

A TELÍTŐDÉSI SZINT HELYZETÉNEK ÉS A KARSZTOS FELSZÍN KAPCSOLATÁNAK VIZSGÁLATA MODELLKÍSÉRLETTEL

EXAMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE DEPTH OF SATURATED WATER LEVEL AND THE KARSTIC SURFACE DEVELOPMENT BY MODEL EXPERIMENTS

DEÁK GYÖRGY¹ - VETÉSI-FOITH SZILÁRD² - PÉNTEK KÁLMÁN³

¹Nyugalmazott főiskolai docens

²PTE-TTK Földtudományok Doktori Iskola, 7624 Pécs, Ifjúság útja 6.

³ELTE-SEK Matematikai Tanszék

Abstract: Material loss (m/m%) due to the diffusion of distilled water (50 and 100 ml) through various sizes (10 cm to 40 cm) of decomposed debris zone models built from known sizes (1 x 1 x 1 cm) of gypsum cubes was investigated. Gypsum-saturated water was used as control. The amount of solvents and diffusion rates were identical in the experiments. It could be determined that material loss of the debris zone decreased exponentially with the depth and was proportional with the amount of diffused distilled water. It was also found, as expected, that the saturated solvent would not cause any loss of material throughout the debris zone, regardless of the amount of solvent. Based on the measurements and the calculations it was possible to determine the depth of the debris zone from which, with dissolution, no material loss could be derived, ie the depth of saturated water level could be determined. The experiments proved that the depth of saturated water level has a major influence on the development of the surface and its destruction.

Keywords: surface development, mathematical model, saturation curve, solution, epikarst, mass-loss

Bevezetés

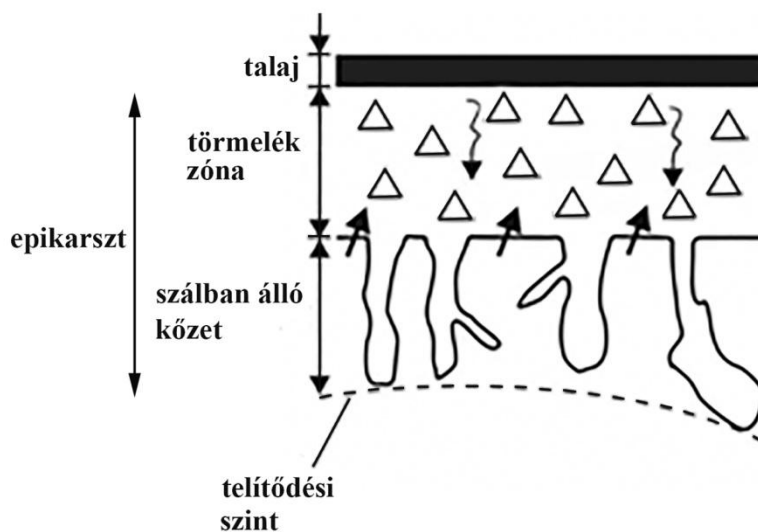
E tanulmány célja, hogy a karsztos felszín pusztulását leíró modell működéséhez (VERESS *et. al* 1990, 1996), materialis modell kísérlettel újabb adatokat szolgáltatassunk. A felszín lepusztulási modellben Veress három zónát különít el. Az első zóna (I.) a talaj, a második (II.) az oldás során képződött törmelékzóna, a harmadik (III.) a törésekkel átjárt karsztos nem feldarabolódott feké. A modell fejlesztett változata a csupasz (kopár) karsztra is érvényes. A modell szerint a szálban álló kőzet, az oldás során törmelék darabokra különül el. Így a törmelékzóna vastagsága két eseménytől függ. Az egyik, hogy milyen gyorsan oldódik le a törmelékzóna, azaz emésztődik fel. A másik, hogy a feké felől a törmelékpótlás, milyen sebességgel megy végbe (VERESS *et. al.* 1990,1996). A modell matematikai leírását Péntek és

Szunyogh végezte el. A matematikai modell alapján számítható a karsztos felszín süllyedése (PÉNTEK *et. al* 2002, SZUNYOGH 1994).

Módszer

A karsztos felszín pusztulásának tanulmányozására modelljeinket gipszből építettük fel (DEÁK *et. al.* 2017). Bár a gipszkarszton nem fejlődik ki, vagy igen gyengén fejlett az epikarszt (WAELE *et. al.* 2017), valószínűleg azért mert a gipsz intenzívebben oldódik, és így az epikarszt a folyamatos oldódás miatt megsemmisül. A modell kísérletünkben az epikarsztot és annak törmelékzónáját gipszkockákból építettük, az epikarszt szálban álló kőzetét pedig gipszkorong képezte. A mesterségesen megalkotott gipsz epikarszt, a gipsz intenzív oldódása miatt, lehetővé tett a karsztfelszín pusztulásának tanulmányozását, reálisan kivitelezhető időkeretben.

