

**ÜLEPEDÉS- ÉS VÍZSZINTCSÖKKENÉS SEBESSÉGÉNEK  
VISZONYA SZUSZPENZIÓKBAN**

**THE RELATION BETWEEN THE VELOCITIES OF  
SEDIMENTATION AND OF WATER TABLE DECREASE IN  
SUSPENSIONS**

DEÁK GYÖRGY – MITRE ZOLTÁN –  
SZEMES MÁTYÁS – VERESS MÁRTON

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

***Abstract:** The sedimentation originating from the intermittent lakes of subsidence dolines was modelled in laboratory. Two types of suspension were made that had natural-like characteristic features. In both types, the size of the single-grained, solid material was smaller than 0.063 mm and their concentration was 0,2 m/m %. One of the suspension types was also loaded with fibrillary-shaped vegetable waste in a concentration of 0.05 m/m %. The settling velocity was determined in both systems in a water-layer depth of 5.0; 7.5 and 10.0 cm. The settling velocity was greater in all water-layer thicknesses in the suspension that contained vegetable waste than in the system that only contained solid material. The presence of vegetable waste increased the settling velocity thus, the quantity of the sedimentary material too. This phenomenon was caused by the adsorption of colloidal floating materials on the surface of the vegetable waste. Sedimentation was possible in the sediment basin if the settling velocity was greater than the velocity of water table decline.*

## 1. Bevezetés

Vizsgáltuk, hogy a karsztos depressziók csökkenő vízszintű tavaiban a vízben lebegő anyag ülepedése függ-e és ha igen, milyen módon a vízszintsüllyedés sebességétől.

Karszterületek depresszióiban (töbör, víznyelő) időszakos, vagy állandó vizű tavak alakulhatnak ki. Az állandó vizű tavak akkor jönnek létre, ha a depresszió aljzatán vízzáró kitöltés van. A depressziók állandó vizű tavai is leürülhetnek, ha a depresszió vízzáróját, kitöltését veszíti. Ilyen, mintegy 20 évig létező, majd leürülő tavat írt le *BECK – SINCLAIR* (1986) Texasból. Az időszakos tavak létrejöhetnek víznyelőkben- és töbrökben is (*FORD – WILLIAMS* 2007). Az időszakos tavak azért alakulhatnak ki, mert a vízbepótlás intenzitása meghaladja a vízelvezetés intenzitását. A csökkenő intenzitású vízelvezetésnek számos oka lehet. Így a karsztvízszint megemelkedése, a karsztos járat (ill. annak a fedőben kialakult folytatása) fejletlen-

sége, vagy az eltömődése. Tó alakulhat ki akkor is, ha egy másik már létező tó vize túlfolyással áramlik egy karsztos depresszióba (BECK – SINCLAIR 1986). Ez a tó kialakulási mód a poljék karsztos depresszióinál is előfordul.

Az időszakos tavak széleskörűen elterjedtek a karsztokon. Így előfordulnak tundrakarszton (KORZHUEV 1961, PULINA 2005), mérsékeltövi karszton (VERESS 2000), magashegységi karszton (Veress et al. 2013). Mediterrán, de trópusi karszton (ZHANG 1980) is gyakoriak a karsztvízszint megemelkedése miatt létrejövő tavak.

A töbrök lehetnek oldódásos töbrök, omlásos töbrök, átöröklődéses töbrök és utánsüllyedéses töbrök (WALTHAM – FOOKES 2003, WILLIAMS 2004). Az utánsüllyedéses töbrök fedett karszton alakulnak ki, ha a fedőkőzet a karszt járataiba szállítódik.

Az oldódásos töbrökben állandó vízü tavak képződnek. Ugyancsak állandó vízü tavak alakulnak ki az átöröklődéses töbrökben (ANDREJCHUK 2002). Az utánsüllyedéses töbrökbe időszakos tavak gyakran alakulnak ki. Kialakulásukat mind a csökkent vízvezető képesség (a járatokban üledék halmozódik fel), mind az intenzív csapadék esemény (intenzív esőzés és intenzív hóolvadás) külön-külön, de együtt is okozhatja. VERESS (1987, 2000) az utánsüllyedéses töbrök árvízi tavait létezési időtartamuk szerint rövid-, tartósabb- és tartós ideig létező tavakra különítette. A rövid ideig létező tavak egyetlen aktív időszak alatt léteznek (aktív időszak az, amikor a töbrök vizet kapnak környezetükből). A tartósabb ideig létező tavak egy aktív időszakot meghaladóan is fennmaradnak, ugyanis az ismétlődő esőzések miatt, mielőtt vizük leürülne, ismét vizet kapnak. Az ismétlődő vízbefolyások miatt az ilyen tavaknak a vízszintje ingadozhat, ill. nyugalmi vízszintekkel megszakított lehet. A tartós ideig létező tavak egy meteorológiai esemény (időjárási front) befejeződését követően, akár több napon, vagy héten keresztül is fennmaradnak. Amíg a rövid ideig létező és tartósabb tavak vizüket azáltal veszítik el, hogy az a járatokon keresztül a karsztba távozik, addig a tartós ideig létező tavak vize párolgással távozik.

