

A MELEDIC-FENNSÍK (ROMÁNIA) SÓDOLINÁINAK GENETIKAI, MORFOLÓGIAI, ÉS MORFOMETRIAI VIZSGÁLATA

INVESTIGATION OF THE SALTDOLINES OF THE MELEDIC PLATEAU (ROMANIA)

MÓGA JÁNOS¹ – STRAT, DANIELA² – SZABÓ JUDIT³ – AMBRUS BALÁZS¹ – BORSODI ANDREA⁴

¹ELTE Természetföldrajzi Tanszék 1117. Budapest, Pázmány P. sétány 1./C
jmoga@freemail.hu

²Bukaresti Egyetem, Faculty of Geography, 1, Nicolae Bălcescu Avenue
Bucharest, Romania

³MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Földrajz-
tudományi Intézet, 1112. Budapest Budaörsi út 45.

⁴Eötvös Loránd University Institute of Biology, Department of
Microbiology; Budapest, Pázmány P. sétány 1/c, 1117, Hungary

Abstract: In our study, we discuss the morphometric examination results of the dolines of Meledic Plateau and the hydrogeological relations of its sinkhole dolines and caves. Field measurements were supplemented by the evaluation of aerial photographs, taken by a quadcopter, to define salt doline types and to examine their morphometric characteristics. Preliminary results show very well the growth and change of the examined karst landforms, in comparison to the satellite imagery sources so far and the self-performed drone surveys of the previous year.

Keywords: saltkarst, karstmorphology, sinkhole types, photogrammetry, GIS, Meledic saltkarst, Romania

Bevezetés

E tanulmányunkban a Meledic-fennsík sódolináinak, genetikai, morfológiai és morfometriai vizsgálatának eredményeiről, a víznyelős dolinák és barlangok hidrogeológiai kapcsolatáról és a sókarsztos táj fejlődéséről adunk összefoglalást. A vizsgált sókarszt a Bodza-folyó menti geopark (Buzău Geopark) területén, a Keleti-Kárpátok déli részén helyezkedik el, és egyedülálló földtani és morfológiai értékekkel büszkélkedik. A sódiapir Lopătari falu közelében a Slănic-folyó (Slănicul de Buzău) völgye mentén emelkedik. Terepbejárásaink során a Meledic-fennsík fedett és nyíltkarsztos térszínein (utóbbi 0,32 km², a fennsík teljes területének 7,6%-a) kialakult töbröket egyaránt tanulmányoztuk. A felszínformák morfometriai vizsgálatához drón felvételeket használtunk. Az előzetes eredmények az eddigi űrfelvételes

források és előző évi saját drón felmérésekhez képest a vizsgált karsztos felszínformák növekedését, változását jól mutatják. A sókarszt legnagyobb számban előforduló és legjellegzetesebb szuffóziós dolináiban kialakult vizes élőhelyek (dolinatavak) jellemző növénytársulásainak felmérésére a terepi felvételezés mellett ugyancsak drón felvételeket használtunk.

Irodalmi áttekintés

A sókőzetek dolináinak képződésével, morfológiájával és morfometriai vizsgálatával számos kutató foglalkozott az elmúlt évtizedekben a Föld különböző tájain (*FRUMKIN 1994, 2011, 2013, ZENTAI 1994, MACALUSO, SAURO 1996, BOSÁK et al. 1999, FRUMKIN, RAZ 2001, BRUTHANS, ZEMAN 2003, WALTHAM et al. 2004, MADONIA, SAURO 2009, FRUMKIN et al. 2011, MÓGA et al. 2015, 2017, GUTIÉRREZ, LIZAGA 2016*). Általánosságban megállapítható, hogy a sókarszton kialakult dolinák – bár különböznek jellegükben, genetikájukban a karbonátos kőzeteken kialakult formáktól, de változatosságukban nem maradnak el azelőbbiektől. Az utánsüllyedéses, szuffóziós (agyagbemosódásos) töbrök az evaporit karsztok leggyakoribb formái, kisebb méretűek (1-5 m átmérőjű), talajjal és üledékekkel vannak fedve vagy legalább részben kitöltve, amelyet az eső vagy az áradások vize mosott be a repedésekbe. Ezek arra utalnak, hogy az oldódó só tömege közel van a felszínhez (*WALTHAM et al. 2004, FORD, WILLIAMS 2007, VERESS M. 2016*).

Az oldásos töbrök közepes vagy nagy méretűek, tál vagy tölcsér alakúak, oldási folyamatokat kísérő süllyedéssel mélyülnek. A szakadékdolinánál kisebb, a szuffóziós töbröknél nagyobb hajlású lejtők határolják, amelyek állhatnak sókőzetből és üledékekből egyaránt. A szakadéktöbrök az oldással kialakult üregek mennyezetének beomlásával alakulnak ki. Akkor jönnek létre, amikor az oldás a sókőzetben akkora üreget hoz létre, hogy már többé nem képes megtartani a fedő kőzetrétegek és/vagy a regolit terhelését. A dolina falai gyakran függőlegesek vagy aláhajlók, néha aszimmetrikusak; egyik fal meredek, a másik szelídebb. A beomlott tető kőzettörmeléké vagy törmelék breccsa beboríthatja a dolina alját.

Az utóbbi években megszorodtak a Kárpátokban és a Kárpát-medence sókarsztos területein is a sókarsztos kutatások, amelyek a karsztgenetikától a formaképződésig minden jelenséget érintettek (*GIURGIU 1985, ZENTAI 1994, NAPARUS 2009, ICÁ 2010, MARUNTEANU, DUMITRU 2010, ROMANESCU et al. 2015, VERESS et al. 2011, MÓGA et al. 2015, 2017, STOICA et al. 2017*). Az utóbbi években készült tanulmányok egy része a sokáig rejtőzködő földtani és morfológiai örökség megis-

merésére irányul. A Meledic-fennsík sókarsztja különleges helyzetben van, mivel ez a most szerveződő Bodza-folyó menti geopark (Buzau Geopark) területére esik és számos geotop található a területén (ICA 2010, MARUNTEANU, DUMITRU 2010, SAVA et al. 2010, IRIMIA, IRIMUS 2012, ROMANESCU et al., STOICA et al. 2017).

