

## A GIPSZ KARSZTOSODÁSÁT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA

MANTLER MÓNIKA

Audi Hungaria Motor Kft., 9021 Győr, Kardán út 1,  
monika.mantler@audi.hu

*Abstract: The basis of the examinations are the filtration system, developed on dropped gyps plates. I have put the effect to gypsplate of watters – on vich has the environment influence – under observation a. watters with diferent pH, b. watters with difwrwnt temperature, c. watters with different dropping velocity.*

### 1. Bevezetés

A Berzsényi Dániel Főiskolán már korábban is történtek a gipsz karsztosodási folyamatát laboratóriumi körülmények között feltáró vizsgálatok (VERESS M. et. al 1998). Ezek célja a különböző dőlésszögbe beállított gipszlapokon lejátszódó oldódás megfigyelése illetve a kialakult formák vizsgálata és csoportosítása volt, ioncserélt vízzel történő csepegtetés hatására. Leírásra kerültek a főbb formák (kürtök, madáritató, vályú), valamint bemutatásra került a gipsz áramlási rendszere, amely a következő.

- A csepegtetés ideje alatt állandóan vízzel kitöltött zóna.
- A csepegtetés ideje alatt időszakosan vízzel kitöltött zóna.

Amíg az állandóan vízzel kitöltött zónában a csepegtetési időnél hosszabb ideig jelen van a víz (egyes részein a következő csepegtetési időszak kezdetéig is megmarad), addig az időszakosan vízzel kitöltött zónában legfeljebb csak a csepegtetési időtartam végéig (egyes részein lényegesen rövidebb ideig). Az állandóan vízzel telített zónában az oldásra több idő áll rendelkezésre, de a víz gipsszel való telítődése miatt csak a csepegtetési zóna közelében jelentős az oldódás, ugyanis itt még viszonylag "friss" (telítetlen) az oldószer. Az állandóan nedves zóna vizének visszaduzzadásával jön létre az időszakosan telített zóna. A csepegtetési időszak befejeztével innen a víz az állandóan nedves zóna irányába szivárog, miközben feltehetően magával szállítja az oldott gipszet és a mállás után visszamaradt szennyezőanyagot.

Mivel a két csepegtetési időszak között rövid idő telt el, az állandóan nedves zóna kevésbé száradt ki, s így már a következő csepegtetési időszak elején hamar vízzel telítetté vált, s az időlegesen vízzel kitöltött zóna na-

gyobb kiterjedésüre fejlődhet ki. Ezáltal az üregesedés a csepegtetési helyhez viszonyítva a gipszben távolabb is végbemehet. Bár a víz az időszakosan vízzel kitöltött zónában kevesebb ideig tartózkodik, mint az állandóan vízzel kitöltöttben, de ide telítetlen oldószer érkezik, s így ebben a zónában jelentősebb az oldódás, a felszín alatti üregesedés. Az időszakosan nedves zóna vízzel való kitöltődése az állandóan nedves zóna kitöltöttségétől függ, s így közvetve a csepegtetés sebességétől.

A karrosodást gipszen laboratóriumi körülmények között *GLEW, J. R.-FORD, D. C.* (1980) vizsgálták. A gipszlap teljes felszínét 2,6 m magasból, 500 órán keresztül, 35-40 mm/óra intenzitással, szimulátorral esőztették. A kísérlet alatt és után, a kialakult rovátkák (rillek) hosszúságát, szélességét és mélységét mérték. A kísérleti felszínen a rovátkák mélyülését 100 óránként mikrométeres pontossággal mérték, a gipszbe öntött 4 db réztűhöz viszonyítva. A kísérlettel rámutattak a felszín lejtése és a rovátkák hossza közötti összefüggésre.

Munkánk a főiskolán megkezdett vizsgálatok folytatása. A megfigyelések ezúttal nem a dőlésszög, hanem különböző fizikai illetve kémiai jellemzőjű vizek gipszre kifejtett hatására irányultak. A kísérlet során 3 környezeti tényezőt vizsgáltuk. Az első esetben eltérő pH-jú, a másodikban eltérő hőmérsékletű, a harmadikban pedig eltérő intenzitással csepegő vizek hatását tanulmányoztuk.

## 2. A kísérletek körülményei

### 2.1. Vizsgálati módszer

Azonos szögben ( $5^\circ$ ) beállított gipszlapokra történt csepegtetés azonos környezeti tényezők mellett (léghőmérséklet, besugárzás, csepegtetett víz mennyisége). A kísérlethez modellgipszet ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ ) használtunk, ami hőmérsékleti hatásra ( $107-108^\circ\text{C}$  - ra való hevítés) elveszítette kristályvíztartalmának háromnegyedét. A modellgipsz víz hozzáadására formálhatóvá válik, majd ismét szilárd tömeggé merevedik. Ezt a tulajdonságát kihasználva egyforma méretű (37 cm hosszú, 26 cm széles, kb. 4 cm vastag) gipszlapokat alakítottunk ki.

