

A MECSEKI KARSZT OLDÓDÁSOS- ÉS UTÁNSÜLLYEDÉSES TÖBREINEK MORFOMETRIAI ELEMZÉSE

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF DISSOLVED- AND SUBSIDENCE DOLINES IN THE MECSEK KARST

VETÉSI-FOITH SZILÁRD – KISS ZOLTÁN – GÁRDONYI ISTVÁN

ELTE-SEK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Földrajz Tanszék,
9700 Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4. szilard.vetesi@gmail.com,

Abstract: In this study we investigated the covered karst of the Mecsek, with a special focus on the subsidence and dissolved dolines. We analyzed the size, morphology, shape, orientation, type and density of the dolines in three different morphological environments. We suppose that, the parameters of the subsidence dolines are primarily determined by their morphologic environment. According to our findings, the most important property that influences doline development is the surface slope that significantly influences the partitioning of rainfall into runoff and infiltration and directs the seepage and the solution.

Keywords: Mecsek Mountains, covered karst, dissolved- and subsidence dolines, morphometric analysis, orientation

1. Bevezetés

A tanulmányban a mecseki utánsüllyedéSES dolinák tulajdonságait vizsgáljuk három mintaterületen. A célból, hogy a morfológiai környezet (a hordozó formák, a felszín dőlése) és a dolinák fejlődése közti kapcsolathoz adatokat szolgáltatassunk.

A mecseki karsztról már a XX. század elejétől jelentek meg morfológiai és hidrológiai tanulmányok (SZABÓ 1940, 1957, 1963, LOVÁSZ 1971a, RÓNAKI 1970, HEVESI 2001, 2002, HOYK 2002, LIPPMANN et al. 2008, CZIGÁNY et al. 2008, KEVEINÉ et al. 2015, VERESS 2010, 2016). Mecseki karszt területéről megjelent publikációk főleg a barlangokkal foglalkoztak (BOKOR 1925, GEBHARDT, OPPER 1959, SZABÓ 1961, RÓNAKI 1962, 1970, 1971, VASS 1960, LOVÁSZ 1971b). A Mecsek-hegység talán leghíresebb barlangját, az Abaligeti-barlangot tudományos szempontból azonban már MYSKOWSKY (1905) vizsgálta, hírnevet adva ezzel a barlangnak.

A Mecsek-hegység legjellemzőbb felszíni karsztformáit a dolinákat, az egyes munkákban genetikailag egyformáknak tekintették. Ezek eltérő méretére LIPPMANN et al. (2008), eltérő korára pedig SZABÓ (1968) hívja fel a figyelmet. Genetikájukat tekintve VERESS (2010) tesz különbséget a

nagyméretű oldódásos dolinák és a kisebb méretű utánsüllyedékes töbrök között. *KEVEINÉ* és munkatársai (2015) szerint, a Mecsek-hegységben a dolinákra leginkább a körkörös forma jellemző, mivel az oldás még „nem elég fejlett rendszerben” zajlik. Emiatt a dolinák mélysége és a felszíni kiterjedésük (hosszúság, szélesség) között fordított arányosság van.

A felszíni pusztulásos karsztformák legelterjedtebb formaelemei a különböző töbrök, melyik mind genetikailag, mind morfológiailag nagy változatosságot mutatnak. Típusaik az alábbiak: oldódásos-, utánsüllyedékes-, szakadék- és átöröklődékes dolina (*SWEETING* 1973, *JENNINGS* 1985, *TRUDGILL* 1985, *WALTHAM, FOOKES* 2003, *WALTHAM* et al. 2005, *GUNN* 2004, *FORD, WILLIAMS* 2007).

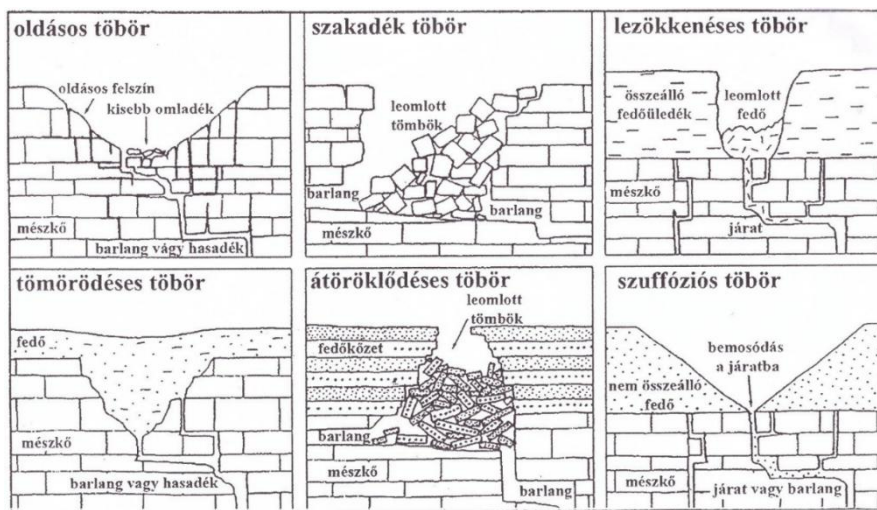
Az oldódásos dolinák (*1. ábra*) autogén karsztokon alakulnak ki. A hazai oldódásos dolinák (Mecsek-hegység, Bükk-hegység) a néhányszor 10 m és néhányszor 100 m közötti átmérővel rendelkeznek (*SZABÓ* 1963, 1968). Az oldódásos dolinákban utánsüllyedékes dolinák is létrejöhetnek, ha azok aljzatát különböző vastagságú fedőüledék fedi (*VERESS* 2010).

A szakadékdolinák kialakulhatnak talajtakaróval fedett, de csupasz karsztokon is, a karszt üregeinek beomlásával. Nagy méret, meredek oldallejtők illetve omlási halmok jellemzik e formákat (*1. ábra*).

Az átöröklődékes dolinák az eltemetett karsztok jellemző formái. Akkor képződnek, ha a karszt vízzáró fedője konszolidált, nem karsztos kőzet, a fekéjében pedig nagy az anyagihiány. Ekkor a karszt üregének a beomlásával az anyagihiány áterjed a fedőre (*1. ábra*).

WALTHAM, FOOKES (2003) és *WILLIAMS* (2004) az utánsüllyedékes dolinákknak három típusát különítik el. Ezek a lezökkenékes-, a szuffóziós-, és a tömörödékes dolina. E dolina típusok rejtett karsztban (a fedő vízáteresztő) alakulnak ki.

Jóval kisebb formák, mint az oldásos dolinák, átmérőjük és mélységük csupán néhány méter. Meredek oldalú (függőleges) lezökkenékes töbrök képződnek, ha a karszt fedője összeálló vagy részben összeálló kőzet. Mivel a fedő összeálló, azon omlás megy végbe, miután a fedőben lejátszódó anyagelszállítás következtében abban üreg keletkezik (*WALTHAM* et al. 2005). Szuffóziós dolinák képződnek a nem összeálló fedőüledékekben. A depresszió a beszivárgó csapadékvíz által alakul ki oly módon, hogy a csapadékvíz a fedő anyagát a karszt üregeibe, járataiba szállítja főleg szuffózióval, emiatt oldallejtőik lankásabbak. A tömörödékes dolinák az idősebb depressziókat kitöltő anyag tömörödésével jönnek létre.



