

HORIZONTÁLIS NÖVEKEDÉSŰ OLDÓDÁSOS DOLINÁK (TÁNYÉROS DOLINA) KIALAKULÁSA, FEJLŐDÉSE ÉS ALJZATUK FOLYAMATAI

THE EVOLUTION AND DEVELOPMENT OF SOLUTION DOLINES WITH HORIZONTAL GROWTH (PLATE SHAPED DOLINE) AND THE PROCESSES OF THEIR FLOOR

VERESS MÁRTON

¹GJCSE, Planetológiai és Természetföldrajzi kutató és ismeretterjesztő szekció veress.marton@elte.sek.hu

Abstract: This study investigates the evolution and development of plate shaped dolines (depressions with a large diameter, small depth and plain floor). For the determination of their morphological characteristics, the morphological parameters of 16 dolines were measured and calculated (their average values were compared to the parameter average values of the dolines of other doline types). Based on the data of VES measurements, the superficial deposit and the morphology of their bedrock of six dolines were studied. It can be stated that plate shaped dolines increase by widening. They are formed at sites where the water drainage and material transport capacities of the epikarst of the bedrock ceases on doline floors, while drainage and material transport take place at the margin of dolines. Their genetic varieties are plate shaped doline with karren, plate shaped doline with drawdown doline, plate shaped doline with subsidence doline plate shaped doline without drawdown doline, and plate shaped doline with partial doline. Below the floor of the plate shaped doline with karren, the drainage and material transport of the epikarst regenerates and karren are formed on the floor. Below the floor of the plate shaped doline with drawdown dolines, the epikarst recovers locally and for a short time, while below the floor of plate shaped doline with subsidence doline, the epikarst regenerates locally, but permanently too (this enables material transport from the cover into the karst and thus, the formation of subsidence dolines on the doline floor with superficial deposit). Below the floor of the plate shaped doline without drawdown doline, the epikarst did not regenerate at all. On the floor of the partial dolines of the plate shaped doline with partial doline, the epikarst is active in the beginning, but later it will be inactive (the partial dolines do not become deeper, but they widen since the epikarst is active on their side slopes and thus, they coalesce). On the karst with plate shaped dolines, the surface does not become dissected, the host rock is denuded in a small thickness and in horizontal direction and in case of the development of inner plate shaped dolines it is denuded in several levels. Since plate shaped dolines (non-active epikarst) and drawdown dolines (active epikarst) also occur together on karst, peneplain and vertically dissected surface section may develop adjacent to each other on plain terrains with dolines. In case of plate shaped dolines with an elevated position, the mounds become truncated or are separated into sections. In case of those situated near valleys, the dolines contribute to the widening and lengthening of valleys.

Keywords: epikarst, plate shaped doline, morphometry, superficial deposit of doline floor

Bevezetés

E tanulmány célja a tányéros dolinák jellemzőinek, kialakulásának, fejlődésének, talpuk karsztos folyamatainak és e dolináknak a karsztok felszínfejlődésére gyakorolt hatásának vizsgálata és bemutatása.

Az oldódásos dolináknak egyik változata a tányéros dolina, amely HEVESI (1984, 2000) szerint nagy átmérőjű (80-200 m), sík aljzatú depresszió. Az oldódásos dolinák többféle módon osztályozhatók. Lejtőik jellege növekedésük során változik. Elsősorban a homorú és domború lejtőrész egymáshoz képesti hosszának a figyelembevételével a dolinák négyfélék (PÉNTEK et al. 2007):

1. pereménél és aljzatánál szélesedő dolina (a homorú lejtőrész a domináns),
2. aljzatánál szélesedő dolina (a homorú lejtőrész a domináns, de a lejtő meredekké alakul fejlődése során, az aljzat síkká fejlődik),
3. pereménél szélesedő dolina (a domború lejtő hosszabbodik a homorúhoz képest, miközben a lejtő ellankásodik),
4. mélyülő, nem szélesedő dolina (a domború lejtőrész hossza nő a homorúhoz képest, miközben a lejtő egyre meredekebbé válik).

Az oldódásos dolinák kialakulásuk szerint lehetnek „*point recharge*-, *drawdown*- és *inception*” dolinák (SAURO 2012). A „*point recharge*” dolinák a karsztra átöröklődött völgyekben alakulnak ki. A felszíni vízbevezetés a kialakuló protobarlangokba történik, biztosítva a felszíni víz és az oldott anyag elszállítását és így a depresszió mélyülését (WILLIAMS 1985, 2004, FORD, WILLIAMS 2007, SAURO 2012). Az „*inception*” dolinák ott jönnek létre, ahol felszínhez közeli vízzáró van. Ahol ezen a víz átjut koncentrált lesz a vízbevezetés és az oldott anyag továbbszállítása is. Ezért e hely felett depresszióképződés történik (SAURO 2012). A „*drawdown*” dolinák visszacsatolási folyamatok során képződnek (WILLIAMS 1983, FORD, WILLIAMS 2007). Az epikarsztban, ahol a vízbevezetés felgyorsul a törések mentén a járatok (talaj alatti karroknál) gyorsabban fejlődnek. A gyorsabb vízbevezetés e helyek felett is intenzívebb oldódást eredményez és így a kialakuló depresszió mélyülése is egyre gyorsabb lesz az egyre fejlettebb járatok felé. A depresszió legmélyebb pontjára még több víz érkezik, ami tovább erősíti itt az oldódást, az epikarsztban pedig a másodlagos porozitás növekedését is. Az epikarszt másodlagos porozitásának a növekedése intenzívebbé teszi az áramlást, ami ugyancsak növeli az oldódást a dolina mélyebb részén és alatta az epikarsztban. A vázolt fejlődés azt eredményezi, hogy a dolinatalp (ill. a talpnál a feké), a dolina középpontja felé egyre mélyebb lesz.

Glaciokarszton az oldódásos dolinák különböző változatait különítik el: így óriás oldódásos dolina (paleodolina), kisméretű (recens) oldódásos dolina, aknadolina, de előfordulnak utánsüllyedéses dolinák is (FORD 1979, SWEETING 1973, KUNAVÉR 1983, ŠTEPISNIK et al. 2010, VERESS 2017, VERESS et al. 2019).

A különböző oldódásos dolinák aljzatát kisebb-nagyobb vastagságban nem csak talaj, hanem nem karsztos fedő is elboríthatja. Ekkor a fedőn

gyakran fedett (rejtett) karsztos dolinák (utánsüllyedéses dolina) képződnek (SWEETING 1973, WILLIAMS 2004, VERESS 2016, 2017, VERESS et al. 2019).

A tányéros dolinák, mint azt alább bemutatjuk „drawdown” dolinák-ból alakulnak ki.

Módszerek

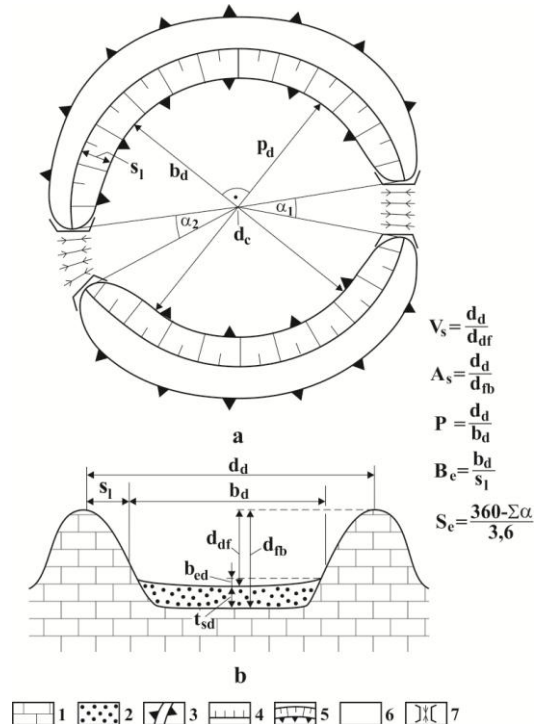
A dolináknak vannak mérhető és számítható paraméterei, amelyeket számos kutató vizsgált (CLARK, EVANS 1954, WILLIAMS 1971, 1972a, 1972b, JENNINGS 1975, BONDESAN et al. 1992, TELBISZ, MÓGA 2005, LYEWAYEE et al. 2007, PÉNTEK et al. 2007, LÁTOS et al. 2015, KEVEINÉ et al. 2015). BONDESAN et al. (1992) ezekből 65 félélt különített el. E paraméterekkel jellemezhető a dolinák mérete, morfológiája, valamint előfordulása, elterjedése, mintázata (pl. sűrűség, sűrűség változás, a legközelebbi szomszéd, stb.). A mérhető paramétereket közvetlen terepi méréssel, térképről, vagy légi fotókról adhatják meg. E munkában olyan paramétereket használtunk, ill. hoztunk létre (miután a tányéros dolináknak más dolináktól részben eltérő morfológiai sajátosságaik vannak) és számítottunk, amelyek alkalmasak a tányéros dolinák jellemzésére, leírására, valamint más dolinatípusok dolináival való összehasonlításra. Geofizikai módszereket a dolinafedők összetételének a megállapítására, szerkezetének és a fekvjük morfológiájának a vizsgálatára már korábban alkalmaztak (McDOWELL et al. 2002, ZHOU et al. 2002, HOOVER 2003, VERESS 2009, 2016, MORALES, SORIANO 2017).

A módszereinket alább mutatjuk be.

- Az Aggteleki-karszton, a Bükk-hegységben, a Pádison, az Asiagó fennsíkon olyan dolinákat választottunk ki és készítettük el a domborzatrajzi térképüket, amelyeket a terepbejárások során potenciálisan tányéros dolináknak lehetett tekinteni. A térképeket 1:250 vagy 1:500 méretarányban készítettük el, a térképeken a szintvonalakat 0,5 m, vagy 1,0 m-enként szerkesztettük ki.

- A tányéros dolinák morfológiai jellemzőinek a megállapításához az alábbi paramétereket mértük a domborzatrajzi térképekről (1. ábra): a dolina hosszanti átmérőjét (d_d), a dolina sík aljzatának hosszanti kiterjedését (b_d), az aljzatának legnagyobb magasságkülönbségét (b_{ed}), a lejtőjének a hosszát (s_l). Mind a mélységet, mind a lejtő hosszát megadtuk a dolina melletti magaslathoz, valamint a dolina pereméhez képest is. Az aljzat és a lejtő határát azon dolinánál, ahol van karsztos nyereg, a dolinából a karsztos nyeregnél kilépő szintvonal adta. Ahol karsztos nyereg nincs, ott az a szintvonal, ahonnan a dolina középpontja felé a szintvonal sűrűség kisebb, mint a perem irányába. Megadtuk az oldallejtő hiányának a mértékét. Ez utóbbit az

aljzat középpontjánál lévő szög (α) nagyságával állapítottuk meg. A középpontot a leghosszabb és a legrövidebb, egymásra merőleges aljzati átmérők metszéspontjainál vettük fel. Ahol több helyen is hiányzott az oldallejtő, ott a középpontnál lévő szögeket összegeztük ($\Sigma\alpha$).