A tóhoz (az árvízi tó) a felszínen áramló, vagy a fedő és fekü közetében szivárgó víz által igen különböző méretű diszpergált és oldott anyag szállítódik. A felszínen áramló víz a környezet flórájából származó növényi hulladékot ragad magával és juttat el a tóba. A szilárd fázisú diszpergált anyag a folyadék fázissal szuszpenziót alkot. A képződő szuszpenzió térfogatmennyisége ( $m^3$ ) függ:

- a vízgyűjtő terület nagyságától,
- a folyadékfázis (csapadék, hó olvadék) képződésének intenzitásától,
- az aktív időszak hosszától.

A szuszpenzió minőségét (koncentrációját, a lebegő anyagok szemcseméretét) befolyásolja a fedő és a fekü kőzetminősége, aprózottsága, valamint a vízgyűjtő terület növényzettel fedettsége.

A beszállított anyag leülepedhet (a vízben lebegő közetszemcsék), rátapadhat a depresszió aljzatára, ill. az abban lévő tárgyakra (növényi hulladék és a kolloidok). Utóbbiak a szemcsékre is rátapadhatnak megnövelve azok süllyedési (ülepedési) sebességét.

A természetes úton keletkezett szuszpenzió egyaránt tartalmaz gyorsan, lassan, igen lassan, vagy nem ülepedő frakciót. Gyorsan, vagy igen gyorsan ülepedik az a frakció, melynek szemcsemérete 0,125-0,250 mm közé esik. A 0,063-0,125 mm átmérőjű szemcsék ülepedési ideje már jól mérhető. A 0,063 mm-nél kisebb szemcséket tartalmazó szuszpenzió igen lassan ülepedik le, míg a 0,001-0,010 mm méretű szemcsék már valódi kolloidot képeznek, ezért nem ülepednek le (*PAIS* 1981, *ROHRSETZER* et al. 1991).

## **2. Az utánsüllyedéses töbrök üledékképződési modellje**

Az utánsüllyedéses töbrök időszakos tavai természetes derítők. Említettük, hogy a rövid ideig létező és a tartósabb ideig létező tavaknál a vízszintcsökkenést a karsztba történő vízvezetés okozza. A vízzel együtt a töbrök járatain keresztül a lebegtetett üledék is eltávozik. A víz és a lebegtetett anyag karsztba szállítódása mind csökkenő, mind állandósult vízszinteknél egyaránt végbemehet.

Ülepedési modellünk szerint a töbrök tavaiból a leülepedett anyag szemcsemérete (és így részben a mennyisége is) két tényezőtől függ: a vízszintcsökkenés sebességétől és a lebegtetett üledék ülepedési sebességétől. Ezért azon szemcseméretű anyag ülepedik le, amelynek az ülepedési sebessége nagyobb, vagy egyenlő a vízszint süllyedési sebességgel. Azon szemcseméretű anyag, amelynek a sebessége kisebb, mint a vízszintsüllyedés sebessége, nem ülepszik le a töbrőben, hanem a leürülő vízzel a karsztba szállítódik. Ha a tó vízszintsüllyedési sebessége csökken, egyre durvább (és így több) anyag ülepedhet le. Hasonlóképpen nő a leülepedett anyag mennyisége változatlan anyag beszállítás esetén is, ugyanolyan szemcseméretű üledék esetén is, ha annak valamilyen hatásra megnő az ülepedési sebessége.

## **3. A módszer**

A szemcsék ülepedési sebességét mérőhengerben vizsgáltuk. Ülepítő medencében vizsgáltuk, hogy a leülepedést, a vízszintsüllyedésnek és a szemcsék süllyedési sebességének egymáshoz képesti viszonya, hogyan befolyásolja. Az ülepítő medencében a különböző mélységekben, amely megegyezett a mérőhengerben mért ülepedési sebességek mélységével, mértük a leülepedett anyag mennyiségét. Ez a paraméter (ülepedési sebesség) az ülepítő medencében a vizsgálatok ideje alatt állandó volt.

