

**A GIPSZ FEDŐJÉNEK VÍZMOZGÁSAI FIZIKAI ANALÓG MO-
DELLEKEN**

**WATER MOVEMENTS OF THE PLASTER COVER ON PHYSICAL
ANALOGUE MODELS**

DEÁK GYÖRGY – SZEMES MÁTYÁS – VERESS MÁRTON

Nyugat-magyarországi Egyetem Természettudományi Kar
Földrajz és Környezettudományi Intézet
Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4., vmarton@ttk.nyme.hu

Abstract: It is investigated how the grain size of the cover affects the water movement in the cover and thus, the pattern and the dissolution of the bedrock. Therefore the physical characteristic features of the cover with various grain sizes were measured: the void volume, the water lifting ability, the permeability and the water holding capacity of the cover with various grain sizes. With the help of the measurement data, the following physical models were set up. According to our measurements, the total void volume increases by the growth and decrease of the grain size too. It is possible if the total void volume of the cover with larger grain size mainly consists of aggregate void volume. Because of this, to the effect of the gravitational force the water lifting ability decreases or ceases. Therefore water gets to the bedrock from the cover in a wide expansion, the dissolution is continuous on the bedrock and thus, the dissolution features will be of continuous nature too. However, local dissolution also takes place at the place of water supply. In case of a cover with fine grain, the total void volume may increase because the capillary void volume increases. Because of larger capillary void volume, the lifting force originating from capillarity affects the capillary water. The water seeps laterally in the cover. In case of water supply, the water body of the cover expands and leaves the cover, then it shrinks in the break of water supply and it leaves the cover under the place of water supply and it reaches the bedrock at this place where local dissolution takes place. Therefore the feature development on the bedrock will have a local nature too.

Bevezetés

E tanulmányban azt vizsgáljuk, hogy laboratóriumban felépített fedett karszt modelleken a gipszen végbemenő oldódást a laza üledékes fedő szemcsemérete a vízmozgásain keresztül hogyan irányítja.

A fedett karszt két különböző szilárd fázisát (a fedőt és a feküt) különböző fizikai paraméterek jellemzik. A különbözőséget meghatározó paraméterek a térfogategységre számított összhézagtérfogat, valamint az oldhatóság.

A fekü kompakt anyagú, azaz a térfogategységre számított összhézagtérfogat igen kicsiny. Nagysága a különböző karsztos kőzetek esetén a fekü repedezettségétől függ. A feküre jellemző az oldhatósági szorzat. Ez az érték kifejezi, hogy a telített oldatban adott hőmérsékleten és nyomáson mennyi az adott só koncentrációja (mol/dm³-ben kifejezve). Ez a mészkő

oldható ásványára, a kalcium-karbonátra L_{CaCO_3} : $4,810^{-9}$ mol/dm³, míg a gipsz esetén $L_{CaSO_4 \cdot 2H_2O}$: $1,2 \times 10^{-6}$ mol/dm³ (ERDEY 1965).

A fedő anyaga porózus, szemcsés, laza szerkezetű. Térfogategységre számított összhézagterfogata nagy. A fedő anyagának oldhatósága kicsi, elhanyagolható, kivéve azt az esetet, ha a fedő anyaga a fekü anyagából képződött. Ekkor a fedő anyagának oldhatósága, és annak oldhatósági szorzata az anyakőzet, a fekü oldhatóságával és oldhatósági szorzatával közel azonos lesz. A fedett karsztokon a fedő jellege, tulajdonságai nagymértékben megszabják a formaképződést annak felszínén. Így konszolidált fedőn átöröklődéses töbrök, míg nem konszolidált fedőn utánsüllyedéses töbrök alakulnak ki (SWEETING 1973, JENNINGS 1985, WILLIAMS 2005, WALTHAM et al. 2004). Az utánsüllyedéses töbrőváltozatok létrejötte is a fedő jellegétől függ. Így nem összeálló kőzeten szuffóziós töbrök, míg összeállón lezökkenéses töbrök alakulnak ki (DRUM et al. 1990, THARP 1999, WALTHAM – FOOKES 2003, WILLIAMS 2004, WALTHAM et al. 2005). E tanulmányban, miután a laza üledékes fedő vízforgalmát vizsgáljuk, az utánsüllyedéses töbrök képződési környezetéhez kívánunk újabb szempontokat adni.

A két fázis közötti fizikai kapcsolatot a lehulló csapadék, vagy a talajvíz teremti meg. Ez a kapcsolat a fekü felületén a fedővel takart rész alatt lép fel. A fekűn kialakult oldási formák a fedő takarása miatt láthatatlanok. Az itt lejátszódó folyamatokról szerzett információk közvetettek. Egyrészt a fedőn kialakult formák utalnak a mélyben, azaz a fedő alatt lejátszódó változásokra. Másrészt a fekü formáira a geofizikai mérések szolgáltatathatnak adatokat. Azonban a geofizikai mérések amellet, hogy időigényesek és drágák, csak a nagyméretű képződmények alakjáról közvetítenek információt.

VERESS et al. (2014) fizikai analóg modell segítségével, közvetett információkat szereztek a fedő és a fekü kölcsönhatásáról, a fedőn és a fekü kialakuló formákról. A fedőn és a fekü megjelenő formák leírása mellett bizonyították, összhangban a terepi vizsgálatokkal (VERESS 2000), hogy a fedőn kialakuló formát, és annak méretét a fekü kialakuló anyaghány határozza meg. Úgy találták, a fekü felszínén képződő formákat és azok alakját, méretét a vízáramlás, a vízmozgás, valamint a fedő szemcsemérete határozza meg. E vizsgálatok folytatásaként jelen tanulmányban bemutatjuk azokat az eredményeket, amelyek a szemcseméret és a vízmozgás jellege közti kapcsolat feltárására irányultak.