Az elvégzett kísérletek elve

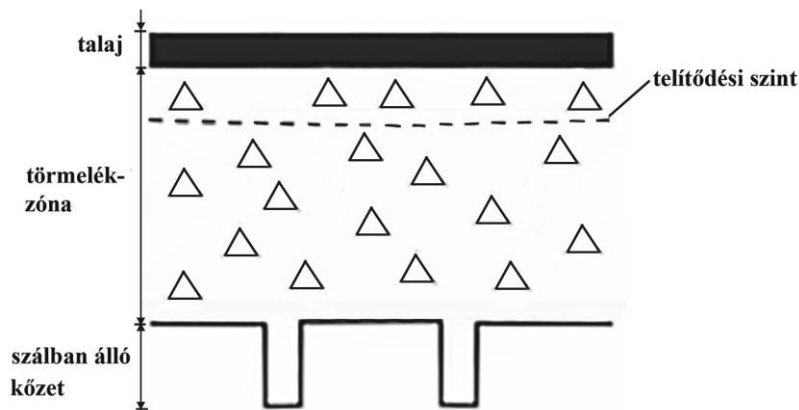


1. ábra A modell felépítése, ha a telítődésszint a szálban álló kőzet felszíne alatt van (Deák *et al.* 2017 nyomán).
Fig. 1.: Construction of the model, in case of the saturation curve is located under the bedrock's surface (after Deák *et al.* 2017)

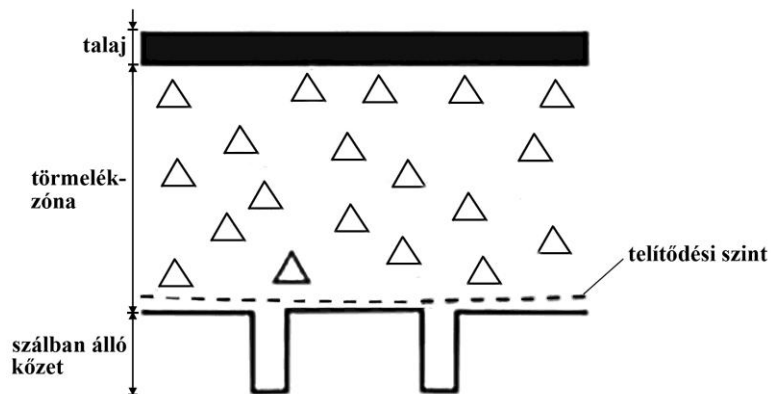
Öt féle kísérletet hoztunk létre és működtettünk. Az 1. és 2. kísérletet úgy építettük fel, hogy a kialakuló telítődési szint mélyen a szálban álló kőzet felszíne alatt legyen (1. ábra). A vizsgálat tárgya ekkor az volt, hogy a törmelékzónát és a szálban álló kőzetet mintázó modell tömege hogyan csök-

ken különböző mennyiségű csapadékokat szimuláló desztilláltvíz hatására. Ehhez 1 cm^3 nagyságú gipszkockákból 10 cm-es vastagságú törmelékzónát hoztunk létre, amely alá 2 cm vastag, 6 cm átmérőjű gipszből készült korongot helyeztünk. Az 1. kísérletben 100 dm^3 , a 2. kísérletben 50 dm^3 desztilláltvizet szivárogtattunk át azonos sebességgel (I. táblázat). Az oldószert mennyiségének különbsége választ ad majd arra, hogy annak mennyisége és így a csapadék mennyisége hogyan befolyásolja az oldódás során bekövetkező tömegvesztést.

A 3. és 4. kísérletet úgy alakítottuk ki, hogy a telítődési szint a törmelékzónában húzódjon (2. ábra).



2. ábra. A modell felépítése, ha a telítődési szint a törmelékzónában van.
Fig. 2.: The construction of the model in case of the saturation curve is located in the debris zone



3. ábra. A modell felépítése, ha a telítődési szint szálban álló kőzetet mintázó gipszkorong felületén vagy annak közelében van (Deák et al. 2017 nyomán).
Fig. 3.: The construction of the model in case of the saturation curve is located on the gypsum puck's (what represents the bedrock) surface or near of it (after Deák et al. 2017)

A 3. kísérletben 100 dm³, a 4. kísérletben 50 dm³ telített oldatot szivárogtattunk át a modell törmelék zónáján. Az átszivárogtatás ugyanolyan sebességgel történt, mint az 1. és 2. kísérlet esetében (*I. táblázat*). A kísérlet során mértük, hogy volt-e a modell anyagában tömegveszteség. A kísérlet elvégzése után (1-4. kísérletek) felvetődött, hogy vizsgáljuk meg azon esetet, mikor a telítődési szint a törmelékzóna és a szálban álló közet határában van, vagy annak közelében (*3. ábra*). Ennek vizsgálatára hoztuk létre az 5. kísérletet.