Nem összeálló közetből vett mintát szárítás után szitálással szemcseméret szerint frakciókra különítettük. A szuszpenziókat ( $A_1$  és  $A_2$ ) a legkisebb szemcseméretű (0,063 mm-nél kisebb) frakciókból készítettük el. Ebből az anyagból 2-2 g-ot szuszpendáltunk, majd a szuszpenziót feltöltöttük 1-1 dm<sup>3</sup>-re, így két ( $A_1$  és  $A_2$ ) 0,2 m/m %-os oldatot kaptunk. Az  $A_2$  szuszpenziós rendszert fibrilláris növényi aprítékkal (búza, szalma 1-0,5 mm-es darabjai) tovább terheltük úgy, hogy az oldat növényi hulladékra nézve 0,05 m/m %-os legyen (*I. táblázat*).

*I. táblázat*  
Table I.

*Az ülepedési sebesség meghatározása különböző mélységekben*  
(5,0; 7,5; 10,0 cm)  
*The determination of settling velocity in different depths*

A minta jele	$A_1$ minta			$A_2$ minta		
Szuszpenzió összetétele	1 dm <sup>3</sup> + agyag ≈ 0,2 m/m %			1 dm <sup>3</sup> + agyag ≈ 0,2 m/m % + növ. hull. ≈ 0,05 m/m %		
Vizsgált mélység (cm)	5,0	7,5	10,0	5,0	7,5	10,0
Ülepedő anyag ülepedésének felezési ideje (min)	23,9	39,9	42,9	15,7	21,1	27,6
Ülepedés sebessége (cm/min)	0,209	0,187	0,233	0,318	0,355	0,362

A homogenizált oldatokban „pipettás-módszerrel” (STEFANOVITS 1981) mértük az 5,0; 7,5; 10,0 cm folyadékréteg mélységben a lebegő anyag tartalmát, exponenciálisan növekvő időközönként (1, 5, 15, 30, 60, 120 min stb., *I. kép*) Minden alkalommal 5 cm<sup>3</sup> térfogatú mintát emeltünk ki, és annak meghatároztuk a száraz anyag tartalmát (*II. táblázat*). Az adott mélységben (5,0; 7,5; 10,0 cm) mért különböző időpontokra (1, 5, 15, 30, 60, 120 min stb.) vonatkozó 5 cm<sup>3</sup> térfogatú mintából nyert száraz anyag tartalmat 1 dm<sup>3</sup>-re vonatkoztattuk (*II. táblázat*).

II. Táblázat

Table II.

*A mérési eredmények értékelése az A<sub>1</sub> (2 g agyag/1 dm<sup>3</sup> víz) összetételű szuszpenzióban*  
*The evaluation of measurement data in the suspension with an A<sub>1</sub> suspension (2 g clay/1 dm<sup>3</sup> water)*

Minta-szám	Idő (min)	Idő logaritmusa	Mért tömeg 5 cm <sup>3</sup> -ben (mg)	lk tömege 1 dm <sup>3</sup> -re (mg)	ek-lk tömege (mg)
1	1	0	9,80	1,96	0,04
2	5	1,60	8,00	1,60	0,40
3	15	2,70	6,30	1,26	0,74
4	30	3,40	5,50	1,10	0,90
5	60	4,09	4,20	0,84	1,16
6	120	4,78	3,70	0,74	1,26
7	180	5,19	3,00	0,60	1,40
8	360	5,88	2,50	0,50	1,50
9	600	6,39	1,70	0,34	1,66

Megjegyzés:

lk: adott időpillanatban lebegő anyag koncentrációja, ek: az eredeti koncentráció



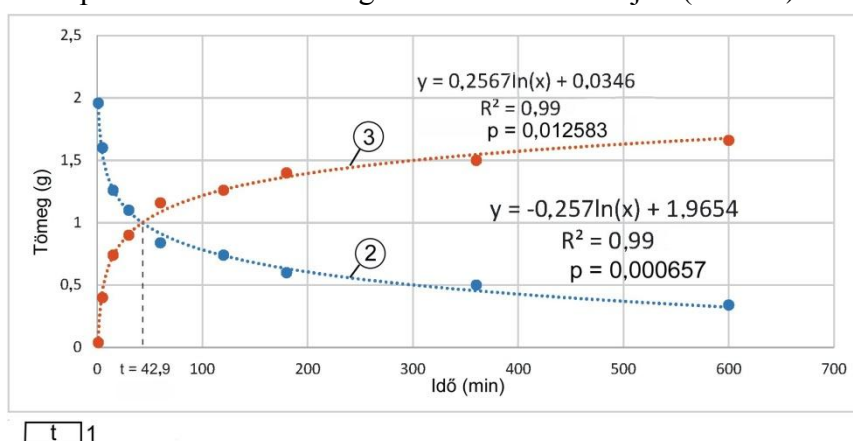
1. kép: A pipettás módszer és szárazanyag tartalom  
 Picture 1.: The pipette method and dry matter content

