

ÚJ MEGKÖZELÍTÉSEK A TÖBÖR-MORFOLOGIÁBAN AZ AGGTELEKI-KARST PÉLDÁJÁN*

TELBISZ TAMÁS**

NEW PERSPECTIVES IN DOLINE-MORPHOMETRY — AGGTELEK KARST AS AN EXAMPLE

Abstract

One of the main topics in present-day karst research is morphometry. The importance of doline morphometry results from the fact that most significant temperate climate karst-landscapes are doline karsts. Apart from basic morphometric parameters, new methods and factors are to be applied. In the present study:

- a new computer-aided method is presented for morphometrical studies;
- some new parameters are added to Hungarian doline-morphometrical research (nearest neighbour azimuth and nearest neighbour-index);
- in order to illustrate the above methods and parameters, an almost total analysis of doline-population in Aggtelek Karst Region (NE-Hungary) is presented (1077 dolines/111 km²). Relationships between morphometrical results, lithology and karstic landform development are examined. As most important factors, the role of tectonics, the effect of non-karstic environment and the significance of row dolines are discussed.

A hazai és nemzetközi karszt kutatások egyik fontos irányzata a morfológia. A töbör-morfológia jelentősége különösen kiemelkedő, hiszen a mérsékelt övi karsztok legjellegzetesebb felszíntípusát a dolinás térszínnek jelentik. Az alapvető alakrajzi paraméterek megmérése mellett azonban szükséges új módszerek kidolgozása is. A tanulmány ennek megfelelően

- új eljárást ismertet az alakmérések számítógépes elvégzéséhez, bemutatja a számítógépes képfeldolgozás töbör-morfológiában való használhatóságának módszertanát;
- bevezet a hazai kutatásokban eddig nem szerepelt, főleg az ún. eloszlási mintázatokhoz kapcsolódó új morfológiai paramétereket (legközelebbi szomszéd iránya, nearest neighbour-index);
- mindezek segítségével, illetve mindezek bemutatására az Aggteleki-karst szinte teljes

töbörállományát feldolgozó morfológiai elemzést közöl;

- végül megvizsgálja a morfológiai eredmények kapcsolatát a kőzettani adottságokkal, továbbá a karsztos felszínfejlődés egyes jellemzőivel (pl. tektonika szerepe, nem karsztos környezet hatása, sordolinák jelentősége stb.), és a karsztvidék morfológiai szemszögből való jellemzése révén von le felszínfejlődési következtetéseket.

A morfológia szerepe a karszt kutatásban

A geomorfológiai és azon belül a karsztmorfológiai kutatások fejlődésével megnőtt az érdeklődés a felszínformák mennyiségi jellemzése iránt is. A karsztos tájak alapvető típusainak megfelelően a morfológiai megközelítések is többfélék lehetnek, melyeknek két fő iránya a

*Készült a 0175/00 sz. FKFP és T-022977 sz. OTKA pályázatok támogatásával.

**ELTE TTK Természetföldrajzi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

barlangi, illetve a felszíni alakrajzi méréseken alapszik. Mindkét csoporton belül különböző módszerekkel vizsgálhatók (és vizsgálándók) a kisebb (karrok, cseppkövek stb.) és nagyobb (barlangjáratok, kúpok, dolinák) formák jellemzői. A karsztos felszín morfológiai leírása **Williams, P. W.** (1971) úttörő jelentőségű munkája – melyben Új-Guinea poligonális karsztmélyedéseit elemezte – nyomán bontakozott ki. Mivel a karsztfelszín uralkodó képét sok tényező együttműködésével alapvetően az éghajlat határozza meg (**Jakucs L.** 1971), ezért az alakmérés célpontjai is eltérők lesznek a különböző klímaterületeken. A (szub)tropus karsztterületekben a már említett poligonális mélyedések mellett elsősorban a tornyok, kúpok alakmérésére irányult a figyelem (**Ming, T.** 1992; **Kangning, X.** 1992; **Drogue, C.–Bidaux, P.** 1992). A mérsékelt övi karsztok „diagnosztikus” felszínformáit a töbrök jelentik, ezért a karsztfelszín jellemzésében kulcsszerepet játszanak a töbrök paraméterei, és a pontos, számszerűsíthető leírás a térszín fejlődésmentének feltárásában is hasznosítható lehet.

Irodalmi adatok (**Mills, H. H.–Starnes, D. D.** 1983; **Mezősi G.** 1984; **Kemmerly, P. R.** 1986; **Vincent, P. J.** 1987; **White, W. B.** 1988; **Ford, D. C.–Williams, P. W.** 1989; **Bárány-Kevei I.–Mezősi G.** 1993; **Farsang A.–M. Tóth T.** 1993; **Péntek K. et al.** 2000; **Dutkó A.** 2000) alapján a következő főbb paraméterek (illetve az azokból számítható mutatók) vizsgálata terjedt el a töbrő-morfometriában:

- alaprajzi (horizontális) jellemzők: hosszúság, szélesség, terület, kerület, irányítottság, aszimmetria;
- magassági (vertikális) jellemzők: mélység, tengerszint feletti magasság, oldallejtők szöge;
- eloszlási mintázatok: töbrőssűrűség, töbrösödési arány, szomszédsági viszonyok értékelése;
- hidrológiai kapcsolatok: vízgyűjtőterület, forrássűrűség.

Megjegyzendő, hogy **Farsang A.–M. Tóth T.** (1993) és **Péntek K. et al.** (2000) – akik az egyes töbröket jellemző szintvonalak magasságtól való függését vizsgálták bükk és aggteleki példákban – munkáiban érdekesen ötvözik az első két paramétercsoport.

Az Aggteleki-karszt felszínfejlődésének kutatása különös tekintettel a töbrőképződésre

A földtani kutatások (legújabbban **Sásdi L.** 1990, 1998; **Less Gy.** 1998) szerint az Aggteleki-karsztvidék jól karsztosodó kőzetei a triász időszakban rakódtak le a Thetys-óceán oldalágainak karbonátplatformjain. Területi kiterjedés alapján a legfontosabbak a középső-triász Gutensteini Formáció és Steinalmi F., a középső-felső-triász Wettersteini F. és a felső-triász Halstatti Mészak F. Ezek az üledékes kőzetek a későbbi tektonikus események során felgyűrődtek, antiklinálisok, szinklinálisok és takaróredők alakultak ki, melyek jelentős oldalirányú elvonszolódások után kerültek mai helyzetükbe. Először a kréta időszakban vált szárazulattá a terület, amelyet a harmadidőszak során nem karsztosodó tengeri, illetve szárazföldi – köztük jelentős mennyiségben vulkáni – üledékek borítottak be. A fedettség térbeli és időbeli változatossága miatt több alkalommal is, így a kréta, az oligocén, a miocén és a pleisztocén-holocén során lehetőség nyílt oldásos felszínfejlődésre, de ezek közül bizonyíthatóan ma csak a legutóbbinak a karsztformáival találkozhatunk (bár akadnak ellenvélemények is, ld. részletesen in **Móga J.** 1998). A mai felszínalakulás szempontjából nagy jelentőségű a pliocén végétől a területet északi irányból beborító kavicstakaró (Borsodi Kavics F., más néven Poltári F.). Az erőteljes – törések mentén blokkokra tagolt – kiemelkedések miatt a negyedidőszakban megindult a karszt kitakarózása, amely napjainkban is tart. A jelenlegi helyzet alapján a karsztterület tekintélyesebb része nem-önálló (allogén) karszt. Fontos megjegyezni, hogy a földtani kutatások eredményeként elkészült a terület 1:25 000 méretarányú földtani térképe (**Less Gy. et al.** 1988), amely a töbrő-morfometriai vizsgálatok alapjául is szolgált.