1. ábra: Tányéros dolina néhány morfológiai paramétere

Jelmagyarázat: 1. mészkő, 2. dolinatalp üledéke, 3. a dolinatalpat övező válaszfal, 4. a válaszfal gerince (a dolina pereme), 5. a válaszfal belső oldallejtője (dolina oldallejtője), 6. a dolina aljzata, 7. karsztos nyereg, b_d a dolinatalp leghosszabb átmérője, p_d a leghosszabb átmérőre merőleges átmérő, d_c a dolinatalp középpontja, α_1, α_2 a karsztos nyereg kiterjedését kifejező szögek, d_{df} a dolinatalp mélysége (látszólagos mélység), d_{fb} a dolina mélysége (tényleges mélység), S_1 a dolina oldallejtőjének a hossza, d_d a dolina átmérője a hosszabbik tengely mentén, b_{ed} az aljzat legnagyobb magasságkülönbsége, t_{sd} a fedőüledék vastagsága, V_s látszólagos alak, A_s tényleges alak, P dolina tányérosodási értéke, B_e dolina aljzat kiterjedtsége, S_e a dolina oldallejtőjének kiterjedtsége, a. felülnézet, b. oldalnézet

Fig. 1: Some morphometric parameters of a plate shaped doline

Legend: 1. limestone, 2. sediment of doline floor, 3. dividing wall surrounding the doline floor, 4. ridge of the dividing wall (margin of the doline), 5. inner side slope of the dividing wall (side slope of the doline), 6. floor of the doline, 7. karst saddle, b_d the longer diameter of the doline floor, p_d diameter that is perpendicular to the longest diameter, d_c centre of the doline floor, α_1, α_2 angles expressing the expansion of the karst saddle, d_{df} depth of the doline floor (apparent depth), d_{fb} depth of the doline (actual depth), S_1 length of the side slope of the doline, d_d the diameter of the doline along the longer axis, b_{ed} the largest elevation difference of the floor, t_{sd} thickness of the superficial deposit, V_s apparent shape, A_s actual shape, P plate shapedness value of the doline, B_e expansion of doline floor, S_e expansion of the side slope of the doline, a. plan view, b. lateral view

I. táblázat
Table I.

A vizsgált tányéros dolinák számított morfológiai paraméterei
Calculated morphometric parameters of studied plate shaped dolines

doline jele	látszólagos alak	tényleges alak	tányérosodottság	aljzat kiterjedtsége	oldalajtó kiterjedése (%)	morfológiai környezet
Fs1	66,67 (33,33)	37,45 (23,98)	1,33	30,00	81,39	tetőszinten, uvala része
Fs2	40,00 (13,33)	- (-)	1,33	8,00	85,28	tetőszinten, uvala része
Fs4	56,67 (10,62)	- (-)	1,70	6,67	89,72	sík térszínen, uvala része
Fs5	15,00 (12,85)	- (-)	1,29	7,00	79,17	sík térszínen, uvala része
Fs6	25,00 (9,72)	- (-)	1,75	3,33	82,50	epigenetikus völgytalpon, uvala része
Fs7	22,79 (11,53)	- (-)	1,87	4,00	81,39	sík térszínen, uvala része
Fs8	21,43 (9,37)	- (-)	1,81	4,15	85,83	sík térszínen, uvala része
Fs9	12,67 (11,18)	- (-)	1,46	2,89	86,67	epigenetikus völgytalpon, uvala része
Fs10	15,56 (8,23)	- (-)	1,75	2,00	80,56	sík térszínen, uvala része
N11/a	13,86 (-)	8,95 (-)	1,40	2,80	66,67	epigenetikus völgy peremén, uvala része
N13	51,01 (-)	31,89 (-)	1,75	3,80	100	sík térszínen
L6	41,21 (-)	- (-)	1,44	4,00	93,06	tetőszinten
Ag	40,62 (-)	16,63 (-)	1,36	4,75	83,06	tetőszinten
P1	45,00 (15,01)	39,63 (14,37)	2,47	2,67	56,94	poligonális karszt, uvala része
P3	49,87 (16,62)	15,93 (9,72)	1,52	10,42	81,39	poligonális karszt, uvala része
As1	11,25 (-)	11,25 (-)	1,24	6,04	100	sík térszínen
átlag	33,04 (13,80)	23,11 (16,02)	1,59	6,41	80,97	

Megjegyzés: a zárójelben lévő számnál a dolina alakjának számításánál a mélységet a határoló magaslatához képest adtuk meg

Notice: in case of the number in brackets, when calculating the shape of the doline, the depth was given as compared to the surrounding mound

- Számítottuk a dolina alakját úgy, hogy a hosszanti átmérő és a mélység hányadosát képeztük. Ha a mélységet a határoló magaslathoz adtuk meg, az így kapott alakot az *I. táblázatban* zárójelben tüntettük fel. Külön-külön meghatároztuk a látszólagos alakot (V_s) ekkor a dolinalaphoz képest adtuk meg a mélységet (d_{df}) a dolina peremétől, valamint a tényleges alakot (A_s) ekkor a mélységet a talp fekjéhez képest képeztük (d_{fb}) ugyancsak a dolina peremétől. Ez utóbbi számítása ott lehetséges, ahol a VESZ mérések adatainak a felhasználásával a fedő vastagsága (t_{sd}) meghatározható, illetve ahol a dolinalalp fedetlen. (A fedő vastagságára dolinánként átlagot számoltunk.) Meghatároztuk a dolina tányérosodási értékét (P) úgy, hogy a dolina hosszabbik átmérőjének és a talp hosszanti kiterjedésének a hányadosát képeztük. Meghatároztuk továbbá a tányéros dolinák aljzatának kiterjedtségét (B_e) úgy, hogy a talphossz és a dolina egyik lejtőjének a hányadosát képeztük. Százalékban megadtuk a hiányos oldallejtőjű, α szögű nyereggel rendelkező tányéros dolina oldallejtője kiterjedésének (S_e) az arányát a teljes oldallejtőjű (amit körnek tekintettünk) tányéros dolina oldallejtőjéhez (100%) képest, az alábbi módon:

$$S_e = \frac{360^\circ - \sum \alpha}{3,6}$$

- VESZ mérések adatainak a felhasználásával geoelektromos-földtani szelvényeket készítettek a Terratest Kft munkatársai 3 db bükki, 1 db aggteleki, 2 db pádisi tányéros dolinánál. (Megjegyezzük, hogy e módszerrel a fekü járatai, aknáik nem mutathatók ki!)

- Összehasonlítottuk a vizsgált dolinák látszólagos átlagos alak értékeit egyéb mérsékeltövi nem tányéros dolináinak (drawdown dolina), glaciokarsztok óriás dolináinak, aknadolináinak, kisméretű, recens, oldódásos dolináinak átlagos látszólagos alak értékeivel. Összehasonlítottuk a tányéros dolinák és az aknadolinák átlagos tányérosodási és átlagos aljzat kiterjedtségi értékeit (azért az aknadolinákat vontuk be ebbe az összehasonlításba, mert az aknadolináknak is sík aljzata van).

Összehasonlítottuk továbbá a mérsékelt övi „drawdown” dolinák és a glaciokarszt kisméretű, recens oldódásos dolináinak átlagos méret és alak értékeit a tányéros dolinák talpának fekjén előforduló depressziók átlagos méretével és átlagos alakjával.

Kutatási helyek

A Bükk-hegység az Északi-középhegység része, de szerkezetileg az Alpaca nagyszerkezeti egységhez tartozik (CSONTOS, VÖRÖS 2004). Takarós szerkezetű hegység (BALOGH 1964), központi része a 600-900 m magassá-

gú Bükk-fennsík, amelyet a Garadna-völgy északi Kis-fennsíkra és déli Nagy-fennsíkra különít.

Kutatási helyszíneink a Nagy-Fennsíkon helyezkednek el, amelyek a Fekete-Sár, a Nagy-Mező és a Nyavalyás-tető és felépítő kőzete triász anizuszi (*LESS et al. 2005*) mészkő. A Fekete-Sár (Zsidó-rét) a fennsík DNy-i részén helyezkedik el, közel a Tarkő magaslatához. A Fekete-Sár talajos karszt, karsztformái egy közel É-D-i irányú sávban vannak. Itt egymás szomszédságában „drawdown” dolinák, tányéros dolinák fordulnak elő, magányosan, de többnyire összekapcsolódva, uvalákat képezve. A „drawdown” dolinák és a tányéros dolinák között morfológiailag átmenetet képező dolinák is gyakoriak. A terület déli részén, amely helyenként polygonális karszt, a dolinák a sík felszínén, tetőhelyzetben-, míg északi részén epigenetikus völgy talpán vannak. Utóbbiak helyenként a völgyperemi dolinákkal is összekapcsolódtak.

A Nagy-Mező területén szabálytalan mintázatban fordulnak elő tányéros dolinák, amelyek egy része egymásba kapcsolódott. E dolinák eltérő mértékben feltöltődtek. Ez arra vezethető vissza, hogy É-i irányból területére egy epigenetikus völgy vezet, valószínűleg egykori víznyelős vakvölgy. A fedős aljzatú tányéros dolinák talpán utánsüllyedéses dolinák is kifejlődtek (*VERESS, ZENTAI 2009*).

Egyetlen tányéros dolina „L6” van tetőhelyzetben a Nyavalyás tetőn. Ez a magaslat ugyancsak a Nagy-Fennsíkon, annak É-i részén van a Lusta-völgy és a Garadna völgy között, amely térszín talajos karszt.

Az Aggteleki-karszt a Szilicei-takaró része (*KOVÁCS 1984*) és fennsíkokra különül. Legmagasabb közülük az Alsó-hegy, (felszínének magassága 450-550 m közötti, felépítő kőzete középső-triász (wettersteini) és felső-triász (dachsteini) mészkő), amelynek Ny-i, alacsonyabb részének egyik magaslata a Magas-tető. Ennek egyik uvalája a vizsgálat tárgyát képező „Ag1” jelű tányéros uvala.

A Padiş (Ponor-Bâtrîna) a Bihar-hegység 1100-1400 m magasságú, magaslatokkal tagolt fennsíkja. Felépítő kőzetei triász és júra mészkövek, dolomitok, permi homokkövek és metamorf kőzetek (*BLEAHU 1976*). A kutatási területek itt a nagyméretű Răchite fő részdolinájának „P1” és egyik mellék részdolinájának „P3” a talpai voltak. A Răchite egy uvala, amelyet különböző magasságú magaslatok és karsztos nyergek öveznek, fő-, és ezt övező mellék részdolinákból áll. A K-i irányból határoló karsztos nyereg belesimul a talpszintjébe, miáltal oda, mint a fennsík más részleteire is, a fennsíkot K-ről határoló Kék-Magura homokköves felépítésű tömegéről folyóvízi szállítással törmelékes üledék elborítás érkezett. A Padiş alacsonyabb térszín részletei és így a „P1” jelű fő részdolina talpa is fedett karszt-

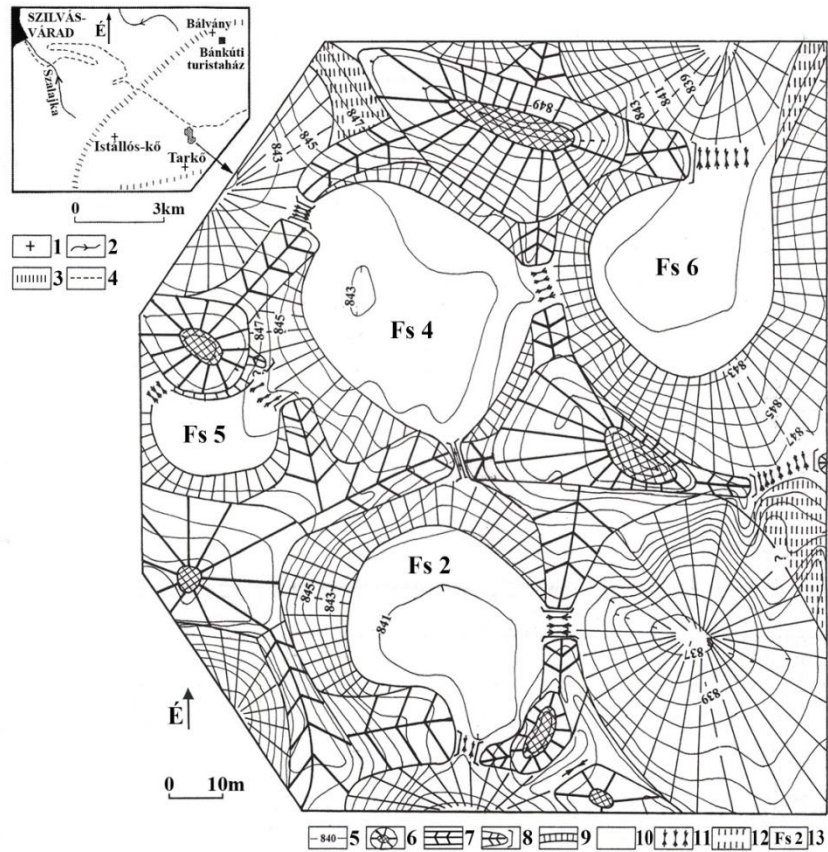
tos területek, míg a határoló magaslatokon oldásos dolinák vannak, tehát itt talajos karszt van. Hasonlóképpen elfedődtek e nagyméretű depresszióhoz kapcsolódó alacsonyabb helyzetű részdolinák, mint a „P3” jelű mellékdolina (részdolina) is. A fődolinának, de a hozzá kapcsolódó mellék részdolinának is a talpán számos utánsüllyedéses dolina alakult ki (VERESS 2016).

