

*KARSZTFEJLŐDÉS XX.*

Szombathely, 2015. pp. 125-144.

DOI: 10.17701/15.125-144

**NÉHÁNY TOVÁBBI ADAT A HAZAI KARSZT DOLINÁK ASZIMMETRIÁJÁNAK KIALAKULÁSÁHOZ****SOME ADDITIONAL DATA ON ASYMMETRY IN THE FORMATION OF HUNGARIAN KARST DOLINES**KEVEINÉ BÁRÁNY ILONA<sup>1</sup>–KISS MÁRTON<sup>1</sup>– NELIS, SIMON<sup>2</sup><sup>1</sup>SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem u. 2.  
[keveibar@geo.u-szeged.hu](mailto:keveibar@geo.u-szeged.hu), [Kiss.Marton@geo.u-szeged.hu](mailto:Kiss.Marton@geo.u-szeged.hu)<sup>2</sup>University of Auckland, Department of Geology, Level 1, Building 301,  
Science Centre 23, Symonds Street, Auckland, New Zealand,  
[s.nelis@auckland.ac.nz](mailto:s.nelis@auckland.ac.nz)

*Abstract: Morphometric analysis of dolines their role within the karst landscape has been the principle means of investigating in karst science. These investigations are of fundamental importance, providing information on the geomorphological evolution of an area and thus simulatene hypotheses regarding landform development. Our morfometric research into doline types was undertaken in the Aggtelek, Bükk and Mecsek Mountains. The research has shown that much variation exist between the three areas and that this can be related primarily to evolutionary stage. Doline formation corresponds well with the multigenerational diffusion and competition process model, where secondary dolines cluster around primary features. Doline evolution is characterised by lateral expansion, rather than deepening. As forms evolve, asymmetry increases, being greatest in Aggtelek Mountain and smallest in Mecsek Mountain. This can related to the karstecological system. Under standing the role of such features within landscape is of primary importance since they provide the main recharge sites for karst aquifers in study region and this highlights their importance in water quality.*

**Bevezetés**

CVIJIC (1893) a dolinákat a karsztok jellemző formáiként írta le mind a fedett, mind a fedetlen karsztokon. Ma a mérsékeltövi területeken a karsztok vezérformáinak tartjuk azokat. A gyakorlatban a dolinák a karsztvízrendszer feltöltődési pontjai, így igen fontos helyei a vízutánpótlásnak, de a vízminőség esetleges változásainak is. Jelentős szerepet játszanak a karsztok fejlődésében, morfometriai vizsgálatuk választ adhat a karsztos területek fejlődésének néhány kérdésére is.

Munkánk fő gondolata az „*aggteleki típusú*” karsztterületek dolina-morfometriai jellemzőinek összehasonlító értékelése volt. Vizsgáltuk a dolinák orientációját, megnyúlási és relief-arányát, dolinasűrűségét, területi eloszlását, különös figyelmet fordítva a dolinák szimmetria-viszonyaira. Korábbi vizsgálataink kimutatták, hogy a mikroklima, talaj és növényzet, mint

a legfontosabb ökológiai tényezők, jelentősen hozzájárulnak a dolinák aszimmetriájának kialakulásához. Jelen vizsgálatunkkal ezt a megállapítást kívánjuk további morfológiai adatokkal megerősíteni. Az összehasonlító értékelés rámutat arra is, hogy a genetikailag azonos típusú karsztokon eltérő dolinatípusok alakulnak ki, s morfológiai fejlődésük különböző stádiumban van.

### **Kutatási előzmények**

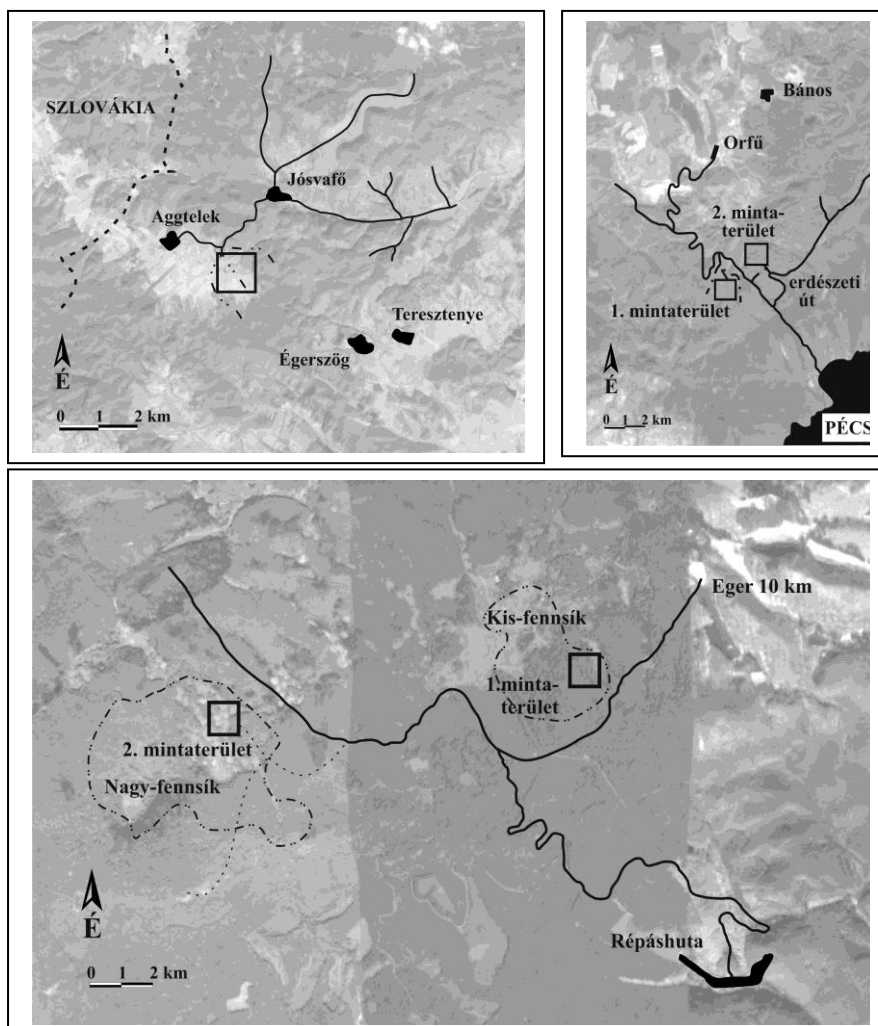
A dolinák morfológiai vizsgálatának kezdeti időszakában a kutatások a dolinák kialakulását a barlangi mennyezet beszakadásával magyarázták. A különböző klimatikus zónák topográfiai térképeinek felhasználásával először *CRAMER* (1941) különböztette meg genetikai alapon az oldásos és beszakadásos dolinákat. A korai kutatásokat azonban hosszú időn keresztül nem követte a dolinák további részletes vizsgálata. *COLEMAN –BALCHIN* (1959) az 50-es években angliai karszton vizsgálták a felszíni depressziók fejlődését, és javasolták azok morfológiai vizsgálatát. *HACK* (1960) már légifotók alapján értékelte az amerikai Shenandoah völgyben a dolinasűrűséget. *LA VALLE* (1968) később a kőzet karszteróziós rendszerének figyelembevételével kezdte meg a dolinák morfológiai vizsgálatát. *WILLIAMS* (1972), és *FORD–WILLIAMS* (1989) már megkülönböztették a beszakadásos, oldásos, utánsüllyedésszerű, és szuffóziós dolinákat, és a trópusi karsztok morfológiai értékelését végezték el. A legközelebbi szomszéd analízissel *WILLIAMS* (1972) kimutatta, hogy a dolinák eloszlása nem véletlenül egyenletes a karsztok bizonyos területein. Dolina-irányultsági (orientációs) vizsgálataik során arra a következtetésre jutott, hogy a dolinák irányultsága harmonizál a regionális tektonikai hatásokkal. *DAY* (1976) az irányultságot a fő törési zónák elhelyezkedésével hozta kapcsolatba. A 1980-90-es években *MEZŐSI et al.* (1978), *CASTIGLIONI* (1991), *BÁRÁNY–MEZŐSI* (1991), *BONDENSAN et al.* (1992), *FARSANG – M. TÓTH* (1993), *SUSTERCIC* (1994), *HOYK* (1999) foglalkoztak, más-más megközelítéssel, különböző területeken a dolinák morfológiai elemzésével. A 2000-es években *TELBISZ et al.* (2007, 2009a), *VERESS* (2012), *BASSO et al.* (2013), *RAMSEY* (2015) folytatták ezeket a vizsgálatokat. Eredményeik napjainkban is fontos információt nyújtanak a különböző ökozónák karsztfelszíni folyamatainak megértéséhez.