1. ábra: A töbrök típusai (WILLIAMS 2004)
 Fig. 1: Doline types (WILLIAMS 2004)

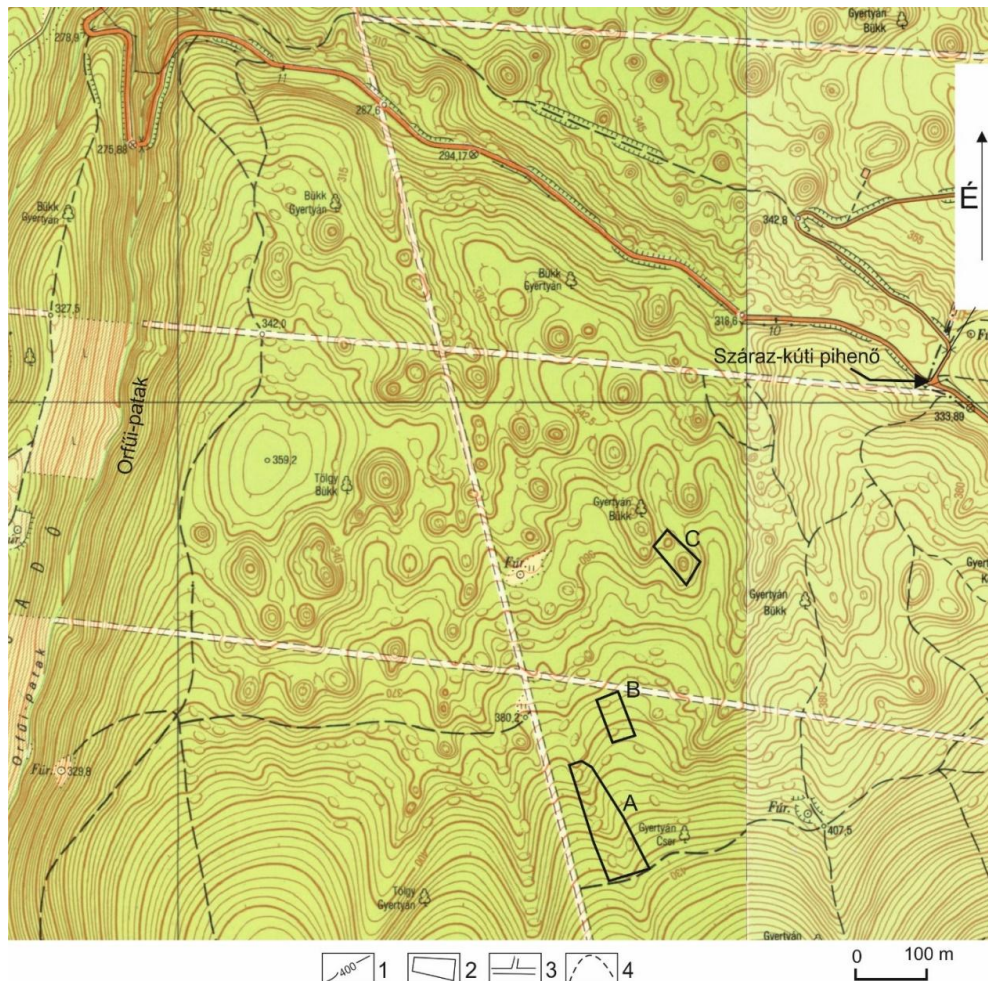
2. Kutatási terület

Adatgyűjtést a Mecseki karszt Orfői részén folytattunk. Az Orfői-karszt felszíni karszt képződményei, a Szuadó-völgy és az Orfői-patak völgye, valamint a Zsidó-hegy – Száraz tó – Bödös-kút közötti vonal által határolt 350-420 m tszf-i magasságú felszínen helyezkednek el. Fedett karszt, fedője lösz, karsztos fekü kőzete középső triász (anizuszi) mészkő (VADÁSZ 1935). Felszíni formái az átöröklődéses völgyek, az oldódásos- és utánsüllyedéses dolinák.

3. Eszközök és módszerek

Terepbejárásaink során az utánsüllyedéses dolináknak morfológiai környezetük szerint három csoportját különítettünk el, melyek az alábbiak:

- völgytalpon elhelyezkedő utánsüllyedéses töbrökből álló töbrősor (A jelű terület),
- enyhe lejtési térszínen elszórtan elhelyezkedő utánsüllyedéses töbrök (B jelű terület),
- nagyméretű oldódásos dolinában és annak környékén elhelyezkedő utánsüllyedéses töbrök (C jelű terület).



2. ábra: Kutatási területek az Orfűi-karszton
 Jelmagyarázat: 1: szintvonal, 2: kutatási terület, 3: út, 4: erdészeti út
 Fig. 2: Research areas in the Orfű-karst
 Legend: 1: contour line, 2: research area, 3: road, 4: forest road

3.1. Térképek készítése

A vizsgált területek közül az 'A' és a 'B' jelű területekről síkrajzi-, a 'C' jelű területről domborzatrajzi térképet készítettünk, 1:400-as méretarányban, helyi rendszerben. A térképeken helyzethűen feltüntettük mind az utánsüllyedéses- mind az oldódásos dolinákat. A dolinákban jelekkel ábrázoltuk a dolinák formaelemeit, ahol ez szükséges volt. A térképeken ábrázolt dolinákat sorszámmal láttuk el, majd felmértük a morfológiai jellem-

zöiket. A síkrajzi térképeken feltüntettük továbbá a hordozó területek lejtésének irányát. A függőleges tagoltság ábrázolása érdekében a 'C' jelű terület óriásdolináiról és az azokban elhelyezkedő utánsüllyedéses töbrökről szintvonalas térképet készítettünk. Ezeken szintén feltüntettük mind az oldódásos mind az utánsüllyedéses dolinák helyét, méreteit és jellegzetes formaelemeket.

A síkrajzi térképek elkészítéséhez szükséges adatok felmérése (irányszög, távolság) tájolóval, illetve egy Leica Disto D5 típusú lézeres távmérő segítségével történt. A szintvonalas térkép készítéséhez szükséges méréseket teodolittal végeztük. A domborzati térképen a szintvonalakat 1 m-es sűrűséggel szerkesztettük ki. A tengerszint feletti magasság meghatározására minden esetben GPS-t használtunk.

3.2. Adatgyűjtés a morfológiai elemzéshez

Mind az utánsüllyedéses, mind az oldódásos dolinák adatainak (ld. alább) segítségével morfológiai elemzést végeztünk kialakulásuk és fejlődésük jobb megértéséhez. A dolinák paramétereinek vizsgálatához lejtőmérőt, és lézeres távmérőt használtunk. A 3 vizsgálati területen összesen 49 db dolina felmérésére került sor, melyeknek az alábbi paramétereit mértük:

- hosszabbik tengely mérete és az északi iránnyal bezárt szöge,
- rövidebbik tengely hossza,
- a dolina mélysége.
- a határoló oldallejtők lejtőszöge.

Az így mért (illetve a szerkesztett térképekről leolvasott) adatokból a dolinák az alábbi morfológiai jellemzőit számítottuk, felhasználva WILLIAMS (1971, 1972a, 1972b) által használt képleteket:

- megnyújtottsági arány (D), ami a dolina leghosszabb és legrövidebb átmérőjének hányadosa,
- alak (O), ami a dolina leghosszabb átmérőjének és mélységének hányadosa,
- átlagos átmérő ($D_{\text{át}}$), ami a leghosszabb és legrövidebb átmérő átlaga,
- dolinasűrűség (ρ), ami az egységnyi területen levő dolinák száma,
- dolinaterület (T), ami a dolina térképi területének a nagysága,
- dolinafelület (A), ami a dolina kúppalástartal helyettesített oldallejtőinek a területe.

