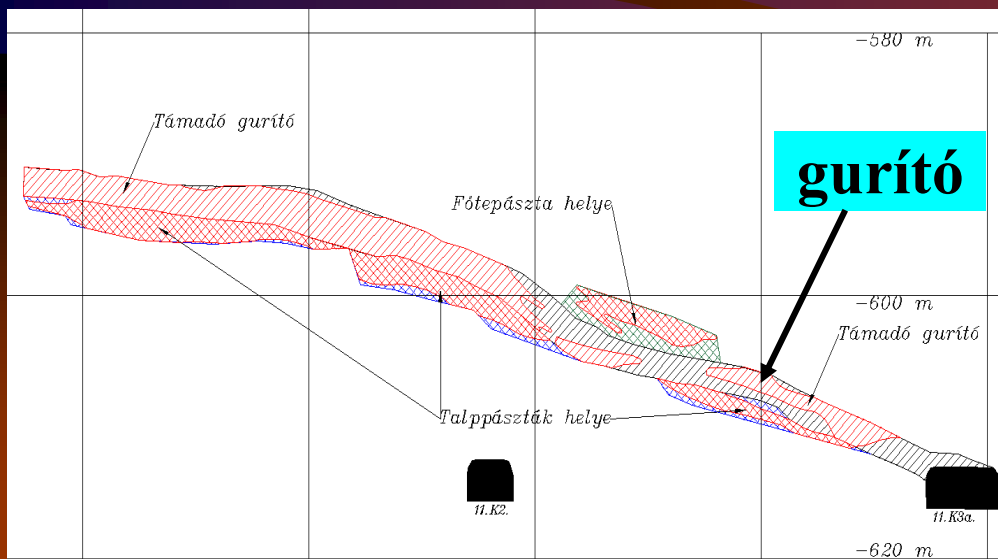
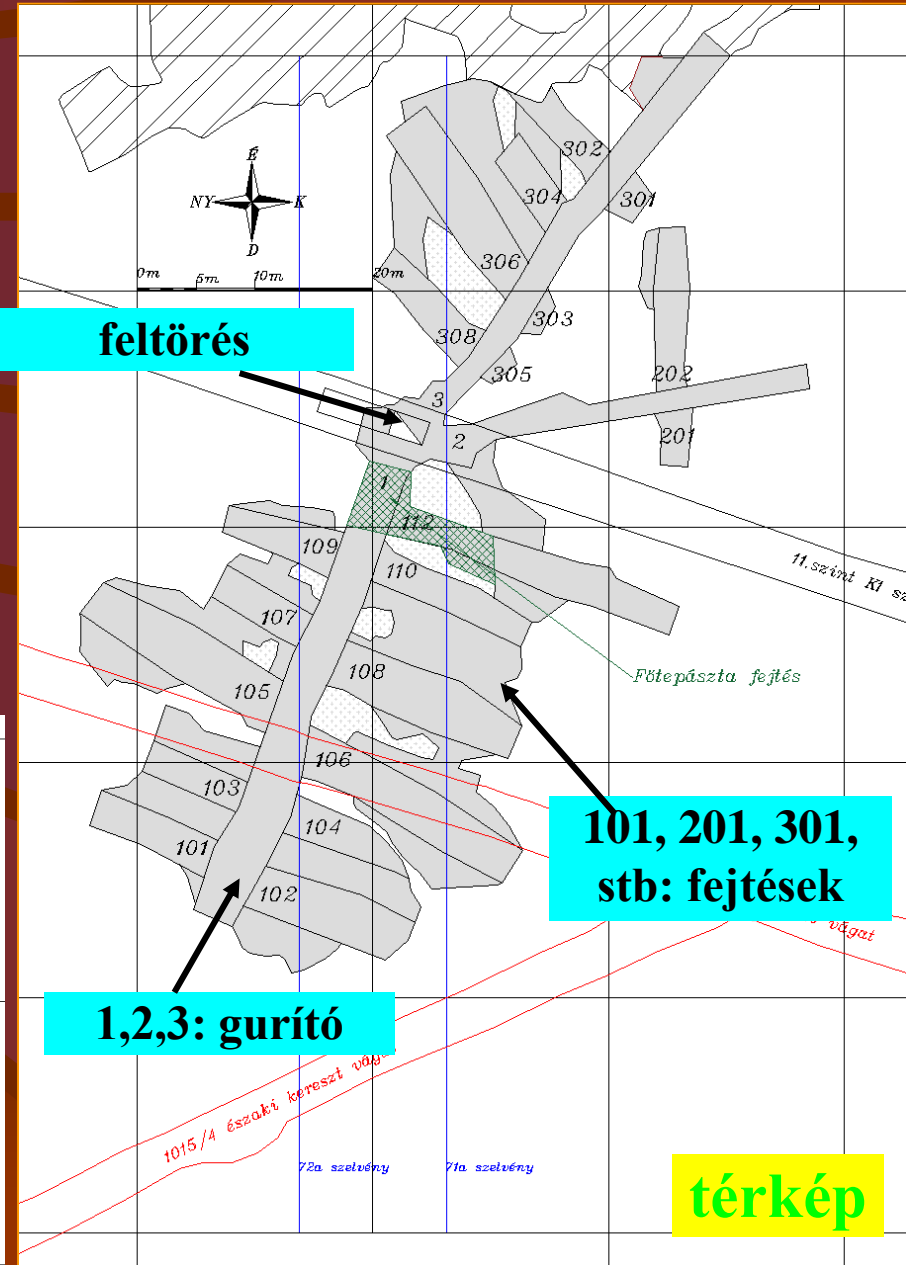
Biztosítás: Vegyes rendszer (kezdetben főleg fa ácsolatok és beton-idomköves biztosítás, később TH-ívek, acéltámok és acélhálózással kombinált közethorgonyzás)

Feltárás: Mindig alulról felfelé haladva; a magasabb helyzetű érclencsék feltárása feltörések és/vagy gurítók kialakításával (fekü szürke homokkő kedvezőbb mechanikai adottságai + gravitáció)

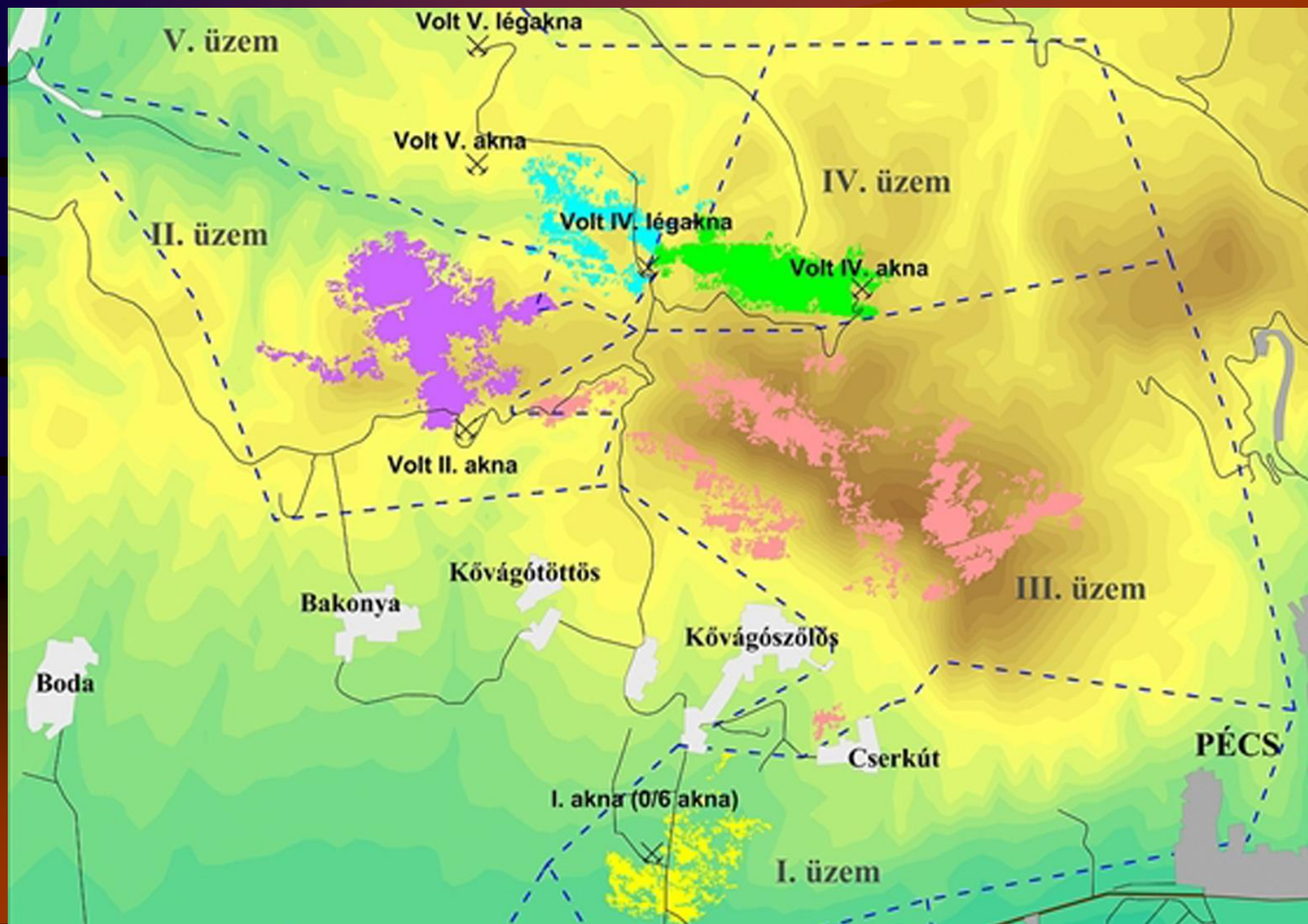
Fejtés: Erősen szelektív, szabálytalan geometriájú üregrendszer, folyamatos radiometrikus mérésekkel kontrollálva. Tömbfejtés csak kivételes esetekben