Módszerek

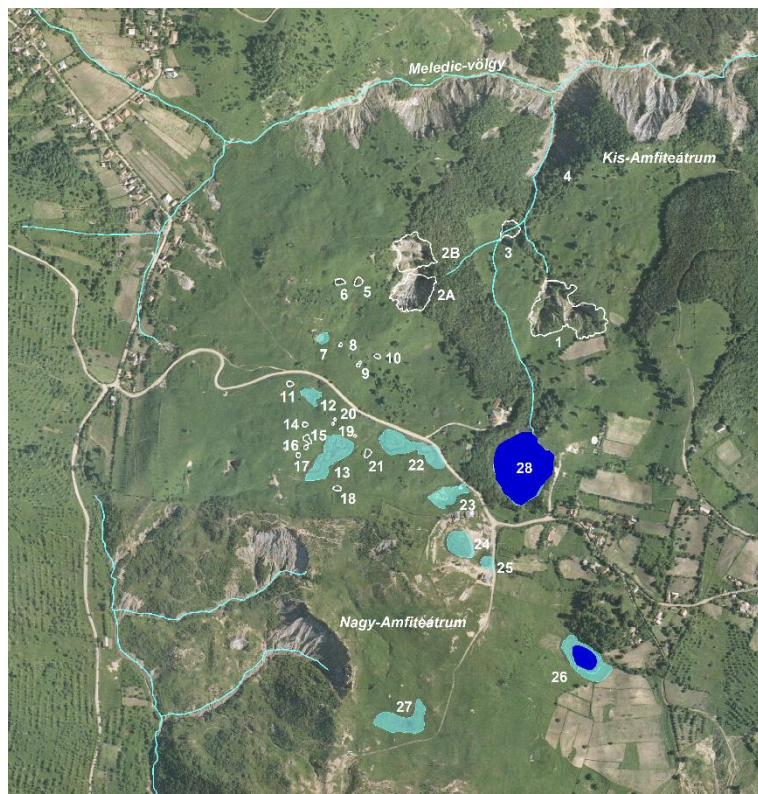
A korábban az Aknaszlatinai-sókarszton már bevált DJI Phantom kvadrokopterrel végeztünk felmérést a felszínformák méreteinek meghatározása miatt. Az alacsony magasságban (50m) készített 12Mpx felbontású képek sztereo-fotogrammetriai (vagy tér-fotogrammetriai) feldolgozása Agisoft 1.2 professional szoftverrel történt. A feldolgozás során először egy 3D pontfelhő készült, amiből interpolációs eljárással felszínmodellt állítottunk elő. Mivel az alapanyag egyszerű fényképekből állt – nem lidar felvételekből, a növényzet és lombkorona nem volt „retusálható” a pontfelhőkből, azaz digitális terepmodellek előállítására volt lehetőségünk. A román Stereo 70 (EPSG:31700) vetületi rendszerben lett volna célszerű létrehozni a terepmodelleket. Szoftveres hibák miatt azonban a bizonyosan jól kezelt WGS 84 (EPSG:4326) földrajzi koordinátarendszerben történt a terepmodellek létrehozása majd TIFF fájlként exportálása. A Stereo 70 rendszerbe vetítésre és a további elemzési lépések elvégzésére az ArcGIS szoftver nyújtott megoldást. A végső raszter felbontása px/m. Munkánk során ez a felbontás alkalmas arra, hogy a vizsgálni kívánt felszíni formákat lokalizálni, modellezni és mérni tudjuk. A földrajzi vetületbe illesztés terepen mért GPS pontok alapján történt. Az átfogó geomorfológiai, morfometriai és a geohazard vizsgálatokhoz a Google Earth által a területről elérhető műholdképeket használtuk fel, a méréseket Global Mapper 17. szoftverrel végeztük.

Eredmények és diszkusszió

Dolina típusok a Meledic-fennsíkon

A nagy mennyiségű, egyenletes eloszlású szennyeződés (főleg agyag és iszap) a gyorsan oldódó evaporit közettömegben, olyan sok oldhatatlan maradékot termel, amely gyorsan kiterjedő takarót képez a sóközet tetején. Ezt a köpenyt folyamatosan aláássa a sekély mélységben elhelyezkedő sótömszben végbemenő gyors oldás. Az agyagos oldási maradék egy része bemosódik a dolina hasadékaiba, ami létrehozza a jellegzetes üledékekkel és

talajjal borított gödrös tájat, ahol az agyagos üledékekkel bemosódott (szuffúziós) dolinák nagy számban jelennek meg.



1. ábra. A vizsgált dolinák a Meledic-fennsík ÉNy-i részén. Jelkulcs: a kék szín a tavakat, a türkiz szín a szuffúziós dolinákban kialakult lápokot, vizes élőhelyeket, a fehér karikák a dolinákat jelöli, a számok a dolinák azonosítói (lásd táblázat).

Fig. 1: Investigated dolines on the NE part of Meledic plateau. Legend: The blue color represents the lakes, turquoise are wetland and pond in suffusion dolines, white circulars are doline, and the numbers are the symbols of dolines (see in table Nr.1).

A szuffúziós dolinás térszinek ott alakulnak ki, ahol az oldódó sósóréteg nincs mélyen a felszínhez képest. Ilyen dolinás térszinek található a Meledic-fennsík nyugati részén a Meledic menedékházhoz vezető köves út két oldalán (1. ábra). A szuffúziós töbrök általában kisebb méretűek (1-5 m átmérőjű), és összességében lehetnek akár több száz vagy ezer m² területűek. Zömmel sekélyek, talajjal és törmelékkel vannak fedve vagy kitöltve, amelyet az eső vagy az áradások vize mosott be a repedésekbe (5. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 19. 20. 22. 23. 24. 25. 27. számú töbrök). A vízzáró agyag jelenléte miatt számos kis dolinában állandó vizű, vagy évszakosan vízzel

borított tó alakult ki (6. 7. 8. 10. 18. 21. számú töbör), ill. gyakoriak a sekély horpadások, amelyekben vizes élőhelyek alakultak ki (2.3.4. ábra, I. Táblázat).

A nagyobb tavakon néhány koncentrikus vegetációs zóna rajzolódik ki, amely függ a dolina körvonalától, és a víz mélységétől. A tómederben, ill. a vizes élőhelyeken a partvonalától a tó közepéig ezek a következők: a nedves rétek övezete, amelyet sások és fűfélék alkotnak; a sekély mocsári zóna, amelyben elsősorban nádasok alakulnak ki, befelé tartva a nádasokhoz gyékény, tavi káka (*Schoenoplectus lacustris* (L) Palla), mocsári páfrány (*Thelypteris palustris* Schott) társul. A mély mocsári zónát gyökeres, lebegő növényfajok alkotják pl. úszó békaszőlő (*P. natans*, *P. amphibium*), tündérfátyol (*Nymphoides peltata* (SG Gmel.) Kuntze). A gyökér nélküli lebegő növények öve a vizes élőhelyek belsejében alakul ki, ahol a nagy vízboglárkával (*Ranunculus aquatilis* L., *Lemna* sp.), és a közönséges rencével (*Utricularia vulgaris* L.) találkozhatunk, végül a víz alatt élő növények következnek (STRAT 2016, STRAT, MÓGA 2016).

Nagyon látványos a 13. számú dolina és a Vár-tó mélyedésében kialakult koncentrikus sávokba rendeződött növénytársulás. Jóllehet a só közel van a felszínhez, a vizes élőhely növényzete nem tükrözi a só közelségét (2. ábra).



2. ábra: Mocsár és lúp különböző méretű és alakú szuffúziós dolinákban.
Fig. 2: Moorland and swamp inside different size and shape suffusion dolines.



3. ábra Szuffúziós dolina a Meledic-fennsík ÉNy-i részén.
Fig. 3: Suffusion doline on the NE part of Meledic plateau.



4. ábra: Oldásos töbrök a fennsík DNy-i részén.
Fig. 4: Solution dolins on the SW part of the saltkarst.

Az oldásos töbrök közepes vagy nagyméretű, tál vagy tölcsér alakú, főleg oldási folyamatokat kísérő mélyüléssel kialakult mélyedések. Legna-

gyobb számban a fennsík DNy-i részén alakultak ki, a Sós-völgy nagy víznyelője és a Nagy-forrásbarlang közti területen, a bűvópatak fölötti területen (4. ábra).