A mérési időpontban meghatároztuk különböző időpontokban a lebegő anyag koncentrációját. Az adatsorra függvényt illesztettünk, amelynek a grafikus képe az 1. ábra 2. görbéje. Az 1. ábra másik függvényét, amelynek a grafikus képét az 1. ábra 3. görbéje mutatja úgy kaptuk, hogy minden egyes észlelési időponthoz tartozó lebegőanyag mennyiség koncentrációját levontuk az eredeti koncentrációból. A méréseket mind az A<sub>1</sub>, mind az A<sub>2</sub> jelű szuszpenzióknál elvégeztük. Az adatokból meghatároztuk az ülepedési sebességet az alábbi módon.

Az A<sub>1</sub> jelű szuszpenzió lebegő anyag tartalma (a 10 cm-es rétegvastagságban mért adatok alapján) az idő függvényében exponenciálisan csök-

ken. Míg ugyanerre a mérési pontra számított érték (amely az eredeti koncentráció és a pillanatnyi koncentráció különbsége) az idő függvényében telítettségi görbe alakját veszi fel. Ezt az eljárást alkalmaztuk 5,0 és 7,5 cm-es vízmélységeknél is.

A kiindulási koncentráció (2 g) felét (1 g) megkapjuk, ha a görbék metszéspontjának az y tengelyen levő értékét leolvassuk. A metszéspontnak az x értéke annak az időnek felel meg, amely ahhoz szükséges, hogy az adott vizsgálati pontban a koncentráció felére csökkenjen. A koncentráció felezési ideje pontosabban meghatározható, ha a koncentráció változásokat a mérési időpontok természetes logaritmusában ábrázoljuk (2. ábra).



**t** 1

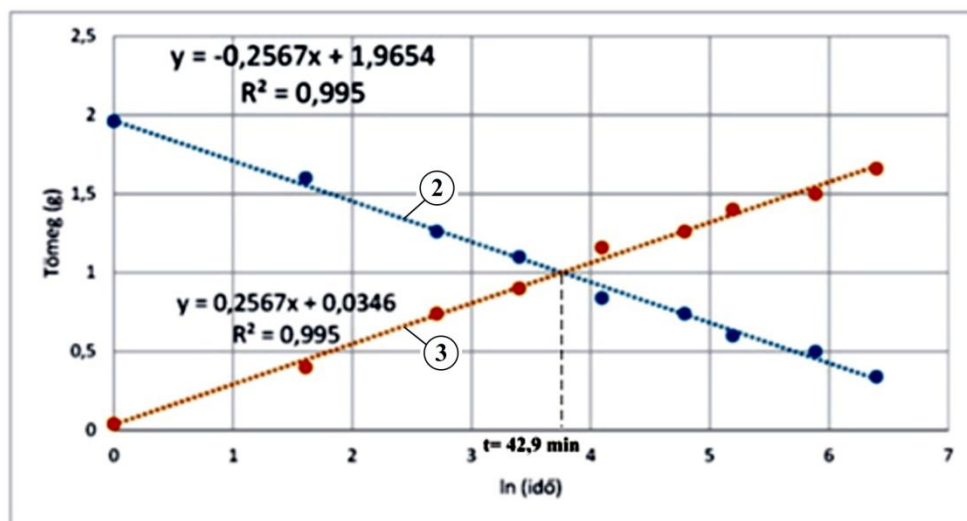
1. ábra: A mért és számított anyag koncentráció változása az idő függvényében

Jelmagyarázat: 1. a koncentráció felezési ideje, 2. a lebegő anyag koncentrációja a mintavételi ponton, az időfüggvényében, 3. a mérési pontban az eredeti koncentráció és adott időpont pillanatban a lebegő anyag koncentrációjának a különbsége az idő függvényében.