Fizikai analóg modellkísérleteink feltárták a fedőn és a fekü kialakuló formakincset (VERESS 2014). A fedőn kialakult formák megnevezése a teljeség igénye nélkül az alábbiak: lankás oldalú medence, meredek oldalú

medence, csapásirányú hasadék. A fekün kialakult formák: madáritató, kürtő, akna, ujjbegy, túlfolyásos csatorna, fedő elvégződésénél kialakult csatorna. A lankás oldalú medence néhány cm-es mélységű és átmérőjű kör alaprajzú, lefolyástalan mélyedés, míg a meredek oldalú medence a fenti méreteknél akár nagyobb is lehet. Oldallejtői függőlegesek, aljzatán előbukkan a fekü. A csapásirányú hasadékok a lejtésre merőleges helyzetű néhány mm-es szélességű és több cm hosszúságú, függőleges oldalú mélyedések, amelyek a fekü felszínéig nyúlnak le. A madáritatók a fekü lankás oldalú, lefolyástalan mélyedései, míg az aknák függőleges oldalú formák, amelyek a gipsztáblát átharántolják. Az ujjbegyek lankásabb oldalú, néhány mm-es átmérőjű, nagy sűrűségben kifejlődött képződmények, míg a kürtők néhány mm-es átmérőjű, függőleges falú formák. A kürtők, akárcsak az ujjbegyek, szintén nagy sűrűségben fejlődnek ki. A túlfolyási csatornák a fekü madáritatóiból induló, hosszanti mederszerű formák. A fekü nagy sűrűségben kifejlődött formái (ujjbegyek, kürtők) a fekü nem pontszerű, folyamatos oldódása során képződnek. A fekü egy-egy magányos formája (madáritató, akna) pontszerű, lokális oldódás eredménye. A kísérleti modell fontosabb paraméterei, amelyeken a fentebb felsorolt formák létrejöttek az alábbiak:

- a gipszlap mérete: 45 cm x 30 cm x 3 cm;
- a gipszlap dőlése: 5°;
- a fedő vastagsága: 1 cm vagy 5 cm;
- a vízadagolás: maximum 100 dm³;
- a vízadagolás módja: felülről vagy oldalról, a feküre vagy a fedőre;
- a vízadagolás ideje: 5 munkanapon keresztül, naponta 8-10 óra időtartamban (5-5 dm³ mennyiségben).

Hipotézis

Korábbi laboratóriumi vizsgálataink során (VERESS et al. 2014) azt tapasztaltuk, hogy a fedő szemcseméretétől függ a fekün kialakult formakincs jellege (mérete és sűrűsége). Hipotézisünk szerint a fedő szemcsemérete kijelöli a vízátadás helyét, mértékét és elterjedését a feküre. Eddigi eredményeink a fenti modellel összhangban vannak. Így a finomszemcséjű fedő alatt a gipsz egy-egy helyen oldódott, ami lokális oldódásra és így lokális vízátadásra utal. Ugyanakkor a durva szemcséjű fedőnél a gipsz felszínének oldódása kiterjedt (folytonos oldódás) volt. Valószínűleg azért, mert egy-egy helyen annyi víz érkezhetett a fedőről a feküre, hogy annak felszínét az áramló víz elborította. Ez úgy lehetséges, hogy a különböző szemcseméretnél más és más a fedő és a fekü között a vízátadás. Kis szemcseméretnél a vízátadás a feküre pontszerű, lokális, míg nagy szemcseméretnél lepelvíz-

szerűen fejlődik ki a víz a fekün. Ezért különböző szemcséjű üledékeknek vizsgáltuk a vízemelését, és így azokban a vízmozgási módokat.

Módszer

A Perint patak (Szombathely) hordalékából származó mintát 105°C-on történt szárítás után szita sorozattal frakciókra bontottuk. A képzett és vizsgált frakciók mérete: <0,063 mm; 0,063-0,125 mm; 0,125-0,250 mm; 0,250-0,500 mm; 0,500-1,000 mm; 1,000-2,000 mm és 2,000-2,500 mm között változott. A felsorolt szemcseméretű üledékek közül a továbbiakban kicsi szemcseméretűnek tekintettük azt, ha a szemcseátmérő 0,250 mm-nél kisebb volt, közepesnek, ha 0,250-0,5 mm közé esett, és nagynak, ha 0,5 mm-nél nagyobb volt. A különböző szemcseméretű anyagok alábbi fizikai paramétereit vizsgáltuk: sűrűség (ρ), összhézagterfogat (V/V%), vízemelő képesség (cm), vízáteresztő képesség (100 cm/sec), vízejtő képesség (cm³) és vízmegtartó képesség (cm³). Új fogalomként használtuk a vízátelövő képességet. A sűrűség meghatározását piknométerrel tömeg és térfogat mérésére visszavezethető módszerrel végeztük (GYŐRI et al. 1976).

Az összhézagterfogat értéket a szóban forgó szemcseméret esetében a szemcseméret térfogati tömege (kg/dm³) és a frakcióra jellemző sűrűség (kg/dm³) alapján számítottuk (STEFANOVICS 1981).

$$\text{összes hézagterfogat} = 1 - \frac{\text{térfogati tömeg}}{\text{sűrűség}} \times 100$$

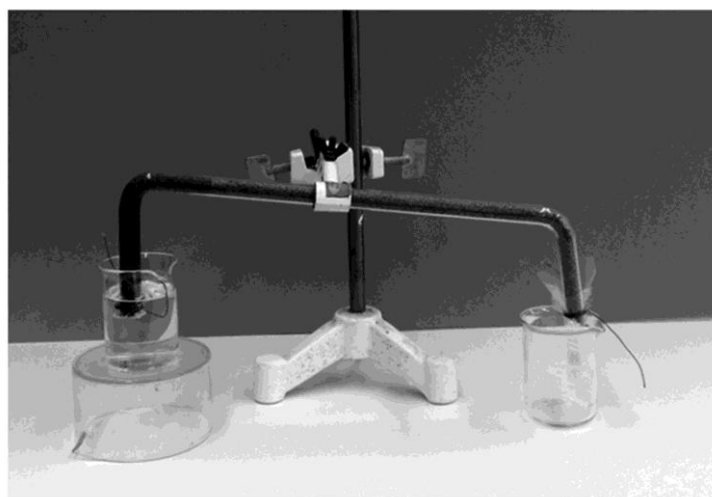
Vízemelő képességet mértünk a fentebb felsorolt szemcseméretű üledékeken (1. kép). A vízemelés értékét cm-ben mértük egy, öt és huszonnégy óra után, majd mértük azt az időt, amely után már további vízemelés nem történt. Ezt a magasságot (cm-ben) teljes vízemelő képességnek nevezük. A vízáteresztő képességen azt az időt értjük (secundumban), amely folyamatos vízadagolás mellett bekövetkezik 1 cm² keresztmetszetű csőben, 100 mm rétegvastagságú, különböző szemcseméretű frakciónál.

