

**MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ  
ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁGI  
RÉGIÓBAN  
2014**

**KONFERENCIA  
ELŐADÁSAI**

**Szolnok, 2014. május 13.**

**Szerkesztette:  
Edited by  
*Pokorádi László***

**Kiadja:**

**Debreceni Akadémiai Bizottság  
Műszaki Szakbizottsága**

**ISBN 978-963-508-752-5**

**Debrecen 2014**

## A KONFERENCIA SZERVEZŐI:

*Magyar Tudományos Akadémia Debreceni Területi Bizottság (DAB)  
Műszaki Szakbizottsága,*

*Magyar Tudományos Akadémia Miskolci Területi Bizottsága,  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző  
Kar Katonai Üzemeltető Intézet Katonai Repülő Tanszék,  
Üzemfenntartási Alapítvány*

## A KONFERENCIA TÁMOGATÓI:

*FANUC Robotics Magyarország Kft*

*DKV Debreceni Közlekedési Zártkörűen Működő Részvénytársaság  
Airport-Debrecen Kft.*



## TARTALOMJEGYZÉK

<b>ÓVÁRI GYULA</b>	
ÖREG HELIKOPTER NEM VÉN HELIKOPTER	1
<b>CSANÁDY GÁBOR</b>	
IDŐK ÉS IDEÁK, AZ IDŐ SZEREPE AZ IDENTITÁSBAN, KORTÁRS ÉPÍTÉSZETI KONTEXTUSBAN	15
<b>POKORÁDI LÁSZLÓ</b>	
RENDSZEREK ÉS MODELLEK A MŰSZAKI TUDOMÁNYBAN	25
<b>VÁMOSI ATTILA</b>	
NEMLINEÁRIS OSZTÁLYOZÁSRA VEZETŐ MŰSZAKI PROBLÉMA MEGOLDÁSA SVC MÓDSZERREL	40
<b>TÓTH DÁNIEL, SZILÁGYI ATTILA, TAKÁCS GYÖRGY</b>	
GÖRDÜLŐCSAPÁGYAK REMANENS ÉLETTARTAMÁNAK VIZSGÁLATA	48
<b>DEÁK KRISZTIÁN, VÁMOSI ATTILA, KOCSIS IMRE</b>	
CSAPÁGY MEGHIBÁSODÁSOK MÉRÉSTECHNIKÁJA ÉS REZGÉSDIAGNOSZTIKÁJA MESTERSÉGES NEURÁLIS HÁLÓK SEGÍTSÉGÉVEL	58