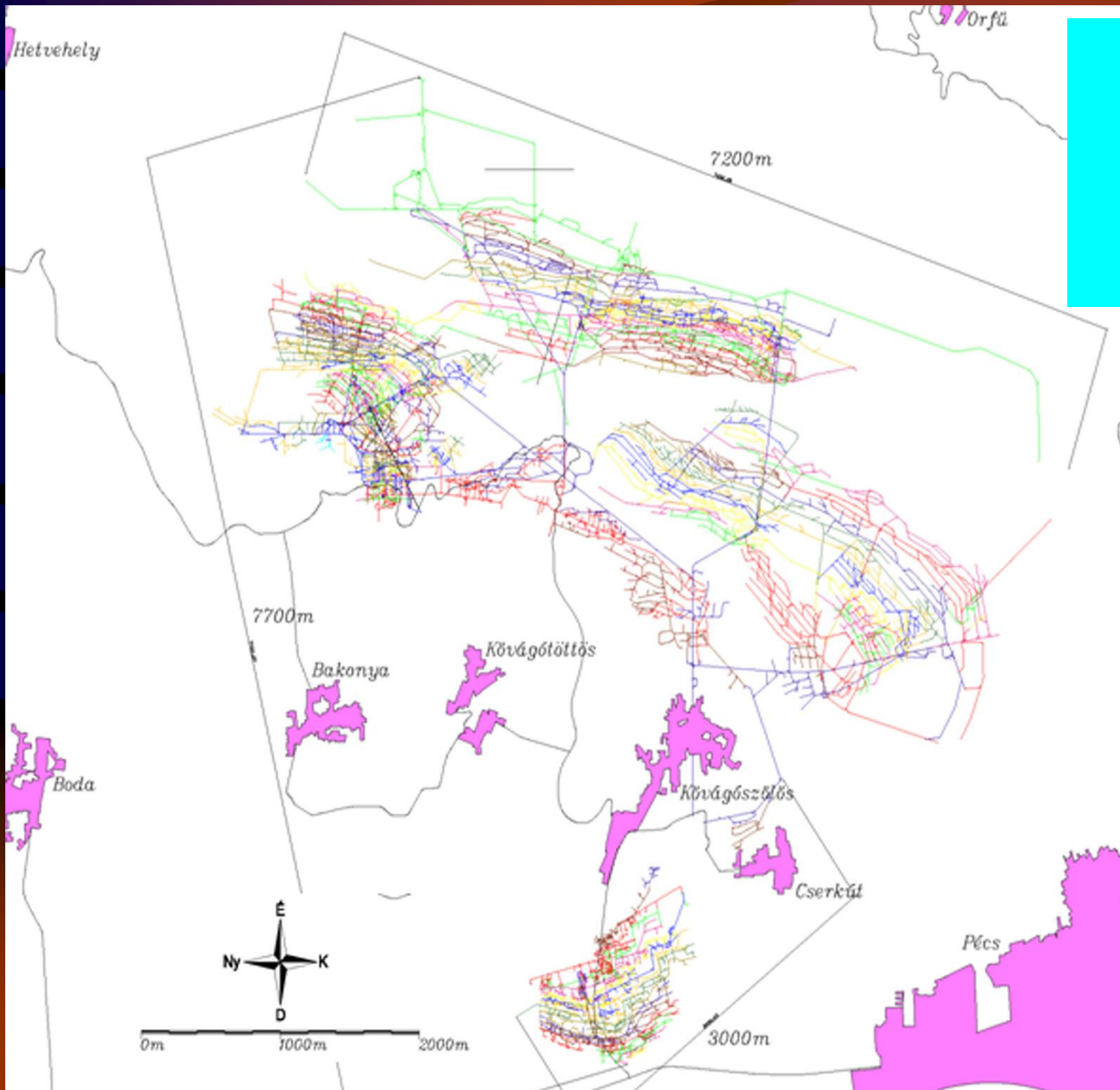
(térképek és szelvények: Szamos Imre)



A Ny-mecseki uránércbányászat „összenyomott” üregtérképe



A uránérc- bányászat főfeltáró térseégei



A felső-perm – alsó-triász homokkő sorozat közettípusaira, illetve a BAF-ra jellemző kőzetmechanikai paraméter-tartományok

Kőzettípus	σ_c (MPa)	σ_t (MPa)	τ (MPa)	E (GPa)	m (-)	C (-)
Jakabhegyi Homokkő Formáció (vörös homokkő)	35 – 80	3 - 7	5 - 10	10 - 19	4,5 - 6,5	0,17 - 0,35
Kővágószőlősi lilakavicsos homokkő (Tótvári Tagozat)	30 – 60	3 - 6	4 - 8	6 - 10	4,3 – 6,2	0,19 – 0,31
Kővágószőlősi vörös homokkő (Cserkúti Tagozat)	45 – 75	4 - 7	7 - 11	11 - 17	5,0 - 6,5	0,21 - 0,35
Kővágószőlősi zöld homokkő (produktív)	60 – 95	5 - 8	7 - 11	19 - 26	3,8 - 5,8	0,20 - 0,39
Kővágószőlősi szürke homokkő (Kővágótöttösi Tagozat)	85 - 130	7 - 11	10 - 16	31 - 40	2,7 - 4,3	0,25 - 0,47
Kővágószőlősi tarka homokkő (Bakonyai Tagozat)	80 - 100	6 - 9	10 - 14	23 - 28	3,4 - 5,8	0,16 - 0,31
Bodai Aleurolit Formáció	75 - 95	8 - 12	11-14	35 - 48	3,6 - 4,7	0,18 - 0,47

„A produktív réteget, valamint annak fedőjét és fekvését jelentő Ny-mecseki homokköves rétegek szilárdsági tulajdonságai messze felülmúlják az egyéb hazai bányaterületek hasonló adatait. Bár az egyes rétegek szilárdsága igen eltérő lehet, de a bányászati-geotechnikai értelemben még az 1000 m-t meghaladó mélységben kialakított üregekre is a nagyfokú állékonyság volt jellemző.”

A kialakított üregrendszer felhagyása

- Vágatok (kb. 1200 km!): Nem tömedékelték és nem is omlasztották; csak légmentes gátak. Tervszerű bányabezárás: kritikus helyeken 30.338 m^2 vágatszakasz került omlasztásra. A mintegy $8,25$ millió m^3 vágat zöme jelenleg is nyitott!
- Fejtési térségek: 1000 m^2 felett és a teljes lefejtés után a biztosítószerkezeteket visszarábolták, de soha nem tömedékelték!

Igen magas szintű bizonytalanság maradt fenn az üregrendszer jelenlegi nyitott térfogatával kapcsolatban. Így az üregrendszer mechanikai hatásterületének meghatározása kapcsán – a konzervatív megközelítés jegyében – úgy kellett tekinteni a Ny-mecseki uránércbányászat által létrehozott, eredetileg közel 18 millió m^3 üregtérfogatra, mintha az jelenleg is teljes mértékben nyitva lenne!

- Aknák: A külszínre nyíló aknák teljes hosszukban tömedékelésre kerültek, a vakaknák azonban egyáltalán nem.

Az üregrendszer mechanikai hatásaival kapcsolatos korábbi tapasztalatok és mérési eredmények

1. Az aknavédőpillér-csökkentésekhez, illetve ezek igazolására végzett felszín alatti, illetve felszínmozgás-mérések (MÉV)
2. A bányabezárás kapcsán létesített felszínmozgás-ellenőrző rendszerek (Mecsek-Öko Zrt. és jogutódai)



A fő kérdés ebben az időszakban nem a BAF volt, hanem egyes kritikus bányászati objektumok (pl. a nagy mélységű aknák) és a felszíni építmények stabilitása. Geometriailag eltérő a probléma, de a hatásövezet nagysága, térbeli és időbeli kifejlődése és az ezeket befolyásoló tényezők kapcsán e mérésekből kell kiindulni!

Az üregképzést kísérő deformációs jelenségeket és felszínmozgási folyamatokat befolyásoló hatásmechanizmusok

Elsődleges: az üregek feletti omlások (néhány méter – néhány tíz méteres zóna). Az ún. β határszög minden esetben $>90^\circ$, tehát a közvetlen hatások a fejtés alapterületén belülre korlátozódnak (hengeres védőpillér!). A felszakadási és feszültségátrendeződési folyamat több lépcsőben játszódik le, és akár több évtizeden, vagy évszázadokon át is elhúzódhat (reológia és korrózió).