Az adott szemcseméretű frakció vízejtő- és vízmegtartó képességét az üvegcsőben történt folyamatos vízadagolás után határoztuk meg. (A cső a magassága 100 cm, belső átmérője 1,1 cm.) A vízadagolás mindaddig történt a csőbe (felülről), amíg alul a csőből vízkilépés nem történt. Ekkor megállapítottuk a beadagolt víz térfogatát és leolvastuk azt az időt, ami alatt ez a jelenség bekövetkezett. Ezt tekintjük a vízátadás idejének. Ezt követően 10 cm³ vizet adagoltunk, hogy a vízáteresztés folyamatos legyen, majd a vízadagolást megszüntettük. Szedőedénybe gyűjtöttük az ezután lecesepegő

víz mennyiségét. A leejtett és a felvitt víz mennyiségéből számítható az adott szemcseméretű hordalék által megtartott víz.

Az adott szemcseméretű frakciók (minták) vízemelő-, vízáteresztő-, vízejtő- és vízmegtartó képessége felvetette a kérdést: képes-e a hordalék-minta adott szemcsefrakciója egyik edényből a másik edénybe átemelni a vizet. Ennek vizsgálatát az 1. képen bemutatott üvegcsővel végeztük. Az „n” betűre emlékeztető cső keresztmetszete 1 cm^2 , a vízemelő szár 5 és 10 cm, és az oldalirányú áramlást biztosító rész 30 cm-es.

A próba során a csöveket egyféle szemcsefrakcióval feltöltöttük, tömörítettük, majd a csővégeket celofánnal lezártuk. A felszálló ágat vízzel telt edénybe (főzőpohárba) merítettük, és a leejtő szárhoz szedőedényt helyeztünk. A jelenség lefolyására 24 órát vártunk. Ez idő alatt a szedőedényben vagy megjelent a víz, vagy nem (1. kép).



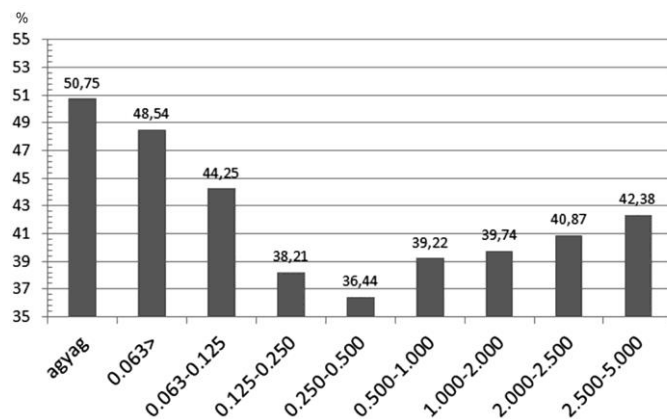
1. kép: A vízátelés képességét vizsgáló kísérleti berendezés
Picture 1: Study of water overlifting ability

Eredmények

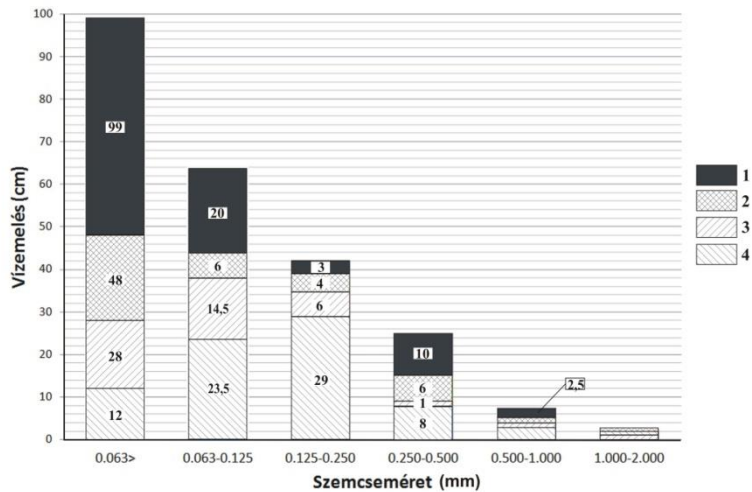
Vízmozgás a fedőben

A fedőben a víz megjelenése (tehát a vízemelés) közvetlenül érzékelhető. Kicsi szemcseátmérőjű fedőnél az anyag teljes egészében átnedvesedik a vízadagolás során. Közepes szemcseméretű üledéknél csak egy vékony sávban, a közvetlenül a fekü felett vált nedvessé. Végül nagy szemcseméretnél a fedő teljesen száraz marad, jelezve hogy a beadagolt víz a fekü felszínén mozog.

Közismert tény, hogy az összhézagterfogat az aggregát és a kapilláris hézagterfogatból adódik össze (STEFANOVICS 1981). Mint azt az 1. ábra mutatja, az összhézagterfogat a 0,250-0,500 mm szemcsefrakciójú üledéknél a legalacsonyabb. Az összhézagterfogat értéke a szemcsék méretének növekedésével is és méretük csökkenésével is nő. E ténynek az a magyarázata, hogy a szemcseméret növekedése az aggregáttérfogatának növekedésével jár, míg a szemcseméret csökkenése a kapilláris hézagterfogat növekedését segíti elő (2. ábra).

