

**AZ UTÁNSÜLLYEDÉSES DOLINÁK KIALAKULÁSÁNAK VIZSGÁLATA MODELLKÍSÉRLETTEL**

**EXAMINATION OF THE THE SUBSIDENCE DOLINE'S FORMATION WITH THE USE OF MODEL EXPERIMENTS**

VETÉSI-FOITH SZILÁRD

PTE-TTK Földtudományok Doktori Iskola, 7624 Pécs, Ifjúság útja 6.  
[szilard.vetesi@gmail.com](mailto:szilard.vetesi@gmail.com)

*Abstract: During our research activity we examined the most typical surface forms of the covered karstfields. We studied the influence parameters of formation of the subsidence dolines with the use of physical analogue model experiments. We suppose, that porosity change (growth) in the cover triggers the formation of the subsidence dolines, because a part of the cover transports into the karst. Furthermore we suppose, that the size of the chimney's diameter, and the thickness of the karst's cover impacts the material transport and so on the change in the porosity and so on the formation of the subsidence dolines. Natural processes were modeled. On different size drilled gypsum blocks (these represents the chimney of the karst) we applied different grain size, with different thickness. According to our preliminary investigations with the use of the biggest grain size with a 20 cm thickness, and with 1,5 cm chimney diameter a subsidence doline performed. With the same parameters but reducing the chimney's diameter there was no depression on the cover.*

*Keywords: covered karst, subsidence doline, porosity, model experiment,*

**Bevezetés**

Munkánk során laboratóriumi körülmények között, fizikai analóg modellkísérletekkel vizsgáltuk a fedett karsztok legjellemzőbb felszíni formáit, az utánsüllyedéses dolinákat úgy, hogy rejtett (fedett) karsztos környezetet modelleztünk. Vizsgálatunk célja az volt, van-e valamilyen kapcsolat a fedőben fellépő porozitás-változás (növekedés) és az utánsüllyedéses dolinák kialakulása között. A kísérleteket egy külön erre a célra készített eszköz segítségével végeztük.

Az utánsüllyedéses dolinák a fedett karsztok egyik típusán, a rejtett karszton jönnek létre. Rejtett karszton a fedő vízáteresztő. A fedőn átszivárgó víz a fekül oldásos formát (akna, kürtő) hoz létre. A fekül ezen formájába a fedő szuffúzióval (szuffúziós dolina) vagy omlással (lezökkenéses dolina) beszállítódik, létrehozva a felszínen egy zárt depressziót.

A különböző fizikai analóg modellkísérletek a karsztkutatásban is elterjedtek. Számos tanulmányban találunk adatokat, a karsztok modellekkel történő tanulmányozására (*CURL* 1966, *QUINIF* 1973, *FABRE*, *NICOD*

1982). A karsztos modellkísérletekben a mészkövet gipsszel helyettesítik, így e karsztos modellkísérletek lényege és használhatósága abban rejlik, hogy az oldódási folyamatok és így a formaképződés is viszonylag gyorsan történik, valamint az egész folyamatot különböző tényezőkre bontva lehet vizsgálni. Gipszen folytatott modellkísérletek csoportjain belül *GLEW* és *FORD* (1980) a rillenkarrok kialakulását, *DZULYNSKI et al.* (1988) a hasadékkarrok kialakulását tanulmányozta. A karros formaképződést tanulmányozta ugyancsak gipszből felépített modellen *VERESS et al.* (1998). A fedett karsztok fedőjében lévő vízmozgási viszonyokat *DEÁK et al.* (2015) írta le. A karszt lepusztulása, törmelékzóna kifejlődésével történik (*VERESS, PÉNTEK* 1996). A jelenséget modellkísérletekkel *DEÁK et al.* (2017, 2018) vizsgálta.

Fedett karszterületek esetében két különböző szilárd fázist, a feküt és a fedőt lehet elkülöníteni. Mivel az utánsüllyedéses dolinák kialakulását mindkét szilárd fázis különböző paraméterei egyaránt befolyásolják, ezért ezt az analógiát felhasználva építettük fel azt a modellt, amelyen a folyamatot vizsgáltuk.