Kezdeti morfológiai kutatásaink (*MEZŐSI et al.* 1978, *KEVEINÉ BÁRÁNY – MEZŐSI* 1978, *BÁRÁNY-KEVEI – FARSANG* 1992) során aggteleki és bükki sordolinákban határoztuk meg a legfontosabb dolinaparamétereket (azimut, mélység, átmérő, átmérő+90°, átlagos átmérő, térfogat, meg-

nyúlási ráta, relief arány, terület, terület/kerület arány). Az aggteleki sordolináknál kisebb (11-13/km<sup>2</sup>), a plató dolináknál dolomiton nagyobb (32-36/km<sup>2</sup>), mészkövön kisebb (7-9/km<sup>2</sup>) dolinasűrűséget találtunk. A vizsgált karsztfelszínének 23%-át a sordolinák, több mint 30%-át a platódolinák foglalták el.

A bükki dolinák terület/kerület arányát viszonyítottuk a mélységhez. Az aszimmetria meghatározásához a lejtő teljes hosszát vetettük össze a kardinális pontok irányainak a hosszával, s megállapítottuk, hogy az irányultság K-Ny-i komponense a Bükkben általában nagyobb, mint Aggteleken. *FARSANG – M.TÓTH* (1993) matematikai-statisztikai módszerekkel vizsgálták a bükki dolinákat, és kimutatták, hogy a dolinák eredeti alakja jól reprezentálja a paraméterek térbeli változását. Vizsgálták a tektonikai, közzetani, ökológiai és morfológiai paraméterek szerepét a dolinafejlődésben. *HOYK* (2002) az abaligeti és orfői karszton végzett kutatások alapján állapította meg, hogy a sordolinák általában kisméretűek. A Szuadó-völgytől keletre viszont nagy mélységű dolinákat talált, amelyek megnyúlási és reliefaránya viszonylag kicsi. Legközelebbi szomszéd vizsgálatai nagy dolinasűrűséget mutattak ki (átlagos sűrűség 110/km<sup>2</sup>) a területen. *LIPPMANN et al.* (2008) ugyancsak az abaligeti és orfői karszt területén végeztek morfometriai analízist, és megállapították, hogy a fiatal dolinák irányítottsága a szerkezeti vonalakhoz és a völgyhálózatához igazodik. Megkülönböztették a nagyméretű összeolvadó-, az egyedi-mély-körkörös- és a kisméretű völgyi dolinákat. *TELBISZ et al.* (2009b) a Pelsőci-fennsíkon végzett kutatásaik alapján rámutattak arra, hogy itt a dolinák jellemzőit a közzetani adottság határozza meg elsősorban. A fedett karsztos területen a lefolyási irányoknak tulajdonítottak nagy szerepet a morfometriai jellemzők kialakulásában, de a hossz tengelyek és a törésvonalak irányai között nem találtak kapcsolatot. *SÜMEGI et al.* (2012) ugyancsak az aggteleki karszt dolináinak (Jósvafői-fennsík) morfometriai vizsgálatát végezték el, és megállapították, hogy a szülő-leány dolina elterjedési modell a bokorszerűen, azaz csoportosan elhelyezkedő dolinák elterjedés vizsgálatára alkalmas.

Jelen tanulmányunkban a fenti három, külön-külön jól megkutatott hazai karsztterület (aggteleki, bükki, mecseki) dolináinak (*1. ábra*) összehasonlító morfometriai elemzését mutatjuk be, különös tekintettel az aszimmetrikus dolinafejlődésre.

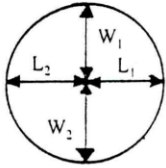
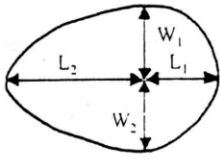
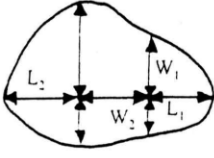


1. ábra. A vizsgált dolinák elhelyezkedése  
 Fig. 1. Location of the studied dolines

## Módszerek

A dolinák terepi felmérése térképi beazonosítás után, teodolittal történt (távolság- és mélységmérés), klinométerrel a lejtőszöget (a lejtő alján, közepén és felső részén), Silva Ranger kompasszal az orientációt mértük. Minden felvételi helyen 3 mérést végeztünk, s ezek átlagát használtuk fel az értékelésben. A kartográfiai elemzés során 1:10000 méretű térképet használtunk, 1mm pontossággal határoztuk meg a dolinák hossz tengelyét és a szé-

lességét, majd kiszámítottuk a hosszúság és szélesség arányát, s ebből az aszimmetriát. A dolinák morfolometriai paramétereit között alapadatoknak tekinthetők a hosszútengely, szélesség és mélység adatai. Ezek meghatározása az alábbi ábrán látható mérések alapján történt (2. ábra).

		
$L_1 = L_2$ $W_1 = W_2$ $W_1 + W_2 = \text{Max. } W$ $L_1/L_2 = 1 = R_l$ $W_1/W_2 = 1 = R_w$ $R_l * R_w = P_s = 1$ $\Sigma L/\text{Max. } W = 1 = R_{lw}$	$L_1 \neq L_2$ $W_1 = W_2$ $W_1 + W_2 = \text{Max. } W$ $L_1/L_2 = 2 = R_l$ $W_1/W_2 = 1 = R_w$ $R_l * R_w = P_s = 2$ $\Sigma L/\text{Max. } W = 1.5 = R_{lw}$	$L_1 \neq L_2$ $W_1 \neq W_2$ $W_1 + W_2 = \text{Max. } W$ $L_1/L_2 = 2 = R_l$ $W_1/W_2 = 2 = R_w$ $R_l * R_w = P_s = 4$ $\Sigma L/\text{Max. } W = 1.5 = R_{lw}$

2. ábra. A morfolometriai paraméterek meghatározása:  $L$ =hosszúság;  $W$ =szélesség;  $R_l(L_1/L_2)$ = hosszúsági arány;  $R_w(W_1/W_2)$ =szélességi arány;  $R_{lw}(\Sigma L/\text{Max. } W)$ =megnyúlási arány;  $P_s(R_l * R_w)$ =szimmetria értéke.

Fig. 2. Determination of morphometric parameters:  $L$ =length;  $W$ =width;  $R_l(L_1/L_2)$ = length ratios;  $R_w(W_1/W_2)$ =width ratios;  $R_{lw}(\Sigma L/\text{Max. } W)$ =elongation ratios;  $P_s(R_l * R_w)$ =product of symmetry..