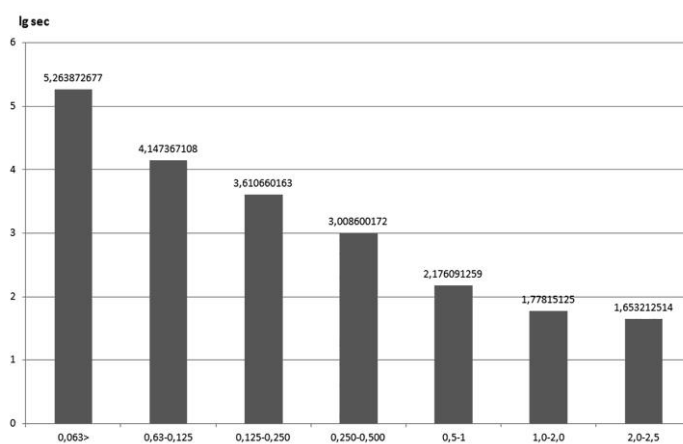


1. ábra: Összes hézagterfogat a szemcseméret függvényében
Fig. 1: Total void volume in the function of grain size



2. ábra: A vízelőképeség az idő- és a szemcseméret függvényében
Jelmagyarázat: 1. teljes vízelelés, 2. 24 órás vízelelés, 3. 5 órás vízelelés, 4. 1 órás vízelelés
Fig. 2: Water lifting ability in the function of time and grain size
Legend: 1. total water lifting, 2. 24-hour water lifting, 3. 5-hour water lifting, 4. one-hour water lifting

Az eltérő szemcseméret eltérő vízemelő képességgel párosul. Az üledék szemcseméretének csökkenésével a vízemelő képesség rohamosan nő, bármelyik (1, 5, 24 óra) időtartományra is vizsgáljuk. Feltűnő mérési adat, hogy a 0,063 mm-nél kisebb méretű szemcsék teljes vízemelő képessége majdnem 100%-os (99 cm a 100 cm-es oszlopon). 0,125-0,250 mm-es szemcseátmérőnél a vízemelő képesség 40 %-os, viszont az 1 órás vízemelési időtartamnál értéke itt a legnagyobb (29 %). Ezért a hajszálcsovességből származó vízemelés igen hatékony. Ez a képesség a szemcse méretének növekedésével megszűnik.



3. ábra: A vízáteresztés ideje (secundumban) a szemcseméret függvényében
Fig. 3: time of water lifting (sec) in the function of grain size

A különböző szemcseméretű frakciók vízáteresztő képességének ideje (sec) tág határok között változik (3. ábra). A 2,000-2,500 mm közötti szemcseméreteknél néhány secundum, míg a 0,063 mm-nél kisebb szemcseméreteknél a víz átjutásának ideje néhány nap.

Minél nagyobb a kapillaris térfogat (az összhézagterfogat része), annál hosszabb idő alatt megy végbe a víz áteresztése. A vízáteresztő-képesség azért kicsi a 0,063 mm-nél kisebb méretű szemcseméretnél, mert az már majdnem vízzáróként viselkedik. A felülről lefelé áramló víz a kapillarisokban nedvesíti a szilárd felületet. A folyadékfázis és a szilárdfázis közötti kölcsönhatás erősebb lesz a folyadékfázisban kialakult belső kölcsönhatásnál, így a folyadékfázis lefelé történő áramlását az előző kölcsönhatás (a gravitációs hatás) csökkenti (STEFANOVICS 1981).

A folyadékfázis és a szilárdfázis kölcsönhatása a kapillaris térfogat csökkenésével csökken, majd megszűnik. A gravitációs erő hatására az aggregát térfogatban a folyadékfázis mozgása felgyorsul, csak a súrlódás fékezi.

Jól mutatja ezt a különbséget az 1,000-2,000 mm-es és a 0,125-0,250 mm-es szemcséjű frakciók átvezetési idejében mutatkozó különbség (I. táblázat). A nagyobb méret esetén ennek értéke 1 min 25 sec, míg a kisebb szemcséknél a vízáteresztő képesség ideje 1 h 8 min 30 sec.

I. táblázat
Table I.

Kétféle szemcseméretű üledék vízleadó képessége
Water yielding capacity of the sediment with two different grain sizes

szemcseméret [mm]	1,0-2,0	0,125-0,250
eltelt idő a víz átéréséig	1 min 25 sec	1 h 8 min 30 sec
eltelt idő 10 ml leadásáig	2 min 01 sec	29 min 30 sec
felvett víz a víz átéréséig	33 ml	42 ml
felvett víz a 10 ml víz leadásáig	44 ml	53 ml
leadott víz az adagolás megszüntetése után	34 ml	26 ml

Vizsgálataink szempontjából fontos adat az első csepp megjelenéséig a felvett víz mennyisége (cm³-ben) és a folytonos adagolás megszűnését követő leadott víz mennyisége közötti különbség, mely az 1,000-2,000 mm szemcseméretnél 34 cm³, a kisebb méretű (0,125-0,250 mm) frakciónál csak 26 cm³ volt (I. táblázat). Ezen adatokból következik, hogy a kis szemcseméretű frakció tekintélyes mennyiségű vizet képes visszatartani, azaz jobb a vízmegtartó képessége (I. táblázat).

Az általunk elkészített kísérleti eszközben (I. kép) a felszálló ágon a vízemelő képesség, a leszálló ágon a vízáteresztő képesség, a kettőt összekötő csőben oldalirányú áramlás zajlik. A kísérlet eredménye megadja, mely szemcseméret esetén következik be a vízátelés (10 cm-es nagyságú vízemelés mellett). A II. táblázatban feltüntetett adatok mutatják, hogy a vízátelés a 0,500 mm-nél kisebb szemcseátmérők esetén végbemegy. A 0,500-1,000 mm szemcseátmérőjű frakcióban azonban a vízátelés már csak olyan csőben történik, amely 5 cm-es vízemelést tesz lehetővé.