3.3. Iránygyakorisági vizsgálat

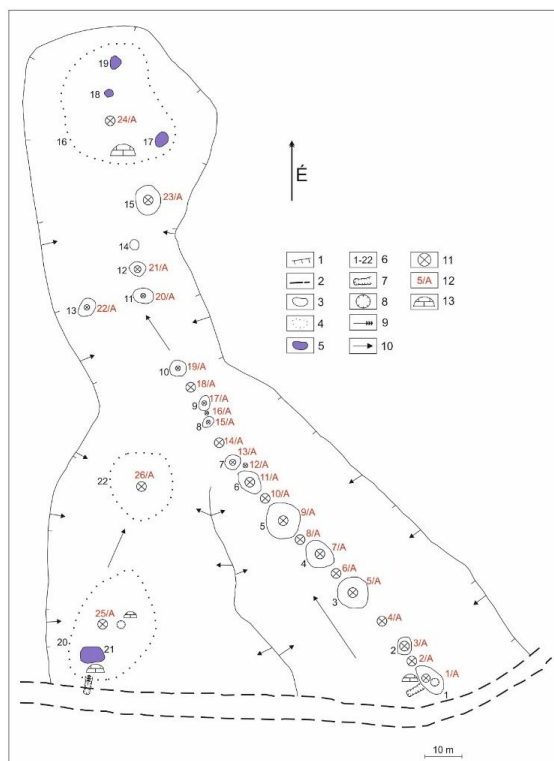
A felmért adatokból elkészítettük mindhárom vizsgált területen előforduló utánsüllyedéses és oldódásos dolinák hosszabbik tengelyének az iránygyakoriságát, majd összehasonlítottuk a lejtő dőlésének irányával, illetve a hegység jellemző szerkezeti irányjaival.

4. Eredmények

4.1. Az 'A' jelű terület jellemzése

Az 'A' jelű terület, amelyet síkrajzi térképen mutatunk be, egy epigenetikus fővölgy egy részletére és egy abba csatlakozó mellékvölgyre terjed ki. A mérési terület határait e két völgy pereme jelölte ki. Fővölgynek az oldódásos dolinákat magába foglaló völgyet tekintjük, mert e völgy kialakulása valószínűleg korábban kezdődött meg és ment végbe, mint a csak utánsüllyedéses dolinákat magába foglaló mellékvölgyé. A fővölgy a mélyebb. Az összecsatlakozás után a völgyrész az oldódásos dolinákat magába foglaló völgy irányát őrizte meg (3. ábra).

A terület utánsüllyedéses és oldódásos dolinái egy kivétellel (13. jelű töbör) völgytalpon képződtek. Az utánsüllyedéses dolinák többségének megnyúltsága a völgy irányát követi, vagy kevéssel tér el attól. A lezökkenéses dolinák előfordulhatnak szuffóziós dolinák talpán is. Ennek ellenére a mintaterületre elsősorban a szuffóziós dolinák jellemzőek. Lezökkenéses dolina említhető a 20 jelű oldódásos- és az 1 jelű szuffóziós dolinákból (3, 4. ábrák). Ezekhez a dolinákhoz az erdészeti útról eróziós árok vezet (3. ábra), így több vizet kapnak, emiatt a fedőben nagyobb anyaghiány jön létre, ami kedvező feltételeket teremt a lezökkenéses töbrök kialakulására. Ezen a helyeken a nagymértékű anyagszállítás miatt az alapkőzet is előbukkan.



3. ábra: Az 'A' jelű terület 1:400 méretarányú síkrajzi térképe

Jelmagyarázat: 1: völgy, 2: erdészeti út, 3: utánsüllyedékes dolina (oldódásos dolinán kívüli), 4: oldódásos dolina, 5: hordozott utánsüllyedékes dolina, 6: a töbör száma, 7: eróziós árok, 8: fiatal lezökkenékes dolina, 9: tömegmozgás, 10: lejtésirány, 11: mintavételi hely, 12: a minta száma, 13: alapkőzet előbukkanás

Fig. 3: The planimetric map (1:400 scale) of the area 'A'

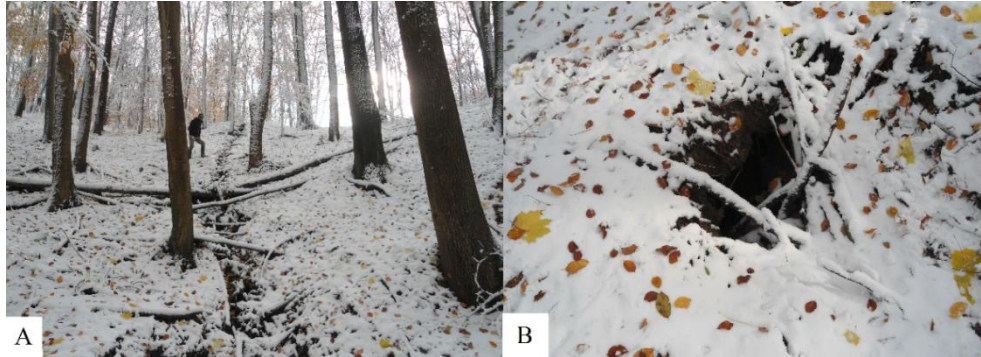
Legend: 1: valley; 2: forestry road; 3: subsidence doline (outside of the dissolved doline); 4: dissolved doline; 5: carried subsidence doline; 6: number of the doline; 7: erosional cut; 8: juvenile dropout doline; 9: mass movement; 10: inclination of the surface; 11: sampling spot; 12: number of the sample; 13: bedrock on the surface

I. táblázat
Table I.

Az 'A' jelű terület töbreinek morfolometriai paramétereit
Morphometric parameters of the dolines in the area 'A'

Töbör sorszáma	d_1 (m)	d_2 (m)	m (m)	r (m)	D	O	$D_{\text{át}}$	T (m ²)	A (m ²)
Átlag ¹ n=21	5,8	4,5	1,7	3,1	1,3	3,5	5,1	24,8	29,5
Átlag ² n=3	30,0	20,2	7,4	14,6	1,5	4,2	25,1	516,7	604,9

Megjegyzés: ¹: utánsüllyedékes dolina; ²: oldásos dolina
Note: ¹ subsidence doline; ² dissolved doline

