

**Fedett karsztosodás vizsgálata laboratóriumi körülmények között**

Nyugat-magyarországi Egyetem Savaria Egyetemi Központ Természettudományi és Műszaki  
Kar Természetföldrajzi Tanszék

**Gárdonyi István** földrajz Bsc. 3. évfolyam; Témavezetője: **Prof. Dr. Veress Márton**  
tanszékvezető egyetemi tanár

**Szemes Mátyás** földrajz Bsc. 3. évfolyam; Témavezetője: **dr. Deák György** nyugalmazott  
főiskolai docens

Lezárás dátuma: 2015.01.05.

## **Tartalomjegyzék**

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.Célkitűzés</b>                                        | <b>4</b>  |
| <b>2.Bevezetés</b>                                         | <b>4</b>  |
| <b>3.Módszerek</b>                                         | <b>8</b>  |
| <b>3.1. Fedő vizsgálatok</b>                               | <b>8</b>  |
| <b>3.1.1. A fedőüledék előkészítése</b>                    | <b>8</b>  |
| <b>3.1.2. A fedő fizikai tulajdonságainak vizsgálata</b>   | <b>9</b>  |
| <b>3.1.2.1. A sűrűség meghatározása</b>                    | <b>9</b>  |
| <b>3.1.2.2. Összes hézagterfogat meghatározása</b>         | <b>9</b>  |
| <b>3.1.2.3. Vízemelő képesség meghatározása</b>            | <b>9</b>  |
| <b>3.1.2.4. Vízáteresztő képesség vizsgálata</b>           | <b>10</b> |
| <b>3.1.2.5. Vízátemelő képesség vizsgálata</b>             | <b>10</b> |
| <b>3.2.Oldatási vizsgálat a fedett karsztos modellen</b>   | <b>10</b> |
| <b>4. Kiértékelés</b>                                      | <b>12</b> |
| <b>4.1. Formák</b>                                         | <b>12</b> |
| <b>4.1.1. A fedőn kialakult formák</b>                     | <b>12</b> |
| <b>4.1.2. A fekűn kialakult formák</b>                     | <b>14</b> |
| <b>4.2. A különböző gipsztáblákon folytatott oldatások</b> | <b>17</b> |
| <b>4.3. Vízmozgás a fedőben</b>                            | <b>23</b> |
| <b>4.3.1. Sűrűség meghatározása</b>                        | <b>23</b> |
| <b>4.3.2. Hézagterfogat meghatározása</b>                  | <b>24</b> |
| <b>4.3.3. Vízemelő képesség</b>                            | <b>25</b> |
| <b>4.3.4. Vízáteresztő képesség</b>                        | <b>26</b> |

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3.5. Vízátelölő képesség.....                                                                                | 27 |
| 4.4. Formaképződesi folyamatok a fedőben.....                                                                  | 28 |
| 4.4.1. Szuffúzió.....                                                                                          | 28 |
| 4.4.2. Hézagterfogat növekedés.....                                                                            | 28 |
| 4.4.3. Tömegmozgások.....                                                                                      | 29 |
| 4.4.4. Tömörödes.....                                                                                          | 29 |
| 4.4.5. Pluviális erózió.....                                                                                   | 29 |
| 4.5. Oldódás a fekűn.....                                                                                      | 30 |
| 4.5.1. Folytonos oldódás.....                                                                                  | 32 |
| 4.5.2. Vonalas oldódás.....                                                                                    | 33 |
| 4.5.3. Lokális oldódás.....                                                                                    | 33 |
| 4.6. Formaképződes a fedőn.....                                                                                | 34 |
| 4.6.1. Formaképződes a fedőn 1 cm-es vastagságú fedőn.....                                                     | 34 |
| 4.6.2. A fedő formaképződes 5 cm-es fedővastagságnál.....                                                      | 36 |
| 5. A kísérleti modellek fedettkarsztosodásának és a természetes fedettkarsztosodásnak az összehasonlítása..... | 36 |
| 6. Következtetések.....                                                                                        | 37 |

## 1.Célkitűzés

Vizsgálataink során a rejtett karszt (a karszt fedője vízáteresztő) karsztosodását modell kísérletekkel tanulmányoztuk. Azért, hogy a szuffúziós- és az átöröklődéses töbröknek egyrészt a kialakulási folyamatát feltárjuk, másrészt adatokat kapjunk, hogy a kialakulás folyamatát a fedő különböző paraméterei (a fedő vastagsága, szemcsemérete), a fekvő dőlése, a vízbevezetés jellege hogyan befolyásolják.

Vizsgálatainkhoz olyan modellt kellett létrehoznunk, mely lényegi működésében azonos a természetben lejátszódó jelenséggel (esetünkben a fedett karsztosodással), tehát analóg módon viselkedik (Szűcs 1972). A modell készítése során szükséges a vizsgált jelenséget, amely számos folyamat eredője egyszerűsíteni. Ennek során egyes tényezőktől eltekintünk. Így amikor fedett karsztos folyamatokat vizsgálunk nem építjük be a modellbe a biológiai folyamatokat, vagy a nem karsztos hatásokat. Ezzel analóg modellt állítunk elő. Az általunk létrehozott modellbe két tényezőt építettünk be, ill. alkalmaztunk: a fedőt és a vízadagolást. Az előző a fedett karsztot, az utóbbi a karszton végbemenő oldódást szimulálja. Ezáltal a modellünkkel a fedett karsztosodást modelleztük.

## 2.Bevezetés

A karszt formái és folyamatai nagymértékben függenek a karszton és a környezetében jelenlévő nem karsztos kőzetektől. A karszt osztályozásánál a nem karsztos kőzetek hiányát vagy jelenlétét már Cvijič (1925) is figyelembe vette. A nem karsztos kőzetek szerepe a karszt tipizálásánál azonban Jakucsnál (1968, 1971) kapott fontos szerepet. Jakucs (1971) elkülönített autogén és allogén karsztot. Az autogén karszt vizet csak a területére hullott csapadékból kap, fedője talaj, esetleg oldódási maradék. Az autogén karszt formái az oldódásos töbrök és ezek összeoldódásával létrejött uvalák. Az allogén karszt miután a karszt irányába dőlő nem karsztos kőzetből felépülő térszín határolja környezetéből is kap vizet. Az ilyen karszton a karsztos és nem karsztos kőzet határán víznyelők alakulnak ki. A víznyelőkhöz vezető völgyek vakvölgyekké alakulnak. Az allogén karsztot Gams (1994) kontakt karsztnak nevezi.

A magyarországi karsztos irodalomban uralkodó vélemények szerint (Jakucs 1968, 1971, Hevesi 1980) az autogén karszt a karsztot elfedő nem karsztos kőzet elborításból fejlődik ki. Ilyenkor a nem karsztos kőzetfelszíneken kialakult vízfolyások átöröklődött völgyeket hoznak létre, amelyek talpán víznyelők jönnek létre. A víznyelőhely hátrálásával az

egykori víznyelők közül többször képződnek (Jakucs 1971, Hevesi 1978). A karszt részleges lepusztulása során fedett és fedetlen térszínekre különül, amelyet kevert karsztnak neveznek (Ford-Williams 2007).

A víznyelők kialakulhatnak azonban a karszt belsejében is. Karsztbelseji víznyelők a karszt paleokarsztos mélyedéseit borító fedő (kitöltő üledék foltjainál) elvégződésénél is létrejöhetnek (Veress 2010, Veress-Zentai 2009), de a fedett karszt átöröklődéses völgyeinek talpán (Jakucs 1956, Hevesi 1978), valamint a karsztos szigethegyek lábánál (Willford-Wall 1965, Balázs 1984) is.

A karsztot fedő üledékek figyelembevételével Gvozdetzkiy (1965) elkülönített csupasz karsztot, fedett karsztot, „soil-covered karst”-ot és „buried karst”-ot. A csupasz karszton még talaj sincs (legfeljebb foltokban). Csupasz karsztok a talajukat veszített karsztok. A talajvesztés bekövetkezhet természetes okok (jégerózió), vagy emberi tevékenység során. A „soil-covered karst”-ok talajjal, vagy oldódási maradékkal (tehát helyben keletkezett üledékekkel) fedett karsztok. A fedett karszt fedője lehet bármilyen, a nem karsztról származó, nem karsztos kőzet. A „buried karst”-on a karsztos kőzet nem karsztos kőzettel olyan mértékben elfedett, hogy a fedő felszínen nem képződnek karsztos formák. A buried karsztot nem tekintik karsztnak.

Quinlan (1967) a fedett karsztoknak az alábbi változatait különítette el.

- „Subsoil karst”, ahol a fedő mállási maradék, amely lehet helyben keletkezett, vagy odaszállított.
- „Mantled karst”, ahol a fedő a karsztra szállított konszolidált, vagy nem konszolidált nem karsztos kőzet, de a karszt idősebb, mint a fedője.
- „Buried karst”, ahol a fedő ugyancsak a karsztra szállított. A karszt idősebb, mint a fedője és a terület nem része a karsztos tájnak.
- „Interstratal karst”, ahol a fedő ugyancsak a karsztra szállított, de a karszt fiatalabb, mint a fedője.
- „Subaqueous karst”, ahol a karszt megsüllyedt, miáltal tengerborítás alá került.

A fedett karsztok a fedő jellege szerint lehetnek eltemetett karsztok, amikor a fedő vízzáró és lehetnek rejtett karsztok, amikor a fedő vízáteresztő (Hevesi 1986, Veress 2004).

Az eltemetett karsztok karsztos kőzetei gyakran evaporitok. Ekkor vízáradás a felszínről a fedőn keresztül, ha az vízzáró, a karsztba nincs, vagy ha igen, lokálisan a fedő töréseinél, vetőinél. A gipsz és a kősó oldódása a talajvíz cirkulációjának a hatására történik (Klimchouk 2004). A gipsz és a kősó felett breccsa csövek alakulnak ki (Waltham et al. 2005, Ford-Williams 2007). A breccsacsövek felső részükön vakon elvégződő formák, amelyek omladozással felfelé, a felszín irányába fejlődnek (Waltham et al. 2005).

Eltemetett karszton, ha a fedő konszolidált, vízzáró kőzet, átöröklődött töbrök alakulnak ki (1. ábra). E formák kialakulhatnak karbonátos kőzetek barlangjai felett, vagy breccsacsövek felett (Waltham et al. 2005). A breccsacsövek elsősorban evaporitokban, ill. ezek felett jönnek létre (Andrejchuk 2002, Lu-Cooper 1997, Johnson et al. 2003), míg karbonátos kőzetek esetében paleokarsztos üregek felett (Wenrich-Sutphin 1994, Hose-Strong 1981). Az átöröklődéses töbrök abban különböznek a szakadéktöbröktől, hogy utóbbiak a karsztos kőzetben alakulnak ki, míg előzőek kialakulása során a feké omladozása átöröklődik a fedő nem karsztos kőzetére is. Az átöröklődéses töbrök morfológiája viszont megegyezik a szakadék töbrök morfológiájával (oldalfal meredek, esetleg függőleges, az aljzaton omlási halom van).

Rejtett karszton a vízáradás akadálytalan és folytonos. Számos vizsgálat és tanulmány adatai szerint azonban a fedő formaképződését és így valószínűleg a feké karsztosodását is nagymértékben meghatározza, alakítja a fedő. A fedőn a töbör kialakulás függ a fedő típusától, szerkezetétől (Lei et al. 2001), míg a töbör sűrűség a fedővastagságtól (Yuan 1987, Chen 1988, Beggs-Ruth 1984). A fenti munkák szerint minél vékonyabb a fedő, annál nagyobb a töbör sűrűség. A töbrök 85 %-a 10 m-nél kisebb vastagságú fedőn fejlődik ki (Yuan 1987). 70 m-nél vastagabb fedőn töbrök már kis sűrűségben, esetleg magányosan fordulnak elő (Xiang et al. 1988, Arrington-Lindquist 1987). A töbör kialakulásra hatással van a feké morfológiája is. Veress (2009) szerint a töbrök a fedő lokális kivékonyodásainál jönnek létre, ezek a feké magaslatainál lesznek, valamint a völgyek talpán, ahol a fedő a lepusztulása miatt kivékonyodik.

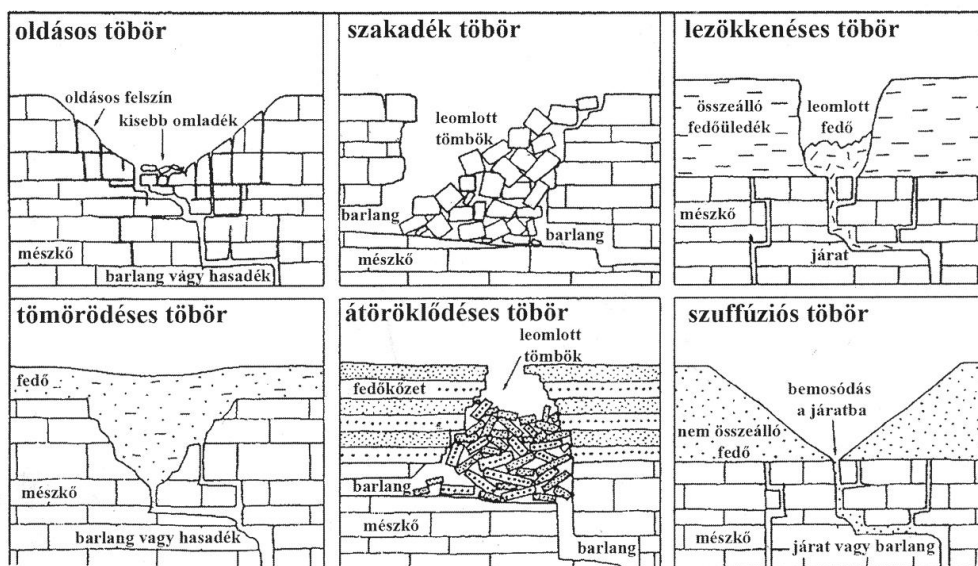
A rejtett karszton alakulnak ki a fedett karrok és a különböző töbrök. Fedő alatti karrformák a karrüreges és csövek (Slabe-Liu 2009, Zseni 2009), a pinnaclék (Ford-Williams 2007), a vályúk (Song 1986, Slabe-Liu 2009) a kürtök (Slabe 2009), a hasadékkarrok (Trudgill 1985), a színlők (Slabe-Liu 2009, Zseni 2004, 2009), a kagylók (Jennings 1985, Slabe-Liu 2009). A fedett karrok Slabe-Liu (2009) csoportosítása szerint kialakulhatnak a

fedő alatt, vagy a fedő elvégződésénél. A fedő alatti karrok létrejöhetnek a fedőn átszivárgó víz, az áramló víz hatására, továbbá vízelborítás alatt. A kürtők *Slabe* (2009) szerint agyagos fedő alatt képződnek. A vályúk a fedő és a fekü között áramló víz által alakulnak ki (*Song* 1986, *Slabe* 2009), de kialakulhatnak ideiglenes vízelborítás szintje alatt is (*Slabe-Liu* 2009). A karrüreg a kőzet gyengeségi zónái menti (*Slabe* 1999, *Zseni* 2009) oldóhatásra jönnek létre (*Trudgill* 1985). A színlők létrejöhetnek a kibukkanó karsztosodó kőzetet határoló fedő elborítás szintjénél, de az időleges vízelborítás szintje alatt is (*Slabe-Liu* 2009).