Asiago a Déli-Alpok a Vald’Astico-, a Valsaguno-, és Brenta völgyek között helyezkedik el. Felső triász, júra és kréta mészkövekből épül fel, amely az Apulai lemez autochton része (MAURER 2000). A fennsík déli alacsonyabb (mintegy 1500 m alatti) részén volt a kutatási területünk, amely egy magányos tányéros dolina az „AsI” jelű.

Eredmények

A tányéros dolinák morfológiájának minőségi jellemzői (2, 3. ábrák)

A dolinák morfológiai elemei a kiterjedt, sík aljzat, a rövid oldallejtő, amely a csoportos előfordulásúaknál, a szomszédos dolinákat elkülönítő válaszfal (vagy küszöb) része. Ennek legmagasabb része a gerinc. A tetőhelyzetűeknél, ha kellő mértékben kiszélesedtek a válaszfalhoz hasonló íves, körkörös, sáncszerű magaslat van. Ekkor a válaszfal keskeny, oldallejtői nem csak az övezett dolina közepe felé dőlnek, hanem ellenkező irányban a környezete felé is. A válaszfal alaprajzban íves, körkörös lefutású. Ott alakul ki, ahol az eredeti térszín a határoló dolinák szélesedésével elkeskenyedik. A válaszfalak átréselődöttek lehetnek (félválaszfal, félküszöb). E helyeken karsztos nyergek alakulnak ki. (Ugyanazon dolinának több karsztos nyerge is lehet, ha a válaszfal, vagy gerinc több helyen lepusztult.) A karsztos nyergeknél kapcsolódnak egymásba a rész dolinák, uvalákat alkotva. A völgyperemi helyzetű, vagy az uvalák függőhelyzetű dolinái gyakran nem zártak, hanem nyitottak. Ilyenkor a nyeregnél a felszín kizárólag a völgy, vagy azon depresszió irányába dől, amelyhez a részdolina kapcsolódott. A válaszfalak tetőszintje nem sík, magaslatok tagolhatják. E magaslatok a válaszfalak lokális pusztulása (a folyamat lehet nem karsztos eredetű is) során jönnek létre. Több dolina között is előfordulhatnak magaslatok (dolina közti magaslat, vagy karsztdomb). E formák magasabbak, kiterjedtebbek, kevésbé megnyúltak, mint a válaszfalak magaslatai. Nem íves alaprajzúak, bár peremeik párhuzamosak a dolinák oldallejtőikkel. Tetőszintjük az eredeti, karsztosodás előtti térszín maradványa.

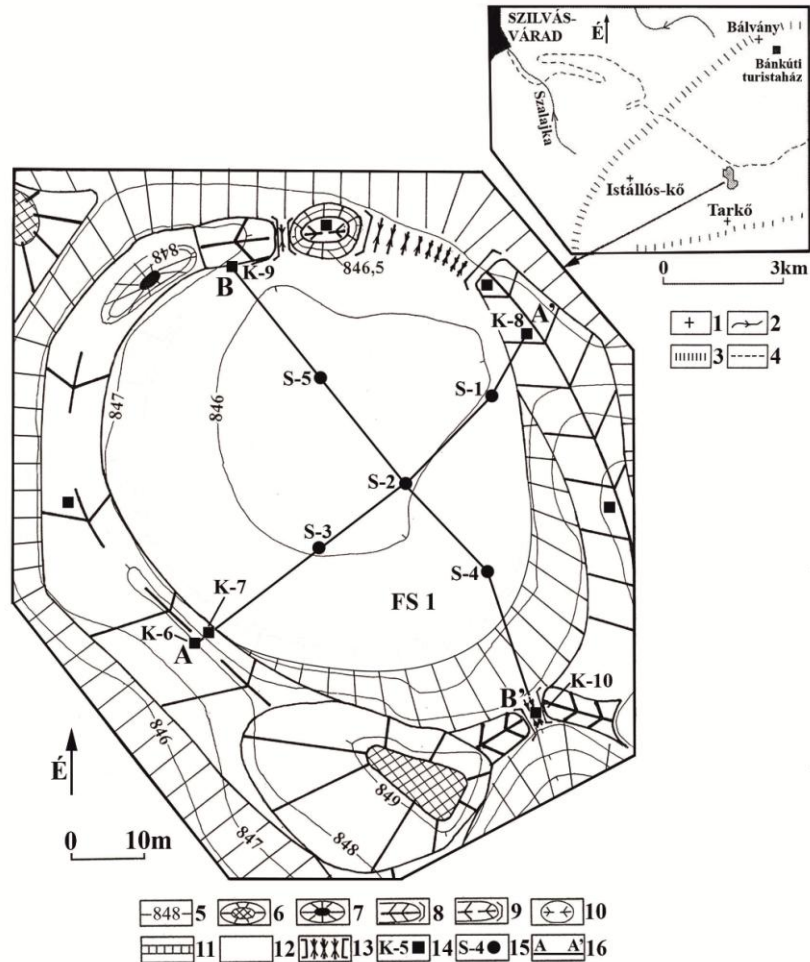


2. ábra: Összekapcsolódott tányéros dolinák morfológiai térképe a Fekete Sár-Rét területéről
 Jelmagyarázat: 1. hegy, 2. vízfolyás, 3. fennsík pereme, 4. út, 5. szintvonal, 6. karszdomb, 7. válaszfal, 8. fél válaszfal, 9. dolina oldallejtő, 10. dolina aljzata, 11. karsztos nyereg, 12. karsztos eredetű lejtő, 13. tányéros dolina jele

Fig. 2: Morphological map of coalesced plate shaped dolines from the area of Fekete Sár-Rét
 Legend: 1. mountain, 2. stream, 3. plateau margin, 4. road, 5. contour line, 6. karst hill, 7. dividing wall, 8. half-dividing wall, 9. doline side slope, 10. doline floor, 11. karst saddle, 12. slope of karstic origin, 13. identification mark of a plate shaped doline

A tányéros dolinák fedőledekés talpán kétféle depresszió fordul elő. Az egyik a mélységéhez képest nagy átmérőjű, lankás oldallejtőjű forma, amelyet tömörödéses dolinának tekintünk (lásd alább). A másik, az átmérőjéhez képest mély és meredek oldalú depresszió. Ez utóbbiak az utánsüllyedéses dolinák.

A tányéros dolinák morfológiájának mennyiségi jellemzői (morfometriai jellemzők)



3. ábra: Az Fs1 jelű (Fekete-Sár) tányéros dolina morfológiai térképe
 Jelmagyarázat: 1. hegy, 2. vízfolyás, 3. fennsík pereme, 4. út, 5. szintvonal, 6. karszdomb, 7. karsztos magaslat válaszfalon, 8. fél válaszfal, 9. roncsolódott fél válaszfal, 10. válaszfal maradvány, 11. dolina odallejtője, 12. dolina aljzata, 13. karsztos nyereg, 14. kőzet kibúvás és jele, 15. VESZ mérés helye és jele, 16. geoelektromos földtani szelvény nyomvonala

Fig. 3: Morphological map of the plate shaped doline marked Fs (Fekete-Sár)

Legend: 1. mountain, 2. stream, 3. plateau margin, 4. road, 5. contour line, 6. karst hill, 7. karst mound on a dividing wall, 8. half-dividing wall, 9. truncated half-dividing wall, 10. relict form of a dividing wall, 11. side slope of the doline, 12. doline floor, 13. karst saddle, 14. rock outcrop and its mark, 15. site and identification code of VES measurement, 16. track of a geoelectric-geological profile

A vizsgált dolinák mért paramétereiből a számított értékeket az I. táblázaton mutatjuk be. A tányéros dolinákat és a „drawdown” dolinákat pusztán a morfológiai jellemzők szerint nem lehet biztosan elkülöníteni egymástól. Ugyanis a nem tányéros dolináknak is lehetnek nyergeik és sík aljzatuk. Ez utóbbi akkor jön létre, ha a dolinalap feltöltődik és áltányéros dolina jön

létre. Ezért azon dolinák tekinthetők tányéros dolináknak, amelyek alak értékei nem kisebbek, mint azon dolináké, amelyek sík fekü aljzattal rendelkeznek. A vizsgálat során a tányéros dolinák felismerésére két lehetőség adódik.

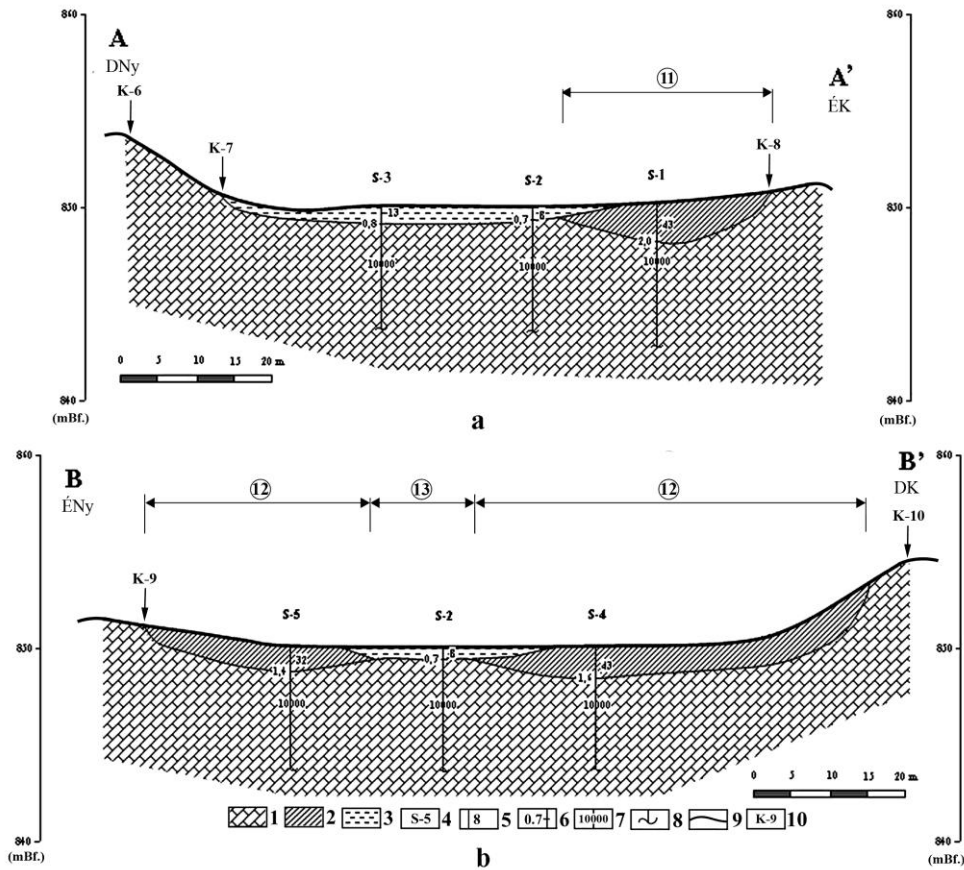


4. ábra: Az As1 jelű (Asiagói-fennsík) tányéros dolina (a dolinaaljzat üledék nélküli és karrokkal tagolt)
Fig. 4: Plate shaped doline marked As1 (Asiago Plateau) (the doline floor is without sediment and it is dissected by karren)

- A természetes úton feltárt sík aljzatú dolinát (ilyen az Asiagói-fennsíknak az „As1” jelű dolinája, amelynek alak értéke 11, 25, 4. ábra) tekintjük tányéros dolinának. Ebből következik, hogy azok a jégeróziótól mentes dolinák tányéros dolinák, amelyek alak értékei e dolina alak értékénél nagyobbak.

- A VESZ mérésekkel kimutatható sík aljzatú dolinák közül a legkisebb látszólagos alak értékkel rendelkező dolinát is tekinthetjük a dolinák kiválasztásánál mérvadónak. A VESZ mérésekkel vizsgált sík talpú dolinák közül az N11/a jelű (Bükk-hegység) rendelkezik a legkisebb látszólagos alak értékkel, amely 13,86 (I. táblázat).

A kétféle elv alapján kiválasztott két dolina alakértékei közel esnek egymáshoz (ami a kiválasztás objektív voltát erősítheti). Látható, a tányéros dolinának minősített dolinák mindegyikének a látszólagos alakértéke a fenti dolinák látszólagos alakértékeinél nagyobb.



