

## GEOFIZIKAI VIZSGÁLATOK FEDETT KARSZTON (HOMÓD- ÁROK, BAKONY)<sup>1</sup>

SZALAI SÁNDOR<sup>2</sup>-VERESS MÁRTON<sup>3</sup>-NOVÁK ATTILA<sup>2</sup>-SZARKA  
LÁSZLÓ<sup>2</sup>

<sup>2</sup>MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, Nyugat-Magyarországi Egye-  
tem Földtudományi Intézet 9400 Sopron, Csatkai u. 6. [szalai@ggki.hu](mailto:szalai@ggki.hu)

<sup>3</sup>Berzsenyi Dániel Főiskola, Természetföldrajzi Tanszék, 9700 Szombat-  
hely, Károlyi Gáspár tér 4. [vmarton@bdf.hu](mailto:vmarton@bdf.hu)

*Abstract: In an area, characterised by a group of dolines at Homód trench (Hárskút Highlands, Bakony Mts, Hungary), we investigated the pattern of the limestone floor and the infilled karstification, by using DC multielectrode- and near-surface scree-distribution measurements. The multielectrode DC geoelectric method, we applied, allows providing the electric resistivity distribution beneath a given profile. The areal distribution of scree at the surface, determined by a newly developed mechanical measuring method (the so-called „picking probe” method), refers to the morphology of the limestone floor. As we have found in the field, the high values of the scree-distribution correlate with the low values of the electric resistivity. We have identified the low resistivity sections in the resistivity profiles as locations, where the water content is high in the sediment cover. This implies high local porosity. At the same time, the scree-distribution maxima must be due to the higher position of the limestone floor. On basis of the two aforementioned conclusions, we established a direct relationship between the basement depth and the scree-distribution. Namely, a higher position of the limestone floor has been found to be accompanied with higher porosity of the sediment. (With other words: the sediment cover above a limestone floor has higher porosity, where it is thinner.) We propose a geological justification for this conclusion: a caverning process in the limestone floor results in a slackening in the sediment, thus the more porous sections in the sediment cover appear as a consequence of the karstification of the floor.*

### 1. Bevezetés

Fedett karsztos mélyedések akkor alakulnak ki, ha a karsztosodó kőzetet (mészkő) nem karsztosodó, de vízáteresztő kőzet fed (rejtett karszt). Ekkor a karsztosodó feküben vagy fekün, és az oldódás során létrejött anyagihiány miatt a fedőn anyagátrendeződés történik. Emiatt a felszínen fedett karsztos formák alakulnak ki.

Vizsgálatainkat abból a célból végeztük, hogy a fedett karsztos forma kialakulását milyen folyamatok okozzák. Ehhez adatokat kívántunk szerezni a fekü domborzatához, valamint a fedő porozitásához egy mintaterületen elvégzett geofizikai mérésekkel.

A fedett karsztos mélyedések (töbrök) három típusát különítik el (CVIJIČ 1893, CRAMER 1941, THOMAS 1954). Utánsüllyedéses töbrök

---

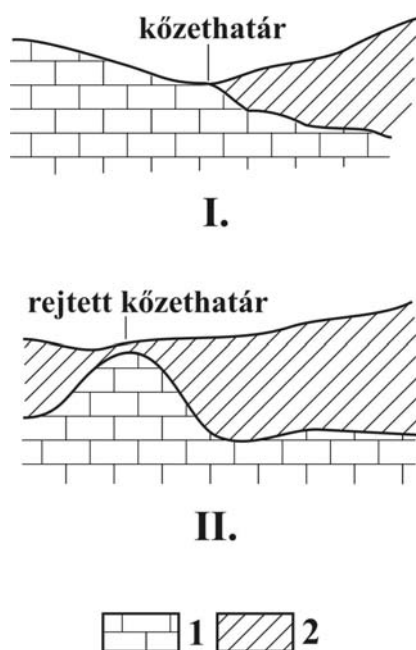
<sup>1</sup> Készült a T 048585 sz. OTKA támogatásával

alakul ki, amikor a nem karsztos, laza fedőüledékes kőzetben formálódik ki mélyedés, miután a fedő anyaga a karsztba szállítódik. Átöröklődéses töbör képződik akkor, ha a fedő nem laza (konszolidált), összeálló nem karsztos kőzet (pl. bazalt homokkő) szakaszos, gyors mozgással (omlás) kerül az anyagihiányos részbe. Víznyelő jellegű dolina akkor, ha a laza fedőüledéket a felszíni vizek a karsztos járatokba halmozzák. E formák többnyire a karsztvízszint közelében alakulnak ki, pl. poljékben. Működésük kettős: víznyelők (alacsony karsztvízszintnél a karsztba vízbevezetés történik), ill. forráshelyek (magas karsztvízszintnél vízkilépés történik a karsztból). Az utánsüllyedéses töbröknek újabban két változatát is elkülönítik (*DRUMM* et al. 1990, *THARP* 1999, *WALTHAM-FOOKES* 2003, *WILLIAMS* 2003). A lezökkenéses töbör („*dropout doline*”) alakul ki, ha az összeálló, finomszemcsés fedő (pl. agyag) a járatba beomlik. Szuffúziós töbör alakul ki, ha a nem összeálló fedőüledék (pl. homok, moréna) kisebb-nagyobb szemcséinek az elmozdulásával (pl. szuffúzió, vagy lemosás) jön létre a fedőben a mélyedés. Megemlítjük, hogy elkülönítenek eltemetett töbröt is („*buried doline*”), amely a fekü idős, karsztos mélyedését kitöltő üledék tömörödésével, vagy az üledék mélybemosódásával képződik (*BEZUIDENHOUT-ENSIN* 1970, *BRINK* 1984).

Általában a fekün az anyagihiányt üreg beomlásával (átöröklődéses töbör), kürtő, vagy ehhez hasonló forma (utánsüllyedéses töbör, víznyelő jellegű dolina) kialakulásával magyarázzák (*JENNINGS* 1985, *TRUDGILL* 1985, *BULL* 1977, *VERESS* 1982, 1999). A mélyedést részben, vagy teljes mértékben a fedőüledék hordozza. Létezik azonban olyan elképzelés is, amely szerint a fekün nem kürtő képződik, hanem annak felülete leoldódik. Tehát anyagihiány a fekü és a fedő között, a fekü felületi leoldódása miatt alakul ki (*BÁRÁNY-JAKUCS* 1984).

A Bakony-hegység fedett karsztjain a fedőüledéket főleg lösz, továbbá ennek, valamint a Csatkai Kavics Formáció anyagának áthalmozott változatai képezik. *VERESS* (1982, 1999) szerint a hegységben az utánsüllyedéses töbör egy változata, a víznyelős töbör a jellemző. E formáknak fontos morfológiai és működésbeli tulajdonsága, hogy többé-kevésbé víznyelőként működnek, de nem igazi víznyelők. Így nincs elhatárolható vízgyűjtőjük, járatuk nem eróziós. A víznyelős töbör oly módon képződik, hogy a fekün vakkürtő alakul ki, amely felett a kőzet beomlik (elsődleges omlás). Az omlás közvetlenül (anélkül, hogy a fedőn a kürtő folytatásában járat képződne) átöröklődik a fedőüledékekre, miáltal a fedőüledékes felszínen mélyedés képződik. *VERESS* (1999) szerint a víznyelős töbrök rejtett közethatáron jönnek létre. Nem rejtett közethatár ott alakul ki, ahol a felszínen karsztos és nem karsztos kőzet érintkezik. Rejtett közethatár ott, ahol a karsztos kőzet elfedett, de a fedőüledék lokálisan vékony (*1. ábra*). Erre ott

lehet számítani – ha a felszín sík és nem tagolt, vagyis a fedőüledék lokálisan nem pusztult le –, ahol a mészkőfekü helyileg a felszínhez közelebbi helyzetű, tehát magaslatot formál. Rejtett kőzethatárt mutattak ki fúrással a Mester-Hajag Mb-50 jelű karsztobjektumnál (VERESS-FUTÓ 1990). Az Mb-50 jelű fedett karsztos mélyedés ott alakult ki, ahol az elfedett feké kiemelkedést formál, tehát a fedőüledék vastagsága lokálisan kicsi.