Az Aggteleki-karszt felszínalakítási jellemzőit **Jaskó S.** (1933), **Láng S.** (1955), **Leél-Össy S.** (1953), **Mezősi G.** (1984), **Hevesi A.** (1991), **Móga J.** (1998) és **Zámbo L.** (1998a, 1998b) foglalták össze. **Jakucs L.** (1956) a barlangok morfológikája kapcsán fejtette ki nézeteit a karsztos felszínfejlődésről. Hangsúlyozta a fedett karszton kialakult eróziós völgyek mélybefejeződéssel való átalakulását töbrősoros völgyekké, és a Borsodi Kavics F. jelentőségét az óriásbarlangok eróziós kivésésé-

ben. Ennek igazolására hozzátétőlegesen számításokat is szerepeltetett, melyek a barlangi ágak mérete (keresztmetszete) és a hozzájuk tartozó nem karsztos vízgyűjtőterület közötti kapcsolatra mutatnak rá. **Zámbo L.** (1970) a talajhatás szerepét emelte ki a töbrök fejlődésében. A dolinakitöltések alapos vizsgálata alapján a töbrök „tányérosodására” és összenövésére következtetett, amelyet a vastag (akár 10–15 méteres) kitöltés alatt feltárható lealacsonyodott töbrögrincek bizonyítanak. Növényzeti, mikroklimatológiai és ökológiai megfigyelésekre alapozva szintén a talajhatás formaalakító jelentőségét világította meg több oldalról is **Keveiné Bárány I.–Mezősi G.** (1978), **Keveiné Bárány I.** (1985) és **Beck, R. K.–Borger, H.** (1999).

„Klasszikus” töbrörmorfometriai eredmények szerepelnek **Mezősi G.** (1984) és **Bárány I.–Mezősi G.** (1993) munkáiban. Mintegy 80 dolina vizsgálatával a következő eredményekre jutottak:

- a töbrök irányítottasága (a hossz tengely azimutja) igazodik az uralkodó ÉÉK–DDNy-i és K–Ny-i törés-, ill. repedésirányokhoz;
- a töbrök egy részének alakja tükrözi a talajon és az élővilágban keresztül érvényesülő mikroklima-különbségeket, amelyek miatt a Ny-i és D-i kitettséű lejtők lankásabbá válnak;
- elkülöníthetők „tektonikusan irányítottabb” sordolinák és platódolinák, amelyekre külön számítva a töbrösűrűséget és mélység/átmérő-arányt kimutatható, hogy a sordolinák „sekélyebbek” és kevésbé „fedik le” a területet.

A töbrök fejlődésével foglalkozik **Knauer J.** (1996) is, mélyülő és feltöltődő csoportokba sorolva a dolinákat, **Kósa A.** (1992) pedig a tö-

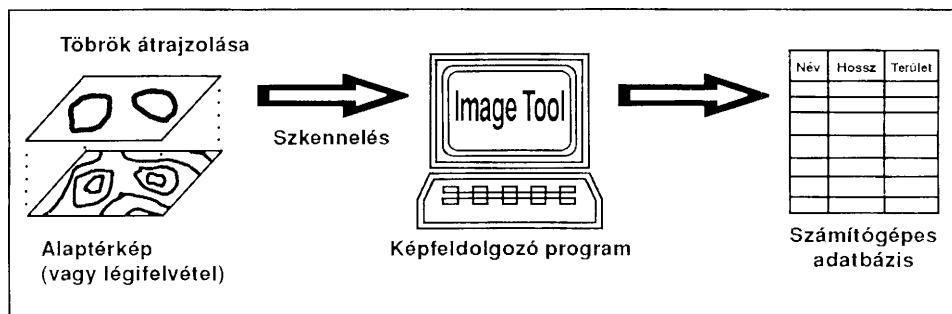
börképződés és a zsombolygenetika sajátos összefüggéseiről szóló elméleteket összegzi az Alsó-hegyre vonatkozóan.

Összegezve tehát a korábbi szerzők jelentősebb eredményeit kiviláglik, hogy az Aggteleki-karszton található töbrök tekintetében teljesre törő morfometriai értékelésre mindezidáig nem került sor.