5. ábra: Az Fs1 jelű tányéros dolina A-A' és B-B' jelű geoelektromos-földtani szelvényei (szelvényhelyek a 6. ábrán láthatók)

Jelmagyarázat: 1. mészkő, 2. lösz (agyagos-iszapos), vagy mészkőtörmelékes agyag, 3. agyag, 4. VESZ mérés helye és jele, 5. összlet geoelektromos ellenállása (Ohmm), 6. összlet geoelektromos talpmélysége (m), 7. a fekü geoelektromos ellenállása (Ohmm), 8. VESZ mérés kb-i behatolása, 9. geoelektromos összelethatár, 10. kőzetkibúvás jele 11. fekü depresszió, 12. részdolina, 13. elfedett válaszfal

Fig. 5: Geoelectric-geological profiles marked A-A' and B-B' of the plate shaped doline marked Fs1 (profile sites can be seen in Fig. 6)

Legend: 1. limestone, 2. loess (clayey-muddy) or clay with limestone debris, 3. clay, 4. site and identification code of VES measurement, 5. geoelectric resistance of series (Ohmm), 6. base depth of geoelectric series (m), 7. geoelectric resistance of bedrock (Ohmm), 8. approximate depth of penetration of VES measurement, 9. geoelectric series boundary, 10. identification code of rock outcrop 11. bedrock depression, 12. partial doline, 13. covered dividing wall

A kiválasztott tányéros dolinák paramétereit tekintve megállapítható, hogy nagy átlagos látszólagos alak jellemzi e dolinatípust (33,04). De még a tényleges dolina alak átlaga is nagy (23,11). Hasonlóképpen nagy az aljzat kiterjedtségének értéke (6,41) és kicsi a tányérosodottsági érték (1,59). Az alak azért nagy, mert a dolinák átmérőjéhez képest a mélységük kicsi. A

nagy aljzat kiterjedtség oka, hogy az aljzat dominál az oldallejtő hosszhoz képest, míg a kicsi tányérosodottságé, hogy a sík aljzat kiterjedése megközelíti a dolinák átmérőjét. Az aljzat sík jellegét alátámasztják az aljzaton belüli legnagyobb magasságkülönbségek kicsi értékei (átlag 1,03 m). De nemcsak a fedőüledékes vagy talajos aljzat közel sík és kis dőlésű, hanem a fekü is. Ezt mutatják a szelvények (5. ábra), de az is, hogy a Rächite két utánsüllyedékes dolina csoportja (amelyek az I-I' és a VII-VII' szelvények nyomvonalai mentén helyezkednek el) között a távolság 100 m, míg a két hely fekjének a magasságkülönbsége mindössze 7-11 m.

II. táblázat
Table II.

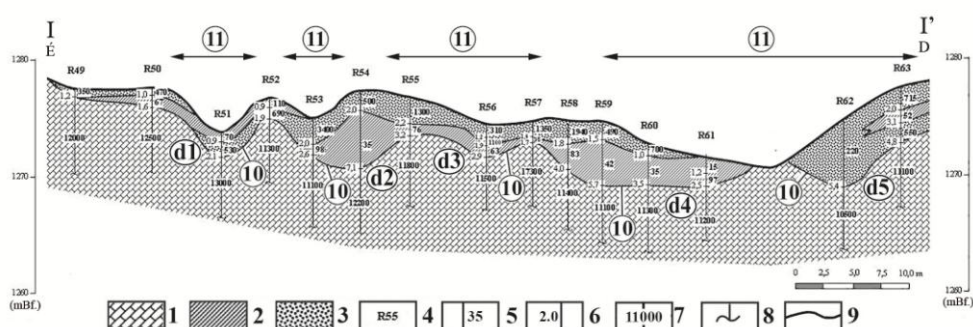
Oldódásos dolinatípusok dolináinak átlagos alak értékei
Average shape values of the dolines of solution doline types

dolinatípus	esetszám	átlagos látszólagos alak	átlagos tényleges alak	a vizsgáltak előfordulási helye	forrás
tányéros dolina	16	33,04	23,11	Bükk-hegység, Aggteleki karszt, Padis, Asiadó	jelen tanulmány
mérsékelt övi drawdown dolina	13	8,10	?	Aggteleki-karszt, Mecsek-hegység (Magyarország)	VERESS 2017
aknadolina	8	1,45	?	Kanin, Totes Gebirge, Durmitor	VERESS 2017
glaciokarszt óriás dolinája (paleodolina)	28	15,22	?	Kanin, Durmitor, Totes Gebirge	VERESS 2017
glaciokarszt kisméretű (re-cens) dolinája	16	3,13	?	Durmitor, Hochschwab	VERESS 2017
tányéros dolinák fekjének drawdown dolinája	14	-	5,32	Padis (P1 és P3)	jelen tanulmány

Más dolinatípusokkal összehasonlítva megállapítható, hogy a tányéros dolinák átlagos látszólagos alakja a legnagyobb (II. táblázat). Még a tényleges átlagos alak értékük is nagyobb, mint a többi oldódásos dolina típus dolináinak átlagos látszólagos alak értéke. Az oldódásos dolinatípusok közül a legkisebb átlagos látszólagos alakértéke az aknadolináknak (1,45) van (VERESS 2017, II. táblázat). A tányéros dolinák látszólagos átlagos alakja még az idős jégerózióval kiszélesített óriás dolinák látszólagos átlagos alakjának is a duplája. A tányéros dolinák más paraméterei csak az aknadolinákéval hasonlítható össze (lévén, hogy e dolinatípusnak van még sík aljzata). Az I. táblázat adatai szerint az aknadolinák átlagos tányérosodási értéke (2,30) közel esik a tányéros dolinák átlagos tányérosodási értékéhez

(1,59). Ami nem a sík aljzat kiterjedtsége miatt lehetséges, hanem azért, mert e dolinák meredek lejtőjüek és ezért az átmérőjük és talpuk alig tér el egymástól. Az aljzat kiterjedtség viszont számottevően különbözik: előző-eknél 6,41, utóbbiaknál 0,85. A jelentős eltérés oka, hogy az aknadolináknál a viszonylagos nagy mélységük miatt az oldallejtő hossza közel hasonló, mint az aljzat átmérőjének az értéke vagy akár meg is haladja azt. A tányéros dolináknál viszont lényegesen felülmúlja a kis mélység miatt az aljzat kiterjedése az oldallejtő hosszát.

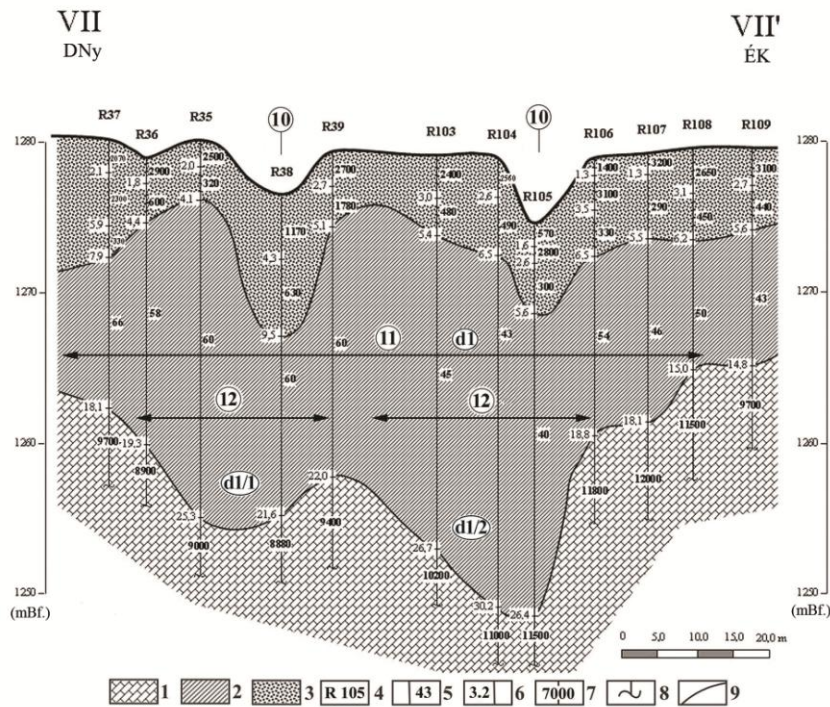
A tányéros dolinák fekjüének és fedőüledékeinek a jellemzői



6. ábra: Geoelectromos földtani szelvény (I-I' jelű) a P1 jelű fő részdolina (a Rächite területéről)
 Jelmagyarázat: 1. mészkő, 2. agyagos kőzetliszt, 3. vegyes kőzettörlemék (homok, homokkő- és mészkőtörlemék), 4. VESZ mérés helye és jele, 5. összlet geoelectromos ellenállása (Ohmm), 6. geoelectromos összlet talpmélysége (m), 7. a fekjü geoelectromos ellenállása (Ohmm), 8. VESZ mérés kb. behatolása, 9. a geoelectromos összelethatár, 10. depresszió a fekjün azonosító jellel, 11. subsidence dolina
 Fig. 6: Geoelectric-geological profile (marked I-I') from the area of the main partial doline marked P1 (Rächite)
 Legend: 1. limestone, 2. clayey silt, 3. mixed rock debris (sand, sandstone and limestone debris), 4. site and identification code of VES measurement, 5. geoelectric resistance of series (Ohmm), 6. base depth of geoelectric series (m), 7. geoelectric resistance of bedrock (Ohmm), 8. approximate depth of penetration of VES measurement, 9. geoelectric series boundary, 10. depression on the bedrock with identification code, 11. subsidence doline

- A sík fekjü lehet tagolatlan, alig tagolt (5. ábra), nagy mértékben tagolt (6, 7. ábrák). A fekjün aknák és depressziók fordulhatnak elő. Akna említhető az „N-13” jelű tányéros dolina (Bükk –hegység) talpáról, ahol az üledékes felszínre felnyílt akna figyelhető meg. A tányéros dolinák különböző alak értékű fekjü depressziót a III. táblázatban mutatjuk be. A fekjü depressziók alakja az „As1” jelű dolina alakjához képest (alak 11,25) lehet nagy (átlagos alak 15,33) és kicsi (átlagos alak 5,32). A kicsi alakú depressziók felett a fedőn utánsüllyedéses dolinák lehetnek (6, 7. ábrák), de előfordul, hogy nincsenek (8. ábra). A vizsgált 14 db kicsi alak értékű depresszió közül 8 db felett van a fedőn utánsüllyedéses dolina. A nagy alakúak között vannak olyanok, amelyek pereme egybeesik a hordozó depresszió peremével és a

részdepressziókat válaszfal különíti el egymástól. Pl. a Magas-tető tányéros uvalájánál tapasztalható ez (9. ábra).