1. ábra: Kőzethatár (I) és rejtett kőzethatár (II)  
 Jelmagyarázat: 1. karsztosodó kőzet, 2. nem karsztosodó kőzet  
 Fig. 1: Junction (I) and latent junction (II)  
 Legend: 1. karstification rock, 2. non-karstification rock

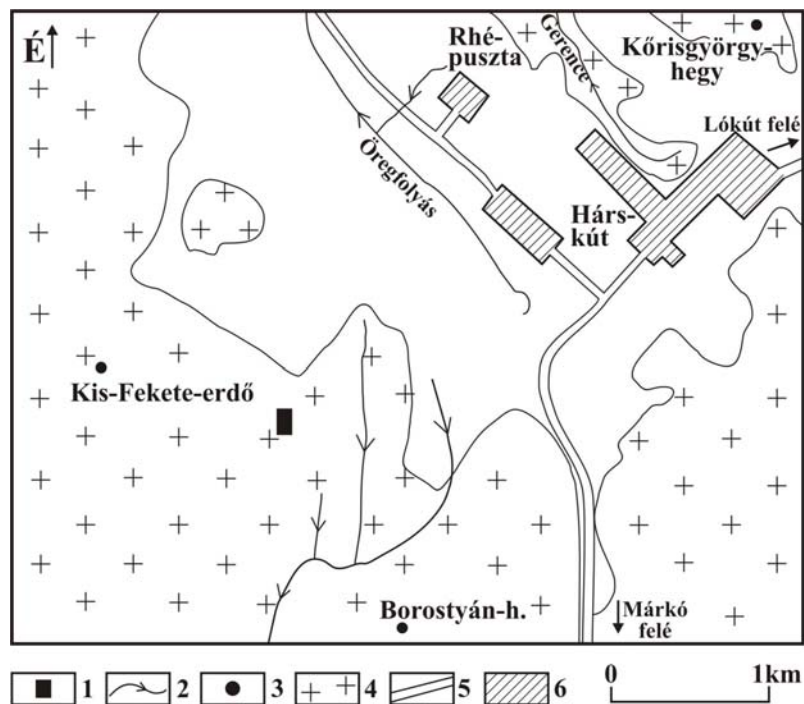
## 2. A kutatási terület jellemzői

A vizsgált terület a Hárskúti-medence, vagy Gyertyánkúti-medence déli peremén 400-450 m közötti magasságokban, völgyek által közrefogott völgyközi háton helyezkedik el (2. ábra). Környezetével együtt felszíne É-ről D-i irányba dől. E felszínrészlet közel téglalap alakú, É-D-i irányban megnyúlt, amelyet Ny-ról és K-ről néhány m-rel magasabb, hátszerű vonulatok határolnak. E területre DK felől egy a fedőüledékben kialakult ÉNy-DK-i irányú, egykori regressziós-epigenetikus völgy, ill. völgyfő nyúlik be,

amely a K-ról határoló hátat két részre különíti. A völgy ma már nem aktív; talán karsztosan fejlődik tovább. Talpa kis esésű, egyes részein ellenesésű részek is előfordulnak.

A kutatási terület aljzatát a fedőüledék alatti eocén mészkő képezi. E kőzet főleg a karsztos mélyedésekben bukkan néhány helyen a felszínre (így a 16, vagy a Ho-8 jelű és az 1, vagy Ho-1 jelű mélyedésben). Környezetében a magasabb térszínrészleteken is megtalálhatók törmelék darabjai. A határoló hátak É-i részén e mészkőnek a törmeléke, míg azok déli részein a kavicsok a gyakoribbak a felszínen. Kavics-előfordulás a kutatási területen is jellegzetes. Itt egyébként a kutatógödrök falainak adatai szerint jelentős vastagságban található löszszerű, agyagos-kőzetlisztes, áthalmazott üledék (FUTÓ 1982). A kutatási területet délről olyan magaslatok szegélyezik, amelyeken már a középső-kréta korú mészkő törmelékdarabjai találhatóak.

E lényegében lefolyástalan térszínen a mélyedések két csoportba (É és D) és három sorba (ÉÉK-DDNy, ÉNy-DK, ÉÉNy-DDK) rendeződnek.



2. ábra: A kutatási terület

Jelmagyarázat: 1. a kutatási terület, 2. vízfolyás, 3. magaslat, 4. erdő, 5. út, 6. település

Fig. 2: The research area

Legend: 1. research area, 2. watercourse, 3. mount, 4. forest, 5. road, 6. village

Az ÉÉK-DDNy-i irányú elrendeződés az É-i és D-i csoportban is jelen van, míg az ÉNy-DK-i és ÉÉNy-DDK-i csak az É-i csoportot jellemzi. (Az északi csoport két sorának „kereszteződésénél” a mélyedések kissé csoportos kifejlődést mutatnak.) Mindkét csoportban, ill. környezetükben gyakoriak a mára feltöltődött, fosszilizálódott fedett karsztos mélyedések. Ezekben időszakos tavak jöhetnek létre. A fentiek mellett gyakoriak a vizenyős helyek (dagonyák). Itt a felszínen sötét folt jelzi a csapadékvíz tartósabb megmaradását. E helyek is valószínűleg egykor karsztos mélyedések lehettek.

Az aktív, fedett karsztos formák morfológiai jellemzői az alábbiak:

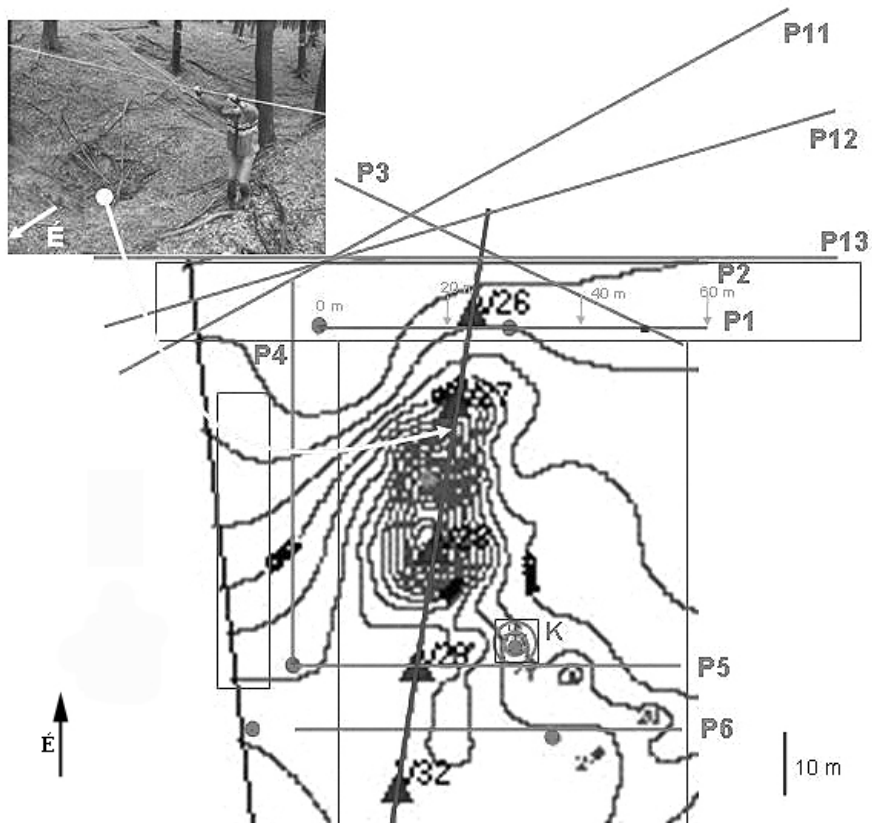
- Meredek oldalúak, kis méretűek, magányosak, vagy néha ikresen összetettek, alaprajzban többnyire ÉNy-DK-i és ÉÉNy-DDK-i, ill. ÉÉK-DDK-i irányban megnyúltak.
- Többségük olyan járattal rendelkezik, amely fedőüledékben, esetleg szálkőzetben képződött. A járatok aljzatukon, oldallejtőiken, sőt peremükön is elhelyezkedhetnek.