<b>DEÁK KRISZTIÁN, KOCSIS IMRE</b>	
GÉPEK KÁROSODÁSA ÁLTAL ELŐIDÉZETT KIFÁRADÁSOS CSAPÁGYHIBÁK ÁLTAL GENERÁLT TRANZIENS IMPULZUSOK JELFELDOLGOZÁSA ABLAKOZOTT FOURIER ÉS WAVELET TRANSZFORMÁCIÓK SEGÍTSÉGÉVEL	67
<b>BUDAY TAMÁS, LÁZÁR ISTVÁN, TÓTH TAMÁS, BÓDI ERIKA, CSÁKBERÉNYI-NAGY GERGELY</b>	
KIS MÉRETŰ ÜVEGHÁZAK ÉS FÓLIASÁTRAK ENERGIAIGÉNYÉNEK BIZTOSÍTÁSA MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOKBÓL – A SEKÉLY GEOTERMIKA LEHETŐSÉGEI	73
<b>ANTAL TAMÁS, KEREKES BENEDEK, SIKOLYA LÁSZLÓ</b>	
KÜLÖNBÖZŐ SZÁRÍTÁSI ELJÁRÁSOK (KONVEKTÍV-, FAGYASZTVA- ÉS KOMBINÁLT VÍZELVONÁS) ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA	81
<b>CSATÁRI NÁNDOR, BALLA ZOLTÁN, HAGYMÁSSY ZOLTÁN, NAGY ORSOLYA, VÁNTUS ANDRÁS, KITH KÁROLY</b>	
MEZŐGAZDASÁGI BIOGÁZ ÜZEMEK TECHNOLÓGIAI ÖSSZEHASONLÍTÁSA	91
<b>HAGYMÁSSY ZOLTÁN, VÁNTUS ANDRÁS, CSATÁRI NÁNDOR, KITH KÁROLY, BALLA ZOLTÁN, GINDERT KELE ÁGNES</b>	
NAPELEMES VILLAMOS ENERGIATERMELÉS TAPASZTALATAI	97
<b>GINDERT-KELE ÁGNES, HAGYMÁSSY ZOLTÁN</b>	
A RÖPÍTŐTÁRCSÁS MŰTRÁGYASZÓRÁS VIZSGÁLATI MÓDSZEREI	102
<b>BÉKÉSI BERTOLD, NÁCZI RÓBERT</b>	
HAGYOMÁNYOS RENDSZERŰ ÉS TÖBB ELEKTROMOS ENERGIÁT IGÉNYLŐ REPÜLŐGÉPEK	109
<b>BUDAI DÁVID</b>	
TELJES ALUMÍNIUM KAROSSZÉRIA ALKALMAZÁSA A MODERN SZEMÉLYAUTÓK GYÁRTÁSÁBAN; AZ ALUMÍNIUM AUTÓK SZEREPE AZ AUTÓIPARI ÉS KÖRNYEZETVÉDELMI TÖREKVÉSEKBEN	120
<b>SZÓLÓI ÁKOS, SZŰCS MÁTÉ</b>	
AUTÓIPARI TERMÉKEK FRÖCCSÖNTÉSÉNEK ANALÍZISE	130