I. Táblázat
Table I.

A Meledic-fennsík vizsgált töbrök jellemzői
Morphometrical characteristics of the investigated sinkholes on the Meledic plateau

Sorszám	Meledic-fennsík dolinák neve	Area m ²	Long axis m	mélység m	Volum m ³	jelleg	koordináták
1	víznyelős töbör	8720	133	30	70064	víznyelős töbör	45° 30' 00.6254" N, 26° 37' 03.5358" E
2	víznyelős töbör Summa	6800	133	53	216835	víznyelős töbör	45° 29' 59.4978" N, 26° 37' 03.4680" E
2A	víznyelős töbör (déli)	3264	85	53		víznyelős töbör	45° 29' 59.4978" N, 26° 37' 03.4680" E
2B	víznyelős töbör (északi)	3148	78	40		víznyelős töbör	45° 30' 00.6254" N, 26° 37' 03.5358" E
3	víznyelős töbör	643	32	16		víznyelős töbör	45° 30' 02.2620" N, 26° 37' 09.6666" E
5	töbör	162	16			szuffóziós töbör, wetland	45° 29' 59.5428" N, 26° 36' 57.8498" E
6	dolinató	128	18			tó	45° 29' 59.5737" N, 26° 36' 56.5407" E
7	dolinató	300	22			tó	45° 29' 56.4650" N, 26° 36' 55.1368" E
8	dolinató	22	11			tó	45° 29' 56.0683" N, 26° 36' 56.3455" E
9	töbör	380	21			utánsüllyedékes töbör	45° 29' 54.9508" N, 26° 36' 57.7117" E
10	dolinató	14	5			tó	45° 29' 55.4116" N, 26° 36' 59.2290" E
12	töbör	642	36			szuffóziós töbör/wetland	45° 29' 53.3377" N, 26° 36' 54.0929" E
13	töbör	3260	113			szuffóziós töbör/wetland	45° 29' 50.2141" N, 26° 36' 55.6316" E
14	töbör	19	5			szuffóziós töbör/wetland	45° 29' 51.7581" N, 26° 36' 53.4837" E
15	töbör	125	16.jan			szuffóziós töbör/wetland	45° 29' 50.9856" N, 26° 36' 53.5088" E
16	töbör	33	7			szuffóziós töbör/wetland	45° 29' 50.4796" N, 26°

Sorszám	Meledic-fennsík dolinák neve	Area m ²	Long axis m	mélység m	Volum m ³	jelleg	koordináták
							36° 53.4660" E
17	töbör	45	8			szuffóziós töbör/wetland	45° 29' 50.0237" N, 26° 36' 52.8035" E
18	dolinató	86	14			tó/lake	45° 29' 48.1376" N, 26° 36' 55.8453" E
19	töbör	12	5			szuffóziós töbör/wetland	45° 29' 51.7296" N, 26° 36' 55.6245" E
20	NW 5fent	15	4			szuffóziós töbör/wetland	45° 29' 51.9650" N, 26° 36' 55.8097" E
21	dolinató	126	15			szuffóziós töbör/wetland	45° 29' 50.0417" N, 26° 36' 58.2540" E
22	töbör	3020	122			szuffóziós töbör/wetland	45° 29' 50.5600" N, 26° 37' 00.5195" E
23	töbör	1450	71			szuffóziós töbör/wetland	45° 29' 47.5118" N, 26° 37' 04.1886" E
24	töbör	1640	56			szuffóziós töbör/wetland	45° 29' 44.7896" N, 26° 37' 05.5797" E
25	töbör	423	28			szuffóziós töbör/wetland	45° 29' 43.8964" N, 26° 37' 07.6360" E
26	Vár-tó	1421	54			tó	45° 29' 38.4376" N, 26° 37' 15.2162" E
27	töbör	2650	91			szuffóziós töbör/wetland	45° 29' 34.9709" N, 26° 37' 01.6888" E
28	Meledic-tó	9470	261			tó	45° 29' 49.0784" N, 26° 37' 10.3778" E

Mivel a fennsík pereméhez közel alakultak ki, ahol nagy a hidrológiai gradiens, és a felszínről lefolyó, szivárgó vizek a barlang felé könnyen utat találtak, főleg tölcsér alakúak. A töbrösödésre kedvező körülmények miatt nagy és mély töbrök alakultak ki, amelyekből az üledékek szinte teljesen kimosódtak. Mélyülésük és szélesedésük következtében a szomszédos töbrök helyenként egy nagy közös mélyedést (uvalát) alakítottak ki. A fedőüledékektől megfosztott területen tucatnyi mély tölcsér alakú dolina alakult ki a könnyen oldódó sókőzetben, ahol a meredek lejtők gyakran kürtökbe, víznyelőkbe torkollanak. A meredek lejtőkön lefolyó víz oldó hatása sok helyen vályúkkal, mély barázdákkal, árkokkal szabdalta fel a sókőzet felszínét. A dolinákból a kürtökön lefolyó víz a fennsík alatt húzódó barlangfolyosón keresztül a Slanic-völgy nagy forrásbarlangja felé áramlik.

Az utánsüllyedésező töbrök másik típusa a talaj-beszakadásos (lezökkenésező) töbrök elszórtan találhatók a fennsík üledékekkel fedett térszínein. Általában kisméretűek, kevésbé szembetűnőek és főleg a csapadékos időszakokban fejlődnek, változnak, amikor a fedőüledékek átmedvesedve képlékeny folyással mélybe szállítódnak a sóközet rejtett kürtői, hasadécai felé. A zárt gyeptakarós térszíneken, ill. ahol összeálló kőzet borítja a fennsíkot, talaj-beszakadásos töbrök jelennek meg, éles peremük elárulja, hogy az oldással kialakult kürtők felett a gyeptakarós talaj nagyobb tömbökben, dugószerűen zökkent be az alatta nyíló üregbe (pl. 9. sz. töbör) (5. ábra).



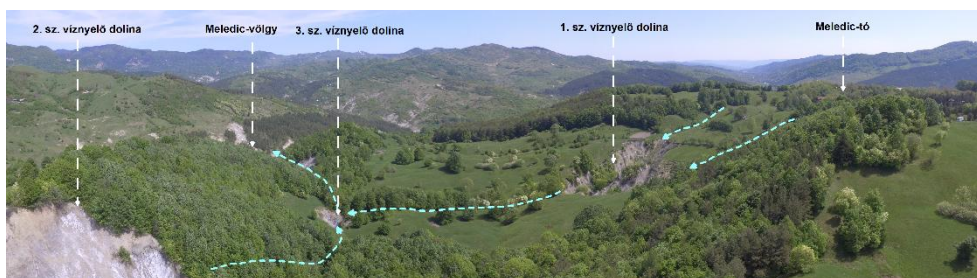
5. ábra: Talaj-beszakadásos töbör.
Fig. 5: Dropout doline.