A megmerevedett, megszáradt gipszlapok felületét dörzspapír segítségével csiszoltuk simára. A későbbiekben - a simább felület elérése érdekében - a gipszlapok kialakításakor a még folyékony gipsz felületére üveglapot helyeztünk, melyet a gipsz teljes megszilárdulása után könnyedén el tudtunk távolítani. Az egyenlő méretűre formázott gipszlapokat 3 oldalú fadobozban helyeztünk el. A vizet rázótolcsérből csepegtettük a gipszlap

ugyanazon pontjára. A gipszlapon lefolyt, illetve a gipszlapból kiszivárgó vizet mérőedényekben fogtuk fel. Hogy a gipszlapon átszivárgott vizet a tartódoboz faanyaga ne szívja magába, a gipszlapok alá üveglapot helyeztünk.

A kísérleteket a Széchenyi István Főiskola Környezetvédelmi Tanszékének Kémia laboratóriumában végeztük el. A gipszlapokat az ablaknál levő padokon helyeztük el, de hogy mérsékeljük az egyes napszakokban a közvetlen besugárzás hőmérséklet-módosító hatását, az adott ablakot a vizsgálatok teljes időtartama alatt elsötétítettük.

### 3. Megfigyelések

#### 3.1. Csepegtetés eltérő kémhatású csapadékvizekkel, illetve ioncserélt vízzel

A kísérletet 2 különböző légszennyezettségű helyen (Győr Ipartelepen és Győrtől 40 kilométerre fekvő Tápszentmiklós községben) felfogott csapadékvízzel, illetve ioncserélt vízzel végeztük, amelyeknek az alábbi módon meghatároztuk a pH-ját.

A csapadékvizek és az ioncserélt víz elektromos vezetőképességének meghatározásához Radelkis gyártmányú OK 102 típusú konduktométert használtunk harangelektróddal. A mérés előtt a műszert az előírásnak megfelelően kalibráltuk, majd ismert fajlagos vezetőképességű oldat (0,01 mól/l KCl) segítségével a  $K = \kappa/G$  képlet alapján határoztuk meg a cellaállandót (K).

ahol:  $\kappa$  0,01 mól/l KCl oldat fajlagos vezetőképessége adott hőmérsékleten ( $K_{20}$ ),

G 0,01 mól/l KCl oldat mért vezetőképessége.

I. táblázat  
Table I.

A vizek jellemzői a csepegtetés előtt  
The characteristics of the waters before the dropping

	G Az oldat vezető- képessége [ $\mu\text{S}$ ]	K Cellaállandó [ $\text{cm}^{-1}$ ]	$\kappa_{20}$ Az oldat fajlagos vezetőképessége 20 °C-on. [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	pH
Győrben felfogott esővíz	74	0,958	67,80	5,18
Tápszentmiklóson felfogott esővíz	21,0	0,958	19,2	5,53
Ioncserélt víz	5,70	0,958	5,22	6,11

Megmértük a három minta vezetőképességét, majd a vizek hőmérsékletének figyelembe vételével (f: korrekciós faktor) a  $\kappa_{20} = G \cdot K$  képlet segítségével számoltuk ki az egyes minták 20 °C-ra vonatkoztatott fajlagos vezetőképességét. Ezek után meghatároztuk a vizek pH-ját is (I. táblázat).

A légköri felhő- és csapadékvizek pH-jának meghatározásánál figyelembe kell vennünk, hogy a vízben viszonylag jól oldódó légköri széndioxid miatt az egyensúlyi pH=5,62. Így a légkör vízben oldódó szennyező gázai ezzel a víz-szénsav pufferrendszerrel reagálnak, tovább csökkentve a pH értékét. A kapott pH értékekből látható, hogy a legsavasabb az ipari területről felfogott víz (I. táblázat).

Ezt követően az eltérő, de ismert pH-jú vizekkel csepegtettünk az alábbi módon. Választótölcsér segítségével az első gipszlapra a városi környezetben felfogott, szűrt esővizet, a másodikra a Tápszentmiklósról származó szűrt esővizet, míg a harmadikra ioncserélt vizet csepegtettünk. A csepegtetés a gipszlapnak mindig ugyanazon pontjára történt. A rázótolcsért a kísérlet során olyan állásban rögzítettük, hogy a lehető legközelebb legyen a gipszlaphoz, de ne érintse azt, így a becsapódásból származó mechanikai rombolás nagymértékben lecsökkent. A becsapódás ezért mindig ugyanakora és meglehetősen kis mértékű volt. A kísérlet során 8 alkalommal – minden második napon – 3-3 dl vizet csepegtettünk le a gipszlapokra, viszonylag állandó (49-54 csepp/perc) sebességgel. A csepegtetési időszakok előtt megmértük a vizek, s a helyiség levegőjének hőmérsékletét, illetve a páratartalmat. Az adatokat a II. táblázat tartalmazza.