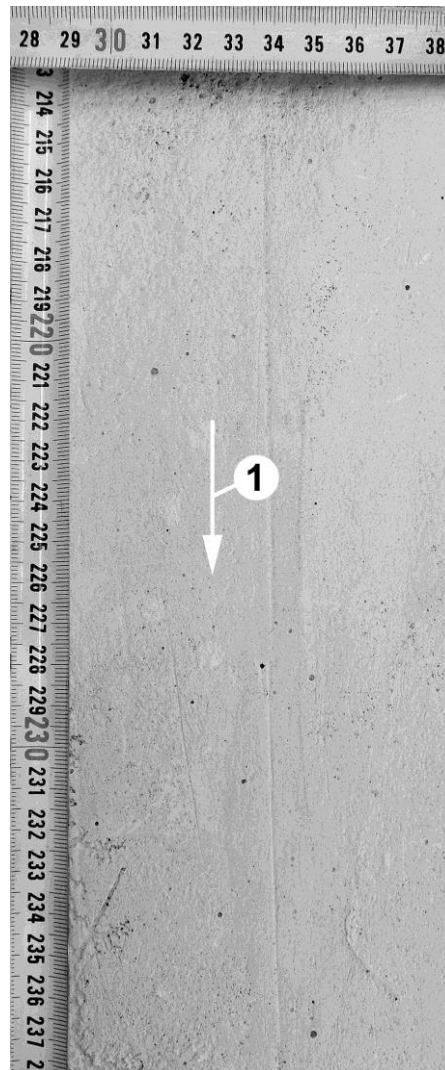
II. táblázat
Table II.

A víz átelőképeség 10 és 5 cm szármagasságú csövekben, a szemcseméret függvényében
Water overlifting ability in glass tubes of a stem height of 10 and 5 cm in the function of grain size

szemcseméret [mm]	<0.063	0.063-0.125	0.125-0.250	0.250-0.500	0.500-1.000		1.000-2.000
szár magassága [cm]	10	10	10	10	10	5	5
vízátelés	igen	igen	igen	igen	nem	igen	nem

A fedő hatása a fekül történő oldódásra

Oldási vizsgálatunk eredményei arra az esetre vonatkoznak, amikor a víz bevezetése (a „Bevezetőben” feltüntetett paraméterek megtartása mellett) oldalról és a fekülre történt.



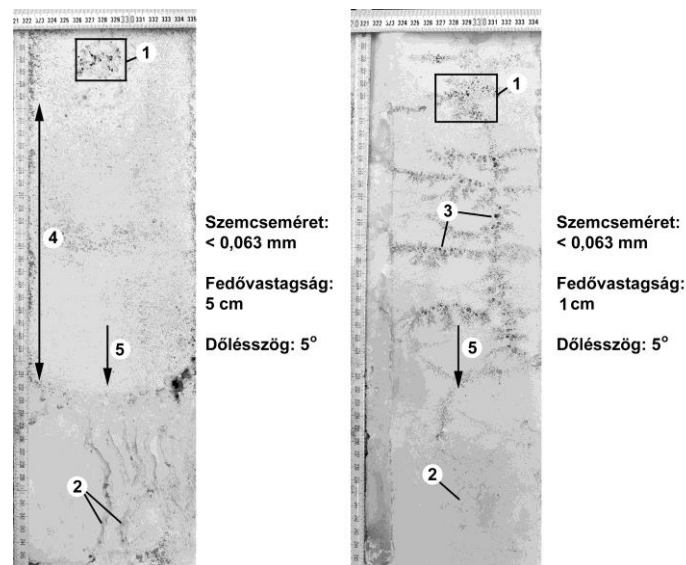
2. kép: Oldásmentes zóna kis szemcseméretű fedő alatt

Jelmagyarázat: 1. dőlés iránya

Picture 2: Zone without dissolution under cover with small grain size

Legend: 1. dip direction

Kis szemcseméret esetén a kapilláris hézagterfogaz az uralkodó. Ennek következménye, hogy a fedő a beérkező vizet felszívja a nagy vízemelő képessége miatt. A kapillárisokban a víz nem követi a közlekedő edényekre jellemző törvényeket, a nedvesítő folyadék a fedő kapillárisaiban felemelkedik, oldalirányú áramlással mozog, tehát a fedőben feltehetően víztest alakul ki. A betáplált víz kevésbé érintkezik a fekével, az oldás csak lokális lesz (2. kép). (A fedő vízmegtartó képessége nem, vagy csak kismértékben engedi a vizet a fekére). A feké elvégződésénél leejti a vizet, miután a fedő nagy vízemelő képessége miatt számottevő mennyiségű víz érkezik oda. Így a folyamatos utánpótlás miatt a víz kisajtolódik az üledékből. A víz az oldó hatását a betáplálás helyénél fejt ki, ahol a vízbepótlás miatt relatív vízbőség alakul ki, illetve a vízadagolás szünetében a fedő vize bepótlás helye felé visszaáramlik. Oldási formák tehát ezeken a helyeken képződnek. A víz belépésénél a fekűn kialakuló lokális oldódás formák a madáritatók; a fedő elvégződésénél pedig fedő menti csatornák. A két forma között jól megfigyelhető a formamentes (tehát oldásmentes) zóna (3. kép).



3. kép: Lokális formák a fekéen

Jelmagyarázat: 1. madáritató, 2. fedőmenti csatornák, 3. kúrtó, 4. oldásmentes zóna, 5. dőlés iránya

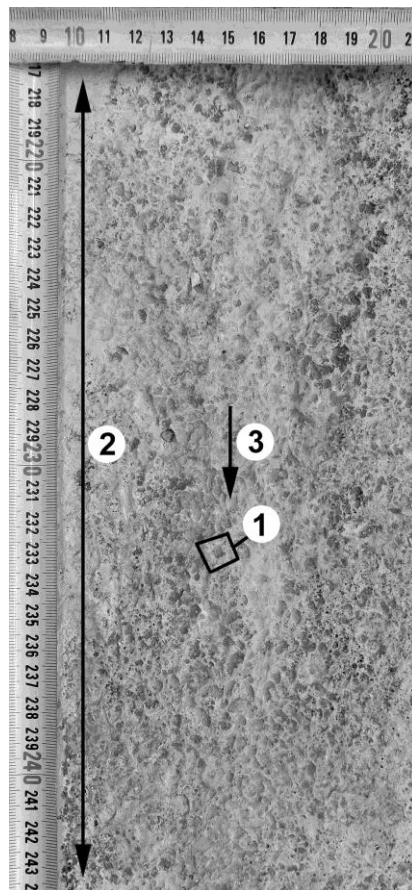
Picture 3: Local features on the bedrock

Legend: 1. kamenitza, 2. channel at the end of cover, 3. pit, 4. zone without dissolution, 5. dip direction

A vízadagolás szünetében a víz oldalirányú áramlása valamennyi ideig folytatódik. A kapilláris víz vesztese a fedő zsugorodásával jár, ezért a fedőben csapásirányú repedések képződnek. Az így képződő térbe a vízadagolás folytatásakor (akárcsak a fedő elvégződésénél) vízvezetés következik be.