7. ábra: Geoelektromos-földtani szelvény (VII-VII' jelű.) a P1 jelű fő részdolina (a Rächite) területéről
 Jelmagyarázat: 1. mészkő, 2. agyagos köztelisz, 3. vegyes kőzettörmelék (homok, homokkő- és mészkőtörmelék),
 4. VESZ mérés helye és jele, 5. összlet geoelektromos ellenállása (Ohmm), 6. geoelektromos összlet talpmélysége
 (m), 7. a fekvő geoelektromos ellenállása (Ohmm), 8. VESZ mérés kb. behatolása, 9. geoelektromos összlethatár,
 10. subsidence töbör, 11. nagyméretű depresszió a fekvőn azonosító jellel, 12. a nagyméretű depresszió belső
 depressziói azonosító jellel

Fig. 7: Geoelectric-geological profile (marked VII-VII') from the area of the main partial doline marked P1 (Rächite)

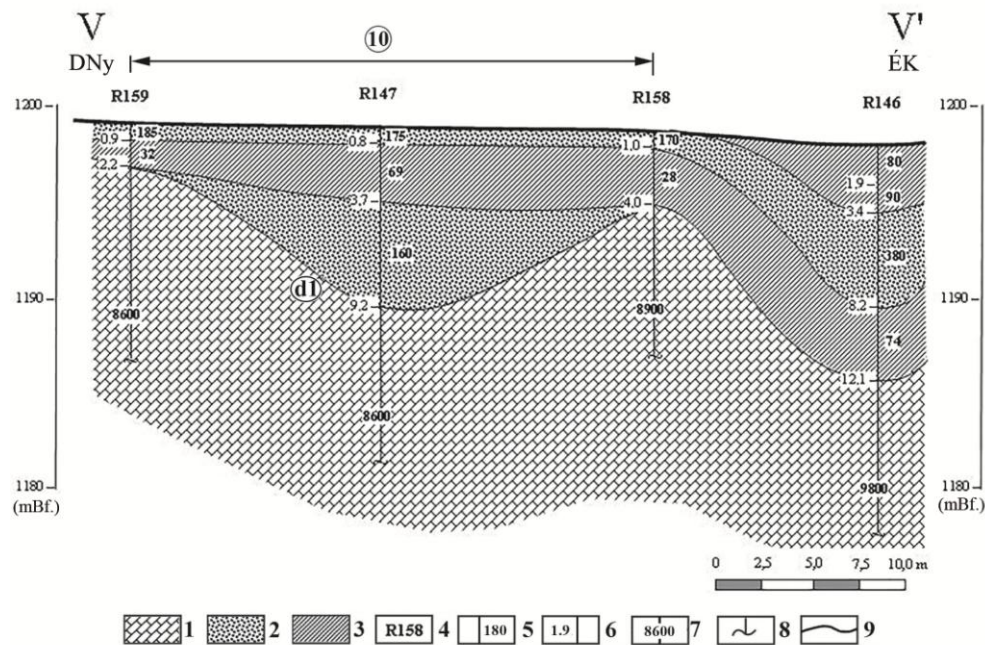
Legend: 1. limestone, 2. clayey silt, 3. mixed rock debris (sand, sandstone and limestone debris), 4. site and identification code of VES measurement, 5. geoelectric resistance of series (Ohmm), 6. base depth of geoelectric series (m), 7. geoelectric resistance of bedrock (Ohmm), 8. approximate depth of penetration of VES measurement, 9. geoelectric series boundary, 10. subsidence doline, 11. large-sized depression on the bedrock with identification code, 12. inner depressions of the large-sized depression with identification codes

- A tányéros dolinák talpát fedő üledékek lehetnek lencsések (5. ábra), és rétegzettek (6, 7, 8, 9. ábrák). A rétegzett üledékek szerkezete az alábbi lehet:

- A rétegek alsó és felső felülete nem párhuzamos egymással. Ekkor a réteg felső felülete hajlott (8. ábra jobb oldali része, 9. ábra), vagy vízszintes (8. ábra bal oldali részének középső rétege). Amikor a réteg felső felülete hajlott, bár a rétegnek az alsó felülete is hajlott, a két felület nem párhuzamos

egymással. Az alsó a hordozó depresszió felületéhez, vagy a feküréteg behajlott felületéhez igazodik.

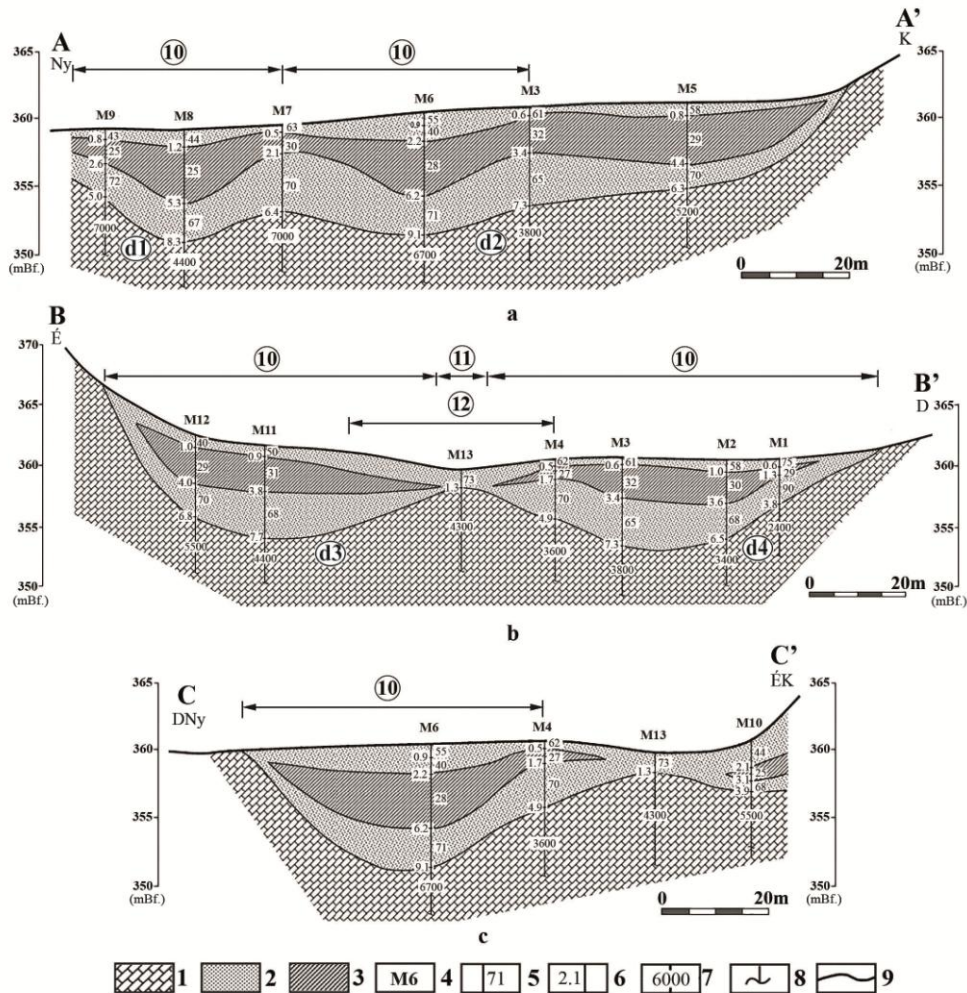
- A rétegek felülete nem hajlott, a rétegek vízszintesek (8. ábra bal oldali részének legfelső rétege).
- A rétegek alsó és felső felülete párhuzamos, de a rétegek hajlottak (6. 8. ábrák).
- Előfordul a kétféle szerkezet (hajlott felületű rétegen hajlott réteg van) együtt is: az alul lévő réteg felső felülete hajlott, míg felette olyan réteg van, amely a feküréteg felületének behajlásával létrejött mélyedést tölti ki. Utóbbinak az alsó felülete nagyobb mértékben hajlott, mint a felső (6. 7. ábrák).



8. ábra: Geoelektromos-geológiai szelvény (V-V') a P3 jelű tányéros mellék részdolina (Rächite) területéről
 Jelmagyarázat: 1. mészkő, 2. vegyes közettörmelék (homok, ill. mészkő, kovás, néhol agyagos), 3. agyagos kőzetliszt, 4. VESZ mérés helye és jele, 5. sorozat geoelektromos ellenállása (Ohmm), 6. geoelektromos sorozat talpmélysége (m), 7. fekü geoelektromos ellenállása (Ohmm), 8. VESZ mérés kb-i behatolása, 9. geoelektromos sorozat határát, 10. depresszió a fekün azonosító jellel

Fig. 8: Geoelectric-geological profile (marked V-V') from the area of the plate shaped tributary doline marked P3 (Rächite)

Legend: 1. limestone, 2. mixed rock debris (sand and limestone, silty, at some sites clayey), 3. clayey silt, 4. site and identification code of VES measurement, 5. geoelectric resistance of series (Ohmm), 6. base depth of geoelectric series (m), 7. geoelectric resistance of bedrock (Ohmm), 8. approximate depth of penetration of VES measurement, 9. geoelectric series boundary, 10. depression on the bedrock with identification code



9. ábra: Egy Magas-tetői tányéros dolina A-A', B-B' és C-C' jelű geoelektromos-földtani szelvényei
 Jelmagyarázat: 1. mészkő, 2. homok-kavics (löss, mészkőtörmelék), 3. agyagos-homokos-kavics (löss), 4. VESZ mérés helye és jele, 5. az összlet geoelektromos ellenállása (Ohmm), 6. geoelektromos összlet talpmélysége (m), 7. a fekü geoelektromos ellenállása (Ohmm), 8. VESZ mérés kb-i behatolása, 9. geoelektromos összlethatár, 10. részdolina azonosító jellel, 11. elfedett válaszfal, 12. tömörödés dolina

Fig. 9: Geoelectric-geological profiles marked A-A', B-B' and C-C' of a plate shaped doline of Magas Hill
 Legend: 1. limestone, 2. sand-gravel (loess, with limestone debris), 3. clayey, sandy gravel (loess), 4. site and identification code of VES measurement, 5. geoelectric resistance of series (Ohmm), 6. base depth of geoelectric series (m), 7. geoelectric resistance of bedrock (Ohmm), 8. approximate depth of penetration of VES measurement, 9. geoelectric series boundary, 10. partial doline with identification code, 11. covered dividing wall, 12. compaction doline

Megvitatás

A tányéros dolinák kialakulása

A tányéros dolinák morfológiája (így sík aljzatuk) és morfológiai paramétereik (pl. a nagy alakjuk) bizonyítják, hogy ezen dolinák növekedése szélesedéssel történik. Tehát kis mélységű, aljzatánál szélesedő típusú dolinák. Ugyanakkor az *I. táblázat* adatai szerint a tányéros dolinák alakértékei jelentős mértékben eltérnek egymástól. Ez arra utal, hogy az átmérő növekedés a különböző dolináknál eltérő intenzitású. A szélesedés mértéke függ az oldódási időtartamtól, annak intenzitásától, a hordozó kőzet minőségétől, és a morfológiai környezettől. (Ez utóbbtól azért, mert ha a dolina oldalirányú növekedése korlátozott, pl. völgytalpon van, akkor szélesedése lefékeződik, mivel a lejtő hátrálása során eléri a völgyoldalt.)

A dolinafejlődés jellegét tekintve a tányéros dolinák és az aknadolinák a dolina növekedési mód két szélső helyzetét képviselik: a tányéros dolinák szélesednek és nem mélyülnek (vagy ez csak fejlődésük során rövidebb ideig jellemző), míg az aknadolinák mélyülnek és nem szélesednek.

A tányéros dolinák extrém szélesedésük eredményeként különböző fejlettségűek lehetnek. Így elkülöníthető fiatal-, felnőtt- és elpusztult tányéros dolina. A fiatal tányéros dolinák, eltekintve a sík térszínnek magányos dolináitól, uvalát alkotnak és karsztos nyergük van. A felnőtt tányéros dolinának válaszfala és határoló magaslata van. Az elpusztult tányéros dolinának a válaszfala elpusztult, azokból kisebb-nagyobb magaslatok maradhatnak csak meg.