A víznyelők a Meledic-fennsík területén vakvölgyben vagy víznyelős töbör alján nyílnak. A legtöbb víznyelő a fennsík középső részén a fokozatosan elvékonyodó üledékréteg faltjainak a pereménél alakult ki, ahol közel van a felszínhez a sóközet. A víznyelős dolinák zárt, kör vagy ellipszis alakú aszimmetrikus mélyedések, amelyek a víznyelő torok irányába lejtnek. Az átmérőjük néhány tíz méter és több száz méter között változik. A hatalmas méretű ikertöbrök (uvalák) esetenként több különálló mélyedésre tagolódnak, amelyeknek a mélysége akár 20-50 méter is lehet, és komplex folyamatok eredményeként jöttek létre. A legnagyobb méretű víznyelős dolinák a fennsík legmagasabb kiemelkedése körül, az onnan időszakosan lefolyó víz völgyeszerű hajlataiban, kis völgyeiben alakultak ki.

Megfigyeléseink, terepi vizsgálataink alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy amikor még összefüggő fedő üledékréteg borította a

Meledic-fennsíkot, a távközlési erősítő torony környéki legmagasabb (kb. 610 m magas) tetőkről sugár irányban a felszínen folytak le a kis erek és patakok, amelyek sugaras vízhálózatot alakítottak ki. Ezeknek a kis patakoknak a bevágódása vékonyította el a fedőüledékes takarót. A fedőrétegek lehordásában az erózió kívül a lejtős tömegmozgásoknak is fontos szerepe lehetett, amit az utóbbi évszázadokban az erdőkaró kiirtása, a legeltetés, a rét- és mezőgazdaság elterjedése is siettetett. A természeti folyamatok és növekvő antropogén hatások következtében főleg a lejtős területeken megbomlott a felszíni takaró egyensúlya, és a felszíni vizek a völgyek talpán egyre inkább érintkezésbe kerültek a felszín alatti könnyen oldódó sőrétteggel, és az alattuk húzódó kősó vagy karbonátos kőzet süllyedését, bezökkenését, omlását okozták. Ahol nagyobb mennyiségű víz jutott az így kialakult mélyedésekbe, a kősó repedéshálózatán keresztül folyó víz eróziós és oldó hatása földtörténeti mérték szerint nagyon rövid idő alatt kialakította a sókőzetben a búvópatakok járatrendszerét.

Ahogy a járatok tágultak és a víz számára könnyebben átjárhatóvá váltak, mélyebb és tágasabb lett a víznyelő töbrök is, amelyben részt vettek omlások, a sókőzetet fedő üledékek átnedvesedésével, képlékennyé válásával csuszamlások, sárfolyások, lejtős tömegmozgások is. A kőzet repedéshálózata pedig akár több helyen is magához vonzotta a lejtőkről lefutó kis vízfolyásokat, így tojástartóra hasonló, több rekeszű ikertöbrök (uvala) alakultak ki. A Meledic-fennsík középső és északi részén a felszíni vízfolyások fokozatosan szétestek és mélybe-fejeződtek (batükaptura) a víznyelős dolinák kialakulásával és a felszíni vizek elnyelődésével. Napjainkban kisméretű szuffóziós, utánsüllyedésszerű és lezökkenésszerű dolinasorok és nagyméretű víznyelős töbrök sorakoznak az egykori völgyek helyén, főleg a Meledic-patakok völgyfőjében.

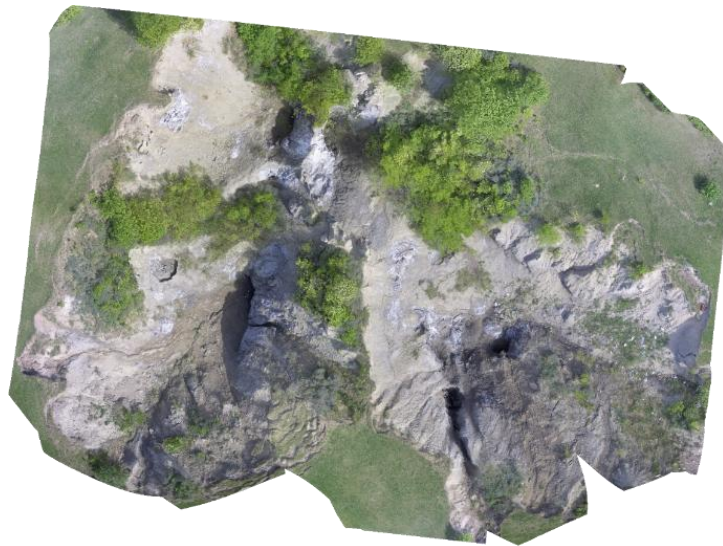


6. ábra: A Meledic-fennsík északi része a 6S-barlang víznyelőivel és a vízfolyásokkal.
Fig. 6: The northern side of the Meledic plateau with the sinkholes of the 6S cave and streams.

A Meledic-tótól északra lejtő fennsík nagy víznyelős töbrei ilyen komplex folyamatok következtében alakultak ki. A Meledic-tó túlfolyó vize

valaha a felszínen folyt egészen a fennsík északi határát képező Meledic-völgyig, azonban a patak vize többszörös mélybe-fejeződéssel búvópatakká vált, egykori völgyrendszerében napjainkban hatalmas víznyelős dolinák nyílnak, az 1. 2. 3. számú víznyelők (6. ábra), amelyek az S6-barlangrendszer aktív, alsó járatain keresztül vezetik le a felszín alatt a vizeket. A sóbarlangok és a velük kapcsolatban álló víznyelők alakja és mérete, mélysége gyorsan változik. Kormeghatározások a Meledic-fennsík barlangjaiban még nem történtek, így csak analógiák alapján állíthatjuk, hogy mind a barlangok, mind a víznyelős dolinák viszonylag fiatal képződmények. Az 1980-as években a barlangkutatók által publikált barlangtérképek és a velük kapcsolatban álló víznyelők között nem találjuk a 3. sz. víznyelőt, jóllehet az S6 barlang környékén minden objektum ábrázolva van. Ebből arra következtetünk, hogy ez a több tíz méter átmérőjű víznyelő, akkor még nem létezett, azaz később alakult ki! A víznyelős dolinákról az elmúlt években végzett megfigyeléseink és drónfelvételeink megerősítik, hogy a változások gyorsan történnek a sódolinákban.

A fennsík DNy-i részében a Só-völgyben (Valea Sării) nyílik a legnagyobb méretű, vakvölgyben kialakult víznyelő, amelyből egy sóbarlangba folyik a kis sós vizű búvópatak, amely kb. 250 m felszínalatti folyás után a Slănic-folyó meredek sófala alatt nyíló Nagy-forrásbarlangban lép ki a felszínre.