A fedő hasadékaiknak vízzel kitöltődése miatt a fekűn lokális oldódás mehet végbe (3. kép).

A nagy szemcseméretű fedőkben (0,500-1,000 mm és 1,000-2,000 mm) már nincs megfelelő vízemelő-képesség, mert nagy az aggregát hézag-térfogat-aránya, ezért a vízáteresztő képesség nagy. Ennek következménye, hogy a víz a betáplálás helyén szétterül, majd a lejtés irányába a fekű felszínén „lefolyik”. A betáplálás helyén és a fedőből való kilépést követő területen lokális oldás alakul ki, amelynek formái a madáritató és a fedőmenti csatorna. A lokális oldódás a vízbepótlásnál az ott kialakuló relatív vízbőség miatt jön létre. A fekű felszínén mozgó víz egységes lepelvizet alkot, miáltal a gipszen ujjbegyeket eredményező folytonos oldódás is zajlik (4, 5. képek).

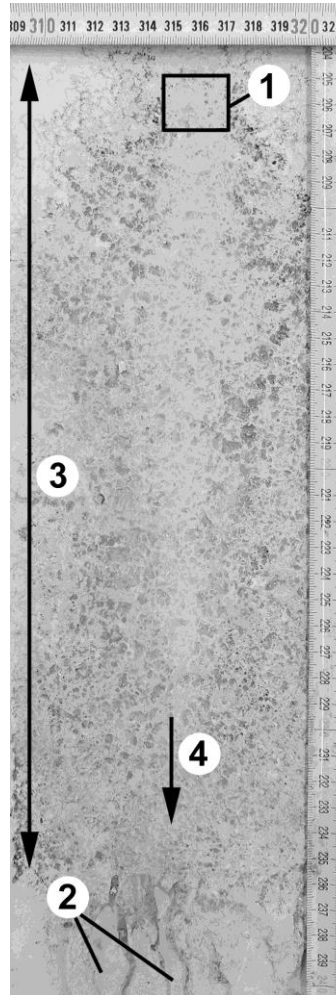


4. kép: Folytonos oldódásra utaló formaképződés a fekűn nagy szemcseméretű fedő alatt

Jelmagyarázat: 1. ujjbegy, 2. ujjbegyes zóna, 3. dőlés iránya

Picture 4. Feature development referring to continuous dissolution on the bedrock under cover with large grain size

Legend: 1. finger tip, 2. zone with finger tips, 3. dip direction



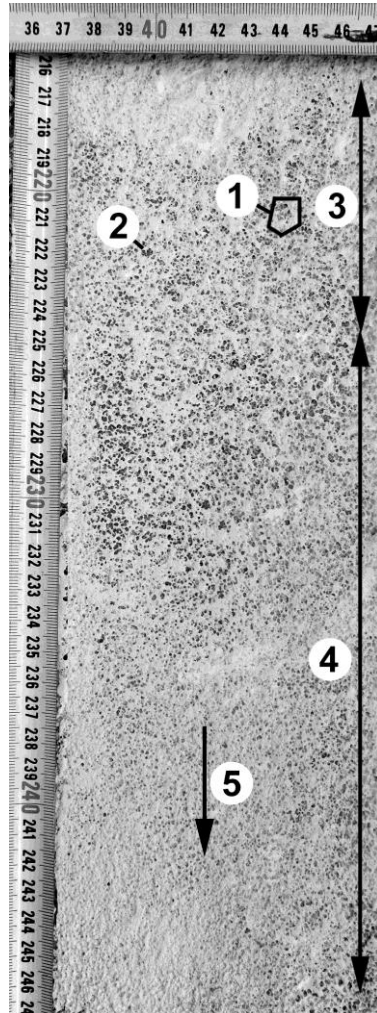
Szemcseméret:
1,00 - 2,00 mm

Fedővastagság:
5 cm

Dőlésszög: 5°

5. kép: Folytonos és lokális oldódásra utaló formák a nagy szemcseméretű fedő alatt
 Jelmagyarázat: 1. madáritató, 2. fedőmenti csatorna, 3. ujjbegyes zóna, 4. dőlésirány
 Picture 5. Features referring to continuous and local dissolution under cover with large grain size
 Legend: 1. kamenitza, 2. channel at the end of cover, 3. zone with finger tips, 4. dip direction

A közepes szemcseméretű frakció magában hordozza az előző két szemcsefrakciójú üledék mindkét tulajdonságát. Egyrészt kisebb mértékben működik a vízemelő-képesség, így kisebb mértékben van lehetőség a fedőrétegben oldalirányú áramlásra. Másrészt a nagyobb vízáteresztő, vízajtó képesség lehetővé teszi a folyadék fázisnak és a fekének a folytonos kapcsolatát. Így egyaránt megjelennek a folytonos és a lokális oldódás során létrejövő formák (6. kép). Ennek az a magyarázata, hogy a beadagolt víz részben a fekére jut, részben a fedőben szivárog.