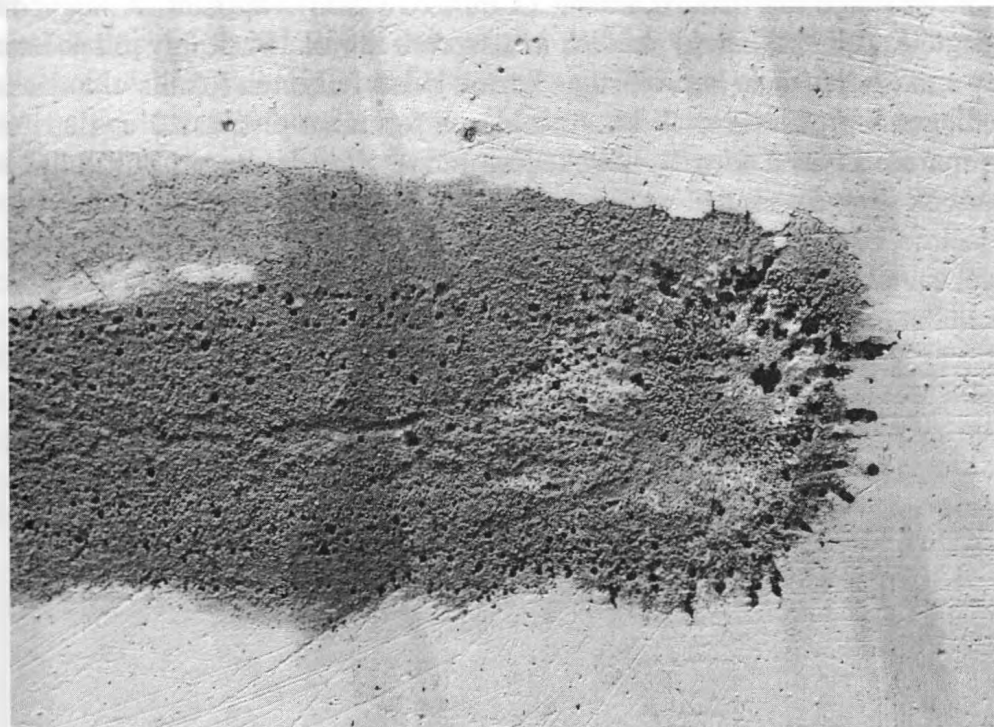
II. táblázat  
Table II.

A csepegtetési kísérlet főbb fizikai jellemzői  
The main physical characteristics of the dropping experiment

Csepegtetési időszak száma/ dátuma	Csepegtetési sebesség csepp/perc			Vizhőmérséklet °C			Lég hőmérséklet °C	Levegő nedvességtartalma
	1.	2.	3.	1.	2.	3.		
1. 2001.05.07.	52	54	51	20,4	20,2	20,5	22	56 %
2. 2001.05.09.	51	53	51	20,6	20,5	20,7	22	51 %
3. 2001.05.11.	52	53	52	20,5	20,7	20,9	23	54 %
4. 2001.05.14.	51	51	49	20,4	20,6	20,5	22	58 %
5. 2001.05.18.	50	50	53	20,6	20,6	20,7	21	50 %
6. 2001.05.21.	50	50	51	20,7	20,9	20,9	22	49 %
7. 2001.05.23.	52	51	52	20,6	20,7	20,8	22	47 %
8. 2001.05.25.	53	50	51	20,9	21,1	21,0	23	49 %
Átlag	51,38	51,5	51,25	20,59	20,66	20,75	22,13	51,75 %

1. Győrben felfogott csapadékvíz, 2. Tápszentmiklóson felfogott csapadékvíz, 3. Ioncserélt víz  
1. Rain collected in Győr, 2. Rain collected in Tápszentmiklós, 3. Distilled water

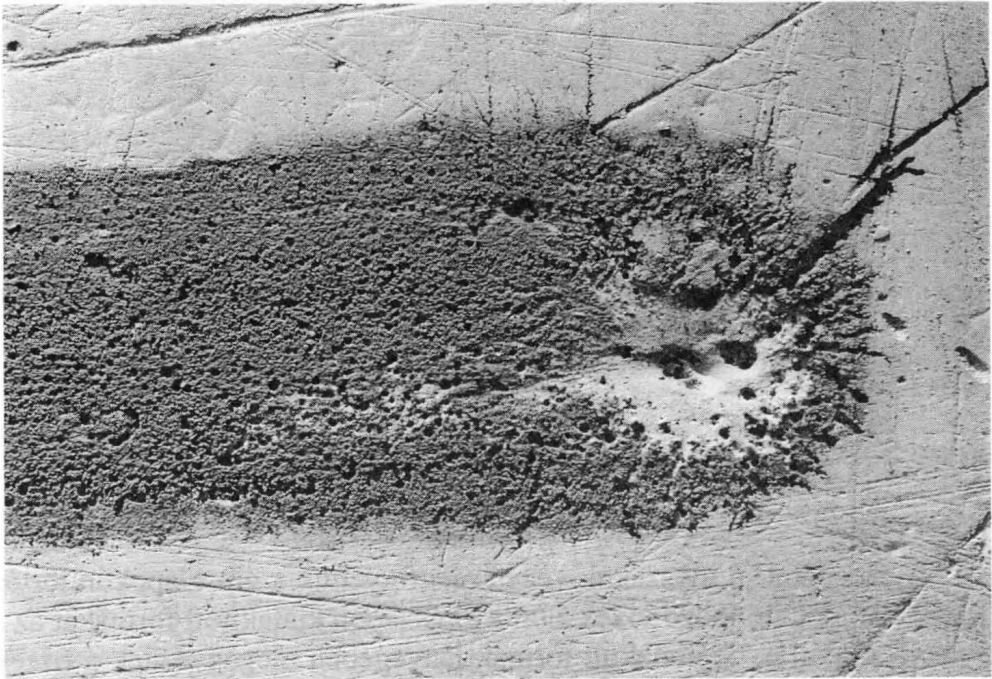
A vizek pH-ját és fajlagos vezetőképességét csepegtetés előtt és után is megmértük, illetve a gipszlapon lefolyt víz kalciumszulfát-tartalmát is meghatároztuk.