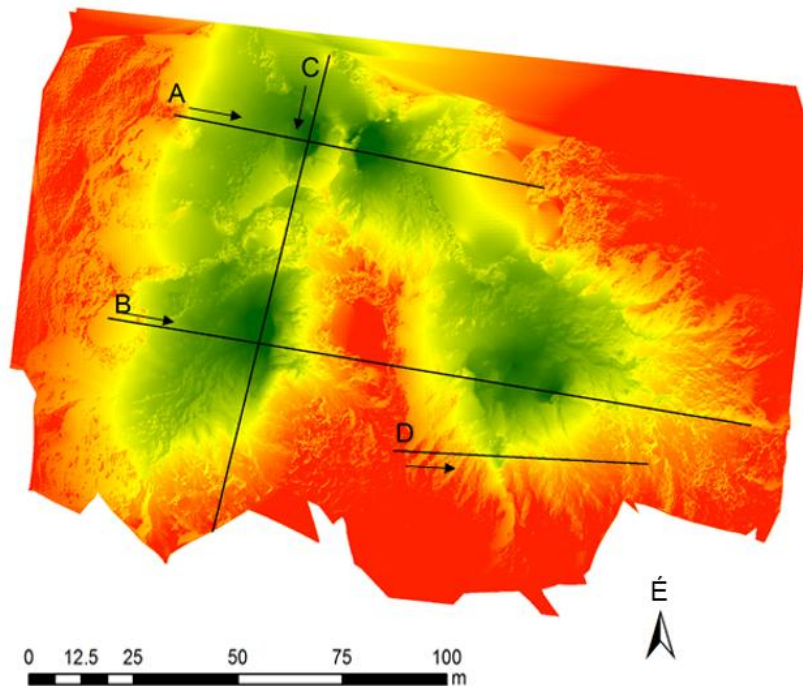


7. ábra: Az 1. számú víznyelős dolina a 6S-barlang víznyelőivel.

Fig.7: The number 1. sinkhole, with the swallow holes of 6S cave.

A víznyelős dolinák morfológiai vizsgálatának eredményei

Az 1. számú nagy víznyelős töbör (7. ábra) morfológiai vizsgálatát két különböző módszerrel végeztük. Az első szofveres alkalmazásban a DJI 3 standard drónnal készített 12Mpx felbontású képek sztereo-fotogrammetriai feldolgozása Agisoft 1.2 professional szofverrel történt. A feldolgozás során először egy 3D pontfelhő készült, amiből interpolációs eljárással felszínmodellt állítottunk elő. Négy profilt illesztettünk a területre (ABCD), amelyek alapján elkészítettük a négy fiókkatlannal (töbör) rendelkező karsztos mélyedés jellemző keresztmetszékeit (8. 9. ábra). Az ortofotón és a digitális felszínmodellen jól megfigyelhető, hogy a különböző irányokból érkező időszakos vízfolyások négy nagyobb, és további kisebb víznyelőkben folynak el, amelyek egy nagy dolinaegyüttessé (uvala) oldódtak össze, amelynek a mélysége 20-25 m, a területe pedig a 2018. májusi méréseink szerint 8720 m^2 (I. táblázat). Az uvala térfogatát is a fenti szofver segítségével számítottuk ki, úgy, hogy a karsztos mélyedés legalacsonyabb pereme (513 m) alatti térfogatot számoltuk ki, ami 70064 m^3 .

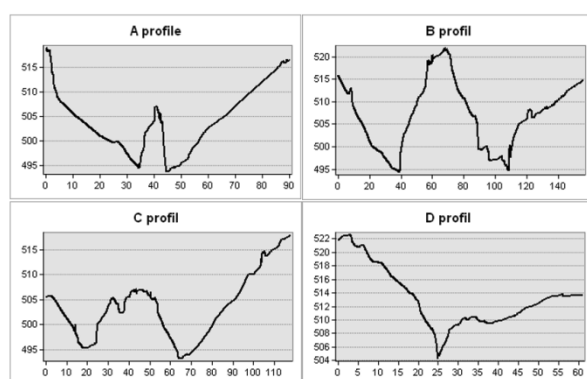


8. ábra: Az 1. számú víznyelős dolina a felvett szelvényekkel (A, B, C, D).
 Fig. 8: The sinkhole n. 1. with the cross sections (A, B, C, D).

Az 1. jelű víznyelős töbörben (uvala) nyíló víznyelők mind az 6S-barlanggal állnak kapcsolatban, de a felfedezés idején még a víznyelők közül

kiinduló különálló kisebb barlangok külön elnevezést kaptak, ha járható méretű folyosó nem kötötte össze őket az 6S-barlanggal. A barlangkutatók a DNy-i nagy töbréből nyíló víznyelőn keresztül jutottak be 1980-ban az 6S-barlangba, amely a további felfedezésekkel hamarosan a Föld leghosszabb kőszobán kialakult barlangja lett (3243 m hosszú, 42 m mély). Az előzőtől északra nyíló (ÉNY-i) víznyelőben tárták fel az 5S-barlangot, a jobb oldali nagy töbör (DNy-i) alján nyíló víznyelőből a 9S-barlangot.

Az 1. számú víznyelős töbör fiók-katlanjainak lehatárolására, és morfológiai vizsgálatára, a felszínmodell Stereo 70 rendszerbe vetítésére, és a további elemzési lépések elvégzésére az ArcGIS szoftver nyújtott segítséget. Az Agisoft 1.2 szoftverből importált felszínmodell TIFF fájl magasság színezése után a töbrök lehatárolásának céljából 1 m szintközökkel szintvonalak létrehozására volt szükség. Töbröként 4 db (délkeleti, északkeleti, északnyugati és délnyugati), egymástól független legkülső zárt szintvonalal, és legalább 5 db további belső szintvonalal jellemezhető mélyedést határoztunk meg (10. ábra).



9. ábra: A, B, C, D keresztmetszetek az 1. sz víznyelős töbréből.
Fig. 9: A, B, C, D cross sections from the sinkhole n. 1.

A töbrök paramétereinek kinyeréséhez szükség volt a terepmodellből való egyenkénti kivágásukra. Ezt a töbörperem szintvonalak leválogatásával, poligonra alakításával, majd a terepmodell kimaszkolásával értük el. Már a szintvonalak poligonra alakításával megkaptuk a töbrök területét és kerületét, valamint lemérhettük a hozzávetőlegesen leghosszabb és legrövidebb átmérőket. A külön töbör-terepmodellek létrehozásával pedig a mélység és a térfogat adatokhoz is hozzáférhettünk. Utóbbihoz a Surface Volume eszköz járult hozzá. Az alkalmazott módszer (fotogrammetria) korlátai miatt a töbrök pontos lehatárolása a növényzettel borított területeken nem volt lehetséges. Ez a körülmény az uvalán belül főleg az ÉK és ÉNy töbrök va-

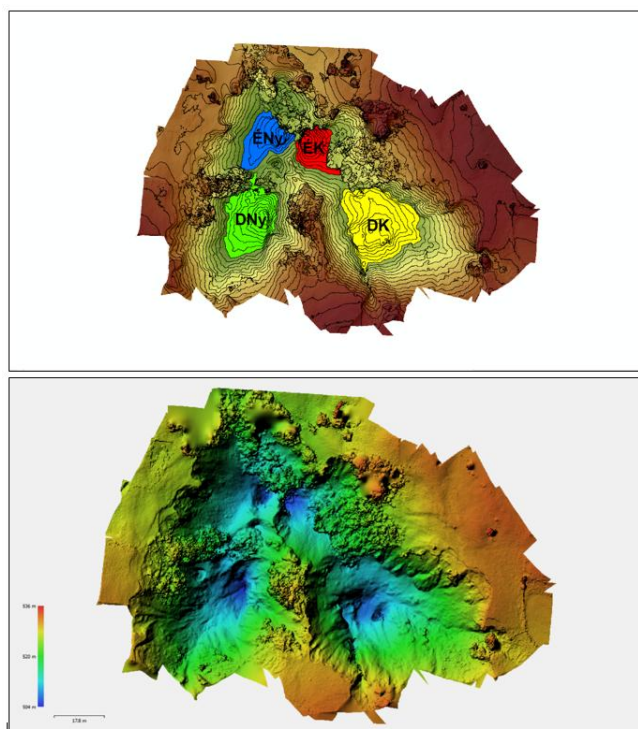
lói méretének a kiszámítását befolyásolta kismértékben negatívan. A tőbör legmélyebb pontja és geometriai középpontja közötti eltérés alapján a DK–i tőbör a legcentrálisabb, a DNy-i kevésbé, az ÉNy-i és még inkább az ÉK-i pedig nagyon aszimmetrikus. Utóbbi a legkisebb területű, mégis a legmélyebb tőbör. Az alábbi táblázatban ugyan csak 9 m van feltüntetve a vizsgált tőbrök legnagyobb mélységeként, de ezek csak a rész mélyedésekhez (tőbör) tartozó értékek, az uvala valós mélysége helyenként eléri a 30 métert is (II. táblázat).