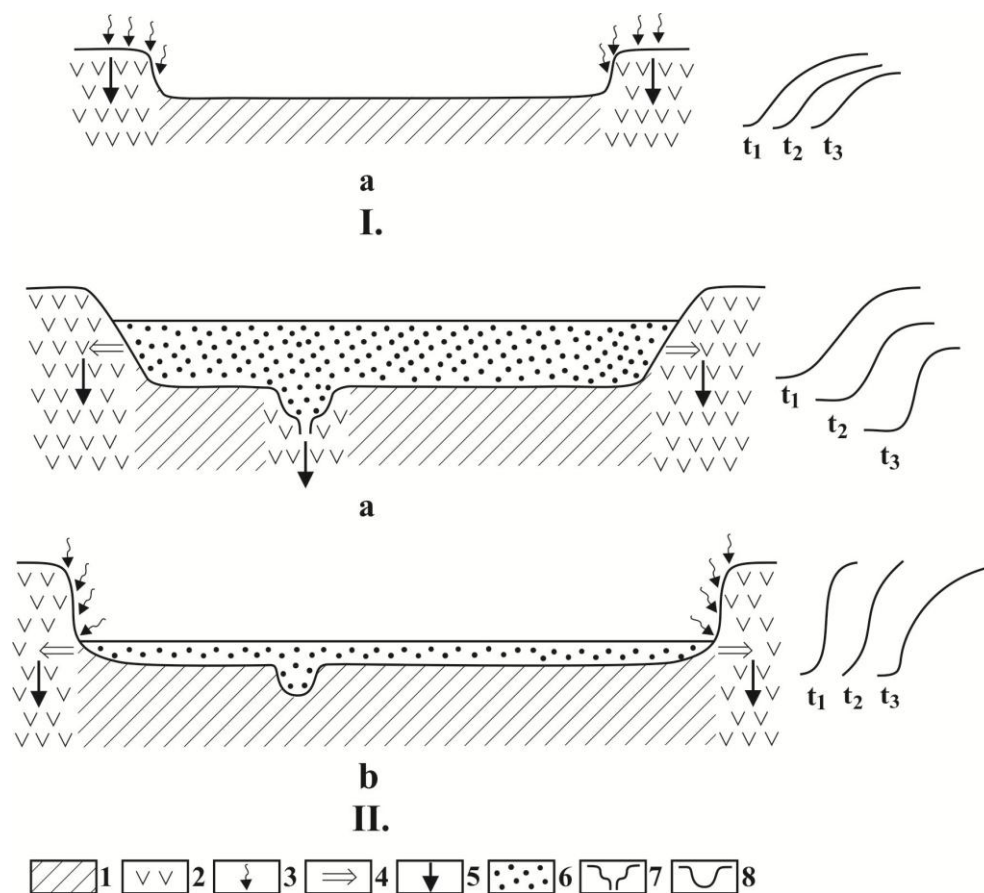
A tányéros dolinák eltérő alak értékei azonban arra is utalnak, hogy fejlődésük kezdetén mélyülhettek is. Így a Rächite uvala „P1” jelű fő rész-dolinájánál a nagy alakhoz (45,00) nagy mélység (22,00 m, ill. 24,98 m), míg az „Fs2” jelű dolinánál a nagy alakhoz (40,00), kis mélység (2,00 m) tartozik (*I. táblázat*). Előző dolinánál tehát jelentősebb mélyülés történt, mint az utóbbinál. Azonos, vagy közel azonos mélységű dolináknál a lejtőhossz eltérő lehet. Pl. a „P3” jelű mellék rész-dolinánál a mélység 4,00 m, a lejtőhossz 12,60 m, míg az „Fs10” jelűnél a mélység 4,50 m, a lejtőhossz 20,00 m. A lejtőhossz azért lesz eltérő azonos, vagy közel azonos mélységnél, mert más a két lejtő meredeksége. Ez eltérő típusú lejtő hátrálásra utal. A jelenleg rövidebb lejtő, hátrálása során, egyre meredekebbé vált. Ilyen lejtőfejlődés a rövidebb-hosszabb ideig, nagyobb mértékben kitöltött dolináknál fordulhat elő. A kitöltés kedvez a horizontális oldódásnak, mivel a víz a kitöltésben vezetődik a dolina oldallejtőjéhez és így a lejtő alsó üledékekkel fedett része, oldódik nagyobb mértékben (*10IIa. ábra*). A lejtő meredekebbé és rövidebbé formálódik a hátrálása során. A kevésbé kitöltött dolinák lejtőin kevésbé érvényesül a horizontális oldódás, a lejtők teljes hosszukban egyformán oldódnak talaj alatti oldódással. Ezért kevésbé rövidülnek, esetleg hosszabbodnak (*10Ia, 10IIb. ábrák*).

A karsztformák horizontális oldódással szélesedhetnek, mint a mádarítatók (JENNINGS 1985) vagy a poljék (GAMS 1978). A dolinákban a horizontális oldódást és ennek eredményeként végbemenő dolina szélesedést ZÁMBÓ (1970, 1986), ZÁMBÓ, FORD (1997) mutatta ki. Szerinte ez azért következik be, mert a dolina agyagos fedőjének a szemcséi vízfelvétel során megduzzadnak és az üledék vízzáróvá válik. Így a fedő vize horizontálisan szivároghat a dolina oldallejtőjéhez jut, ahol oldódást fejt ki.

Az epikarsztban akár túl gyors a vízvezetés a nagy porozitás miatt, akár kicsi (pl. az epikarszt üregeinek kitöltődése miatt) „drawdown” dolinák nem képződnek (FORD, WILLIAMS 2007). Tehát, ahol az epikarszt hiányzik, vagy gyengén fejlett, a dolina nem mélyül, nem alakul ki „drawdown” dolina. Ezért nem alakulnak ki gipszen, ahol nincs epikarszt, „drawdown” dolinák (FERRARESE et al 2002, SAURO 2003). A „drawdown” dolina kialakulásának feltétele az is, hogy legyen az epikarsztban víztározás (WILLIAMS 2008), valamint az epikarsztban tározott víz felszíne depressziót képezzen (WILLIAMS 1983). Akkor tehát, ha az epikarszt nem továbbít vizet és oldott anyagot (inaktív epikarszt) a dolinák nem mélyülnek, mivel ha a dolinatalpon történik is oldódás, a beoldott anyag nem szállítódik el onnan. Ha viszont a dolina környezetében az epikarszt aktív (az oldott anyag a karsztba szállítódhat), a dolina szélesedhet. A fentiek együtt okozzák, hogy a dolina tányéros dolinává alakuljon. Inaktív epikarszt jöhet létre közvetlenül (az epikarszt vízvezetése megszűnik), vagy közvetetten (az epikarszthoz nem érkezik oldóképes víz). Közvetlen ok lehet, ha pl. az epikarszt járatai kitöltődnek a bemosott fedővel és így nem továbbítanak vizet. Közvetett, ha a fekvő oldódását a fedő akadályozza meg, mert vízzáró, vagy az átszivárgás végbemegy ugyan, de a fekvőhöz már telített víz érkezik (ZÁMBÓ 1970, 1998, VERESS 2016, 2017, VERESS et al. 2014, VERESS et al. 2019).

Ezért a tányéros dolinák szélesedése csak úgy lehetséges, ha permükön a vízvezetés végbemegy (ez biztosítja a lejtőknél beoldott anyagnak a karsztba szállítódását), ugyanakkor az oldallejtők hátrálása során feltároló dolinatalp részek területén az epikarszt közvetlenül, vagy közvetetten aktivitását elveszíti. A sík aljzat kialakulása két folyamat eredménye: az oldallejtő hátrálása és a folyamat során létrejött talpon a mélyülés hiánya. A dolina szélesedése kétféleképpen történhet. Ha az epikarszt azért inaktív, mert a fekvő nem képes vizet továbbítani (közvetlenül létrejövő inaktív epikarszt) a karsztba, de a dolinatalpon nincs fedő, a dolina szélesedése horizontális oldódás nélkül is végbemegy, az oldallejtő önmagával párhuzamosan hátrál, illetve lankásodik a talaj alatti oldódás során (10 Ia ábra). Ha horizontális oldódás történik, mert van talpi fedő és abban oldalirányba mozog az abban tározott víz (közvetetten létrejövő inaktív epikarszt), a dolina

szélesedése során oldallejtője egyre meredekebbé formálódik (10 IIa ábra). A kétféle lejtőpusztulás együtt is előfordulhat. Ekkor az oldallejtő alsó, fedőüledékekkel elfedett részén horizontális oldódás, míg felső, fedetlen szakaszán talaj alatti oldódás történik (10IIb ábra).



10. ábra: Tányéros dolina lejtőjének fejlődése

Jelmagyarázat: 1. inaktív epikarszt, 2. aktív epikarszt, 3. talaj alatti oldódás, 4. horizontális oldódás, 5. vízelvezetés és anyagszállítás, 6. fedőüledék, 7. a fekü aktív, aknás depressziója, 8. a fekü nem aktív (aknája eltömődött) depressziója, t_1 , t_2 , t_3 időpontokban a hátráló oldallejtő profilja, I. a dolina oldallejtője talaj alatti oldódással hátrál, II. a dolina oldallejtője horizontális oldódással hátrál (a), majd talaj alatti és horizontális oldódással (b)

Fig. 10: The development of the slope of a plate shaped doline

Legend: 1. inactive epikarst, 2. active epikarst, 3. subsoil dissolution, 4. horizontal dissolution, 5. water drainage and material transport, 6. superficial deposit, 7. the active depression of the bedrock with shafts, 8. the inactive depression of the bedrock (its shaft became plugged), the profile of the retreating side slope at times t_1 , t_2 , t_3 . I. the side slope of the doline retreats by subsoil dissolution, II. the side slope of the doline retreats by horizontal dissolution (a), then by subsoil dissolution and horizontal dissolution (b)

Ha olyan dolinák vannak egymáshoz közel, amelyek talpán az epikarszt kezdetben aktív, majd inaktív, oldallejtőiken viszont mindig aktív,

a nem mélyülő, de szélesedő dolinák a lejtők hátrálása során összekapcsolódhatnak. Az így kialakult tányéros dolina nem teljesen sík aljzatú, mivel a részdolinák maradványaival tagolt (9. ábra).

Folyamatok a tányéros dolinák talpán

A tányéros dolinák talpának folyamatai kiterjednek a fekére, valamint a fedőre. A feké és a fedő folyamatai gyakran egymás feltételei, vagy egyik okozója a másik létrejöttének. A feké depressziói oldódással jönnek létre. Az oldódási folyamatok az alábbi feké depresszió típusokat hozhatják létre.

Azok a depressziók, amelyek alakja nagy, peremük egybeesik a hordozó depresszió peremével, köztük válaszfal van egykori tányéros dolinák, amelyek összekapcsolódtak. Ilyen részdolinák láthatók a 9. ábrán. Itt a tányéros uvala valószínűleg 4 db résztányéros dolina összekapcsolódásával alakult ki. A résztányéros dolinák alak értéke kisebb, mint az összekapcsolódással kialakult uvala alak értéke (I., III. táblázatok).

Azok a depressziók, amelyek ugyancsak nagy alakúak, de a hordozó depresszió belsejében vannak tányéros dolinák (belső, talpi). Végül a kis alakú feké depressziók drawdown dolinák. Ezt bizonyítja, hogy tényleges átlagos alakjuk hasonló, ill. kisebb, mint a mérsékelt övi drawdown dolinák látszólagos átlagos alakja. De drawdown dolina voltukat bizonyítja az is, hogy felettük a fedőn utánsüllyedéses dolinák vannak. Ugyanis az utánsüllyedéses dolinák azáltal alakulhatnak ki, hogy e depresszióknál a fedő a karsztba szállítódott. Ez csak úgy lehetséges, hogy e depressziók talpán akna-kanyarok vannak. Az akna jelenléte a drawdown dolina sajátossága. (Azon depresszióknál, ahol nincs utánsüllyedéses dolina az akna szűk lehet, ill./és kitöltődött fedővel.) A feké ezen depressziói arra utalnak, hogy ott lokálisan, hosszabb-rövidebb ideig oldódás történik. Tehát e helyeken az epikarszt lokálisan aktív lesz.

A fedő összetétele, szerkezete, települése, a fedős felszín morfológiája árulkodik a fedő keletkezési módjára a dolina talpon, és annak a karsztba szállításának sajátosságaira.

Rétegzetlen üledék szerkezet esetén (5. ábra) a fedő anyaga hosszabb időn keresztül keletkezett és nem folyóvízi eredetű anyagbeszállítás során. Ez az üledék mállási maradék, vagy hullóporos eredetű. Az üledék sem felhalmozódásakor, sem azt követően nem süllyedt, szerkezete nem változott, felszínén nem alakult ki utánsüllyedéses dolina. A fedő anyaga nem szállítódott a karsztba.