Nehézséget jelentett, hogy milyen törmelékzóna vastagságnál érkezik a víz telítetten a szálban álló közetet mintázó gipszkorong felületére. Ennek becslésére lehetőséget adott az 1. és 2. kísérlet eredményeinek értékelése. A függvény ismert tartományából extrapoláltuk az ismeretlen szakaszt. Ebből becsültük a telítődési szint mélységet. Telítődési szintnek tekintettük azt a mélységi pontot, ahol a tömegveszteség arra a mértékre hasonlított a mélység függvényében, amelyet a telített oldattal mértünk a 3. és 4. kísérletben. A telítődési szint mélysége a számításunk szerint 27 cm-nél volt.

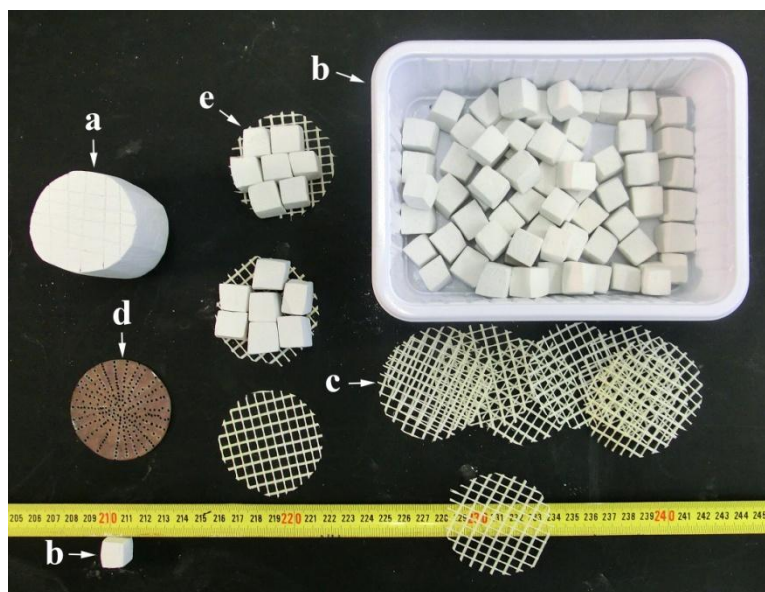
I. táblázat: a kísérletek jellemző adatai
Table I. Parameters of the experiments

| kísérlet száma | telítődési szint helyzete | vízmenyiség |
|----------------|--|---------------------|
| 1 | a szálban álló közetben | 100 dm ³ |
| 2 | a szálban álló közetben | 50 dm ³ |
| 3 | a törmelékzónában | 100 dm ³ |
| 4 | a törmelékzónában | 50 dm ³ |
| 5 | a szálban álló közet és a törmelékzóna határán | 100 dm ³ |

A kísérletek kivitelezése

A modell törmelékzónáját és a szálban álló közetet szobrászati gipszből formáztuk meg. A gipsz oldhatósága a mészkő oldhatóságánál 250-szer nagyobb (*JAKUCS 1971*), bár mások ezt az értéket 100 –szoros nagyságrendben adták meg (*WHITE 1998*). A gipsz intenzív oldódása lehetővé teszi a változás detektálását. A törmelékzónát alzónákra osztottuk. A 10 cm-es zónát 10 alzónára különítettük el (*4, 5. ábrák*). Ezzel a megosztással lehetővé

vált a tömegvesztés pontos mérése mélység függvényében. Az alzónákat egymástól műanyag hálóval választottuk el (4, 5. ábrák). A műanyagháló megakadályozta, hogy a tömegükben és méretükben csökkenő kockák az egyik alzónából egy másikba kerüljenek.