Az itt bemutatott modellkísérlet nem előzmény nélküli. Egy korábbi modellkísérletben a gipszre különböző szemcseméretű fedőt helyeztek, majd a fedőre, ill. a gipszre vizet bocsátottak. Ezáltal tanulmányozható volt a fedő és a gipsz oldódásának kapcsolata, valamint a gipsz oldódása során a fedőn kialakuló depresszió (*VERESS et al.* 2014). A kísérlet eredményeként megállapítható volt, hogy a fedőn kialakuló forma méretét, alakját meghatározza a fekün létrejött anyaghiány mérete és a vízmozgás jellege. Jelen tanulmányunkban arra fókuszálunk viszont, hogy az átmérő a fedő tulajdonságaitól függően hogyan befolyásolja a dolina képződést és a létrejövő depresszió jellemzőit.

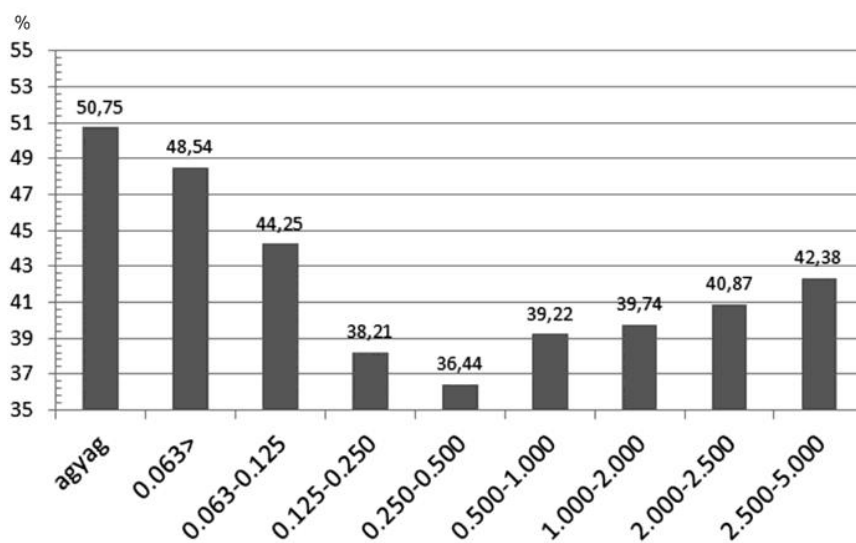
Fedett karsztok esetében a fedő és tulajdonságai nagymértékben megszabják a formaképződést annak felszínén. Hipotézisünk szerint a fedőben bekövetkező porozitás-növekedés indukálja az utánsüllyedéses dolinák kialakulását. A porozitás-növekedést az váltja ki, hogy a fedő anyaga különböző kürtőkön, járatokon keresztül a feküközébe szállítódik. A fedő anyagának karsztba jutási helye felett részleges porozitás-növekedés következhet be, ami felszínsüllyedést és így utánsüllyedéses dolina kialakulását eredményezi. Feltételezésünk szerint a porozitás-növekedés mértéke függ a kürtő, vagy a járat átmérőjétől, a fedő vastagságától, illetve annak szemcseméretétől.

## **Módszer**

### A kísérleti eszköz

Adott méretű gipsztömböket készítettünk, melyeket különböző vastagságban (6, 8, 15 mm) átfürtünk. Az átfürt gipsztömb reprezentálja a fedett karsztok fekjét és az azon kialakult kürtöket, járatokat. A fedő reprezentálásához folyóvízi üledéket használtunk. Az üledéket légszáraz állapotig történő szárítása után szitasorozattal frakcionáltuk. A porozitás kiszámításához a szemcsék közötti üres tér (aggregát hézagterefogat) térfogatának ismeretére volt szükség. Az aggregát hézagterefogat azonban önmagában nem számítható, mérhető, csak az összhézagterefogat.