### 3. A kőtörmelék-eloszlás vizsgálati módszer

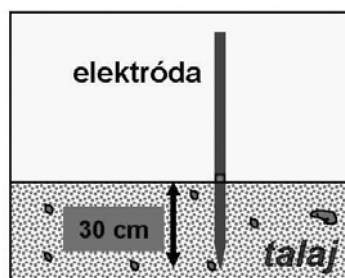
Méréseinket a Ho-8 jelű mélyedés É-i és D-i környezetében végeztük, ahol a fedőüledék VESZ mérések adatai szerint agyag (löszös, mészkőtörmelék), mészkőtörmelék (agyagos), lösz (homokos), vastagságuk 8-12 m körüli (VERESS 2005). E helyeken elsőként ún. kőtörmelék-eloszlási méréseket végeztünk.

A 3. ábrán a mérési terület topográfiai térképe látható. Kőtörmelék-eloszlási vizsgálatok a téglalapok által határolt területeken, geoelektromos mérések a P1-P6, ill. P11-P13 szelvények mentén történtek.

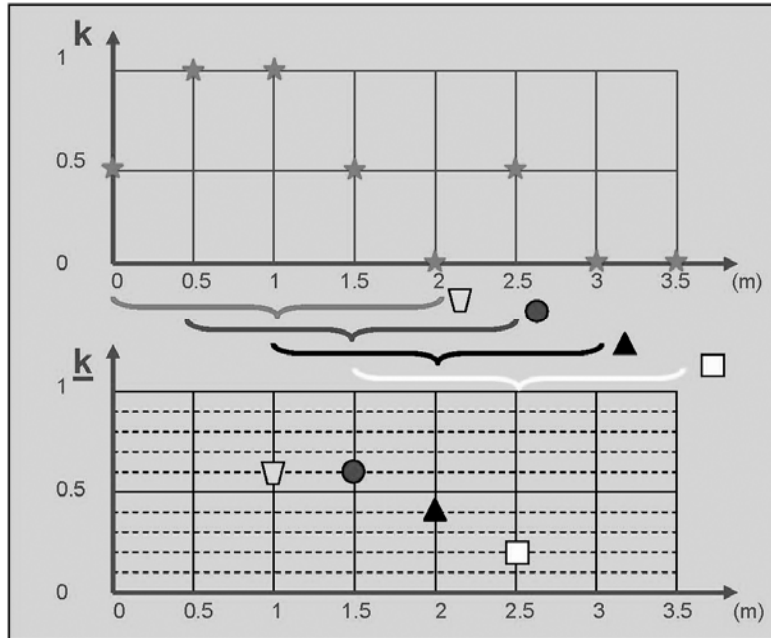
A kőtörmelék-eloszlási vizsgálat során egy szelvény mentén egymástól adott távolságokban (nálunk 0.5 m volt a bevált érték) egy hegyes végű fémrudat, esetünkben a geoelektromos mérésekhez egyébként is használatos fémelektrodát szúrunk a földbe mindig ugyanolyan mélységbe, pl. 30 cm-be (4. ábra), majd regisztráltuk, hogy a fémrúd ütközik-e kőbe, vagy nem. Amennyiben a rúd elakadt egy kőben, akkor 1-es értéket, amennyiben el nem akadt, de érezhetően köves zónán hatolt keresztül (nehezen megy a talajba, nyikorog) 0.5 értéket, amennyiben pedig gyakorlatilag ellenállás nélkül hatol a talajba, 0 értéket rendeltünk a mérési helyhez. Ezután a regisztrált értékekből futóátlagot számítottunk, mindig az egymást követő néhány (általában 5, ekkor  $k=k_5$ ) pontban meghatározott értékek átlagát rendelve az átlagszámításhoz felhasznált pontok közül a középső helyzetéhez (5. ábra).



3. ábra. A mérési terület térképe a mérési helyekkel (téglalapok által határolt területek: kőtörmelék eloszlási vizsgálatok helyei; P1-P6, ill. P11-P13 egyenesek: geoelektromos mérések vonaljai).  
 Fig. 3: Map of the measuring area with the measuring sites (pricking probe: areas bounded by rectangles; geoelectric measurements: profiles P1-P6 and P11-P13)



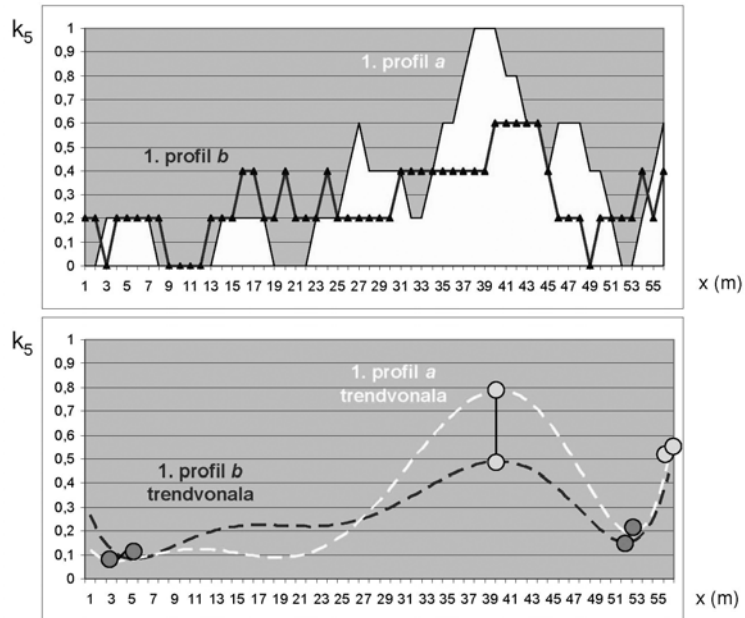
4. ábra: A kőtörmelék eloszlási vizsgálati technika  
 Fig. 4: The pricking-probe technique