III. táblázat
Table III.

Tányéros dolinák talpi (fekü) depresszióinak méret és morfológiai adatai
Size and morphometric data of floor (bedrock) depressions of plate shaped dolines

dolina jele	terület	földtani-geoelektromos szelvény jele	depresszió jele	átmérő, szelvény mentén (m)	mélység (m)	alak	minősítése	utánsüllyedéssel számításnál figyelembe véve	közzölt ábra
Ag	Aggteleki karszt	A-A'	d1	40,00	2,69	14,87	rész tányéros dolina	-	15a
			d2	48,00	1,92	25,00	rész tányéros dolina	-	15a
		B-B'	d3	78,00	9,16	8,51(?)	rész tányéros dolina	-	15b
			d4	88,00	7,08	12,43	rész tányéros dolina	-	15b
P1	Rächite	I-I'	d1	10,94	3,52	9,11	drawdown dolina	+	11
			d2	15,00	3,53	4,25	drawdown dolina	+	11
			d3	9,37	1,47	6,37	drawdown dolina	+	11
			d4	28,25	2,57	10,99(?)	tányéros dolina	-	11
			d5	10,94	3,24	3,38	drawdown dolina	-	11
		VI-VI'	d1	78,54	6,42	12,23	tányéros dolina	-	-
		VII-VII'	d1	96,85	7,14	13,49	tányéros összetett dolina	-	12
			d1/1	33,57	5,86	5,73	drawdown dolina	+	12
			d1/2	37,14	11,03	3,37	drawdown dolina	+	12
		XII-XII'	d1	125,52	8,97	13,99	tányéros dolina	-	-
		XVIII-XVIII'	d1	18,52	2,14	8,65	drawdown dolina	-	-
			d2	17,41	2,14	8,14	drawdown dolina	+	-
		XXII-XXII'	d1	23,09	7,80	2,96	drawdown dolina	-	-
		XXIV-XXIV'	d1	48,21	15,00	3,21	drawdown dolina	+	-
P3	Rächite	II-II'	d1	43,29	5,28	8,20	drawdown dolina	-	-
			V-V'	d1	27,68	6,49	4,26	drawdown dolina	-
		d2	d1	11,05	5,36	2,06	drawdown dolina	+	-
			d3	19,21	3,93	4,89	drawdown dolina	-	-
átlag1				23,24	5,33	5,32			

dolina jele	terület	földtani-geoelektromos szelvény jele	depresszió jele	átmérő, szelvény mentén (m)	mélység (m)	alak	minősítése	utánsüllyedéssel számításnál figyelembe véve	közzölt ábra
átlag2				79,48	5,70	15,33			

VII-VII' szelvényénél a d1/1 és d1/2 az d1 jelű dolina talpán van, az itt lévő subsidence dolinák a d1/1 és a d1/2 dolináknál vannak figyelembe véve

átlag1: azon depressziók átlaga, amelyeknél az alak kisebb, mint az As1 dolinánál

átlag2: azon depressziók átlaga, amelyeknél az alak nagyobb, mint az As1 dolinánál (az átlag számításból a Magas-tető B-B' d3 és a P1 I-I' szelvény d4 jelű dolinája kimaradt)

at profile VII-VII' d1/1 and d1/2 are on the floor of the doline marked d1, subsidence dolines occurring here are taken into consideration at dolines marked d1/1 and d1/2

average 1: average of depressions, in case of which the shape is smaller than at doline marked As1

average 2: average of depressions, in case of which the shape is larger than at doline marked As1 (when calculating average, doline marked d3 of profile B-B' and doline marked d4 of profile P1 I-I' of Magas Hill were left out)

A fedő rétegzett üledék (6, 7, 8, 9. ábrák), amely folyóvízi eredetű anyagbeszállítás során keletkezett. A rétegek felül hajlott felületei kétféleképpen jöhettek létre: a réteg anyaga tömörödött, vagy úgy, hogy anyagának egy része a karsztba szállítódott. A tömörödéses hajlott felületek vannak részdolináknál (9. ábra), de lehet néhány olyan drawdown dolinánál is, amelyeknél a felszínen nincs utánsüllyedéssel dolina. Utóbbiak aknája feltehetően korán eltömődött. Emiatt ezen fekvő depressziókból anyagelszállítás a fekébe ha egykor történt is (és ekkor nem az anyag tömörödésével, hanem anyag veszteséggel alakult ki a hajlott réteg felület), később már nem történt, hanem csak tömörödés. Az anyagelszállítás megszűnésétől, vagy a tömörödést követően alakulnak ki a felül vízszintes felületű, vagy a vízszintes rétegek (8. ábra). Azon tányéros dolinánál (9.b ábra), ahol van belső talpi mélyedés (tömörödéses dolina), amely a talp üledékének tömörödése során alakult ki, nem töltődött ki, mert a dolinába nem érkezett egyáltalán, vagy a tömörödést követően a környezetéből üledék.

Ahol a réteg felső felülete hajlott, de ezen réteg felett nincs vízszintes (vagy legalább felül vízszintes felületű) réteg, hanem a hajlott felület utánsüllyedéssel dolinát formál és alatta drawdown dolina van, a réteg anyagának egy részét úgy veszítette el, hogy az a karsztba szállítódott. Ahol a drawdown dolina felett a réteg hajlott és itt utánsüllyedéssel dolina van, ezen réteg alatti fekvő rétegben anyagvesztés jött létre (ugyancsak a karsztba szállítás során) és az anyagvesztéses térbe (amely utóbbi réteg felső felületének a behajlásával jött létre) ezen réteg belesüllyedt. A drawdown dolina feletti fedőréteg felső felülete kisebb mértékben is lehet hajlott, mint az alsó felülete (7. ábra).

Az utánsüllyedéssel dolinák a behajlott réteglapoknál, vagy a behajlott rétegekben jönnek létre, ha ezen felületek a felszínen vannak. Az utánsüllyedéssel dolina kialakulhat úgy is, hogy az alsó réteg üledéket veszít, amelybe a felső behajlik (6. ábra), vagy úgy, hogy a felső anyagát veszíti, esetleg részben tömörödik (7. ábra).

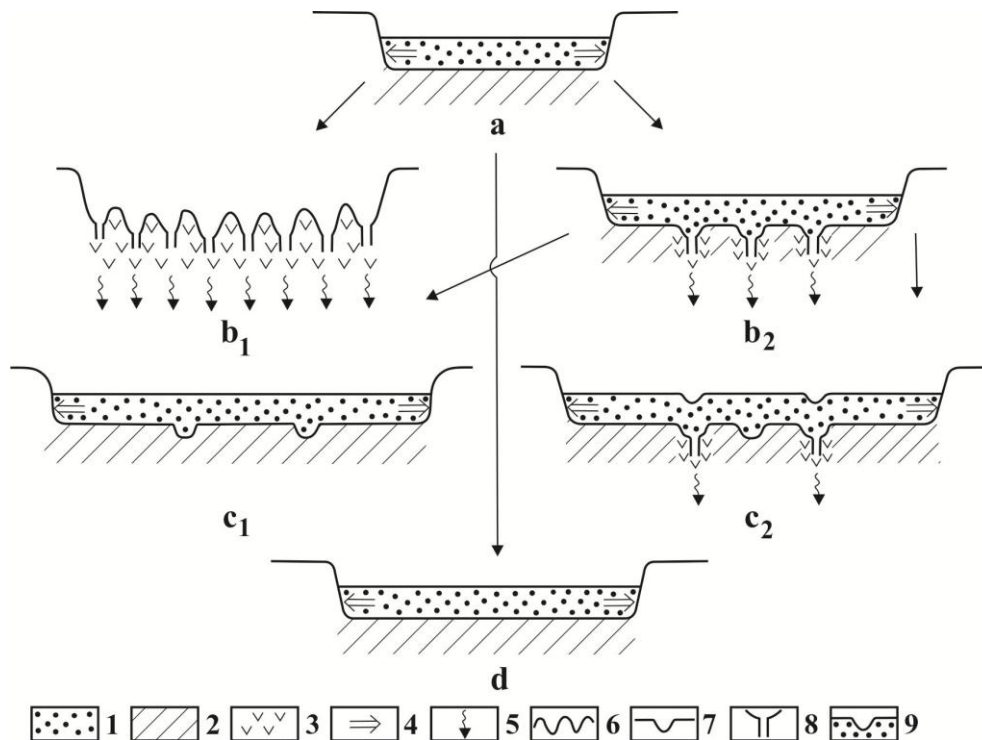
A tányéros dolinák genetikai típusai

- Karros tányéros dolina (4, 11b₁. ábrák): a teljes dolina talp alatti epikarsztban a víz- és anyagelvezetés regenerálódott. A homogén vízvezetés miatt a feké karrosodik (ez előrevetíti annak lehetőségét, hogy a tányéros dolina „drawdown” dolinává alakuljon). A karrformák továbbítják a fedőt a karsztba. A feké feltárulhat, ha a fedő (talaj) teljes mértékben a karsztba szállítódik.

- „Drawdown” dolinás tányéros dolina (5, 8, 11b₂-c₁. ábrák): a dolinatalp alatt az epikarsztban a víz- és anyagelvezetés csak lokálisan regenerálódik. Feküjén „drawdown” dolinák alakulhatnak ki, de a fedőn utánsüllyedéssel dolinák nem jönnek létre, mivel az epikarszt regenerálódása rövid idejű. Emiatt feltehetően az aknák sem fejlettek. Így azok gyorsan eltömődnek ezért a fedőből anyag elszállítás nincs, vagy korlátozott. Ha egyáltalán létre is jön utánsüllyedéssel dolina, az gyorsan elpusztul. Miután vízvezetése részben lecsökken, feltöltődik, majd elfedődik (8. ábra).

- Utánsüllyedéssel dolinás tányéros dolina (6, 7, 11c₂. ábrák): a dolinatalp alatt az epikarsztban a víz- és anyagelvezetés lokálisan regenerálódik és ez tartós is lehet. A feké depressziói „drawdown” dolinák. Ezek felett a fedőn előfordulhatnak utánsüllyedéssel dolinák vagy azok hiányozhatnak is. Ahol hiányoznak, a feké depressziók aknái eltömődtek. Miután a fedő az aknákon keresztül továbbítódik a karsztba (WILLIAMS 1985), a „drawdown” dolinák felett utánsüllyedéssel dolinák alakulnak ki, ahol utóbbiak aknái nincsenek eltömődve. A feké „drawdown” dolináinak üledéket továbbító aknái is kitöltődhetnek, üledéktovábbító képességük megszűnik, a felszíni mélyedések inaktívak lesznek, sekély tavas, vízenyős mélyedéssé alakulnak (ilyen formák gyakoriak a Rächite területén). Majd, ha újból aktivizálódnak, a felszínen újabb utánsüllyedéssel dolinák jönnek létre.

- „Drawdown” dolina nélküli tányéros dolina (11a, d ábrák): a tányéros dolina fekéjének epikarsztja inaktív, víz- és anyagelvezetése nem regenerálódott. Ezért „drawdown” dolinák nem alakultak ki a fekűn.



11. ábra: Különböző tányéros dolina változatok kialakulása

Jelmagyarázat: 1. dolinatalp fedője, 2. inaktív epikarszt, 3. aktív epikarszt, 4. horizontális oldódás és dolina szélesedés, 5. vízvezetés és a fedő anyagának a szállítása az epikarsztba, 6. karrok, 7. lokális oldódás depressziója (drawdown dolina), 8. akna, hasadék, 9. subsidence dolina, a. tányéros dolina kialakulása, b₁. a dolinatalp egészén van vízvezetés: karros tányéros dolina fejlődik ki, b₂ a dolinatalpon a vízvezetés lokális: oldódással fekvő depressziók (drawdown dolinák) jönnek létre, c₁ a dolinatalpon a lokális vízvezetés is megszűnik, drawdown dolinás tányéros dolina alakul ki c₂ a talpi depressziók aknáin keresztül a fedő anyagának egy része a karsztba szállítódik, subsidence dolinás tányéros dolina jön létre, d. a tányéros dolina talpán nincs vízvezetés, drawdown dolina nélküli tányéros dolina képződik

Fig. 11: The development of various plate shaped doline varieties

Legend: 1. cover of doline floor, 2. inactive epikarst, 3. active epikarst, 4. horizontal dissolution and doline widening, 5. water drainage and the transport of cover material into the epikarst, 6. karren, 7. depression of local dissolution (drawdown doline), 8. shaft, grike, 9. subsidence doline, a. development of plate shaped doline, b₁. water drainage occurs in the whole area of the doline floor: karren plate shaped doline develops, b₂ water drainage is local on the doline floor: bedrock depressions (drawdown dolines) develop by dissolution, c₁ local water drainage also ceases on the doline floor, a plate shaped doline with drawdown doline develops, c₂ some part of the cover material is transported into the karst through the shafts of floor depressions, a plate shaped doline with subsidence doline develops, d. there is no water drainage on the floor of plate shaped doline, a plate shaped doline without drawdown doline develops

- Részdolinás tányéros dolina: a részdolinák talpán az epikarszt kezdetben aktív, majd inaktív lesz, míg oldallejtőin hosszabb-rövidebb ideig aktív. A részdolinák összekapcsolódásával alakul ki a tányéros dolina (5, 9. ábrák).