Másodlagos: a magasabb fedőben lezajló feszültségátrendeződés és az azzal járó deformáció (általában 30-40 m, a kiterjedt tömbfejtéseknél 80-100 m). Ez a hatás is csak az üregkontúrokon belül érzékelhető.

Harmadlagos: az üregkontúrokon kívül, oldalirányban fellépő pillér-deformáció (az áthárított feszültségmező miatt). A nagy kiterjedésű, 100-200 m-nél mélyebben fekvő produktív összlet szelektív lefejtése esetén ez a hatás közel egyenletes felszínsüllyedésként (néhány cm-től néhány 10 cm-ig) integrálódik. 25-50 méter oldalirányú távolságon belül a mérhető szint alá csökken. Az időbeli lefolyás gyors; a felszakadás után egy-két hónap múlva lezárul.

Módosító hatás 1.: A fejtések felszakadási zónáit harántoló tektonikus övek térben és időben kiterjeszthetik a fenti hatásmechanizmusokat.

Módosító hatás 2.: A bánya vízelvonása miatt kialakult depressziós övezet (a pórusnyomás csökkenése): a teljes fedőösszlet időben közel egyenletes, de reverzibilis süllyedése. A nagyobb mélységek felé haladva (különösen a függőleges aknák környezetében) fokozatosan ez a hatás vált meghatározóvá.

[illegible]

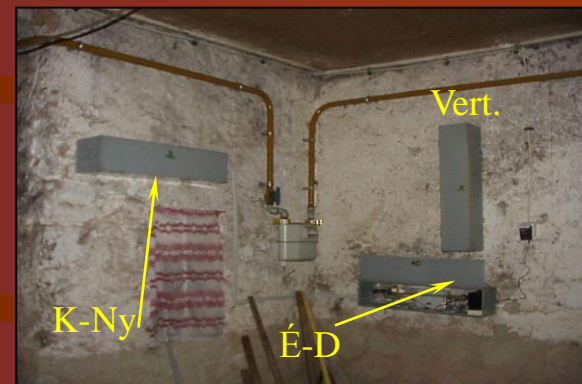
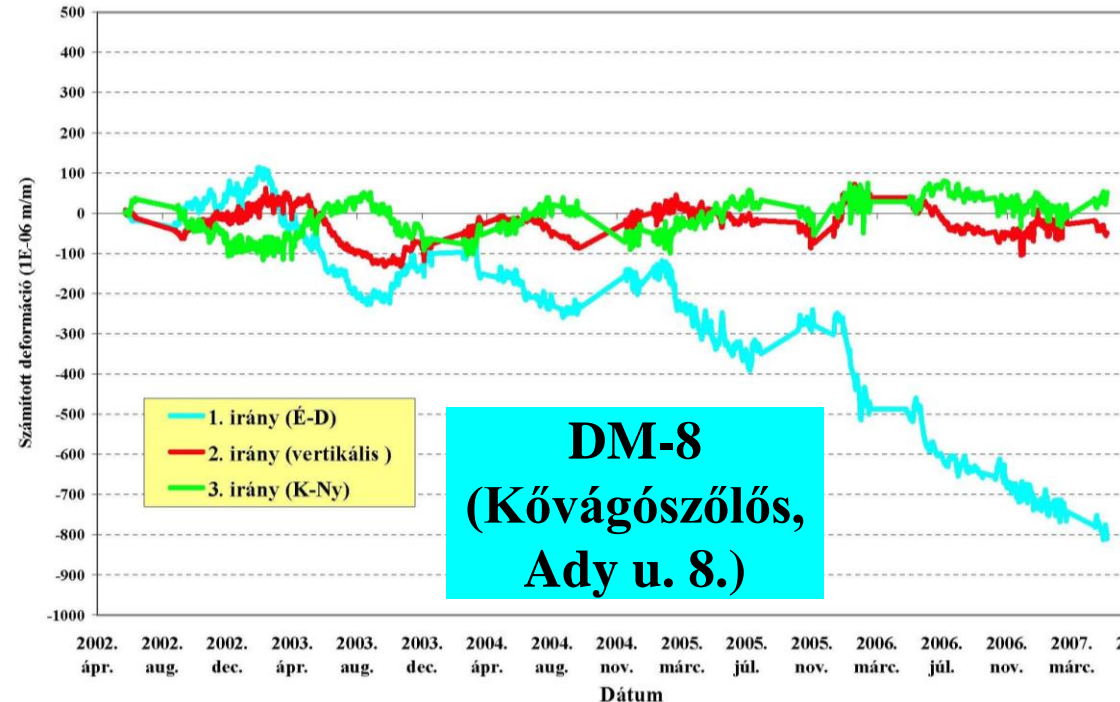
***1. Alapértelmezésben a fejtési
üregkontúrok határától 200 m-
re;***

2. A függőleges aknák környezetében a kialakuló depressziós tölcse kiterjedésével arányosan (II. Szállító# és V. lég#: 200 m, V. Szállító#: 300 m, IV. Szállító# 500 m sugarú körívvel);

3. A helyi felszín alatt 500 m-nél magasabban található vágatok esetében a vágattengelytől mindkét irányban 100-100 m-re.

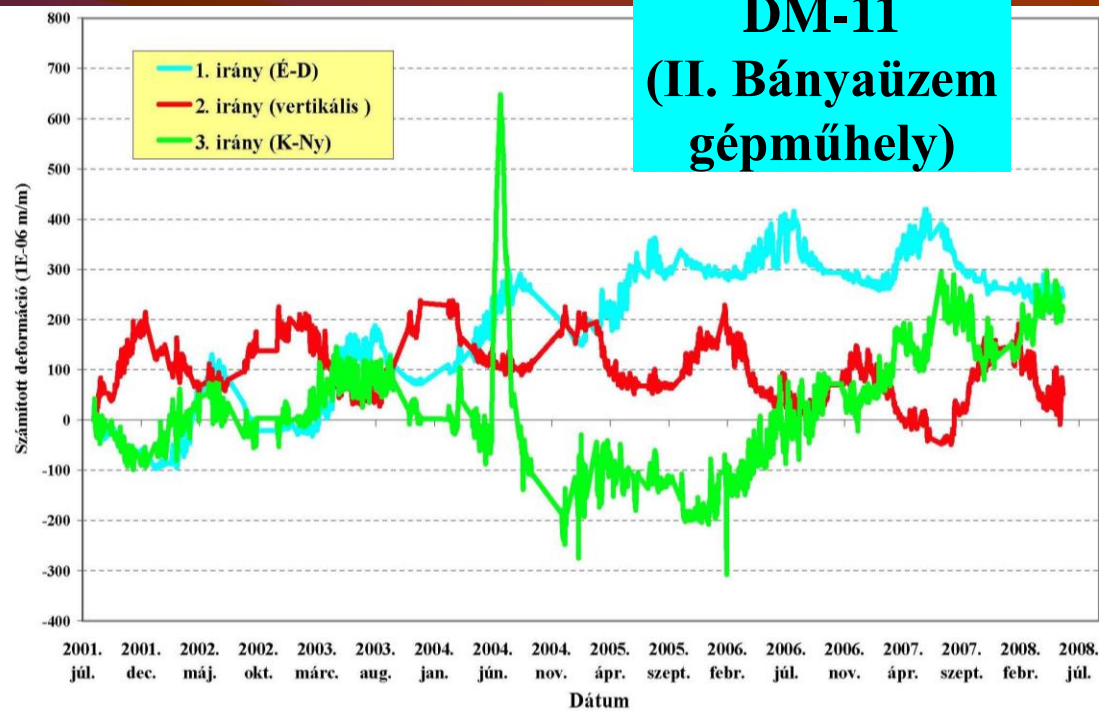
4. A helyi felszín alatt 500 m-nél mélyebben fekvő egyedi váratok felszínre gyakorolt hatása elhanyagolható.