Az utánsüllyedéssel töbrök átöröklődéssel alakulnak ki. Az átöröklődés akkor mehet végbe, ha a fekün nagyobb méretű karsztos járatok, aknák képződnek. Ekkor a fedő a karszt járataiba, aknáiba szállítódik (*Cramer* 1941, *Clayton* 1966, *Veress* 2009). Az elszállítás főleg szuffózióval történhet, amikor a fedő nem összeálló (homok, lösz). Ekkor a fedő a szuffóziót követően tömörödik, amit a felszín süllyedése követ (*Williams* 2004, *Waltham et al.* 2005). A fedő süllyedésével jönnek létre a szuffóziós töbrök (*1. ábra*). E formák lankás oldalúak és gyakran a fedőben járatuk is kifejlődik. Méreteik nem érik el a nagyméretű oldódásos töbrök méretét, sűrűségük azonban igen. Emiatt (kisméret, nagy sűrűség) számuk egy-egy karsztterületen, különösen glaciokarsztokon (*Waltham et al.* 2005, *Veress* 2012) igen nagy lehet.

Összeálló kőzeten (agyag) lezökkenéssel töbrök képződnek (*1. ábra*). E formák omlással alakulnak ki, hasonlóan az átöröklődéssel töbrökhöz. Az omlással kialakuló depresszió meredek, közel függőleges oldalú. Az omlás létrejöhet azért, mert a fedőben a kőzet nagyobb szilárdsága miatt üreg alakul ki az anyagvesztés során, amely azonban egy idő után beomlik (*White* 1988, *Waltham et al.* 2005), vagy mert az anyaghiány gyorsan jön létre, pl. azért, mert a fekün képződött üreg, vagy kürtő beomlik (*Beck-Sinclair* 1986, *Veress* 2000). Gyorsan létrejövő anyaghiány esetén a kisebb agyagosodottságú kőzeten is omlás történhet.

Az irodalomban elkülönítene továbbá tömörödéssel töbröt (*1. ábra*) és „alluvial streamsink doline”-t. Előző a paleotöbrök kitöltésének a tömörödésével jön létre (*Waltham et al.* 2005). Utóbbi töbrőváltozatot *Jennings* (1985) vezette be az irodalomba. Szerinte a változat töbrei a kataraktok felett alakulnak ki, *Cvijić* (1983) által alluviális nevezett töbrökből akkor, ha a töbrő növekszik, miután az oldallejtői a csapadékvíz által pusztulnak.



1.ábra: Töbörtípusok (Williams 2004)

### 3.Módszerek

A karsztkutatókban a modell kísérletek széleskörűen elterjedtek. Rudnicki (1960), Curl (1966), Allen (1972), Quinf (1973), Deák et al. (2014) különböző karsztjelenségeket vizsgált modellkísérletekkel.

#### 3.1. Fedő vizsgálatok

##### 3.1.1. A fedőüledék előkészítése

A modellkísérletben fedőként alkalmazott anyag a Szombathelyen áthaladó Perint-patak hordalékából származik. A kiemelt, vegyes szemcse-összetételű anyagot 105°C-on szárítószekrényben szárítottuk, majd Retsch AS 200 típusú szitán a szemcséket osztályoztuk. Az osztályozás során az alábbi szemcseméret tartományba tartozó anyagokat különítettük el:

- 2,5-5 mm,
- 2-2,5 mm,
- 1,0-2,0 mm,
- 0,5-1,0 mm,
- 0,25-0,5 mm,
- 0,125-0,25 mm,
- 0,063-0,125 mm,
- <0,063 mm.

A fenti szemcseméretű anyagokon végeztünk vizsgálatokat, és e szemcseméretű anyagokkal fedtük el a gipsztáblákat, amelyeken az oldatást végeztük.

### 3.1.2. A fedő fizikai tulajdonságainak vizsgálata

#### 3.1.2.1. A sűrűség meghatározása

Minden frakciónak külön-külön piknométeres módszerrel (Stefanovits 1981) meghatároztuk a sűrűségét. Az ismert (V) térfogatú piknométer tömegét meghatároztuk ( $m_1$ ), majd feltöltöttük az adott szemcseméretű anyaggal a jelig, ügyelve a kellő tömörítésre. Az  $m_2$  tömeg mérésével ( $m_1 + \text{térfogati tömeg} = m_2$ ) meghatározható a térfogati tömeg, amely egyben az adott anyag azon mennyisége grammal, amely a sűrűség meghatározásához szükséges. A piknométert ezután ismert sűrűségű folyadékkal töltöttük fel (desztillált vízzel, melynek sűrűsége  $1 \text{ g/cm}^3$ ) a jelig. Az  $m_3$  tömeg mérésével ( $m_2 + \text{bevitt víz tömege}$ ) meghatározható a víz sűrűsége alapján a bevitt szemcsék térfogata. A térfogati tömeg valamint az anyag térfogatának hányadosa képezi az adott szemcsefrakció sűrűségét  $\text{g/cm}^3$ -ben.

#### 3.1.2.2. Összes hézagtérfogat meghatározása

Az előző módon meghatározott térfogati tömeg és az ahhoz tartozó sűrűség segítségével az alábbi képlet alapján végeztük (Stefanovits 1981) az össztérfogat meghatározását számítással.

$$\text{Össz. Hézagtérfogat} = \left( \frac{1 - V_{\text{szilárd anyag}}}{\rho_{\text{szilárd anyag}}} \right) \times 100$$

Ahol  $V_{\text{szilárd anyag}}$  az anyag térfogatát,  $\rho_{\text{szilárd anyag}}$  ugyanazon anyag sűrűségét jelöli.

#### 3.1.2.3. Vízemelő képesség meghatározása

A 106 cm hosszúságú és 12 mm belső átmérőjű üvegcsövet 1000 mm magasságig egy-egy adott frakció (azonos szemcseméret) anyagával feltöltöttünk kellő tömörítéssel, miután az üvegcső alsó végét szűrőpapírral lezártuk. Burette fogó segítségével függőleges helyzetben Bunsen állványon rögzítettük, és aljzatát desztillált vízzel feltöltött kristályosító csészébe merítettük, ügyelve arra, hogy a vízborítás utánpótlását és szintjét folyamatosan pótoljuk. A vízszint emelést milliméterben 1 óra, 5 óra, és 24 óra elteltével leolvastuk. Végül kellő időt biztosítva megállapítottuk a teljes vízemelő képességet (Lendvai: [http://www.kepzesevolucioja.hu/dmdocuments/4ap/14\\_1214\\_033\\_101030.pdf](http://www.kepzesevolucioja.hu/dmdocuments/4ap/14_1214_033_101030.pdf)).

#### **3.1.2.4. Vízáteresztő képesség vizsgálata**

A már bemutatott üvegcsövet a különböző szemcseméretű anyagokkal az előzővel azonos módon 1000 mm magasságig feltöltöttük. A függőleges helyzetű üvegcső fölé desztillált vízzel nulla jelig feltöltött bürettát helyeztünk, amelyből olyan sebességgel adagoltuk a vizet a vizsgált rétegre, hogy annak felső felületén tartósan vízréteg ne képződjön. Mértük azt a folyadék-mennyiséget, amely bevitelével az oszlop alján az első vízcsepp a szedőedényben elhelyezett szűrőpapíron már megjelent, valamint az ehhez szükséges időt.

#### **3.1.2.5. Vízátemelő képesség vizsgálata**

A különböző szemcseméretű anyagok vízátemelő képességét, tehát a víznek a kitöltő anyagban történő mozgását, külön e célra kialakított, hajlított üvegcsövekkel vizsgáltuk. A vizsgálatához kétféle méretű üvegcsövet használtunk. Az üvegcsövek két függőleges szárból és ezeket összekötő részből álltak. A függőleges szárból a hosszabbik vízemelő, a rövidebb vízejtő funkciójú volt. A csövek két vízemelőszára függőleges helyzetű és egyik esetben 5 cm, másikban 10 cm hosszú, a két szarat összekötő, 30 cm-es szakasz pedig a vízszinteshez képest 5°-os dőlésű. A csövek belső átmérője egységesen 1 cm volt. Az 5 cm-es vízemelő szárral rendelkező cső vízleadó szára 4 cm, a 10 cm-es vízemelő szárral rendelkező cső vízleadó szára pedig 8 cm hosszúságot tett ki. A csövet színültig kitöltöttük az adott szemcseméretbe tartozó anyagmintával, majd 2 végét szűrőpapírral lezártuk. A vízemelő szárát függőlegesen ismert mennyiségű mérőhengerben lévő desztillált vízbe merítettük 2 cm mélyen. Ezt a vízmennyiséget fogyás esetén ismert mennyiségű desztillált vízzel pótoltuk bürettából, hogy a merülés ismét elérje a 2 cm-t. A vízleadó szár alá szedőedényt helyeztünk. Az első csepp megjelenése után leolvastuk a felvett víz mennyiségét (a bürettából), és befejeztük a vízutánpótlását. Ezután a szedőedényben addig gyűjtöttük a folyadékot, amíg a csepegés befejeződött. E folyadékmennyiség térfogatát is megmértük.

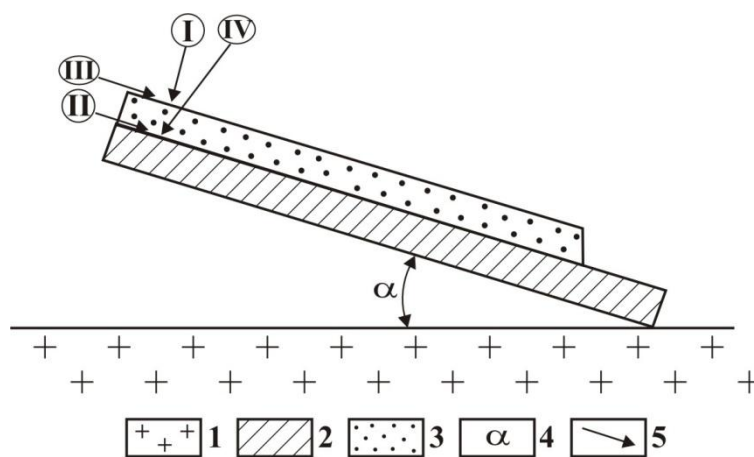
#### **3.2. Oldatási vizsgálat a fedett karsztos modellen**

A karsztos kőzetet gipsszel modelleztük. A gipsz már desztillált víz hatására is gyorsan oldódik, emiatt alkalmas véges idejű, ugyanakkor eredményes kísérletek lebonyolításához. Továbbá könnyen kezelhetősége is fontos szempont volt a modell létrehozásánál.

A gipsszel végzett laboratóriumi vizsgálatokkal már több szerző is foglalkozott. Így *Glew-Ford* (1980) esőztetési körülmények mellett a gipszen rillenkarok kialakulását modellezte, *Dzulansky et al.* (1988) fedő alatti hasadékkarok kialakulását vizsgálta. Gipszen

madáritatók kialakulását vizsgálta Veress et al. (1998), továbbá fedővel borított gipszen a fedettkarsztosodást tanulmányozta Veress et al. (2014). Slabe (2009) egy edénybe gipsz oszlopokat helyezett el, majd azokat fedővel borította el. Folyamatos vízelvezetés mellett az oszlopokon az oldás az alábbi módon alakult: az oszlopok alsó részén, a vízelborítás alatt színlők és vályuk, e felett, ahol nem volt állandó vízelborítás kagylók, csövek, vályúk jöttek létre.

A kísérleteink során modellgipszből alakítottunk ki 45x30x3 cm-es gipsztáblákat, eddig összesen 11 darabot. A Gipsztáblákat két részre osztottuk, így táblánként két kísérletet végeztünk egymástól elkülönítve. 6 db gipsztáblán 1 cm-es fedőt alakítottunk ki, majd 3 darabon (itt összesen 5 db kísérlet történt) 5 cm-es fedővel is folytattuk a vizsgálatokat. A fedő anyagát a Perint patak hordalékából nyertük. Az üledéket szemcseméret szerint elkülönítettük. A gipszlap dőlése  $5^\circ$  ill.  $0^\circ$  volt a vizsgálat során (2.ábra).



2.ábra: Az oldatási modell felépítése

*Jelmagyarázat: 1: a gipsztábla hordozófelülete; 2: gipsztábla; 3: fedőelborítás; 4: gipszlap dőlése; 5: vízbevezetés iránya, módja; I. vízadagolás fentről a fedőre; II. vízadagolás oldalról a fekére; III. vízadagolás oldalról a fedőre; IV. vízadagolás fentről a fekére*

A vízadagolás minden esetben egy helyen, pontszerűen történt ún. transzfúziós készülékek segítségével, melyek egy tűben végződtek el. Egy kísérlet során adagolt desztillált víz mennyisége  $100 \text{ dm}^3$  volt (néhány esetben azonban nem volt szükséges a teljes mennyiségre, mert további vízbevezetés már nem befolyásolta volna a kísérlet eredményét). Munkanaponként  $5\text{-}5 \text{ dm}^3$  vizet adagoltunk minden egyes vízadagolási helyre. Munkaszüneti napokon nem történt vízadagolás. Nappal 2-3 órás, éjszaka 3-4 órás vízadagolási szünetet iktattunk be. A vízadagolás sebessége  $4,125\text{-}6,5 \text{ cm}^3/\text{perc}$  volt, ez  $60 \pm 5$  cseppet jelentett

percenként. A vízadagolás történhetett a fedőre és a feküre is, mindkét esetben oldalról és felülről is (2.ábra). Ha a vízbevezetés fentről a feküre érkezett, a csepegtető készülék tüje átharántolta a fedőt.

## 4. Kiértékelés

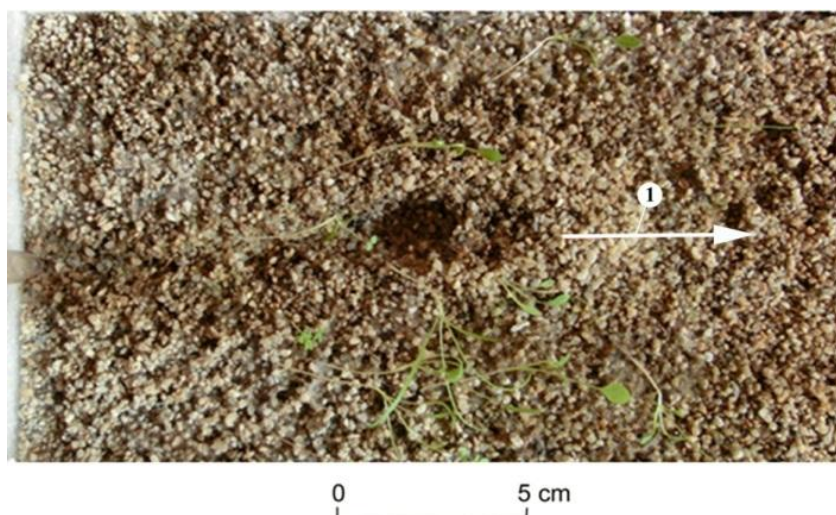
### 4.1. Formák

Az oldatási kísérletek során mind a fekün, mind a fedőn formák alakultak ki, amelyeknek a nyomon követése érdekében a nevet kellett adnunk. Az egyes alakzatoknak olyan, a természetben előforduló formáknak a nevét adtuk, amelyekre leginkább hasonlítottak. A fedő zárt formáinak megnevezésére azonban nem használtuk a töbör kifejezést, mivel úgy gondoltuk, hogy e kifejezés használata megtévesztő lenne. Több olyan formatípus is létrejött, amelyeknek természetbeni megfelelője nincs. Ezeknek olyan neve adtuk, amely a formát szemléletesen megjeleníti az olvasó számára.

A fekü és a fedő formái jól elkülönülnek, ezért bemutatásukat külön végezzük.

