

**A FEDETT (REJTETT) KARSZT SÉRÜLÉKENYSÉGÉNEK  
VIZSGÁLATA LABORATÓRIUMI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT**

**VULNERABILITY STUDY OF THE COVERED (LATENT) KARST  
IN LABORATORY CONDITIONS**

NÉMETH ZSUZSANNA – GÁRDONYI ISTVÁN – SZEMES MÁTYÁS  
– VETÉSI-FOITH SZILÁRD – DEÁK GYÖRGY

NYME, Természettudományi és Műszaki Kar, 9700 Szombathely Károlyi  
Gáspár tér 4 [gyorgydeak8@gmail.com](mailto:gyorgydeak8@gmail.com)

*Abstract: We were studied in laboratory how the different impurities (gasoline, diesel oil) getting into the karst. In our previously studies we have known the relationship between the water and the sediment cover by the means of physical analog models. In this study we present the countenance of the gasoline and the diesel oil in the sediment cover and set against the characteristics of the water, that we have previously known. We were studied the lifting ability and the dropping ability of the gasoline and the diesel oil in the different grain sizes with the previously discribed methods. The results of the gasoline and diesel oil was compared with the characteristics of the water moving. In the small grain size cover (<0,063-0,125 mm) the liquids are dispersed also in horizontal and vertical ways because of the high percentage of the capillary void volume. The cover stores the liquids consumedly and because of this, only a small percentage of the liquid impurities can reaches the bedrock in longer time and in a smaller surface. In the big grain size (1,0-2,5 mm) cover the aggregate void volume is the dominant. The water and the impurities are moving in vertical way from the point-like dripping place to the bedrock because of the gravitational force. The moving of the water always goes before to the gasoline and the diesel oil. The cover can not stores the water and the liquid impurities, these are reaching the bedrock and expanding within a short time. But the cover always keep some gasoline and diesel oil. Especially in small grain size, the thickness of the cover is slows the moving and expanding of the liquids in the cover.*

## 1.Célkitűzés

Modellkísérletekkel vizsgáltuk a fedett (rejtett) karsztok folyadékháztartását. Kísérleteinket azzal a céllal végeztük, hogy adatokat kapjunk a karsztos fedőközet szemcsemérete és a fedő vastagsága miként befolyásolja a felszín felől érkező folyadékok terjedését a karszt fedőközetében, másrészt megismerjük a fedőből a karsztra történő folyadék átadást.

## 2.Bevezetés

A felszín alatti vizek utánpótlása, a beszivárgási elmélet szerint, a felszínről érkező (csapadékvíz, felszíni vízfolyásból származó) víz egy részéből származik. Ennek nagysága az éghajlati, domborzati és földtani adottságoktól függ. A különböző kőzetek hézagaiban a nehézségi erő hatására a víz lefelé

mozog, amíg el nem éri a vízzáró rétegeket. A vízzáró réteg felett, a kőzet településének megfelelően a víz vagy felhalmozódik, vagy a vízzáró réteg lejtésének irányába elfolyik. A felszín irányából beszivárgó vizet vadózus víznek hívjuk, azt a zónát, ahol a beszivárgó víz függőlegesen mozog a kőzetekben, vadózus zónának (*VITÁLIS* 2012). A karsztokon azt a vizet, amely oldalirányban mozog, miután a lefelé mozgó víz elérte a karszt erózióbázisát, áramló karsztvíznek, a helyét a kőzetben az áramló karsztvíz övének hívják.

A kőzetek (és a talajok) vízgazdálkodása összetett jelenség, függ a víznyelési-, víztartó-, vízvezető-képességtől, valamint a víz utánpótlódásának sebességétől (*STEFANOVITS* 1981), melyeknél a fedő hézagterefogat viszonyai meghatározó tényezők (*FEHÉR* et al. 1986; *VERMES* 1997).