A 3D-s deformáció-ellenőrző rendszer legfontosabb eredményei

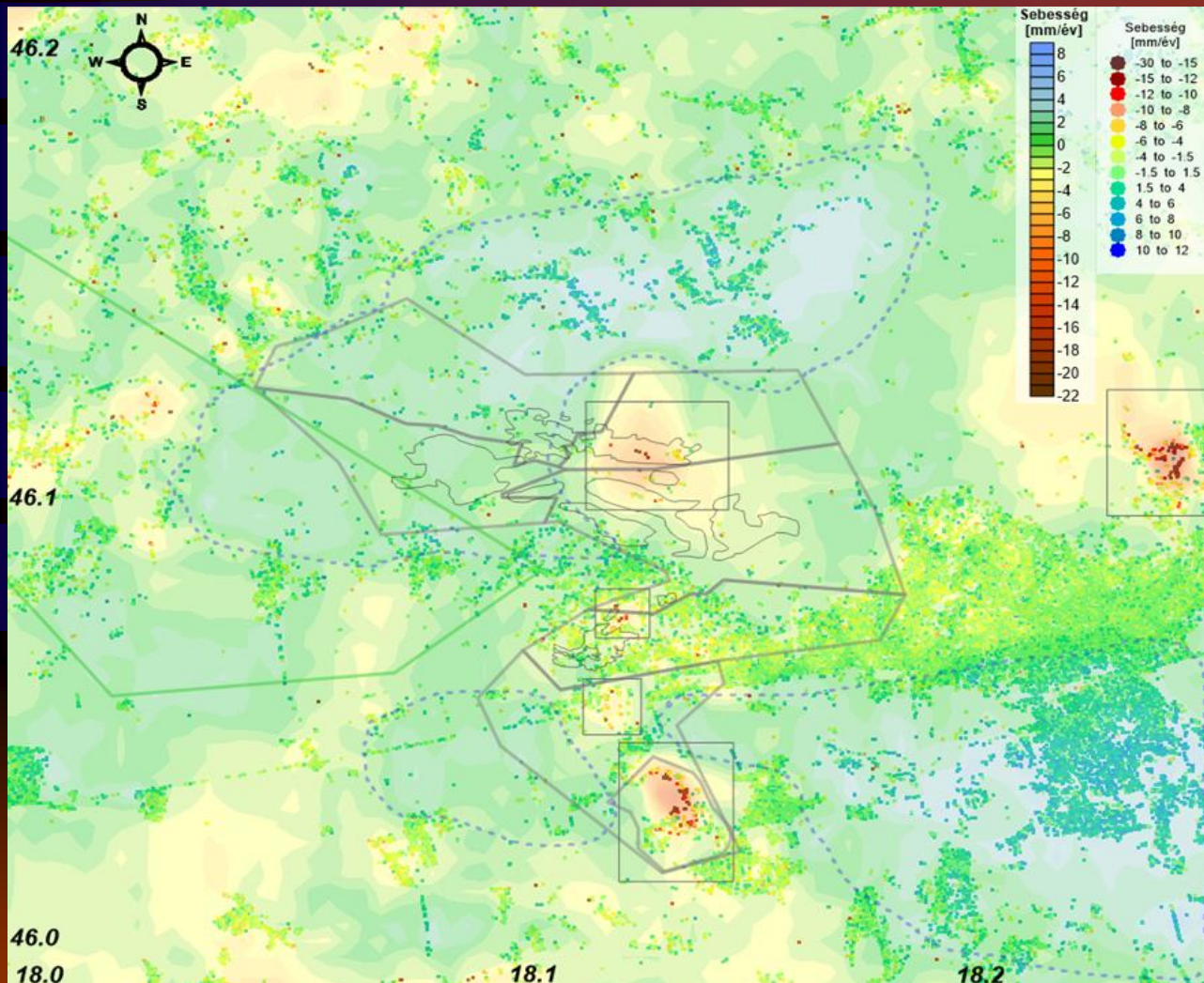


Bár a mérőhelyek többségénél csak a periodikus jellegű, az éves hőmérséklet-ingadozást követő hőmérsékleti deformáció volt megfigyelhető, öt állomásonál (DM-3, DM-8, DM-11, DM-12 és DM-14) egyértelmű tönkremeneteli hatások jelentkeztek (sokszor több 10 évvel a vizsgált üreg végleges lezárása után is).

Valószínűsíthetjük, hogy az üregek felszínre gyakorolt hatása nem hanyagolható el!



L-sávú radarinterferometriás vizsgálatok (a teljes felszínre kiterjednek, de így érzékenyek az egyéb – pl. eróziós – hatásokra is!)



„A teljes területre vett
statisztikai sebességátlag
-4,1 mm/év.

A IV. szállítóakna és a IV.
légakna közötti zónában nem
ritka a -20 mm/év értéket
meghaladó süllyedés sem.

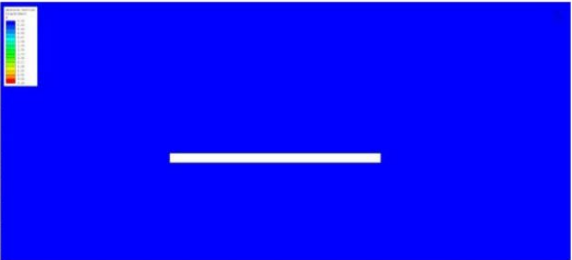
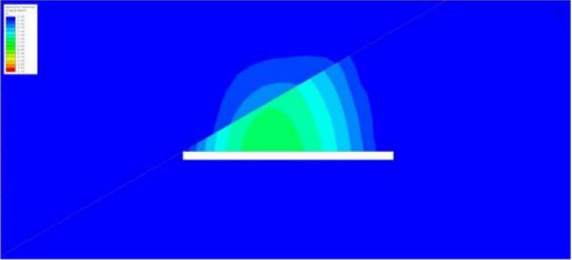
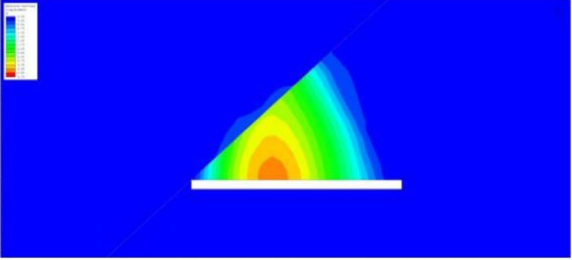

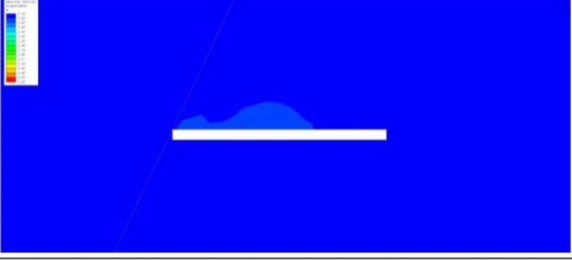
Nyilvánvaló, hogy az
üregrendszer a
felszínmozgások szempont-
jából jelenleg is aktív.”

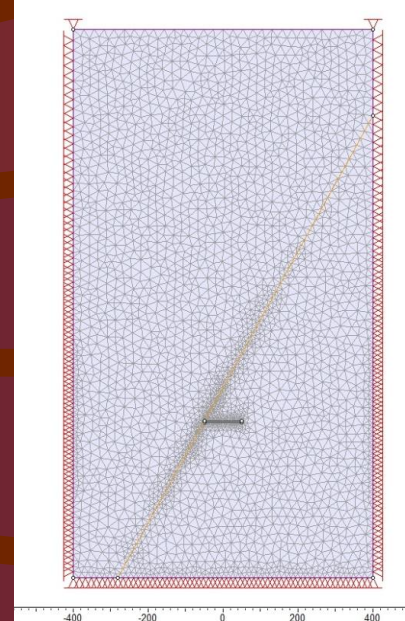
Ezt megerősítik a
felszíni építmények
mozgására érzékeny,
pontszerű eredmé-
nyeket adó, de az
eróziós hatástól mentes
C-sávú feldolgozás
eredményei is!

A bányászathoz köthető jelentős lokális mozgásanomáliák:
fekete négyszögek

A korábbi tapasztalatokból és mérési eredményekből levont legfontosabb következtetések:

- 1. A bemutatott hatásmechanismusokat a bányabezárás kapcsán lefolytatott mérési programok alapján változatlanul érvényesnek és validáltnak kell tekinteni.*
- 2. Ezek következményeként az prognosztizálható, hogy hosszabb távon az üregrendszer omlása, tönkremenetele általánossá válik.*
- 3. Szükség van a felszínmozgási hatástávolságok modellezéssel történő ellenőrzésére és kvantifikálására (különösen a tektonikus módosító hatások vizsgálatára!).*
- 4. Természeti, illetve technogén analógiák keresésével kísérletet kell tenni a prognózis hosszú távú kiterjesztésére is. Ez sikertelen maradt, mivel ezt a szituációt jól leíró analógia nem volt feltárható. Így a mechanikai hatásövezetre vonatkozó vizsgálatok során a teljes, az uránércbányászat által kialakított üregrendszert a HLW/SF eliminációs időszakának végére teljes mértékig összezáródónak tételeztük fel.*

Modell	Vertikális elmozdulások (süllyedések) alakulása (0-3,75 m, 15 osztatú skála)	Maximális süllyedés
törés nélkül		0,18 m
30°-os töréssel		1,68 m
40°-os töréssel		3,36 m
50°-os töréssel		0,34 m
60°-os töréssel		0,30 m