1. kép: Ioncserélt vízzel csepegtetett gipszlap  
Picture 1: The gypsum surface which was dropped distillat water

A csepegtetési időszakok végén megfigyeltük a gipszlapokon történt változásokat. A különböző vizek által a gipszlapon kialakított formákat az 1, 2, 3 képek mutatják. A kialakult formák lényegében megegyeznek a BDF-n 1995/96-ban végzett csepegtetés során kialakult formákkal, ezért az erről készült tanulmányban (VERESS M. et. al 1998) kialakított nevezéktant használjuk alább. Azt tapasztaltuk, hogy már az első 3 dl víz lecsepegése jelentős oldó hatással volt a gipszre. A gipsz felületére érkező cseppek azonnal elszivárogtak a gipszben, s apró üregeket un. elsődleges kürtöket alakítva ki. Ezen mikroformák átmérője 0,5 mm-nél kisebb, elhelyezkedésük az esetek döntő többségében szabályosságot nem mutatott. Ez alól kivételt képeztek a felületi karcokban (a felület lecsiszolásából származó egyenetlenség) kialakuló, gyöngyfűzészerűen elhelyezkedő kürtök. A további

csepegtetés hatására az elsődleges kürtők összeoldódásával jöttek létre a másodlagos kürtők, majd utóbbiakból harmadlagos körtők alakultak ki. Az elsődleges kürtők közötti küszöbök roncsai a másodlagos- és harmadlagos kürtők peremét egyenetlenné tették. A másodlagos kürtő átmérője 0,8 mm és 2 mm közötti volt, a mélysége megközelítette az 1 mm-t. A harmadlagos kürtők átmérője tág határok között (2 mm - 16 mm) változott. A negyedik csepegtetési időszakban képződtek az összetett kürtők. Ezek úgy jöttek létre, hogy a másodlagos és harmadlagos kürtők belső felszínén lokális oldódással elsődleges kürtők alakultak ki. Az oldásos formákat elválasztó eredeti térszín maradványai a formák növekedése közben folyamatosan pusztultak, s küszöbök illetve maradék-gerincek maradtak vissza.

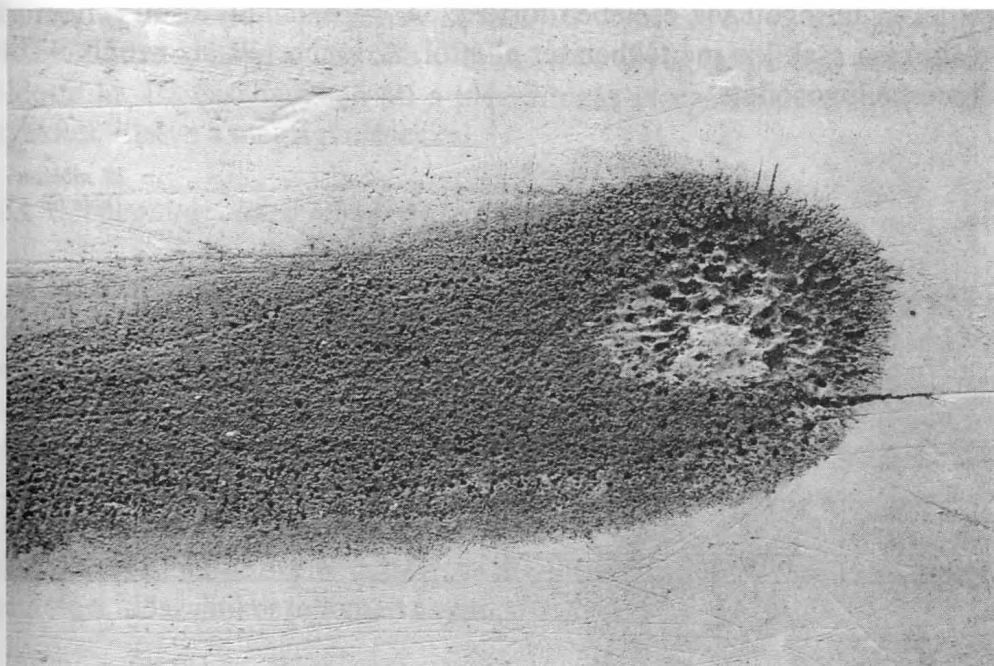


2. kép: Győrben felfogott vízzel csepegtetett gipszlap  
Picture 2: The gypsum surface which was dropped rain collected in Győr

Felszín alatti oldódással kialakuló formák az üregek. Ezek kifejlődési hely szerint lehetnek peremi helyzetűek (a csepegés alatt kialakult medence, vagy madáritató peremén fejlődnek ki, elsődleges kürtőkből), illetve központi helyzetűek (a medence alatt kifejlődő üregek). A medence peremén fejlődő üregek vertikális és horizontális növekedésük következtében

megközelítik a felszínt, s a gipsz az üreg felett elveszti az alátámasztását. Az így felnyílt forma a szakadéktöbör.