II. Táblázat

Table II.

Az 1. számú víznyelős tőbörben GIS módszerrel elkülönített tőbrök morfológiai jellemzői.
Morphometrical parameters of the dolines determined by GIS in the sinkhole n. 1.

Tőbör	Kerület <i>m</i>	Terület <i>m</i> ²	Átmérő (min-max) <i>m</i>	Mélység <i>m</i>	Térfogat <i>m</i> ³
DK	125	694	24,5 – 33,5	8	2284
ÉK	86	205	11,5 – 17,5	9	698
ÉNy	97	276	16,5 – 25	7	560
DNy	112	468	18 – 35,5	9	1255



10. ábra: GIS módszerrel elkülönített tőbrök az 1. számú víznyelős tőbörben.
Fig. 10: Dolines determined by GIS in the sinkhole n. 1.

A 2. számú víznyelős töbör a Meledic-fennsík keleti peremén kialakult óriás méretű nagyrészt sókőzetben kialakult ikertöbör (uvala), amelynek mindkét mélyedésében víznyelő található (11. 12. ábra, I. táblázat). A tetőről É-ÉK felé lefolyó vizek eróziós és korróziós hatása alakította ki. A nagyobbik (déli) töbör alján nyílt valaha a 8S-barlang szája, a kisebbik (északi) töbör alján a 7S barlang víznyelője. Ezek kisebb méretű, időközben elzárult bejáratú víznyelő barlangok, ahonnan a vizek a feltételezések szerint a 6S-barlang felé tartanak, de a barlangrendszernek ezt a feltételezett ágát még nem sikerült feltárni. A feltételezett barlangfolyosó nyomvonalát kisebb tölcser alakú töbrök és tavas dolinák jelzik a fennsík észak felé tekintő meredek lejtőjében.

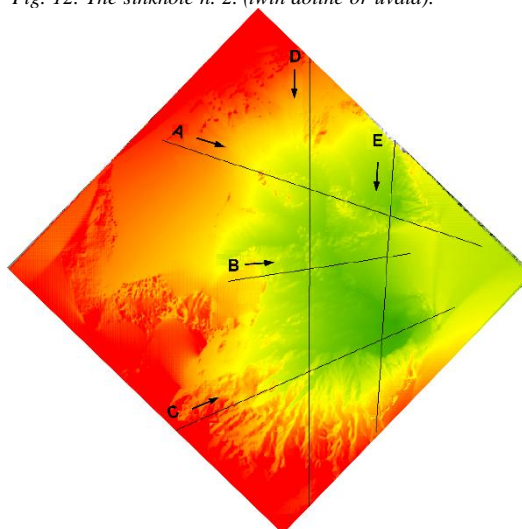


11. ábra: A 2. számú víznyelős dolina a sókőzet repedéseinél alakult ki.
Fig. 11: The sinkhole n. 2 developed at the fractured saltrock.

Az ikertöbör felületét a Global Mapper program 17 verziójával határoztuk meg, a teljes töbör 6800 m^2 , külön az északi töbör 3150 m^2 , a déli töbör 3260 m^2 (11, 12, 13, 14. ábra). A térfogat számításnál az előző töbörnél alkalmazott módszert használtuk, amelynek lényege az, hogy az alkalmazott szoftver egy bizonyos tengerszint feletti magasság alatti térfogatot tud kiszámolni. Mivel az ikertöbör teteje aszimmetrikus, a legmagasabb (567m) és legalacsonyabb perem (545m) között 22 m különbség van, ezért a legalacsonyabb perem (545m) alatti térfogatot számoltuk ki ($216\,835 \text{ m}^3$). Az ikertöbör a karsztfennsík legmélyebb objektuma 52 m-es mélységével.



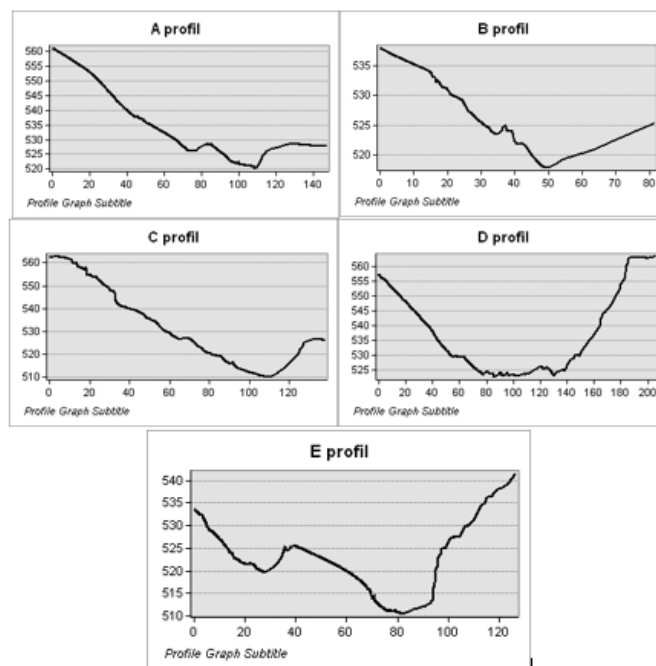
12. ábra: a 2. számú víznyelős töbör (ikertöbör vagy uvala).
 Fig. 12: The sinkhole n. 2. (twin doline or uvala).



13. ábra: A szelvények helye a 2. sz. víznyelős dolinában.
 Fig. 13: The location of the cross sections in the sinkhole n. 2.

A 2. számú ikertöbör mérete a legnagyobb a vizsgált víznyelős dolinák közül. Feltételezéseink szerint napjainkban (2017-2019) jóval nagyobb méretű, mint ami volt a Meledic-sókarsztról szóló barlangmonográfia kiadásának időpontjában (ICÁ 2010). A könyvben publikált aránymértékkel ellátott térkép vázlaton az ikertöbör mind a két része jóval kisebb a jelenleginél

és a szomszédos 6S barlanghoz tartozó töbröknél, és az alakja is feltűnően különbözik a drón felvételen láthatótól.