#### 4.1.1. A fedőn kialakult formák

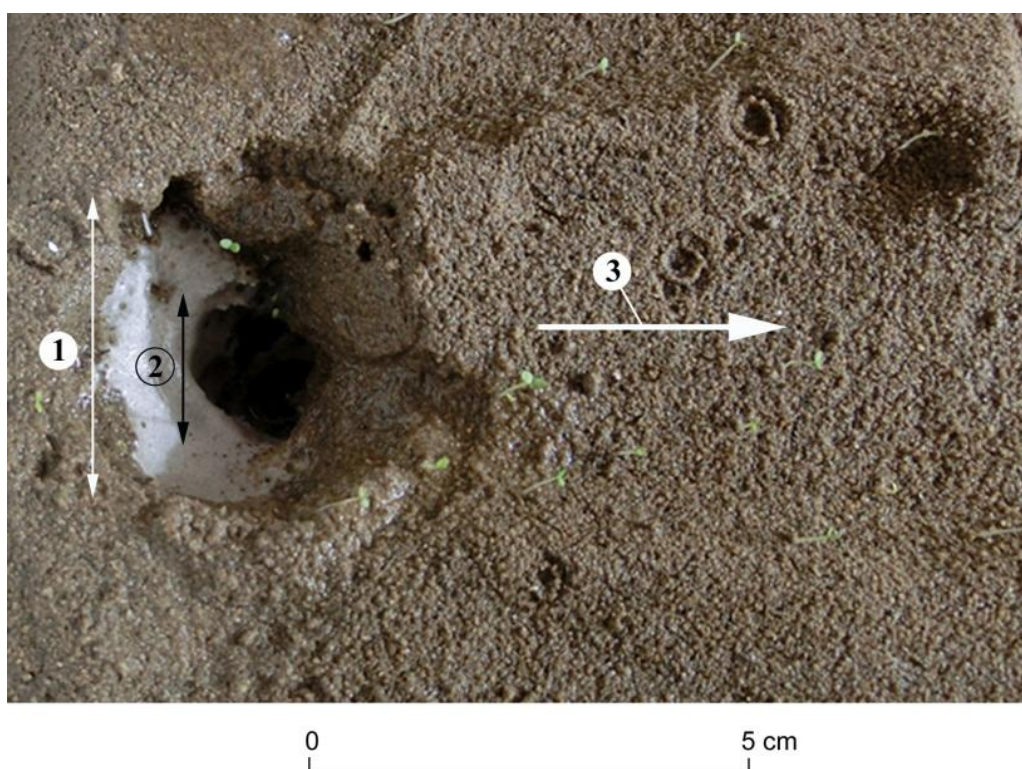
A fedő formái a következők: lankás oldalú medence, függőleges oldalú medence, kis medence, szabálytalan mélyedés, esővízbarázda, hosszanti- és keresztirányú hasadékok, sugaras hasadék, íves hasadék.



1.kép: Lankás oldalú medence a gipsztábla fedőjén

*Jelmagyarázat: 1. a felszín dőlésiránya; Megjegyzés: fedő szemcsemérete 2,5-5 mm, gipsztábla dőlése 5°, vízadagolás módja: oldalról, a fedőre*

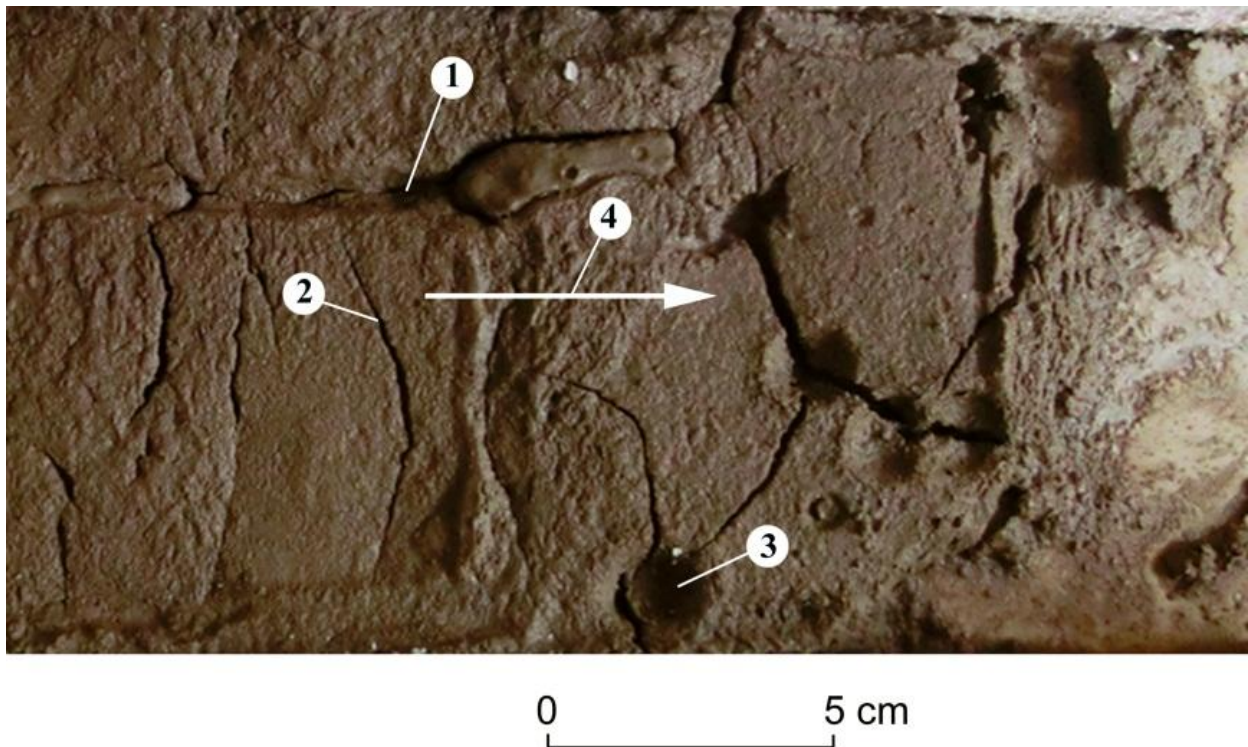
A lankás oldalú medence, ill. a függőleges oldalú medence a vízadagolás helyénél alakult ki. A lankás oldalú medence zárt mélyedés, amit enyhe dőlésű lejtők határolnak. A különböző gipsztáblák fedőjén kialakult medencék átmérője 2-12cm között, mélysége néhány mm és 1,5 cm között változott (1.kép). Akkor alakultak ki, ha alattuk a fekün mélyedés (madáritató) képződött. Ez nagyobb szemcseméretű fedőnél következett be. Ha a fekün a gipsztáblát átréselő akna jött létre, az aknán keresztül a fedő anyaga elszállítódott. A fedőn ekkor függőleges lejtőkkel határolt mélyedés (függőleges oldalú medence) alakult ki. A különböző függőleges oldalú medencék átmérője 1,5-4,2 cm, míg mélysége 2,5-3,5cm között változott (2.kép).



2.kép: Meredek oldalú medence a gipsztábla fedőjén

*Jelmagyarázat: 1. függőleges oldalú medence, 2. akna, 3. a felszín dőlésiránya; Megjegyzés: fedő szemcsemérete <0,063 mm, gipsztábla dőlése 5°, vízadagolás módja: felülről a fedőre*

A kis medence olyan zárt mélyedés, amely a vízadagolás helyétől távolabb jött létre, méretei kisebbek, mint a fentebb bemutatottaké (maximum 1-2 cm átmérőjű és néhány mm mélységű forma). Gyakran közvetlenül alatta a fekün nem is alakult ki mélyedés. Az esővízbarázda lejtésirányban megnyúlt, 1-5 cm széles, 1-2 dm hosszúságú forma, amit a lankás oldalú medencéből túlsorduló víz hozott létre a fedőszemcséinek áthalmozásával. Az esővízbarázda azonban a fedőben szivárgó víz hatására is kialakulhat szuffózióval.



*3.kép: A gipsztábla fedőjén kialakult hasadékok és kis medencék*

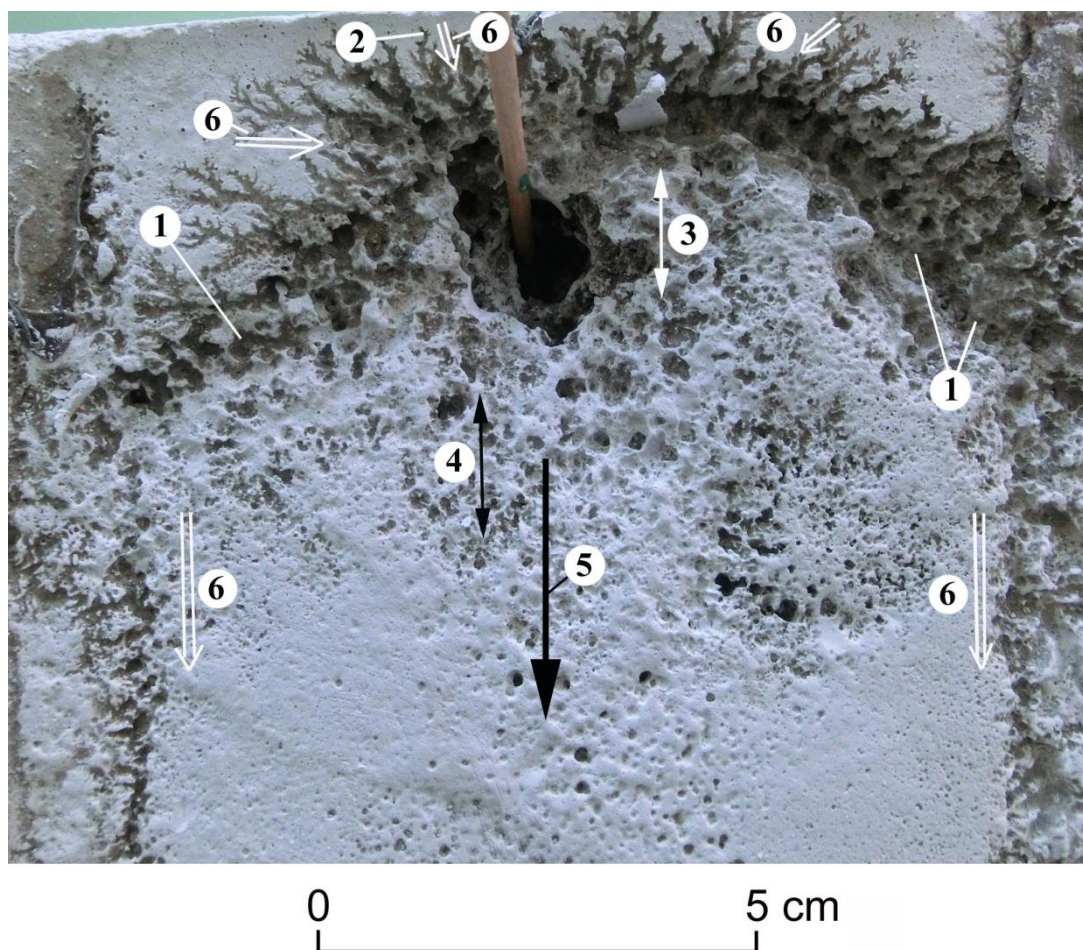
*Jelmagyarázat: 1. hosszanti hasadék, 2. kereszthasadék, 3. kis medence, 4. a felszín dőlésiránya; Megjegyzés: fedő szemcsemérete <0,063 mm, gipsztábla dőlése 5°, vízadagolás módja: oldalról, a fedőre.*

A sugaras hasadékok 1-2 mm széles, a fedő medencéjéből sugárirányban kiágazó formák. Az íves hasadékok az előzőhöz hasonló méretűek, de a fedő medencéjének peremével párhuzamosan fejlődnek ki. Jelenlétük a fedő megsüllyedésére utal. Az előbbi két hasadéktípus 0°-os dőlésnél, finom szemcsésű fedőnél jött létre csakúgy, mint a szabálytalan mélyedés, ami a fedőn kialakuló 1-2 cm átmérőjű kevésbé, vagy egyáltalán nem zárt mélyedés. A hosszanti hasadékok lejtésirányú, míg a keresztirányú hasadékok csapásirányú vonalas formák a fedőn (3.kép). Utóbbi két hasadéktípusba tartozó képződmények szélessége 1-2 mm, míg hosszúsága néhány cm és 8-9 cm között változott.

#### **4.1.2. A fekűn kialakult formák**

A fekű formái az akna, a madáritató, az ujjbegyek, a kürtők, a narancshéj szerű oldásos forma, a hosszanti- és a keresztirányú csatornák, a bevezető csatornák, a túlfolyási csatorna és fedőmenti csatorna.

A gipsztáblán a formák kifejlődése lehet egyedi, közepes, vagy nagy sűrűségű. Az egyedi formák egyesével fordulnak elő és lokális oldódás során (ld. a 4.5.3. fejezet) jönnek létre. A közepes sűrűségű formák egymástól elkülönülnek. Körülöttük a távolság néhány cm is lehet. Ezek vonalas oldódás (ld. a 4.5.2. fejezetet) során alakulnak ki. Végül a formák nagy sűrűségben is kifejlődhetnek, ekkor közöttük nincsenek oldásmentes felszínek. Ekkor az oldódás folytonos a gipsztáblán (ld. a 4.5.1. fejezetet).



4.kép: Túlfolyási csatorna a fekün

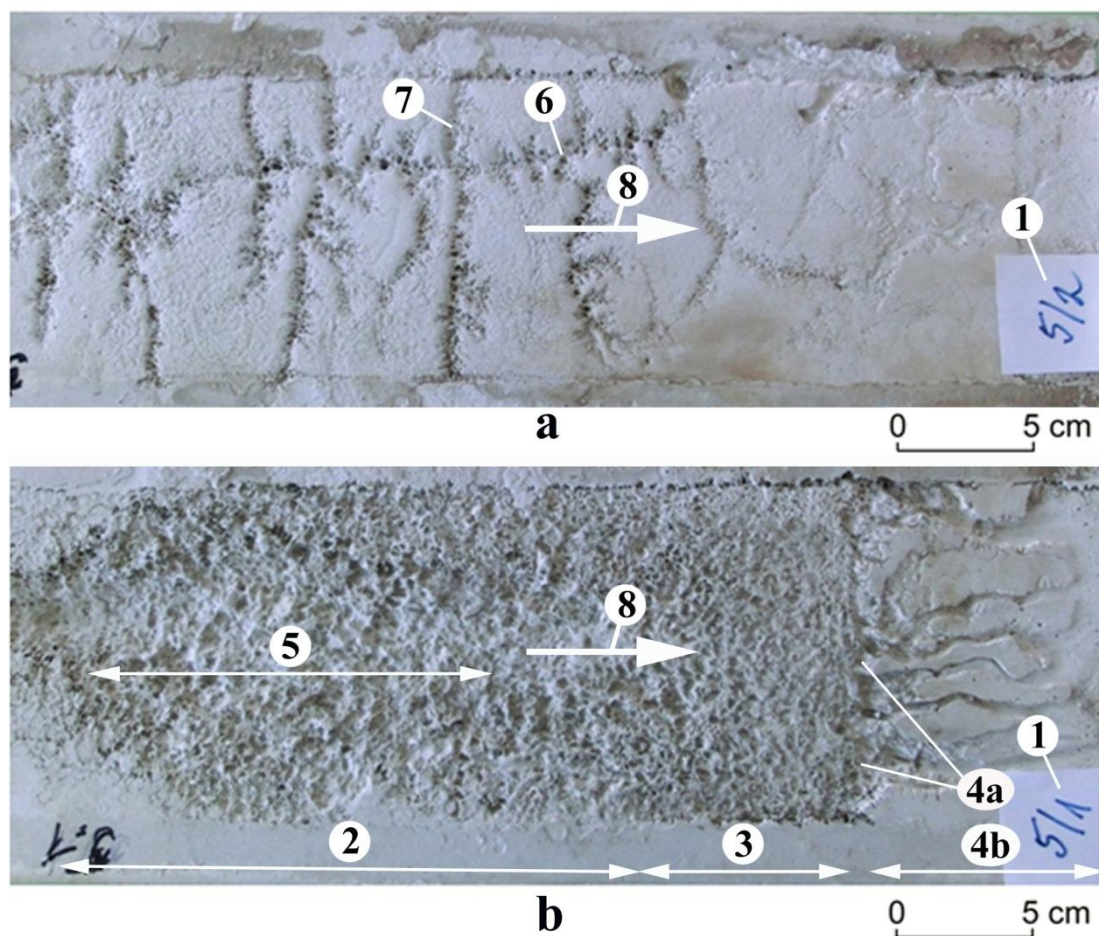
*Jelmagyarázat: 1. túlfolyási csatorna, 2. bevezető csatorna, 3. akna, 4. kürtők, 5. a felszín dőlésiránya; Megjegyzés: fedő szemcsemérete 0,250-0,5 mm, gipsztábla dőlése 5°, vízadagolás módja: felülről a fedőre 6. vízáramlás iránya a fekün*

A fekün a vízadagolás helyénél lokális oldás hatására létrejövő forma az akna és a madáritató. Előbbi a gipszlapot átréselő függőleges oldalú, zárt, kör keresztmetszetű mélyedés többnyire finom szemcséjű fedő alatt alakul ki. Átmérője 1,5-9 cm között változott (4.kép). A madáritató 8-1 cm átmérőjű, 2-0,7 cm mélységű, lankás oldalú mélyedés a fekün (5.b kép),

alatta a gipsztábla nincs átréselődve. Az aknából vagy madáritatóból kiágazó vonalas forma a kivezető csatorna (4. kép), míg az ahhoz kapcsolódó vonalas alakú képződmény a bevezető csatorna (4. kép). Ez utóbbi változatba tartozó csatornák vízbevezetéssel létrejöttét bizonyítja, hogy aljzatuk az akna pereme felet függ, a végük szétágazik, hosszuk néhány mm és a végükön kiékelődnek. A kivezető csatornák ezzel szemben a leoldott aljzattal (a madáritató talpával) megegyező magasságúak, nem ékelődnek ki (vagy csak nagyobb távolságnál) és nem ágaznak szét. A bevezető csatornák léte arra utal, hogy a víz a fedőben szétszivároghatva érte el a feküt. Az oldás itt azért történt vonalasan, mert a feküt elérő „vízfolt” külső részén a fedő vize nem volt folytonos, hanem vízágakat alkotva mozgott az akna irányába (4.kép).