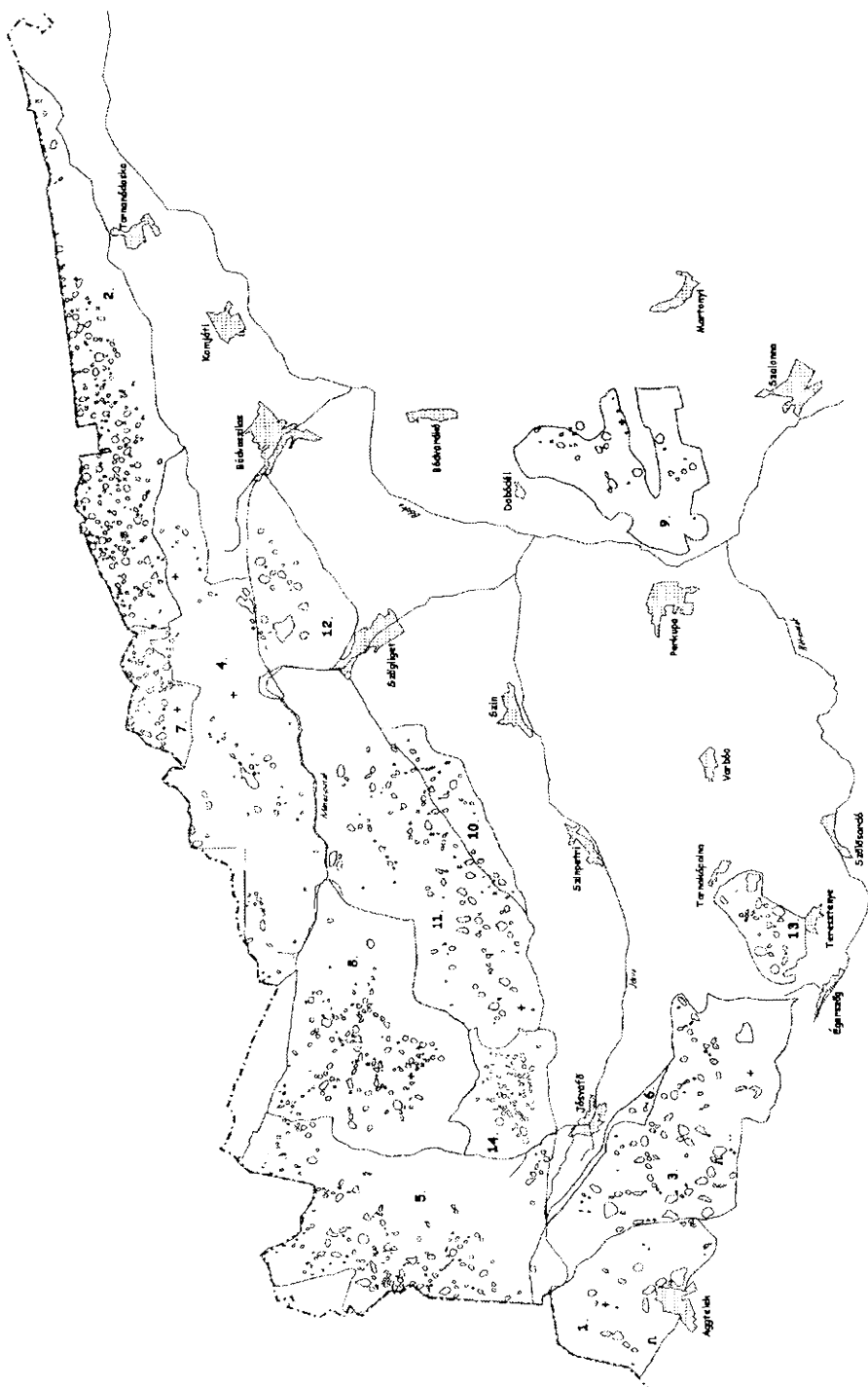
Új számítógépes morfometriai eljárás

Az alakmérési eljárások részben terepi megfigyeléssel, részben térképi adatszerzéssel történhetnek. Mivel mindkettő időigényes feladat, ezért ritkán kerül sor egy terület teljes körű elemzésére, így a morfometriai jellegű vizsgálatok során általában „reprezentatív” mintavétel alapján történik a következtetések levonása. A mai technikai feltételek mellett azonban a számítógép lehetőséget nyújt az említett nehézség orvoslására. A munkafolyamat az alábbi lépésekből áll (1. ábra).

1. A térképi alap (vagy légifelvétel) kiválasztása után a töbrök átrajzolása fóliára (az itt felmerülő kérdések, pl. a térkép pontossága vagy a töbrö határvonala stb. függetlenek a számítógépes eljárástól).
2. Az átrajzott kép szkennelése.
3. Képfeldolgozó program alkalmazása, melyhez rendelkezésre állnak a világhálóról le tölthető ingyenes programok (pl. Image Tool). A programon belül 4 fontos lépés különítendő el: a) a kalibráció, azaz egy térképen megmért, ismert hosszúságú szakasz alapján a digitális kép méretarányának beállítása; b) a képen található zárt objektumok azonosítása (ezt már a számítógép végzi el); c) a mérés, melynek során az alábbi főbb



1. ábra. A számítógép morfometriai alkalmazásának lépései
Figure 1. Morphometric steps using a computer



2. ábra. Az Aggteleki-karszt töbrös területei
Figure 2. The dolina areas of Aggtelek Karst

Sorszám	Név	Kőzet	Terület (km ²)	Dolinaszám
1.	Aggtelek	Wm	5,77	23
2.	Alsó-hegy	Wm	12,41	244
3.	Béke	Srr	12,35	91
4.	Derenk	Wm, Sm, Gm, Hm, Pm, Dm, Bh	14,42	77
5.	Haragistya	Wm, Wd	14,75	166
6.	Láz-tető	Gm	0,58	3
7.	Magas-tető	Wt	2,35	58
8.	Nagyoldal	Wm, Wd	12,95	140
9.	Szalonna	Sm, Gm, Dtm, Szm	6,04	28
10.	Szin	Sm, (Gm)	2,50	26
11.	Szinpetri	Wm, Wd	16,43	107
12.	Szögliget	Wm	4,63	22
13.	Teresztenye	Sm, (Gm, Et)	2,34	28
14.	Zomboly	Wm, Wd	3,41	64
Összesen			110,95	1077

Jelmagyarázat:

Karsztos kőzetek:

Wm – Wettersteini mészkő; Wd – Wettersteini dolomit; Gm – Gutensteini mészkő; Sm – Steinalmi mészkő; Hm – Halstatti mészkő; Pm – Pötscheni mészkő; Dm – Derenki mészkő; Dtm – Dunnatetői mészkő; Szm – Szinpetri mészkő.

Nemkarsztos kőzetek:

Bh – Bódvaszilasi homokkő; Et – Edelényi tarkaagyag

paramétereket kínálja fel a program: terület; kerület; első és második tengely iránya, hossza; megnyúltság; kerekítettség; közép-pont koordinátái; d) és végül az adatbázis elmentése.

4. Az adatbázis statisztikai kiértékelése (ezt már másik programmal célszerű elvégezni).

A számítógép felhasználásának előnyei az alábbiakban foglalhatók össze:

- gyorsaság (a kézi mérés és az adatbázis gépre vitele megtakarításával);
- előbbiből adódóan lehetőség nagyobb területek egységes szempontú, teljes körű feldolgozására;
- megvalósítható „szabványos” adatbázis alapján a Föld különböző karsztterületeinek összehasonlítása;
- és lehetőség sokoldalú statisztikai kiértékelésre.

A vizsgálat során az Aggteleki-karszt dolinas felszíneit összesen 14 területre osztottam, elsősorban kőzettani, földtani és domborzati megfontolások alapján. A mérések alapjául a vidék 1:10 000 méretarányú topográfiai térképe szolgált. Az eredmények 111 km²-nyi terü-

leten elszórt 1077 db dolinára vonatkoznak. A karsztvidék töbrös területeit az alapkőzet, a területi kiterjedés és a dolinaszám ismertetésével a 2. ábra mutatja be.

A korábbiakban ismertetett számítógépes eljárás segítségével az alábbi paraméterlistán szereplő tényezők számítását végeztem el (közülük csak a lényegesebb adatokat tartalmazza az 1. táblázat):

1. hosszúság;
2. szélesség;
3. kerület;
4. alapterület;
5. mélység (ez csak 341 db töbrre vonatkozó részleges felmérés);
6. megnyúltság (= hosszúság/szélesség);
7. a hossz tengely azimutja;
8. a legközelebbi szomszéd iránya (azimutja);
9. a legközelebbi szomszéd távolsága (nearest neighbour-index – a töbrközéppontok figyelembevételével);
10. töbrsűrűség (= töbrök száma/vizsgált terület);
11. töbrösödési arány (= töbrök összterülete/vizsgált teljes terület).