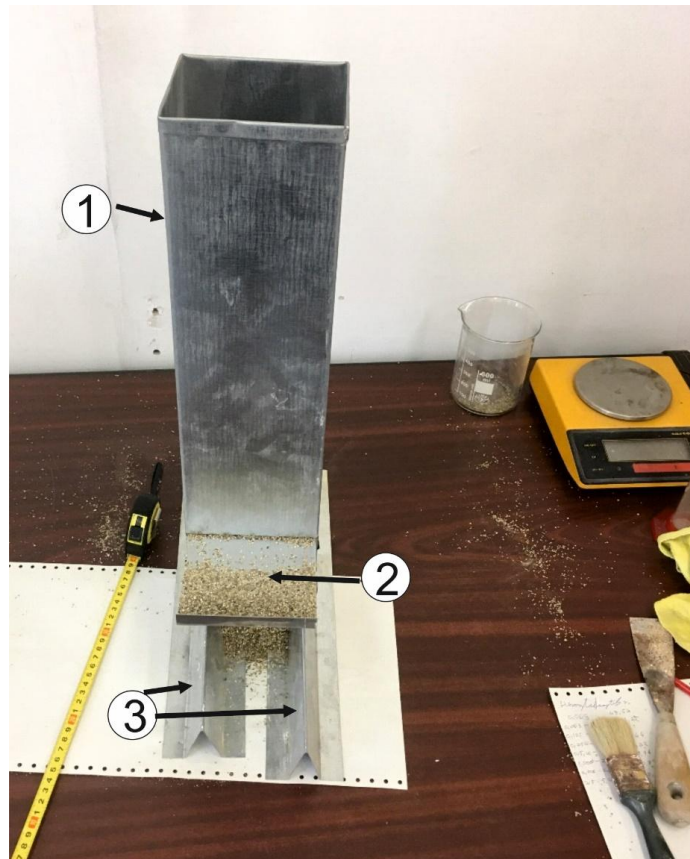
Modellkísérletünkben a 0,5000-1,000 mm és az 1,000-2,000 mm szemcseméreteket használtuk, mivel e szemcseméretek esetében az összhézagterefogatot nagyobb arányban az aggregát hézagterefogat teszi ki, mint az ennél kisebbek esetében, ahol az összhézagterefogat nagyobb részét a kapilláris hézagterefogat adja (1. ábra).



1. ábra: Az összes hézagterefogat változása a különböző szemcseméretek esetében (Deák et al. 2015 nyomán)  
Fig. 1.: The change of the total void volume of the different grain sizes (after Deák et al. 2015)

A különböző vastagságban átfürt gipsztömböket egy külön erre a célra tervezett téglatest alakú eszközbe helyeztük. Ezekre helyeztük a különböző szemcseméretű fedőüledéket különböző vastagságban, oly módon, hogy a fedő és a gipsztömb egymástól elszeparálható legyen. Ez, egy az eszköz oldalán becsúztatott fémlemez segítségével történt. E fémlemez kihúzásával ráengedtük a frakcionált fedőüledéket az átfürt gipsztömbre. Az

eszköz két fém sínen helyezkedett el, így biztosítva elég helyet a fedő anyagának áthullására (2. ábra). A kísérlet során az alábbi paramétereket mértük illetve számítottuk:



2. ábra: A porozitás-változás mérésére tervezett kísérleti eszköz. 1 az eszköz oldalfala, 2. az átfúrt gipsztömböt és a fedőt elválasztó fémlemez, 3. fém sínek

Fig. 2.: The experimental tool made for measuring the porosity-change. 1. the side of the tool, 2. the metal plate what separates the drilled gypsum block and the cover, 3. metal lines

$D_k$  ;  $D_{sz}$  ;  $l_1$  ;  $l_2$  ;  $\Delta l$  ;  $m_1$  ;  $m_2$  ;  $\Delta m$  ;  $V_1$  ;  $V_2$  ;  $\Delta V$  ;  $V_1$  ;  $V_2$  ;  $\Delta V$  ;  $\varphi_1$  ;  $\varphi_2$  ;  $\Delta\varphi$ ,

ahol  $D_k$  a kürtő szélessége mm-ben,  $D_{sz}$  a szemcse átmérője mm-ben,  $l_1$  a fedő vastagsága a kísérlet kezdetén cm-ben,  $l_2$  a fedő vastagság a kísérlet befejeztével cm-ben,  $\Delta l$  a fedő vastagságának változása cm-ben,  $m_1$  a fedő tömege a kísérlet kezdetén g-ban,  $m_2$  a fedő tömege a kísérlet befejeztével g-ban,  $\Delta m$  a fedő tömegének változása g-ban,  $V_1$  a fedő térfogata a kísérlet

előtt  $\text{cm}^3$ -ben,  $V_2$  a fedő térfogata a kísérlet befejeztével  $\text{cm}^3$ -ben,  $\Delta V$  a fedő térfogatának változása  $\text{cm}^3$ -ben,  $V_1$  hézag a fedő hézagtérfogata a kísérlet kezdetén  $\text{cm}^3$ -ben,  $V_2$  hézag a fedő hézagtérfogata a kísérlet befejeztével  $\text{cm}^3$ -ban,  $\Delta V$  hézag a fedő hézagtérfogatának változása  $\text{cm}^3$ -ben,  $\phi_1$  a fedő porozitása a kísérlet előtt,  $\phi_2$  a fedő porozitása a kísérlet befejeztével,  $\Delta\phi$  a fedő porozitásának változása.