6. kép: Folytonos oldódásra utaló formák a fekün közepes szemcseméretű fedő alatt
 Jelmagyarázat: 1. ujjbegy, 2. kürtő, 3. nagyméretű ujjbegyek zónája, 4. kisméretű ujjbegyek zónája, 5. dőlésirány
 Picture 6. Features referring to continuous and local dissolution under cover with medium grain size
 Legend: 1. finger tip, 2. pit, 3. zone with large finger tips, 4. zone with small finger tips, 5. dip direction

Következtetés

A különböző szemcseméretű fedőknek az aggregát- és kapillaris térfogataik aránya eltérő. Ha a kapillaris térfogat nagyobb, mint az aggregát térfogat, a fedő vízemelő képessége nagy, a vízmegtartó képessége jó, a vízáteresztő képessége kicsi. Ezért kis szemcseméretű üledék esetén a fekre oldalról bevezetett víz felemelkedik, majd a felvett víz a lejtés irányába elvezetődik, és csak a fedő elvégződésénél kerül vissza a fekre. A fekével a mozgó víz

kevésbé érintkezik, és így oldás is alig, vagy egyáltalán nem történik. A bevezetett víz oldó hatását csak lokálisan, a bevezetés helyén, valamint a fedő végződésénél feje ki. A fedő teljes átnedvesedése arra utal, hogy a vízkitöltés a fedő teljes vastagságában kifejlődik, kiterjed. A vízadagolás megszakítása a fedőben csapásirányú hasadékképződést idéz elő. E jelenség oka a kapilláris vízvesztés miatt bekövetkező fedőzsugorodás, ami a szemcsék tömörödésével jár. A kapilláris térfogatba foglalt víz ilyenkor a hézagoknál kilép, és a fekére jut, ahol lokális oldási forma képződik.

A nagy szemcseméretű fedőben az aggregát térfogat az uralkodó, a kapilláris térfogat kicsi, így a hajszálcsővesség vízemelő képessége minimális. A gravitációsan mozgó víz a fekére szétterül. Lepelvíz alakul ki, amely a fedő réteg alján, a szemcsék között, lejtés irányába lassan szivárog. A fedőben víztest nem alakul ki. A beadagolt víz belépési pontjánál és a fedőréteg végénél lokális oldás is történik, de a fedő alatt folytonos oldás is lejátszódik.

Ezért a fekére oldási formáinak minősége (alakja, formája) és mennyisége (lokális, vagy folytonos megjelenés) függ a fedő szemcseméretétől. Emiatt a fedett karsztokon a formaképződés függ a fedő tulajdonságaitól. Kis szemcseméretű fedő alatt a nagy vízemelés miatt nagyobb az esélye a lokális oldódásnak és így a kisebb formásűrűségnek. Ilyen esetben az oldás, és így a formaképződés kevés helyen megy végbe, ami nagyobb méretű formák kialakulásához vezet. A lokális oldódás során (durvaszemcsés fedőn) aknáknak is kialakulhatnak a vízbeszivárgás helyénél. Az aknáktól távolabb a fekére (a kialakuló lepelvíz hatására) kiterjedt oldás megy végbe, ami karrosodást és így karros formák (főleg hasadékkarrok) kialakulását eredményezi. A fekére létrejött aknáknak felett a fedőben utánsüllyedésszerű, vagy átöröklődésszerű töbrök alakulhatnak ki.

IRODALOM

DRUMM, E. C. – KANE, W. F. – YOON, C. J. (1990): Application of limit plasticity of the stability of sinkholes – *Engineering Geology* 29, pp. 213-225. [http://dx.doi.org/10.1016/0013-7952\(90\)90051-2](http://dx.doi.org/10.1016/0013-7952(90)90051-2)

JENNINGS, J. N. (1985): *Karst Geomorphology* – Basil Blackwell, New York, 293. p.

- ERDEY L.* (1965): Bevezetés az analitikai kémiába, térfogatos analízis – Tankönyvkiadó, Budapest 307 p.
- GYŐRI D. – PALKOVICS M. – CSEH E-né* (1976): Talajtani vizsgálatok– (Kézirat), Keszthely, p. 20-29.
- STEFANOVICS P.* (1981): Talajtan – Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, pp. 120-158.
- SWEETING, M. M.* (1973). Karst Landforms – Columbia University Press, New York, 367 p.
- THARP, T. M.* (1999): Mechanics of upward propagation of cover-collapse sinkholes. – *Engineering Geology*, 52, pp. 23-33.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0013-7952\(98\)00051-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0013-7952(98)00051-9)
- VERESS M.* (2000): Covered karst evolution Northern Bakony mountains, W-Hungary – *A Bakony Természettud. Kut. Eredményei*, 23, Bakonyi Természettudományi Múzeum, Zirc, 167 p.
- VERESS M. – GÁRDONYI I. – DEÁK GY.* (2014): Fedett karsztosodás vizsgálata fedővel borított gipsztáblán – *Karsztfejlődés XIX.*, Szombathely, pp. 159-171.
- WALTHAM, A. C. – FOOKES, P. G.* (2003): Engineering classification of karst ground conditions – *Quarterly Journal Engineering Geology Hydrogeology*, 36. pp. 101-118. <http://dx.doi.org/10.1144/1470-9236/2002-33>
- WALTHAM, T. – BELL, F. – CULSHAW, M.* (2005): Sinkholes and Subsidence – Springer Berlin Heidelberg, 382 p.
- WILLIAMS, P. W.* (2004): Dolines – In: J. Gunn (edit): *Encyclopedia of Caves and Karst Science*, Fitzroy Dearborn pp. 304-310, New York, London

KARSZTFEJLŐDÉS XX.

Szombathely, 2015. pp. 231-250.

DOI: 10.17701/15.231-250

IRODALOM

BERGADO, D.T. – SELVANAYAGAM, A.N. (1987): Pile foundation problems in Kuala Lumpur Limestone, Malaysia – Quarterly Journal Engineering Geology 20 pp.159–175.

<http://dx.doi.org/10.1144/GSL.QJEG.1987.020.02.06>

BÖGLI A. (1976): Die wichtigsten Karrenformen der Kalkalpen – In: Karst Processes and Relevant Landforms. Department of Geography, Philosophical Faculty, Ljubljana, pp. 141–149.