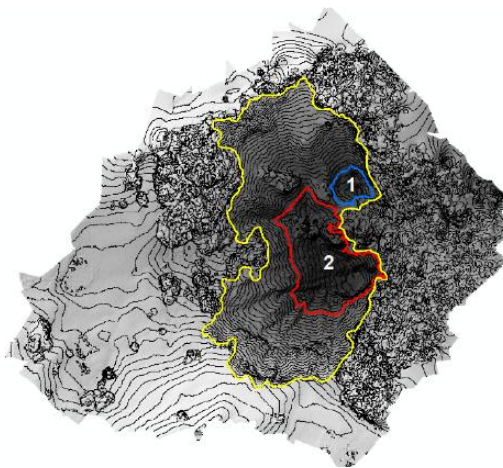
14. ábra: Keresztszelvények a 2. sz. víznyelős dolinában.
Fig. 14: Cross sections in the sinkhole n. 2.

A 2. számú víznyelős töbrőnél még egy morfológiai vizsgálatot végeztünk, amely lényegében azonos volt a korábban használt módszerhez (lásd az 1. számú töbrőnél, 10, 14, 15. ábra, III. táblázat). Az ikertöbrőt alkotó két belső töbrő körüli legtagabb folyamatos szintvonal mentén meghatároztuk a két zárt mélyedést Arc GIS szoftver segítségével. Ezeknek a belső töbrőknek (1. és 2.) mértük meg a morfológiai jellemzőit. Mivel a két töbrő körüli legtagabb folyamatos szintvonal keleten lombkorona alatti helyzetű, azok méretét a növényzet torzítja.

III. Táblázat
Table III.

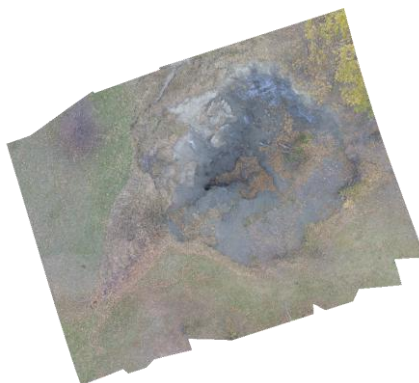
Az 2. számú víznyelős töbrőben GIS módszerrel elkülönített töbrők morfológiai jellemzői.
Morphometrical parameters of the dolines determined by GIS in the sinkhole n. 2.

Töbrő	Kerület (m)	Terület (m ²)	Térfogat (m ³)	Mélység (m)	Átmérő (m) min-max
1.	67,16	199,73	408,64	6 (541-535)	12,5-19,5
2.	235,39	1389,47	6141,53	13 (541-528)	22-57,5



15. ábra: A belső töbrök szintvonal menti lehatárolása a 2. számú víznyelős dolinánál.
 Fig. 15: Selection of the inner dolines along the widest contour by GIS in the sinkhole n. 2.

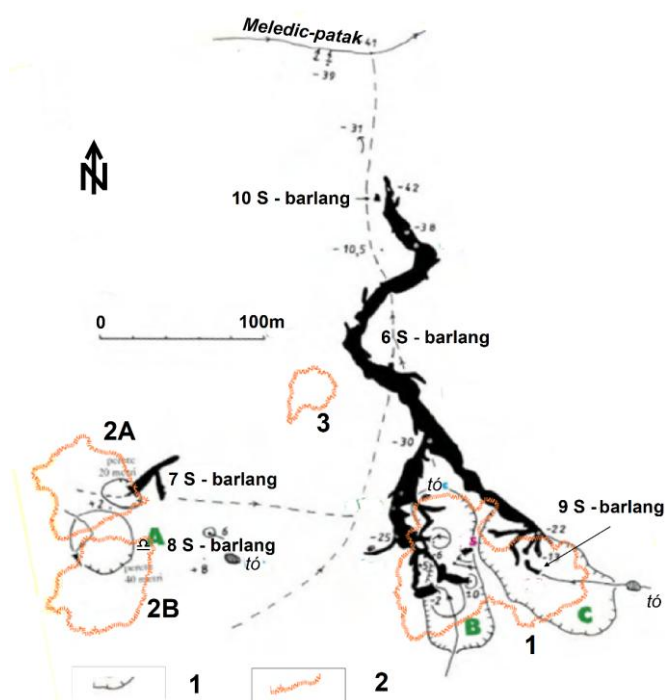
A 3. sz. víznyelős dolina nagyjából az előző két dolina között található, de alacsonyabb térszínen, az egykori vízfolyás sekély völgyében nyílik. Erősen aszimmetrikus mélyedés, egy nyitott víznyelővel és kapcsolódó időszakos vízmosással. A nyelési pont a 18 m mély töbrő mélypontján nyílik és belőle egy járat vezet DNY-i irányba. Valószínűleg fiatal víznyelő, a fennsíkon dolgozó barlangkutatók térképe 2004-ben még nem ábrázolta (ICÁ 2010), így valószínűleg később keletkezett. Számításaink szerint a kissé ovális víznyelős dolina átmérője 32 m, területe 643 m², mélysége 16 m (I. Tábla, 16. ábra). Körben meredek, lépcsőzetesen omladozó falak határolják, aminek a felső részét különböző üledékek, alsó 2/3-t kősz képezi. Valószínűnek tűnik, hogy a 6S-barlang rányelője.



16. ábra: A 3. számú dolina
 Fig. 16: The sinkhole n. 3.

Összegzés

Az előzetes eredmények a korábbi térképábrázolásokhoz képest, sőt saját előző évi felméréseinkhez képest is kisebb-nagyobb változásokat észleltünk a vizsgált karsztos felszínformáknál (17. ábra). A legszembetűnőbb a változás a 6S-barlang 2A és 2B jelű víznyelőinél, a 3. víznyelős dolina nem szerepel ICÁ, G. (2010) térképén, valószínűleg azóta alakult ki! A térkép feltűntet minden felszíni objektumot, ami a 6S-barlang vízgyűjtő területén található, de nincs vetületbe illesztve, ami a georeferálásnál torzulást eredményezett.



17. ábra: A víznyelő dolinák változása 1996 és 2018 között különösen a 2A és 2B dolináknál szembetűnő, a 3. számú dolina azóta alakult ki. Jelmagyarázat: 1. dolina kontúrok 1996-ban, 2. dolina kontúrok 2018-ban. after ICÁ, G. (2010) térképe alapján.

Fig. 17: The changes of the shape and size of sinkholes between 1996 and 2018 is well-marked at the 2A and 2B sinkholes. The sinkhole n. 3. developed since that. Legend: 1 the contours of the sinkholes in 1996, 2. the contours of the sinkholes in 2018. after the map of ICÁ, G. (2010).

A bukaresti kutatók által 2010-ben a sóbarlangokról írt tanulmánykötetben közzétett térkép vázlatához képest minden víznyelős dolinánál mé-

retnövekedést tapasztaltunk, új nyelőpontok alakultak ki, a dolina pereme eróziós folyamatok és lejtős tömegmozgások következtében kiszélesedett. Morfometriai vizsgálatokat végeztünk a különböző típusú és méretű dolinákon, ami lehetőséget adott a formák méret szerinti és genetikai szempontú rendszerezésére. GIS adatbázisunk és fotodokumentációnk segítségével nyomon követhetők a további változások.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani a Tempus Közalapítvány kuratóriumának a Stipendium ösztöndíjon keresztül nyújtott támogatásért, az Erasmus+ támogatásért és az ELTE Tehetség pályázat támogatásért, amely segítséget nyújtott a terepi kutatásokhoz.