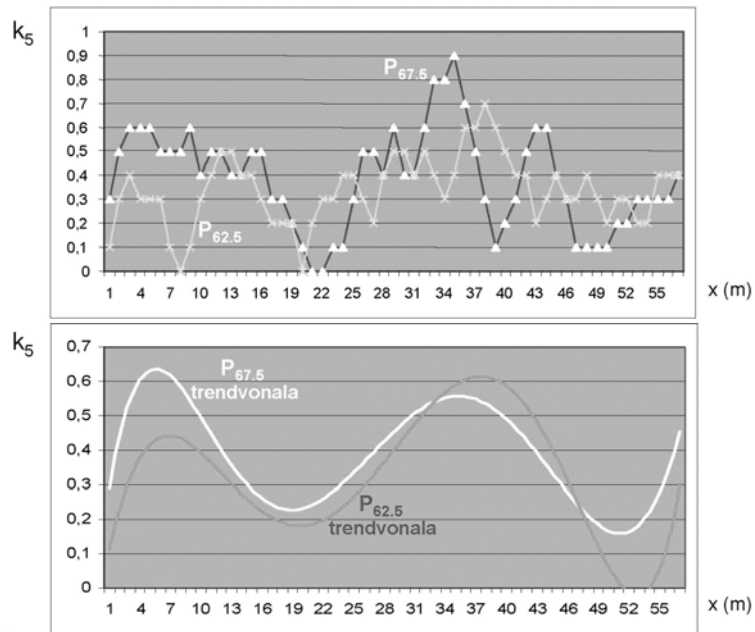
5. ábra: Adatgyűjtés (5 mérésből átlagolva).  $k$  - kötőrmelék eloszlás értéke,  $k$  - kötőrmelék eloszlási értékek átlaga  
 Fig. 5: From the individual pricking probe data  $k$  a moving average  $\bar{k}$  (from five data) is computed. The scree distribution is approximated by  $\bar{k}$

#### 4. A kötőrmelék-eloszlás vizsgálatokkal kapott eredmények kiértékelése és összevetése a geoelektromos mérések eredményeivel

Jóllehet eleinte elég valószínűtlennek tűnt, hogy a kötőrmelék-eloszlás bármiféle szabályosságot mutasson, hamar bebizonyosodott, hogy ez mégis így van. A 6. ábra azt mutatja, hogy a némi időeltéréssel ugyanazon a szelvény mentén felvett „ $k$ ” adatsorok meglehetősen jó korrelációt mutattak egymással. Különösen érvényes volt ez a görbék alapján számított trendvonalakra. Egymástól 5 m, vagy akár 7.5 m távolságban lévő, egymással párhuzamos szelvényeken érdekes módon sok esetben még ennél is nagyobb hasonlóságot találtunk, amint azt a 7. ábrán látható, egyébként teljesen átlagos példa is mutatja. Természetesen ehhez az is kellett, hogy szelvényeink a feltételezett szerkezeti irányra közel merőlegesek legyenek (máskülönben nagyobb lenne az eltolódás a két-két párhuzamos szelvényen mért görbe között). Az sem elhanyagolható szempont, hogy a 6. ábrán láthatótól eltérően a későbbiekben a mintavételezést nem 1 m-enként, hanem 0.5 m-enként végeztük, ami szerencsésebb választásnak bizonyult.

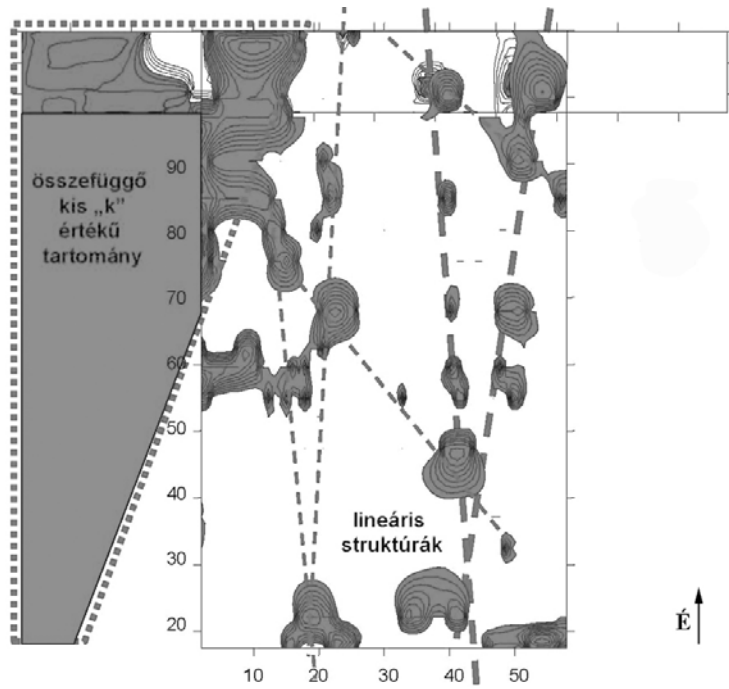


6. ábra: Ugyanazon a szelvényen némi idő eltéréssel mért görbék.  $k_5$  azt jelöli, hogy az átlagokat öt, egymást követő mérésből számítottuk  
 Fig. 6:  $k_5$  values (where the indice 5 refers to a moving average with five members) obtained as results of two independent measurements

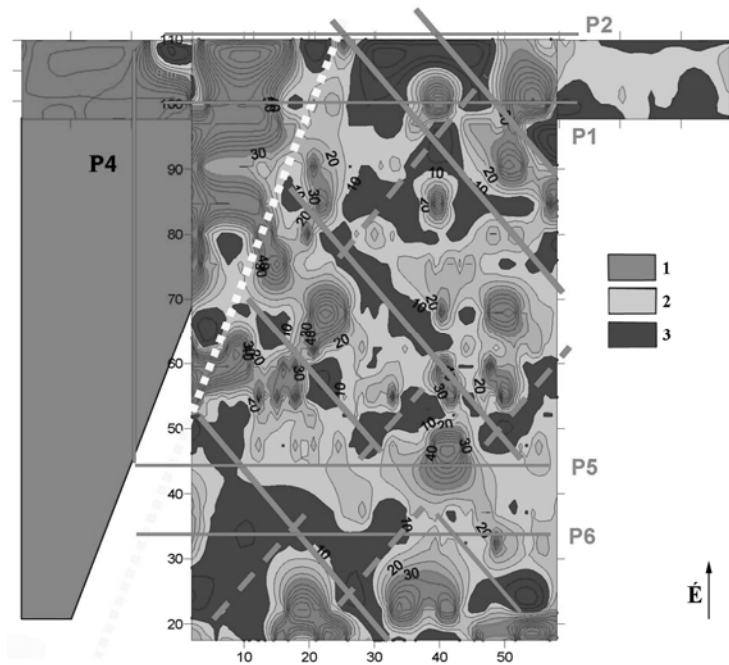


7. ábra: Egymástól 5 m-re lévő, párhuzamos szelvényeken mért görbék  
 Fig. 7:  $k_5$  curves, obtained along two parallel profiles, with a distance between the profiles of 5 m





8. ábra: Kőtörmelék-eloszlás térkép kis „k” ( $k < 0.2$ ) tartományai  
 Fig. 8: Domains of scree distribution maps with low „k” ( $k < 0.2$ ) values

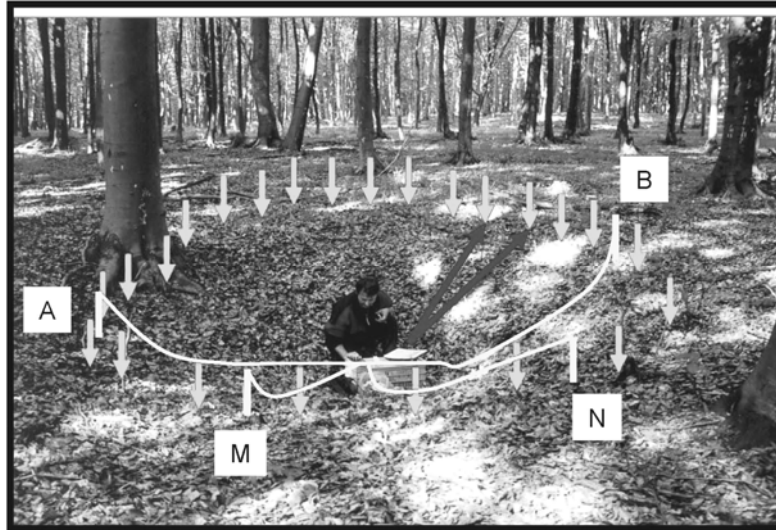


9. ábra: Kőtörmelék-eloszlás térkép (1:  $k < 0.2$ , 2:  $0.2 < k < 0.5$ , 3:  $k > 0.5$ )  
 Fig. 9: Scree distribution map (1:  $k < 0.2$ , 2:  $0.2 < k < 0.5$ , 3:  $k > 0.5$ )