A kürtők olyan 1-2 mm átmérőjű zárt mélyedések, melyek függőleges oldallal határoltak és átmérőjük kisebb, mint a mélységük. A kürtők kialakulhatnak folytonos oldódás révén nagy sűrűségben, foltszerűen, vagy a fekü vonalas és egyedi formáinak talpán. Az ujjbegyek a kürtőnél nagyobb méretű, kb. 1 cm átmérőjű, félgömböszerű zárt bemélyedések a fekün, melyek átmérője nagyobb a mélységénél (5.b kép). Az ujjbegyek sűrűsége elmarad a kürtők sűrűségétől. Narancshéj szerű oldásos forma alakul ki, ha az oldódás területileg hat, de kis mértékben. Ekkor a gipsztábla felületén nagyon kis méretű (1 mm körüli) bemélyedések jönnek létre, melyeket kb. 1 mm magas, sokszög alakú gerincek különítenek el egymástól.

A hosszanti- és keresztirányú csatornák a fekü dőlés-, ill. csapásirányban kifejlődő vonalas formái. Mélységük 1-2 mm körüli, szélességük néhány mm, hosszúságuk 1-2 cm-től 25 cm-ig terjedhet. A csatornák keresztezhetik egymást. A csatornák a fedő hasadécai alatt képződtek, méretük és alakjuk nagyban függ a fedő hasadékainak méretétől és alakjától. Talpuk kürtőkkel, helyenként 1-2 cm-es mélyedésekkel tagolt (5.a kép). Ez utóbbiak főleg a csatornák kereszteződései helyein fordulnak elő. A fedőmenti hasadékok a fedő elvégződésénél, a peremmel párhuzamosan kialakult vonalas alakzatok (5.b kép). Talpukon kisebb oldásos formák (főleg kürtők) fejlődnek ki, egyes talpszakaszokon a gipsztábla teljesen átoldódhat. A fedőmenti csatornák a fedő peremére merőleges helyzetű vonalas bemélyedések (5.b kép). A fedőből ill. a fedőmenti hasadékból kilépő víz oldóhatására képződnek a fedetlen gipsz felszínen.



5.kép: Csatornák és ujjbegyek a fekiin

Jelmagyarázat: 1. gipsztáblák azonosító jele, 2. ujjbegyes zóna, 3. kürtő zóna, 4.a. fedőmenti hasadék, 4.b fedőmenti csatorna, 5. madáritató, 6. hosszanti csatorna, 7. keresztirányú csatorna, 8. felszín dőlési iránya; Megjegyzés: 5.1. jelű gipsztáblán: fedő szemcsemérete 2,5-5 mm, gipsztábla dőlése 5°, vízadagolás módja: oldalról, a fedőre, 5.2. jelű gipsztáblán: a fedő szemcsemérete <0,063 mm, gipsztábla dőlése 5°, vízadagolás módja oldalról a fedőre

#### 4.2. A különböző gipsztáblákon folytatott oldatások

Az oldatási kísérletek eredményeit összegezve az I.Táblázatban mutatjuk be.

Az I.1, I.2, I.3, II.1, II.2 és a VI.1 jelű gipsztáblákon nem alakítottunk ki fedőelborítást, így e kísérletek ismertetésétől eltekintünk.

A III.1-es jelű gipsztáblán a fedő szemcseátmérője 0,25-0,125 mm közötti volt, míg a vastagsága 1 cm. A gipsztábla dőlése 5° volt. A vízadagolás a fekre oldalról történt. A

gipszfeke felszínét dőlés- és csapásirányban karcoltuk. A vízadagolás helyénél sem a fekün, sem a fedőn nem alakult ki mélyedés. A fekün ujjbegy szerű formák keletkeztek, illetve a fedő elvégződésénél fedőmenti csatorna jött létre.

A *III.2*-es jelű gipsztáblánál a kísérleti körülmények azonosak voltak az előzővel, de a fedő szemcsemérete 1-0,5 mm közötti volt. Az oldás formái a *III.1*-jelű gipsztábla formáihoz hasonlóan bizonyultak. Itt sem alakult ki a vízadagolás helyénél mélyedés sem a fekün, sem a fedőn. A fedő alatti mélyedések, valamint a fedőmenti csatorna méretei kisebbek, mint azok, amelyek a *III.1*- jelű kísérletnél kialakultak.

A *IV.1*-jelű gipsztáblát szintén csapás- és lejtésirányban karcoltuk, míg a gipsztábla dőlése 5° volt. Vízadagolás oldalról a feküre történt. A fedő szemcsemérete 0,125-0,063 mm közötti, a fedő vastagsága 1 cm volt. A fekün madáritató alakult ki a vízadagolás helyénél. A fekü egyéb formái: kürtök és madáritatóból kivezető túlfolyási csatorna. A fedőn a fekü madáritatója felett létrejött egy lankás oldalú mélyedés, amiben a vízadagolások alkalmával tó keletkezett. A tó vízének túlfolyásával a fedő felszínén esővízbarázda képződött.

A *IV.2*-es jelű gipsztáblánál a kísérleti körülmények hasonlóak, mint a *IV.1*-es gipsztáblánál, de a fedő szemcsemérete 0,063 mm-nél kisebb volt. A vízadagolás módja fentről a fedőre történt. A vízadagolás helyénél a fekün akna keletkezett, ami a gipsztáblát átréselte. Ezen az aknán keresztül a fedő anyaga elszállítódott a gipsztábla alá. A fedőn is függőleges oldalú mélyedés (függőleges oldalú medence) jött létre.

A *V.1*-es jelű gipsztáblán a fedő szemcsemérete 2,5-5 mm közötti, vastagsága 1 cm volt. A gipsztáblának a dőlése 5° volt. A vízadagolás fentről a fedőre történt. A fekü egész területe oldódott. A vízadagolás helyénél a fekün madáritató keletkezett, felette a fedőn lankás oldalú medence alakult ki. A madáritatóhoz kapcsolódóan a fekün túlfolyási csatorna is képződött.

A *V.2*-es gipsztáblánál a kísérleti körülmények hasonlóak voltak az előzőhöz, de a fedő szemcsemérete 0,063 mm-nél kisebb és a vízadagolás oldalról a fedőre történt. A fedőn a vízvesztés következtében hasadékok alakultak ki dőlés- és csapásirányban, ezek metsződésénél kis méretű medencék jöttek létre. A fekün madáritató keletkezett, ebből egy túlfolyási csatorna vezette el a víz egy részét. A fedő hasadéakai alatt a fekün is csatornák (oldásos eredetűek) jöttek létre. A csatornák talpát kürtők tagolták.

A VI.2-es jelű gipsztábla 0,063 mm-nél kisebb szemcséjű, 1 cm vastag fedővel borított. A vízadagolás oldalról a fekre történt. A gipsztáblának a dőlése 0° volt. A fekü felszíne egyenetlenre oldódott, kürtőkkel tagolt, illetve egy a gipsztáblát átharántoló akna, valamint a fedő elvégződésénél fedőmenti csatorna is kialakult. A fedőn lankás oldalú mélyedés jött létre, továbbá változatos irányú hasadékok és néhány kis méretű medence is kifejlődött. A fedő lankás oldalú mélyedéséből egy esővízbarázda vezette el annak túlfolyó vizét.

A VI.3-as jelű gipsztáblánál a kísérleti körülmények hasonlóak voltak, mint a VI.2-es jelű gipsztáblánál, de a vízadagolás fentről a fekre történt. A vízadagolás helyénél a feküt átharántoló akna keletkezett, máshol a fekün nem történt oldás. A fedőn a fekü aknája felett függőleges falú medence jött létre. A fedő anyaga az aknán keresztül elszállítódott. A függőleges oldalú medence körül sugárirányú hasadékok alakultak ki.

A VII.1-es jelű gipsztáblán a fedő 0,063 mm-nél finomabb szemcseátmérőjű, vastagsága 1 cm volt. A gipsztábla 5°-os dőlést mutatott, a vízbevezetés oldalról a fekre történt. A fedőn a vízadagolás helyénél függőleges falú medence alakult ki. Ez alatt a fekün akna keletkezett, ami átréselte a gipszlapot. Az akna környéke leoldódott. A fedőn hasadékok jöttek létre, de a fekün csak az egyik hasadék alatt képződött csatorna.

A VII.2-es jelű gipsztáblánál a kísérleti körülmények megegyeznek a VII.1-es jelű gipsztábláéval, de ebben az esetben a fedő szemcsemérete 1-0,5 mm közötti, a vízadagolás fentről a fedőre történt. A fedőn lankás oldalú medence alakult ki a vízadagolás helyénél. Ez alatt a fekün madáritató, valamint ujjbegy szerű formák jöttek létre.

A VIII.1-es jelű gipsztáblán a fedő 0,25-0,500 mm közötti szemcseátmérőjű, amelynek a vastagsága 1 cm volt. Vízadagolás fentről a fedőre történt. A gipsztáblának a dőlése 5° volt. A fedőn a vízadagolás helyénél lankás oldalú medence jött létre. A fekü folytonosan oldódott, a vízbevezetés helyétől távolodva a formák mérete és sűrűsége egyre csökkent. Egy csatorna is kialakult a fekün, e felett a fedőn medenceszerű forma képződött.

A VIII.2-es jelű kísérlet a vízadagolás hibája miatt értékelhetetlen. A IX.1-es jelű kísérlet elindításához nem volt elég fedőanyag, így az oldatási kísérletet nem lehetett elindítani.

A IX.2-es jelű gipsztáblán a fedő szemcseátmérője 0,125-0,25 mm közötti, a vastagsága 5 cm volt. Vízbevezetés a fekre oldalról történt. A gipsztáblának a dőlése 5° volt.

A fedőn a vízadagolás helyénél függőleges oldalú medence jött létre, ebből egy túlfolyási esővízbarázda vezetett ki, melynek fala szintén függőleges. Továbbá esővízbarázdák és kisebb medencék alakultak ki a fedőn. A fekűn a fedő függőleges falú mélyedése alatt madáritató keletkezett, amelyből egy túlfolyási csatorna vezetett egy további madáritatóba. Utóbbi aljzatán a gipsztábla átlukadásával akna képződött.

A IX.3-as jelű gipsztáblánál a kísérleti körülmények azonosak voltak a IX.2-es jelű gipsztábláéval, de a fedő szemcsemérete 1-2 mm közötti volt. A fedőn a csepegtetés helyénél lankás oldalú medence jött létre. Ez alatt a fekűn madáritató képződött. A fekűn a csepegtetés helyétől távolodva ujjbegyek, majd kürtők keletkeztek.

A IX.4-es jelű gipsztáblán a fedő szemcseátmérője 0,5-1,00 mm közötti, amelynek a vastagsága 5 cm volt. Vízbevezetés a fekűre oldalról történt. A gipsztábla dőlése  $5^\circ$  volt. A fedőn 3-4 db lankás oldalú medence jött létre. A fekűn a vízadagolásnál madáritató alakult ki, de e felett a fedőn nem jött létre mélyedés.

A X.1-es jelű gipsztáblán a vízbevezetés a fekűre oldalról történt. A fedő szemcsemérete 0,125-0,25 mm közötti, a fedő vastagsága 1 cm volt. A kísérlet során  $61 \text{ dm}^3$  vizet adagoltunk. A gipsztáblának a dőlése  $5^\circ$  volt. A fedőn a vízadagolás helyénél függőleges falú medence képződött. Továbbá kialakult 2 db esővízbarázda. A fekűn a fedő mélyedése alatt akna jött létre. Az akna lejtésirány szerinti alsó részét határoló fekű felszínen foltszerűen kürtők fejlődtek ki. Máshol a fekűn nem történt oldódás.

A X.2-es jelű gipsztáblánál a kísérleti körülmények megegyeztek a X.1-es jelű gipsztábláéval, de a fedő vastagsága 5 cm, míg szemcsemérete 0,25-0,5 mm közötti volt. A kísérlet során  $66 \text{ dm}^3$  vizet adagoltunk. A fedőn néhány kisméretű esővízbarázda jött létre, ezek alatt a fekűn nem történt oldódás. A fedőn nem képződött medence. A fekűn a csepegtetés alatt akna jött létre. A fedő elvégződésénél fedőmenti csatorna képződött. Itt a gipsztábla több helyen átoldódott.

A XI.1-es jelű gipsztáblán a vízadagolás a fekűre oldalról történt. A fedő szemcsemérete 1,0-2,0 mm közötti, a fedő vastagsága 1 cm volt. A kísérlet során  $60^3 \text{ dm}$  vizet adagoltunk. A gipsztábla dőlése  $5^\circ$  volt. A vízadagolás helyénél a fedőn függőleges falú medence képződött, alatta a fekűn akna jött létre. A fedőn több, kisebb méretű lankás oldalú medence is található. A fekűn nagy sűrűségben ujjbegyek keletkeztek. A fedő pereménél csatorna alakult ki, ami helyenként átréselte a fekűt.

A *XI.2*-es jelű gipsztáblánál a kísérleti körülmények azonosak a *XI.1*-es jelű gipsztábláéval, de a fedő szemcsemérete 0,5-1,0 mm közötti volt. A kísérlet során 65 dm<sup>3</sup> vizet adagoltunk. A vízadagolás helyénél a fedőn lankás oldalú medence jött létre, ez alatt a fekűn madáritató képződött. A fekű felülete folytonos kifejlődésben, ujjbegyek keletkeztek. A fedő elvégződésénél fedőmenti csatorna alakult ki, ami néhány helyen átréselte a gipszlapot.