Az Aggteleki-karszt töbreinek morfolometriai adatai (a jelmagyarázatot ld. a 2. ábránál)
 The morphometric data of the dolines of Aggtelek Karst (the key is available in the caption of Figure 2)

Terület neve	Kőzet	Többsűrűség (db/km ²)	Töbrösödési arány (%)	Átlagos töbrőterület (m ²)	Megnyúltság	Nearest neighbour-index (R)
Aggtelek	Wm	3,99	4,56	11 439	1,86	0,41
Alsó-hegy	Wm	19,66	6,56	3 335	1,44	0,63
Béke	Sm	7,36	7,09	9 637	1,87	0,62
Derenk	Wm, Sm, Gm, Hm, Pm, Dm, Bh	5,34	2,20	4 118	1,67	0,44
Haragistya	Wm, Wd	11,25	4,38	3 890	1,66	0,57
Láz-tető	Gm	5,18	2,29	4 426	1,65	kevés adat
Magas-tető	Wm	24,69	7,13	2 889	1,44	0,59
Nagy-oldal	Wm, Wd	10,81	4,13	3 818	1,63	0,62
Szalonna	Sm, Gm, Dtm, Szm	4,64	2,84	6 128	1,48	0,35
Szin	Sm, (Gm)	10,39	4,11	3 955	1,78	0,41
Szinpetri	Wm, Wd	6,51*(10,00)	3,65*(4,80)	5 599*(4 769)	1,70	0,57
Szögliget	Wm, Wd	4,75*(9,69)	5,69*(11,0)	11 980	1,49	0,40
Teresztenye	Sm, (Gm, Et)	11,94	12,17	10 187	1,48	0,51
Zomboly	Wm, Wd	18,77	5,55	2 957	1,72	0,57
Átlag		9,71	5,85	5 710	1,60	0,51

*Csak a mészköves területre számított érték.

Méretek

A mért (számított) paraméterek természetesen nem függetlenek egymástól, hanem igen szoros kapcsolatban állnak egymással, ami azt jelenti, hogy általában egy kiragadott tényező is jól jellemezheti a sokaságot. A méretet meghatározó tényezők összefüggését fejezik ki az alábbi regressziós egyenletek (zárójelben a korrelációs együttható szerepel):

$$\text{Hossz} = 2,40 \cdot \text{Szélesség}^{0,885} (r = 0,92)$$

$$\text{Terület} = 1,16 \cdot \text{Hossz}^{0,81} (r = 0,98)$$

$$\text{Terület} = 1,11 \cdot \text{Kerület}^{1,90} (r = 0,99)$$

$$\text{Mélység} = 0,087 + 0,0822 \cdot \sqrt{\text{Terület}} (r = 0,78)$$

Ezek az eredmények azt jelzik, hogy az első 4 paraméter gyakorlatilag egymással egyenértékűen használható, egy paramétercsoportot alkotnak, míg a mélység – bár szintén szoros kapcsolatban áll az előzőekkel – már nagyobb „önállóságot” mutat, tehát független tényezőként szükséges kezelni. Hasonló következtetésekre jutottak Mills, H. H.–Starnes, D. D. (1983), akik faktoranalízis segítségével csoportosították igen nagyszámú dolina-morfolometriai paramétereiket Tennessee állambeli mintaterületeiken.

A töbrök alapterület szerinti gyakorisági görbéje a legtöbb dolinával jellemezhető Alsó-hegyen és Haragistya rajzolódik ki legszabályosabban (3. ábra). Az eloszlás jellege lognormális, vagyis a nagyobb méretek felé haladva

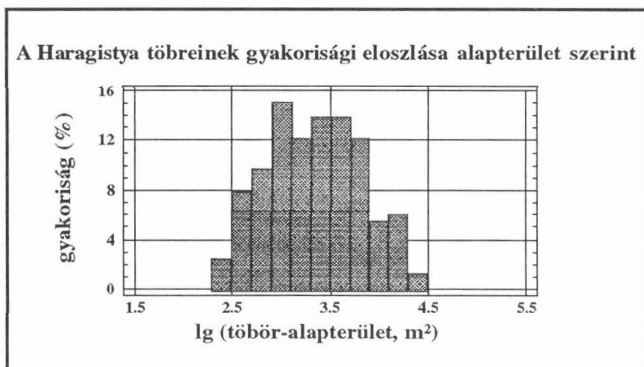
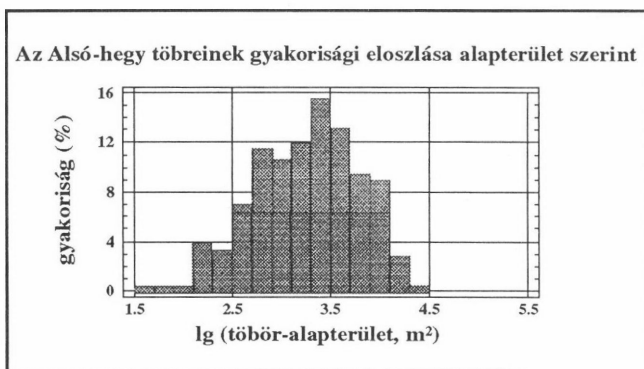
exponenciálisan csökken a töbrök száma. Ez bizonyos értelemben hasonlóvá teszi a karsztfelszínt az eróziós területekhez, ahol az alacsonyabb rendű vízfolyásoktól a magasabb rendűek felé haladva a vízfolyások száma, összhossza stb. szintén exponenciálisan csökken.

Irányítottság

Az irányítottság vizsgálata sokat elárul a töbrök kialakulásáról. A kettős alapkérdés az volt, hogy kimutatható-e egyáltalán határozott irányítottság, és ha igen, akkor a tektonikus irányok játsszák-e a főszerepet, vagy esetleg a mikroklimatikus aszimmetria hatása érvényesül-e ebben is. A korábbi kutatásoktól eltérően nem pusztán a hossz tengely azimutját vettem figyelembe, hanem a legközelebbi többszomszéd irányát is. Ezek alapján tehát kettős rózsadiagram készült minden vizsgált részterületről, melyekből néhány példát mutat be a 4. ábra.

A rózsadiagramok – beleértve a tanulmányból helyhiány miatt kimaradtakat is – elemzése alapján a következő megállapítások tehetők:

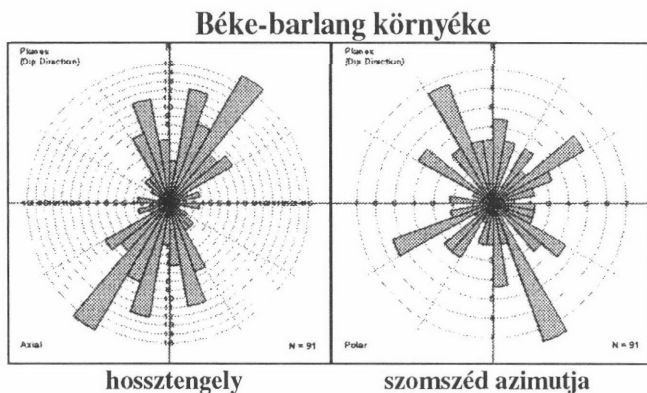
1. A hossz tengelyek irányát egyértelműen a tektonika határozza meg, mely szerint a DDNy-ÉÉK-i irányú törés-, ill. repedésrendszer a meghatározó. Másodlagos tektonikai csapás az ÉÉNy-DDK-i (ez néhány területen – Aggtelek, Nagyoldal, Szin, Szögliget – még markánsabb, mint az előző). Harmadikként (sokkal alárendeltebben, váltakozva, de felis-