Az eltérő kémhatású vizekkel történő csepegtetési vízadagolás hatására a gipszlapokon az egyes formák különböző időben alakultak ki, illetve fejlődtek tovább. Az ioncserélt vízzel csepegtetett gipszlap felszínén több elsődleges kürtő, illetve ezek összeoldódásából létrejövő másodlagos, illetve harmadlagos kürtő található. Küszöbök, maradékgerincek sokasága teszi változatossá a felszínt. Kevesebb a szakadéktöbör, a legnagyobb összetett töbör, a madáritató (ahová a csepp érkezik) kisebb mélységű. Mindez jelentős felszíni oldásra utal. A legtöbb omlás, a legmélyebb madáritató a Győr területén felfogott vízzel csepegtetett gipszlapon figyelhető meg. Ezen a gipszlapon több alkalommal észleltünk a csepegtetés ideje alatt omlást, s ezáltal központi üregek feltáródását. A madáritató területén csak kevés lokális oldódással kialakuló másodlagos, illetve harmadlagos kürtő található. Mindebből a felszíni oldódás kisebb szerepére következtethetünk. Ennek egyik lehetséges magyarázata lehet az, hogy a savasabb kémhatású folyadék gipsszel való érintkezésekor nem csupán disszociáció történik, hanem lejátszódik egy olyan kémiai folyamat is, amely reakció ideje hosszabb. Emiatt oldás és így üregesedés a gipsz felszíne alatt történik.



3. kép: Tápszentmiklóson felfogott vízzel csepegtetett gipszlap  
Picture 3: The gypsum surface which was dropped rain collected in Győr

A tápszentmiklósi esővízzel csepegtetett gipszlapon a nagyobb mértékű felszíni lokális oldást jelzi a nagy mennyiségű elsődleges kűrtő. Ezek összeoldódása hosszabb időt vett igénybe.

A fentebb leírtak arra utalnak, hogy eltérő folyamatok játszódtak le a három gipszlap esetében. Mivel a vizek minőségén (pH, szennyezettség) kívül a környezeti feltételek illetve a felhasznált gipsztípus (modellgipsz) azonos volt, valószínű, hogy a savasabb víz hatására (ipari területről felfogott csapadékkal csepegtetett gipszlap) a gipszen más és nagyobb oldódásos formák képződnek, mint a kevésbé savas víz hatására.

### 3.2. A csepegtetett víz néhány fizikai jellemzőjének változása víz-gipsz kölcsönhatást követően

A kísérlet során mértük a gipszből kilépő víz fizikai jellemzőit, a csepegtetett vizek hőmérsékletét és a csepegtetés intenzitását. Alább e mérések eredményét mutatjuk be.

A gipszlap felszínén lefolyt illetve a gipszlapból kiszivárgott vizet felfogtuk, s a kísérlet végén megmértük az elektromos vezetőképességét, a pH-ját illetve az összes keménységét. A vizsgálatok során az alábbi eredményeket kaptuk. A III. táblázatból kitűnik, hogy a legnagyobb pH-változás az iparvidéken felfogott víz esetében történt. A Tápszentmiklóson felvett víz pH-változása csak kis mértékben tér el ettől, az ioncserélt víz azonban sokkal kevésbé lúgosodott.

III. táblázat  
Table III.

A vizek jellemzői a csepegtetés után  
The characteristics of the waters after dropping

	K Cella-állandó [cm <sup>-1</sup> ]	G Az oldat vezető-képessége [μS]	K <sub>20</sub> Az oldat fajlagos vezető-képessége 20 °C-on. [μS/cm]	pH	
				Csepegtetés után	Csepegtetés előtt
Győrben felfogott esővíz	0,958	1850	17,502	6,65	5,18
Tápszentmiklóson felfogott esővíz	0,958	2130	20,20	6,85	5,53
Ioncserélt víz	0,958	1840	17,42	6,55	6,11

*A CaSO<sub>4</sub> tartalom meghatározására végzett titrálás jellemző adatai*  
*Characteristics of the titration process for conducting the CaSO<sub>4</sub> content*

	Győrben felfogott csapadékvíz	Tápszentmiklóson felfogott csapadékvíz	loncserélt víz
Bemért minta mennyisége	100 ml	100 ml	20 ml
Fogyott EDTA mennyisége 1. alkalommal	126,4 ml	118 ml	20,15 ml
Fogyott EDTA mennyisége 2. alkalommal	126,6 ml	118 ml	20,28 ml
Fogyott EDTA mennyisége átlag	126,5 ml	118 ml	20,2 ml
CaSO <sub>4</sub> tartalom	1715,49 mg/l	1606 mg/l	1375,12 mg/l

A pH változás mértéke a kioldott CaSO<sub>4</sub> mennyiségével hozható összefüggésbe. A vizek összes keménységét titrálás útján kaptuk meg, s ebből számoltuk a kalcium tartalmat. A titrálási adatokat a *IV. táblázat* foglalja össze. Látható, hogy a legtöbb CaSO<sub>4</sub> –ot a Győr területéről származó víz oldotta ki. Ez összhangban áll a pH-változás vizsgálatokor kapott eredményekkel, illetve a megfigyelésekkel.