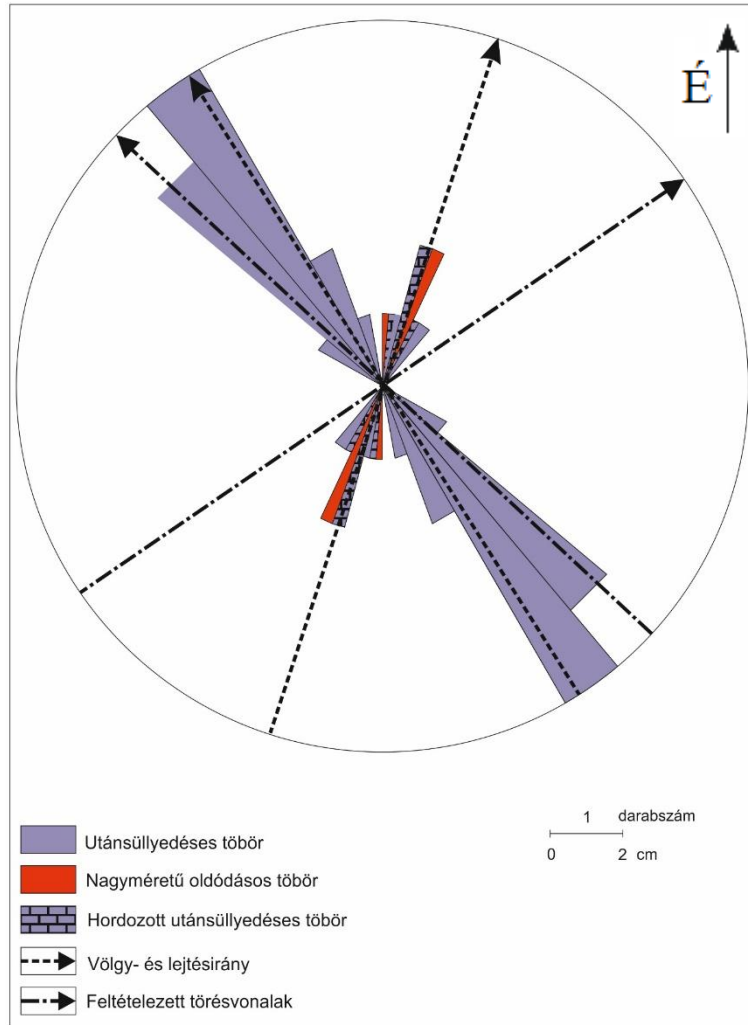


4. ábra: A 20-as jelű oldódásos dolina lejtőjén képződött meder (A) és a talpán képződött fiatal lezökkenéses töbrök (B)
 Fig. 4: Channel in the slope (A) and a juvenile dropout doline on the floor of the number 20 dissolved doline (B)

Az 'A' jelű terület utánsüllyedéses dolináira a megnyúltság jellemző. Kivételt képeznek a 3, 10, 12, 18-as jelű töbrök, melyek megnyúltsági aránya kevéssel haladja meg az 1-es megnyújtottsági arány értéket. Ezek alaprajzban körhöz hasonlóak. Alakjuk viszonylag nagy, oldallejtőik lankásak.

Az 'A' jelű terület oldódásos dolináira is nagyobb megnyúltság jellemző. Átlagos alakjuk az utánsüllyedéses dolinák alakjánál nagyobb, ezért összességében oldallejtőik az utánsüllyedéses dolinákéhoz képest lankásabbak. Területi és felületi értékeik – méretükből fakadóan – jóval nagyobbak az utánsüllyedéses dolinákénál.

A vizsgált területen a sűrűség 2,44 dolina/1000 m². E figyelemremélhetően magas érték összhangban van a korábbi töbrősűrűséget vizsgáló tanulmányokkal (LIPPMANN et al. 2008, HOYK 2002). Némi eltérés azért tapasztalható, mert az említett tanulmányok a dolinamentes felszínekkel is számolnak, míg jelen tanulmány mintaterületeit épp a nagy dolinasűrűség alapján választottuk. A dolinák területét a mérési terület nagyságához viszonyítva kiderül, hogy bár a dolinák sűrűn helyezkednek el, a mérési területnek mindösszesen 28,4 %-át teszik ki. Ebből a dolinák kicsi méretére lehet következtetni.



5. ábra: Az 'A' jelű terület töbreinek orientációi

Jelmagyarázat: 1: utánsüllyedéses töbör, 2: oldódásos töbör, 3: hordozott utánsüllyedéses töbör, 4: völgy és lejtésirány, 5: feltételezett törésvonalak Lovász (1971b)

Fig. 5: Orientation of the dolines in the area 'A' Legend: 1: subsidence doline; 2: dissolved doline; 3: carried subsidence doline; 4: inclination of the surface and the valley; 5: theoretical fractures according to Lovász (1971b)

A terület lejtésének iránya 328° illetve 21° . A két lejtésirány két eltérő völgyet jelöl (a völgyek iránya kijelöli a talp dőlésirányát). A dolinák hossz-tengelyeinek irányai 301° - 40° -ig terjedő intervallumba esnek. Az utánsüllyedéses dolinák megnyúltsága a terület lejtésének irányával (ami egyben a völgy irányát is jelenti) nagyjából megegyező, valamint egyező a területen valószínűsíthető törésirányok egyikével, az ÉNy-DK-i irányúval

(LOVÁSZ 1971b, 5. ábra). Megállapítható tehát, hogy az oldódásos dolinán kívül eső utánsüllyedéses töbrök irányultságát és így valószínűleg képződését a lejtésirány és a törésirány együttesen befolyásolta. Az ÉK-DNy-i irányú feltételezett törésirányhoz képest azonban az utánsüllyedéses dolinák hossz tengelyének irányultsága nem illeszkedik, valószínűleg azért, mert ilyen irányú törések a vizsgált területen hiányoznak.

Az 'A' jelű terület utánsüllyedéses dolináira a völgy kétféle módon is hat. Egyrészt a völgy területére, sőt a környező térszínre hullott csapadék a völgytalpra koncentrálódik, másrészt a völgytalp irányítja a felszíni víz-áramlást, ezáltal meghatározza a beszivárgási irányokat és így az utánsüllyedéses dolinák megnyúltságát és megnyúltsági irányát

4.2. A 'B' jelű terület jellemzése

A 'B' jelű terület (6. ábra) egy erdészeti utakkal részben lehatárolt enyhe lejtésű terület. A dolinák itt két helyre összpontosulnak.

A 2. számú csoport utánsüllyedéses dolináira (5-11 jelű dolinák) mind méretük mind mélységük mind irányuk tekintetében a nagy változottság jellemző. Itt található a vizsgálati terület két legkisebb kiterjedésű és egyben legkisebb mélységgel rendelkező dolinája (9, 10 jelű dolina) de a legnagyobb és egyben legmélyebb is (5. jelű dolina). Hossz tengelyeiknek iránya is nagymértékben eltér egymástól.

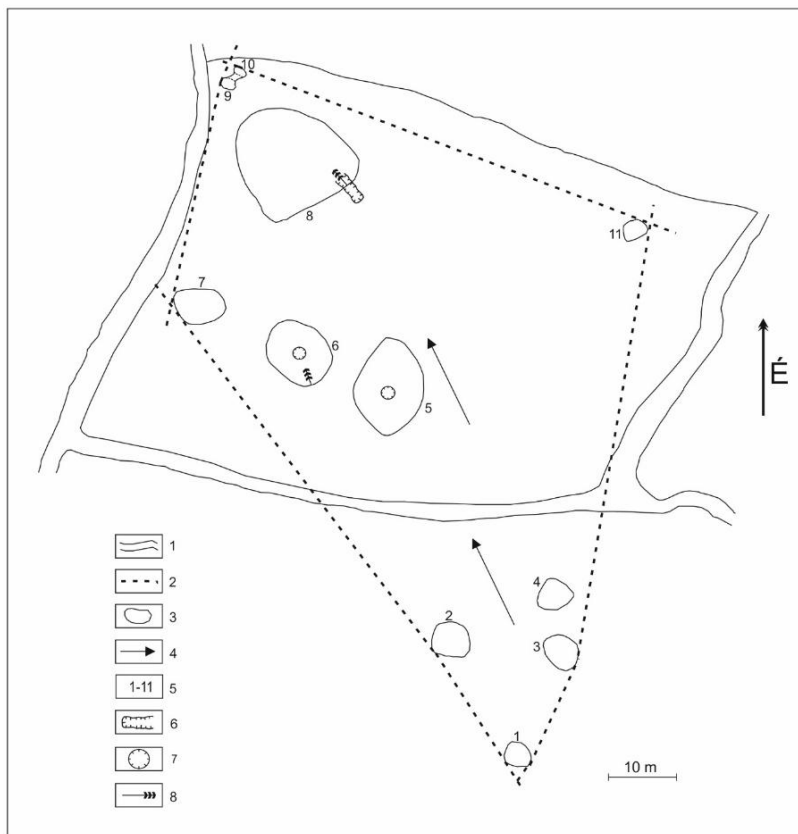
Az 1. számú csoport dolinái (1-4 jelű dolinák) közel egyforma méretűek és mélységűek, irányuk hasonló, vagy kevéssel térnek el egymástól. Alaprajzban körhöz hasonlóak.