IRODALOM

- BOSÁK, P., BRUTHANS, J., FILIPPI, M., SVOBODA, T., SMÍD, J.* (1999): Karst and caves in salt diapirs, SE Zagros Mts. (Iran). – *Acta carsologica*, 28/2 LJUBLJANA. pp. 41-75. DOI: <https://doi.org/10.3986/ac.v28i2.484>
- BRUTHANS, J., ZEMAN, O.* (2003): Factors controlling exokarst morphology and sediment transport through caves: comparison of carbonate and salt karst. – *Acta Carsologica*. 32(1) pp. 83-99. DOI: <https://doi.org/10.3986/ac.v32i1.366>
- FORD, D. C., WILLIAMS P.* (2007): *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. – John Wiley and Sons, Chicester 562 p.
- FRUMKIN, A.* (1994): Morphology and development of salt caves. – *Natl. Speleol. Soc., Bull.*, 56, pp. 82-95.
- FRUMKIN, A.* (2013): Salt karst. – in: Frumkin, A. (Ed.), Shroder, J. (Editor in Chief), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA, vol. 6, Karst Geomorphology, pp. 407–424. DOI: 10.1016/B978-0-12-374739-6.00113-5
- FRUMKIN, A., RAZ, E.* (2001): Collapse and subsidence associated with salt karstification along the Dead Sea. – *Carbonates and Evaporites* 16 (2), pp. 117–130. DOI: 10.1007/BF03175830
- FRUMKIN, A., EZERSKY, M., AL-ZOUBI, A., AKKAWI, E., ABUELADAS, A.R.* (2011): The Dead Sea hazard: geophysical assessment of salt dissolution and collapse. – *Geomorphology* 134, pp. 102–117. <http://dx.doi.org/10.1016>
- GIURGIU, I.* (1985): Pesteri in sare dein Subcarpatii Vrancei. – *Buletinul Clubului Speologie „Emil Racovita”*.

- GUTIÉRREZ, F., LIZAGA I.* (2016): Sinkholes, collapse structures and large landslides in an active salt dome submerged by a reservoir: The unique case of the Ambal ridge in the Karun River, Zagros Mountains, Iran. – *Geomorphology* 254. pp. 88–103.
- ICĂ, G.* (2010): Cea Mai mare peșteră în sare din lume. România Subcarpați Vrancei. – *Natura României*. 234 p.
- IRIMIA, D. N., IRIMUS, I. A.* (2012): The touristic area Lopatari-Manzalesti. – Conferinței „Rolul turismului în dezvoltarea teritorială” Gheorghieni. Presa Universitară Clujană, Kolozsvár. 7 p.
- MACALUSO, T., SAURO, U.* (1996): The Karren in evaporitic rocks: a proposal of classification - In: *FORNOS, I. J.- GINES, A.* (szerk.): Karren Landforms, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca. pp. 277-293.
- MADONIA, G., SAURO, U.* (2009): The Karren Landscapes in the Evaporitic Rocks of Sicily – in *GINÉS, A. – KNEZ, M. – SLABE, T. – DREYBRODT W.* (edit): Karst Rock Features Karren Sculpturing pp. 525-533, Karst Research Institute, Postajna-Ljubljana 561 p.
- MARUNTEANU C., DUMITRU, I.* (2010): Salt karst in Manzalesti – Romania. - In (ed. Evelppidou, N. Figueiredo, T. Mauro, F. Tecim, V. Vassilopoulos, A.) Springer Science & Business Media, pp. 105-109. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-01577-9_13
- MÓGA J., LIPPMAN L., TOMBOR E., FEHÉR K., KÉRI A., BORSODI A.* (2015): Az Aknaszlatinai-sókarszt felszínalaktani vizsgálata. – *Karsztfejlődés XX*. pp. 185-213. DOI: 10.17701/15.185-213
- MÓGA J., SZABÓ J., GÖNCZY S., LIPPMANN L., BÓDAI B.* (2017): Az Aknaszlatinai-sókarszt dinamikusan változó felszínformáinak vizsgálata terepi és GIS módszerekkel. – *Karsztfejlődés XXII*. pp.139-161. DOI: 10.17701/17.139-161.
- NAPARUS, M.* (2009): Teza de doctorat - Carstul se pare: dinamica si fenomene de risc. Studiu comparativ intre carstul natural de la Platoul Meledic si fenomenele carstice de natura antropica de la Ocelele Mari. – Doktorii értekezés, Bukarest. 65 p.
- ROMANESCU G., CURCA R. G., SANDU I.G.* (2015): Salt deposits in the Romanian Subcarpathians - genesis, repartition and ethnomangement. – *International Journal of Conservation Science*, Volume 6(3), pp. 401-410.
- SAVA, D., ARCUȘ, M., DOROFTEI, E.* (2010): Preliminary data on Meledic – Manzalesti Natural Reserve (Buzau County), Ovidius University Annals of Natural Sciences, Biology – Ecology Series, 14 pp. 61-67.
- STOICA, M., ANDRĂȘANU, A., PALCU, D., POPA, R. G.* (2017): The Miocene from Buzău area. A geological and geoconservation perspective. –

The 11th Romanian Symposium on Palaeontology Bucharest, September 25-30, 2017. Editura Universitații din București. p. 43.

STRAT, D., MÓGA J. (2016): Salt covered Karst dolines are determining features that control the occurrence of freshwater wetlands in the Meledic Plateau, Vrancei Sub Carpathians – Romania. – 18th Joint Geomorphological Meeting, June 27th - July 1st, 2016, Chambéry, France. Book abstracts.

STRAT, D. (2016). Wetlands – as significant features of the salt karst landscape in the Meledic Plateau, Vrancea Subcarpathians, Romania. – *Procedia Environmental Sciences* 32(59–69). doi: 10.1016/j.proenv.-2016.03.012

VERESS M. (2004): A karszt – BDF Természetföldrajzi Tanszék 215 p.

VERESS M. (2016): Covered Karsts – Springer, Berlin, New York, Heidelberg 536. p. DOI 10.1007/978-94-017-7518-2

VERESS M., PUSKÁS J., ZENTAI Z., BENKÓ ZS. (2011): Development of karren formation on the saltic hills of Praid (Transylvanian basin, Romania). – *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 6(2), pp. 183 – 194.

WALTHAM, T., BELL, F., CULSHAW, M. (2004): Sinkholes and subsidence. – Springer, Berlin, Heidelberg, New York. 381. p.

WARREN, J. K. (2006): Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons. – Springer Berlin Heidelberg New York, 1035 p.

ZÁMBÓ L. (1992): A karsztosodó kőzetek alaktana (karsztgeomorfológia). – in: (Borsy Z. szerk.) Általános természetföldrajz – Fejezetek az általános természetföldrajz köréből, Tankönyvkiadó, Budapest, pp. 587-589.

ZENTAI Z. (1994): A Parajdi sókarszt geomorfológiája. (The geomorphology of the Parajd/Prajd saltkarst). – *A BDTF Tud. Közl. IX. Természettud. 4, Szombathely.* pp. 233-248.