A hazai szakirodalomban már számos munka született a talajok folyadékmozgásainak vizsgálata céljából, ám ezek a jelen dolgozattal ellentétben különböző matematikai modellalkotáson alapultak. Így *TÓTH* et al. (2009) a talajok víztartóképességét vizsgálta faktoranalízissel, míg *HERNÁDI – MAKÓ* (2010) pedotranszfer függvényekkel vizsgálta a különböző talajok olajvisszatartó képességét. Utóbbi kutatásban kimutatták, hogy a különböző fizikai féleségű talajok olajvisszatartó képessége függ a talajok aggregát és kapilláris hézagterefogatának arányától. *ELEK – MAKÓ* (2012) szintén matematikai modellezéssel természetes eredetű és mesterségesen elkészített talajmintákon változó hőmérséklet- és nyomásviszonyok között vizsgálta a felszínről származó szénhidrogén-származékok terjedését. Kimutatták, hogy a talajok összporozitása minden esetben döntő a folyadékmozgás becslése szempontjából.

A fedő szemcseméretének és a víz mozgásának, (így a fekü oldódásának) kapcsolatát vizsgálták *VERESS* et al. (2014), *DEÁK* et al. (2015), valamint *GÁRDONYI – SZEMES* (2015) fizikai analóg modellkísérletekkel. Eredményeik alapján megállapítható, hogy a fedőben a vízmozgást, illetve a fedő és fekü közti vízáradást a fedő vastagsága, szemcsemérete, illetve összhézagterefogata befolyásolja.

Az általunk vizsgált természetes víz és szennyező folyékony szénhidrogének mozgásának jellemzésére alkalmas a molekulák tömege (Atomi Tömegegység, ATE), a molekulák térbeli szerkezetéből adódó polárosság vagy apolárosság, a vizsgált folyadékok sűrűsége, viszkozitása, és levegőre vonatkoztatott felületi feszültsége, gőznyomása (*MAKÓ* 1998). A benzinen a molekulák szénatomszáma 6-12 között változik, a benzin apoláris átlagos molekulatömege messze meghaladja a poláris molekulákból felépülő vízmolekulák moláris tömegét. A gázolaj szintén apoláros molekulák keverékéből

épül fel, a szénatomok száma a molekulákban 12-16 között változik, a gázolaj átlagos moláris tömege a benzinnél is nagyobb (LEMPERT 1976). Mint az I. táblázatból is látható a gázolaj és a benzin fizikai paraméterei élesen különböznek a víztől. Ezek a tulajdonságok meghatározóak lesznek a fedő és a folyadékfázis kölcsönhatásában és így a folyadéknak a szilárd fázisban történő mozgására. Ezen kölcsönhatást három egymástól eltérő erőviszony fogja létrehozni. A kapilláris erő (felhajtóerő), a gravitációs erő, és adszorpciós erő (STEFANOVITS 1981).

I.táblázat  
Table I.

A víz, gázolaj és a benzin néhány fizikai paramétere  
Few physical parameters of the water, diesel oil and the petrol

Anyag	Sűrűség [g/cm <sup>3</sup> ] (15C°-on)	Folyadék-levegő határfelületi feszültség [J/m <sup>2</sup> ] (20C°-on)	Viszkozitás [cP] (20C°-on)
Víz	0,998	72,6	1
Gázolaj	0,827	25-35	2,64
Benzin	0,729	20-22	0,35-0,5

Az a folyadék, amely a fedőkőzeten átszivárogva, abból kilépve a karsztos fekézőzetbe jut, lejuthat az áramló karsztvíz övébe és jó eséllyel a karsztos vízbázis víztömegével keveredik. Emiatt befolyásolhatja a karsztos vízbázisok vízminőségét. Mivel a mészkő jól üregesedett kőzet, térben fejlett hidrológia rendszer alakulhat ki benne, ezáltal már kis területen bekövetkezett szennyezés is nagy területekre tud kiterjedni.