A *XII.1*-es jelű gipsztáblán a vízadagolás a fekűre oldalról történt. A fedő szemcsemérete 2,5-5,0 mm közötti, a fedő vastagsága 5 cm volt. A kísérlet során 63 dm<sup>3</sup> vizet adagoltunk. A gipsztáblának a dőlése 5° volt. A fekűn a vízadagolás helyénél akna képződött, ezen kívül a fekű felületén nem történt oldódás. A fedőn lankás oldalú medence jött létre a fedő aknája felett. Egyéb forma nem alakult ki a fedőn.

A *XII.2*-es jelű gipsztáblán a kísérleti körülmények azonosak az előzővel, de a fedő szemcsemérete 2,5-5,0 mm közötti, a fedő vastagsága 1 cm volt. A kísérlet során 32 dm<sup>3</sup> vizet adagoltunk. A vízadagolás helyénél a fedőn függőleges oldalú medence keletkezett, ez alatt a fekűn akna képződött. A fedőn a medencén kívül nem képződött más forma. A fekűn folytonos kifejlődésben ujjbegyek, kürtők jöttek létre.

## A gipsztáblákon folytatott oldatási kísérletek eredményei

| A fedő szemcse-mérete (mm) | Gipsz-tábla dőlése | Vízadagolás módja |        | Fedő réteg-vastagsága | A létrejött forma      |                        | Gipsz-tábla jele |
|----------------------------|--------------------|-------------------|--------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------|
|                            |                    |                   |        |                       | A fedő formájának jele | A fekü formájának jele |                  |
| 0,125-0,25                 | 5°                 | oldalról          | fedőre | 1 cm                  | -                      | UB                     | III.1            |
| 0,5-1,0                    | 5°                 | oldalról          | fedőre | 1 cm                  | -                      | UB                     | III.2            |
| 0,063-0,125                | 5°                 | oldalról          | feküre | 1 cm                  | ML, EBT                | MD, HCT, KT            | IV.1             |
| 0,063>                     | 5°                 | fentről           | feküre | 1 cm                  | MF                     | AK                     | IV.2             |
| 2,5-5,0                    | 5°                 | oldalról          | fedőre | 1 cm                  | ML                     | UB, MD, HCT            | V.1              |
| 0,063>                     | 5°                 | oldalról          | fedőre | 1 cm                  | KH, MK                 | MD, HCT, KT, HC, KC    | V.2              |
| 0,063>                     | 0°                 | oldalról          | feküre | 1 cm                  | ML, EBT, SZM           | AK, KT, BC             | VI.2             |
| 0,063>                     | 0°                 | fentről           | feküre | 1 cm                  | MF, SH, SZM            | AK                     | VI.3             |
| 0,063 >                    | 5°                 | oldalról          | feküre | 1 cm                  | MF, KH, HH, IH         | AK, KT, HCT            | VII.1            |
| 0,5-1,0                    | 5°                 | fentről           | fedőre | 1 cm                  | ML                     | MD, UB                 | VII.2            |
| 0,25-0,5                   | 5°                 | fentről           | fedőre | 1 cm                  | ML, EBT                | UB, KT                 | VIII.1           |
| 0,125-0,25                 | 5°                 | fentről           | fedőre | 1 cm                  | -                      | -                      | VIII.2           |
| 0,063>                     | 5°                 | oldalról          | feküre | -                     | -                      | -                      | IX.1             |
| 0,125-0,25                 | 5°                 | oldalról          | feküre | 5 cm                  | ML, MF, EBT            | MD, KT, HCT, AK        | IX.2             |
| 1,0-2,0                    | 5°                 | oldalról          | feküre | 5 cm                  | ML                     | MD, UB, KT, KC, NH     | IX.3             |
| 0,5-1,0                    | 5°                 | oldalról          | feküre | 5 cm                  | ML                     | MD, KT, HCT, AK, NH    | IX.4             |
| 0,125-0,25                 | 5°                 | oldalról          | feküre | 1 cm                  | MF, EBT                | AK, KT, UB, KC, HCT    | X.1              |
| 0,25-0,5                   | 5°                 | oldalról          | feküre | 5 cm                  | EBT                    | AK, KT, KC, HCT        | X.2              |
| 1,0-2,0                    | 5°                 | oldalról          | feküre | 1 cm                  | ML, MF                 | AK, KT, UB, KC         | XI.1             |
| 0,5-1,0                    | 5°                 | oldalról          | feküre | 1 cm                  | ML                     | MD, KT, UB, KC, HCT    | XI.2             |
| 2,5-5,0                    | 5°                 | oldalról          | feküre | 5 cm                  | ML                     | AK, KT                 | XII.1            |
| 2,5-5,0                    | 5°                 | oldalról          | feküre | 1 cm                  | MF                     | AK, UB, KT             | XII.2            |

Megjegyzés: 1. A jelekhez tartozó forma megnevezéseket a II.Táblázatban mutatjuk be.

2. A táblázatban csak azok a formák vannak feltüntetve, amelyek a fedőelborítás alatt, vagy a fedőn alakultak ki.

*A fedőn és a fekűn kialakult formák jelei*

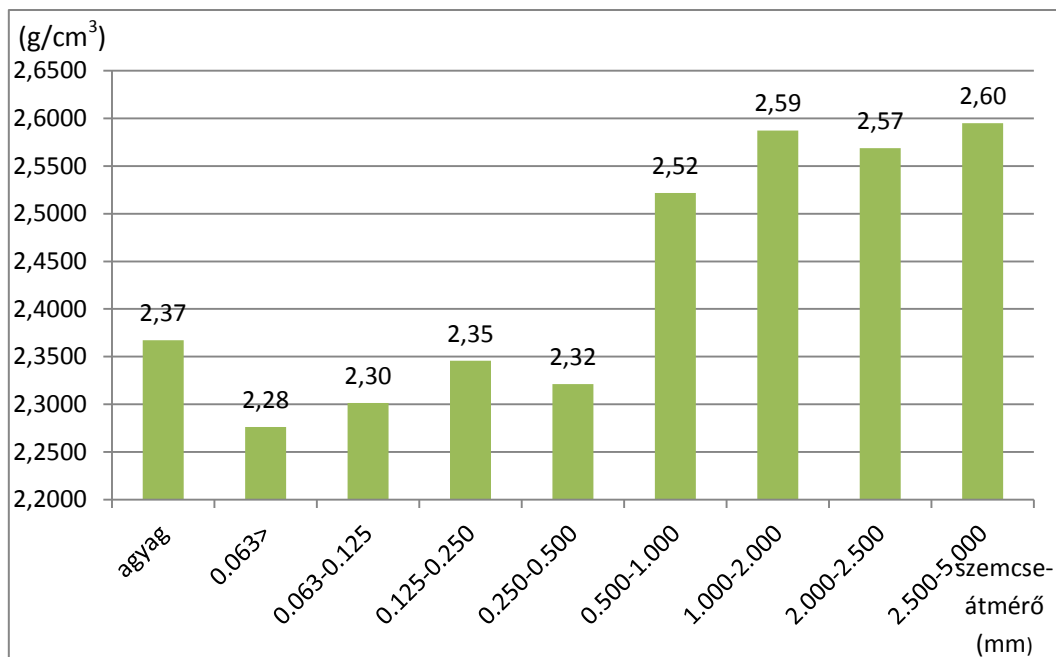
| A fedőn kialakult formák   |            | A fekűn kialakult formák         |            |
|----------------------------|------------|----------------------------------|------------|
| Forma                      | Jele       | Forma                            | Jele       |
| Kis medence                | <i>MK</i>  | Madáritató                       | <i>MD</i>  |
| Lankás oldalú medence      | <i>ML</i>  | Akna                             | <i>AK</i>  |
| Függőleges oldalú medence  | <i>MF</i>  | Ujjbegy                          | <i>UB</i>  |
| Keresztirányú hasadék      | <i>KH</i>  | Hosszanti csatorna (túlfolyási)  | <i>HCT</i> |
| Hosszanti hasadék          | <i>HH</i>  | Keresztirányú csatorna           | <i>KC</i>  |
| Íves hasadék               | <i>IH</i>  | Bevezető csatorna                | <i>BC</i>  |
| Sugaras Hasadék            | <i>SH</i>  | Kürtő                            | <i>KT</i>  |
| Esővízbarázda (túlfolyási) | <i>EBT</i> | Narancshéj szerű oldódásos forma | <i>NH</i>  |
| Szabálytalan mélyedés      | <i>SZM</i> | -                                | -          |

**4.3. Vízmozgás a fedőben**

A fedőben adott szemcseátmérőnél végbemenő vízmozgás leírása a hézagterfogat meghatározásával lehetséges, amelyhez a sűrűséget kell kiszámítani.

**4.3.1. Sűrűség meghatározása**

A fentebb leírt módszerrel (lásd: a 3.1.2.1 fejezetet.) meghatároztuk a szétválasztással kapott szemcsefrakciók sűrűségét, amit a 3. ábrán mutatunk be.



3.ábra: A különböző szemcseméretű üledékek sűrűsége

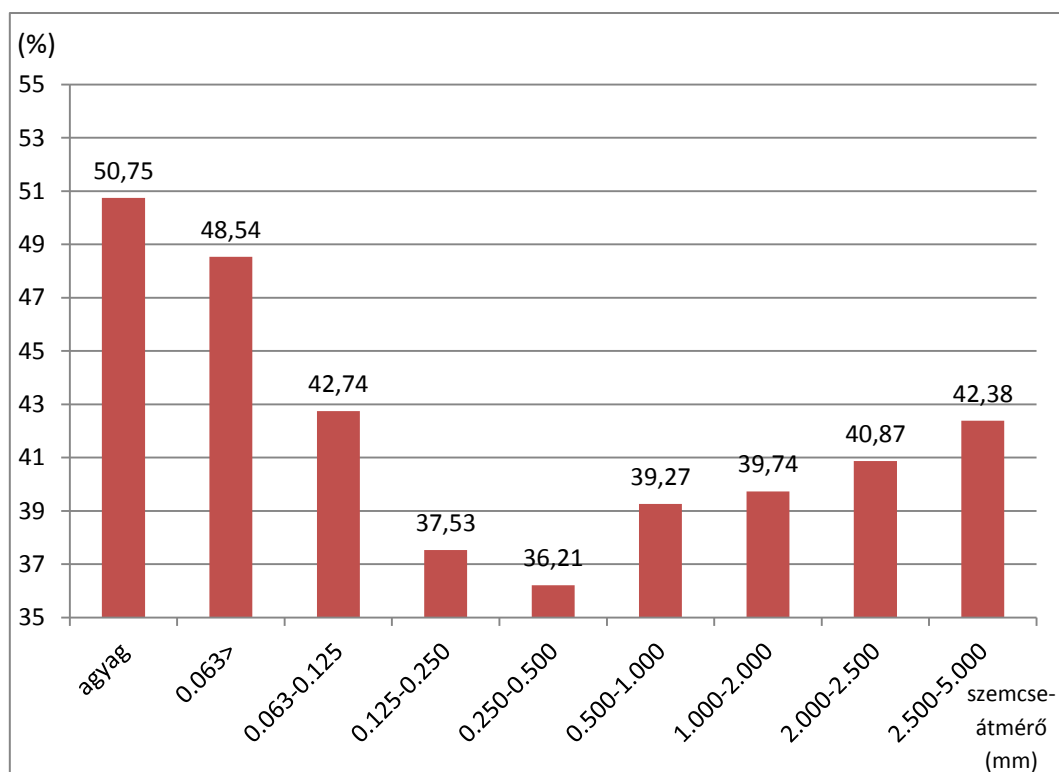
Látható, hogy a szemcseméret növekedésével a sűrűség nő (kivétel az agyag, azonban annak származási helye nem egyezik a fedőként használt és itt vizsgált mintákkal).

#### 4.3.2. Hézagterfogat meghatározása

A hézagterfogat a szemcsék közti, kitöltetlen tér. Elkülönítenek kapilláris hézagterfogatot és aggregát hézagterfogatot (Stefanovits 1981). Ezek összege adja az összes hézagterfogatot.

A kapilláris hézagterfogat a szemcséken belüli hézagterfogat, míg az aggregát hézagterfogat a szemcsék közötti hézagterfogat. A hézagterfogat meghatározása a már közölt képlet felhasználásával történt, a sűrűség-meghatározásból kapott adatok felhasználásával (lásd: a 3.1.2.2. fejezet). A hézagterfogatot az egész térrészhez viszonyítva százalékban adtuk meg.

A különböző szemcseméretű üledékekben mindkét hézagterfogat megtalálható, de eltérő arányban. A 4.ábra adatai mutatják, hogy az összes hézagterfogat a 0,25-0,5 mm szemcseméretű fedőn a legkisebb, és növekedik mind a szemcseméret növekedésével mind a csökkenésével. A szemcseméret növekedésével nőni kell az aggregát hézagterfogatnak, miután a nagyobb szemcsék kevésbé illeszkednek egymáshoz. A szemcseméret csökkenésével az összes hézagterfogat azért nőhet, mert a kapilláris hézagterfogat nő. Ugyanis az aggregát hézagterfogat nem nőhet miután a kisebb szemcsék illeszkedése egymáshoz képest nagyobb mértékű, mint a nagyobb szemcséké.



4.ábra: A hézagtérfogat és a szemcseméret viszonya

#### 4.3.3. Vízelelő képesség

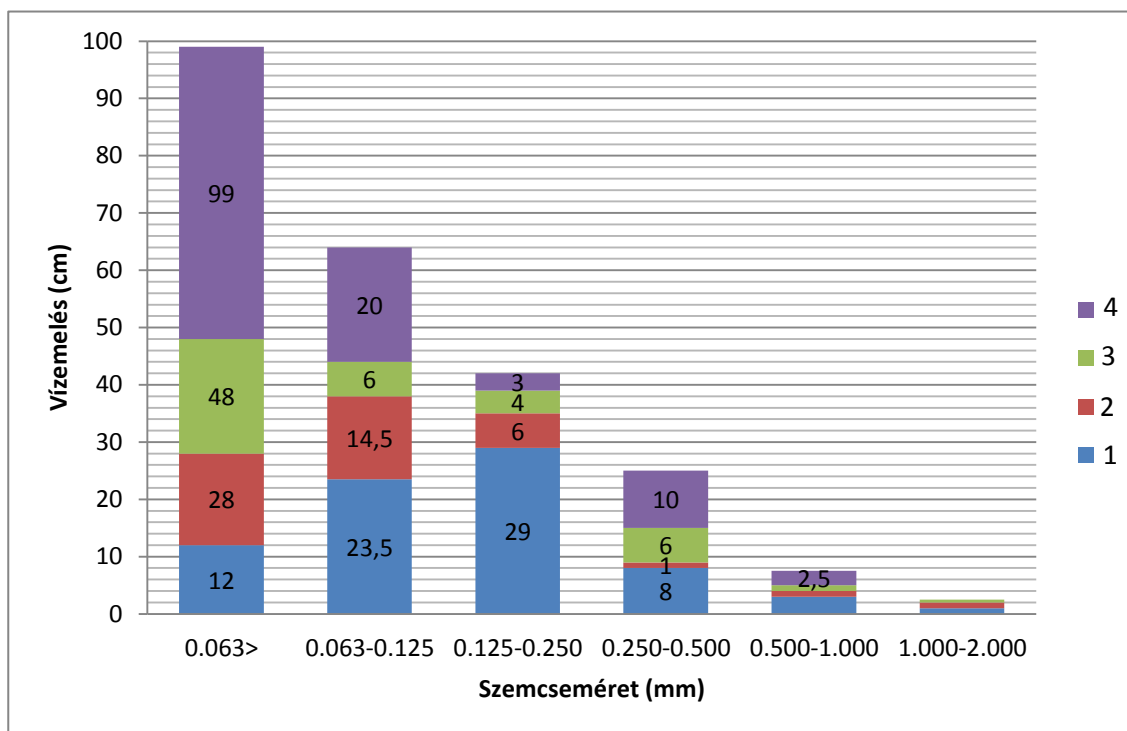
A különböző szemcsefrakciójú üledékek vízelelő képességét a III.táblázatban és az 5.ábrán mutatjuk be.