II. táblázat
Table II.

A 'B' terület dolináinak morfológiai paraméterei
Table II: Morphometric parameters of the dolines in the area 'B'

Töbör sor- száma	d_1 (m)	d_2 (m)	m (m)	r (m)	D	O	$D_{\text{át}}$	T (m ²)	A (m ²)
Átlag n=11	7,6	6,4	1,7	3,9	1,2	4,5	7,0	53,5	59,7

A 'B' jelű terület utánsüllyedéses dolináira kevésbé jellemző a megnyúltság (II. táblázat). Az 1 jelű csoport töbreinek (1-4 töbör) megnyújtottsági aránya 1,1-nél nem nagyobb. A második csoport töbrei közül csak 2 db dolina (5,7 jelű) rendelkezik kiugró megnyújtottsággal és ugyancsak két db magas alak értékkel (9, 5. jelű dolina). E dolinák oldalainak lejtőszöge kisebb.

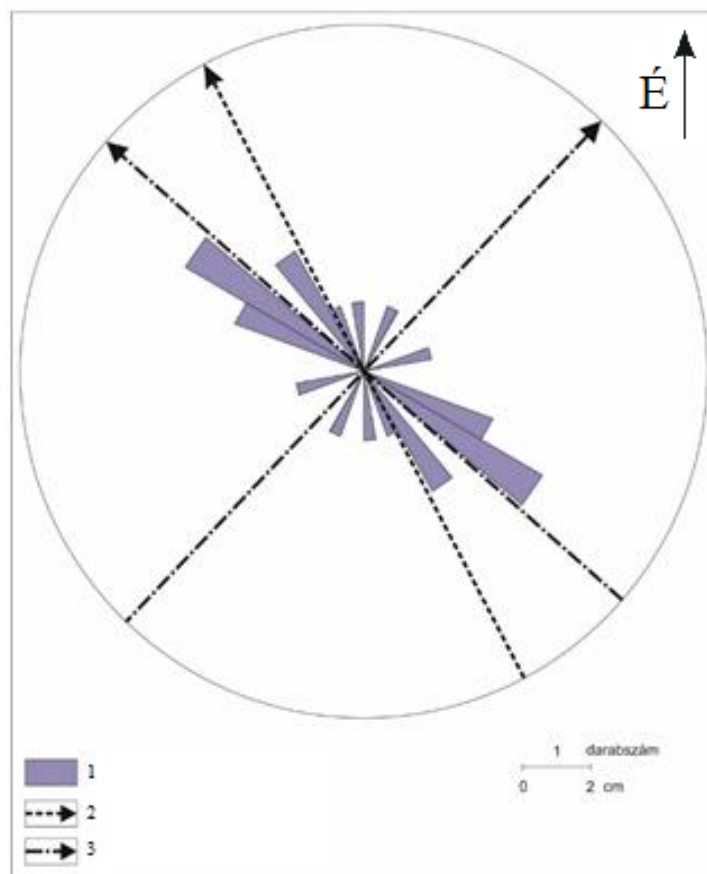


6. ábra: A 'B' jelű terület 1:400 méretarányú síkrajzi térképe
 Jelmagyarázat: 1: erdészeti út, 2: a vizsgálati terület, 3: utánsüllyedéses dolina, 4: lejtésirány, 5: a dolina sorszáma, 6: eróziós árok, 7: lezökkenéses töbör, 8: tömegmozgás
 Fig. 6: The planimetric map (1:400 scale) of the area 'B'; Legend: 1: forestry road; 2: research area; 3: subsidence doline; 4: inclination of the surface 5: number of the doline; 6: erosional cut, 7: dropout doline) 8: mass movement;

A 'B' jelű terület dolinái a mérési terület kevesebb, mint 15%-át teszik ki. Az 1000 m²-re jutó dolinaszám magas, ez a dolinák kicsi méretére utal.

A területen összesen 11 db töbör iránygyakorosságát vizsgáltuk, ezek mindegyike utánsüllyedéses töbör. A töbrök egy részének a hosszabbik tengelye az egyik feltételezett törésiránnyal (ÉNy-DK), a másik részének a hosszabbik tengelye a felszín dőlésirányával mutat jó egyezést (7. ábra). Valószínűleg mindkét tényező befolyásolta a dolinák irányultságát. A lejtésirány azért, mert kijelöli a felszínen lefolyó víz irányát és így az elszivárgás irányát is a fekün. Ugyanakkor néhány töbör egyik fentebb említett iránnyal sem esik egybe. Ez arra utal, hogy mind a felszíni vízfolyás, mind a fekün az oldódás részben független a fenti kontrolláló tényezőktől. A felszíni víz-

lefolyás különösen akkor, ha a felszínen nincs olyan forma (pl. völgy, oldódásos dolina), amely irányítja és a talpra koncentrálna a felszíni lefolyást.



7. ábra: A 'B' jelű terület töbreinek orientációi

Jelmagyarázat: 1: utánsüllyedékes töbör, 2: lejtésirány, 3: feltételezett törésvonalak (Lovász 1971b)

Fig. 7: Orientation of the dolines in the area 'B' Legend: 1: subsidence doline; 2: inclination of the surface; 3: theoretical fractures according to Lovász (1971b.)

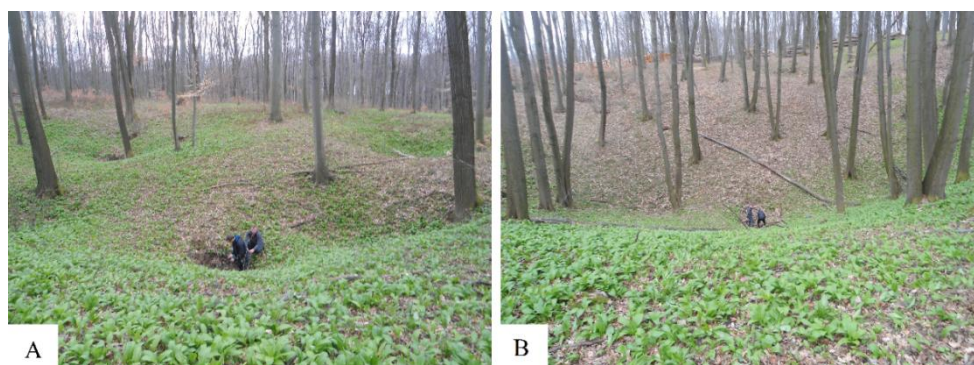
4.3. A 'C' jelű terület jellemzése

A 'C' jelű területen két oldódásos dolina összenövésével kialakult uvala és az azt körülvevő utánsüllyedékes dolinák fordulnak elő.