### 3.Módszerek

Vizsgálatainkhoz olyan módszert kellett alkalmaznunk, mely a vizsgált természeti jelenséggel (a fedő folyadékfázistartása, ill. a fedő és feké közti folyadékátadás) analóg kapcsolatban áll. A modellek megalkotása során a természetben tapasztalt jelenséget -mely korábban bemutatott számos hatás eredőjeként jelentkezik- szükséges volt leegyszerűsíteni, így néhány tényezőtől eltekintettünk. Ezért a folyadékmozgást vizsgáló kísérleteinknél nem építettük be a modellbe a folyadék mozgást befolyásoló karsztos formákat, a fedőben, valamint a fekében előforduló töréseket, repedéseket, melyek szintén befolyásolhatják a fedett karsztok folyadékmozgásait. E módon analóg fizikai modellt hoztunk létre, melybe az alábbi tényezőket építettük be: a vízadagolás, ami a felszínről érkező folyadék-utánpótlást modellezi, a fedő, ami a fedett (rejtett) karsztot szimulálja, valamint a karsztos feké oldódása, ami a fedő és a feké közti folyadékmozgás jellegére utal. A módszereket

VERESS et al (2014) és GÁRDONYI – SZEMES (2015) tanulmányokban részletesen bemutattuk.

A fedőben történő folyadékmozgásokat, így a benzin és a gázolaj mozgását is a korábban megalkotott módszerekkel végeztük el (DEÁK et al 2015)

A laboratórium hőmérséklete a vizsgálatok során 20-25° C között változott, a légnyomás változása érdemben nem befolyásolta a vizsgált folyadékok mozgását.

#### 4.Eredmények

Korábbi vizsgálatainkból ismert, hogy az összhézagterfogat (H%) 0,250-0,500 mm szemcseméretnél a legkisebb (36,21 %). A szemcseméret növekedésével az összhézagterfogat kisebb mértékben nő (2,5-5,0 mm között), mint a szemcseméret csökkenésével (0,063 mm>). Előző esetben értéke 42,38%, utóbbi esetben 48,54%. Az összhézagterfogatok változása bemutatja, hogy a szemcseméret növekedésével az aggregát hézagterfogat, míg a szemcseméret csökkenésével a kapilláris hézagterfogat növekedik (DEÁK et al 2015, GÁRDONYI – SZEMES 2015, GÁRDONYI et al 2016).

II.táblázat  
Table II.

A folyadékemelés a különböző szemcseátmérőű frakciókban (cm-ben kifejezve)  
The liquid lifting in the different grain sized fractions (in cm)

Szemcseméret	<0,063			0.063-0,125			0,125-0,250		
Emelt folyadék	Víz	Gázolaj	Benzin	Víz	Gázolaj	Benzin	Víz	Gázolaj	Benzin
1 óra	12 cm	16.5 cm	20 cm	23,5 cm	22 cm	27 cm	29 cm	19.8 cm	23.5 cm
5 óra	28 cm	25 cm	44 cm	38 cm	27 cm	36 cm	35 cm	21 cm	27.3 cm
24 óra	48 cm	47 cm	71 cm	44 cm	40.7 cm	44 cm	39 cm	25.5 cm	31.5 cm
Teljes	99 cm	100 cm	78 cm	64 cm	40.7 cm	48 cm	42 cm	29 cm	31.5 cm
Szemcseméret	0,250-0,5			0,5-1,0			1,0-2,0		
Emelt folyadék	Víz	Gázolaj	Benzin	Víz	Gázolaj	Benzin	Víz	Gázolaj	Benzin
1 óra	8 cm	14.5 cm	19.5 cm	3 cm	10 cm	11.5 cm	1 cm	6 cm	10 cm
5 óra	9 cm	15.5 cm	27 cm	4 cm	10 cm	13.3 cm	2 cm	7 cm	13,5 cm
24 óra	15 cm	18 cm	31.5 cm	5 cm	11.5 cm	16.2 cm	2,5 cm	9 cm	17 cm
Teljes	25 cm	18 cm	31.5 cm	7,5 cm	11.5 cm	18,5 cm	2,5 cm	9 cm	20 cm

A folyadékemelésnél irányadónak a teljes vízemelést tekintjük. Mind a három folyadék esetében a szemcseméret növekedésével csökken a folyadékemelés képessége. A kis szemcseméretetek esetében a teljes vízemelés közelíti a 100 cm-t, közepes szemcseméreteteknél a vezető szerepét azonban már a víz veszi át és a további sorrend benzin és gázolaj. A nagy szemcseméretetek esetében legkisebb a víz, és legnagyobb a benzin folyadékemelése.