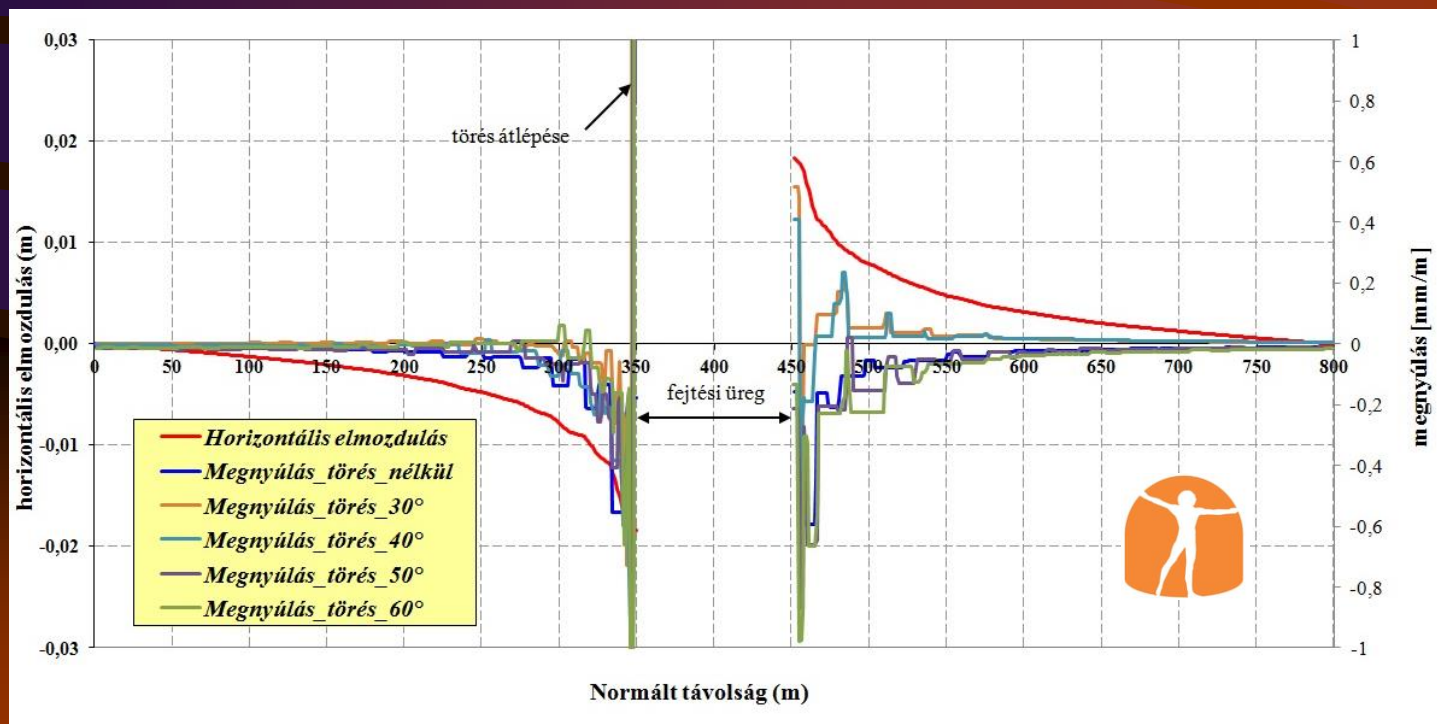
2D-s numerikus modellezés (Phase² 8.0) a hatástávolságok ellenőrzésére és kvantifikálására

- A lehajlások és a vízszintes megnyúlások esetén is a 40°-os törés esete adta a maximális módosító hatást.*
- A stabilizálódás mintegy 60 m-rel az üreg felett kezdődik meg. Nagyobb üregrendszernél ez a távolság akár 150-200 m-re is megnőhet. Utána már biztosan kialakul a teherhordó kőzetöv: a törés jelenléte „árnyékoló” hatással jár!*



A 2D-s numerikus modellezés eredményei

- *A törés nélküli esetre a mérési eredményekkel jól összecsengő 25-50 méteres oldalirányú hatástávolság adódott.*
- *A modell szerint a törések ezt a távolságot a legkedvezőtlenebb esetben is csak további 25 m-rel tudják megnövelni. (Az uránbányászati viszonyok mellett megalapozott és helyes volt a hengeres védőpillér-méretezés engedélyezése!)*
- *Az üreg talpa alatt már 20 méterrel is jóval az 1 mm/m határérték alatti megnyúlás jelentkezik (a törés átlépési pont kivételével).*



A megnyúlás értékek alakulása a fejtési üreg vízszintes középvonalának síkjában

A numerikus modellezéssel pontosított mechanikai hatástávolságok alakulása

A korábbi tapasztalatok és a modellezési eredmények alapján az üregrendszer mechanikai hatásövezetének megszerkesztéséhez a következő mechanikai hatástávolságokat vettük figyelembe:

- **az adott üregtől horizontális irányban meghagytuk a korábbi, az I. üzemi adatok alapján, konzervatíván meghatározott 200 m-es hatástávolságot;**
- **a törések modellezett módosító hatásának figyelembevételével vertikális értelemben, az adott üreg felett 250 m-re növeltük a hatástávolságot;**
- **az adott üreg alatt pedig 50 m hatástávolsággal kalkuláltunk.**

A fejtési térségektől tartott 1 km-es védőtávolság kőzetmechanikai értelemben mindenképpen megfelelő, sőt megfelelően konzervatív is. Adott a reális lehetősége a védőtávolság további, akár 500 m-re történő csökkentésére. Ehhez azonban célszerű lenne előzetesen további, részletező jellegű, akár 3D-s modellvizsgálatokat is lefolytatni.

Az uránércbányászati üregrendszer és a BAF térbeli kapcsolatának vizsgálata térinformatikai módszerekkel

Cél: a kiinduló üreg-adatrendszer, illetve a BAF-előfordulás 3D-s feldolgozása és megjelenítése valódi 3D-s testekként.

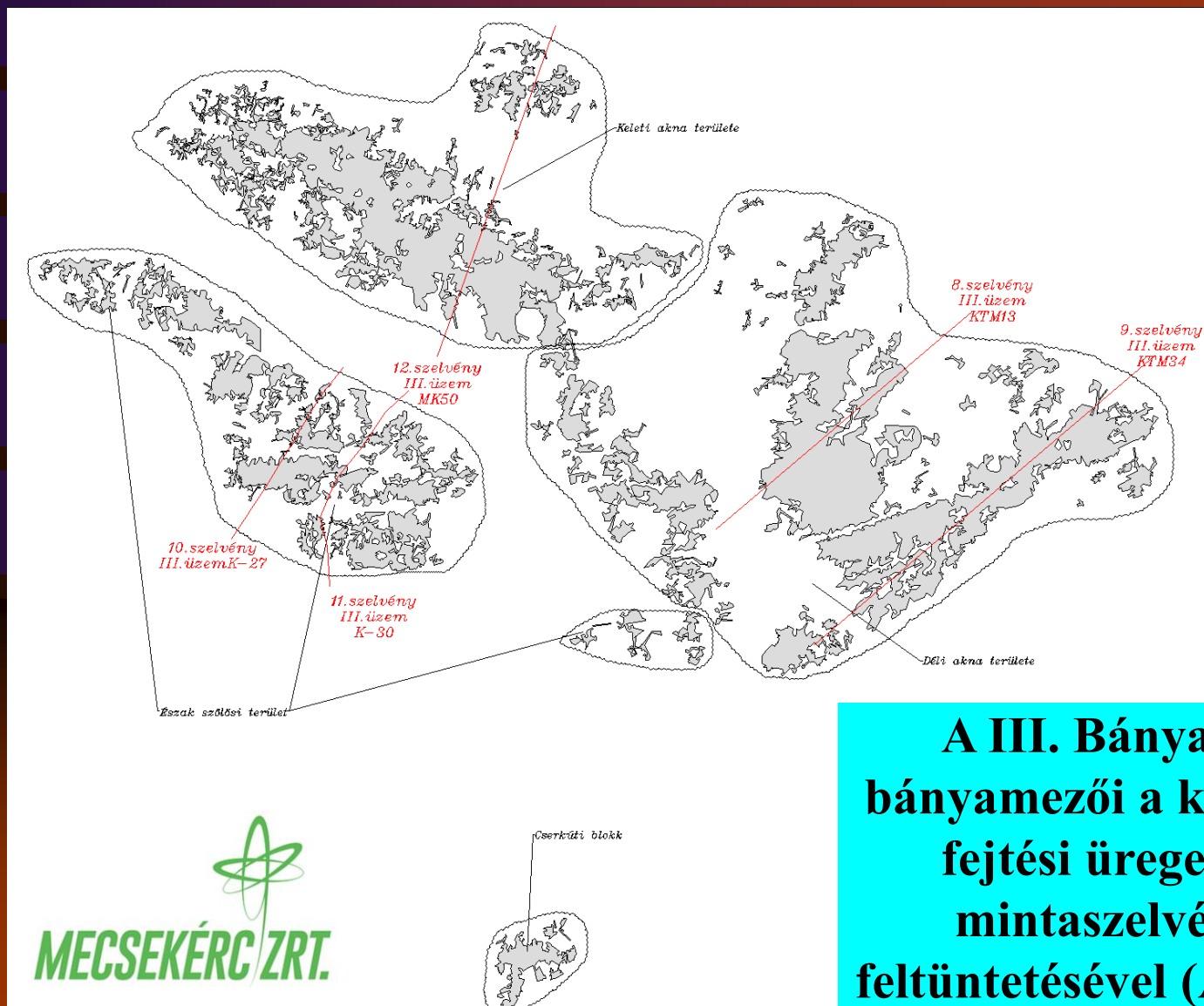
Kiinduló üreg-adatrendszer összegyűjtése és előzetes feldolgozása:

MECSEKÉRC Zrt.:

- *M=1:200 bányaföldtani szelvénylapokról és szelvénytekercsekről.*
- *Összesen 9.786 db A1 méretű lap!*
- *Egyes III. üzemi és tótvári, II. üzemi területek adatai hiányoznak!*
- *HDR \Rightarrow EOVI és Adria \Rightarrow Balti konverzió.*
- *Kompromisszumok: egy függélyben csak a legfelső üreg főteszintje, a legalsó talpszintje és az üregek száma (alsó és felső 3D-s burkoló). Nem abszolút magasság, csak három üregmagassági kategória: 0-4 m, 0-10 m és 10 m feletti. ez utóbbi esetben tényleges magasság is.*