## Eredmények megvitatása

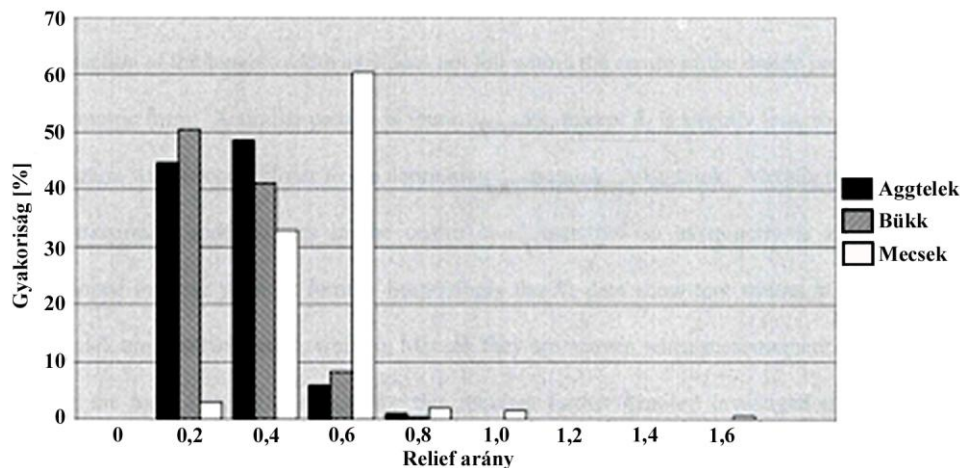
A fenti módszerrel meghatározott adatok segítségével kiszámítottuk a három terület dolináinak átlagos paramétereit (1. táblázat). A vizsgált dolinák átlagos hosszúsága, szélessége és mélysége Aggteleken a legnagyobb, a Mecsekben a legkisebb. A bükk-i dolinák nagyobbak, mint a mecsekiek, de kisebbek, mint az aggtelekiek.

I.táblázat.  
Table I.

A dolinák átlagos hosszúságának, szélességének, és mélységének összegző statisztikai adatai  
Summary statistic data of doline length, width and depth.

Hely	Hosszúság (m)	Szélesség (m)	Mélység (m)
Aggtelek	116,38	78,02	15,99
Bükk	70,65	48,21	9,69
Mecsek	35,36	29,72	11,13

A dolinák fontos mutatója a *relief arány* ( $R_r$ ), amit a mélység/átmérő adatával adtuk meg. A relief arány Aggteleken és a Bükkben kisebb, mint a Mecsekben. A Bükkben és Aggteleken gyakori a dolinaalapon végbemenő korrózió, ami csökkenti a relief arányt. Ez azt eredményezi, hogy ezen a két területen a reliefarány hasonló nagyságrendű, és a keresztmetszeti profil szinte azonos. A Mecsekben általában nagyobb a dolina oldalak lejtőszöge (20-25°), a Bükkben és Aggteleken lankásabb oldallejtők alakultak ki (10-15°). A számított adatok alapján a relief arány a három régióban különböző (3. ábra).



3. ábra. A bükki-, aggteleki- és mecseki dolinák relief arány gyakoriságának összehasonlítása  
Fig. 3. Comparison of the percentage distribution of relief ratios of dolines in Aggtelek-, Bükk- and Mecsek Mountains

A 0,2 relief arány az aggteleki és bükki dolinák 40-50%-ára jellemző, a Mecsekben viszont csak a dolinák 5%-ánál figyelhető meg ez az arány. A 0,4-es kategóriában szintén hasonló a bükki és aggteleki dolinák adata, azonban a mecseki dolinának 30%-a már ebbe a kategóriába sorolható. Nagy különbség mutatkozik a 0,6-os reliefarány esetén, itt találjuk a mecseki dolinák 60%-át, az aggteleki- és bükki dolinának csak 10 %-a

sorolható ebbe a kategóriába. A relief arány csak a mecseki dolinák esetében emelkedett 1,0 érték fölé, ami azt igazolja, hogy itt a dolinák alakja tölcseesebb, mint Aggteleken és a Bükkben. Az 1,6-os reliefarány már arra utal, hogy a Mecsekben erőteljesebb a mélyülés, mint az oldalirányú szélesedés.

A belső szimmetria jellemzője, a megnyúlási arány a depresszió hosszanti arányával ( $R_l$ ), szélességi arányával ( $R_w$ ) és a hosszúság/szélességi arányával ( $R_{lw}$ ) fejezhető ki (II. táblázat).

II. táblázat  
Table II.

A dolinák megnyúlási arányának átlagos értékei  
Average elongation ratios of dolines.

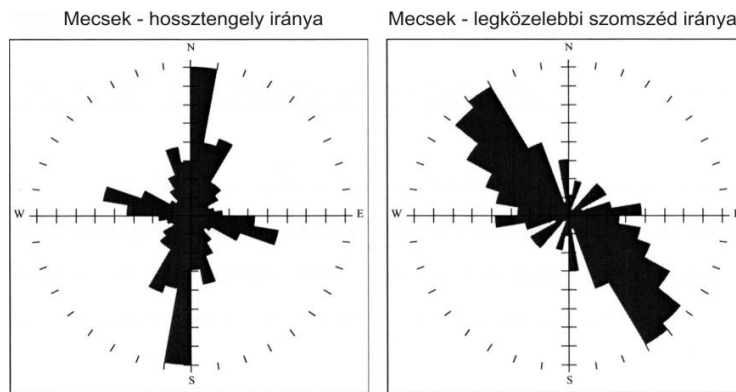
Mérési hely	Hosszúsági Arány ( $R_l$ )	Szélességi arány ( $R_w$ )	Megnyúlási arány ( $R_{lw}$ )
Aggtelek	1,93	1,18	1,63
Bükk	1,56	1,11	1,53
Mecsek	1,12	1,33	1,22

A belső asszimmetria Aggteleken a legnagyobb, ami azt jelenti, hogy a legnagyobb szélesség tengelye nem megy át a dolina közepén, s ez asszimmetrikus formát hoz létre. Hasonló a helyzet a Bükkben (bár itt az  $R_l$  valamivel kisebb), a mintázat azt mutatja, hogy a maximális szélesség itt a depresszió centrumához közelebb van, mint Aggteleken. A Mecsek arányszámait azt mutatják, hogy az asszimmetria még nem fejlődött ki ezekben a fiatal formákban. Meglepő az  $R_w$  adatok alakulása, amelyek Aggteleken és a Bükkben hasonlóak, a hosszúsági arány ( $R_l$ ) értékei azonban eltérnek. A mecseki dolinák mindkét arányt tekintve különböznek az aggteleki és bükki dolináktól. A jelenség magyarázata az, hogy ezekben a dolinákban az oldalirányú szélesedés még nem indult meg. Az  $R_{lw}$  értékek is igazolják a fenti állítást, miszerint a mecseki dolinákban ( $R_{lw}=1,22$ ) a körszerű forma a domináns. A bükki- és aggteleki dolinákban ezek az adatok asszimmetrikusabb formát jeleznek ( $R_{lw}=1,53; 1,63$ ).

A dolinák orientációjának meghatározása a dolinák leghosszabb átmérőjének orientációja alapján történt, de a topográfiai helyzet megítéléséhez a legközelebbi szomszéd orientációját is vizsgáltuk (milyen irányban helyezkedik el a vizsgált dolinához legközelebbi dolina). Az adatokat 10 fokos osztályokba osztottuk és 360 fokos rózsadiagramban ábráztuk. A diagramok a domináns topográfiai trendeket mutatják.