A benzin és a gázolaj emelkedési sebessége olykor nagyobb volt, mint a vízé, ez különösen a nagy szemcseméretetek esetében szembetűnő. A folyadékemelés adatait *II. táblázatban* foglaltuk össze.

Mind a három folyadéknak (víz, benzin, gázolaj) a fedőben történő emelkedése, cm-ben kifejezve a fedő szemcseméretének növekedésével csökken. Irányadónak véve a teljes folyadékemelést kis szemcseméretnél teljes a víznél, valamint a gázolajnál volt és elmaradt a benzin esetében. A nagy szemcseméretű fedőben a folyadékemelés a legkisebb a víz és legnagyobb a benzin esetében. Minden folyadékra a szemcseméretre jellemző kapilláris erő (felhajtóerő) hatott, amely a kis szemcseméretű tartományban volt a legnagyobb. A benzin folyadékemelésének elmaradása azzal magyarázható, hogy az anyag gyorsan párolog, azaz nagy a gőztenziója, Ezért az emelkedő benzin gőze ellenerőt képez a felhajtóerővel szemben. A nagy szemcseméreteknél, ahol az aggregát hézagterefogat az uralkodó, a viszonylag nagyobb méretű üregekben ugyanez a gőztenzió segíti a folyadékemelést (vagy létrehozza) rontva a gravitációs erő hatását.

*III. táblázat*  
*Table III*

*Folyadék átérésztése és a különböző szemcseátmérőjű frakciók kapcsolata (percben kifejezve)*  
*The relationship of the liquid dropping and the different grain sized fractions (in minutes)*

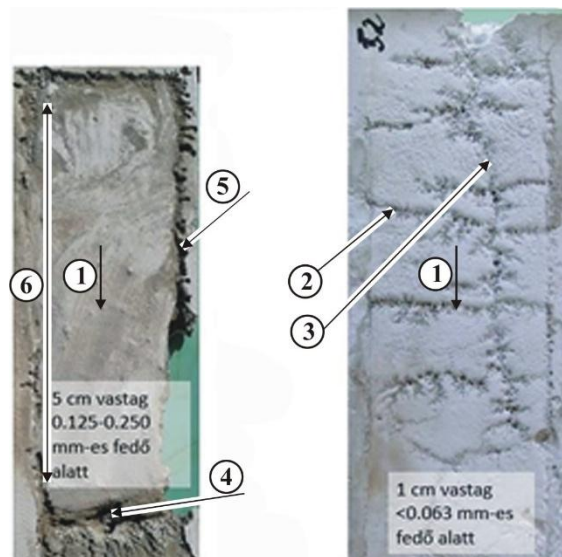
szemcseméret (mm)	<0,063			0,063-0,125			0,125-0,250		
Anyag	Víz	Benzin	Gázolaj	Víz	Benzin	Gázolaj	Víz	Benzin	Gázolaj
Folyadék átérése (perc)	3060	3960	4720	234	638	812	68	205	236
szemcseméret	0,250-0,5			0,5-1,0			1,0-2,0		
Anyag	Víz	Benzin	Gázolaj	Víz	Benzin	Gázolaj	Víz	Benzin	Gázolaj
Folyadék átérése (perc)	17	56,5	168	2,5	5,5	26	1	3	8