### *3.3. Csepegtetés eltérő hőmérsékletű vizekkel*

A vizsgálathoz a Győr területén felfogott csapadékvizet használtunk. Összehasonlításként az első kísérlet eredményeit vettük. Ott a vizek hőmérséklete az egyes csepegtetési időszakban 20,4 – 20,9 °C illetve 20,5 –21 °C közé esett. Mivel elegendően kicsi a szórás, nem követünk el nagy pontatlanságot, ha mindkét víz hőmérsékletét 20,6 °C – nak tekintjük. Először 25°C-os, majd 30 °C-os vizekkel csepegtettünk, 8-8 alkalommal, alkalmanként 5-5 dl vízzel. A gipszlapokat most is 5°-os szögben döntöttük meg, s rázótolcsér elhelyezése is megegyezett az első kísérletnél leírtakkal. A csepegtetési időszakokat jellemző adatokat a *V.táblázat* tartalmazza.

V. táblázat  
Table V.

Az eltérő hőmérsékletű vizekkel történt csepegtetésre vonatkozó adatok  
Dropping data of waters of the different temperature

Csepegtetési időszak száma/ dátuma 2001 A / B	Csepegtetési sebesség csepp/perc				Léghőmérséklet °C		Levegő nedvesség-tartalma (%)	
	A		B		A	B	A	B
	I.	II.	I.	II.				
1. 10.01./10.15.	52	51	51	50	22	23	45	49
2. 10.02./10.16.	52	52	50	51	21	22	49	49
3. 10.03./10.17.	51	52	51	50	22	23	47	48
4. 10.04./10.18.	52	51	51	52	23	23	52	49
5. 10.05./10.19.	51	50	52	51	23	22	52	47
6. 10.08./10.24.	50	50	51	51	22	22	54	52
7. 10.09./10.25.	50	51	51	52	22	23	53	53
8. 10.10./10.26.	50	50	52	51	21	23	51	51
Átlag	51	50,875	51,125	51	22	22,625	50,37	49,75

A – 25 °C-os vizek csepegtetése; B – 30 °C-os vizek csepegtetése. I: Csapadékvíz; II: Ioncserélt víz  
A: water dropping at 25 °C; B: water dropping at 30 °C I: rain water, II: distillat water

A gipszlap felszínén lefolyt illetve a gipszlapból kiszivárgott vizet felfogtuk, s a kísérlet végén megmértük az összkeménységét (VI. táblázat).

VI. táblázat  
Table VI.

Különböző vizek CaSO<sub>4</sub> tartalma (titrálással)  
CaSO<sub>4</sub> contain of the different waters (with titrisational process)

	Csapadékvíz		Ioncserélt víz	
	25 °C -os	30 °C -os	25 °C -os	30 °C -os
Bemért minta mennyisége	20 ml	20 ml	20 ml	20 ml
Fogyott EDTA mennyisége 1. alkalommal	26,5 ml	33,5 ml	21 ml	23,3 ml
Fogyott EDTA mennyisége 2. alkalommal	26,29 ml	32,4 ml	21 ml	23 ml
Fogyott EDTA mennyisége átlag	26,4 ml	33 ml	21 ml	23,15 ml
CaSO <sub>4</sub> tartalom	1797 mg/l	2246 mg/l	1429,58 mg/l	1575,93 mg/l

Az átlagosan 20,6 °C hőmérsékletű vizek kioldott gipsztartalma az ioncserélt víz esetében 1375,15 mg/l, míg csapadékvíznél 1715,49 mg. Ha megnézzük, milyen arányban nő a gipsz kioldása a hőmérséklet emelkedésével, a következőket tapasztaljuk. Látható hogy a magasabb hőmérsékleti tartományban a vízhőmérséklet növelésével nagyobb arányú a CaSO<sub>4</sub> kioldás, mint ugyanilyen hőmérséklet-változáskor (≈5°C-os emelkedés) egy alacsonyabb hőmérsékleti tartományban (VII. táblázat). Emellett az arány a hőmérséklet emelésével a csapadékvízben jobban nő, mint az ioncserélt vízben. Ennek oka a több, az oldást felgyorsító tényező együttes jelenléte, komplex hatása lehet.

VII. táblázat  
Table VII.

*A kioldott CaSO<sub>4</sub> – tartalom a hőmérséklet függvényében  
The dissolutorial CaSO<sub>4</sub> contain int he function of tetmperature*

Víz hőmérséklet	Ioncserélt víz			Csapadékvíz			
	20,6 °C	25 °C	30 °C	20,6 °C	25 °C	30 °C	
Kioldott CaSO <sub>4</sub> tartalom (mg/l)	1375,15	1429,58	1575,93	1715,49	1797	2246	
Kioldott CaSO <sub>4</sub> aránya 20,6 °C : 25 °C és 25 °C : 30 °C	1 : 1,04		1 : 1,1		1 : 1,05		1 : 1,25
	20,6 °C : 25 °C : 30 °C			1 : 1,04 : 1,15		1 : 1,05 : 1,31	

JAKUCS L. (1971) adatai szerint a különböző hőmérsékletű vizek az alábbi CaSO<sub>4</sub> tartalommal rendelkeznek.