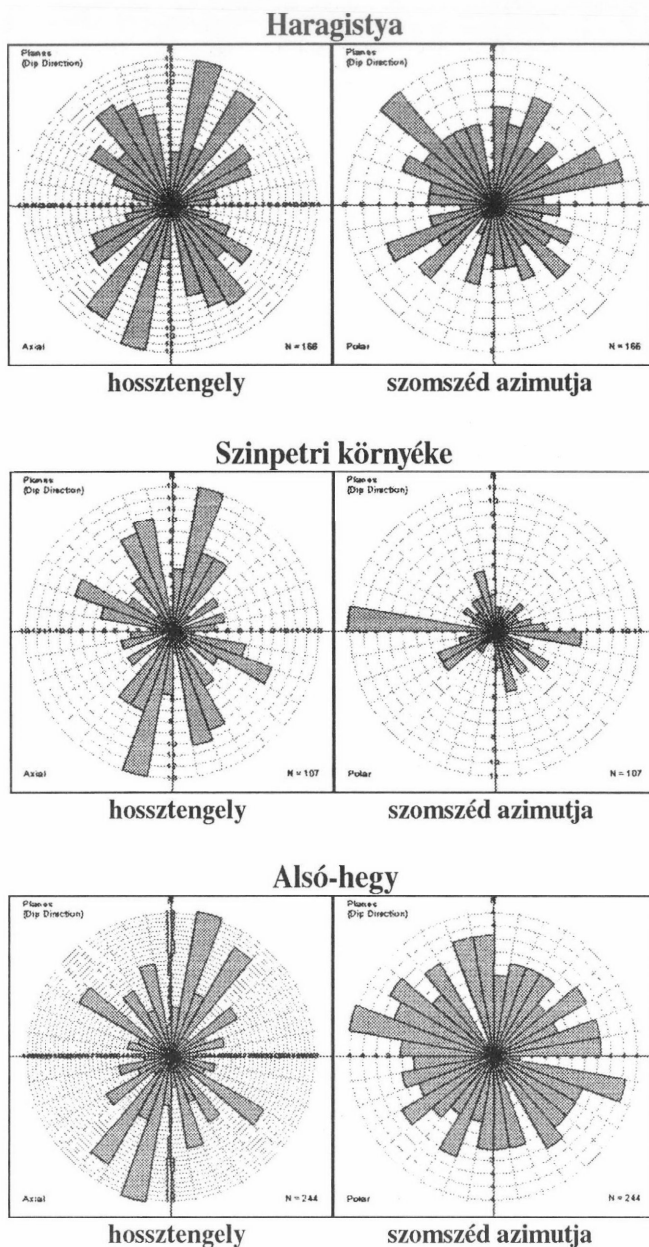
3. ábra. Töbör-alapterületek logaritmusának gyakorisági eloszlása az Alsó-hegyen ($n = 244$) és a Haragistyán ($n = 166$)
 Figure 3. The logarithmic frequency distribution of dolina ground areas on Alsó-hegy ($n = 244$) and Haragistya ($n = 166$)

merhetően) a NyÉNy–KDK-i irány és a NyDNy–KÉK-i irány említhető. A töbrök megnyúlásának és a szerkezeti irányoknak az egybeesése alapján úgy tűnik, hogy a mikroklíma

szerepe a töbrök megnyúlásában nem jelentős. Amennyiben a töbrösorok kialakulását az egykori folyóhálózathoz kötik (mélységi lefejezések sorozatát feltételezve), akkor a rózsadiag-



4. ábra. Képaláírás a következő oldalon
 Figure 4. The caption is on the next page

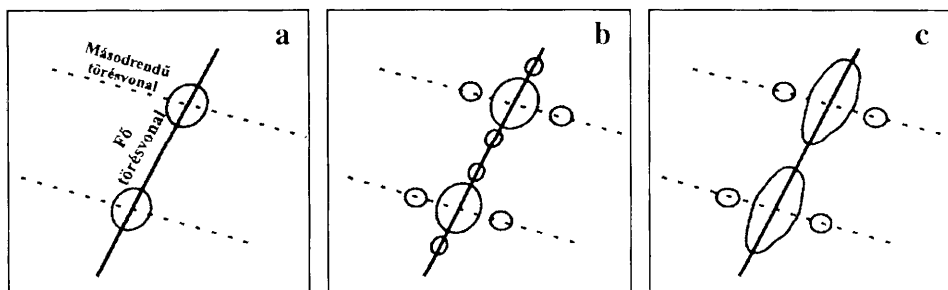


4. ábra. Töbör-hossztengely (A) és a legközelebbi szomszéd azimutja (B) alapján készült rózsadiagramok a Béke, Haragistya, Szinpetri és Alsó-hegy karszterületekről.

A hossztenegely ábrája szimmetrikus, hiszen itt „tengely” jellegű adatokról van szó, a legközelebbi szomszéd azimutja viszont 0° és 360° között változhat

Figure 4. Rose-diagrams prepared on the basis of doline longitudinal axis (A) and the azimuth (B) of the nearest neighbour for the karst areas of Béke, Haragistya, Szinpetri and Alsó-hegy.

The diagram of the longitudinal axis is symmetrical, because the data are “axis” type, but the azimuth of the nearest neighbour can vary between 0° and 360°



5. ábra. Töbörfejlődés a törésvonalak metszéspontjai körül
Figure 5. Dolina development by the intersections of fault lines

ramok által jelzett erős tektonikus irányítottság alapján arra kell következtetnünk, hogy már a fedett karsztos időszakban is szerkezetileg előrejelzett völgyek alakultak ki.

2. Meglehető eredménnyel szolgál a legközelebbi töbörszomszéd-irányokból kirajzolódó rózsadiagramok képe. Bár nagyobb az adatok szórása, mint a hossz tengely esetében, mégis leszűrhető az megállapítás, hogy számos esetben fölcserélődnek a főirányok a hossz tengelyhez képest. Ez azt jelenti, hogy a töbörök egy részénél a legközelebbi szomszéd nem a megnyúlás irányával esik egybe! Itt fontos hangsúlyozni, hogy ez a kettősség nem feltétlenül a töbörök többségét jellemzi, de ahhoz elég jelentős számú, hogy statisztikailag kimutatható legyen.

Ez a tény a töbörök egy részének kialakulását illetve fejlődését magyarázó elmélethez jelent útmutatót. Számos lehetőség végiggondolása után az alábbi elképzelés valószínűsíthető leginkább (5a, b, c. ábra).

- A töbörök a repedésrendszer mentén kezdenek kialakulni (miként az 1. pontban láttuk, ez érvényes önálló és kihantolódo karszt esetén is), azon belül is különösen kedvező helyzetben vannak a törésvonalak metszéspontjai (a).
- Egy kialakuló dolina alatt a járatrendszer kitér, így a vízelvezetés gyorsabbá válik, és az oldalirányból becsatlakozó vízvezető repedések is bővíteni kezdenek, ezzel megindulhat a töbör környezetében az újabb kis dolinák képződése. Ezt nevezik „szülő-leány” töbörterjedésnek (Kemmerly, P. R. 1986).
- Mivel a „szülő” töbör a fő szerkezeti csapás-irány mentén kezd megnyúlni, ezért a hosszanti irányban hozzá közel eső apró töböröket „felfalja”, tehát tektonikus irányítottsága

még jellegzetesebbé válik. Legközelebbi „kis” szomszédai viszont a másodlagos tektonikai irány mentén helyezkednek el.