A vizsgált folyadékok (víz, benzin, gázolaj) átérésztés ideje igen tág határok között változott. A kis szemcseméretű frakciók esetében mind a három folyadéknál több napig tartott. Leghamarabb a víz, legkésőbb a gázolaj jutott át a 100 cm magasságú, 1 cm<sup>2</sup> keresztmetszetű oszlopban lévő üledékben. Ez a sorrend minden szemcseméret esetében azonos volt, az át-bocsátás ideje azonban rohamosan csökkent. A legnagyobb szemcseméretetek esetében a vízre 1 perc, a benzinre 3 perc, a gázolajra 8 perc volt. A folyadékátérésztő képességet a gravitációs erő működteti és ezt a hatást fékezi az adszorpciós erő és a kapilláris erő (felhajtóerő). Így érthető, hogy kis szemcseméret esetében miért tart olyan sok ideig a folyadék át-bocsátása. Azt várnánk, hogy a legnagyobb átlagos moláris tömegű gázolaj gyorsabban jut át a 100 cm-es rétegen, mint a benzin vagy a víz. A vizsgálati eredmény, amely ezzel ellentétes csak úgy magyarázható, hogy a gázolaj viszkozitása lényegesen nagyobb, mint a víz és a benzin viszkozitása és nagyméretű mo-

lekulák valamint a szilárd fázis között tekintélyes az adszorpciós erő. A folyadék átteresztő képesség adatait az *III. táblázatban* mutatja be.

A fedőben történő vízmozgásra a fekün (gipsztáblán) kialakult oldásos formák jellege és helyzete, valamint a formák száma alapján következtethetünk. Ez a vízmozgás azonban megmutatja a szennyező anyagok így a benzin és gázolaj mozgását a fedőben és kapcsolatteremtési lehetőségét a feküvel. Így feltételezhetjük, hogy a benzin és a gázolaj a különböző szemcseméretű fedőkben hogyan terjed és milyen módon éri el a feküt. A víz által létrehozott oldás jellege, függött a fedő vastagságától (1 cm vagy 5 cm) és a fedőt képező szemcsék átmérőjétől. Az adott szemcseátmérőjű frakciók fizikai paraméterei (folyadékemelő és folyadékáteresztő képességek) befolyásolják a fedőben történő horizontális és vertikális folyadékáramlásokat. A fedőn és a fekün kialakult formák képződését és így a folyadékmozgás jellegét jól jellemzi az adott típusú fedő szemcséiben kialakult aggregát és kapilláris hézagterefogat aránya. Ez az arány nem csak a fedő és fekü közötti folyadékmozgást magyarázza, hanem az oldódás jellegét is. A gázolaj és a benzin fedőben való mozgását, a víz mozgása alapján modellezhetjük. Az eddigi vizsgálatok alapján jelezhetjük, hogy a nagy aggregát hézagterefogat, amely a nagy szemcseméretnél jön létre a folyadékok vertikális mozgását eredményezi a fedőben, míg a kis szemcseméretknél uralkodó kapilláris hézagterefogat a víz és a szennyező folyadékok mozgásánál a horizontális mozgást teszi lehetővé.

Kis szemcseméretű frakciók (0,063-0,125 mm) esetében (*1. ábra*) az 1 és 5 cm-es vastagságú fedők alatt nem tapasztalunk folytonos oldást és formaképződést. A fedő elvégződésénél, a fedőn kialakult repedések helyén (főleg az 1 cm-es fedő alatt) vonalas oldási formák jelennek meg. A folyadék (víz) adagolásánál (pontoszerű volt) kürtő esetleg akna képződött. A fedő elvégződésénél kialakult vonalas oldásos formák a víznek a fedőből történő kilépése idézi elő. A fedő alatt a vonalas oldásos forma képződése a fedő zsugorodásának következménye. A zsugorodás által létrejött repedésekben ugyanúgy, mint a fedő elvégződésénél kilép a víz a feküre. A víz és így a szennyező folyadék is a fedőben oldalirányban mozognak, hosszú ideig a fedőben tartózkodnak. A benzin, de a gázolaj is gyorsabban mozog oldalirányban, mint a víz, azaz horizontálisan, de lassabban mozog vertikálisan, azaz a fekü irányába. Így a feküben a szennyező anyag kisebb mennyiségben, később és kisebb kiterjedésben jelenik meg.