CURTIS, L.F. – COURTNEY, F.M. – TRUDGILL, S.T. (1976): Soils in the British Isles – Longman, London, 364 p.

CVIJIČ, J. (1924): The evolution of lapiés a study in karst physiography, – Geogr. Rev. XIV, pp. 26-49.

DAY, M. – WALTHAM, T. (2009): The pinnacle karrenfields of Mulu. – In: Ginés, Á., Knez, M., Slabe, T., Dreybrodt, W. (eds), Karst Rock Features. Karren Sculpturing Zalogba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna-Ljubljana. Carsologica 9: pp. 423-432.

DEÁK GY. – SAMU SZ. – PÉNTEK K. – MITRE Z. – VERESS M. (2012): A vízáramlási modellkísérletek vályúrendszereken. – Karsztfelődés XVII.évf.pp.155-163.

DEÁK GY. – SAMU SZ. – VERESS M. (2013): Bevonatképződés vizsgálata szuszpenziós rendszerekből modellkísérletekkel. – Karsztfelődés XVIII.évf.pp.49-63.

DZULYNSKI, S. – GIL, E. – RUDNICKI J. (1988): Experiments on

kluftkarren and related lapir forms – Zeitschrift für Geomorphologie 32(1) pp.1–16.

FABRE, G. – NICOD, J. (1982): Lapiés, modalités et rôle de la corrosion, crypto-karstique – Phénomèn karstique III, Mémoires et documents de géographie, 3 pp.115–131.

FORD, D.C. – WILLIAMS, P.W. (1989): Karst Geomorphology and Hydrology - Unwin Hyman, London, 601 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-7778-8>

GLEW, J.R. – FORD, D.C. (1980): Simulation study of the development of rillenkarren – Earth Surface Processes 5 pp.25-36.
<http://dx.doi.org/10.1002/esp.3760050104>

GOLDIE, H. S. (2009): Case studies of grikes in the british isles – In: A. Ginés, M. Knez, T. Slabe, W. Dreybrodt (eds.): Karst Rock Feaures. Karren Sculpturing Zalozba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postonja. Carsologica, 9 pp. 275-290.

HOWARD, A.D. (1963): The development of karst features – Bull. Nat. Spel. Soc. 25 pp.45–65.

JENNINGS, J.N. (1985): Karst Geomorphology – Basil Blackwell, New York, 293 p.

PERNA, G. – SAURO, U. (1978): Atlante delle microforme di dissoluzione carsica superficiale del Trentino e del Vento – Memorie del Museo Tridentino di Scienze Naturali 22, Trento, 176 p.

QUINIF, Y. (1973): Contribution a l'étude morphologique des coupoles – Annales de spéléologie 28(4) pp. 565-573.

ROSE, L. – VINCENT, P. (1983): Some aspects of the morphometry of grikes a mixture modell approach, North Lancashire, England – In: Patterson, K., Sweeting, M.M. (szerk.): New directions in karst, Proceedings of the Anglo-French Karst Symposium, Geo Books, Norwich. pp. 497-515.

SLABE, T. (1995): Cave Rocky Relief – Znanstvenaraziskovalni Center Sazu, Ljubljana, 128 p.

SONG, L. – LIANG, F. (2009): Two important evolution models of Lunan-shilin karst – In: Ginés, A., Knez, M., Slabe, T., Dreybrodt, W. (eds.): Karst Rock Features. Karren Sculpturing Zalogba ZRC. Institut za raziskovanje krása ZRC SAZU, Postojna-Ljubljana. Carsologica, 9, pp. 453-459.

TRUDGILL, S.T. (1985): Limestone geomorphology – Longman, New York, 196 p.

VERESS M. (2000): Covered karst evolution Northern Bakony mountains, W-Hungary – A Bakony Természettud. Kut. Eredményei 23, Bakonyi Természettudományi Múzeum, Zirc, 167 p.

VERESS M. (2010): Karst Environments. Karren Formation in High Mountains - Springer, Dordrecht – Heidelberg – London – New York, 230 p.
<http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-3550-9>

VERESS M. – LÓCZY D. – ZENTAI Z. – TÓTH G. – SCHLÄFFER R. (2008): The origin of the Bemaraha tsingy (Madagascar) – International Journal of Speleology 37(2) pp.131–142. <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.37.2.6>

VERESS M. – PIDL K. – MANTLER M. (1998): A gipsz karsztosodásának modellezése laboratóriumi körülmények között – Berzsényi Dániel Tanárképző Főiskola Tudományos Közleményei XI. Természettudományok 6 pp.147-166.

VERESS M. – TÓTH G. – ZENTAI Z. – KOVÁCS GY. (2006): A magashegységi karrosodás mértékének és minőségének alakulása a különböző növényövekben – Karszt és Barlang pp. 39-48.

WALTHAM, A.C. (1997): Pinnacle karst of Gunung Api, Mulu Sarawak – In: Song, L., Waltham, A.C., Cao, N., Wang, F. (eds.), Stone Forest: A Treasure of Natural Heritage, Proceedings of the International Symposium for Lunan Shilip to Apply for World Natural Heritage Status, China Environmental Science Press, Beijing pp. 52-55.

WHITE, W.B. (1988): *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains* – Oxford University Press, New York – Oxford, 464 p.

WILLIAMS, P.W. (2009): Arête and pinnacle karst of Mount Kaijende – In: Ginés, Á., Knez, M., Slabe, T., Dreybrodt, W. (eds), *Karst Rock Features. Karren Sculpturing Zalogba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna-Ljubljana. Carsologica* 9 pp. 433-437.

ZÁMBÓ L. (1970): A vörösagyagok és a felszíni karsztosodás kapcsolata az Aggteleki-karszt délnyugati részén. (The relationship between red clays and surface karstification at the southwestern part of Aggtelek karst). – *Földrajzi Közlemények* 94(4) pp.281–293.

ZSENI A. (2009): Subsoil shaping – In: Ginés, Á., Knez, M., Slabe, T., Dreybrodt, W. (eds), *Karst Rock Features. Karren Sculpturing Zalogba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna-Ljubljana. Carsologica* 9, pp. 103–121.