Üreg- és BAF-adatrendszer elemzése térinformatikai módszerekkel
(részletező statisztikai vizsgálatokon alapuló korrekció után, ArcGIS környezetben): **KÖMÉRŐ Kft.**

Előzetes feldolgozás: az egyes bányaterületek részletes üregtérképeinek pontosítása, mintaszelvények kialakítása és tektonikus jelenségek okozta fejtési szintváltozások követése

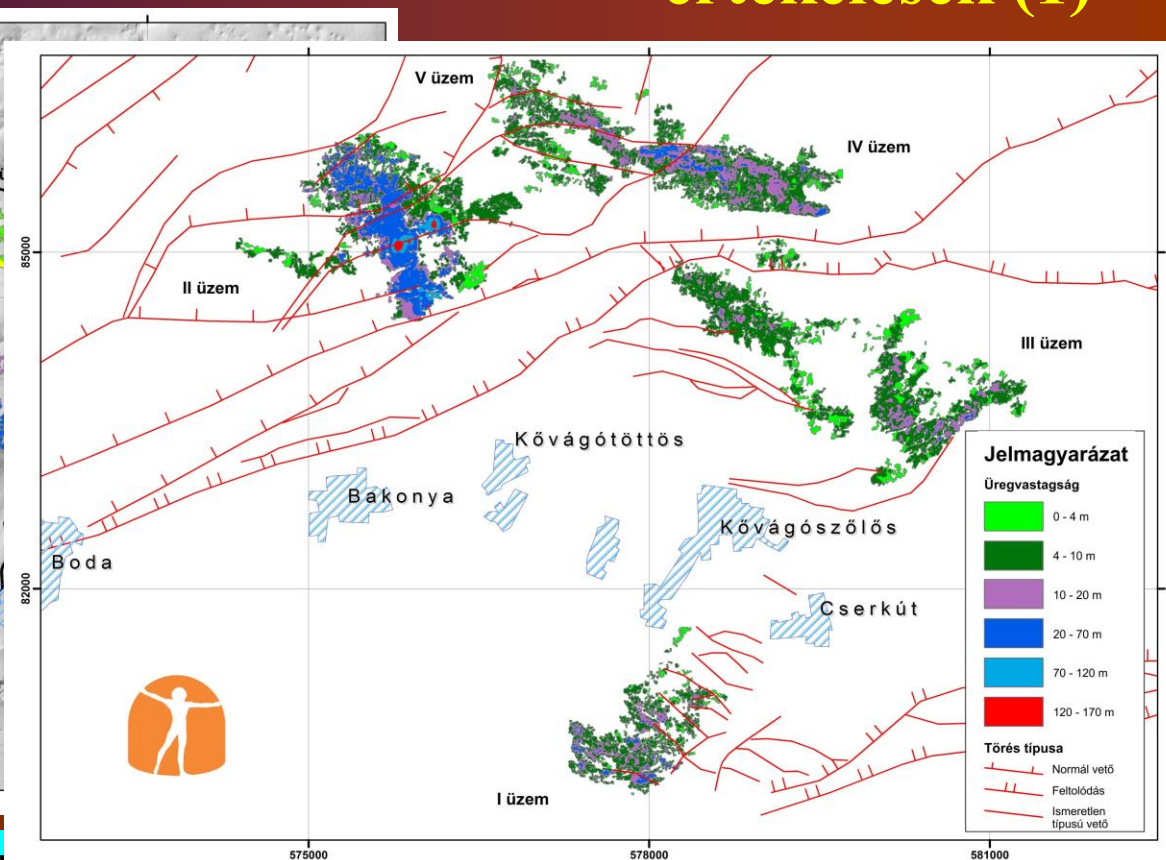
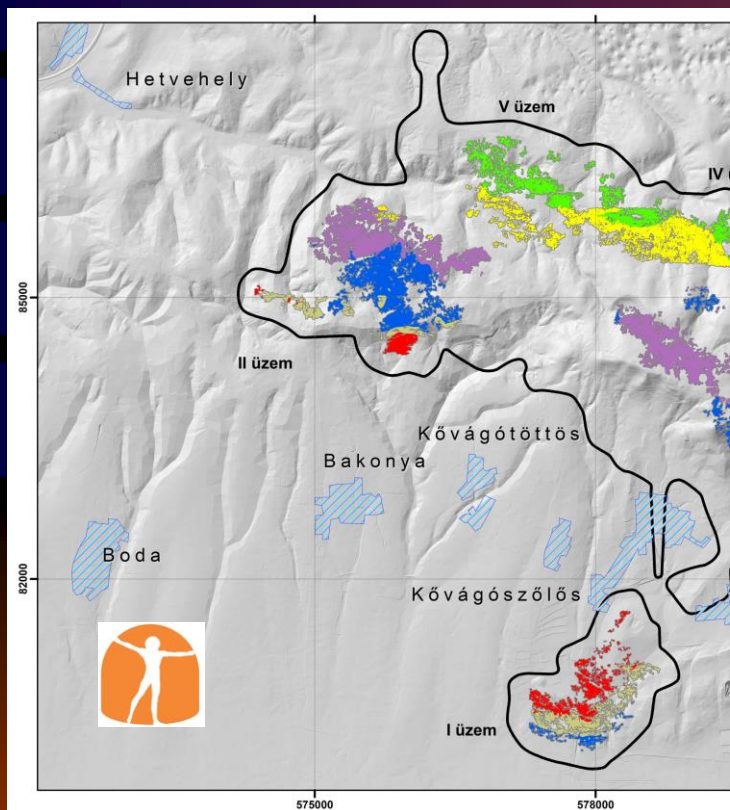


**A III. Bányaüzem
bányamezői a kialakított
fejtési üregek és a
mintaszelvények
feltüntetésével (AutoCad)**



Az ArcGis környezetben a korrigált adatsorral elvégzett térinformatikai értékelések (1)

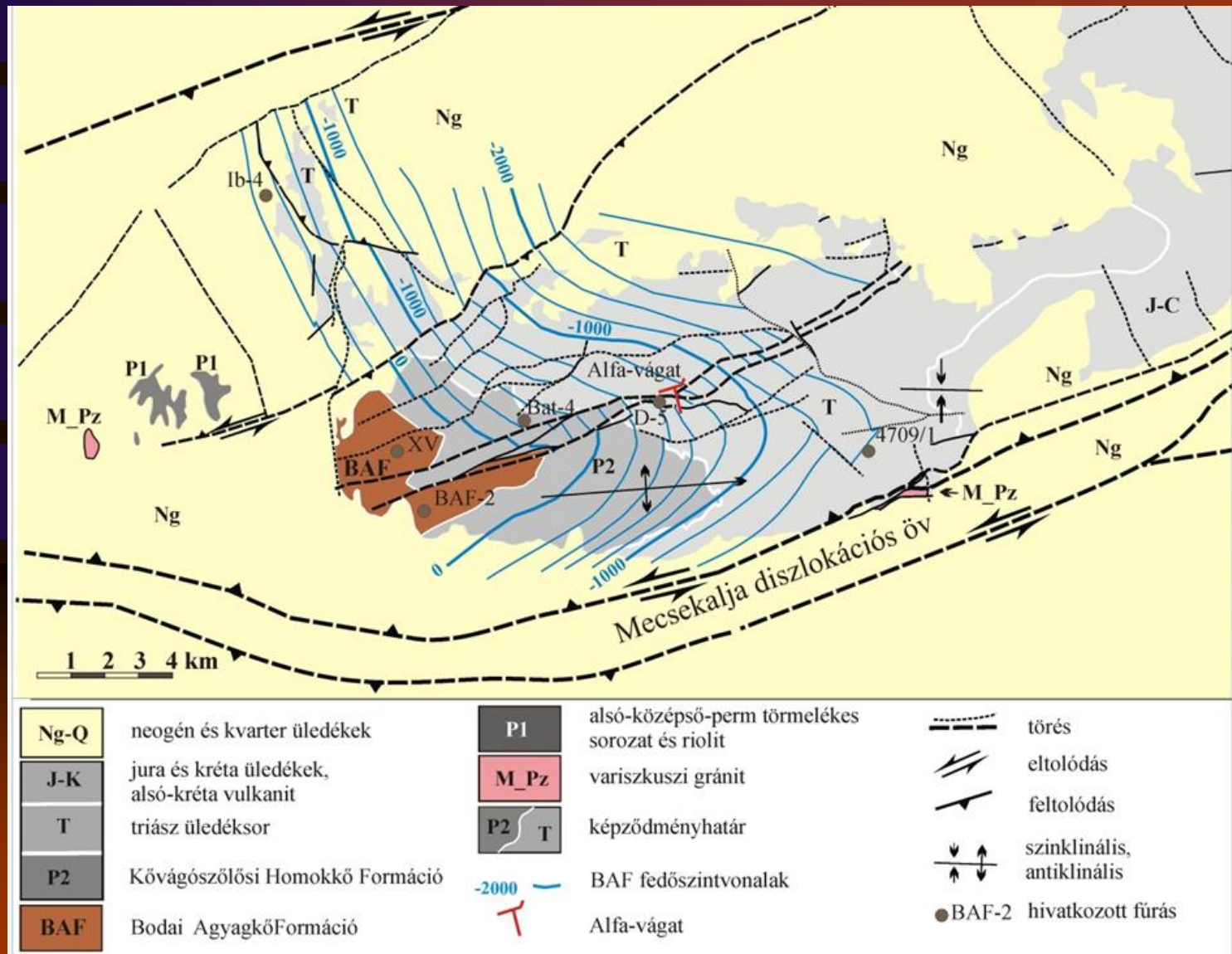
Az üregrendszer kiinduló 3D-s modellje a helyi terepfelszínnel