8. ábra: A 'C' jelű terület 1:400 méretarányú szintvonalas térképe
 Jelmagyarázat: 1: szintvonal, 2: a vizsgálati terület, 3: oldódásos dolinán kívüli utánsüllyedékes dolina, 4: oldódásos dolina, 5: hordozott utánsüllyedékes dolina, 6: eróziós árok, 7: lezökkenéses töbör, 8: tömegmozgás, 9: a mintavétel helye, 10: a minta száma, 11: alapkőzet előbukkanás, 12: két töbör közötti nyereg, 13: a töbör száma
 Fig. 8: The contour map (1:400 scale) of the area 'C' Legend: 1: contour line; 2: research area; 3: subsidence doline (outside of the dissolved doline); 4: dissolved doline; 5: carried subsidence doline; 6: erosional cut; 7: dropout doline; 8: mass movement; 9: sampling spot; 10: number of the sample; 11: bedrock on the surface; 12: saddle between two dolines; 13: number of the doline

Az uvalát alkotó két oldódásos résztöbör fejlettsége különböző. A két részdolinában a töborsűrűség eltérő. A valószínűleg fiatalabb (ennél fogva kevésbé mély és lankásabb oldallejtőjű) oldódásos dolina (15. jelű) oldallejtőjén több ú.n. hordozott utánsüllyedékes dolina található (8. ábra, 9. ábra), mint az idősebb (mélyebb) oldódásos dolinában. Utóbbinak, amelynek az oldallejtői nagyobb dőlésűek, csak talpán található két hordozott utánsüllyedékes töbör (13, 14-es jelű dolina) (9. ábra). A fejlettebb oldódásos dolina peremén túl több utánsüllyedékes töbör alakult ki (9-12. jelű dolina).



9. ábra: A 15-ös számú oldódásos dolina hordozott utánsüllyedései (A), a 16-os számú oldódásos dolina talpán lévő két hordozott utánsüllyedései (B)
 Fig. 9: The carried subsidence dolines of the number 15 dissolved doline (A), and two carried subsidence dolines on the floor of the number 16 dissolved doline (B)

Mindkét oldódásos dolinához egy-egy eróziós árok vezet. Ezeken a helyeken a nagymértékű anyagszállítás miatt felszínre bukkan az alapkőzet. Omlással kialakult járat (vagy lezökkenései dolina) csak egy helyen (4-es jelű) talpán van jelen.

A 15-ös jelű oldódásos dolina hordozott- és peremén túl lévő utánsüllyedései kevésbé megnyúltak. Ha mégis, akkor a hossz tengelyeik iránya az oldódásos töbör legmélyebb pontja felé irányul. A 16-os jelű oldódásos dolina hordozott- és peremi helyzetű töbrei kettő kivételével (12-es és 9-es jelű dolina) ugyancsak a lejtésirányba, azaz az oldódásos töbör középpontja felé megnyúltak. Közülük a 12-es jelű dolina alaprajzban körhöz hasonló, megnyújtottsági aránya kicsi, míg a 9-es jelű dolina Utóbbi a lejtésirányra merőleges nyújtottsággal rendelkezik.

III. táblázat
 Table III.

A 'C' terület töbreinek morfológiai paraméterei
 Morphometric parameters of the dolines in the area 'C'

Töbör sorszáma	d_1 (m)	d_2 (m)	m (m)	r (m)	D	O	$D_{\text{átl}}$	T (m ²)	A (m ²)
Átlag ¹ n=14	4,7	3,4	1,1	2,3	1,4	4,3	4,0	14,9	17,0
Átlag ² n=2	45,6	30,3	5,4	19,8	1,6	10,2	38,0	1139,7	1190,5

Megjegyzés: ¹: utánsüllyedései dolina; ²: oldódásos dolina
 Note: ¹subsidence doline; ²dissolved doline

A 'C' jelű területen található hordozott- és óriásdolinán kívüli utánsüllyedéses dolináira szintén a megnyúltság jellemző. Megnyújtottsági arányuk 1,1 és 1,9 értékek között váltakozik (*III. táblázat*). Alakjukat tekintve kis mélységgel és kicsi átmérővel rendelkeznek. Oldallejtőik ugyan ezen terület oldódásos dolináihoz képest lankásabbak.

A szintvonalas térképen ábrázolt oldódásos dolinák megnyújtottsági aránya jelentős. Különösen magas ez az érték a 15-ös jelű oldódásos töbrőnél. E töbrő alak értéke is meghaladja a másik (16-os jelű) oldódásos dolina alak értékét. Az oldódásos dolinák lejtői kevésbé meredek, mint az e területen előforduló utánsüllyedéses- és hordozott utánsüllyedéses töbröké.

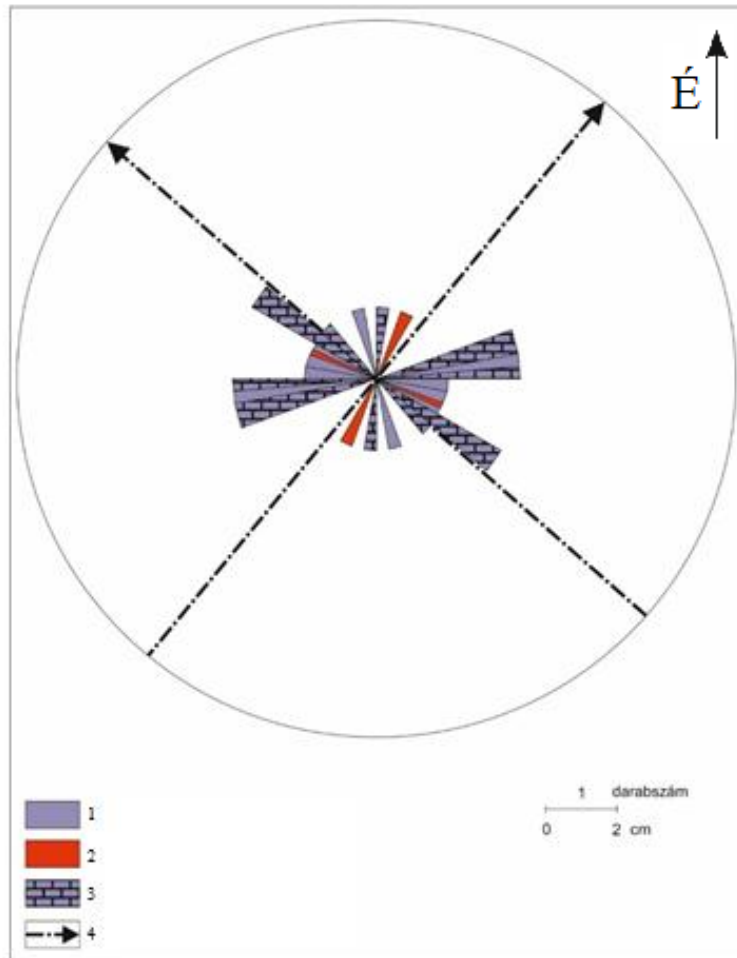
A 'C' jelű terület dolináinak átlagos megnyúltsága nagy. Ugyanitt az átlagos alak is nagy. Ez az oldódásos dolinák igen nagy alak értékeire (10,1) vezethető vissza. A dolinasűrűség igen magas. E terület dolinái a mérési területnek több mint felét teszik ki, ami az oldódásos dolinák nagy méretéből fakad.