<b>MOLNÁR ANDRÁS, BALOGH ANDRÁS</b>	
A TERMIKUS SZÓRÁS SZEREPE A REPÜLŐGÉPGYÁRTÁSBAN ÉS KARBANTARTÁSBAN	138
<b>SZÉKELY ISTVÁN, JUHÁSZ TAMARA, TÓTH MÁRTON, KOLENCSEKNÉ TÓTH ANDREA</b>	
SAVAS BÁNYAVÍZ KEZELÉSÉRE IRÁNYULÓ LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK	148
<b>MÉSZÁROS RENÁTA, ZÁKÁNYI BALÁZS, HALÁSZ ANDRÁS</b>	
EFFEKTÍV MIKROORGANIZMUSOK HATÁSA SZÉNHYDROGÉN SZENNYEZŐK ELTÁVOLÍTHATÓSÁGÁRA	154
<b>VANYOREK LÁSZLÓ, MÉSZÁROS RENÁTA</b>	
AZ ELEKTROLITOK ÉS A PH HATÁSA AZ OXIDATÍV KEZELÉssel FUNKCIONALIZÁLT SZÉN NANOCSSÖVEK FELÜLETI POTENCIÁLJÁRA	158
<b>VANYOREK LÁSZLÓ, HUTKAINÉ GÖNDÖR ZSUZSA, MURÁNSZKY GÁBOR</b>	
NITROGÉN DÓPOLT BAMBUSZ SZERKEZETŰ KARBON NANOCSSÖVEK SZINTÉZISE, FELÜLETMÓDOSÍTÁSA ÉS ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A KATALITIKUS FOLYAMATOKBAN	164
<b>HUTKAINÉ GÖNDÖR ZSUZSA, MÉSZÁROS RENÁTA, MURÁNSZKY GÁBOR, VANYOREK LÁSZLÓ</b>	
MAGAS NITROGÉN TARTALMÚ OXIDÁLT KARBON NANOCSSÖVEK ADSZORPCIÓS TULAJDONSÁGAINAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA KOFFEIN ADSZORPCIÓ VIZSGÁLATÁVAL	173
<b>MÉSZÁROS RENÁTA, MURÁNSZKY GÁBOR</b>	
HAGYOMÁNYOS VÍZKEZELÉSI ELJÁRÁSOK ÉLŐLÉNYEK HORMONRENDSZERÉT BEFOLYÁSOLÓ VÍZSZENNYEZŐKRE KIFEJTETT HATÁSA	181
<b>VERMES PÁL</b>	
VÁLTOZNAK-E A KARBANTARTÁS ALAPELVEI?	189
<b>SZAMOSI BARNA, POKORÁDI LÁSZLÓ</b>	
A MINŐSÉG ÉS A BIZTONSÁG KAPCSOLATA	200
<b>FENYVESI CSABA</b>	
ERŐMŰVI RENDSZEREK ÜZEMELTETÉSE SORÁN AZ EMBERI HIBÁK SZÁMÁNAK CSÖKKENTÉSI LEHETŐSÉGEI	206
<b>PÁNTYA PÉTER</b>	
LEHETŐSÉGEK A KATASZTRÓFAVÉDELMI, TŰZOLTÓI BEAVATKOZÓ BIZTONSÁG NÖVELÉSÉRE	214
<b>BÉKÉSI BERTOLD, PAPP ISTVÁN</b>	
PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK MEGBÍZHATÓSÁGA	223
<b>KAVAS LÁSZLÓ, BÉKÉSI LÁSZLÓ, ROZOVICSNÉ FEHÉR KRISZTINA</b>	
KORSZERŰ KOMPOZITOK MEGJELENÉSE A REPÜLŐGÉPEK SZERKEZETÉBEN	231
<b>KÁNTOR ANITA KATALIN</b>	
PINCEUTCÁK AZ ÉRMELLÉKEN – ÉRKESERŰ	242
<b>LÁMER GÉZA</b>	
Az építési folyamatok strukturált szervezése	254
<b>OLÁH BÉLA</b>	
FLOW-SHOP ÜTEMEZÉSI FELADATOKAT MEGOLDÓ GENETIKUS ALGORITMUS OPERÁTORAINAK ÉRZÉKENYSÉGVIZSGÁLATA	263
<b>SZABÓ SÁNDOR, SASOVITS SÁNDOR, SIPOS ATTILA, SZÁZVAI ATTILA</b>	
ACÉL SZAKÍTÁSA KÖZBEN FELLÉPŐ AKUSZTIKUS JELEK VIZSGÁLATA	274