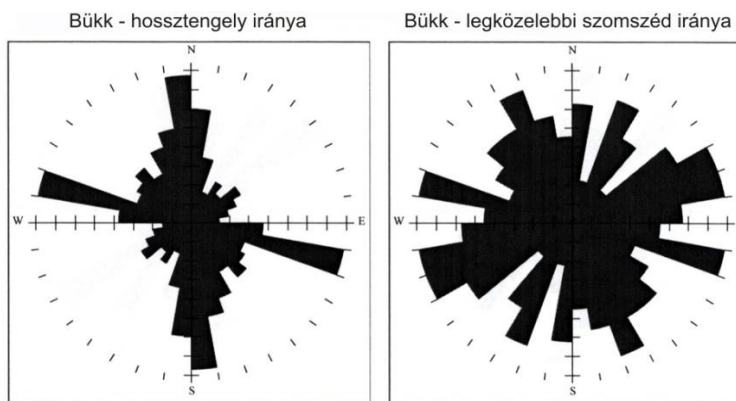
A mecseki dolinák leghosszabb tengelyének és a legközelebbi szomszédnak az orientációját vizsgálva a rózsadiagramok (4. ábra) azt mutatják,

hogy itt a dolinák hosszabb tengelye igazodik a topográfiához. A fő orientációs csúcs az É-D-i mintázatban fordul elő, kisebb másodlagos csúcs mutatható ki NYÉNY és KDK mintázatban. A dolinák orientációját itt a tektonikai szerkezet és a szárazvölgyek elhelyezkedése kontrollálja. A nagyobb formák É-D-i mintázatú törések mentén, a kis dolinák (30 m-nél kisebbek) viszont a NYÉNY-KDK irányú törésvonal (Kapos-törésvonal) mentén helyezkednek el.



4. ábra. A mecseki dolinák hosszanti tengelyének és a legközelebbi szomszédnak iránya (kétirányú rózsadiagram, 238 és 146 mérőpont)

Fig. 4. The long axis and the nearest neighbour orientation of dolines in Mecsek Mountains (Hungary) (bi-directional rose diagram, total data points 238 and 146)



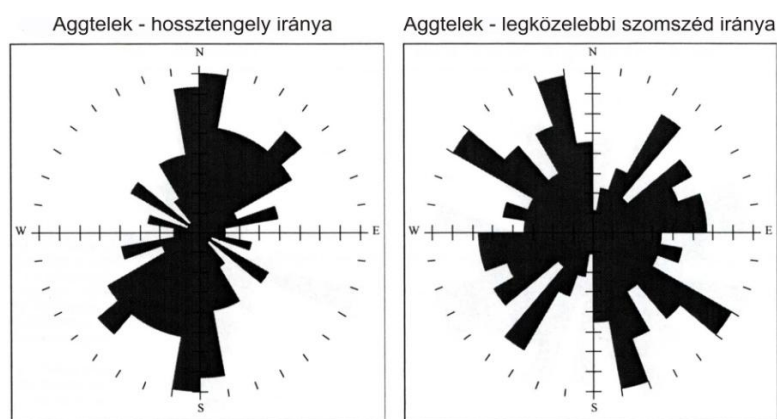
5. ábra. A bükki dolinák hosszanti tengelyének és a legközelebbi szomszédnak az iránya (kétirányú rózsadiagram, 266 és 176 mérőpont).

Fig. 5. The long axis and the nearest neighbour orientation of dolines in Bükk Mountains (Hungary) (bi-directional rose diagram, total data points 266 and 176)



A Bükkben, a krétában a K-NY irányú orogén mozgások NYÉNY-KDK irányba fordultak, s a Nagy-fennsík fő tektonikai antiklinálisához kapcsolódtak. Az északi rátolódást jelzi az ÉÉNY- DDK orientáció (5. ábra). Fiatal törések is befolyásolták a dolinák irányát a Bükkben. A miocénben erős kompresszió nyíró ereje É-D trendet eredményezett, néhány idős törési sík is felújult ebben a fázisban.

Aggteleken két fő deformációs esemény hatott, az első a késő jurában és a korai krétában fordult elő, ami a takaró rendszer megváltozását hozta. A második fázis az oligocéntól a középső miocénig zajlott. Az aggteleki dolinák rózsadiagramjai (6. ábra) nagyobb szórást mutatnak az É-D és NYDNY-KÉK irány között, bár az orientáció csúcsok itt kisebbek.



6. ábra. Az aggteleki dolinák hosszanti tengelyének és a legközelebbi szomszédnak az iránya (kétirányú rózsadiagram, 105 és 74 mérőpont).

Fig. 6. The long axis and the nearest neighbour orientation of dolines in Aggtelek Mountains (Hungary) (bidirectional rose diagram, total data points 105 and 74)

Az irányultság (orientáció) mérésére minden dolinánál elvégeztük a legközelebbi szomszéd analízist. A legközelebbi szomszéd diagramokat úgy készítettük el, hogy azokat a dolinák előfordulásához igazítottuk. Az aggteleki és bükki adatok nem mutattak kedvezményezett irányultságot, véletlenszerű irány eloszlásban jelentek meg. A mecseki dolinánál a legközelebbi szomszéd vizsgálata alapján, az orientáció igazodik az É-Ny-DK-i irányhoz.

A továbbiakban megvizsgáltuk, hogy a különböző méretű dolinák iránya morfológiai szempontból előre jelzett volt-e a vizsgált területeken, ami utalhat a dolinafejlődésre. A vizsgálatok alapján a dolinákat két csoportba osztottuk. Az egyik csoportot a nagyobb átlagos tengelyhosszúságú, a másik csoportot az átlagosnál kisebb tengelyhosszúságú dolinák képezték. Sajátos eltéréseket figyeltünk meg a különböző méretű dolinák irányultságában. Aggteleken csak kis különbség észlelhető mérettartományok szerint,

a 116 méternél kisebb hossz tengelyű dolináknál némileg erősebb É-D-i és NYÉNY-KÉK-i irányultság figyelhető meg. A Bükkben a 70 m-nél nagyobb hossz tengelyű dolinában erős É-D-i irányultság mellett, kismértékű másodlagos irány a KÉK és NYDNY volt. A 70m-nél kisebb hossz tengelyű dolinákban a fő tendencia a NYÉNY és KDK-i irány volt, itt másodlagosan jelentkezett az É-D irányultság. Ez a vizsgálat itt nem mutatott morfológiai meghatározottságot. A mecseki dolinákat viszont erős morfológiai meghatározottság jellemezte. 30m-nél nagyobb hossz tengely esetén É-D irányultság volt a fő irány, csak néhány dolina mutatott ettől 15 fokos eltérést. A 30 m-nél rövidebb hossz tengelyű dolináknál a fő irányultság NYÉNY és KDK volt, ami kiegészült néhány É-D orientációval.

Azok a korábbi megállapítások, amelyek szerint a szárazvölgyekhez igazodnak a dolinák fő irányai (*FERMOR 1972, JAKUCS 1977, PALMQUIST 1979, BÁRÁNY-KEVEI – MEZŐSI 1991*) nem minden esetben igazolódtak ez utóbbi vizsgálatainkkal. Különösen igaz ez az aggteleki dolinákra, ahol a szárazvölgy fő iránya, úgy tűnik, nincs jelentős hatással a dolina leghosszabb tengelyének irányára. A bükki dolinák esetén a szárazvölgy É-D-i és K-NY-i irányai visszatükröződnek a vizsgált dolinák leghosszabb tengelyeinek irányultságában. Legerősebb kapcsolat a szárazvölgyek és a dolinák hossz tengelyének iránya között a mecseki dolinákban figyelhető meg.

A dolina sűrűség vizsgálatok azt a kérdést kívánták megválaszolni, hogy minden dolina azonos csoporthoz tartozik-e, vagy több jellemző csoport különböztethető meg. A területi eloszlás értékelése a karsztos táj genetikájára is utalhat. Mindhárom területen két alcsoportot különíthetünk el, ami jelzi, hogy az elsődleges dolinákból alakulnak ki a kisebb, másodlagos dolinák. Mindhárom területen kétféle sűrűség típust találtunk. Aggteleken az egyik csoport  $<6$  dolina/km<sup>2</sup> sűrűségű, a második csoport sűrűsége 14/km<sup>2</sup> volt. A Bükkben hasonló a dolinasűrűség megoszlása az aggtelekivel, a Mecsekben sokkal magasabb dolinasűrűséget találtunk (26/km<sup>2</sup> és 38/km<sup>2</sup>). Ez a mintázat azt mutatja, hogy az elsődleges nagy dolinák sűrűsége kisebb, mint a kis dolináké.