18 °C –os tiszta (desztillált) vízben 2,550 g/l ,

25 °C –os tiszta (desztillált) vízben 2,637 g/l ,

30 °C –os tiszta (desztillált) vízben 2,650 g/l.

Adataink és az általa megadott értékek eltéréseinek okai az alábbiak lehetnek.

- eltérő vizsgálati módszerek,
- különböző minőségű gipsz,
- nem azonos pH-jú vizek.

Kísérleteink szerint a nagyobb hőmérsékletű csapadékvíz több gipszet képes oldani, mint az ugyanilyen hőmérsékletűre növelt ioncserélt víz.

### 3.3. Csepegtetés eltérő intenzitással

A gipszlapokra eltérő csepp/perc sebességgel, tehát eltérő intenzitással, csepegtetési időszakonként 5 dl ioncserélt vizet csepegtettünk.

A könnyebb összehasonlítás érdekében a csepegtetési sebességeket úgy állítottuk be, hogy az első gipszlapra hulló csepp/perc sebességnek egész számú többszöröse legyenek (A csepegtetések jellemzőit a VIII. táblázat tartalmazza.)

VIII. táblázat  
Table VIII.

Csepegtetési sebességek  
Dropping velocity (dropp/minute)

Csepegtetési időszak Szám/ dátuma	Csepegtetési sebesség csepp/perc			Vizhőmérséklet °C			Lég hőmérséklet °C	Levegő nedves- ség- tartalma
	1.	2.	3.	1.	2.	3.		
1. 2001.11.07.	25	51	75	20,4	20,5	20,5	23	58 %
2. 2001.11.09.	24	50	75	20,2	20,2	20,3	22	54 %
3. 2001.11.12.	24	50	75	20,2	20,3	20,3	23	54 %
4. 2001.11.14.	25	50	74	20,1	20,3	20,2	21	57 %
5. 2001.11.16.	26	50	75	20,3	20,2	20,2	21	55 %
6. 2001.11.19.	24	51	75	20,4	20,4	20,3	22	57 %
7. 2001.11.21.	25	51	76	20,3	20,4	20,3	22	54 %
8. 2001.11.23.	26	50	75	20,3	21,3	21,2	22	52 %
Atlag	24,75	50,36	75	20,26	20,45	20,41	22	55 %

Valószínű, hogy az azonos cseppmérettel, de eltérő sebességgel csepegtetett vizek nem azonos módon lépnek kapcsolatba a gipszlapal. Ezért megadtuk a csepegtetési intenzitást (Az intenzitás azt a csapadékmennyiséget fejezi ki mm-ben, amennyi 1 m<sup>2</sup> felületen gyűlne össze adott idő alatt, ha nem lenne elszivárgás.). Az intenzitás mértékét az egyes esetekben a IX. táblázat adja meg.

IX. táblázat  
Table IX.

Az eltérő cseppsebességnél fellépő intenzitás adatok  
Intensity data at different dropping velocity

Csepegtetési sebesség (csepp/perc)	25	50	75
Lefolyt vízmennyiség (ml)	500	500	500
Csepegtetési időszak időtartama (min.)	167	83	56
Csepegtetett vízmennyiség (ml/óra)	179,6	361,4	535,7
Intenzitás (mm/óra)	0,3	0,5	0,8

Minden csepegtetési időszak után megvizsgáltuk a gipszlapok felszínén kialakult formákat, s az alábbiak állapíthatók meg:

a. Az első csepegtetési időszak alatt felszíni lefolyás csak a 75 csepp/perc sebességgel csepegő víz esetén következett be, de a gipszlapon ekkor még nem folyt végig a víz. Annál a gipszlapnál, ahol a leglassúbb csepegtetés történt, a felszíni lefolyás csak az utolsó csepegtetési időszakban indult meg, de a víz néhány centiméternyi felszíni lefolyást követően elszivárgott.

b. Azon a ponton, ahol a vízcsepp a gipsz felszínére ért, az 1995/96-os kísérletben leírt madáritató alakult ki. Ennek létrejöttében a csepperózió, a felszíni és felszín alatti oldás, s az omlás, beszakadás játszott szerepet. A madáritató mérete és jellemzői a különböző cseppsebességnél eltérően alakulnak. A 25 csepp/perc sebességgel csepegő víz a gipszen közel szabályos kör alaprajzú, zárt mélyedéshez hasonló madáritatót hozott létre. Ebben a mélyedésben, amikor a gipsz már vízzel kitöltődött, víz halmozódik fel, tó alakul ki. A „tó” a legnagyobb sebességű csepegtetésnél alakult ki legelőször.