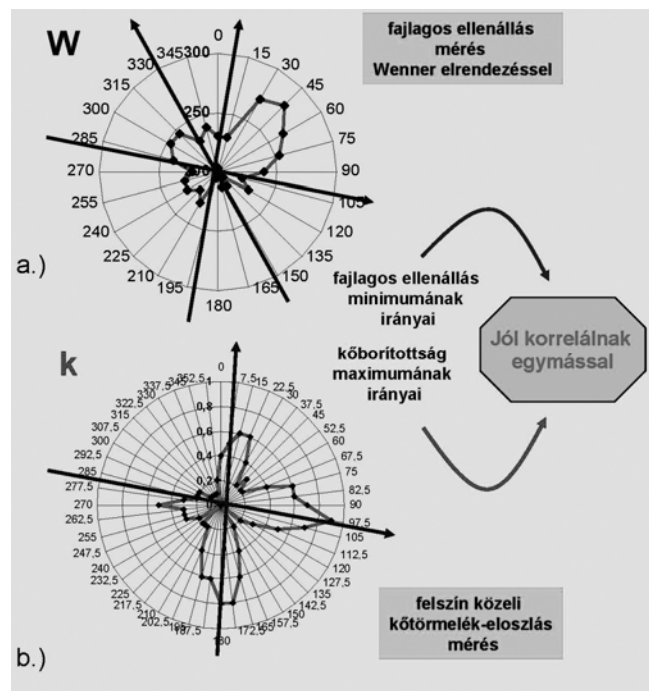
Azt, hogy a kőtörmelék-eloszlás nem véletlenszerű, jól illusztrálja a 8. ábra. A térkép a kis „ $k$ ” kőtörmelék eloszlási érték ( $k < 0.2$ ) tartományait mutatja. A terület NY-i része eszerint egyértelműen más karakterű, mint a K-i rész. Előbbi gyakorlatilag teljesen összefüggően kis  $k$  értékű terület, míg utóbbiban kis  $k$  értékek csak foltokban fordulnak elő. Emellett nem lehet nem észrevenni, hogy ezek a kis foltok viszont egyenes vonalak mentén rendeződnek, ami szintén a kőtörmelék-eloszlás valamiféle szabályos jellegzetességére utal. A kőtörmelék eloszlás minden értékét ábrázolva (9. ábra) pedig azt láthatjuk, hogy a nagy  $k$  értékű ( $k > 0.5$ ) területek is szabályos eloszlást mutatnak, és az általuk határozottan és következetesen kijelölt közel ÉNY-DK, és – kevésbé karakterisztikusan – az ÉK-DNY irányok ráadásul megegyeznek a terület fő szerkezeti irányaival.

Az eddigiekből egyértelműen az következik, hogy „ $k$ ” valamilyen mögöttes geológiai információt hordoz. A kérdés ezek után az, hogy miről hordoz információt a kőtörmelék-eloszlás.

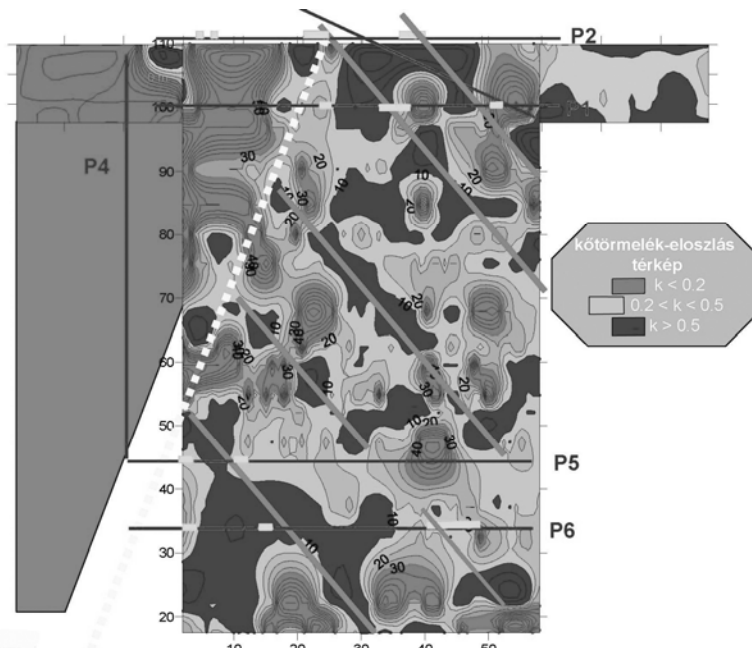
A kérdés megválaszolásához a geoelektromos (elektromos fajlagos ellenállás) méréseket alkalmaztuk (TAKÁCS 1987). A geoelektromos mérések során két áramelektroda segítségével áramot vezetünk a földbe, amely az áramteret az elektromos fajlagos ellenállás térbeli eloszlásának megfelelően alakítja ki. Így aztán a felszíni árameloszlást egy szelvény mentén két másik (ún. potenciál-) elektródával letapogatva próbálunk képet kapni a mérési profilunk környezetében a fajlagos ellenállás térbeli eloszlásáról. Az áram- és a potenciálelektrodákat különféle konfigurációkban helyezhetjük el. Mi az ún. Wenner és a dipól-dipól elrendezéseket alkalmaztuk a mérések során. A méréshez sokelektrodás mérőrendszert használtunk 60 elektródával, ami lehetővé tette, hogy egy-egy szelvény mentén mind a vízszintes, mind pedig a függőleges irányú fajlagos ellenállás-változásokat nyomon követhessük. A 60 elektródát 1m-es elektródatávolsággal elhelyezve a Wenner elrendezéssel 6.6 m, a dipól-dipól elrendezéssel 8.7 m kutatási mélységet értünk el. Lett volna lehetőségünk az elektródák távolságának 2 m-re növelésére (amivel a behatolási mélység is kétszeresére nőtt volna), de az adott terepi körülmények között az a mérést nagyon nehézkesé tette volna, és a kívánt eredményt (a fekü domborzatának feltérképezését) így sem tudtuk volna elérni. Ez jól látszik a 11-13 profilokon 2 m-es elektródatávolsággal végrehajtott mérések eredményéből.