III.Táblázat

A különböző szemcseméretű frakciók vízelelő képessége

| Szemcseméret (mm)                                   |                | 0.063> | 0,063-0,125 | 0,125-0,25 | 0,25-0,5 | 0,5-1 | 1-2 |
|-----------------------------------------------------|----------------|--------|-------------|------------|----------|-------|-----|
| Vízemelés<br>különböző<br>időtartamok alatt<br>(cm) | 1 órás         | 12     | 23,5        | 29         | 8        | 3     | 1   |
|                                                     | 4 órás         | 28     | 38          | 35         | 9        | 4     | 2   |
|                                                     | 19 órás        | 48     | 44          | 39         | 15       | 5     | 2,5 |
|                                                     | Teljes mértékű | 99     | 64          | 42         | 25       | 7,5   | 2,5 |

Az agyag vízelő képességének meghatározásától eltekintettünk, amelynek az oka, hogy vízelő képessége 1 méternél nagyobb, és ilyen hosszúságú eszközt nem volt szándékunkban alkalmazni. A 2-2,5 illetve 2,5-5 mm szemcseátmérőnél a vízelő képesség nincs, így ennél nagyobb szemcseátmérőnél már nem volt értelme a vízelést vizsgálni.



5.ábra: A vízelő képesség alakulása különböző szemcseméretű üledékekben

Jelmagyarázat: 1. vízelés 1 óra alatt, 2. további vízelés 4 óra alatt, 3. további vízelés 19 óra alatt, 4. teljes vízelés 24 óra után, akkor, ami után már vízelés nincs.

Az eredményekből jól látszik, hogy a szemcseméret csökkenésével nagy mértékben növekszik a vízelő képesség. Minél finomabb a szemcseméret, egyre hosszabb időknél egyre nagyobb a vízelő képesség. Ugyanakkor a durvább szemcséjű üledékben nem csak kis mértékű, hanem rövid ideig is tart a jelenség. A teljes vízelő képesség a szemcseméret csökkenésével exponenciálisan növekszik.

#### 4.3.4. Vízáteresztő képesség

A vízáteresztő képességet a IV.Táblázatban mutatjuk be. Mivel a mérést a vízelésnél használt üvegcsővel végeztük, itt sem volt lehetőség a nagyobb szemcsék vízáteresztő képességének a vizsgálatára.

A különböző szemcseméretű üledékek vízáteresztő képessége

| Szemcseméret (mm)                                          | 0,063>          | 0,063-<br>0,125 | 0,125-<br>0,250 | 0,250-<br>0,5 | 0,5-<br>1 | 1,0-<br>2,0 | 2-<br>2,5 |
|------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------|-------------|-----------|
| Átengedési idő (perc) <sup>1</sup>                         | 3060            | 234             | 68              | 16            | 2,5       | 1           | 0,75      |
| 10 cm <sup>3</sup> átengedési<br>idejű (perc) <sup>2</sup> | ?? <sup>3</sup> | 90              | 29              | 4             | 0,75      | 0,5         | 0,5       |

Megjegyzés: <sup>1</sup>Az az idő, amikor az első csepp a szedőedényben megjelenik.

<sup>2</sup>Az első csepp megjelenését követően 10 dm<sup>3</sup> víz átengedésének az ideje.

<sup>3</sup>Nem történt meghatározás.

#### 4.3.5. Vízátemelő képesség

A vízátemelő képesség függ a szemcseátmérőtől. A 10 centiméteres felszálló ágú üvegcsövet használva a vízátemelési kísérletnél azt tapasztaltuk, hogy a víz teljes mennyisége (30 cm<sup>3</sup>) a vizsgált mintába került, amikor annak szemcseátmérője 0,125-0,25 mm volt. Ebből 24 cm<sup>3</sup> az mintában maradt, a többi a szedőedénybe került. Ugyanakkor a 0,5-1,0 mm szemcseátmérőjű mintánál a kísérlet során a szedőedénybe nem került víz. Tehát ez utóbbi szemcseméretjű fedőnél nem történt vízátemelés. Az 5 centiméteres felszálló ágú üvegcsövet használva a 0,5-1,0 mm-es szemcseátmérőnél is került víz a szedőedénybe, tehát a vízátemelés itt is bekövetkezett.

Megállapítható, a vízátemelési kísérlet szerint, a finom szemcsésű mintában a vízmozgás felfelé is végbemegy. Ez azzal magyarázható, hogy a finom szemcsésű fedőben mivel nagyobb a kapilláris hézagterfogat, több lesz a kapilláris víz (a kapilláris vízhez hasonló módon viselkedik a kicsi szemcsék felületén lévő vízbevonat is). Miután a kapilláris vízre a hajszálcsővesség emelő tényezője hat, ezért minél finomabb szemcsésű az anyag, annál lassabban és annál kevésbé mozog a benne lévő víz lefelé, és annál inkább szivároghat felfelé és oldalirányban. Ugyanakkor a durva szemcsésű üledékben miután nincs, vagy kevesebb a kapilláris víz a vízmozgás lefelé irányuló (víztemelés kisebb, vagy nincs). Ezáltal nagy eséllyel a durva szemcsésű fedőben lefelé szétszivároghatva éri el a feket.

#### **4.4. Formaképződési folyamatok a fedőben**

Vizsgálataink során a fekün kialakult anyaghiány különböző folyamatokat indított el a fedőben. Ezek a folyamatok függtek a fekün kialakult anyaghiány jellegétől, méretétől, a vízadagolás módjától, a fedő szemcseméretétől, és a fedő vastagságától. A folyamatok az alábbiak voltak: a szuffózió, a hézagterfogat növekedés, a tömörödés és az omlás. Ezeken kívül megfigyelhetők volt még a szemcse áthalmozódása is (esővízbarázdánál).

##### **4.4.1. Szuffózió**

Szuffózió alatt azt a folyamatot értjük, amikor a fedő nem egy összletként, hanem szemcsénként, vagy oldatban mozog a fedőben áramló víz hatására (*Butzer 1986*). Egyes szerzők azonban a szuffózió alatt kizárólag a szemcsék áthalmozódását értik (*Williams 2004*). Szuffóziót főként a kis és közepes szemcseméretű fedőnél tapasztaltunk. A fedőben lezajló szuffóziós folyamatokra utalt, hogy amikor a fedőre adagoltunk vizet annak felszínén mélyedés alakult ki. Ez csak úgy lehetséges, ha a fedőn átszivárgó víz szemcséket mozgatott a fekü irányába (*V.1, VII.2, VIII.1-es* jelű gipsztáblán kivitelezett oldatások). Mivel a szuffózió mozgatórugója a víz áramlása a fedőben, a szuffózió iránya, jellege függ közvetlenül a fedőben a vízmozgás irányától és intenzitásától, és valószínűleg közvetetten a vízbevezetés módjától és helyétől.

Miután a fedőn a nagyobb mélyedések inkább finom szemcséjű fedőn alakultak ki feltehetően a szemcsemérettől is függ. A finomabb szemcséjű fedőt ugyanis a lassú vízmozgás is képes szállítani.

##### **4.4.2. Hézagterfogat növekedés**

A fedő másik jelensége, a fekün létrejött anyaghiány hatására, a hézagterfogat növekedés. Ez történhet szuffózióval, de történhet fellazulással is. Utóbbi esetben a fedő szemcséi távolabb kerülnek egymástól, miáltal megnő az aggregát hézagterfogat. A lazulási hézagterfogat, ami az aggregát hézagterfogat növekedését okozza, a felszín irányába vándorol. A lazulási hézagterfogat növekedését tömörödés követi. Ilyenkor a szemcsék ismét közelebb kerülnek egymáshoz. Ez utóbbi folyamat a felszín süllyedését eredményezi. Akkor, ha a hézagterfogat növekedés a felszínig terjed a fedő a felszínig tömörödik, miáltal a felszín megsüllyed. Akkor, ha a hézagterfogat növekedés frontja nem éri el a felszínt, a fedőnek csak a felszínhez képest mélyebb helyzetű része tömörödik. Emiatt a felszín azért süllyed, mert a tömörödő rész feletti fedőrész behajlik a tömörödő részbe.

A hézagterfogat növekedés és az ezt követő tömörödés a modell kísérleteinknél is kimutatható volt. Előfordult ugyanis, hogy a vízadagolás közvetlenül a fekére történt, a fedőn mégis kialakult mélyedés közvetlenül a leoldott gipsz felület felett. Ekkor szuffúzió nem mehetett végbe (a fedőn nem történt vízátzivárgás), hanem csak lazulási hézagterfogat növekedés okozhatta a tömörödést és így a felszín süllyedését.

#### **4.4.3. Tömegmozgások**

A feké anyagiánya tömegmozgások útján is áterjedhet a fedőre. Ekkor a fedő kisebb-nagyobb darabokban omlott a feké aknájába, ill. az aknán keresztül a gipsztáblát hordozó fémlapra. Az omlást bizonyítja, hogy a fedőben függőleges oldalú forma képződött (IV.2, VI.3, VII.1, X.1, XI.1, XII.2-es jelű oldatások). Valószínű, hogy a folyamat két szakaszban történik. Először a fedőben üreg alakul ki úgy, hogy a fedő szemcséi, vagy kisebb-nagyobb darabjai behullnak a fekűn kialakult aknába. Ezt követően a másik szakaszban a fedő ürege feletti mennyezet beomlik. Természetes lezökkenéses töbröknél leírták a fentebb bemutatott két fejlődési szakaszt (Waltham et al. 2005). Az első fázisban a fedőben kicsi üregek alakulnak ki (Beck 1991, White and White 1992), majd a kicsi üregek összekapcsolódnak és a kialakult üreg felfelé a felszín irányába növekszik (Drumm et al. 1990). Ez akkor történhet, ha a fedő kis szemcseméretű és kis vastagságú. Előző esetben a fedő szemcséi a talajnedvesség következtében összetömörödnek, szuffúzió helyett omlás történik. Utóbbi esetben a nagy fedővastagság miatt nem omlás történik, hanem a hézagterfogat növekedés miatt csak süllyedés.

#### **4.4.4. Tömörödés**

Fentebb említettük, hogy a fedő tömörödése végbemehet a fedő teljes vastagságában, vagy csak egy részében. Mindkét esetben a fedő felszínének süllyedése történik. A fedő tömörödését kiválthatja a hézagterfogat növekedés mellett egyéb hatás is. A tömörödés kiváltója lehet, ha a fedőben a víztartalom lecsökken. Ekkor a fedőn repedések jelenhetnek meg.

#### **4.4.5. Pluviális erózió**

Pluviális eróziót akkor tapasztaltunk, ha a gipsztábla dőlése 5° volt és a fedőn kialakuló medencében felgyülemelő víz túlcsordult, majd a fedőn végigfolyva erodálta annak felszínét. Ekkor esővízbarázdák képződtek.

#### 4.5. Oldódás a fekűn

Az 5 centiméteres fedő alatti fekű oldatás során létrejött formák figyelembevételével, a fedő szivárgási viszonyai állapíthatók meg. Ezáltal a fedőben létrejövő víztest jellemzői (térbeli kiterjedése, alakja) körvonalazhatók. E modell figyelembevételével vázoljuk fel a vízáradást a fekűre és ott az oldódást. Az oldódás típusa és a szemcseátmérő közti kapcsolatot a kétféle hézagterefogat (kapilláris illetve aggregált) arányának változásával magyarázzuk.

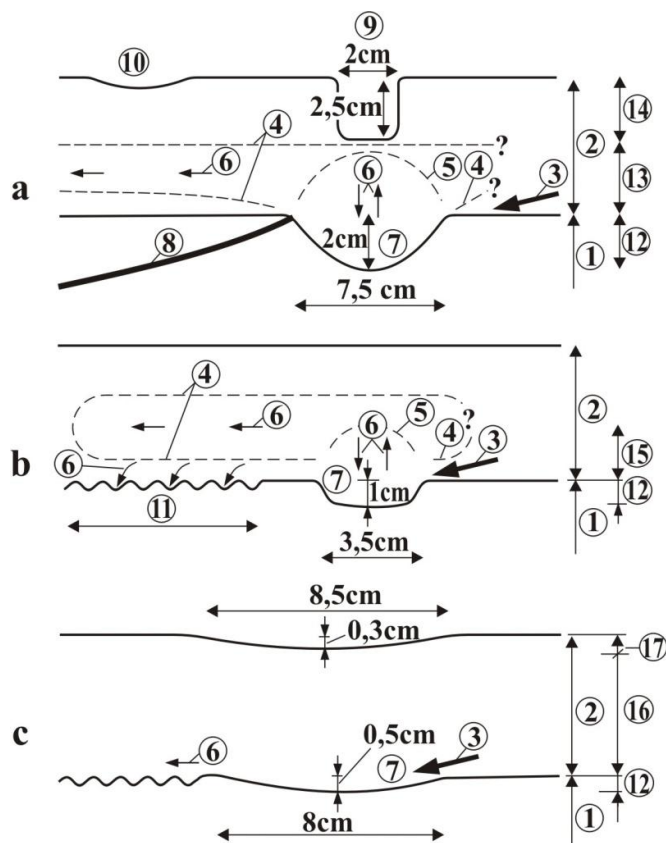
Finom szemcséjű fedőn, ahol a kapilláris hézagterefogat nagy, a fedőben a kapilláris víz tározódik. Ezt bizonyítja, hogy ilyen fedő alatt csak a vízadagolási hely alatt van oldódás. Tehát a fedő vize más helyeken nem éri el a gipsztábla felszínét. Az adagolt víz a fedőben oldalirányba szivárogva jut ki a rendszerből, vagy lefelé szivárogva (a betáplálás szüneteiben) a betáplálási hely alatt éri el a gipsztábla felszínét. (6.a ábra). A fedőben a kapilláris eredetű vízáramlás olyan mértékben fejlődhet ki 5 cm vastagságú fedőnél, hogy a fedő peremi hasadékoknál a gipsztábla részben vagy teljesen átoldódhat. Ez akkor következik be, ha a vízadagolás intenzitása nő.

Durvább szemcséjű fedőn, amelynél az aggregát hézagterefogat nagyobb, a kapilláris víz ha kilép a szemcsék közé, azok réseiben is elérheti a fekűt (6.b ábra). Ezt bizonyítja, hogy a vízadagolási hely alatt a gipsztáblán kisebb méretű forma képződik, míg a gipsztábla többi részén már nagy sűrűségben jönnek létre ujjbegyek és kürtök. Valószínű, hogy a fedőbe került víz oldalirányba áramlik (ezért lesz kisebb a vízadagolási hely alatti madáritató a gipszen). Az oldalirányban áramló vízből már lefelé szivárgás is végbemehet, amely lehetővé teszi a gipszen a kisméretű formák nagy sűrűségű kifejlődését. A még durvább szemcséjű fedő esetén a fekűre történt vízadagolásnál a víz csak korlátozottan terjed a fedőben, a kicsi kapilláris hézagterefogat miatt, és a nagy aggregát hézagterefogat miatt lefelé szivárog és felületi kiterjedésben éri el a gipsztáblát. Annak felszínén szivárog, illetve áramlik amely során kiterjedt oldást végez (6.c ábra). A fedőre történő vízadagolásnál a víz az aggregát hézagterefogat résein keresztül ugyancsak a fekűre jutva annak felszínén szivárogva végez folytonos oldást.