<b>DUDÁS LÁSZLÓ</b>	
TÉRBELI FORGÓDUGATTYÚS MOTOROK EVOLÚCIÓJA	284
<b>LÁMER GÉZA</b>	
AZ ERŐK EGYENSÚLYÁNAK EGYEDI FELTÉTELEI CENTRÁLIS, PÁRHUZAMOS, LÁNCSOLT ÉS KITÉRŐ ERŐK ESETÉN	294
<b>VÁNTUS ANDRÁS, HAGYMÁSSY ZOLTÁN, CSATÁRI NÁNDOR, NAGY ORSOLYA, KITH KÁROLY</b>	
A TERMELÉS TÁRGYI TÉNYEZŐINEK HATÁSA AZ EREDMÉNYESSÉGRE	313
<b>SZEGEDINÉ DARABOS ENIKŐ, LÉNÁRT LÁSZLÓ, CZESZNAK LÁSZLÓ, HERNÁDI BÉLA, TÓTH KATALIN</b>	
JELLEGGÖRBEK ELŐÁLLÍTÁSA A BÜKKI ÉS BÜKK-TÉRSÉGI VÍZSZINTADATOKBÓL	319
<b>KOMPÁR LÁSZLÓ, SZŰCS PÉTER, DEÁK JÓZSEF, PALCSU LÁSZLÓ, CSERNY TIBOR, EGYED JÓZSEF, GADÓCZI MÓNKA, ILLYÉS CSABA</b>	
IZOTÓPHIDROGEOLOGIAI KUTATÁSOK A NYÍRSÉGBEN	328
<b>ZÁKÁNYI BALÁZS, FEJES ZOLTÁN, SZŰCS PÉTER, HARTAI ÉVA, TURAI ENDRE, GYULAI ÁKOS, SZABÓ NORBERT, VÁGÓ JÁNOS, CSERNY TIBOR</b>	
HIDRODINAMIKAI MODELL KÉSZÍTÉSE A TOKAJI-HEGYSÉG TERÜLETÉRE	335
<b>SZEGEDINÉ DARABOS ENIKŐ, TÓTH MÁRTON, LÉNÁRT LÁSZLÓ, CZESZNAK LÁSZLÓ, HERNÁDI BÉLA, TÓTH KATALIN</b>	
VÍZSZINTEKEN ALAPULÓ KARSZTVÍZKÉSZLET MEGHATÁROZÁSI MÓDSZER ELSŐ EREDMÉNYEI A BÜKKBEN	343
<b>ZÁKÁNYI BALÁZS, SZÉKELY ISTVÁN, ZÖLD MAGOR, CSERNY TIBOR</b>	
NEM VIZES FÁZISÚ SZENNYEZŐANYAGOK MOZGÁSÁNAK VIZSGÁLATA LABORATÓRIUMBAN ÉS TRANSPORT FOLYAMATAIK NUMERIKUS MODELLEZÉSE	351
<b>VIRÁG MARGIT, SZŰCS PÉTER, FEJES ZOLTÁN, CSEGÉNY JÓZSEF</b>	
A TERMÁL VÍZKÉSZLET-GAZDÁLKODÁS IDŐSZERŰ KÉRDÉSEI AZ ÉSZAK-MAGYARORSZÁGI RÉGIÓ TERÜLETÉN	360
<b>SZIGETI FERENC, DEZSŐ GERGELY, SZÁZVAI ATTILA</b>	
A FORGÁCSOLÁSI PARAMÉTEREK HATÁSA A FORGÁCSOLÓERŐRE GYALULÁS ESETÉN	367
<b>BODZÁS SÁNDOR, DUDÁS ILLÉS</b>	
SPIROID LEFEJTŐMARÓ ELEMZÉSE ÉS VÉGESELEM VIZSGÁLATA	374
<b>HEGEDŰS GYÖRGY</b>	
GOLYÓSANYA SZERSZÁMPROFILJÁNAK VALIDÁLÁSA VIRTUÁLIS FORGÁCSOLÁSSAL	389
<b>KISS DÁNIEL, CSÁKI TIBOR</b>	
ÁLTALÁNOS ALAKÚ NAGY MENETEMELKEDÉSŰ MENETPROFILOK MEGMUNKÁLÁSA	389
<b>JÁSZAY GINO RICHARD, MAJOR JÁNOS</b>	
ELTÉRŐ FEKTETETT VEZETÉKEKRE HATÓ IGÉNYBEVÉTELEK ÉS AZOK LABORATORIUMI KÍSÉRLETEKKEL VALÓ VIZSGÁLATI LEHETŐSÉGEI	393
<b>DEZSŐ GERGELY, VARGA ISTVÁN</b>	
A NEMLINEÁRIS RUGÓKAT TARTALMAZÓ GÉPJÁRMŰ NEGYEDMODELL GERJESZTETT REZGÉSEINEK VIZSGÁLATA	399