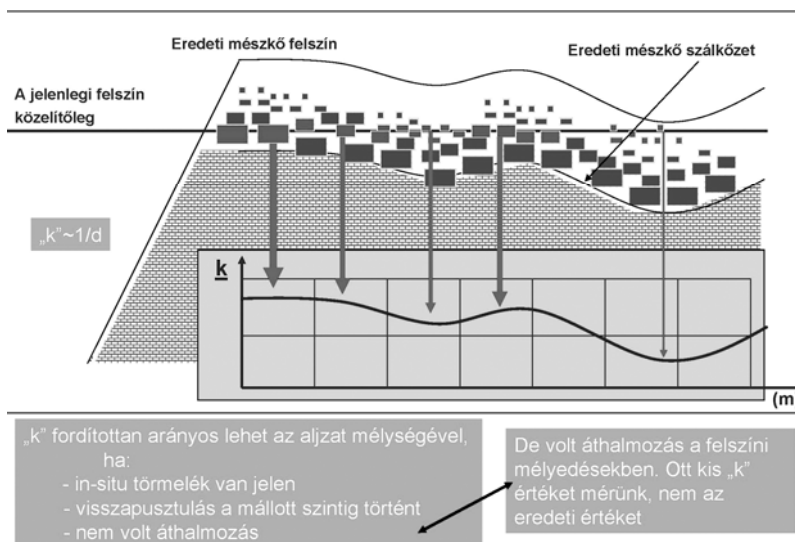
10. ábra: A kisméretű mélyedés fényképe a peremén elhelyezett elektródákkal és a mérőrendszerrel együtt . A, B áramelektrodák, M, N potenciáelektrodák  
 Fig. 10: Photo about the small-size surface depression and the electrodes, belonging to the geoelectric measuring system



11. ábra: a. fajlagos ellenállás polárdiagram, b. kötőmelék-eloszlási polárdiagram  
 Fig. 11: a. Apparent resistivity polar diagram, b. scree distribution polar diagram



12. ábra: Kis fajlagos ellenállású zónák (vastag csíkkal jelölve a mérési szelvényeken) és nagy kőtermék-eloszlású zónák (hosszú közel ÉNY-DK irányú vastag vonalak) viszonyának ábrázolása térképen.  
 Fig. 12: Low resistivity zones (marked with thick stripes along the resistivity profiles) and high scree distribution zones (long nearly NW-SE directed thick lines) shown on the same map



13. ábra:  $k$  szabályosságának egy valószínű magyarázata  
 Fig. 13: A probable explanation of the areal regularity of  $k$

A rutinszerű mérések előtt tesztmérést végeztünk. Ennek helyszínéül egy olyan kis méretű fedett karsztos mélyedést választottunk, amelyiknek topográfiája teljesen körszimmetrikus volt. Erre azért volt szükség, hogy a mélyedés középpontja körül geoelektromos módszerrel körben mérve a topográfia ne befolyásolja a mért értékeket, így azok – lehetőség szerint – csak a felszín alatti fajlagos ellenállás változásokról adjanak információt. A kisméretű mélyedés fényképe a peremén elhelyezett elektródákkal és a mérőrendszerrel együtt a *10. ábrán* látható. A mérés során az elrendezésünk mindig egy-egy elektróda távolsággal halad előre, azaz minden elektróda szerepét a következő lépésben a következő elektróda veszi át. Így mérve a feszültség/áramerősség hányados értékeket (amelyekből egy konstans szorzó segítségével már előállíthatók a fajlagos ellenállás értékek) majd azokat az elrendezés aktuális középpontjának függvényében ábrázolva a *11a. ábrán* látható polárdiagramot kapjuk. Ugyanezen elektródák helyén meghatározva a kötőrmelék eloszlás értékeket pedig a *11b. ábra* polárdiagramjához jutunk. Elsősorban ez utóbbin látszik, hogy két irány uralkodik (az ábrán nyíllal jelölve). A kötőrmelék-eloszlás maximum-irányai jól korrelálnak a fajlagos ellenállás minimum értékei által kijelölt irányokkal. (Megjegyezzük, hogy a kötőrmelék-eloszlási vizsgálatok ugyanezeket az irányokat emelték ki akkor is, ha a kis mélyedés körül térképet készítettünk. A térképezés azonban sokkal körülményesebb és időigényesebb volt, mint a bemutatott mérés.)

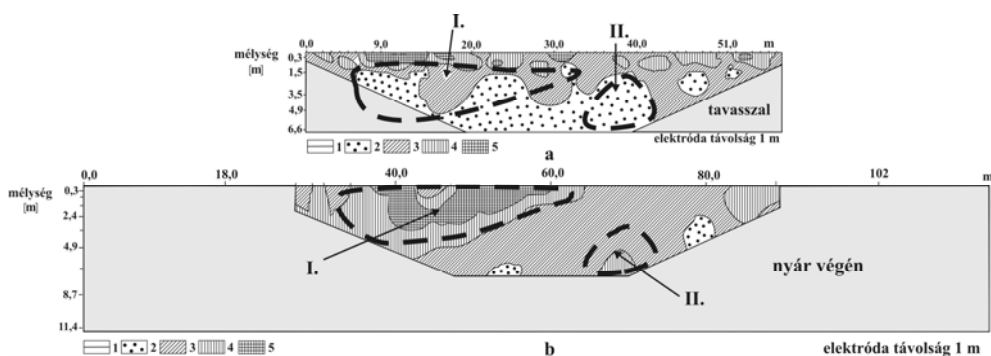
A fajlagos ellenállás értékek és a kötőrmelék-eloszlás értékek között tapasztalt negatív korreláció megfigyelhető volt, pl. a 3-as és 4-es profilok összehasonlításakor is. Míg a 3-as szelvény mentén 3.5 m-es mélységben az átlagos fajlagos ellenállás-érték 200 ohmm volt, addig ebben a mélységben a 4-es számún 600 ohmm volt az átlagérték. Emlékezzünk rá (lásd a *9. ábrát*), hogy a 4-es profil teljes egészében a kis kötőrmelék-eloszlású zónában található, míg a 3-as jórészt ezen kívül esik.

Kísérletet tettünk a kis fajlagos ellenállású és nagy kötőrmelék eloszlású zónák viszonyának megállapításához egy-egy szelvény mentén is, de az túl bonyolultnak bizonyult. Eredményeinket célszerűbb térképen ábrázolni (*12. ábra*). A térképen már jól látható, hogy van összefüggés a kis fajlagos ellenállású zónák (lásd a vastag csíkokat a fajlagos ellenállás mérési szelvényeken) és a nagy kötőrmelék-eloszlású zónák (a hosszú, közel ÉNY-DK irányú vastag vonalak) között.

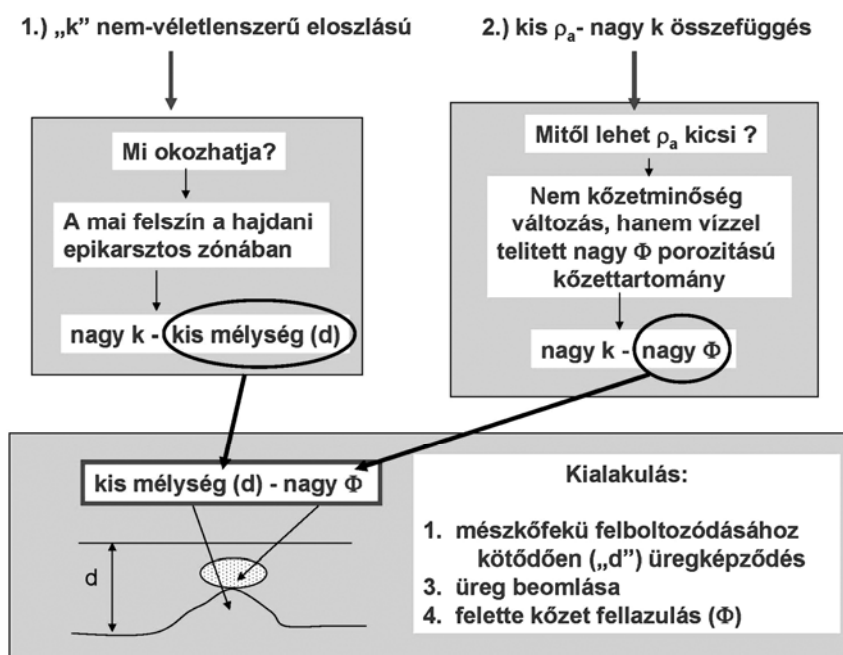
Az eddig elmondottakból (körmérésből, térképekből) már láttuk, hogy:

1. „ $k$ ” nem véletlenszerű eloszlású;
2. a  $\rho_a$  elektromos fajlagos ellenállás és  $k$  kötőrmelék-eloszlás értékek között statisztikusan fordított kapcsolat (arányosság) van.