Következtetés

A tányéros dolinák létrejötte egy karszterületen az uvalák kialakulásának esélyét növeli. Ez kedvez lokálisan a karszterület elegyengetődésének. A tányéros dolinák, a dolinák, az alattuk lévő epikarszt és a környezet (pl. üledékbeszállítás) kölcsönhatásának eredményeként alakulnak ki. Ott jönnek létre, ahol a dolinatalpakon az epikarszt inaktív, míg környezetében aktív. Inaktív epikarszt létrejöhet közvetlenül (az epikarszt üregei kitöltődnek a bemosott fedővel), vagy közvetetten (a fedő vize nem jut el, vagy telítetten jut a fekihöz). A dolina fejlődésére és morfológiájára (oldallejtőjének meredekségére) hatással van, hogy közvetetten vagy közvetlenül inaktív-e az epikarszt. Közvetlenül inaktív epikarszt esetén a dolina talaj alatti oldódással szélesedik, közvetetten inaktív epikarszt esetén a dolina horizontális oldódással szélesedik.

Genetikailag a tányéros dolinák lehetnek karros-, „drawdown” dolinás-, utánsüllyedéssel dolinás-, „drawdown” dolina nélküli-, és részdolinás tányéros dolinák. Karros tányéros dolinák talpa alatt az epikarszt víz- és anyagelvezetése regenerálódik, a „drawdown” dolinás tányéros dolinák talpa alatt az epikarszt regenerálódása lokális és rövid, míg az utánsüllyedéssel tányéros dolinák talpa alatt az epikarszt regenerálódása lokális, de tartós idejű, a „drawdown” dolina nélküli tányéros dolinák alatt viszont az epikarszt egyáltalán nem regenerálódik. Részdolinás tányéros dolinák, miután a részdolinák talpánál az epikarszt elveszíti aktivitását, nem mélyülnek. Oldallejtőjükön viszont aktív és így szélesedéssel a dolinák összekapcsolódnak.

Miután egymás szomszédságában a karszton előfordulnak „drawdown” dolinák és tányéros dolinák (ill. ezek csoportjai) az ilyen karszterületeken az aktív és inaktív epikarszt foltjai eltérő kiterjedésűek és mintázatúak adott időpontban. A „drawdown” dolina- és tányéros dolina-csoportok mintázatai és azok kiterjedése a karszton az aktív és nem aktív epikarszt egykori, vagy jelenlegi mintázatáról, illetve az aktív és inaktív epikarszt foltok kiterjedéséről árulkodnak.

Az epikarszt lokális aktivizálódása talpi „drawdown” dolinák kialakulását eredményezheti, felettük utánsüllyedéssel dolinákkal. Utóbbiak hozzájárulnak a tányéros dolinák fedőjének a karsztba szállításához. Az utánsüllyedéssel dolinák hiánya, a feké „drawdown” dolináit elfedő vízszintes rétegek e dolinák aknáinak korai eltömődésére (vagy gyenge fejlettségére) és így a fedő karsztba szállításának a blokkolására, míg az utánsüllyedéssel dolinák jelenléte azokban fejlett aknákra és aktív anyagto-vábbító képességre utalnak.

A tányéros dolinák „drawdown” dolinái uvalává fejlődhetnek. Ha az epikarszt közöttük is aktív lesz belső, talpi tányéros dolina jöhet létre. Ilyen helyeken a karszt felszín lokálisan, kis vastagságban, oldódással, több szintben pusztul. Ennek során az idősebb szintek egyre inkább felemésződnek. A tányéros dolinák és „drawdown” dolinák együttes előfordulása miatt a karszton elegyengetődött és vertikálisan feltagolódott felszínrészletek fordulhatnak elő.

IRODALOM

- BALOGH K., (1964): A Bükk hegység földtani képződményei. – A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve, 48(2),: pp. 245-719.
- BEGGS T.F., RUTH B.E., (1984): Factors affecting the collapse of cavities. – In: Beck BF (ed.) Sinkholes: Their Geology, Engineering and Environmental Impact, Balkema: Rotterdam, pp. 183-188.
- BLEAHU M (1976): Structural position of the Apesuni Mountains in the Alpine System. – Revue Roumaine de Geologie. Geophys Geogr Ser Geol 20: pp. 7–19
- BONDESAN, A., MENEGHEL, M., SAURO, U., (1992): Morphometric analysis of dolines. – International Journal of Speleology 21(1-4), pp. 1-25.
- CLARK, P. J., EVENS F. C., (1954): Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. – Ecology 35, pp. 445-453.
- CSONTOS L., VÖRÖS A., (2004): Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region. – Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 210, pp. 1-56.
- FERRARESE F., MACALUSO T., MADONIA G., PALMERI A. & SAURO U., (2002): Solution and recrystallization processes and associated landforms in gypsum outcrops of Sicily. – Geomorphology, 49 (1-2): pp. 25-43. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00159-9](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00159-9)
- FORD D.C., (1979): A review of alpine karst in the Southern Rocky Mountains of Canada. – Bulletin of the National Speleological Society, 41, pp. 53-65.
- FORD D.C., WILLIAMS P.W., (2007): Karst Hydrogeology and Geomorphology. – John Wiley & Sons, Ltd., Chichester 562 p.
- GAMS I (1978): The polje: the problem of its definition. – Zeits.für Geomorphol 22: pp. 170–181
- HEVESI A., (1984): Karsztformák kormeghatározásáról és ezek mészkő-hegységeink újharmadidőszak végi – jégkori arculatának megrajzolásában játszott szerepükről a Bükk-hegység példáján. – Földrajzi Értesítő XXXIII(1-2), pp. 25-36.
- HEVESI A., (2000): A Bükk – In: Karátson D. (szerk.): Pannon Enciklopé-

- dia, Kertek, Budapest, pp. 337-344.
- HOOVER R.A.*, (2003): Geophysical choices for karst investigations. www.saic.com/geophysics/downloads/karstChoices.pdf
- JENNINGS J.N.*, (1975): Doline Morphometry as a Morphogenetic Tool: New Zealand Examples. – *New Zealand Geog.*, 31, pp. 6-28
- JENNINGS JN* (1985): Karst geomorphology. – Basil Blackwell, New York, 293 p
- KEVEINÉ BÁRÁNY I., KISS M., NELIS S.*, (2015): Néhány további adat a hazai karszt dolinák aszimmetriájának kialakulásához. – *Karsztfejlődés XX*, pp. 125-144.
- KOVÁCS S.*, (1984): Tisia-probléma és lemeztectonika-kritikai elemzés a koramezozoós fácieszónák eloszlása alapján (The Tisia problem, the Plate Tectonic Concept. Contributions based on the Distribution of Early Mesozoic Facies Zones). – *Földtani Kutatás* 27 (1),:55-72.
- KUNAVÉR J.*, (1983): Geomorphology of the Kanin Mountains with special regard to the glaciokarst. – *Geografski zbornik*, XXII.(1), pp. 201-343.
- LÁTOS T., TELBISZ T., DEÁK M., SZÉKELY B., KOZMA ZS., STANDOVÁR T.*, (2015): Lidar és topográfiai térkép alapú digitális terepmodellekből levezetett illetve kézzel digitalizált töbör-körvonalak morfológiai összehasonlítása az Aggteleki-karszt példáján. – *Karsztfejlődés, XX*, pp. 145-165.
- LESS GY., KOVÁCS S., PELIKÁN P., PENTELENY L., SÁSDI L.* (2005): A Bükk-hegység földtana. – In: *PELIKÁN P.* (szerk.) *Magyarázó a Bükk-hegység földtani térképéhez (1:5000)*, MÁFI, Budapest
- LYEW-AYEE P., VILES, A., TUCKER, G.E.*, (2007): The use of GIS-based digital morphometric techniques in the study of cockpit karst. – *Earth Surface, Processes and Landforms*, 32, pp. 165-179.
- MAUER F.*, (2000): Growth mode of Middle Triassic carbonate platforms in the Western Dolomites (Southern Alps, Italy). *Sedimentary Geology*, 134 (3-4), pp. 275-286.
- MCDOWELL P.W., BARKER R.D., BUTCHER A.P., CULSHAW M.G., JACKSON P.D., McCANN D.M., SKIPP B.O., MATTHEWS S.L., ARTHUR J.C.R.*, (2002): Geophysics in Engineering Investigations. Construction Industry Research and Information Association Report C592 (and Geological Society Engineering Geology Special Publication 19) CIRIA, London, 252 p
- MORALES, F., SORIANO, M.A.*, (2017): Analisis morfológico de dolinas paramétros geofísicos aplicados al estudio de los flujos de agua subterránea en la cuenca del Ebro-Geocências, 36(2), pp. 221-232.
- PÉNTEK K., VERESS M., LÓCZYD.*, (2007): A morphometric classification of

- solution dolines. – Zeits. f. Geomorph., 51(1), pp. 19-30.
- SAURO, U., (2012): Closed Depressions in Karst Areas – In: WHITE, W.B. – CULVER, D.C. (szerk.), Encyclopedia of Caves, Elsevier, Amsterdam, pp. 140-155.
- STEPIŠNIK U., FERK M., KODELJA B., MEDENJAK G., MIHEVC A., NATEK K., ŽEBRE M., (2010): Glaciokarst of western Orjen, Montenegro. Cave and Karst Science, 36(1), pp. 21-28.
- SWEETING M.M., (1973): Karst Landforms. – Columbia University Press, New York, 362 p.
- TELBISZ T., MÓGA J., (2005): Töbör-morfometriai elemzések a Szilicei-fennsík középső részén (Doline morphometric analyses in the central Szilice Plateau). – Karsztfejlődés, X, 221-228
- VERESS M., (2009): Investigation of covered karst form development using geophysical measurements. – Zeitschrift für Geomorph, 53(4), pp. 469-486
- VERESS M., (2016): Covered karsts. – Springer DOI10.1007/978-94-017-7518-2, 536 p.
- VERESS M., (2017): Solution doline development on glaciokarst in alpine and Dinaric areas. – Earth-Science Reviews, 173, pp. 31-48.
- VERESS M., GÁRDONYI I., DEÁK GY., (2014): Fedett karsztosodás vizsgálata fedővel borított gipsztáblán. – Karsztfejlődés, XIX, pp. 159-171.
- VERESS M., ZENTAI Z., (2009): Karsztjelenségek minősítése a Bükk-hegység néhány mintaterületén a mészkőfekü morfológiájának és a fedőüledékek szerkezetének értékelésével Karszt és Barlang, 2007, I-II, pp. 37-54
- VERESS M., TELBISZ T., TÓTH G., RUBAN, A.D., GUTAK, J. LÓCZY D., (2019): Glaciokarst. Springer Geography, DOI: 10.1007/978-3-319-97292-3
- WILLIAMS P.W., (1971): Illustrating morphometric analysis of karst with examples from New Guinea. Zeitschrift für Geomorph, 15, pp. 40-61
- WILLIAMS P.W., (1972a): Morphometric analysis of polygonal karst in New Guinea. – Geol Soc America Bull, 83, pp. 761-796
- WILLIAMS P.W., (1972b): The analysis of spatial characteristics of karst terrains. – In: Chorley RJ (ed.) Spatial analysis in geomorphology. Methuen, London, pp. 136-163
- WILLIAMS P.W., (1983): The role of the subcutaneous zone in karst hydrology. – J. Hydrology, 61, pp. 45–67
- WILLIAMS, P.W., (1985): Subcutaneous hydrology and the development of doline and cockpit karst. – Zeits. f. Geomorphology, 29(4), pp. 463-482.
- WILLIAMS P.W. (2004): Dolines. – In: Gunn J (ed.), Encyclopedia of Caves and Karst Science, Fitzroy Dearborn, New York, London, pp. 304–310
- WILLIAMS P.W., (2008): The role of the epikarst in karst and cave hydrogeology: a review. – International Journal of Speleology, 37(1), pp. 1-10.
- ZÁMBÓ L., (1970): A vörösagyagok és a felszíni karsztosodás kapcsolata az

- Aggteleki-karszt délnyugati részén. – Földrajzi Közlemények, 94(4), pp. 281-293.
- ZÁMBÓ L., (1986). Karsztvörössagyagok CO₂ termelés és a karsztkorrózió összefüggése. – A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei I. sorozat Bányászat, 33(1-4), pp. 125-138.
- ZÁMBÓ L., (1998): Az Aggteleki-karszt felszínalaktani jellemzése. – Földrajzi Értesítő, XLVII, (3), pp. 359-378.
- ZÁMBÓ L., FORD, D.C., (1997). Limestone dissolution processes in Beke doline. – Aggtelek National Park, Hungary. Earth Surface Processes and Landforms, 22, pp. 531-543.
- ZHOU W., BECK B.F., ADAMS A.L., (2002): Effective electrode array in mapping karst hazards in electrical resistivity tomography. – Environmental Geology, 42, pp. 922-928