A fent leírtak tükrében az sem lehet véletlen, hogy a megnyúltság átlagos értékei (1. táblázat) az aggteleki, a Béke-barlang menti és a szini karsztterületeken a legmagasabbak, ahol a sortöbörök jelentős arányt képviselnek.

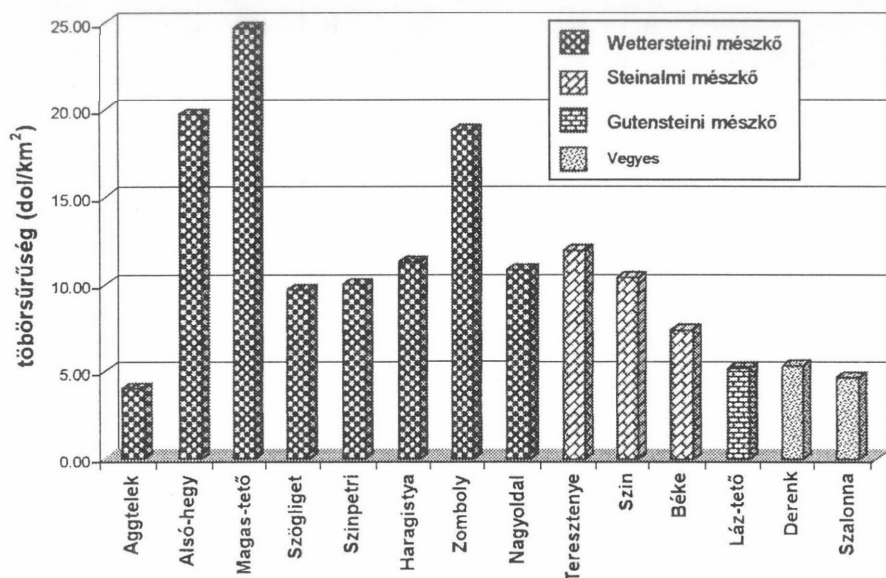
Érdekesnek tűnt a rózsadiagramok megnyúltsággal való súlyozása is, de ez nem hozott figyelemreméltó változást az ábrázolásban, s így új eredményeket sem szolgáltatott.

Töbör-sűrűség

Az összesítésből kitűnik, hogy az Aggteleki karszt átlagos töbör-sűrűsége 9,7 dolina/km²-nek adódik. Hogy ez sok vagy kevés, arra nehéz viszonyítási alapot találni, hiszen White, W. B. (1988) és Ford, D.-Williams, P. W. (1989) összehasonlító táblázatai alapján 1–80 dolina/km²-es sűrűségi értékek egyaránt előfordulnak, mégis azt lehet mondani, hogy ekkora területen a 10 dolina/km² körüli érték már aránylag „előkölőnek” számít.

Megvizsgálva azt a természetesen adódó elképzelést, hogy a töbörök sűrűsége függ az alapkőzet sajátosságaitól (6. ábra), az derült ki, hogy a karsztvidék legelterjedtebb kőzete, a Wettersteini Mész F. kedvez leginkább a sűrűn kialakuló töböröknek – ezen belül természetesen eltérés mutatkozik a dolomitos, illetve tiszta mészkő faciesek között –, de a többi kőzet viszonylag csekélyebb területaránya miatt ez az összefüggés nem tekinthető statisztikailag megalapozottnak.

A töbör-sűrűség értéke ugyanakkor nyilvánvaló összefüggésben van a töbörök méretével. Egy karsztvidék fejlődése során általában a dolinák összeolvadása a jellemző folyamat, és eb-



6. ábra. A többsűrűség értékei alapkőzet szerinti bontásban
Figure 6. The values of dolina frequency on the basis of bedrock stone

ből az elképzelésből levezethető, hogy a töbrök átlagos alapterülete a többsűrűség csökkenésével növekszik. Ezt igazolja is az Aggteleki-karszt töbrös területeire alkalmazott korrelációs számítás, amely szoros kapcsolatot jelez a vizsgált területek többségi halmazára (7. ábra). Ugyanakkor megfigyelhető egy „renitens” csoport is, amelyet aránytalanul nagy alapterületű töbrök jellemeznek. Kialakulásukat az ábra gondolatmenete szerint nem magyarázhatjuk a töbrök összeolvadásával, hiszen akkor illeszkedniük kellene a görbe baloldali meghosszabbítására. Emiatt a „rendellenesség” hátterét az eltérő fejlődésmenetben érdemes keresni, az elkülönülő csoportba ugyanis főleg a kitakarózott karsztvidék D-i pereme tartozik, ahol a hajdani víznyelők lényegesen nagyobb vízhozamhoz jutottak a fedett karsztos területek felől. Ide kapcsolódódnak Jakucs L. (1956) számításai is, melyek szerint a nem karsztos vízgyűjtőterület határozza meg a barlangi ágak méretét. Ezt a megállapítást kiterjeszthetjük (most már statisztikailag is igazoltan) a barlangjáratok „kapuira”, vagyis a víznyelőkre is és kimondhatjuk, hogy a kisebb többsűrűséghez tartozó aránytalanul nagy alapterületű töbrök kialakulása nem egy adott terület „önerejéből” valósult meg, hanem külső segítség révén.

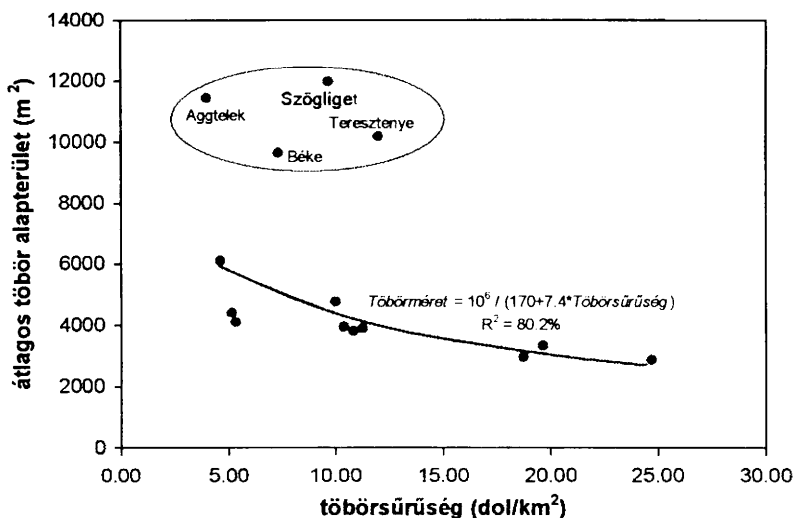
Szomszédok

Elsősorban biológiai indíttatású kutatók (Clark, P. J.–Evans, F. C. 1954) vezették be az ún. nearest neighbour-indexet, amely egy adott területen szórtan elhelyezkedő „egyedek” csoportosulási mintázatát jellemzi; ennek töbrökre való használata meghonosodott a külföldi karsztos kutatásokban (Drake, J.–Ford, D. C. 1972; Kemmerly, P. R. 1986; Vincent, P. J. 1987; Ford, D. C.–Williams, P. W. 1989). Az index (R) a töbrök legközelebbi szomszédjuktól való távolságának az átlagát (d) viszonyítja a véletlenszerű elrendeződés esetén várható átlagos távolsághoz [$E(d)$]

$$(1) \quad R = d / E(d)$$

Ennélfogva az 1 közeli értékek véletlenszerű elhelyezkedésre utalnak, a 0-hoz közelítő értékek a csoportokba rendeződést sugallják, és a maximális 2,149 érték pedig a szabályos határozott elrendeződést jelenti. A véletlenszerű elrendeződéshez tartozó várható átlagos távolság az alábbi egyenlethől kapható meg:

$$(2) \quad E(d) = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\text{többsűrűség}}}$$