A továbbiakban megkíséreljük megadni a következtetések okát.



14. ábra: Ugyanaz a fajlagos ellenállás-profil (P2) kétszer mérve  
 Jelmagyarázat: tavasszal (a): 1. eltérő porozitású üledékek határa; mért fajlagos ellenállás: 2. 20-130  $\Omega\text{m}$ , 3. 130-500  $\Omega\text{m}$ , 4. 500-1800  $\Omega\text{m}$ , 5. 1800-5000  $\Omega\text{m}$ ; ill. nyár végén (b) 1. eltérő porozitású üledékek határa, mért fajlagos ellenállás, 2. 5-40  $\Omega\text{m}$ , 3. 40-220  $\Omega\text{m}$ , 4. 220-670  $\Omega\text{m}$ , 5. 670-2500  $\Omega\text{m}$   
 Fig. 14: The same profil (P2), measured at two different times  
 Legend: in spring (a): 1. border of the sedimentary rock with different porosity; measured specific resistance: 2. 0-130  $\Omega\text{m}$ , 3. 130-500  $\Omega\text{m}$ , 4. 500-1800  $\Omega\text{m}$ , 5. 1800-5000  $\Omega\text{m}$ ; concerning on end of the summer (b): 1. border of the sedimentary rock with different porosity, measured specific resistance, 2. 5-40  $\Omega\text{m}$ , 3. 40-220  $\Omega\text{m}$ , 4. 220-670  $\Omega\text{m}$ , 5. 670-2500  $\Omega\text{m}$



15. ábra:  $k$  szabályosságának, valamint  $k$  és  $\rho_a$  fajlagos ellenállás közötti összefüggés hátterének magyarázata  
 Fig. 15: A possible explanation of the areal regularity of  $k$ , and of the  $k$ - $\rho_a$  relationship

## 5. A mérések értelmezése

Egy lehetséges magyarázat  $k$  szabályosságára az lehet, hogy a jelenlegi – egyébként közel vízszintes – felszín a hajdani epikarsztos zónában van, azaz eddig pusztult le a fedőréteg, illetve a hajdanában karsztosodott felszín. Ebben az esetben, amennyiben a jelenlegi felszín távolabb van a hajdani szálkőzet felszínétől, a hajdani karsztos zóna jobban le kellett, hogy málljon, így most nagyobb a valószínűsége, hogy mállott közegbe szúrjuk fémrudunkat, mintha közelebb lennénk a szálkőzethez (13. ábra). Ha ennek a jelenségnek köszönheti a magyarázatát  $k$  szabályossága, akkor értelemszerűen  $k$ -nak az aljzat mélységével kell fordított viszonyban (vagy kapcsolatban) lennie.

A fajlagos ellenállás változásának alapvetően két oka lehet: kőzetminőség- vagy nedvességtartalom-változás. Az a tény, hogy a kis fajlagos ellenállású zónák alakja vízbeszivárgásra emlékeztet, valamint, hogy ezek az anomáliák alul összefüggenek egymással (azaz nem töbörkitöltés jelleget mutatnak), azt sejteti, hogy esetünkben a kis fajlagos ellenállású zónák létét inkább az adott kőzettartomány nagy nedvességtartalma, mintsem a kőzetminőség változása okozhatja. Mérvadónak ebből a szempontból azonban igazán a 14. ábra számít. Ez az ábra ugyanazt a két szelvényt mutatja, de míg az elsőt tavasz elején, addig a másikat nyár végén mértük. Az I és II zónákban feltűnő a fajlagos ellenállás nagymértékű megnövekedése a nyár folyamán, ami aligha magyarázható mással, mint a kőzettartomány nedvességtartalmának a nyár folyamán bekövetkező nagymértékű lecsökkenésével.

A 15. ábrán összefoglaltuk, hogy mi van  $k$  szabályosságának háttérében, és miért van összefüggés  $k$  értéke és a fajlagos ellenállás értéke között.  $k$  fordítottan arányos mind a  $d$  fekü mélység-értékkel, mind a fajlagos ellenállás értékével. A közeg – feltételezhetően a megnövekedett porozitás miatt – képes helyenként több vizet felvenni, és ezáltal kisebb ellenállásúvá válni. Végsősoron tehát  $k$  és  $\rho_a$  kapcsolatából összefüggést tártunk fel a  $d$  fekü mélység és  $\Phi$  porozitás között, amely összefüggés szerint ott nagy a porozitás értéke, ahol kicsi a fekü mélysége. Ez pedig valóban könnyen elképzelhető, hiszen ha a mészkőfekü felboltozódásához kötődően („ $d$ ”) üregképződés zajlik, majd ez az üreg beomlik, akkor felette a fedőüledék fellazulhat ( $\Phi$ ). A fedőüledék fellazulása eredményezheti, hogy a fedőben az anyagátrendeződés (omlással, szuffúzióval) intenzitása megnő. Ez kedvező feltételeket teremt arra, hogy a fedőben járatkezdemények, majd járatok alakuljanak ki.

Úgy gondoljuk tehát, hogy sikerült közvetve összefüggést kimutatni az aljzat mélysége és az üregképződés között. Kimutattuk, hogy a  $k$  eloszlása nem véletlenszerű, hanem valamiféle területi mintázatot mutat, s ezáltal

valamiféle információt hordoz. Nagy valószínűséggel állíthatjuk, hogy ez az információ a fekü mélysége, amiről ezek a kőtörmelék-eloszlás vizsgálatok a geofizika egyéb eszközeinél egyszerűbben és valószínűleg megbízhatóbban adnak információt a vizsgált és a vizsgálthoz hasonló kialakulású környezeti régiókban.

A fekü helyzete szerint a terület alapvetően két részre tagolható. A Ny-i rész egy mélyebb feküjű terület, míg a K-i részen a fekü magasabban fekszik. Utóbbi területen jelenleg is folyik a karsztosodás, ami geofizikai vizsgálataink szerint elsősorban az ÉNY-DK irányú, magasabb feküjű területekhez kötött. A kis  $k$  értékű területek ettől az iránytól eltérő irányú linearitása pedig arra utalhat, hogy ebben az irányban esetleg repedés található, ami a feküháttal találkozáskor különösen gyenge zónákat képezhet, ezáltal ideális körülményeket teremthet a karsztosodási folyamatok felgyorsulásához.