c. A madáritató környezetében a gipszen a formák kifejlődése függ a csepegtetési sebességtől. A gyors csepegés esetén a gipszen kialakult madáritató rövid idő alatt feltöltődött vízzel. A tó vizére hulló vízcseppek szétfröccsenve a madáritató peremén túl hullottak a gipsz felszínére. A szétfröccsent friss (még gipsszel nem telítődött) oldószer lokális oldódással nagyszámú elsődleges kürtöt alakított ki. A további csepegtetések alkalmával ezek már összeoldódtak, illetve összetett formákat hoztak létre. A negyedik csepegtetési időszak alkalmával észleltük először, hogy szürke színű mállási maradék (a gipsz szennyező anyagai) halmozódott fel a madáritató alján. A mállási maradék is részben hozzájárulhatott, hogy a víz a továbbiakban kevésbé volt képes elszivárogni a gipszben. A mélyedést részlegesen kitöltve akadályozta annak továbbfejlődését. A mállási maradék egyrészt a madáritató peremén kialakult felszín alatti üregekben keletkezhetett, s a csepegtetés befejezése után, az időszakosan vízzel kitöltött zónából lehúzó víz halmozta át a madáritató talpára. Másrészt helyi eredetű, a madáritató kioldott anyagának maradéka. Mivel a víz (az említett okok miatt) elszivárogni már kevésbé volt képes, a madáritató peremén túlcordult.

d. A csepegtetés alatt ugyancsak kialakult az összetett karrvályú, ami az eredeti térszíntől átlagosan 1mm-el mélyebb, s a kísérlet során folyamatosan nőtt. E forma a három gipszlapnál eltérő mértékben fejlődött ki ( legkevésbé a legkisebb cseppsebességnél).

## 4. Összefoglalás

Vizsgálataink szerint a gipsz oldódási intenzitása nő, ha csökken a víz pH-ja, nő a hőmérséklete, valamint a csepegtetés intenzitása (természetes körülmények között az esőzés intenzívebb.)

Az első kísérlet során azt tapasztaltuk, hogy a vizek savassága hatással van a kioldott gipsz mennyiségére. Jelentősebb volt a különbség az ioncserélt víz és a tápszentmiklósi felfogott csapadékvíz gipszkioldó képessége között, mint a két csapadékvíz között. Az egyes vizek csepegtetés előtt illetve után mért pH értékének a változása is összhangban volt az oldóképességgel. Az eltérő pH-jú vizek eltérő formákat hoztak létre a gipszlap felszínén illetve a felszín alatt. Ebből arra következtethetünk, hogy a gipsz oldódása során nem csupán ionokra történő disszociáció játszódik le, hanem más folyamatok is.

Az eltérő intenzitással csepegtetett vizek esetén a gipsz lepusztításában eltérő arányú a volt az oldás és az erózió szerepe. Megbízható, pontos eredményt adó mérést erre vonatkozóan nem végeztünk, de a gipszen kialakult formák, a mállási maradék elhelyezkedése, s a lefolyt vizek gipsztartalma arra engedett következtetni, hogy a nagyobb intenzitás esetén a nagyobb mértékű eróziós hatás mellett jelentősebb az oldás is. Ez azzal magyarázható, hogy a csepegtetési központban a víz nem képes olyan gyorsan elszivárogni, mint ahogy érkezik, ezért megindul a tóképződés, majd a friss, reakcióképes víz áramlása a gipszfelszínen. A gipszfelszínt nem borítja mállási maradék, így a víz beszivárgását ez nem akadályozza. A legkisebb intenzitással csepegtetett gipszlapon a víz nagy része csepegtetési központban szivárgott el, amit a 7.-8. csepegtetési időszakban már az oldódásból visszamaradt szennyezők részben eltömítettek, nehezítve ezzel a helyi felszíni oldást. (Ekkor indult meg a felszíni lefolyás.)

Az eltérő hőmérsékletű vizekkel történt csepegtetés esetén magasabb hőmérsékletű víz több gipsz kioldására képes. A gipszkioldó képesség a hőmérséklet emelkedésével nagyobb mértékben nő csapadékvíznél, mint az ioncserélt víz esetében.

## IRODALOM

*HORVÁTH L.* (1986): Savas eső. - Gondolat Kiadó, Budapest

*JAKUCS L.* (1971): A karsztok morfogenetikája. - Akadémia Kiadó, Budapest

*GLEW, J. R.-FORD, D. C.* (1980): A simulation study of the development of rillenkarren. - Earth Surface Processes, 5. p. 25-36.

- MÉSZÁROS E.* (1977): A levegőkémia alapjai. - Akadémia Kiadó, Budapest
- REUTER* (1972): Die antrophogen-geodynamischen Prozesse aus der Sicht der Geotechnik; Z. angew. Geol. 18.
- REUTER-MOLEK-KOCKERT* (1977): Einführung in die Ingenieurgeologie des Salz und Gipskarstes, Bergakademie Freiberg; Sektion Geotechnik und Bergbau
- VERESS M.-PIDL K.-MANTLER M.* (1998): A gipsz karsztosodásának modellezése laboratóriumi körülmények között – BDF Tud. Közl. XI. Természettud. 6., Szombathely, p. 147-166.
- VÖLKER, C.-VÖLKER, R.* (1987): Ponore des Südhazes – Karstmuzeum Heimkehle