7. ábra. Töbörök átlagos alapterülete a töbörűrség függvényében
Figure 7. The average ground area of dolinas as a function of dolina frequency

Csak hogy a vizsgált területek peremén lévő egyedek miatt torzítottá válik $E(d)$ becslése, ezért a számítás során korrigálni kell $E(d)$ értékét – ezt közli **Vincent, P. J.** (1987) is, de hibásan(!) –, a helyes képlet **Davis, J. C.** (1986) könyvéből olvasható ki:

$$(3) \quad \text{corr. } E(d) = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\text{töbörűrség}}} + \left(0.514 + \frac{0.412}{\sqrt{n}} \right) \cdot \frac{P}{n}$$

ahol n a töbörök száma, P a vizsgált terület kerülete.

A 8. ábrán megfigyelhető, hogy az Aggteleki-karszt valamennyi vizsgált részterületére számított R -érték jóval 1 alatt marad.

Az ezekhez hasonló alacsony értékeket **Kemmerly, P. R.** (1986) a Kentucky-karszt az irányítottágnál említett „szülő-leány töbörterjedési modellel” értelmezte, ahol elkülönítve számolt a „szülő” és a „leány” töbör sokasággal. Míg az előbbieket inkább szabályos elrendeződésűnek tűntek (egyfajta szabályos repedéshálózatra utalva), addig az utóbbi sokaság jelentős csoportosulási hajlandóságot mutatott egy-egy „szülő-töbör” körül.

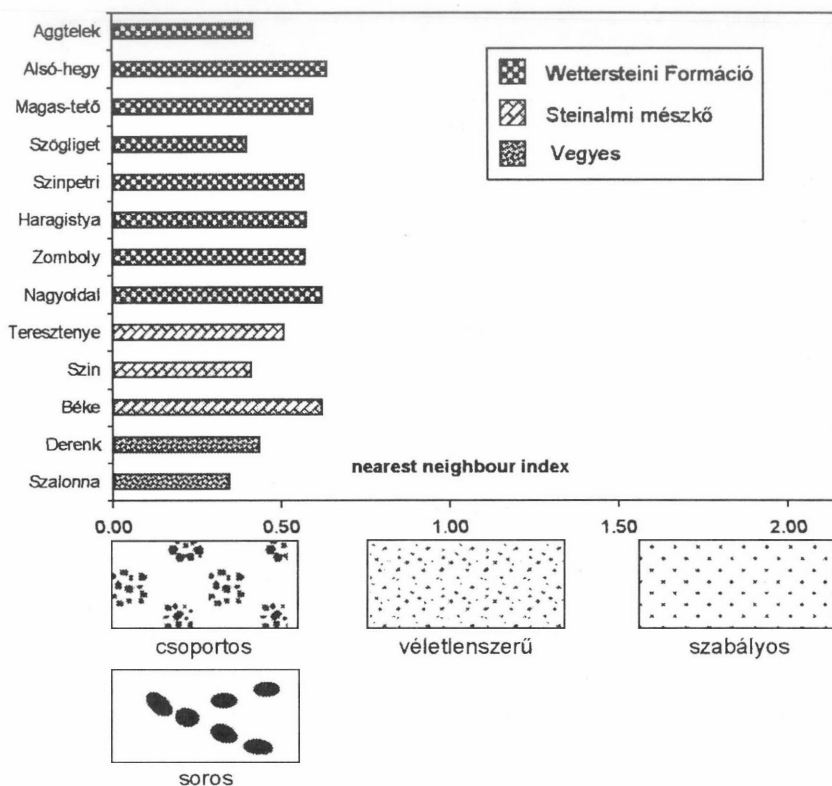
Az Aggteleki-karszt töbörmintázatai szabad szemmel nézve nem mutatnak látványos csoportosulásokat, még kevésbé fedezhető fel a nagyobb mélyedések szabályos elrendeződése, ezért az alacsony R -értékek valószínűleg in-

kább azt jelzik, hogy a nearest neighbour-index érzékeny a sorokba rendeződő töbrökre is. (Hiszen a soros elrendeződés is rövid töbörközi távolságokat eredményez a véletlenszerűhöz képest.) A külföldi irodalomban ismertetett példák többségénél magasabb R -értékek fordulnak

elő, mint a jelen vizsgálatokban, ami arra is utalhat, hogy az Aggteleki-karszt fejlődésében azokhoz viszonyítva fontosabb szerepet játszott a kihantolódó fedett karsztos völgyhálózat víznyelőiből átalakuló soros töbörfejlődés.

Következtetések

A töbör-morfometriában hasznos munkamódszert jelent a számítógépes képfeldolgozás, amely nagy statisztikai adatbázisok létrehozását és kiértékelését teszi lehetővé. Legfontosabb előnyei a gyorsaság és az egységes szempont szerint történő adatnyerés. (Ennek súlyát érzékeltetik az idegen adatokkal való összehasonlítás előzőekben megmutatkozott nehézségei.) A számítógépes módszer segítségével elkészült az Aggteleki-karszt szinte összes töbörét számbavevő adatbázis, és kiderült,



8. ábra. Az Aggteleki-karszt vizsgált területeinek „nearest neighbour”-indexe
 Figure 8. The nearest neighbour index of the areas examined on Aggtelek Karst

hogy a morfológiai paraméterek néhány nagyobb csoportba oszthatók, amelyeken belül egymással szoros – korrelációs számítással igazolható – kapcsolatban állnak az egyes tényezők. A töbrök, mint a karsztos hidrográfiai rendszer alapegységei (cellái) statisztikailag hasonló eloszlást mutatnak, mint az eróziós térségek vízfolyásai.

A töbrök irányítottági vizsgálata szerint a szerkezeti irányok meghatározók a dolinák megnyúlásában, amelyhez a sortöbrök összenövése (uvalák képződése) is hozzájárul, miközben oldalirányban (a másodrendű repedések mentén) kisebb töbrök húzódnak meg a nagy dolinák szomszédságában. A töbrösűrűség alapján a Wettersteini F. kínálja a legked-

vezőbb feltételeket a dolinák képződéséhez, de feltehetően inkább a fejlődéstörténet befolyásolta erőteljesen a töbrös térszín kialakulását. Ezek alapján élesen elkülönültek azok a területek, ahol a sortöbrök kialakulását jelentős nem karsztos vízgyűjtő is segítette.