#### *A porozitás-változás kiszámítása*

A porozitás, egy a közetekre, jellemző tulajdonság, definiálása a fajlagos hézagtérfogattal történik. A porozitás változás kiszámításához először kiszámoltuk a kísérletben használt fedő kezdeti porozitását, majd a kísérlet végeztével újra felmértük az ehhez szükséges adatokat és meghatároztuk az új porozitást. Ezután a végállapotra jellemző porozitás értékéből kivontuk a kezdeti állapot porozitását, megkapva így a porozitás változást. Kiszámítása a következő módon történt:

$$\text{a kezdeti porozitás: } \phi_1 = \frac{V_1 \text{hézag}}{V_1},$$

$$\text{a végállapot szerinti porozitás: } \phi_2 = \frac{V_2 \text{hézag}}{V_2},$$

$$\text{a porozitás-változás: } \Delta\phi = \phi_2 - \phi_1,$$

A  $V_1$  térfogatra a hézagtérfogat meghatározható. A  $V_2$  térfogatra azonban nem, ha ez utóbbi előzőből jön létre, min ahogy az a kísérlet során történt. Ezt valószínűleg akkor lehet elvégezni, ha különböző szemcseméretű anyaggal végezzük el a kísérletet. Ezért alább a porozitás változásával nem foglalkozunk. De a kísérlet során a fedő paramétereinek változásainak mérésével és az adatok felhasználásával a dolina kialakuláshoz további információkhoz jutottunk.

### **Eredmények**

Mérési eredményeinket az alábbi táblázatban (*I. táblázat*) foglaltuk össze.

Kapcsolatot sikerült kimutatni a kürtő átmérőjének nagysága, a fedő vastagsága és szemcsemérete és a fedőn kialakult mélyedés paramétere között. Azt tapasztaltuk, hogy 6 mm-es kürtő átmérőnél a nagyobb szemcseméretből felépített fedő esetében, egyik esetben sem alakult ki mélyedés a fedőn. Ugyanilyen paraméterek mellett, a fedőt felépítő szemcseméret nagyságát felére csökkentve viszont különböző méretű depressziók alakultak ki azon. Így 20 cm-es fedővastagságnál 2,5 cm mély és 3 cm átmérőjű

mélyedés képződött. Felére csökkentve a fedő vastagságát 3 cm mély és 6 cm átmérőjű mélyedés alakult ki. Ismételten felére csökkentve a fedő vastagságát 4,5 cm mély és 10 cm átmérőjű depresszió keletkezett a fedőn. A kürtőn áthullott anyag térfogata és a fedő vastagsága egymással fordított arányosságban áll. Minél kisebb a fedővastagság, annál nagyobb méretű mélyedés képződhet azon (*I. táblázat*).

*I. táblázat*  
Table I.:

*A modellkísérlet során a fedőn mért változások*  
*Measured parameters on the cover in the experiment*

<b>Dk (mm)</b>	<b>Dsz (mm)</b>	<b>l<sub>1</sub> (cm)</b>	<b>Δl (cm)</b>	<b>mért ΔV (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Megjegyzés</b>
6	1,000-2,000	10	0,5	-	Nem alakult ki mélyedés
6	1,000-2,000	5	0,5	-	Nem alakult ki mélyedés
6	0,500-1,000	20	2	221	2,5 cm mély, 3 cm átmérőjű mélyedés
6	0,500-1,000	10	1	230	3 cm mély 6 cm átmérőjű mélyedés
6	0,500-1,000	5	0,5	242	4,5 cm mély 10 cm átmérőjű mélyedés
15	1,000-2,000	20	2	220	2 cm mély 3 cm átmérőjű mélyedés
15	1,000-2,000	10	1,5	239	2,5 cm mély 5,5 cm átmérőjű mélyedés
15	1,000-2,000	5	0,5	252	3,5 cm mély 10,5 cm átmérőjű mélyedés

Ugyanilyen fedőparamétereket használva 15 mm átmérőjű kürtővel is végeztünk kísérleteket. Az előzőekhez nagyon hasonló eredményeket kaptunk. Így 20 cm-es fedővastagságnál 2 cm mély 3 cm átmérőjű, 10 cm-es fedővastagságnál 2,5 cm mély 5,5 cm átmérőjű, 5 cm-es fedővastagság esetében 3,5 cm mély és 10,5 cm átmérőjű mélyedés alakult ki (*I. táblázat*).