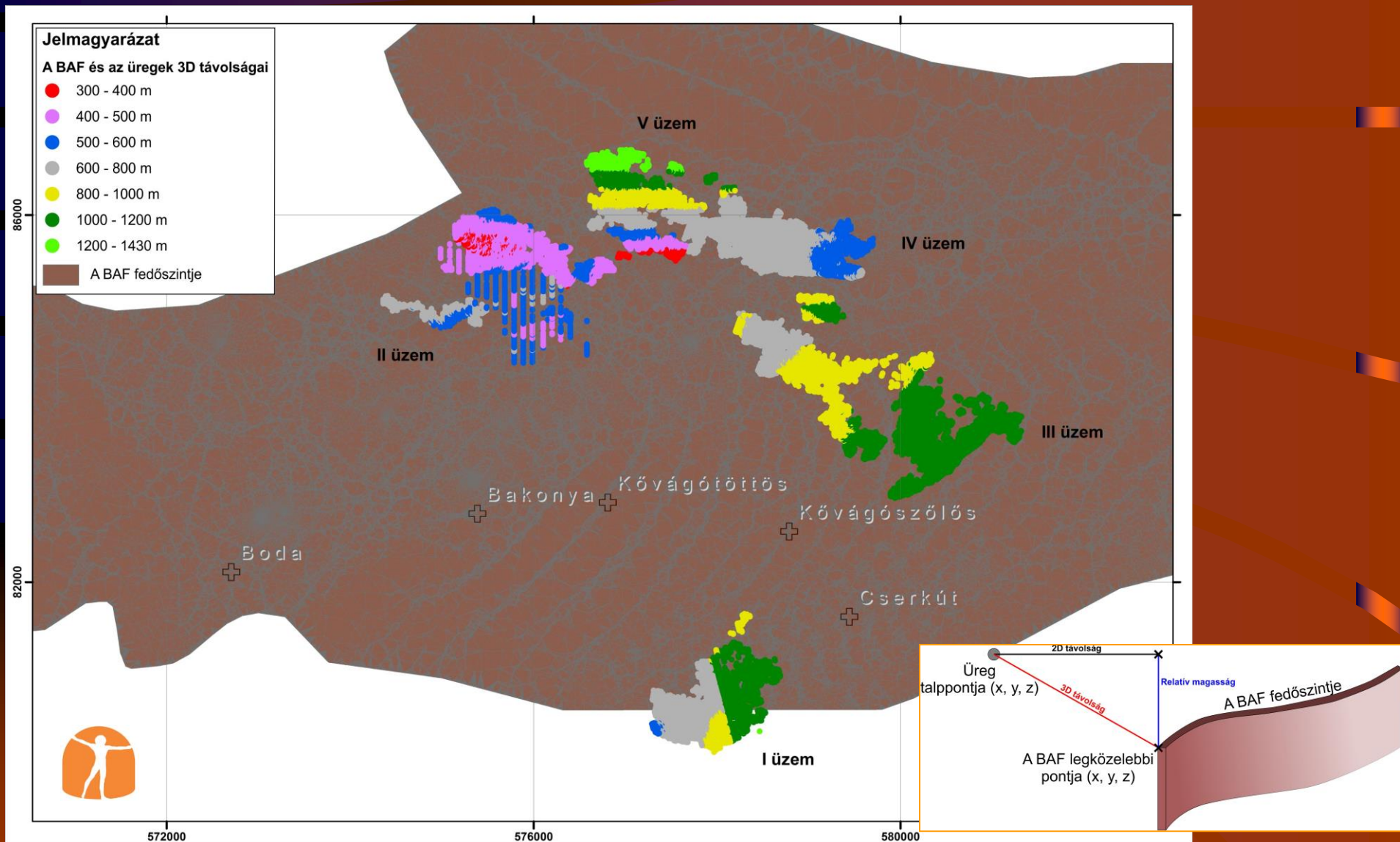
Az uránbányászati üregrendszer felszíntől mért távolság

Az uránbányászati üregrendszer vastagság-eloszlásának térképe

Az alkalmazott 3D-s BAF térmodell kiindulópontja: a BAF fedőszintvonalas térképe az ismert elterjedési területen belül (Konrád, Sebe & Budai, 2016 nyomán)

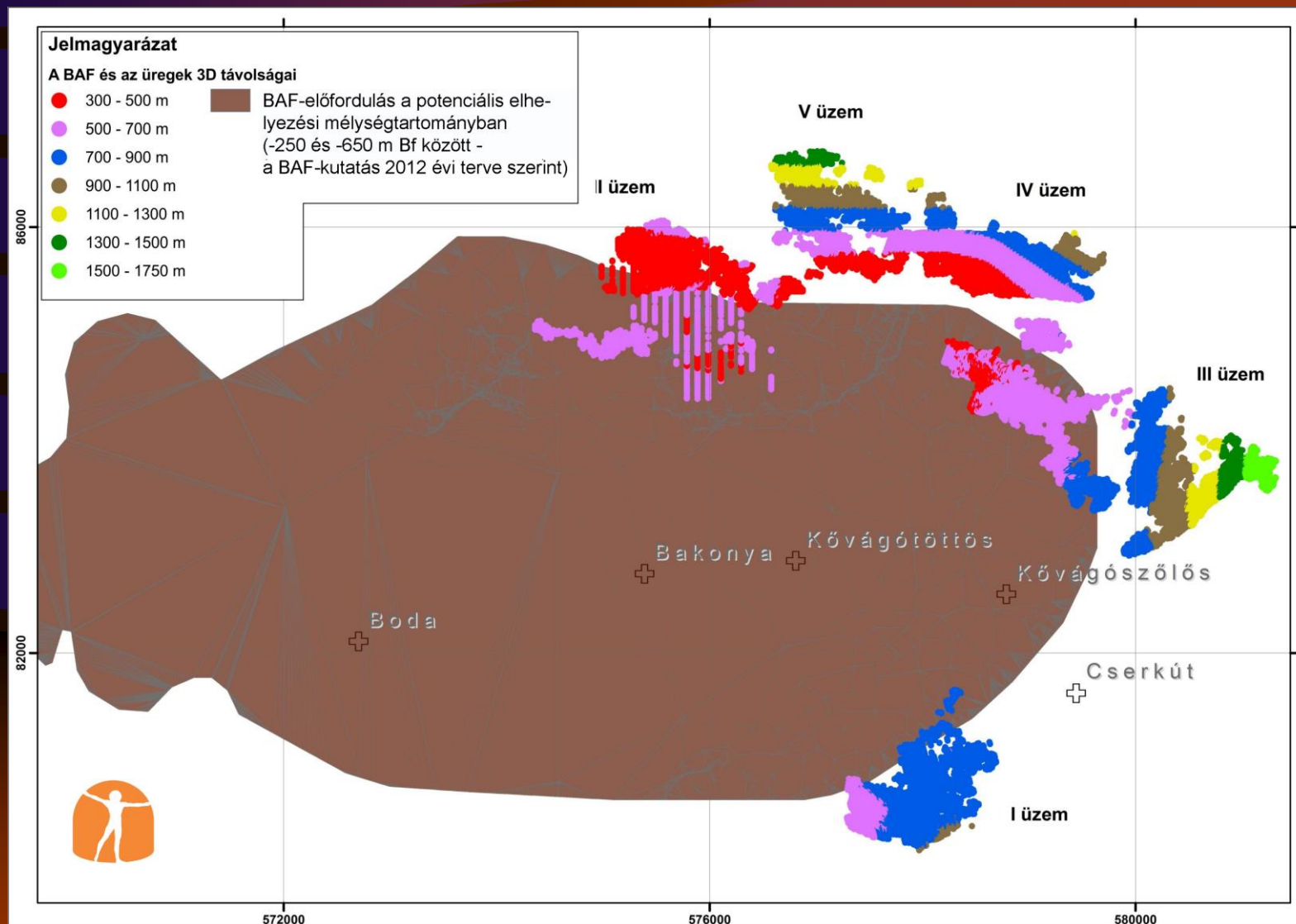


Az ArcGis környezetben a korrigált adatsorral elvégzett térinformatikai értékelések (2)