A területen összesen 16 dolinát vizsgáltunk, ezek közül 2 oldódásos dolina és 14 utánsüllyedéses dolina. Utóbbiak közül 8 hordozott utánsüllyedéses dolina.

Az ábrán nem szerepel lejtésirány. Ezt az indokolja, hogy a területen a dőlésirányok változatosak: a felszín mérési terület szélétől az oldódásos dolinák középpontja felé dől (*7, 9. ábrák*). A hossz tengelyek irányainak eloszlása éppen ezért rendszertelen, mert mindegyik utánsüllyedéses és hordozott utánsüllyedéses dolina más és más irányba lejtő területen képződött (*10. ábra*). Mégis kiemelhető 3 db irányszög-tartomány ($71^\circ-80^\circ$, $81^\circ-90^\circ$, $301^\circ-310^\circ$), melyekbe több utánsüllyedéses dolina is tartozik.

Az 1, a 2. és a 9. jelű utánsüllyedéses dolina kivételével mindegyik dolináról megállapítható, hogy a lejtésiránnyal megegyező a hossz tengelyeknek az irányultsága. Az 1, a 2. és a 9. jelű dolinák hossz tengelye a lejtésirányra közel merőleges. Mindegyik utánsüllyedéses dolinára igaz, hogy aszimmetrikus hosszmetsetűek legmélyebb pontjuk a hozzájuk legközelebb eső oldódásos dolina talppontjához közelebb található.

A 'C' jelű területen az utánsüllyedéses dolinák morfológiai jellemzői nagymértékben függenek az oldódásos dolinák morfológiai jellemzőitől. Az utánsüllyedéses dolinák megnyúltságának iránya változatos, mert az oldódásos dolina különböző dőlésirányú lejtőin alakultak ki. Ezáltal az oldódásos dolina felelős az utánsüllyedéses töbrök megnyúltságáért és aszimmetriájáért is.



10. ábra: A 'C' jelű terület töbreinek orientációi
 Jelmagyarázat: 1: utánsüllyedékes töbör, 2: oldódásos töbör, 3: hordozott utánsüllyedékes töbör, 4: feltételezett törésvonalak (Lovász 1971b)
 Fig. 10: Orientation of the dolines in the area 'C' Legend: 1: subsidence doline; 2: dissolved doline; 3: carried subsidence doline; 4: theoretical fractures according to Lovász (1971b)

5. Eredmények

A három mérési terület (A,B,C) oldódásos- és utánsüllyedékes töbreinek vizsgálatából az alábbiak állapíthatók meg:

Az utánsüllyedékes töbröket magába foglaló felszíni formáknak (völgy, oldódásos töbör, közel sík felszín) nagy szerepük van az utánsüllyedékes dolinák elterjedésére és morfológiájára. Völgytalpi helyzetben sűrűbben fordulnak elő utánsüllyedékes dolinák (3. ábra). Ez arra vezethető vissza, hogy a völgy a területére érkező csapadékvíz a talpra kon-

centrálódik, ami a fekü nagyobb mértékű oldódását eredményezi. A völgytalpon kialakult utánsüllyedékes és oldódásos dolinák hossz tengelyeinek iránya a völgytalp lejtésirányát követi, vagy kevéssel tér el attól (5. *ábra*). E töbrök megnyúltsága viszonylag nagy, egyenletesen meredek oldalfalúak, közepes átmérőjűek és mélységűek (I. *táblázat*). Kereszt- és hosszszelvényben szimmetrikusak.

Enyhe lejtésű területen, ahol nincs hordozó – utánsüllyedékes dolinákat magába foglaló – felszíni forma, az utánsüllyedékes dolinák kevésbé megnyúltak. Alaprajzban inkább körhöz hasonlítanak (6. *ábra*). Ezen mérési eredmények, hasonlóak a KEVEINÉ et al. (2015) által tapasztaltakkal. Hossz tengelyeik iránya nem minden esetben egyezik meg a terület lejtésének irányával (7. *ábra*). Átlagosan mélyebbek, mint a völgytalpon képződött utánsüllyedékes dolinák (II. *táblázat*). Határoló lejtőik egyenletes dőlésűek, kereszt- és hosszszelvényben egyaránt szimmetrikusak.

A 'C' jelű területen az utánsüllyedékes töbrök sűrűsége a két oldódásos részdolinában különböző. A kisebb, lankásabb oldalú oldódásos dolina oldallejtőjén több hordozott utánsüllyedékes dolina található, mint a nagyobb lejtésű oldódásos dolina oldallejtőjén (8. *ábra*, 9. *ábra*). Míg a meredek oldalú oldódásos dolinákhoz viszont a környezetében gyakoriak az utánsüllyedékes dolinák. A 'C' jelű területen az utánsüllyedékes töbrök uralkodóan az azokat magába foglaló oldódásos dolinák középpontja felé megnyúltak, vagy néhány esetben merőlegesek a lejtésirányra (10. *ábra*). Mélységük és kiterjedésük a másik két mérési területhez (A, B) képest kisebb (III. *táblázat*). Határoló lejtőik nem egyforma dőlésűek. Az oldódásos dolina középpontja felé eső lejtőik jóval meredekebbek, mint a töbör pereme felé eső lejtőik. Ez azonban csak abban az esetben igaz, ha az utánsüllyedékes töbör az oldódásos töbör középpontja felé megnyúlt, ha erre az irányra merőleges kifejlődésű, akkor nem.

A három mérési terület utánsüllyedékes dolinái közül a 'C' jelű terület dolinái rendelkeznek a legkisebb átmérő (hossz, kereszt) és mélység értékekkel. Megnyújtottsági arányuk viszont ezeknek a legnagyobb. Az 'A' és 'B' terület utánsüllyedékes dolináinak átlag mélység értéke megegyezik. Utóbbi (B jelű) mérési terület utánsüllyedékes dolinái rendelkeznek a legnagyobb átmérő értékekkel. E különbség a két mérési (A, B jelű) terület eltérő átlagos alak értékében is megmutatkozik. A dolinák területe és felülete a 'B' jelű mérési területen a legnagyobb, a 'C' jelű területen a legkisebb. A dolinasűrűség mindhárom kutatási területen feltűnően magas, mely jó egyezést mutat a korábbi kutatások eredményeivel (LIPPMANN et al. 2008, HOYK 2002).

6. Következtetések

Az utánsüllyedékes dolinák kialakulásának helyét a fekü szerkezete (a törések helye és iránya), valamint a felszínen a vízáramlás helye és iránya szabja meg. Az utánsüllyedékes dolinák a nagyobb mélyedések által befolyásolt vízáramlási helyek mentén és a víz összefolyásoknál alakulnak ki.