Fig. 1.: The change of the measured and calculated matter concentration in the function of time

Legend: 1. half-life of the concentration, 2. floating matter concentration on the sampling point as a function of time, 3. the difference between the original concentration and the floating matter concentration at the given time in the measurement point as a function of time

Ha a fázis felszínétől a mintavételi pontokig mért távolságokat (5,0; 7,5; 10,0 cm) elosztjuk a rájuk jellemző koncentráció felezési idejével, akkor eljárásunkkal megkapjuk az adott vizsgálati pontra vonatkozatható üledési sebességet.



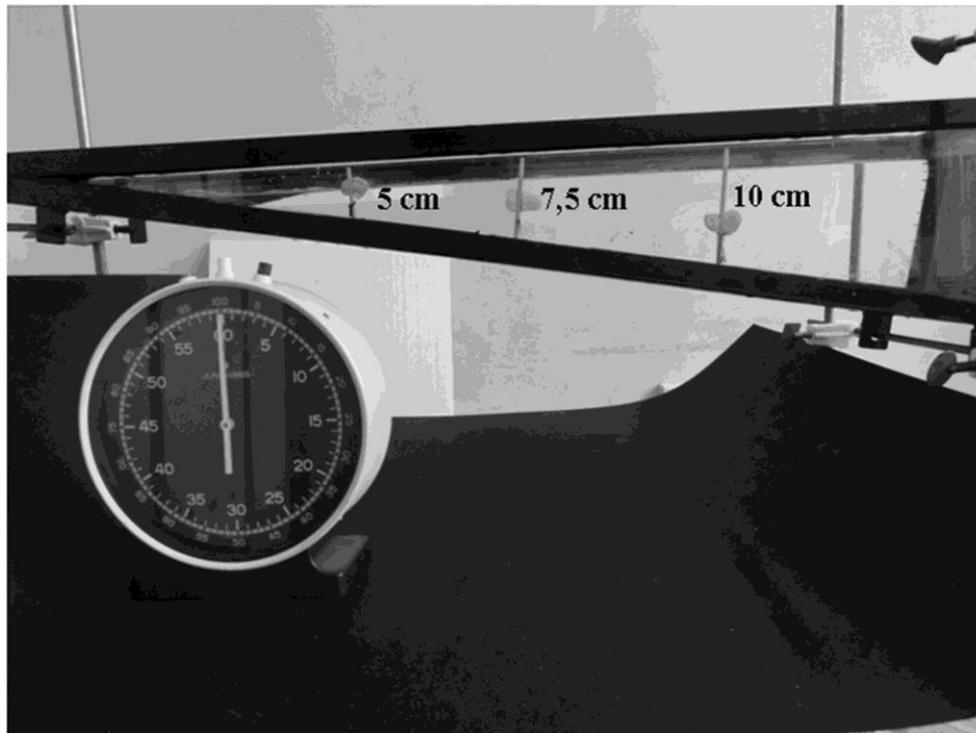
t 1

2. ábra: A mért és számított anyag koncentráció változása az idő természetes logaritmusának a függvényében  
 Jelmagyarázat: 1. a koncentráció felezési ideje, 2. a lebegő anyag koncentrációja a mintavételi pontban az idő logaritmusának a függvényében, 3. a mérési pontban az eredeti koncentráció és adott időpillanatban a lebegő anyag koncentrációjának különbsége az idő logaritmusának függvényében

Fig. 2.: The change of the measured and calculated matter concentration as a natural logarithm function of time  
 Legend: 1. half-life of the concentration, 2. the floating matter concentration on the sampling point as a logarithm function of time, 3. the difference between the original concentration and the floating matter concentration at the given time in the measurement point as a logarithm function of time

Az ülepítő medencében adott vízszintsüllyedési sebességnél (a vízszintsüllyedést a medence alján alkalmazott vízvezetéssel biztosítottuk) mértük a lebegő anyagból leülepedett anyag mennyiségét. Az ülepítő medencében a vízszintcsökkenés sebességét meghatározhatjuk és szabályozhatjuk (DEÁK et al. 2013). Bejelöltük a medencében a  $10 \text{ dm}^3$  által meghatározott vízszintet. Ehhez a vízszinthez viszonyítva 5,0; 7,5; 10,0 cm-es mélységben az ülepedő anyag felfogására alkalmas mikroszkópi tárgylemezeket helyeztünk el (2. kép). Ezt követően  $10 \text{ dm}^3$   $A_1$  jelű szuszpenzióval feltöltöttük a medencét, és először lassú, másodsor gyors vízszintcsökkenés előidézése mellett meghatároztuk az adott mélységbe elhelyezett tárgylemezek leülepedett anyagmennyiségét. E helyen ismertük az ülepedési sebességet, miután a mérőhengerben mért adatokból meghatároztuk azt, a fentebb bemutatott módon. Ezt a mérési sorozatot  $A_2$ , azaz a növényi hulladékot is tartalmazó szuszpenzióval is elvégeztük.