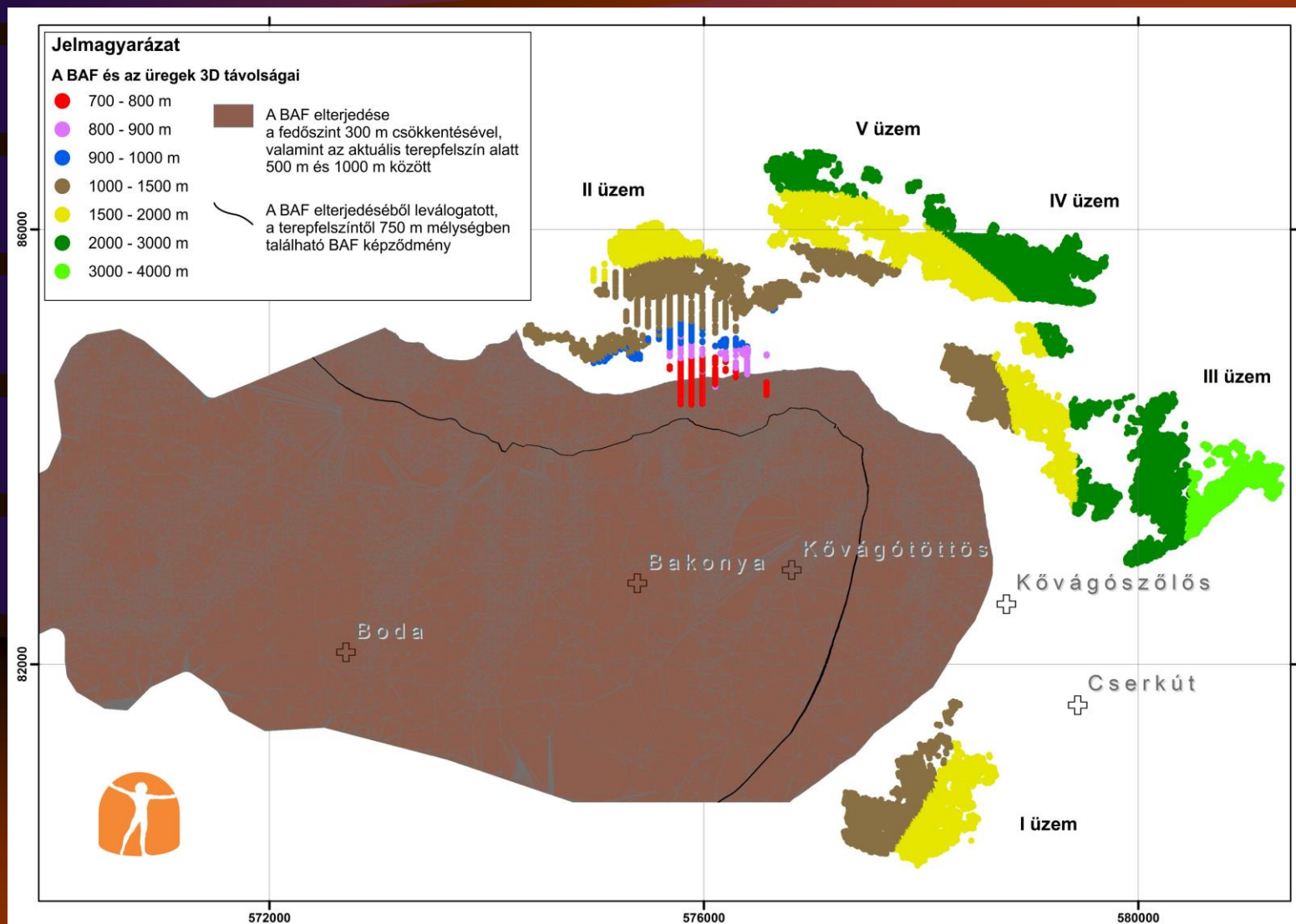
Az uránbányászati üreghrendszer és a BAF előfordulás fedőszintjének 3D-s távolságai

Az ArcGis környezetben a korrigált adatsorral elvégzett térinformatikai értékelések (3)



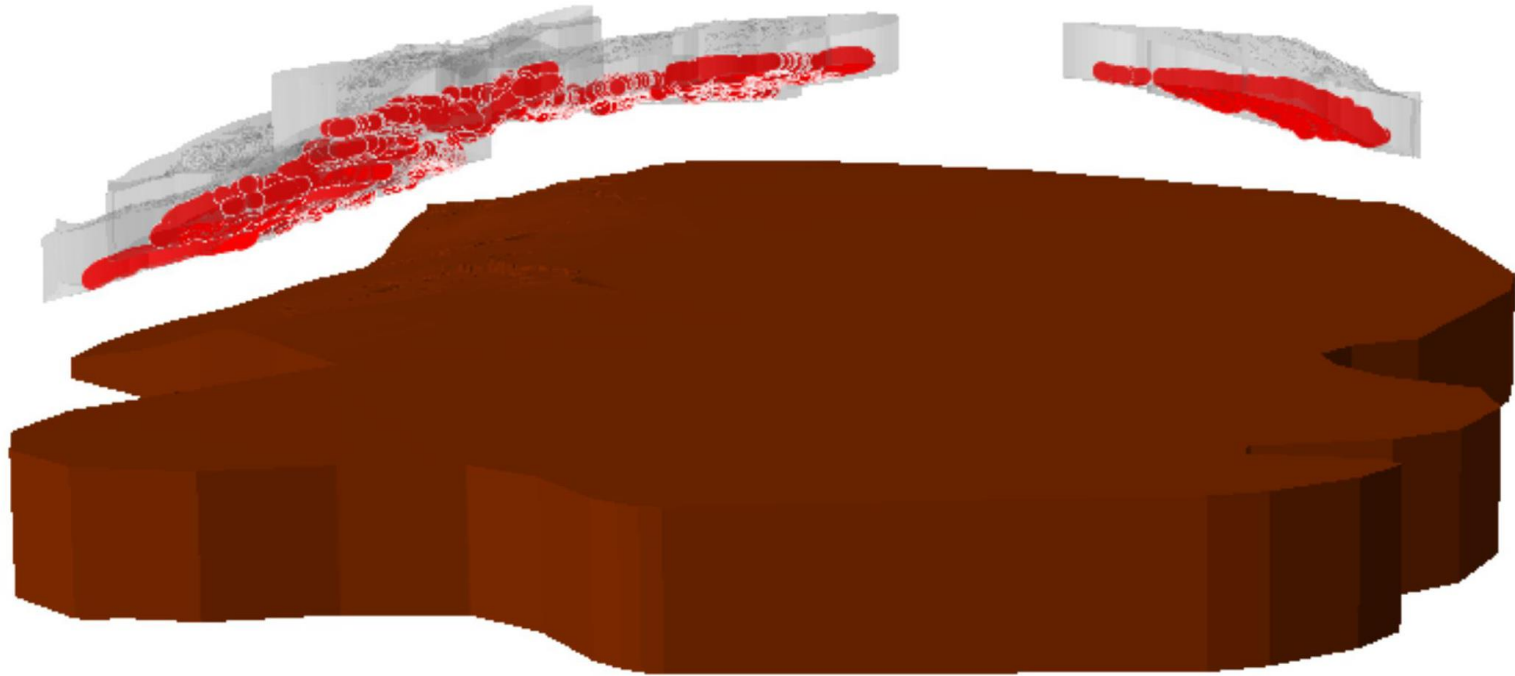
Az uránbányászati üreghrendszer és a BAF radioaktív hulladékok elhelyezésére optimális térrészének (a 2012. évi kutatási terv alapján) 3D-ben számolt távolságai

Az ArcGis környezetben a korrigált adatsorral elvégzett térinformatikai értékelések (4)






Az uránbányászati üregrendszer és a BAF radioaktív hulladékok elhelyezésére optimális térrészének (a 2005. évi műszaki koncepcióterv alapján) 3D-ben számolt távolságai

Az ArcGis környezetben a korrigált adatsorral elvégzett térinformatikai értékelések (5)



Jelmagyarázat:

-  Uránércbányászati fejtési üregek
-  A fejtési üregek mechanikai hatásterülete
-  A BAF elterjedése -250 mBf és -650 mBf között



Az üregrendszer mechanikai hatásövezetének és a BAF radioaktív hulladékok elhelyezésére kijelölhető zónájának térbeli helyzete a felmért pont adatok alapján interpolált felszínekkel

VÉGSŐ KÖVETKEZTETÉSEK:

1. *Mindegyik modell-változat esetében 300 és 500 m közé estek azok a minimális 3D-s távolságok, amelyek a BAF és a mechanikai hatástávolságokkal megnövelt üregek között adódtak. A hatásövezetek a térben tehát **teljes mértékben elkülönülnek** a BAF-nak a végleges elhelyezés szempontjából egyáltalán figyelembe vehető előfordulásától!*
2. *A több szempontból is erősen konzervatív feltételezések és adatok alkalmazásával elvégzett vizsgálatok alapján nagy biztonsággal kijelenthető, hogy az uránércbányászati üregrendszer jelenléte, illetve annak hosszú távú mechanikai hatásai **nem lehetetlenítik el a BAF alkalmazhatóságát** a nagy aktivitású radioaktív hulladékok és a kiégett fűtőelemek végleges elhelyezésére, sőt nem jelentenek valós korlátot a telephely-kiválasztás folyamatában sem.*
3. *Tekintettel az adathiányos területek felszínközeli helyzetére és az antiklinális dőlésviszonyaira is, az elemzésből adathiány miatt kimaradt területek e megállapítást nem befolyásolják.*

Köszönöm a megtisztelő figyelmet!
Jó szerencsét!