4. ábra. A modell anyagai, a/ a gipszkorong, szálban álló kőzet modellje, b/ a törmelékzónát képező kockák, c/ műanyag elválasztó hálók, d/ tartó korong, e/ egy alzóna
 Fig. 4.: Material of the model, a/ gypsum puck, the model of the bedrock, b/ cubes what makes the debris zone, c/ plastic separator webs, d/ holder disc, e/ a sub-area

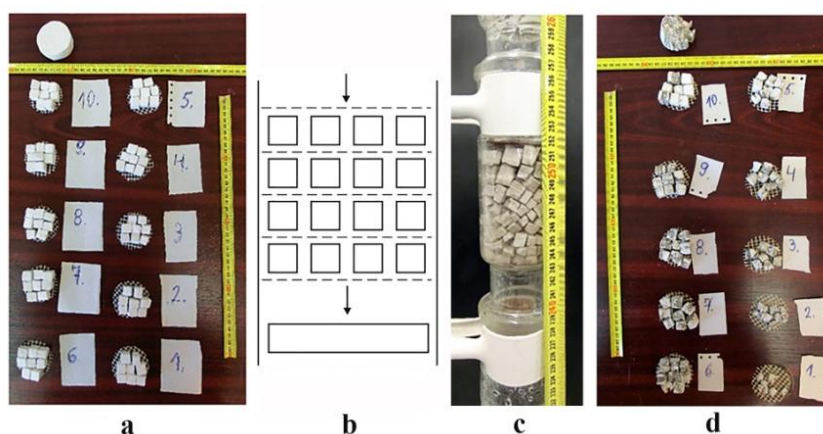
A modell felépítését az 5. ábra mutatja be. Először meghatároztuk az alzónák tömegét (5.a ábra), reakció térben elhelyeztük a sűrűn átluggatott rézből készült tartólemezt (4.d ábra), erre a szálban álló kőzetet mintázó korongot helyeztük (4.a ábra), majd erre a hálóval elkülönített alzónákat képző kockákat helyeztük (5.b, e ábra).

Ugyanúgy építettük, és dolgoztunk az 5. kísérlet esetében is, mint az 1. és 2. kísérlet során, azzal a különbséggel, hogy itt 40 darab alzónát alakítottunk ki. A modell működtetése desztillált víz adagolásával történt az 1. 2. és 5. kísérletben, míg a 3. és 4. kísérlet során telített gipszoldatot csepegtettünk, a 10 dm³-es Davy- palackból. A szivárogtatás sebessége 360 cm³/h volt, azaz ennyi oldószer vagy telített oldat haladt át a reakció téren egy óra alatt. A kísérlet végén, minden kísérlet esetén az áthaladó oldószerből mintát vettünk, melynek kalcium-ion koncentrációját titrimetriásan (térfogat elemzéssel, komplexometriás módszerrel) meghatároztuk (BARCZA 2009). A reakciótéren áthaladt oldószer koncentrációját a fizikai-kémiai telítettségi

koncentráció százalékában fejeztük ki. A kellő mennyiségű folyadék átszivárgtatása után a rendszert szellőztethetővé tettük. Kellő ideig tartó szikkasztás után megkezdtuk a modell lebontását, vigyázva arra, hogy minél kisebb anyagvesztéset okozzunk a kockák mozgatása során. Az alzónákra elkülönített csoportokat levegőn súlyállandóságig szárítottuk, majd meghatároztuk azok tömegét (5.d ábra). A mért adatokból a tömegvesztéset százalékban számítottuk:

$$m/m\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100,$$

ahol m_1 az alzóna tömege kezelés előtt, m_2 az alzóna tömege kezelés után.



5. ábra. A modell felépítése. a. az alzónák kezdeti, kezelés előtti állapotban ismert tömeggel, b. a modellek szerkezete c. a reakciótér, d. az alzónák állapota kezelés után, megmért tömeggel

Fig. 5.: The construction of the model. a. the sub-areas before the experiment with the known of its mass, b. the structure of the models, c. reaction chamber, d. sub-areas's state after the examination with measured mass

Eredmények és azok értékelése

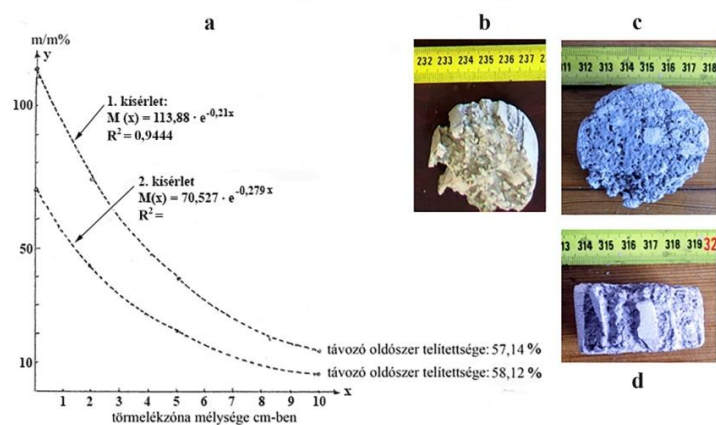
Az 1. és 2. kísérlet eredményeit a II. táblázatban foglaltuk össze. Ha a telítődési szint a számban álló közetet mintázó korong alatt van a tömegvesztés tekintélyes. Az első alzóna a 100 dm^3 oldószer hatására tömegének 83,23%-át elvesztette és csaknem megsemmisült (II. táblázat).