Végül a szemcseméret további növekedésénél (0,250 mm felett) az oldódás ismét lokális lesz. Ekkor az igen nagy aggregát hézagterefogat miatt a fedőn a víz gyorsan és teljes mértékben függőlegesen átszivárogva a vízadagolás alatt egy „pontban” éri el a fekűt.

Megemlíthetjük azonban, hogy a kísérleteink szerint a vízmozgás a vízadagolás módjától is függ. Akkor, ha a vízadagolás a fedőre fentről történik a fedőben a víz nagyobb eséllyel szivárog függőlegesen, míg ha a vízadagolás oldalról történt ugyanolyan szemcseméretnél a víz egy része oldalirányban is szivároghat.

A fedő vízforgalma alapján a fekün az oldódás háromféle módon valósulhat meg. Így folytonos oldódás, vonalas oldódás, lokális oldódás formájában. Ennek során végbemenő oldódást és az azt kísérő formaképződést alább mutatjuk be.

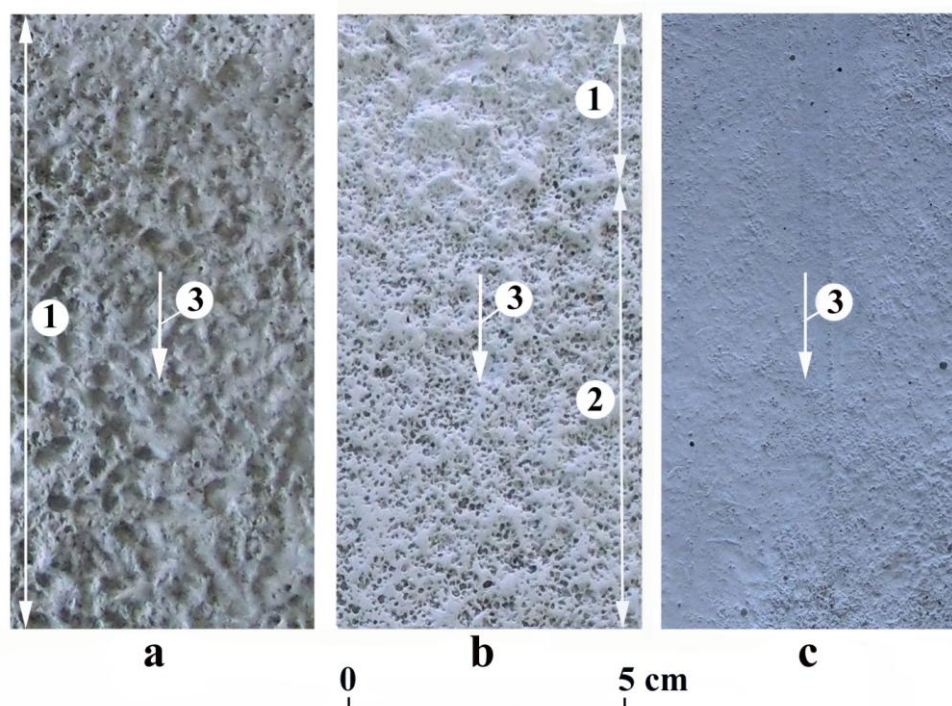


6.ábra: A fedő szemcsemérete és a kapilláris víz kifejlődése közti kapcsolat laboratóriumban  
5 cm-es fedővastagságnál

Jelmagyarázat: a. a fedő szemcsemérete 0,125-0,250 mm; b. a fedő szemcsemérete 0,5-1 mm; c. a fedő szemcsemérete 1,00-2,00 mm; 1. a gipsztábla; 2. a fedő; 3. vízadagolás; 4. kapilláris víz kiterjedésének feltételezett határa vízadagolásnál; 5. a kapilláris víz feltételezett kiterjedésének határa a vízadagolás szünetében; 6. vízmozgás és anyagszállítás; 7. madáritató; 8. túlfolyási channel talpa; 9. függőleges medence; 10. megnyúlt medence; 11. folytonos oldódás (ujjbegyek és kürtők); 12. szemcsehullás és szuffózió; 13. szuffózió, hézagterefogat növekedés, üregképződés; 14. omlás; 15. szuffózió, hézagterefogat növekedés; 16. hézagterefogat növekedés, tömörödés; 17. süllyedés

#### 4.5.1. Folytonos oldódás

Kis szemcseméret esetén a fedő nagyobb vízemelő képessége miatt a víz szivárgása nem a fekü felszínén történt, hanem a fedőben oldalirányban. Miután a víz a feküt csak korlátozott kiterjedésben érte el, az oldás csak a vízadagolás helyénél, és a víz fedőből való kilépésénél (a fedő elvégződésénél) lokálisan történt (4.c kép).



4.kép: Folytonos oldás különböző szemcseméretű fedő alatt

Jelmagyarázat: 1: ujjbegyes zóna, 2: kürtős zóna, 3: lejtésirány

Közepes szemcseméret esetén a víz már a fekü felületén is mozgott, így képes volt folytonosan oldani, és nagy sűrűségben formákat létrehozni. A szemcsék közti kis hézagok miatt a vízáteresztő képesség kicsi, így a fedő ugyanazon helyére kevés víz jutott, ezért főleg kis formák alakultak ki, mint a kürtők, és megjelentek az ujjbegyek is. Az ujjbegyes zóna keskenyebb sávban fejlődött ki, főleg a vízadagolás helyéhez közelebb, a kürtős zóna pedig (bár kürtők az ujjbegyes zónában is, igaz kisebb sűrűségben, de előfordulnak) e zóna alatt alakult ki. Valószínűleg távolabb azért alakulhattak ki kürtők, mert a fedőből a távolság növekedésével egyre kevesebb víz juthatott a gipsztábla felszínére. (4.b kép.)

Nagy szemcseméret esetén a kis vízzáró hajlam, a szemcséknek a vizet szétterelő képessége, továbbá a gravitációs vízmozgás miatt a bejuttatott víz szétterült a fekü felszínén.

Szétterjedve a fekün azon szivároghva folytonos oldást kifejtve nagy sűrűségben (ujjbegyész zónát) alakított ki formákat. (4.a kép).

#### **4.5.2. Vonalas oldódás**

Kis szemcseméret esetén a vízadagolás során, a kapilláris víz kifejlődése miatt a fedő megduzzadt. A vízadagolás megszűnésekor a vízleadás következtében a térfogat csökkent, a fedő zsugorodott, ezáltal hasadékok alakultak ki rajta. Ezt követően a fedő kapilláris vize a hasadékokba, majd onnan a feküre szivárgott. A hasadékok alatt a gipsz oldódott, ahol csatornák alakultak ki. Ebben az esetben tehát nem a fekről történt a fedőre az anyaghány átöröklődése, hanem a fedőn bekövetkezett változások (hasadékok) okozták a gipsz oldódását.

#### **4.5.3. Lokális oldódás**

Ahogy már korábban említettük, a fekről lokális oldás következtében kialakuló formák a madáritatók és az aknák. Lokális oldási formák akkor is kialakulhatnak, ha egyidejűleg a fekről folytonos, ill. részlegesen folytonos oldás is végbemegy.

1 cm-es fedőnél, kicsi szemcseméretnél (0,063 mm-nél kisebb) a kapillárisokban lévő víz a fedőben oldalirányú mozgást végez, szivárog vagy áramlik. Ekkor a fedő elvégződésénél kilép a fedőből, és ott fekről jut (fedőmenti hasadék jön létre). Ezért a fekről oldódás nem történik. Ugyanilyen szemcseméretnél a vízadagolás szüneteiben viszont a fedőben lévő víz a vízbetáplálásnál lefelé mozogva eléri a fekről, emiatt kis szemcseméretnél lokális oldást tapasztalhatunk (akna képződik). A függőleges vízmozgást erősíti a megfelelő vízadagolás (a vizet a fedőre felülről adagoltuk). Durvább szemcseméretű fedőn a kapillárisokban lévő víz a fedő aggregát hézagterefogatának réseibe lépve viszonylag sok helyen éri el a fekről, ez nem kedvez a lokális oldódásnak. Még durvább szemcséjű fedőnél (2,5-5,0 mm), ha a vízadagolás a fedőre történt, a szemcsék közti nagy méretű réseken a víz gyorsan átszivárog a fedőn, a fekről egy pontban oldja, emiatt az oldódás akárcsak a kis méretű szemcseméretnél lokális lesz.

5 cm-es fedőnél az oldás jellegét szintén a fedő szemcsemérete befolyásolja. Kis szemcseméretnél (0,125-0,25 mm) az oldás lokális, de madáritató képződött. Ezt szintén a fedő kapilláris vízének vízadagolási szünetekben történő lefelé mozgásával magyarázhatjuk. Ugyanilyen fedővastagságnál a szemcseméret növekedésével még lokális az oldás (a 0,250-0,5 mm-es szemcseátmérőnél), majd a szemcseméret további növekedésével az oldás egyre inkább folytonos lesz (a 0,5-1,0 mm és a 1,0-2,0 mm közötti szemcseméretű fedő alatt). Ekkor

a korábban említett módon, a kapilláris víz az aggregát hézagterefogat résekbe kilépve (vagy eleve e hézagterefogat réseiben mozogva) sok helyen éri el a feküt. Még durvább szemcsénél (2,5-5,0 mm) ismét lokális oldást tapasztalunk, mert a víz gyorsan tud lefelé szivárogni az aggregát hézagterefogat nagy méretű réseiben.

1 cm-es fedőnél és kis szemcseméretnél (0,063 mm alatt) a vízadagolás módja is befolyásolja a fekü oldódását. Ha a vízadagolás a feküre fentről történik, akna képződik. Míg ha a vízadagolás a feküre oldalról történik, szintén lokális oldódást tapasztalunk. Miután a víz kissé szétosztva jut a feküre, emiatt madáritató alakul ki.

#### **4.6. Formaképződés a fedőn**

##### **4.6.1. Formaképződése a fedőn 1 cm-es vastagságú fedőn**

A fedőre a fekü anyaghiánya átöröklődhet lokális, vonalas és ritkán folytonos oldódás során is.

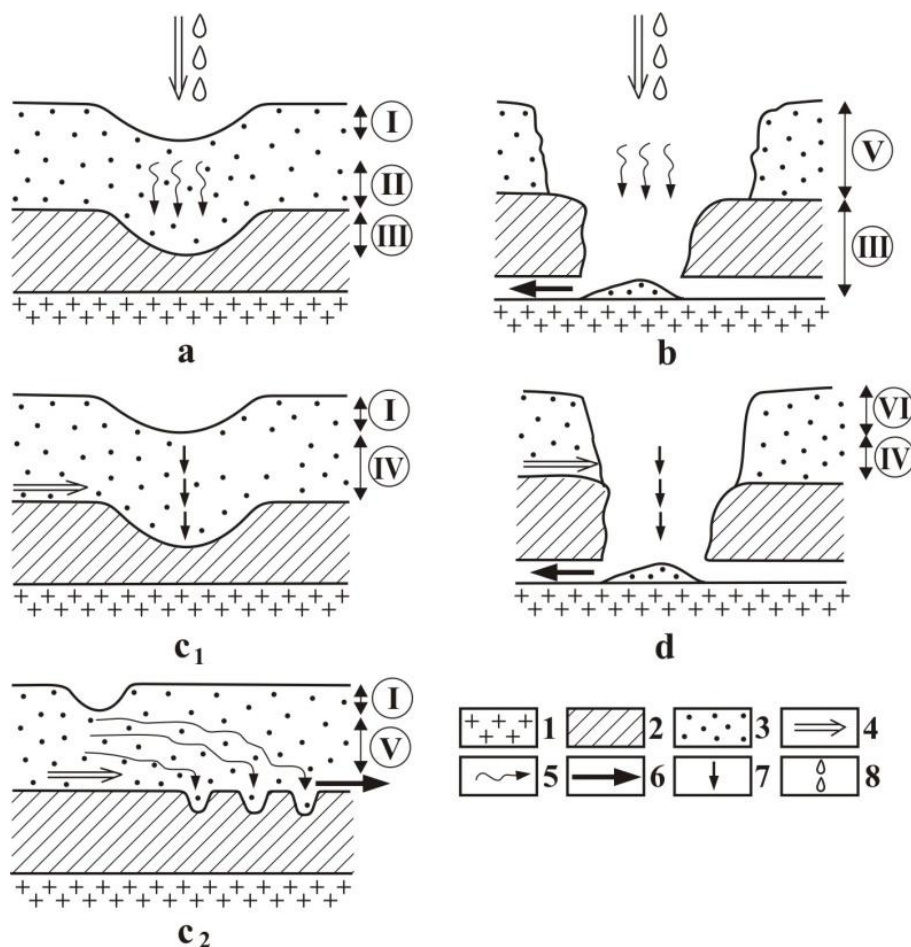
Ha a vízadagolás a fedőre történik, a fekűn képződhet madáritató, vagy akna. Előző esetben a fedő szemcséi szuffúzióval a fekü mélyedésébe halmozódnak, ezt a fedő tömörödése követi, ami a tömörödött rész felett a fedő süllyedését okozza (7.a ábra). Ezáltal létrejön a fedő mélyedése. Ha a fekü akna képződik, a fedő szuffúzióval a fekü aknáján keresztül a gipsztábla alá szállítódik (7.b ábra). Ekkor a fedő anyaghiánya sokkal nagyobb méretű is lehet, mintha a fekü madáritató képződött volna. A fedő mélyedése omlások által tovább nőhet.

Ha a vízadagolás a feküre történik, szintén kialakulhat akna, de madáritató is. Amikor akna jön létre a fekü a fedő alsó részének szemcséi, vagy kisebb-nagyobb darabja az aknán keresztül lehullnak a gipsztábla alá. A fedő alsó részén ekkor megnő a hézagterefogat, esetleg üreg is képződik. Az üreg mennyezete kisebb omlásokkal addig vékonyodik, míg a fedő felső része el nem veszti stabilitását (ez bekövetkezhet a fedő vízvesztése, ill. nedvesedése miatt is), majd omlással az aknán keresztül lehull a gipsztábla alá (7.d ábra). Ha a fekü madáritató képződik, a fedő szemcséi a fekü kialakuló mélyedésbe hullnak, ami hézagterefogat növekedéssel jár. Ezt követően a fedő tömörödik, majd a tömörödött rész felett a megsüllyed, kialakul a fedőn a mélyedés (7.c<sub>1</sub> ábra).

Vonalas oldódás során a fekü csatornáiba hullhatnak a fedő szemcséi. Ez hézagterefogat növekedéssel jár, amit tömörödés követ, majd a tömörödött rész felett a fedő

megsüllyed. A süllyedés lehet vonalas, ekkor lejtésirányban megnyúlt medence szerű formák képződnek, vagy lehet lokális, ekkor kis méretű medence jön létre a fedőn.

Előfordulhat az is, hogy az oldalirányban áramló víz hatására a fedő szemcséi a fekü kisebb mélyedéseibe, kürtőkbe, ujjbegyekbe szállítódnak. A fentebb vázolt kialakulásra utal, hogy közvetlenül a fedő mélyedése alatt a fekün nem találunk mélyedést (7.c<sub>2</sub> ábra). Jellemzően kis méretű medencék képződtek így.



7.ábra: Formaképződés a gipsztábla fedőjén 1 cm-es fedővastagságnál

Jelmagyarázat: 1. gipsztáblát hordozó fémlap, 2. gipsztábla, 3. fedő, 4. vízadagolás, 5. szuffúzió, 6. anyagszállítás a hordozó fémlapon, 7. szemcsehullás, 8. csepegtetés, I. süllyedési zóna, II. szuffúzió-tömörödés, III. oldódás-szuffúzió-tömörödés IV. szemcsehullás (hézagterfogat nő, amit tömörödés követ), V. oldás-szemcsehullás VI. szuffúzió, VII. omlás, a. szuffúzió-tömörödés-süllyedés, b. szuffúzió, c<sub>1</sub>. szemcsehullás-hézagterfogat növekedés-tömörödés-süllyedés, c<sub>2</sub>. szuffúziós anyagszállítás-hézagterfogat növekedés-tömörödés-süllyedés, d. szemcsehullás-hézagterfogat növekedés-omlás

#### **4.6.2. A fedő formaképződése 5 cm-es fedővastagságnál**

A fedőn a formaképződést meghatározza a fekűn kialakult anyaghiány mérete és alakja, valamint a fedőben a vízmozgás jellege, ami függ a fedő szemcseméretétől és a vízadagolás módjától.