A Bükkben és Aggteleken a dolinasűrűség a legközelebbi szomszéd távolságának növekedésével nő, és bár a sűrűség nagy, a dolinák eloszlása a jelenlegi geomorfológiai folyamatok eredménye. A Mecsekben, ahol a dolinák kisebbek, a depressziók közötti távolság szempontjából a geomorfológiai folyamatok hatása még nem jelentős, ezért itt fontos különbséget tenni a szülő és a leány dolina között (*KEMMERLY 1982*). Ebben az esetben a felszín alatt a dolinák fejlett hidrológiai üreghálózattal rendelkeznek. A legközelebbi szomszéd analízis statisztikái alapján a dolinák eloszlása általában a

*csoportos* eloszláshoz közelít. Úgy tűnik, hogy a dolina együttesek a Bükkben és Aggteleken az MDCP (multigenerációs és kompetitív folyamatok) modell szerint fejlődnek. Valójában a kisebb depressziók megakadályozzák a nagy depressziók hidraulikus gradienseinek kialakulását, és csökkenthetik az átlagos legközelebbi szomszéd távolságait. Alternatív magyarázat lehet, hogy a dolinák fejlődése úgy ment végbe, hogy folytatódott az oldás, ami a nagy forma beszakadásával segítette a kis dolina létrejöttét, s ez egy bizonyos pontig hatott mind a távolság, mind a sűrűség növekedésére. Valójában a kisebb dolinák megelőzhatték a hidraulikus gradiensek kialakulását, a nagyobb dolinák határán csökkent a kisebb dolinák kialakulásának lehetősége, ami csökkentette az átlagos legközelebbi szomszéd távolságát.

Annak tisztázására, hogy mely geomorfológiai folyamat határozza meg a dolina fejlődését a három területen, megvizsgáltuk a dolinák hossza, szélessége és mélysége közötti kapcsolatot egyszerű regressziós vizsgálattal. Csak a 0,5 fölötti értékek mutattak korrelációs kapcsolatot (5% szignifikanciaszinten). A regressziós vizsgálat alapján egyértelművé vált, hogy a hosszúság mindenütt nő a szélességgel. A mecseki dolináknál ez a kapcsolat erősebb ( $R^2=0,92$ ), az aggteleki dolináknál még szoros ( $R^2=0,76$ ), a bükki együtthető mutatja a legkevésbé szoros kapcsolatot ( $R^2=0,67$ ). Ebből az következik, hogy a mecseki dolinák közelítik leginkább a köralakot, ami a mecseki regressziós egyenletből világosan látható:

$$y = 0,8451x + 0,1446$$

A hosszúság és mélység, valamint a szélesség és mélység kapcsolata nem olyan szoros, mint a hosszúság és szélesség kapcsolata. Pl. a bükki dolinák  $R^2$  értéke (a hosszúság/mélység és a szélesség/mélység aránya) 0,38 és 0,44. Ez azt jelenti, hogy a bükki dolinák tálalakú formához közelítenek, relatíve sekély mélységgel, a hosszúsághoz és szélességhez viszonyítva (a Soros töbor területe volt az egyik vizsgálati terület). Az aggteleki dolináknál nem szoros a kapcsolat a mélységgel, ami arra utal, hogy ha elér egy küszöböt a lejtőkorrózió, a dolina aljára tevődik át az intenzív korrózió. A mecseki dolináknál szoros a korreláció az L/D ( $R^2=0,78$ ) és a W/D ( $R^2=0,81$ ) esetén (L/D=hosszúság/átmérő, W/D=szélesség/átmérő), a mészkőoldás mindkét lejtőoldalon és a dolina alján nagyjából egyenlő. Ez a dolinák fiatalságát jelzi az aggteleki és bükki dolinákhoz viszonyítva.

A legközelebbi szomszéd analízis segítségével közelebb juthattunk a dolinaeloszlás és a morfológiai adottság közötti kapcsolat megértéséhez. Az elemzés az aggteleki és bükki dolinák esetében nem mutatott szignifikáns igazodásos mintázatot. A korróziós folyamatok erősebbek a völgy alján,

mint a lejtőkön, mivel a völgy alján az akkumulálódó üledék, vagy talaj fel-erősíti a korrózió aktivitását. A korrózió az idők folyamán növelte a dolina szélesedését és mélyülését, amit korábban az eredeti geomorfológia elsődleges eróziója irányított.

A Mecsekben a legközelebbi szomszéd vektorának tendenciája NYÉNY-KDK. Ez arra utal, hogy itt pontszerű az igazodás a korábbi geomorfológiai hatásokhoz (ezek a dolinák fiatalabb morfológiai egységek, mint a bükki, vagy aggteleki dolinák). A formák kialakulása még nem független az előzetes morfológiai meghatározottságtól. A kis depressziók elrendeződése a szerkezeti hatások nyomait hordozza.

A legközelebbi szomszéd vizsgálatok adatai azt jelzik, hogy minden karszton inkább csoportos (klaszteres), kevésbé véletlenszerű (random) a dolinák eloszlása. Ez két dolinafejlődési modellel értelmezhető. A véletlenszerű eloszlás modell (MIRP) képviselői szerint a beszakadásos és oldódásos modell térben keveredik, ezért véletlenszerű folyamatok zajlanak. Ezeket a folyamatokat valószínűleg a felszíni lefolyás generálja. A másik alternatív modell a *LA VALLE* (1968) alapján kidolgozott több generációs szétterjedés és a geomorfológiai folyamat modell (MDCP). Ez utóbbi modell szerint, az elsődleges dolinák megnyúlnak az oldás révén a depresszió hatásánál, mivel növekszik a vízvezetés a felszín alatti járatokban is (*FORD* 1964), és a növekvő karsztvíz-mennyiség az üledéket elszállítja az elsődleges dolina felé. Ezzel elindul a másodlagos dolina kialakulása. Ennek az a feltétele, hogy az elsődleges és másodlagos dolinák a felszín alatt hidrológiai kapcsolatban legyenek.

A legközelebbi szomszéd analízise adatokkal szolgál a dolinák eloszlásvizsgálatához is. Ezt a módszert 1954-ben *CLARK* és *EVANS* alapozta meg, majd *DAY* (1983) használta a dolinák térbeli elhelyezkedésének vizsgálata céljából. Egy területen a dolinák számát ( $N_{cd}$ ), sűrűségét ( $D_{cd}$ ), valamint az egyes dolinák közötti távolságot, illetve a legközelebbi szomszédától való távolságot ( $L_a$ ) határoztuk meg. A várható átlagos távolság ( $E_d$ ) végtelesen nagyszámú dolina esetén, azonos sűrűséggel számolva, az alábbi formula szerint írható le:

$$E_d = 0,5 A/N + 0,0514 P/N + 0,041 P/N^{3/2}$$

ahol az  $N$ =a mért pontok száma;  $A$ =a terület; a  $P$ =a kerület.

A dolinaeloszlás kifejezhető az  $L_a/E_d$  aránnyal, aminek az *eredője az R*. Az  $R$  értékei a 0-tól az 1-ig a térbeli eloszlás maximális csoportosulást, 1-től véletlenszerű eloszlást, 2,149 esetén már az egyenletes eloszlást jelzik a

mintázatban. Kiindulva a véletlenszerű eloszlásból, tesztelhető a normál görbe eltérése az alábbiak szerint:

$$C = (E_d - L_a) / d$$

ahol  $d$  = a távolságértékek szórását leíró tényező.