A tömegvesztés olyan méretcsökkenéssel járt, hogy ha az alzónákat háló nem választja el, akkor az alzóna kockái az alatta fekvő alzónába, hullanak. Az adatokból megállapítható a mélység és tömegvesztés közötti kapcsolat. Az illesztett függvény azt mutatja, hogy a tömegvesztés exponenciálisan csökken, a mélység függvényében (6.a ábra).

II. táblázat.
Table II.

Az 1. és a 2. kísérletben meghatározott tömegvesztés
The measured mass-loss in the 1. and 2. experiment

| A törmelékzóna mélysége (cm) | Desztillált víz az oldószer | |
|------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| | 100 dm ³ | 50 dm ³ |
| 1 cm | 88,23 | 44,15 |
| 2 cm | 82,74 | 41,62 |
| 3 cm | 61,25 | 30,75 |
| 4 cm | 55,55 | 26,83 |
| 5 cm | 33,92 | 16,55 |
| 6 cm | 31,61 | 15,71 |
| 7 cm | 30,62 | 15,09 |
| 8 cm | 28,92 | 14,58 |
| 9 cm | 15,24 | 8,63 |
| 10 cm | 11,10 | 5,25 |



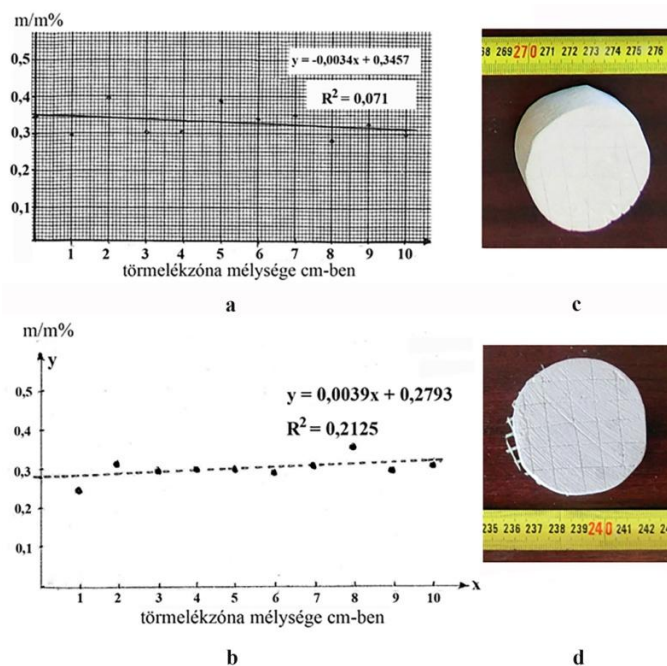
6. ábra. Az 1. és 2. kísérlet eredményeinek grafikus ábrázolása. 6. a a mérési eredményekből készített függvények, b. 1. kísérlet korongja a kezelés után; 6. c- d.; 2. kísérlet korongja kezelés után.

Fig. 6.: Graphical presentation of the results in experiment 1. and 2. 6.a, curves made of the results from the experiments, 6. b, gypsum puck after the examination used in experiment 1., 6 c-d, gypsum puck after the examination used in experiment 2.

III. táblázat
Table III.

A 3. és 4. kísérlet mérési eredményei.
Measured results in experiment 3. and 4.

| A törmelékzóna mélysége (cm) | Telített oldat az oldószer | |
|------------------------------|----------------------------|--------------------|
| | 100 dm ³ | 50 dm ³ |
| 1 cm | 0,266 | 0,251 |
| 2 cm | 0,397 | 0,314 |
| 3 cm | 0,302 | 0,239 |
| 4 cm | 0,306 | 0,301 |
| 5 cm | 0,385 | 0,299 |
| 6 cm | 0,338 | 0,287 |
| 7 cm | 0,349 | 0,314 |
| 8 cm | 0,279 | 0,355 |
| 9 cm | 0,324 | 0,289 |
| 10 cm | 0,295 | 0,307 |



7.ábra. A 3. és 4. kísérlet eredményeinek grafikus ábrázolása (7.a; 7.b), a korong állapota kezdés előtt (7.c), kezdés után (7.d.)