Az adatok azt mutatják, hogy a fedő kezdeti vastagságától, valamint részben a kürtő átmérőjétől és a szemcsemérettől függ, hogy a kísérlet befejeztével mekkora lesz a fedő felszínének süllyedése (Δl). Így 6 mm-es kürtőszélesség esetében 20 cm-es fedővastagságnál a teljes fedő felszínére vonatkozó süllyedés 2 cm, 10 cm-es fedővastagságnál ez az érték 1 cm, 5 cm-es fedővastagságnál 0,5 cm volt. 15 mm-es kürtőszélesség esetében 20 cm-es fedővastagságnál a süllyedés 2 cm, 10 cm-es fedővastagságnál 1,5 cm, 5 cm-es fedővastagságnál 0,5 cm (*I. táblázat*).

A fedő elmozduló, lehulló anyaga a gipsztábla alatti térben és a kürtőben halmozódott fel. A nagyon kicsi kürtő átmérőnél (6 mm) azonban a

lehullott anyag kis mennyisége miatt nem alakult ki depresszió. A depresszióképződés meghatározó tényezője a gipsztömb alatti tér. Ebben a mintegy 5 cm magasságú térben halmozódott fel a lehullott anyag jelentős mennyisége, ha a kürtő átmérője 6 mm vagy annál nagyobb (mintegy 220-250 cm<sup>3</sup>).

## Megvitatás

Karszterületeken a vizsgálatok szerint a depresszióképződési hajlam és a fedővastagság között kapcsolat mutatható ki. Így Kínában a számba vett utánsüllyedéssel rendelkező dolinák 60%-a 5 m-nél, 85%-a 10 m-nél kisebb vastagságú fedőn alakult ki (YUAN 1987, CHEN 1988). Floridában BEGGS és RUTH (1984) szerint a legtöbb dolina 20 m-nél kisebb vastagságú fedőn jött létre. Bár modellkísérletünkben nem tudtuk egy terület depresszióképződési hajlamát vizsgálni, mert egyetlen kürtő feletti folyamatot tanulmányoztunk, de méréseink szerint egyetlen kürtő felett a fedő elmozdulása (süllyedése) vastagságának csökkentésével, egyre kisebb területre összpontosul. Ezáltal az egyre vékonyabb fedőnél a kürtő feletti fedőrész egyre nagyobb hányada hull le. Ez azt eredményezi, hogy az egyre vékonyabb fedőben egyre mélyebb depresszió alakul ki. Karszterületre alkalmazva a fenti megállapítást, az adódik, hogy a vékonyabb fedőn azért alakulnak ki nagyobb eséllyel utánsüllyedéssel rendelkező dolinák, mert a fedő egyre inkább csak a kürtő (járat, akna) feletti fedőből jut a karsztba, míg vastagabb fedőnél a kürtőtől távolabbi (a távolság növekedésével valószínűleg egyre kisebb hányadban) helyekről a fedő egy része is a kürtőbe jut.

A kürtő átmérőjének növekedése és a szemcseméret csökkenése is növeli a depresszió kialakulásának esélyét. Ez két okra vezethető vissza. Az egyik, hogy ugyanakkora átmérőnél az egyre kisebb szemcsésű fedőnél (vagy ugyanakkora szemcsésű fedő, de nagyobb átmérőjű kürtőnél) egyre nagyobb eséllyel jut a kürtőbe az anyag és azon keresztül a gipsztömb alatti térbe. A másik ok, hogy a kürtő átmérőjének növekedésével egyre több anyag távozhat el a fedőből. Ezt a már fentebb említett modellkísérletek is alátámasztották (VERESS *et al.* 2014). A fekében keletkezett anyaghiány jelentőségét a természetes depressziók kialakulásában, pl. a gipszen folytatott vizsgálatok is alátámasztják (KLIMCHOUK, ANDRECHUK 2003). Ugyanis minél nagyobb a kürtő alatt a fekében az anyaghiány, annál több fedőanyag tározódhat ott.