A két módszert együtt alkalmazva megállapítható, hogy adott vízszintsüllyedésnél adott sebességgel ülepedő ismert szemcséjű és összetételű anyag esetén van-e ülepedés, vagy nincs.



2. kép: Az ülepítő medence oldallapjára elhelyezett pálcikák jelzik az üledék felfogására elhelyezett tárgylemezek helyeit

Picture 2.: The rods placed on the lateral face of the sediment basin show the places of object slides that collect sediment

#### 4. Kiértékelés

Az  $A_1$  és  $A_2$  szuszpenziók 5,0; 7,5; 10,0 cm-es vízmélységében meghatározott koncentráció felezési idejét, valamint az ülepedési sebességeket az *I. táblázatban* foglaltuk össze.

Az  $A_1$  és  $A_2$  jelű,  $10 \text{ dm}^3$  térfogatú szuszpenziókból, az eltérő vízszintcsökkenés sebesség hatására az 5,0; 7,5; 10,0 cm mélységekben lerakódó üledékek tömegéről nyert adatokat a *III. és IV. táblázatban* foglaltuk össze. A táblázat adatainak a felhasználásával az alábbiak állapíthatók meg.

Amíg a vízszintcsökkenés sebessége  $5,6 \cdot 10^{-2} \text{ cm/min}$  és  $1,1 \cdot 10^{-1} \text{ cm/min}$  értékek között változott, és a lebegtetett anyagnak az ülepedési sebessége legfeljebb  $2,3 \cdot 10^{-2} \text{ cm/min}$  volt, nem észleltünk leülepedett anyagot egyetlen mélységi mintavételi ponton sem (*III. táblázat*). Tehát nem ülepedett le anyag, amikor az ülepedés sebessége kisebb volt, mint a vízszintsüllyedés sebessége.



Ezzel szemben, közel hasonló vízszintsüllyedési sebességnél ( $5,2 \cdot 10^{-2}$  cm/min-tól  $8,9 \cdot 10^{-2}$  cm/min-ig), az  $A_2$  jelű növényi hulladékot is tartalmazó szuszpenzióban történt leülepedés. Ez arra vezethető vissza, hogy megnőtt a növényhulladék hatására a szuszpenzióban az ülepedés sebessége ( $3,1 \cdot 10^{-1}$  cm/min-tól  $3,1 \cdot 10^{-1}$  cm/min-ig). Az  $1 \text{ cm}^2$ -re számított üledék mennyisége 2,4 és 8,3 mg között változott (III. táblázat).

Ha a vízszintsökkenés sebességet nagymértékben lecsökkentettük ( $2 \cdot 10^{-4} - 1,4 \cdot 10^{-5}$  cm/min), és így az apadás idejét megnöveltük (6 h 54 min – 14 h 54 min közé), minden esetben, még a növényhulladékot nem tartalmazó szuszpenzióból is minden mintavételi helyen képződött üledék (IV. táblázat).

III. Táblázat  
Table III.

Ülepedés  $A_1$  és  $A_2$  mintából különböző mélységekben nagy vízszintsökkenési sebességnél  
Sedimentation from samples  $A_1$  and  $A_2$  in different depths at great velocity of water table decline

minta jele		A <sub>1</sub> minta			A <sub>2</sub> minta		
szuszpenzió összetétele		1 dm <sup>3</sup> + agyag ≈ 0,2 m/m %			1 dm <sup>3</sup> + agyag ≈ 0,2 m/m % + növ. hull. ≈ 0,05 m/m %		
vizsgált mélység (cm)		5,0	7,5	10,0	5,0	7,5	10,0
ülepedő anyag ülepedésének felezési ideje (min)		23,9	39,9	42,9	15,7	21,1	27,6
ülepedés sebessége (cm/min)		0,209	0,187	0,233	0,318	0,355	0,362
vízszintsökkenés sebessége nagy	vízszintsökkenés sebessége (cm/min)	$5,6 \times 10^{-2}$	$6,2 \times 10^{-2}$	$1,1 \times 10^{-1}$	$5,2 \times 10^{-2}$	$6,9 \times 10^{-2}$	$8,9 \times 10^{-2}$
	apasztás ideje (h, min, sec)	1 min 29 sec	2 min 9 sec	2 min 31 sec	1 min 35 sec	2 min 11 sec	2 min 39 sec
	ülepedett anyag mennyisége (mg/cm <sup>2</sup> )	nincs	nincs	nincs	6,4	2,4	8,3

Tehát akkor, ha az ülepedés sebessége meghaladta a vízszintsüllyedés sebességét (vagy azért, mert a növényhulladék miatt nőtt a süllyedés sebessége, vagy mert csökkent a vízszintsüllyedés sebessége) a leülepedés végbement.