Fig. 7.: Graphical presentation of the experiment 3. and 4. (7.a, 7.b), state of the gypsum puck before the examination, (7.c), after the experiment (7. d)

A szálaban álló kőzetet mintázó gipszkorong tömegvesztése u8gyancsak nagy. Az 1. kísérlet esetén 48,74 m% (6/b ábra), a második kí-

sérletben 24,36 m% (6.c-d ábra) a tömegveszteség. A 100 dm³-es kezelés hatásának különbsége szemmel látható. Különös figyelmet érdemel, hogy az 1. kísérletben a törmelékzóna 10. alzónájában, amely közvetlenül érintkezik a szálban álló kőzetet mintázó modellel, a tömegvesztesége csak 11,10 m% volt. Ez a jelenség a második kísérlet során is megismétlődött. Ezen alzónában a tömegveszteség 5,25 m% míg a korong tömegvesztése 24,36 m% volt. Ez arra vezethető vissza, hogy a legalsó alzóna felülete kisebb (48.00 cm²), mint a gipszkorong (94,20 cm²) felülete. Az is látható (6. b,-,d, ábrák) a geomorfológiai modellel összhangban, hogy a szálban álló kőzetet mintázó gipszkorong felszíne és kismértékben belseje is oldódott. A kísérleti rendszerből távozó oldat koncentrációja fizikai-kémiai értelemben vett telítettségnek csak, mint egy fele volt. Ez az 1. kísérletben 57,14%-nak, a 2. kísérletben 56,74%-nak adódott. Tehát az oldószer megőrizte oldóképességét.

A 3. és 4. kísérletnek, azaz a kontroll kísérletnek az eredményeit a *III. táblázatban* mutatjuk be. Itt mind a két kísérletben a leoldott anyag mennyisége, így a tömegveszteség is igen alacsony érték, centigramm nagyságrendű. A mérési adatok jelzik, hogy a tömegveszteség független az oldószer mennyiségétől. Az eredményeket ábrázoló függvények gyakorlatilag párhuzamosak az x-tengellyel (7.a-b. ábrák). A tömegveszteséget az oldószer mennyisége nem befolyásolja, és az alzónák mélységétől független. Az R² értéke rossz. A szálban álló kőzetet mintázó modell minta, a korong tömegvesztesége a 3. kísérletnél 0,85m%, a 4. kísérlet esetében 0,79 m%. A korongon a tömegveszteség, minimális (7.c-d. ábrák), de meghaladta a telítődési szint alatti alzónák közel azonos tömegveszteségét (*III. táblázat*). A távozó oldat telítettségi koncentrációja itt is elmaradt a fizikai-kémiai koncentrációtól, ami standard körülmények között 2,39 g/dm³ (SZABÓ *et. al.* 1978). A 3. kísérletben a telítettség a fizikai-kémiai értelemben vett telítettség 92,85%-a, a 4. kísérletben annak a 95,65%-át érte el. Ez azért is érdekes, mert az átszivárgó oldat telítettsége kezdetben, a fizikai-kémiai értelemben telített volt.

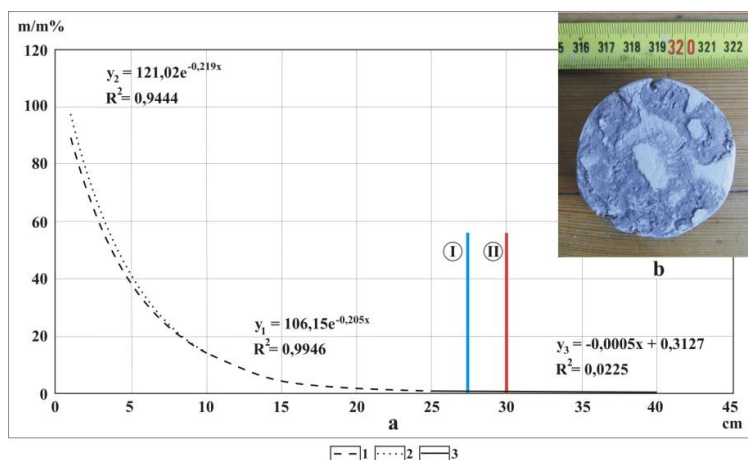
Az 5 kísérlet mérési eredményeit a 40 alzónáról a *IV. táblázatban* mutatjuk be. A *táblázat* adatai mutatják, hogy a tömegveszteség a mélység növekedésével csökken. Ez a csökkenés 28-30 cm-es mélységig tart. Ezt követően a tömegveszteség a további mélységnövekedéstől független és nagy szórással minimális, és hasonló a kontroll 3. és 4. kísérleti adataihoz (*IV. táblázat*). Ha a telítődési szint a gipszkorong felületénél van, vagy annak közelében alakul ki, (5. kísérlet), akkor a tömegveszteséget két függvénnyel lehet leírni. Egy exponenciálisan csökkenővel, amely a törmelékzónában végbemenő oldódást reprezentálja (8.a ábra) és egy lineárisal, amely

a korong anyagán végbemenő oldódást, illetve annak hiányát mutatja be (8.c ábra)