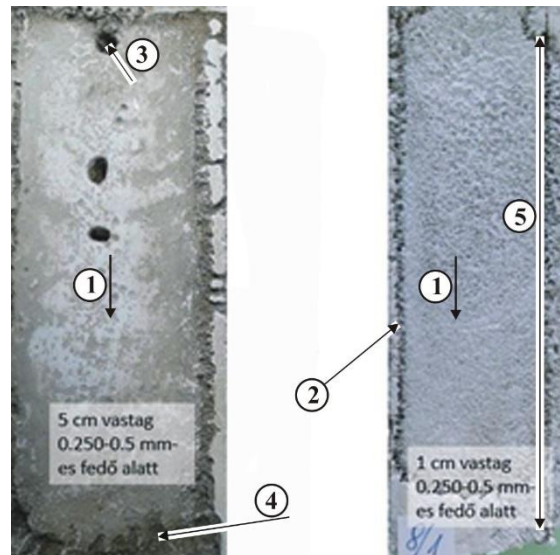


1. ábra: Oldási formák kis szemcseátmérőjű (<0,063-0,125 mm) fedő alatt. Jelmagyarázat: 1: lejtésirány, 2: keresztirányú vonalas oldásos forma, 3: hosszanti irányú vonalas oldásos forma, 4: a fedő elvégződésénél létrejött vonalas oldásos forma, 5: a fedő hosszanti szélé mentén létrejött vonalas oldásos forma, 6: oldásmentes felszín

Fig.1: Dissolution features under small grain size cover (<0,063-0,125 mm). Legend: 1: dip direction, 2: transversal linear dissolution feature, 3: longitudinal linear dissolution feature, 4: linear dissolution feature at the ending of the cover, 5: linear dissolution feature at the longitudinal ending of the cover, 6: non solved surface

Közepes szemcseátmérőjű frakciónak tekintjük a 0,250-1,00 mm átmérőjű szemcsék halmazát. A 0,250-0,500 mm átmérőjű frakció 1 cm-es rétege alatt megjelent a folytonos oldásos forma. A kisméretű ujjbegyek sokasága mellett a fedő elvégződésénél vonalas oldásos formákat tapasztaltunk (3.ábra). Az 5 cm-es vastagságú fedő alatt az ujjbegyeknek kis csoportja volt látható, lokális oldási formák, főleg kürtök képződtek, nem csak a vízadagolás helyén. A kürtök a vonalas formák találkozásában jöttek létre. A 0,500-1,00 mm frakcióban 1 és 5 cm vastag fedő alatt is folytonos oldásos formák alakultak ki. Mint ismeretes, 0,250-0,500 mm frakcióban észleltük az összhézagterfogat minimumát (36,2%). Ebben a csoportban tehát a kapilláris és az aggregát hézag térfogat is a legkisebb. Így a kapilláris emelőerő (felhajtóerő) képessége minimális, hatása nagyobb fedővastagságban is gyengén érvényesül. Ezért a víz és a szennyező folyadékok terjedését a fedőben az aggregát térfogaton keresztül a gravitációs erő határozza meg. A folyadék nem terjedhet szabadon a fedőben, így a víz, a gázolaj és a benzin sem. A horizontális és vertikális mozgások sebességét a benzin és a gázolaj esetébe azok viszkozitása, sűrűsége, levegőhöz viszonyított felületi feszültsége és gőztenziója módosíthatja. A kis összhézagterfogat miatt azonban e frakciókban a folyadéktárolás mértéke, így a víztárolás mértéke is a

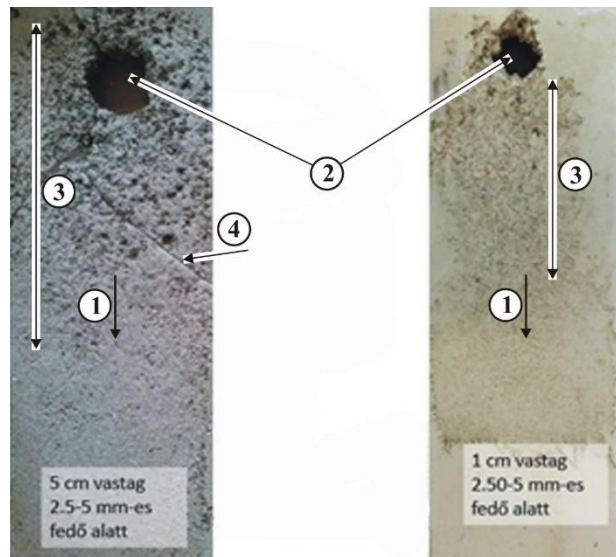
legkisebb. A vékony fedővastagságon az illékony benzin könnyen a felületre juthat és párologhat, míg a nagy sűrűségű és nagy viszkozitású gázolaj a fedőt veszélyezteti.