Az aggteleki dolinák legközelebbi szomszéd analízise  $1 \text{ km}^2$  területre terjedt ki. A  $P$  (kerület) értékek alapján (5% szignifikancia szinten), kevés kapcsolatot találtunk a legközelebbi szomszéd távolság és a várható közepes távolság értékei között. A legközelebbi szomszéd ( $L_a$ ) és a közepes távolság ( $E_d$ ) közötti nagyobb különbség valószínűsége véletlenszerű, és lényegesen kisebb, mint 0,05. Ez azt jelzi, hogy az eloszlás közelít a csoportos (klaszteres) eloszláshoz. Egyik aggteleki részterület sem mutat random eloszlást, bár 4 esetben szemi-random eloszlás állapítható meg. Ahol az  $L_a$  kisebb, mint az  $E_d$ , ott a klaszteres eloszlás feltételezhető.

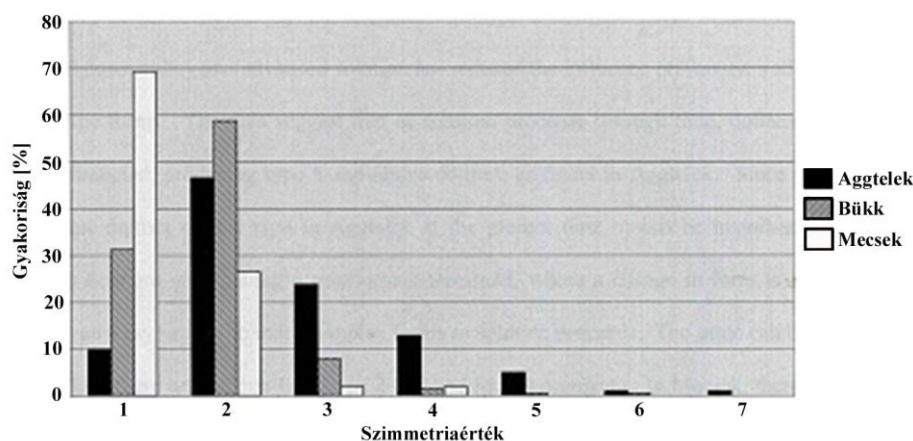
A Bükk hegység  $1 \text{ km}^2$ -es területét vizsgálva, legtöbb esetben a  $P$  értéke 0,05-nél nagyobb volt, ez kis egyezést mutatott a legközelebbi szomszéd távolságának várt és aktuális értékével, ami a dolinák csoportos eloszlását jelzi. Az  $R$  érték 0,21-1,14 tartománya, 0,66-os középértékkel és 0,23-as szórással, arra utal, hogy a területi eloszlások tartománya a klaszter és a random között van. Összességében, az  $R$ -érték az erős csoportos eloszlást mutatja, ami nem meglepő, mivel a bükki vizsgált dolinák szárazvölgyben helyezkednek el.

A Mecsek hegységben az  $R$ -értékek adatainak tartománya a csoportostól a véletlenszerűhöz közelít (0,32-0,84 között), a szórás 0,22. A legközelebbi szomszéd eredőinek (vektor) hosszait összehasonlítva, az átlagos dolinahosszal és a dolinasűrűséggel, megvizsgáltuk azt a hipotézist, hogy a kisebb dolinákhoz kisebb legközelebbi szomszéd távolságok tartoznak-e, ami a nagyobb sűrűség következménye. Csak kevés szignifikáns kapcsolatot találtunk, 5%-os szinten.

Az aggteleki és bükki dolinák  $R^2$ -értékei azt jelzik, hogy nincs szignifikáns kapcsolat a dolina hosszúsága és a legközelebbi szomszéd távolsága ( $R^2=0,007$  és  $0,104$ ) között. A Mecsekben a kapcsolat 6 ponton szignifikáns ( $R^2=0,5$ ), a legközelebbi szomszéd távolságának növekedését a dolina hossz tengelyének a növekedése követi.

Az aggteleki- és bükki dolina sűrűség, és a legközelebbi szomszéd távolsága szignifikáns kapcsolatot mutat ( $R^2=0,56$  és  $0,45$ ), a Mecsekben azonban nincs szignifikáns kapcsolat a dolinasűrűség és a legközelebbi szomszéd távolsága között ( $R^2=0,04$ ). A legközelebbi szomszéd indexek

analízise igazolta a Bükk- és Aggtelek-hegységben, hogy a dolinaelterjedés a szárazvölgyekkel kapcsolatban van, míg a Mecsekben ez a hatás nem jelenik meg.



7. ábra. A dolina szimmetria összehasonlító értékei a vizsgált területeken  
 Fig. 7. Comparison of product of doline symmetry in the investigated areas.

A dolinák többsége aszimmetrikus, az aszimmetria kifejezettebb a Bükkben és Aggteleken, ami valószínűleg a fejlődési állapot következménye. Felértékelődik azonban itt az aszimmetria kialakulásának mechanizmusa, ha meg akarjuk érteni a dolinafejlődést. Lényegében az aszimmetriát a mikroklíma, a vegetáció és a talajhatás okozza, amit a karsztökölógiai rendszer folyamataival érthetünk meg (BÁRÁNY-KEVEI 1987a, 1987b, 1992, 1998a, 1998b, 1999, 2007). A mikroklíma szélsőséges a nyílt dolinákban, a déli kitétségű (expozíciójú) lejtő nappali hőmérséklete 4-5°C-kal magasabb, mint az északra néző déli lejtőé. A kelet-nyugati transzektben a besugárzás értékei napközben időben térnek el, a keletre néző nyugati lejtőn 9-10 óra között legmagasabb a hőmérséklet, a nyugatra néző (nyugati expozíció) keleti lejtőn a legmagasabb hőmérsékletek 13-15 óra között mérhetők. Éjszaka hideg légtö alakul ki a dolinákban, nyáron (augusztus hónapban) -4°C-ot is mértünk a Bükk-fennsík dolináiban (KEVEINÉ BÁRÁNY 2011). A hőmérséklet járása az aggteleki- és bükki dolinák esetén szélsőségesebb volt, mint a mecseki dolinákban. Mindez azt eredményezi, hogy a biológiai aktivitás (mind a talaj mikrobiális aktivitása, mind a növényzet összetétele) eltérő a különböző lejtőkön, ennek következtében a korrózió intenzitása is különböző az eltérő égtáji kitétségeken. Ez végeredményben lankásabb lejtő kialakulását teszi lehetővé a délre néző lejtőkön, szemben az északra néző lejtőkkel, ahol meredekebb lejtők alakulnak ki, ami az aszimmetria kialakulá-

sához vezet. A nagyobb dolináknál a folyamat összetettebb (pl. Aggteleken), itt már megkezdődött a szélesedést eredményező oldási folyamat. A Bükk esetén is magas szintű az aszimmetria.

A szimmetrikus forma ( $P_s$ ) kialakulásának értelmezését bővíthetjük a dolinák teljes felszínének vizsgálatával. Ha az  $R_{lx}$   $R_w$  érték 1, akkor teljesen szimmetrikus a forma, az ennél magasabb értékek (növekvő mértékű) aszimmetriát jeleznek. Az alábbi ábra (7. ábra) mutatja a három vizsgált terület összehasonlító szimmetria értékeit:

Az 1-es típushoz (szimmetrikus) sorolható a mecseki dolinák 70%-a, a bükki dolinák 30%-a és az aggteleki dolinák 10 %-a. A 2.-es típushoz (ez már aszimmetria) a Bükkben a dolinák 59%-a, a Mecsekben 26%-a sorolható. A 3-as vagy >3 típusok az aggteleki dolináknál már jelzik, hogy azok geomorfológiai szempontból jobban fejlettek, mint a bükki vagy mecseki dolinák, itt találjuk a legtöbb aszimmetrikus dolinát. A Bükkben kevesebb az aszimmetrikusnak minősülő dolina, mint a Mecsekben, ami azért meglepő, mert összességében fiatalabb dolinák vannak a Mecsekben. Valószínűleg a helyi topográfia, azaz a szárazvölgyek jelenléte okozza ezt. A mecseki dolinák relatíve fiatalabbak, a korróziós aktivitásnak nem volt elég ideje ahhoz, hogy módosítsa a szárazvölgy lejtőmorfológiáját. Ha a formák elég nagyméretűek voltak már korábban, akkor a karsztosodás előtti völgymorfológiát átalakította a dolina morfológiai fejlődése. A Bükkben ez a folyamat jelenleg zajlik, ami a 2. típus nagy számában tükröződik. Itt a dolinák a völgyhöz igazodnak, és az erős oldás már csökkentette az előző korok karsztos völgyeinek hatását. Az adatok azt mutatják, hogy az idők folyamán az oldási folyamatok hatására a dolinák felszabdálódnak, és az 5. típus alakul ki. Ilyen dolinákat Aggtelekről ismerünk, ezek már nem a korábbi geomorfológiai hatást tükrözik. A 4-es típusban olyan aszimmetria fordul elő, amit több tényező, közöttük az ökológiai viszonyok is előidéznek. Ugyanezt az érvet használhatjuk a Bükk dolináinál, ahol a még kisebb mértékben, de már aszimmetrikusnak mondható 2-es, 3-as és 4-es típus fordul elő leginkább. A Mecsekben az átmeneti forma az 1-es és 2-es típus között van, ami azt mutatja, hogy a dolina a száraz völgyekben aszimmetrikussá válik, de az is hozzájárul ehhez, hogy ezek többnyire erdősült dolinák, amelyeknek kiegyenlítettebb a mikroklímája. Csak a Bükkben korreláltak a  $P_s$  (szimmetria) értékek az  $R_{lw}$  értékkel ( $R^2=0,81$ ). Ez a szimmetria jellemzőinek ismertében érthető. A 2-es típusú szimmetria leginkább a Bükkre jellemző, ahol a hosszúság majdnem kétszerese a szélességnek ( $R^2= 0,74$ ), így az  $R_{lw}$  növekszik, hasonlóan a  $P_s$  is. Ez azt mutatja, hogy a dolinafejlődés során a különböző oldási folyamatok segítik az aszimmetrikus forma kialakulását. 5-7-es típusú aszimmetria jelzi a dolinák szélesedését. Az oldalirányú vízvezetés fonto-

sabbá válik, mint a dolina központi korróziója. A legjobban fejlett dolinák Aggteleken fordulnak elő, itt az oldás előrehaladottabb, mint a Bükkben, vagy a Mecsekben. A hazai klímadottságok mellett a dolinafejlődés inkább a szélesedés, mint a mélyülés irányában halad. Ez általában a depressziók méretének növekedéséhez vezet, és az oldás bázisa a középponttól a kerületek felé mozdul el.

A fentiek alátámasztására elvégeztünk néhány fizikai talajvizsgálatot. Azt tapasztaltuk, hogy a finomabb talajalkotók korrelációt mutatnak a morфомetriai paraméterekkel, amelyek hatást gyakorolnak a nagy dolinák formálódásához. Az aggteleki és bükki nagy dolinák nagyobb %-ban rendelkeznek finom talajalkotókkal, mint a mecsekiek. Az idősebb formákban találtunk lejtőleemosásból eredő finom frakciókat, amelyek a lejtő magasabb részeiről a lejtőalapra áttelepítődtek. Ahol a talajszemcsék nagyon finomak, korlátozzák a beszivárgást, így a dolina alján csökken a további oldás. A dolinafenék oldódása helyett, a lejtők irányába eltolódó oldás csökkenti a dolina átlagos mélységét és az oldalirányú terjeszkedést segíti a mélyüléssel szemben. Ez megvilágítja azt is, hogy az aggteleki és bükki dolinákban miért alacsonyabb a reliefarány (0,25 és 0,22), mint a Mecsekben (0,44).

### **Következtetések**

A dolinák morфомetriai adatainak összehasonlító értékelése segíti a dolinafejlődés elsődleges mechanizmusának megértését a három vizsgált területen. Aggteleken vannak a legnagyobb dolinák, míg a Mecsekben a legkisebbek, a bükkiek átmenetet képeznek a két terület között. *DARÁNYI* (1972) szerint Aggteleken és a Bükkben a karsztosodás a földtörténeti mezozoikumtól napjainkig folyik, itt már megtalálhatók az exhumálódott paleokarsztosodás bizonyítékai is. A Mecsekben rövidebb ideig hatott a transzgresszió, a pleisztocénben lösz ülepedett le (csökkentve a karsztosodás hatékonyságát a területen).

Összességében vizsgálataink adatszerűen bizonyították, hogy az átlagos dolinamélyülés a Mecsekben nagyobb, mint Aggteleken, vagy a Bükkben. A dolinák oldódási folyamatai és a depresszió növekedése a dolinaközponttól az oldallejtő felé halad, s ez növeli az oldalirányú kiterjedést, ami csökkenti a dolina relief arányát. A szélesedés hatására a dolina a tölcserformából a tányérosodás irányába fejlődik. A Mecsekben az oldás még nem eléggé fejlett rendszerben zajlik, ami itt a mélység és a hosszúság/szélesség között fordított irányú kapcsolat kialakulását segíti elő.

A három terület dolina-morфомetriai adatainak összehasonlító értékelése megmutatta, hogy az időben és térben lejátszódó geomorfológiai fo-



lyamatok eltérőek a hasonló genetikájú területeken, s ezek megismerése fontos a karsztfejlődés megértésében. Mivel a dolinák a karsztok fontos vízfeltöltődési helyei, vizsgálatuk a jövőbeni vízellátás szempontjából, a víztározó- és vízadó rétegek természeti erőforrás-menedzsmentjében felértékelődik (GUNN 1983).

- A többirányú morфомetriai megközelítés alapján megállapítottuk, hogy minden területen igazodik bizonyos mértékig a dolinák előfordulása a tektonikai szerkezethez, a szárazvölgyek és a közetrétegek irányaihoz.

- A legközelebbi szomszéd analízise alapján a dolinák eloszlása a Bükkben és Mecsekben klaszterszerű (csoportos) (ami megfelel az MDCP fejlődési modellnek).

- A dolinasűrűség és a normalizált gyakorisági adatok a geomorfológiai folyamatok jelentőségét jelzik a dolinák elterjedésében és a legközelebbi szomszéd távolságának kialakulásában.

- A leghosszabb tengely, szélesség és mélység adatai azt mutatják, hogy legnagyobbak a dolinák Aggteleken, legkisebbek a Mecsekben, míg a bükki dolinák átmenetet képviselnek a két előbbi között.

- A reliefarányok, a dolinákat kitöltő üledékek szemcseméretének adatai, a dolinák megnyúlása, és az agyag felhalmozódása a dolina fenéken csökkenti, a lejtőoldalakon kedvezményezi a dolinák korrózióját.

- A szimmetria viszonyok vizsgálata igazolta, hogy a dolinák növekedésével egy időben növekszik az aszimmetria. A Mecsekben a körkörös forma a leggyakoribb, Aggteleken találjuk a legtöbb aszimmetrikus dolinát, a Bükkben a vonatkozásban is átmeneti állapotot tükröz.

## IRODALOM

BASSO, A. – BRUNO, E. – PARISE, M. – PEPE, M (2013): Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia (Italy). – Environ. Earth Sci. Springer. pp.1-12. DOI 10.1007/s12665-013-2297-z.

BÁRÁNY-KEVEI, I. (1987a): Comparative karstic soil researches in the Bükk Mountain and on the Aggtelek Karst, Hungary. – Karst and Man. Ljubljana. pp. 221-230.

BÁRÁNY-KEVEI, I. (1987b): Tendencies to change in the compositions of the karstic soil and the vegetation in the dolines in the Hungarian Bükk Mountain. – ENDINS, n. o. 13. Ciutat de Mallorca. pp. 87-92.

BÁRÁNY-KEVEI, I. (1992): Karst soil as indicators of karst development in Hungarian karsts. – Zeitschrift für Geomorphologie N. F. Suppl. – Bd. 85. Berlin-Stuttgart. pp.101-110.