IV. Táblázat:
Table IV.

Az 5. kísérlet adatai
The parameters of the experiment 5.

| Törmelékzóna mélysége (cm) | Tömegveszteség száza- lékban (m/m%) | Törmelékzóna mélysége (cm) | Tömegveszteség száza- lékban (m/m%) |
|----------------------------|--|----------------------------|--|
| 1 cm | 89,01 | 21 cm | 1,52 |
| 2 cm | 81,05 | 22 cm | 1,18 |
| 3 cm | 61,45 | 23 cm | 1,01 |
| 4 cm | 54,25 | 24 cm | 0,89 |
| 5 cm | 34,25 | 25 cm | 0,71 |
| 6 cm | 31,29 | 26 cm | 0,59 |
| 7 cm | 29,54 | 27 cm | 0,41 |
| 8 cm | 27,50 | 28 cm | 0,33 |
| 9 cm | 15,15 | 29 cm | 0,30 |
| 10 cm | 10,58 | 30 cm | 0,31 |
| 11 cm | 8,96 | 31 cm | 0,29 |
| 12 cm | 7,48 | 32 cm | 0,31 |
| 13 cm | 6,85 | 33 cm | 0,28 |
| 14 cm | 5,90 | 34 cm | 0,29 |
| 15 cm | 5,40 | 35 cm | 0,29 |
| 16 cm | 4,01 | 36 cm | 0,28 |
| 17 cm | 2,95 | 37 cm | 0,29 |
| 18 cm | 2,19 | 38 cm | 0,30 |
| 19 cm | 1,95 | 39 cm | 0,28 |
| 20 cm | 1,78 | 40 cm | 0,31 |



8. ábra. Az 5 kísérlet eredményeinek grafikus ábrázolása, 8.a. az adatokra illesztett függvények, 8.b. a gipszkorong felülete a kezelés után

Jelmagyarázat: 1. a mért adatokból előállított függvény, 2. az extrapolálással előállított függvény, 3. a két függvény közös szakasza, I. a számított telítődési szint, II. a mért telítődési szint, y_1 a mért adatok függvény alakja, y_2 a számított adatok függvény alakja, y_3 a két függvény egymást lefedő része

Fig. 8.: Graphical presentation of the experiment 5. 8.a. data fitted curves, 8.b. gypsum puck's surface after the examination

Legend: 1. curves made from the measured data, 2. extrapolated curve, 3. collective line segments of the two curves, I. the calculated saturation curve, II. the measured saturation curve, y_1 curve shape of the measured data, y_2 curve shape of the calculated data, y_3 line segment of the curves that covers each other

Mint a 8. ábrán látható, kétféle telítődési szintet jelöltünk be. A 8.I., amely 27 cm-nél van, elméleti hely, extrapolálással számítottuk ki az 1. és 2. kísérlet adatai alapján. A mérések során (5. kísérletben) azt tapasztaltuk, hogy a telítődési szint mélysége 30 cm-nél van (8. II.). A szálban álló közetet mintázó korong tömegvesztése 0,86m%. A korong hasonlóképpen viselkedett, mint amit a 3. 4. kísérlet esetében tapasztaltunk. A korongon azonban anyag lerakódás is megfigyelhető volt (8.b. ábra). Feltételezhető, hogy a lerakódás anyaga a 40 alzónából származik, a szobrászati gipszet szennyező, vízben nem oldódó anyagait tartalmazza. Az átszivárgó oldat telítettsége 98,26% volt.

Következtetés

Ha a telítődési szint a szálban álló közetet mintázó korong felszíne alatt van, az oldószer által okozott tömegvesztés, a korong felszínéig exponenciálisan csökken. A tömegvesztés a korongokon egyenesen arányos az oldószer mennyiségével (1. és 2. kísérlet). Ha a telítődési szint a törmelékzónában van (3. és 4. kísérlet), akkor a törmelékzónában a telítődési szint alatt számottevő tömegvesztés nem alakul ki. A mérések által jelzett tömegvesztés (0,2-0,3%) olyan kis mennyiségű (0,04-0,06 g), hogy ez a tömeg-