**NYITRAI CSABA**

TOLDÁSOK A SPONTÁN- ÉS A MŰÉPÍTÉSZETBEN 404

**TRUZZSI ALEXANDRA, FÓRIÁN SÁNDOR, BODNÁR ILDIKÓ**

A HORTOBÁGY-BERETTYÓ FŐCSATORNA VÍZMINŐSÉGÉNEK, Kiemelten a  
VÍZ IONÖSSZETÉTELÉNEK ÉRTÉKELÉSE MAUCHA-FÉLE CSILLAGDIAGRAMMAL 413

**PETRÁNYI ANDREA, BOROS NORBERT**

TÁROLÁS ÉS KOAGULÁLÓ SZEREK ALKALMAZÁSÁNAK HATÁSA FÜRDŐ- ÉS  
MOSÓVIZEK OLDOTT SZERVES SZÉN ÉS MIKROBIÁLIS MINŐSÉGÉRE 419

**BUZETZKY DÓRA, FÓRIÁN SÁNDOR**

HELYSZÍNI MÉRÉSEK A KÖSELY FŐCSATORNÁN 428

# NEM VIZES FÁZISÚ SZENNYEZŐANYAGOK MOZGÁSÁNAK VIZSGÁLATA LABORATÓRIUMBAN ÉS TRANSZPORT FOLYAMATAIK NUMERIKUS MODELLEZÉSE

## NAPL CONTAMINANTS INVESTIGATION IN LABORATORY AND NUMERICAL MODELING OF TRANSPORT PROCESSES

ZÁKÁNYI Balázs<sup>1</sup>, SZÉKELY István<sup>1</sup>, ZÖLD Magor<sup>2</sup>, CSERNY Tibor<sup>3</sup>

Miskolci Egyetem, <sup>1</sup>Környezetgazdálkodási Intézet, <sup>2</sup>Műszaki Földtudományi Kar Környezetmérnök BSc  
hallgató <sup>3</sup>MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport  
hgzb@uni-miskolc.hu

**Kivonat:** Our intention was to observe the spreading properties of a substance lighter than water (Light NAPL) and one heavier than water (Dense NAPL) during a model experiment. For the sake of the cause we have constructed a model experiment through which the spread of the polluting substance can be easily visualised. We have made experiments concerning the reproduction of the drift of ground-water, among which we have chosen the one showing values closest to drift in natural environment. In the other part of our research we have demonstrated our measurement completed with light and dense NAPL contaminants and their results.

**Kulcsszavak:** NAPL, LNAPL, DNAPL, laboratóriumi tesztek

**Abstract:** Célunk az volt, hogy egy laboratóriumi modellkísérletben megfigyeljük egy víztől könnyebb (Light NAPL), illetve egy víztől nehezebb (Dense NAPL) fázisú NAPL anyag terjedési tulajdonságait. Ennek érdekében egy olyan laboratóriumi modellkísérletet építettünk, amelyen vizuálisan követhető a szennyezőanyag terjedése.. Kísérleteket végeztünk a talajvízáramlás élethű reprodukálására, melyek közül kiválasztottuk a természetes közegben való talajvízáramláshoz legközelebbi értéket. A munkánk másik részében bemutattuk a víznél könnyebb, illetve nehezebb fázisú NAPL anyagokkal történő méréseinket, azok eredményeit.

**Keywords:** NAPL, LNAPL, DNAPL, laboratory measurements

## 1. BEVEZETÉS

A szénhidrogének, halogénezett szénhidrogének környezeti elemekre és az élővilágra kifejtett káros hatásainak felismerése és kezelése körülbelül 30-40 évvel ezelőtt kezdődött a világon, hazánkban 20 évvel ezelőtt. A fejlett országokban szabályozták a halogénezett szerves vegyületek forgalmazását, kezelését, sőt egyes vegyületek gyártását és forgalmazását be is tiltották [1].

A szénhidrogének, halogénezett szerves vegyületek vízben általában rosszul oldódnak, ez az egyik oka annak, hogy biológiai úton nehezen bomlanak le, ezért a természetes tisztulásuk igen lassú. Ennek a következménye, hogy az évtizedekkel ezelőtti szennyeződések a mai napig kimutathatók, többnyire az eredetileg szennyezett területnél szélesebb környezetben [2]. Emberi beavatkozás nélkül még igen hosszú ideig várhatnánk e környezeti szennyezők természetes eltűnésére. A szennyeződés mennyiségének csökkentése érdekében, mind a talaj- és talajvíz-helyreállítási feladatnak két alapvető megoldása alkalmazható:

- a talaj kitermelése után a helyszínen (on-site) vagy attól távolabb (ex-situ) végzett ártalmatlanítást és tisztított közeg visszatáplálását, továbbá
- a helyben (in-situ), tehát a talaj felszíne alatt végzett kezelést [1].