Az  $1 \text{ cm}^2$ -re eső leülepedett anyagmennyiség mind a két szuszpenzióban a mélység növekedésével, az apadási idő növelésével nőtt (IV. táblázat). Amíg azonban az  $A_2$  szuszpenzió esetén a mélység növekedésével egyenes arányban nőtt a leülepedett anyag mennyisége, az  $A_1$  szuszpenzió esetében nem, hanem a leülepedett anyag mennyiség 7,5 cm-nél volt a legtöbb. Azonban a növényi hulladékot is tartalmazó szuszpenzióban a leülepedett anyag  $1 \text{ cm}^2$ -re számított mennyisége minden mintavételi helyen

meghaladta a csak üledéket tartalmazó szuszpenziók, azonos mélységű mintahelyein mért értékeiket.

IV. Táblázat

Table IV.

Üledés  $A_1$  és  $A_2$  mintából különböző mélységekben kicsi vízszintsökkenési sebességnél  
Sedimentation from samples  $A_1$  and  $A_2$  in different depths at a small velocity of water table decline

minta jele		A <sub>1</sub> minta			A <sub>2</sub> minta		
szuszpenzió összetétele		1 dm <sup>3</sup> + agyag ≈ 0,2 m/m %			1 dm <sup>3</sup> + agyag ≈ 0,2 m/m % + növ. hull. ≈ 0,05 m/m %		
vizsgált mélység (cm)		5,0	7,5	10,0	5,0	7,5	10,0
üledő anyag üledésének felezési ideje (min)		23,9	39,9	42,9	15,7	21,1	27,6
üledés sebessége (cm/min)		0,209	0,187	0,233	0,318	0,355	0,362
a vízszintsökkenés sebessége kicsi	vízszintsökkenés sebessége (cm/min)	1,4x10 <sup>-3</sup>	2,4x10 <sup>-4</sup>	2,8x10 <sup>-4</sup>	2,0x10 <sup>-4</sup>	3,6x10 <sup>-4</sup>	3,9x10 <sup>-4</sup>
	apasztás ideje (h, min, sec)	9 h 40 min	12 h 25 min	14 h 54 min	6 h 54 min	8 h 53 min	10 h 38 min
	üledett anyag mennyisége (mg/cm <sup>2</sup> )	3,1	7,5	12,8	10,0	13,0	51,2

## 5. Eredmények

Kísérleteink az üledési sebességekre, valamint az üledési sebesség és a vízszintsüllyedési sebesség viszonyára vonatkozó eredményeket foglalják magukba.

Üledési sebességi méréseink alapján megállapítható, hogy az ismert összetételű és koncentrációjú szuszpenzióknak egy-egy vízmélységnél meghatározott a koncentráció felezési ideje és ez a szóban forgó szuszpenzióra jellemző. A mérés azonos eredménnyel megismételhető. A vizsgált vízmélység és a rávonatkozó koncentráció felezési idejének hányadosa kifejezi az adott pontban az üledési sebességet (cm/min, vagy cm/sec). A növényi hulladékot tartalmazó szuszpenzióban azért nagyobb az üledési sebesség, mint a csak üledéket tartalmazó szuszpenzió azonos vízmélységeinél, mert a kolloid méretű részecske adszorbálódik a fibrilláris (szálszerű) felületeken. Az adszorbált anyag a növényi hulladékkal együtt az üledékbe távozik.

Az ülepítő medencében végrehajtott méréseink szerint, ha az üledési sebesség kisebb, mint a vízszintsökkenés sebessége, üledékképződés nem alakul ki a medence aljzatán. Növényhulladékos szuszpenzió esetén, ha az üledési sebesség és a vízszintsökkenés sebessége közel azonos, akkor a növényi hulladék és a szemcsék között kialakult adszorpció miatt az üle-

pedési sebesség megnő, emiatt üledékképződés mehet végbe a medencében. Ha a vízszintsüllyedés sebessége kisebb, mint a szemcsék süllyedési sebessége az üledékképződés a medence minden mintavételi helyén végbemegy.