2. ábra: Oldási formák közepes szemcseátmérőjű fedő alatt; Jelmagyarázat: 1: lejtésirány, 2: a fedő hosszanti szélé mentén létrejött vonalas oldásos forma, 3: lokális oldásos forma (akna), 4: a fedő elvégződésénél létrejött vonalas oldásos forma  
 Fig.2: Dissolution features under medium grain size cover; Legend: 1: dip direction, 2: linear dissolution feature at the longitudinal ending of the cover, 3: local dissolved feature (shaft), 4: linear dissolved feature at the ending of the cover

A nagy szemcseátmérőjű (1,00 mm <) frakcióban uralkodó az aggregát hézagterefogat. A nagy aggregát hézagterefogat miatt a folyadékok, így a víz, a benzin és a gázolaj is gyorsan lejut a fekére. A fekére érkezés sorrendjét azonban meghatározza a folyadékok viszkozitása. Ezért érkezik le a fekére legkésőbb a folyadékátersztő-képesség adata alapján a gázolaj. Oldalirányú mozgás csak a feké felületén, a lejtés irányába lehetséges. A folyadék gyors lejutásának helyén a víz kifejti oldó hatását. A fekűn kürtő-, esetleg aknaképződés megy végbe (3. ábra). Víztest nem alakulhat ki a fedőben. A lejtés irányába elmozduló víz hatására az oldódás folytonos, ujjbegyek alakulnak ki.





3. ábra: Oldási formák nagy szemcseméretűfedő alatt; Jelmagyarázat: 1:lejtésirány, 2: lokális oldásos forma (akna), 3: folytonos oldásos formák (ujjbegyek), 4: nem oldódással létrejött törés a gipsztáblán  
 Fig.3: Dissolution features under large grain size cover; Legend: 1: dip direction, 2: local dissolved feature (shaft), 3: continuous dissolved features (finger pads), 4: non solved genetic fault in the gypsum plate

A szennyező anyagok viszonylag gyorsan átjutva a fedőn a fekü felületén terjednek szét, a fedő elvégződésénél is megjelenhetnek. A gázolaj a fekün való tartós tartózkodás esetén a fekü repedéseiben beléphet, onnan a tárolt folyadékot és levegőt kiszoríthatja. Az illékony benzín vékony fedővastagságok esetén a felületre jutva könnyen elillan.

## 5.Következtetések

- A kísérletek megmutatták, hogy a fedő fizikai tulajdonságai (összes hézagterefogat, folyadékemelő, áteresztő) befolyásolják a folyadék mozgását a fedőben.
- A finomszemcsésű fedőben a kapilláris hézagterefogat a meghatározó, ezért a folyadék vertikális és horizontális irányban egyaránt szétoszlik. Emiatt a folyadék és így a szennyeződés a fedő teljes terjedelmében megjelenhet. A víz és a szennyező anyag átadása a feküre csak kitüntetett helyeken mehet végbe, csökkentett mennyiségben, kisebb felületre, késleltetett idővel. Ezek a kitüntetett helyek a pontszerűen fedőre érkező (víz és szennyező anyag) helye alatt, a fedő elvégződésénél, vagy a fedőn képződő repedések (törések) és azok találkozási helyénél jöhetnek létre.
- A durva szemcseméretű fedőben az aggregát hézagterefogat az uralkodó. A gravitáció irányítja a folyadék mozgását, miáltal a szemcsék felületén és a

szemcsék közötti térben gyorsan jut a folyadék a fekére. A fedőben oldalirányú, azaz horizontális mozgás nincs. A pontszerűen érkező folyadék a fekűn szétterül, a feké felületén lejtés irányába mozog, a víz így hoz létre folytonos oldással folytonos oldási formákat, míg a szennyező anyag szétterülés után a feké repedéseibe szívároghat és ezáltal nagy kiterjedésben juthat a karsztba.