Finom szemcseméretű fedőn a fedőben lévő víz a hajszálcsövesség emelőereje által mozog, illetve oldalirányban szivárog, majd a fedő elvégződéséhez érve kilép a fedőből. A fedőben lévő víz a vízadagolás szüneteiben a betáplálási helynél lefele mozogva is elérheti a fekűt, ekkor nagyobb méretű lokális forma (madáritató) alakul ki a fekűn. E felett a fedőn függőleges oldalú mélyedés alakul ki (6.a ábra). A fedő kis szemcsemérete miatt nagy összeállósági hajlandósággal bír, ez kedvez, hogy kisebb tömbökre különülve omoljon bele a fekű mélyedésébe. Ugyanilyen szemcseméretnél a fekűn kialakulhatnak túlfolyási csatornák is, melyek a fekű madáritatójából túlsorduló víz elvezetődése során alakulnak ki. Ezek felett a fedőn lejtésirányban megnyúlt medencék képződnek (6.a ábra), melyek kialakulásában nem csak a fekű anyaghiányának van szerepe, hanem a fedőben történő oldalirányú vízmozgásnak is (kialakulásuk részben szuffóziós).

Nagy szemcseméretnél a fekűn az oldódás sokkal inkább folytonosabb jelleget mutat. Ez nem kedvez a nagy méretű lokális formák kialakulásának. A fekűn a vízadagolás helye alatt csak kisebb mélységű madáritató képződik. Ebbe belehullnak a fedő szemcséi, majd a fedő tömörödése után a fedő felszínén lankás oldalú és kis mélységű medence jön létre (6.c ábra). Még nagyobb szemcseméretű fedőnél (2,5-5,0 mm közötti szemcseméretnél) már a fekűn akna alakult ki akkor is, ha a vízadagolás módja nem változott (a vizet a fekűre oldalról adagoltuk). Ekkor azonban a fedőn már nem alakult ki függőleges medence. Ez arra utal, hogy a durva szemcséjű fedőnél, ha az nagy vastagságú omlás nem jön létre. Valószínű azért, mert a szemcsék kevésbé tapadnak össze. Ez hátráltatja az omlást, kedvez viszont a hézagterfogató növekedésének és végső soron a felszín tömörödésre visszavezethető süllyedésének.

#### **5. A kísérleti modellek fedettkarsztosodásának és a természetes fedettkarsztosodásnak az összehasonlítása**

A modellkísérlet során sikerült létrehozni mind lezökkenésszerű, mind szuffóziós töbröket. A modellezett lezökkenésszerű töbrök hasonlóan a természetes töbrökhöz akkor jöttek létre, ha a

fedő finomszemcséjű, tehát nagy volt a fedő összeállósági hajlandósága, vagy akárcsak a természetben a fekűn viszonylag nagy anyaghiány jött létre.

A szuffóziós töbrök kialakulása során a fedőben végbemenő szuffózió lényegében hasonlóan játszódtott le a modelleknél mint a természetben. Azonban a modellek szuffóziós töbrei akkor is kialakultak, amikor a fekű felszínén keletkezett az anyaghiány (csak mélyedés jött létre). A természetben létrejövő szuffóziós töbrök alatt az irodalmi adatok, de a megfigyelések szerint is, a fekűben kürtők, aknák alakulnak ki.

A modellkísérletek arra utalnak, hogy a fedőben a vízáramlás, a víznek a fekűre jutási módja fontos feltétele a modellezett utánsüllyedékes töbrök létrejöttének. A természetben létrejövő utánsüllyedékes töbröknél a fedő vízáramlási viszonyai nem ismertek. Azonban valószínű, hogy természetes körülmények között is fontos tényezője lehet ez a jelenség töbrök kialakulásának.

Modellkísérletek során azonban kialakulhatnak olyan formák is, amelyek a természetes körülmények között nem jönnek létre, vagy nem tudunk ilyenekről (pl. hasadékok a fedőben). Ez arra utal, hogy a modellkísérletekben lezajló folyamatok részben különbözőek, vagy másképpen játszódnak le, mint a természetben. Az eltérésnek több oka lehet. Valószínű, hogy a vízadagolás módja és sebessége lehet az eltérés egyik okozója.

## **6. Következtetések**

A modell kísérletekkel az utánsüllyedékes töbrök kialakulási körülményeit tanulmányozhattuk.

A fekű anyaghiányát, az oldásos formák méretét, kifejlődését, sűrűségét, eloszlását befolyásolja:

- a fedő szemcsemérete,
- a fedő vastagsága,
- a vízmozgás jellege, ami függ a vízadagolás módjától és a fedő szemcseméretétől (a kapilláris- és aggregát hézagterefogat arányától),
- a gipsztábla dőlése.

A fedő formáit meghatározza:

- a fekü anyagiányának mérete,
- a fekü formáinak alakja,
- a vízmozgás jellege (amely lehet vertikális-vízemelő, vízejtő, és horizontális-oldalirányú mozgás).

Oldalirányú vízmozgás hatására a fedőn akkor is kialakulhat depresszió, ha közvetlenül alatta a fekűn nincs is mélyedés. A fedő formaképződését nem befolyásolta a fekü felszínén létrehozott átalakítás (karcolás).

A fedő szemcseméretének és a fedővastagságának a növekedésével a fekűn az oldódás kevésbé lokális jellegű, ill. egyre folytonosabb lesz. Ez alól kivétel a legdurvább szemcseméret (2,5-5,0 mm), mert itt a fedővastagság növekedésével az oldódás ugyancsak lokálisabb lesz.

Az oldatási kísérletek során lezökkenéssel és szuffóziós töbröket „állítottunk” elő. Ezáltal jó közelítéssel megállapíthatók a természetes lezökkenéssel és az utánsüllyedéssel töbrök kialakulása és a kialakulási feltételei. A modellkísérletekkel előállított fedett karsztosodás és a természetben lezajló fedettkarsztosodás azonban részben különböznek is egymástól.

### **Irodalomjegyzék**

Andrejchuk, V. (2002): Collapse above the World's largest Potash Mine (Ural, Russia) – International Journal of Speleology 31 (4), pp. 137-158.

Arrington, D.V., Lindquist, R.C. 1987: Thickly mantled karst of the Interlachen, Florida, area-In: Beck, B.F. and Wilson, W.L. (eds) Karst Hydrogeology: Engineering and Environmental Applications pp. 31-39. Balkena: Rotterdam.

Balázs D. 1984: Exhumált trópusi őskarszt Lapinha vidékén (Minas Gerais, Brazília) – Karszt és Barlang II. pp. 87-92.

Beck, B. F. 1991: On calculating the risk of sinkhole collapse – In: Kasting, E. H. and Kasting, K. M. (eds.): Appalachian, Karst, Proceedings of the Appalachian Karst Symposium, Radford, Wirginia, March 23-26 1991: National Speleology Society, Huntsville pp. 231-236.

Beck BF, Sinclair WC (1986) Sinkholes in Florida: An introduction. Florida Sinkhole Research Institute Report 85-86-4, 16 p.

- Beggs, T.F., Ruth, B.E. 1984: Factors affecting the collapse of cavities-In: Beck, B.F. (ed.) Sinkholes: Their Geology, Engineering and Environmental Impact, pp. 183-188. Balkema: Rotterdam
- Butzer K.W. 1986: A földfelszín formakincse-Gondolat Kiadó, Budapest, 520 p.
- Chen J. 1988: Karst collapses in cities and mining areas, China-Environmental Geology Water Science, 12, pp. 29-35.
- Clayton, K. M. 1966: The origin of the landforms of the Malham area.-Field Studies 2, pp. 359-384.
- Cramer, H. C. 1941: Die Systematik der Karstdolinen – N. Jb. Miner. Geol. Paläont. 85 pp. 293-382.
- Cvijič J 1893: 'Das Karstphänomen'. Versuch einer morphologischen Monographie.-Geogr. Abhand. von A. Penck 5(3):217–329
- Cvijič, J. 1925: Types morphologiques des terrains calcaires – C. R. Acad. Sci., Paris 582 p.
- Drumm E.C., Kane W.F., Yoon, C.J. 1990: Application of limit plasticity to the stability of sinkholes-Engineering Geology, 29,pp. 213-225
- Dzulansky, S., Gil, E., Rudnicki, J. 1988: Experiments on kluftkarren and related lapir form – Zeitschrift für Geomorphologie 32(1) pp. 1-16.
- Ford, D. C., Williams, P. W. (2007): Karst Hydrogeology and Geomorphology – John Wiley & Sons, Ltd. 561 p.
- Gams, I. 1994. Types of contact karst. – Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 17, pp. 37-46.
- Glew, J.R.-Ford D.C. (1980): Simulation study of the development of rillenkarren- Earth Surface Processes, 5.p 25-36
- Gvozdetzkiy, N. A. 1965. Types of Karst in the U.S.S.R.-Separatum, Prob. Speleol. Res. (Prague) pp.47-54.
- Hevesi A. (1978): A Bükk szerkezet- és felszínfejlődése – Földr. Ért. XXVII. pp. 169-203.
- Hevesi A. 1980: A Bükk hegység negyedidőszaki ösföldrajzi képe – Földtani Közlöny, 110, (3-4) pp. 540-550.
- Hevesi A. 1986: Hideg vizek létrehozta karsztok osztályozása – Földr. Ért. 35, (3-4).pp. 231-254.
- Hose, L. D., Strong, T. R. 1981. The genetic relationship between breccia pipes and caves in non-karstic terranes in northern Arizona – Proceedings 8th International Congress Speleology, National Speleological Society: Huntsville. pp. 136-138.

- Jakucs L. 1956: Adatok az Aggteleki-hegység és barlangjainak morfogenetikájához – Földr. Közl. IV (2) pp. 25-35.
- Jakucs L. (1968): Szempontok a karsztos tájak denudációs folyamatainak és morfogenetikájának értékeléséhez – Földr. Ért. 17 pp. 17-46.
- Jakucs L. (1971): A karsztok morfogenetikája – Akadémia Kiadó, Budapest 310 p.
- Jennings J.N. (1985) Karst Geomorphology.-Basil Blackwell, New York, 293 p.
- Johnson, K. S., Collins, E. W., Seni, S. J. 2003. Sinkholes and Land Subsidence Owing to Salt Dissolution near Wink, West Texas and Othor Site sin Western Texas and New Mexico – Oklahoma Geological Surrey Circular 109, pp. 163-195.
- Klimchouk, A. 2004: Evaporite karst – In: J. Gunn (edit): Encyclopedia of Caves and Karst Science, Fitzroy Dearborn pp. 343-347, New York, London
- Lendvai J: Környezetvédelmi mérés technika III: talajvizsgálatok - [http://www.kepzesevolucioja.hu/dmdocuments/4ap/14\\_1214\\_033\\_101030.pdf](http://www.kepzesevolucioja.hu/dmdocuments/4ap/14_1214_033_101030.pdf)
- Lei M., Jiang X. and Yu L. 2001: New advances of karst collapse research in China-In: Beck, Geology and Hydrology, pp. 145-151. Balkema: Lisse
- Lu Y., Cooper, A. H. 1997. Gypsum karst geohazards in China-In: Beck, B. F. and Stephenson, J. B. (eds), Engineering Geology and Hydrogeology of Karst Terrains, pp. 117-126. Balkema: Rotterdam
- Quinlan, J. F. 1967: Classification of karst types: A review and synthesis emphasizing the North American literature 1941-1966-Natl. Speleol. Soc. Bull 29 pp. 107-109.
- Slabe T (1999) Subcutaneous rock forms.-Acta Carsologica 28(2) pp. 255–271
- Slabe T. 2009: Karren simulation with plaster of Paris models.-In: Ginés Á, Knez M, Slabe T, Dreybrodt W (eds), Karst Rock Features. Karren Sculpturing Založba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. Carsologica 9 pp. 47-61
- Slabe T, Liu H (2009) Significant subsoil rock forms-In: Ginés Á, Knez M, Slabe T, Dreybrodt W (eds), Karst Rock Features. Karren Sculpturing Založba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. Carsologica 9 pp. 123–137
- Song, L. H. 1986: Origination of stone forest in China.-International Journal of Speleology 15, (1-4): 3-33.
- Stefanovits P. (1981) Talajtan-Mezőgazda kiadó, Budapest, 382 p.
- Szűcs Ervin (1972): Hasonlóság és modell-Műszaki Kiadó, Budapest 299 p.
- 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, 167. p. Bakonyi Természettudományi Múzeum, Zirc, 167 p.

Veress M (2009) Investigation of covered karst form development using geophysical measurements.-Zeits. f. Geomorph. 53(4) pp. 469-486

Veress M., Pidl K., Mantler M. 1998: Gipsz karsztosodásának modellezése laboratóriumi körülmények között – BDTF, Tud. Közl. XI. Természettudományok, 6 pp. 147-166.

Veress M.-Zentai Z. 2009: Karsztjelenségek minősítése a Bükk-hegység néhány mintaterületén a mészkőfekü morfológiájának és a fedőüledékek szerkezetének értékelésével – Karszt és Barlang, 2007, I-II, pp. 37-54

Veress M.-Gárdonyi I.-Deák Gy. (2014): Fedett karsztosodás vizsgálata fedővel borított gipsztáblán-Karsztfejlődés XIX. pp. 159-171

Veress M. (2004): A karszt – BDF, Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely 215 p.

Veress M. (2010): A magyarországi eltemetett és rejtett karsztos térszínek felszínfejlődése – Földr. Közl. 134 (4) pp. 373-391.

Veress M. 2012: Glacial Erosion and Karst Evolution (Karren Formation on the Surfaces Formed by Glaciers) – In: Veress B.-Szigethy J. (szerk.) Horizons in Earth Science Research- New York: Nova Science Publishers Inc., pp. 1-94.

Waltham T., Bell, F., Culshaw, M. 2005: Sinkholes and Subsidence – Springer Berlin Heidelberg, 382 p.

White WB (1988) Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains-Oxford University Press, New York – Oxford, 464 p.

Williams P.W (2004) Dolines.-In: Gunn J (ed.), Encyclopedia of Caves and Karst Science, Fitzroy Dearborn, New York, London, pp. 304-310

Wenrich, K. J. and Sutphin, H. B. 1994. Grand Canyon caves, breccia pipes and mineral deposits – Geology Today, 10, pp. 97-104.

White, W. B., White E. L. 1992: Sinkholes and sinkhole collapses – In: Majundar, S. K., Forbes, G. S., Miller, E. W. and Schmalz, R. F. (eds.): Natural and Technological Disasters: Causes, Effects and Preventative Measures, Pennsylvania Academy of Science pp. 280-293.

Willford, G. E. and Wall, J. R. D. 1965. Karst topography in Sarawak – J. Trop. Geogr. 21 pp. 44-70.

Xiang S., Chen J., Wilson, W.L. and Beck, B.F. 1988: Sinkholes as a consequence of groundwater development in karst regions-American Institute of Hydrology Journal, 4. pp. 160-173.

Yuan D. 1987: Environmental and engineering problems of karst geology in China-In: Beck, B.F. and Wilson, W.L. (eds.) Karst Hydrogeology: Engineering and Environmental Applications, pp. 1-11. Balkema: Rotterdam

Zseni A (2004) Talaj alatti karrformák-Karsztfejlődés IX pp.157–175

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