- BÁRÁNY-KEVEI, I.* (1998a): Connection between morphology and ecological factors of karst dolines (Aggtelek hills, Hungary. – *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria Suppl. III. t. 4.* pp.115-119.
- BÁRÁNY-KEVEI, I.* (1998b): The geo-ecology of three Hungarian karsts. – *Cave und Karst Science. Transaction of the British Cave Research Association.* 25 (3) pp.113-117.
- BÁRÁNY-KEVEI, I.* (1999): Microclimate of Karstic Dolines. – *Acta Climatologica Univ. Szegediensis, Tom. 32-33.* pp.19-27.
- BÁRÁNY KEVEI, I.* (2007): Rules of climate, soils and vegetation development of karstsystem. – *Time in Karst, Postojna, Slovenia. Short Scientific papers.* pp.1-4.
- BÁRÁNY-KEVEI I. – FARSANG A.* (1992): Distinction of doline types based on ecological and morphometric parameters. – *Conf. On the Karst and Cave Research Activities of Educ. and Research Institutions in Hungary. Jósvalő.* pp. 47-53.
- BÁRÁNY, I. – MEZŐSI, G.* (1991): Further morphometrical data from some important Hungarian karst areas. – *Proceed. of the International Conference on Environmental Changes in Karst Areas. I.C.E.C.K.A. IGU-UIS. Italy.* pp. 137-142.
- BONDENSAN, A. – MENEGHEL, M. – SAURO, U.* (1992): Morphometric analysis of dolines. – *International Journal of Speleology,* 21 (1/4) pp. 1-55.
- CASTIGLIONI, B.* (1991): Some morphometric and environmental aspects of dolines in Berici Hills (Vincenza, Italy). – *Proceed. of the International Conference on Environmental Changes in Karst Areas. I.C.E.C.K.A. IGU-UIS. Italy.* pp.143-156.
- CLARK, P. J. – EVANS, F. C.* (1954): Distance to nearest neighbour analysis as a measure of spatial relationships in population. – *Ecology,* 35, pp. 445-453.
- COLEMAN, A.N. and BALCHIN, W.G.V.* (1959): The origin and development of surface depressions in the Mendip Hills. – *Proceeding of the Geologist Association,* 70, pp.291-301.
- CRAMER, H.* (1941): Die Systematik der Karstdolinen. – *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paleontologie, Beilage-Band, Abst. B 85,* pp.293-382.
- CVIJIC, J.* (1893): Das Karstphänomen. – *Geografische Abhandlung 5 H. 3,* pp. 217-329.
- DARÁNYI, F.* (1972): Karst of Hungary. – In.: Herak, M. & Stringfield, V.T (eds.): *Important karstregion of the northern hemisphere*. Amsterdam, Elsevier New York pp. 267-295.
- DAY, M. J.* (1976): The morphology and hydrology of some Jamaican Karstdepressions. – *Earth Surface Processes and Landform.* 1. pp. 111-129.

- DAY, M .J.* (1983): Doline Morphology and Development in Barbados. – *Annals of the Association of American Geographers*, 73 (2), pp.206-219.
- FARSANG, A. – M.TÓTH, T.* (1993): Morphometric investigation of dolines in Bükk Mountains. – *Acta Geographica Szegediensis*, 31, pp. 53-60.
- FERMOR, J.* (1972):The dry valleys of Barbados: critical review of their pattern and origin. – *Transaction of the Institut of British Geographers*. 57. pp. 153-165.
- FORD, D. C.* (1964): Origin of closed depressions in the central Mendip Hills. – 20<sup>th</sup> International Geographic Congress, London, Abstracts, pp. 105-106.
- FORD, D. C. – WILLIAMS, P.W.* (1989): Karst Geomorphology and Hydrology. – Unwin Hyman, London. 601 p.
- GUNN, J.* (1983): Point recharge of limestone aquifers. A model from New Zealand Karst. – *Journal of Hydrology*. 61. pp. 19-29.
- HACK, J.T.* (1960): Inter orientation of erosional topography in humid temperate regions. – *American Journal of Science*, 258 (A), pp. 80-97.
- HOYK, E.* (1999): Investigations of the vegetation and soil in the dolines of Mecsek Mountains, South Hungary. – *Acta Carsologica*, 28 (1) pp. 105-113.
- HOYK, E.* (2002): A Nyugat-Mecseki karszt dolináinak morfológiai vizsgálata. – *Karsztfejlődés VII. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely*, pp. 161-171.
- JAKUCS, L.* (1977): Genetic type of the Hungarian Karst. – *Karszt és Barlang, Special Issue* pp. 3-18.
- KEMMERLY, P.R.* (1982): Spatial analysis of karstdepression population. Cluesto Genesis. – *Geological Society of America Bulletin*, 93. pp. 1078-1086.
- KEVEINÉ BÁRÁNY, I.* (2011): Néhány adat a bükki töbrök mikroklímájához. – *Geotudományok: A Miskolci Egyetem Közleménye: A Sorozat, Bányászat* 82 pp.177-183.
- KEVEINÉ BÁRÁNY, I. – MEZŐSI, G* (1978): Adatok a karsztos dolinák talajökológiai viszonyaihoz. – *Földrajzi Értesítő. XXVII. (1)* pp. 65-73.
- LA VALLE, P.* (1968): Karstdepression morphology in South Central Kentucky. – *Geogr. Annales* 50. A. pp. 94-108.
- LIPPMANN, L. – KISS, K. – MÓGA, J.* (2008): Az Abaliget-orfői Karszt karsztos felszínformáinak vizsgálata térinformatikai módszerekkel. – *Karsztfejlődés XIII.* pp. 151-166.
- MEZŐSI, G. – BÁRÁNY, I. – TÓTH, I.* (1978): Karstmorphometrische Untersuchungen im Gebirge Aggtelek (Nordungarn). – *Acta Geographica Univ. Szegediensis. Tomus XVIII.* pp. 131-140.

- PALMQUIST, R.* (1979): Geologic controls on doline characteristics in mantled karst. – Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementbände, 32, pp. 76-90.
- RAMSEY, L. C.* (2015): Morphometry and basic ecological characteristics of dolines in unlogged temperate rainforest karstlandscapes of Northern Vancouver Island, British Columbia, Canada. – PhD dissertation. p. 315.
- SUSTERCIC, F.* (1994): Classic dolines of classical sites. Acta Carsologica 23: pp.123–156.
- SÜMEGI, GY. (íff).* – *SÜMEGI, GY. (id).* – *VARGA, B.* (2012): Töbörceporkok sajátos vonásai a Jósvalói-fennsíkon. – Karsztfejlődés. XVII, pp. 165-178.
- TELBIŠZ, T.* – *MARI, L.* – *KOHÁN, B.* – *CALIC, J.* (2007): A szerbiai Miroc-hegység töbreinek térinformatikai és GPS-es terepi vizsgálata. – Karsztfejlődés XII. pp. 71-90.
- TELBIŠZ T.* – *C DRAGUŠICA, H.* – *NAGY, B.* (2009a): Doline Morphometric Analysis and Karst Morphology of Biokovo Mt (Croatia) based on Field Observations and Digital Terrain Analysis. – Croatian Geographical Bulletin, 71 (2) pp. 2-22.
- TELBIŠZ, T* – *MÓGA, J* – *KÓSIK, SZ.* (2009b): Pelsőci-fennsík digitális domborzatelemzése és töbör-morfometriai jellemzése. – Karsztfejlődés 14 pp. 121-138.
- VERESS, M.* (2012): Fedőüledékes karsztos depressziók típusai és kialakulásuk. Földrajzi Közlemények. 136 (1) pp. 2-21.
- WILLIAMS, P.W.* (1972): Morphometric analysis of polygonal karst in New Guinea. – Geological Society of America Bulletin 83, pp. 761–796.