Az utóbbi két évtizedben egyre több korszerű in-situ kármentesítési technológia kerül/t alkalmazásra, illetve egyre több tapasztalat áll rendelkezésre ezekkel kapcsolatban. Az in-situ technológiák előnye a kisebb költség, hátránya, hogy nehezebben ellenőrizhetők és sokkal jobban függnek a helyi adottságoktól. Ezek ellenére a nemzetközi trendek azt mutatják, hogy

ezeknél a speciális szennyezőanyagoknál a helyszíni beavatkozások kerülnek előtérbe. Tekintettel a felszín alatti rétegek heterogenitására és komplex hidrogeológiai viszonyaira, a talaj és a talajvíz megtisztítására alkalmas módszer kiválasztása, a technológia megtervezése a helyszínen igen gondos geológiai feltérképezése, az áramlási viszonyok ismeretét, a szennyezők koncentrációinak mérését, a különböző szempontok egyeztetését és minden esetben előzetes laboratóriumi és kísérleti üzemi vizsgálatok elvégzését igényli [3].

Hazánkban, az Észak-Magyarországi Régióban jelenleg is jelentős működő vegyipari vállalatok helyezkednek el [4]. Emellett számos múltbeli és jelenleg zajló nehézipari és ipari tevékenység környezeti hatásai komoly kockázatokat jelentenek a környezeti elemekre, így a felszín alatti vízkészletekre is. Például a klórozott szénhidrogénnel szennyezett területeken (több százra tehető ezek száma) a sekély felszín alatti víz (talajvíz) mellett mélyebb víztartók elszennyeződésével is számolni kell (pl. Tiszaújváros), ami esetenként vízbázisok vízminőségét is veszélyeztetheti, amint azt az elmúlt évtizedek tapasztalatai megerősítik. A környezeti elemeket érintő megörökölt ipari és bányászati eredetű szennyezések feltárása és felszámolása még napjainkban is tart [5].

Kutatásunk célja, hogy az LNAPL (Light Non-Aqueous Phase Liquid – víznél kisebb sűrűségű folyadékfázis) és DNAPL (Dense Non-Aqueous Phase Liquid – víznél nagyobb sűrűségű folyadékfázis) típusú szennyezőanyagok terjedését, megközelítően valós vízáramlás mellett homogén közegben szabályozott laboratóriumi körülmények között szimuláljuk.

A mérések során hozzávetőleges képet kapunk ezeknek a szennyezőknek a viselkedéséről azt követően, hogy a talajba kerülnek és bekövetkezik a szennyezés. A szennyezés bekövetkeztétől eltelt idő és a talajba került szennyezőanyag típusától és annak mennyiségétől függően jó megközelítéssel következtethetünk a szennyező csóva méretére, kiterjedésére, annak irányára és sebességére egyaránt. Ezek az információk, elengedhetetlenek a szennyezett terület megismerése és kármentesítése szempontjából, valamint a numerikus szimulációkat is validálhatjuk vele.

## 2. A NEM VIZES FÁZISÚ SZENNYEZŐANYAGOK VISELKEDESE ÉS TERJEDÉSE A FELSZÍN ALATT

A szennyező anyagok egy része a felszín alatti vizek mozgását követi, melyeket konzervatív szennyezőanyagoknak nevezünk, és melyeket a hidrodinamika törvényszerűségeinek felhasználásával vizsgálhatunk, más részük az úgy nevezett nem konzervatív szennyezőanyagok más fizikai törvényszerűségeknél engedelmeskednek. A nem konzervatív szennyezőanyagokat szokás nem vízfázisú folyadékoknak vagy angol rövidítéssel NAPL (Non-Aqueous Phase Liquid) vegyületeknek nevezni. Az NAPL vegyületek mozgását uralkodóan a sűrűségük határozza meg, ennek megfelelően könnyű és nehéz nem vízfázisú vegyületekről vagy az angol nevezéktant átvéve LNAPL és DNAPL vegyületekről (L = light, D = dense) beszélhetünk attól függően, hogy a külön fázis sűrűsége kisebb vagy nagyobb-e a víznél [6].