- Közepes szemcseméretű fedőnél a folyadék oldalirányú és vertikális irányú mozgása egyaránt megtörténhet. A szennyező anyag és így a víz is a fedőben (alsó szakaszában), valamint a fekűn is megtalálható. Ezért lokális és folytonos formák a víz oldó hatására egyaránt képződnek. Az oldalirányú mozgás a fedőben és szétterülő áramlás a fekűn egyaránt lehetséges.

- A fedő vastagságának növekedése kedvez az oldalirányú folyadékmozgásnak.

- A benzin és gázolaj eltérő viselkedésére magyarázatot ad a benzin nagy gőztenziója. Ez a gőztenzió képes a benzin folyadékot aggregát hézagtérfogásban is megemelni.

- A szennyező folyadékok nagy viszkozitása (gázolaj), a folyadékot alkotó nagy méretű molekulák adszorpciós képessége (gázolaj), a folyadék nagy gőztenziója (benzin), a víz erős polaritása, a folyadék levegőre vonatkoztatott nagy felületi feszültsége módosíthatja az adott szemcsefrakciókban a folyadék áramlási sebességét.

## **IRODALOM**

*DEÁK GY. – SZEMES M. – VERESS M. (2015): Gipsz fedőjének vízmozgásai fizikai analóg modelleken – Karsztfejlődés XX. pp. 215-229*

*ELEK B. – MAKÓ A. (2012): Felszíni vízből származó szénhidrogén-szennyezés terjedésének becslése pedotranszfer függvényekkel – Műszaki Földtudományi Közlemények 83(1), pp. 23-35*

*FEHÉR F. – HORVÁTH J – ONDRUSS L. (1986): Területi vízrendezés – Műszaki Tankönyvkiadó, Budapest, 308 p.*

*GÁRDONYI I. – SZEMES M. (2015): Fedett karsztosodás vizsgálata laboratóriumi körülmények között – OTDK dolgozat*

*GÁRDONYI I. – SZEMES M. – VETÉSI SZ. – NÉMETH ZS. (2016): Karsztvizek sérülékenysége: a fedett karsztok vízmozgásának laboratóriumi vizsgálata – OFKD dolgozat*

*Győri D. – PALKOVICS M. – CSEH E-né (1976): Talajtani vizsgálatok – (Kézirat), Keszthely, pp. 20-29.*

- HERNÁDI H. – MAKÓ A.* (2010): Szénhidrogén-származékokkal szennyezett talajok olajvisszatartó képességének becslése pedotranszfer függvényekkel – Mérnökgeológia-Kőzetmechanika – In: Török Á-Vásárhelyi B. (szerk.): Mérnökgeológia-kőzetmechanika, Műegyetemi Kiadó, Budapest, pp. 83-100
- LEMPERT K.* (1976): Szerves kémia – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 927 p.
- MAKÓ A.* (1998): Kőolajszármazékok vándorlásának modellezése talajokban – Környezetvédelmi Füzetek, 1998 (22), pp. 3
- STEFANOVITS P.* (1981): Talajtan – Mezőgazda Kiadó, Budapest, p. 382
- TÓTH B. – MAKÓ A. – GUADAGNINI L. – GUADAGNINI A.* (2009): A víztartóképeség becslési lehetőségének vizsgálata faktoranalízissel – Hidrológiai Közlöny 89(1), pp. 58-60
- VERESS M. – GÁRDONYI I. – DEÁK GY.* (2014): Fedett karsztosodás vizsgálata fedővel borított gipsztáblán – Karsztfejlődés XIX. pp. 159-171
- VERMES L.* (1997): Vízgazdálkodás – Szaktudás Kiadó, Budapest, p. 395
- VITÁLIS GY.* (2012): Magyarország vízföldtana – Oskar Kiadó, Budapest, 153 p.