vesztés a modell lebontásakor is keletkezhetett. Igazolja ezt a mérési eredmények nagy szórása (3. és 4. kísérlet). Ha a telítődési szint a szálban álló kőzetet mintázó korong és a törmelékzóna határára esik, vagy annak közelében van, akkor a tömegveszteség két függvénnyel írható le. A törmelékzóna felszíne és a telítődési szint közötti szakaszon exponenciálisan csökkenő függvénnyel, míg a telítődési szint alatti törmelékszakaszon az x-tengellyel párhuzamos lineáris függvénnyel (5. kísérlet) adható meg a tömegveszteség. A kísérletek (1-5 kísérlet) így igazolják, hogy a tömegveszteség a törmelékzónában, a telítődési szint helyzetétől függ. A kísérletek ezen megállapításai a karsztos felszín lepusztulási modellt is gazdagíthatják. A kísérletek azt is igazolták (1-5. kísérlet), hogy a telítődési szint koncentrációja soha nem éri el az oldószernek az adott oldandó anyagokra vonatkozó fizikai-kémiai telítődési szintjét. Ez az oka annak, hogy a telítődési szint alatt is van tömegveszteség. Ezt jelzi a modellben átszivárgott oldatok %-ban kifejezett telítettségi koncentrációja. Mivel az oldószer telítődése aszimptotikusan közelíti a fizikai-kémiai telítettséget, a telítődési szint oldatának koncentrációja változhat, és ahol a felület megnő, a tömegveszteség értéke is megemelkedik helyileg. Ezt tapasztaljuk, ha az oldószer az alsó alzónából átlép a szálban álló kőzetet mintázó korongra. Ekkor annak nagyobb felülete miatt növekszik az oldódás és így a tömegveszteség is. Ezért a karsztos felszín lepusztulási modell esetében is célszerű figyelembe venni a telítődési szint alatti oldódást, bárhol is helyezkedik el az.

A kísérlet ismétlésének lehetőségét igazolja, hogy az 1. kísérlet (8.b) és az 5 kísérlet (8.a) exponenciális függvényei majdnem fedik egymást, valamint az 1. kísérlet alapján extrapolált telítődési szint (8.d) helyzete alig különbözik az 5. kísérletben mért telítődési szinttől (8.c).

IRODALOM

- BARCZA L.* (2009): A mennyiségi kémiai analízis gyakorlati kézikönyve – Budapest, Medicina Kiadó 297 p.
- DEÁK GY., PÉNTEK K., FÜZESI I., VETÉSI-FOITH SZ., VERESS M.* (2017): A karsztosodás során kialakult törmelékzóna modellezése. *Karsztfejlődés XXII.* pp. 75. DOI:10.17701/17.61-75.
- JAKUCS L.* (1971): A karsztok morfogenetikája- Akadémiai Kiadó, Budapest 310 p.
- PÉNTEK K.* (2001): Karsztosodó mészkő térszínek lepusztulásának matematikai modellje – *Karsztfejlődés VI.* pp. 13-25.
- PÉNTEK K.* (2007): A horizontális karsztosodás egyenletrendszerének levezetése elemi tárgyalással – *Karsztfejlődés XII.* pp. 53-70.

- PÉNTEK K.* (2008): A horizontális karsztosodás egyenletrendszerének egy egyszerű megoldása – *Karsztfejlődés XIII.* pp. 5-22.
- PÉNTEK K., VERESS M.* (2002): A karsztos lepusztulás sebességének kiszámítása egy törmelékes oldódási zóna adatainak felhasználásával - *Karsztfejlődés VII.*, BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, pp. 73-86.
- SZABÓ Z., NYILASI J.* (1978): *A szerves kémia alapjai* – Műszaki Kiadó, Budapest, 285 p.
- SZUNYOGH G.* (1994): A horizontális karsztos lepusztulás folyamatának matematikai modellezése – *A Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola Tudományos Közleményei IX. Természettudományok 4.* pp. 173-201.
- VERESS M., PÉNTEK K.* (1990): Kísérlet a karsztos felszínnek denudációjának kvantitatív leírására – *Karszt és Barlang I.* pp. 19-27.
- VERESS M., PÉNTEK K.* (1996): Theoretical model of surface karstic processes – *Zeitschrift f. Geomorph 40(4)* pp. 461-476
- WAELE J.D, PICCINI L., COLUMBO A., MADONIA G., VANTANO M., CALIGARIS C., D'ANGELI I., PARISE M., CHESI M., SIVELLI V., VIGNA B., ZINI L., CHIARINI V., SAURO F.* (2017): Evaporite karst in Italy a review- *International Journal of Speleology 46(2)* pp. 137-168.
- WILLIAMS P.W.* (1966): Limestone pavements with special reference to Western Ireland – *Transactions of the Institute of British Geographers 40* pp. 155-172
- 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.
- WALTHAM A.C., FOOKES P.G.* (2003): Engineering classification of karst ground conditions – *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology 36* pp. 101-118.