Először, röviden, a víznél könnyebb szennyezőanyagok mozgását mutatom be.

### 1.1. LNAPL (víznél könnyebb nem vizes fázisú) szennyezőanyagok

LNAPL szennyeződés (mint pl. egyes olajfajták) talajba kerülése után, a nehézségi erő hatására lefelé húzódik és olajtest alakul ki, amelynek alakja és nagysága a talaj és az alatta elhelyezkedő képződmények nemétől és szerkezetétől, valamint a szennyeződés mennyiségétől és fizikai tulajdonságaitól függ [6].



### 3. LABORATÓRIUMI MÉRÉSEK BEMUTATÁSA

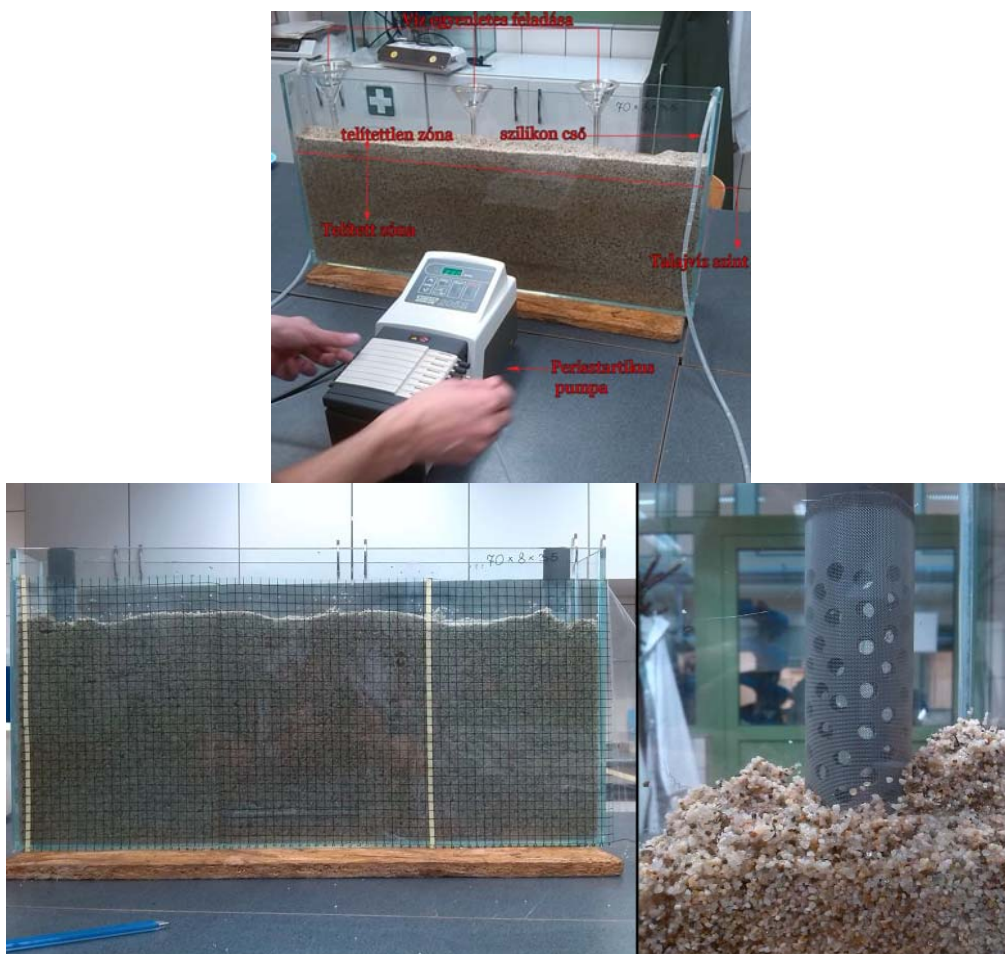
A laboratóriumi mérések célja egy homokkal telített modellező akváriumban lévő vízáramlási sebesség élethű reprodukálása adott közegre, illetve ebben a közegben feladott LNAPL (Light Non-Aqueous Phase Liquid) és DNAPL (Dense Non-Aqueous Phase Liquid) típusú szennyezőanyagok terjedésének tér- és időbeli változásának vizsgálata és bemutatása. A kísérleteket a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék laboratóriumában végeztem.