Az  $1 \text{ cm}^2$ -re számított ülepedett anyag tömege (mg) a folyadékoszlop nagyságával arányosan nő. A növényi hulladék jelenléte az adszorpció révén a folyadékfázisból nagy mennyiségű anyagot von ki, és növeli a leülepedett anyag mennyiségét.

## 6. Következtetések

A laboratóriumi kísérleteink arra utalnak, hogy az utánsüllyedéssel töbrök tavainak vízszintsüllyedési sebessége meghatározza, hogy azok vizéből milyen szemcseméretű anyag ülepszik le. Minél lassúbb a vízszintsüllyedés, annál finomabb anyag is leülepedhet. Ezt a jelenséget erősíti a tóba kerülő növényhulladék. Emiatt a töbrök eltömődése öngerjesztő folyamat. A finomabb szemcsésű anyag (és növényhulladék) növeli a töbrök eltömődését. Emiatt a töbrökben kialakuló tavak vízszintcsökkenése (leürülése) és így élettartama is nő. Ez viszont még finomabb (és ezáltal több) üledék leülepedését eredményezi, ami még hosszabb élettartamú tavak létrejöttét okozza. A két folyamat eredménye (ülepedési sebesség és vízszintsüllyedési sebesség) a töbrök teljes eltömődése, majd kitöltődése és pusztulása.

## IRODALOM

- ANDREJCHUK, V.* (2002): Collapse above the World's largest potash mine (Ural, Russia) – *International Journal Speleology* 31 pp. 137-158.
- Beck, B. F. – Sinclair, W. C. (1986): Sinkholes in Florida: An introduction. – Florida Sinkhole Research Institute Report 85-86-4, 16 p.
- DEÁK GY. – SAMU SZ. – VERESS M.* (2013): Szuszpenziós rendszerek ülepedésének és kiválásának vizsgálata modell kísérletekkel – *Karsztfejlődés XVIII.* pp. 49-64.
- FORD, D. C. – WILLIAMS, P. W.* (2007): Karst Geomorphology and Hydrology – Unwin Hyman, London 561 p.
- KORZHUEV, S.S.* (1961): Merzlotnyi karst Srednego Prilen'ya i nekotorye osobennosti yego proyavleniya. – In: Sokolov, N.I., Gvozdetskiy, N.A., Balashov, L.S. (Eds.), *Regionalnoe karstovedenie*. Izdatelstvo AN SSSR, Moscow, pp. 207–220.
- PAIS I.* (1981): Általános szervetlen és analitikai kémia – Mezőgazda Kiadó, Budapest, 317 p.

- PULINA, M.* (2005): Le karst et les phenomenes karstiques similaires des regions froides – In: SALOMON, J. N.–PULINA, M. (szerk.): Les karsts des regions climatiques extremes. Karstologia Mémoires, 14. pp. 11-100.
- ROHRSETZER S.* (1991): Kolloidika – Tankönyvkiadó, Budapest, 295 p.
- STEFANOVITS P.* (1981): Talajtan – Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 324 p.
- VERESS M.* (1987): Karsztos mélyedések működése bakonyi fedett karszton – Földrajzi Értesítő XXXVI/1-2 pp. 91-114.
- VERESS M.* (2000): Covered karst evolution Northern Bakony mountains, W-Hungary – A Bakony Természettud. Kut. Eredményei, 23 167 p. Bakonyi Természettudományi Múzeum, Zirc
- VERESS M. – PÉNTEK K. – SCHLÄFFER R.* (2013): Az intenzív csapadékhullások hatása a karsztos formákra – Karszt és Barlang 2011 évf. I-II. f. pp. 41-50.
- WALTHAM A. C. – FOOKES P.G.* (2003) Engineering classification of karst ground conditions. – Quarterly Journal Engineering Geology Hydrogeology 36 pp. 101–118
- WALTHAM, T. – BELL, F. – CULSHAW, M.* (2005): Sinkholes and Subsidence. Springer Berlin Heidelberg, 382 p.
- WILLIAMS P. W.* (2004) Dolines. In: Gunn J (ed.), Encyclopedia of Caves and Karst Science, – Fitzroy Dearborn, New York, London, pp. 304–310
- ZHANG, ZHIGAN* (1980): Karst types in China. – GeoJournal 4. 6:541-570.