## Következtetés

A depresszió kialakulása úgy történik, hogy a fekében keletkezett anyagihiány áttérjed a fedőre és így a fedőben keletkezett anyagihiány annak felszínére öröklődik át, oly módon, hogy a szemcsék elmozdulása egyre nagyobb területre terjed ki, egyre kisebb vastagságú fedőnél.

Laboratóriumi körülmények között a kialakuló depresszió mérete függ a fedő vastagságától, a kürtő átmérőjétől, a kürtő alatti anyagihiányos tér méretétől, és a fedőt felépítő anyag szemcseméretétől. E tényezők közül a kürtő átmérője, a gipsztábla alatti tér és a szemcseátmérő a szükséges feltétel a depresszió kialakulásához, míg a fedővastagság megszabja a létrejövő depresszió mélységét. Karszterületeken a fedővastagság szerepe a kialakuló utánsüllyedéses depressziók sűrűségében nyilvánul meg: egyre kisebb fedővastagságnál egyre nagyobb eséllyel egyre mélyebb utánsüllyedéses dolinák jöhetnek létre, a fentebb említett feltételek megléte esetén.

## IRODALOM

- 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.
- CHEN, J.* (1988) Karst collapses in cities and mining areas, China. – Environmental Geology Water Science, 12, pp. 29-35.
- CURL, R. L.* (1966): Scallops and flutes – Transactions Cave Research Group Great Britain, 7. p. 121-160.
- DEÁK GY., SZEMES M., VERESS M.* (2015): A gipsz fedőjének vízmozgáscsai fizikai analógmodelleken – Karsztfejlődés XX. pp. 215-229. DOI: 10.17701/15.215-229
- DEÁK GY., PÉNTEK K., FÜZES I., VETÉSI-FOITH SZ., VERESS M.* (2017): A karsztosodás során kialakult törmelékzóna modellezése. – Karsztfejlődés XXII. pp. 61-75. DOI:10.17701/17.61-75.
- DEÁK GY., VETÉSI-FOITH SZ., PÉNTEK K.* (2018): A telítődési szint helyzete és a felszínfejlődés vizsgálata modellkísérlettel. – Karsztfejlődés XXIII. Kézirat
- DZULYNSKI, S., GIL, E., RUDNICKI, J.* (1988): Experiments on kluftkarren and related lapid forms. Z. Geomorphology, 32 (1), pp. 1-16.
- FABRE, G. – NICOD, J.* (1982): Lapiés, modalités et rôle de la corrosion, crypto- karstique – Phénomène karstique III, Mémoires et documents de géographie, 3 pp.115–131
- GLEW J. R., FORD D. C.* (1980): Simulation study of the development of rillenkarren. Earth Surf. Proc. 5. pp. 25-36.



- KLIMCHOUK, A., ANDRECHUK, V.* (2003): Karst breakdown mechanism from observation in the gypsum caves of the western Ukraine: implications for subsidence hazard assesment – *International Journal Speleology*, 31 (4), pp. 55-88.
- QUINIF, Y.* (1973): Contribution a l'étude morphologique des coupoles – *Annales de spéléologie* 28 (4) pp. 565-573.
- VERESS M. - PÉNTEK K.* (1996): Theoretical model of surface karstic processes – *Zeitschrift für Geomorphologie* 40(4). pp. 461-476.
- VERESS M., PIDL K., MANTLER M.* (1998): A gipsz karsztosodásának modellezése laboratóriumi körülmények között. Szombathelyi Berzsenyi Tanárképző Főiskola Tudományos Közleményei XI. Természettudományok 6. Szombathely, pp. 147-166.
- VERESS M., GÁRDONYI I., DEÁK GY.* (2014): Fedett karsztosodás vizsgálata fedővel borított gipsztáblán. – *Karsztfejődés XIX.* pp. 159-171.
- YUAN, D.* (1987) Environmental and engineering problems of karst geology in China – In: Beck BF, Wilson WL (eds.) *Karst Hydrogeology: Engineering and Environmental Applications*, Balkema: Rotterdam, pp. 1-11.