Az utánsüllyedékes dolinák méreteire, morfológiájukra, alakjukra, irányukra, sűrűségükre, de akár típusukra is hatással lehet, hogy azok milyen morfológiai környezetben jöttek létre. A különböző morfológiájú környezettel (völgy, oldódásos dolina, közel sík felszín) rendelkező utánsüllyedékes dolinák morфомetriai paraméterei különböznek. E felszíni formák koncentrálnak a területükre érkező víz lefolyását, ezáltal e formák területén a fekü oldódására is hatást gyakorolnak. Ezzel hozzájárulnak a különböző morfológiai környezetű dolinák eltérő morфомetriai paramétereinek létrejöttéhez. Az utánsüllyedékes dolinákat hordozó terület lejtőszöge és az utánsüllyedékes dolinák megnyúltsága között egyenes arányosság van. Minél nagyobb a lejtőszög, annál megnyúltabbak a dolinák. Ahol a terület lejtése elhanyagolhatóan kicsi (B jelű terület) ott a beszivárgás nem irányított, a létrejött dolinák mélyebbek és megnyúltságuk nem jelentős.

Völgy esetében a víz a talpra koncentrálódik, ezért a völgytalpon dolinasor alakul ki. De a völgy által irányított felszíni vízáramlás és elszivárgás az utánsüllyedékes dolinák megnyúltságára is hatással van. Míg az oldódásos dolina esetében a víz a dolina talppontja felé áramlik, emiatt aszimmetrikusak lesznek a lejtők utánsüllyedékes dolinái hosszmetsetük mentén. Az is megállapítható, hogy az oldásos dolinákban nagy lejtőszögnél (miután a víz nagyobb eséllyel folyik le a felszínen és kisebb az esély a beszivárgásra) nem, kis lejtőszögnél viszont kialakulnak utánsüllyedékes dolinák.

IRODALOM

- BOKOR E.* (1925): Az Abaligeti-barlang. – Földrajzi. Közlemények. 53. pp. 105-140
- CZIGÁNY, S., LOVÁSZ G., FODOR I.* (2008): Additional data on the mapping of the Western Mecsek Karst area, Southern Hungary. In: *LÓCZY D., TÓTH J., TRÓCSÁNYI A.* (eds.): Geographia Pannonica Nova 3. Progress in Geography in the European Capital of Culture 2010. Imedias Publisher, Pécs, pp. 241-248.
- FORD, D. C., WILLIAMS, P.W.* (2007): Karst Hidrology and Geomorphology - John Wiley Sons Ltd, Chicester 562 p.

- GEBHARDT A., OPPER S.* (1959): Az Abaligeti-barlang. – Pécs, B. M. Idegenforgalmi hivatal
- GUNN, J.* (2004): Fluviokarst. – In: *GUNN, J.* (ed.): Encyclopedia of Caves and Karst Science. Taylor and Fitzroy Dearborn, London, New York, pp. 363-364.
- HEVESI A.* (2001): A Nyugat-Mecsek felszíni karsztosodásának kérdései – Karsztfejlődés VI., pp. 103-111.
- HEVESI A.* (2002): A magyarországi karsztok fejlődéstörténet és formakincs szerinti csoportosítása; Az aggteleki karsztok formakincse – Nagydoktori értekezés, Miskolc 145 p.
- HOYK E.* (2002): A Nyugat-Mecseki karszt dolináinak morfológiai vizsgálata – Karsztfejlődés VII., pp. 161-171
- JENNINGS, J. N.* (1985): Karst Geomorphology. – Basil Blackwell, New York, 293 p.
- KEVEINÉ BÁRÁNYI I., KISS M., NELIS, S.* (2015): Néhány további adat a hazai karszt dolinák aszimmetriájának kialakulásához. – Karsztfejlődés XX. pp. 125-144.
- LIPPMANN L., KISS K., MÓGA J.* (2008): Az Abaliget-Orfői karsztos felszínformák vizsgálata térinformatikai módszerekkel. – Karsztfejlődés XIII., pp. 151-166.
- LOVÁSZ GY.* (1971a): Abaligeti karszt Földrajzi Értesítő, 1971(3) pp. 13-19.
- LOVÁSZ GY.* (1971b): Adatok az Abaligeti-karszt geomorfológiai és hidromorfológiai jellemzéséhez Földrajzi Értesítő 1973(3) pp. 283-295.
- MYSKOWSKY E.* (1905): Barlangokról, különös tekintettel a pécsvidéki Mecsekhegység triásmész-kő komplexusában lévő cseppkőbarlangokra. – A Mecsek Egyesület Évk., Pécs, pp. 1-30.
- RÓNAKI L.* (1962): Az orfői Vízfőforrás-barlang feltárt szakaszának földtani viszonyai. – Karszt és Barlang, II. pp. 51-55.
- RÓNAKI L.* (1970): A Vízfő-forrás barlangjának kutatása. – Karszt és Barlang, I. pp. 25-30.
- RÓNAKI L.* (1971): A karsztformák irányítottságának vizsgálata a mecseki triászban. – Karszt és Barlang II. pp. 65-68.
- SWEETING, M. M.* (1973): Karst Landforms. Columbia University Press, New York, 362 p.
- SZABÓ P. Z.* (1940): A mecseki karsztvíz. – Hidrológiai Közöny, XX. pp. 136-152.
- SZABÓ P. Z.* (1961): A Mecsek és a Villányi-hegység barlangjai. – Karszt és Barlangkutató. pp. 3-20.

- SZABÓ P. Z.* (1968): A magyarországi karsztosodás fejlődéstörténeti vázlata – Dunántúli Tudományos Gyűjtemény 80., Budapest, 25 p.
- SZABÓ P.Z.* (1957): A karszt mint klimatikus morfológiai probléma. – Dunántúli Tudományos Gyűjtemény 15. 42 p.
- SZABÓ P.Z.* (1963): A Mecsek. – Természettudományi Közlemények, 7. pp. 389-396.
- TRUDGILL, S. T.* (1985): Limestone Geomorphology. – Longman, New York, 196 p.
- VADÁSZ E.* (1935): A Mecsekhegység. Magyar. Tájak Földtani. Leírása, Budapest
- VASS B.* (1960): Legújabb kutatások az Abaligeti barlangban. – Karszt és Barlangkutatási Tájékoztató. Budapest
- VERESS M.* (2010): Adatok a Mecsek-hegység fedett karsztosodásához a Cigány földi mintaterületről vett példák felhasználásával. – Karszt és Barlang 2011 I-II. Budapest, pp. 9-28.
- VERESS M.* (2016): Covered karst. – Springer, Berlin, Heidelberg, New York 536 p.
- WALTHAM, A. C., FOOKES, P. G.* (2003): Engineering classification of karst ground conditions. – Quarterly Journal Engineering Geology Hydrogeology 36 pp. 101-118.
- WALTHAM, T., BELL, F., CULSHAW, M.* (2005): Sinkholes and Subsidence. Springer, Berlin – Heidelberg, 382 p.
- WILLIAMS, P. W.* (1971): Morphometric analysis of karst with examples from New Guinea – Zeitsch. f. Geomorph 15 pp. 46-61.
- WILLIAMS, P. W.* (1972a): Morphometric analysis of polygonal karst in New Guinea – Bulletin of the Geological Society of America, 83, pp. 761-796.
- WILLIAMS, P. W.* (1972b): The analysis of spatial characteristics of karst terrains – In: Spatial analysis in geomorphology, R. J. Chorley (ed) London: Methuen pp. 136-163.
- WILLIAMS, P. W.* (2004): Dolines. – In: GUNN, J. (ed.): Encyclopedia of Caves and Karst Science. – Taylor and Fitzroy Dearborn, London, New York, pp. 304-310.