Sor került a nearest neighbour (legközelebbi szomszéd)-index bevezetésére, amely itt új értelmezést nyert, nevezetesen azt, hogy az 1-nél kisebb értékekhez nemcsak csoportos mintázat rendelhető, hanem soros síkbeli elrendeződés is. Mindez statisztikailag igazolta azt az elképzelést, mely szerint az Aggteleki-karszton a töbrök nem szabályos (rácsos), vagy teljesen véletlenszerű elhelyezkedést követnek, hanem meghatározó a sortöbrök aránya.

- Bárány-Kevei I.–Mezősi G.** 1993: New morphometrical parameters for explanation of karst development. – Acta Geogr. Szegediensis 31. pp. 27–33.
- Bárány I.–Mezősi G.** 1995: Ecological characteristics of doline types in Aggtelek Hills (N-Hungary). – Acta Geogr. Szegediensis 34. (Spec. Issue), pp. 135–146.
- Beck, R. K.–Borger, H.** 1999: Soils and relief of the Aggtelek (NE Hungary): a record of the ecological impact of palaeoweathering effects and human activity. – In: **Bárány-Kevei, I.–Gunn, J.** (ed.): Essays in the Ecology and Conservation of Karst. Acta Geogr. Szegediensis (Spec. Issue), pp. 13–30.
- Clark, P. J.–Evans, F. C.** 1954: Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. – Ecology, 35, pp. 445–453.
- Davis, J. C.** 1986: Statistics and Data Analysis in Geology. – John Wiley and Sons, New York, 640. p.
- Drake, J.–Ford, D. C.** 1972: The analysis of growth patterns of two generation populations: the example of karst sinkholes. – Canad. Geogr. 16. pp. 381–384.
- Drogue, C.–Bidaux, P.** 1992: Structural and hydrogeological origin of tower karst in southern China (Lijiang plain in the Guilin region). – Zeitschr. Geomorph. 36. 1. pp. 25–36.
- Dutkó A.** 2000: A Bükk dolináinak statisztikai elemzése. – Szakdolgozat, ELTE TTK, Budapest, Kézirat.
- Farsang A.–M. Tóth T.** 1993: Morphometric investigation of dolines in Bükk Mountains. – Acta Geogr. Szegediensis 31. pp. 53–60.
- Ford, D. C.–Williams, P. W.** 1989: Karst Geomorphology and Hydrology. – London, Unwin Hyman, 560 p.
- Hevesi A.** 1991: Magyarország karsztvidékeinek kialakulása és formakincse I–II. – Földr. Közl. 140. 12. pp. 25–35 és 140. 3–4. pp. 99–120.
- Jakucs L.** 1956: Adatok az Aggteleki hegység és barlangjainak morfogenetikájához. – Földr. Közl., 4. 1. pp. 25–35.
- Jakucs L.** 1971: A karsztok morfogenetikája. – Akadémiai Kiadó, Budapest, 310 p.
- Jaskó S.** 1933: Morfológiai megfigyelések és problémák a Gömör–Tornai karsztvidék délkeleti részében. – Földr. Közl., 61. 9–10. pp. 245–251.
- Kangning, X.** 1992: Morphometry and evolution of fenglin karst in the Shuicheng area, Western Guizhou, China. – Zeitschr. Geomorph. 36. 2. pp. 227–248.
- Kemmerly, P. R.** 1986: Exploring a contagion model for karst-terrace evolution. – Geol. Soc. of Am. Bull. 97. pp. 619–625.
- Keveiné Bárány I.–Mezősi G.** 1978: Adatok a karsztos dolinák talajökölógiai viszonyaihoz. – Földr. Ért. 27. 1. pp. 65–73.
- Keveiné Bárány I.** 1985: A karsztdolinák talajainak és növényzetének sajátosságai. – Földr. Ért. 34. 1. pp. 195–207.
- Knauer J.** 1996: Relation between morphology and rock-outcropping on some plateaus near Jósavfő (NE-Hungary). – Proceedings of the “Research, Conservation, Management” Conference, Aggtelek, Vol 2. pp. 209–219.
- Kósa A.** 1992: Nyolcvan év az Alsó-hegyen. (Még egy szó a zombolyokról). – Karszt és Barlang 1–2. pp. 9–14.
- Láng S.** 1955: Geomorfológiai tanulmányok az Aggteleki karsztvidéken. – Földr. Ért., 4. 1. pp. 1–17.
- Leél-Össy S.** 1953: Geomorfológiai és hidrológiai vizsgálatok a Szalonnai-karszton. – Földr. Ért. 2. pp. 323–335.
- Less Gy.–Grill J.–Gyuricza Gy.–Róth L.–Szentpétery I.** 1988: Az Aggtelek–Rudabányai-hegység fedetlen földtani térképe (M = 1:25 000). – MÁFI.
- Less, Gy.** 1998: Földtani felépítés. – In: **Baross G.** (szerk.): Az Aggteleki Nemzeti Park. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, pp. 26–66.
- Móga J.** 1998: Felszínalaktani megfigyelések a Gömör–Tornai-karszton. – PhD-értekezés, ELTE TTK, Budapest. Kézirat.
- Mezősi G.** 1984: A Sajó–Bódva köze felszínfejlődése. – Földr. Ért. 33. 3. pp. 181–205.
- Mills, H. H.–Starnes, D. D.** 1983: Sinkhole morphometry in a fluviokarst region: eastern Highland Rim, Tennessee, U.S.A. – Zeitschr. Geomorph. 27. 1. pp. 39–54.
- Ming, T.** 1992: Mathematical modelling of catchment morphology in the karst of Guizhou, China. – Zeitschr. Geomorph. 36. 1. pp. 37–51.
- Péntek K.–Veress M.–Szunyogh G.** 2000: Karsztos formák matematikai leírása függvényekkel. – Hidr. Közl. 80. 4. pp. 197–205.
- Sásdi L.** 1990: Az Aggtelek–Rudabányai-hegység karsztjának földtani fejlődéstörténete. – Karszt és Barlang 1. pp. 3–8.
- Sásdi L.** 1998: Vízföldtan és vízrajz. – In: **Baross G.** (szerk.): Az Aggteleki Nemzeti Park. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, pp. 118–159.

- Vincent, P. J.** 1987: Spatial dispersion of polygonal karst sinks. – *Zeitschr. Geomorph.* 31. 1. pp. 65–72.
- White, W. B.** 1988: *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains.* – Oxford University Press, 464 p.
- Williams, P. W.** 1971: Illustrating morphometric analysis of karst with examples from New Guinea. – *Zeitschr. Geomorph.* 15. 1. pp. 40–61.
- Zámbó L.** 1970: A vörösfagyok és a felszíni karsztosodás kapcsolata az Aggteleki-karszt délnyugati részén. – *Földr. Közl.* 18. 4. pp. 281–293.
- Zámbó L.** 1998a: Felszínalaktani jellemzés. – in: **Baross G.** (szerk.): *Az Aggteleki Nemzeti Park. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest*, pp. 70–96.
- Zámbó L.** 1998b: Az Aggteleki-karszt felszínalaktani jellemzése. – *Földr. Ért.* 47. 3. pp. 359–378.