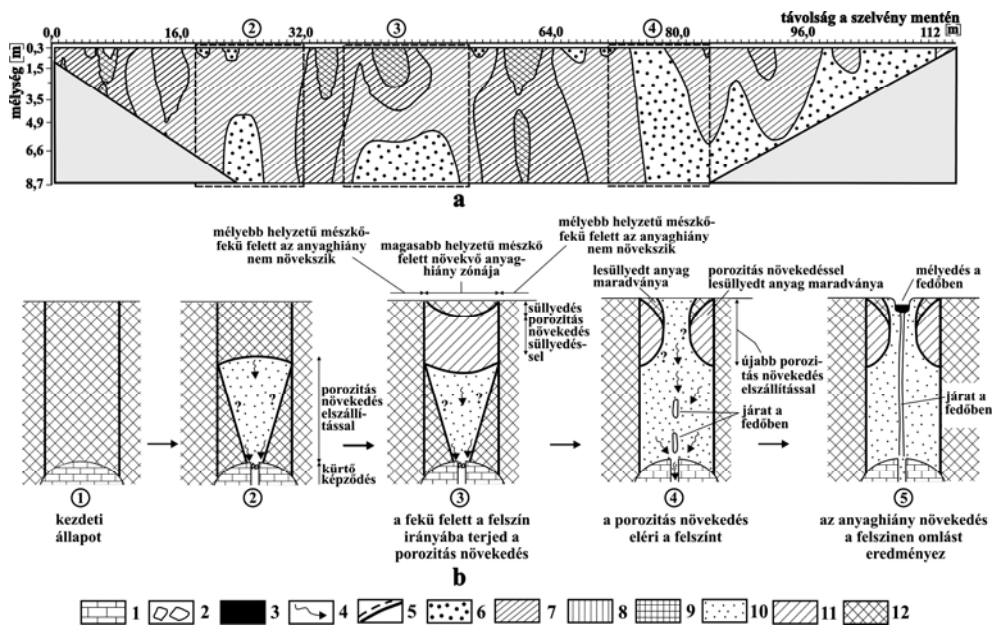
## 6. Következtetések

Mivel a mérések olyan felszínrészleten történtek, ahol még felszíni karsztos formák nem alakultak ki, karsztosodási modellünk a fedőüledékben lezajló változásokat és folyamatokat értelmezi. A modell kiindulási feltétele, hogy a fedőüledék viszonylag vastag, így a karsztosodó feküben végbemenő változások (kürtőképződés) a felszínen csak akkor jelennek meg, ha a fedőüledékben lezajló változások mértéke már elegendően nagy. A fedőüledékben végbemenő változások az alábbiak (16. ábra).

- A mészkőfeküen kürtő alakul ki. A kürtő felett a fedőben a porozitás csökken. A porozitás csökkenés oka, hogy a fedő anyagának egy része a beszivárgó vizek áthalmozásával, vagy gravitációs úton a kialakult kürtőbe kerül. A csökkent porozitású, fellazult zóna felfelé szélesedve megközelíti, de nem éri el a felszínt.
- A porozitás-csökkenés miatt a fedőben járatkezdemények képződnek. A porozitás-csökkenés zónája felfelé terjedve eléri a felszínt.
- Ha a fedőben járat is kialakul, a járat feletti üledék beomlásával a felszínen fedett karsztos mélyedés képződik.

Kifejlesztettünk egy módszert a fekü morfológiájának feltérképezésére. Ezzel az ún. kőtörmelék-eloszlás vizsgálati módszerrel kapott eredményeink nagyon jó korrelációt mutattak a sokelektrodás geoelektromos geofizikai módszerrel kapott eredményekkel.





16. ábra: Karsztos üreg beomlása és az anyaghányi felszín felé terjedésének folyamatábrája, valamint példa annak mérési megjelenése egy fajlagos ellenállás szelvényen

Jelmagyarázat: 1. mészkő, 2. mészkő omladék, 3. beomlott fedő, 4. vízszivárgás és szuffúzió a fedőüledékben, 5. eltérő porozitású üledékek határa; mért fajlagos ellenállások (a): 6. 1-5  $\Omega m$ , 7. 5-50  $\Omega m$ , 8. 50-120  $\Omega m$ , 9. 120-400  $\Omega m$ ; elvi porozitás a fajlagos vezetőképesség figyelembevételével (b): 10. fedőüledék porozitása nagy, 11. fedőüledék porozitása közepes, 12. fedőüledék porozitása kicsi

Fig. 16: Wash-out of a karstic cavern, and a diagram about the upward propagation of the material deficiency, together with a practical example as seen in a resistivity pseudosection

Legend: 1. limestone, 2. breakdown which consists of limestone, 3. breakdown which consists of covering sedimentary rock, 4. water infiltration and suffusion in the covering sedimentary rock, 5. border of sedimentary rock with different porosity; measured specific resistance values (a): 6. 1-5  $\Omega m$ , 7. 5-50  $\Omega m$ , 8. 50-120  $\Omega m$ , 9. 120-400  $\Omega m$ ; theoretical porosity by using specific conduction (b): 10. the porosity of the covering sedimentary rock is great, 11. porosity of covering rock is medium, 12. porosity of covering rock is small

## IRODALOM

BÁRÁNY I.-JAKUCS L. (1984): Szempontok a karsztok felszínformáinak rendszerezéséhez különös tekintettel a dolinák típusaira – Földr. Ért. 33. p. 259-269.

BEZUIDENHOUT C. A.-ENSLIN J. F. (1970): Surface subsidence and sinkholes in the dolomite areas of the Far West Rand, Transvaal, Republic of South Africa - International Association of Hydrological Sciences, Publication No 89, p. 482-495.

BRINK A. B. A. (1984): A brief review of the South Africa sinkhole problem - In: Beck B. F. (szerk.) Sinkholes: their geology, engineering and environmental impact, Balkema: Rotterdam, p. 123-127.

- BULL, P. A.* (1977): Cave boulders chokes and dolina relationships – Proc. 7th. Int. Cong. Speleol. p. 93-96.
- CRAMER, H.* (1941): Die Systematik der Karstdolinen. - Neues Jb. Miner, Geol. Palaont, 85. p. 293-382.
- CVJIČ J.* (1893): Das Karstphaenomen Versuch einer morphologischen Monographie. - Geog Abhandl Wien 5. p. 218-329.
- DRUMM E. C.-KANE W. F.-YOON C. J.* (1990): Application of limit plasticity to the stability of sinkholes - Engineering Geology 29, p. 213-225.
- FUTÓ J.* (1982): A Homód-árok környékén fekvő víznyelők földtani vizsgálata és jellemzése – Cholnoky J. BKCS 1982 Évi Jel., Kézirat
- JENNINGS, J. N.* (1985): Karst Geomorphology – Basil Blackwell, New York 293. p.
- TAKÁCS, E.* (1987): Geofizika (Geoelektromos kutatómódszerek) – Nehézipari Műszaki Egyetem, Bányamérnöki Kar, Tankönyvkiadó, Budapest, 208 p.
- THARP T. M.* (1999): Mechanics of upward propagation of cover-collapse sinkholes - Engineering Geology 52, p. 23-33.
- THOMAS T. M.* (1954): Swallow holes on the Millstone Grit and Carboniferous Limestone of the South Wales Coalfield, - Geogr. J. 120, p. 468-75.
- TRUDGILL, S. T.* (1985): Limestone geomorphology - Longman, New York
- VERESS M.* (1982): Adatok a Hárskúti-fennsík karsztmorfogenetikájához. - Karszt és Barlang II. f. p. 71-82.
- VERESS M.* (1999): Az Északi-Bakony fedett karsztja – A Bakony Természettudományi kutatásának eredményei 23., Bakonyi Természettudományi Múzeum, Zirc, 167 p.
- VERESS M.* (2005): Adalékok nagyobb vastagságú fedőüledékes térszín karsztosodásához (Homód-árok környéke, Hárskút) – Bakonyi Természettudományi Múzeum, Zirc (megj. alatt)
- VERESS M.-FUTÓ J.* (1990): Fedett, paleokarsztos térszíneken végbement lepusztulás kimutatása a Bakony-hegységben - Földt. Közl. 120. p. 55-67.
- WALTHAM, A. C.-FOOKES, P. G.* (2003): Engineering classification of karst ground conditions – Quarterly Journal of Engineering Geology and Hidrology, 36. p. 101-118.
- WILLIAMS, P.* (2003): Dolines p. 304-310. – In: GUNN J. (szerk.): Encyclopedia of caves and karst science, New York, London, 902 p.