#### 3.1. Mérésekhez felhasznált anyag hidraulikus gradiensének meghatározása

A méréseket előkészítve 0,8mm szemcseátmérőjű osztályozott homokot használtuk az akvárium feltöltésére, majd annak vízzel való telítésével hoztuk létre a közegben alul telített 2 fázisú zónát (homok, víz), felül pedig telítetlen 3 fázisú zónát (homok, víz, levegő). A vízszintet az akváriumban a homokoszlop magasságának körülbelül 80% -ánál állítottuk be.

A szennyezőanyag terjedési vizsgálatának megkezdése előtt a rendszerben használt töltetanyagon szemcseméret eloszlási, szivárgási tényező, kation-cserélő kapacitás és mésztartalom méréseket végeztünk.

Az előzetes mérésekben a perisztaltikus szivattyú fordulatszámának változtatásával (RPM±) foglalkoztunk, a fentebb említettek miatt a természetes állapotú közegben való talajvízáramlást megközelítésére.



2. ábra A rendszer első felállítása (fent) és a végleges kialakítás (lent)

A perisztaltikus pumpával generált talajvízáramlást úgy szimuláltuk, hogy az akvárium két szélénél teljes mélységben leengedett és az akvárium falára erősített egy-egy szívó- és töltő szilikon cső lett elhelyezve, melyek keresztirányba be voltak vagdalva a szívóhatás egyenletes elérése miatt (3. ábra). Ezt a megoldást a további mérések során kutakat szimuláló szűrőzött perforált csövekkel helyettesítettük a talajvíz jobb áramlása végett. Ezekhez a mérésekhez nyomjelzett, ételfestékkel színezett vizet használtunk, amelyet egy üvegtölcséren keresztül adagoltunk a rendszerbe.

Az eredményeket az 1. táblázatban foglaltuk össze a perisztaltikus szivattyú fordulatszám, a talajvíz-áramlási sebesség, a szivárgási tényező és a hidraulikus gradiens tekintetében.

A 1. táblázat értékei közül az 5RPM-es pumpafordulatszám és az ahhoz tartozó hidraulikus gradiense áll a legközelebb az erre a közegre jellemző  $1 \cdot 10^{-3}$  hidraulikus gradienshez, ezért a továbbiakban ezt alkalmaztuk a már éles méréseknél. A talajvízáramlás reprodukálása után minden adott volt a szennyezőanyagokkal történő mérések kivitelezéséhez.

RPM	Áramlási sebesség (v) [m/s]	Szivárgási tényező (k) [m/s]	Hidraulikus gradiens (I)
1	$5,787 \cdot 10^{-7}$	0,001161	0,000499
5	$3,889 \cdot 10^{-6}$	0,001161	0,003351
10	$8,3 \cdot 10^{-6}$	0,001161	0,007151
20	$1,66 \cdot 10^{-5}$	0,001161	0,014355
30	$2,38 \cdot 10^{-5}$	0,001161	0,020514

1. táblázat A számított hidraulikus gradiens értékek

### 3.2. A valós szennyezőanyagokkal elvégzett laboratóriumi vizsgálatok bemutatása

Az éles mérések egy-egy konkrét szennyezőre irányulnak, amelyek egy víznél könnyebb-, és egy víznél nehezebb nem vízfázisú NAPL szennyezőket és azok migrációját hivatott reprezentálni.

Az mérésekhez a következő szennyezőket választottam:

- Paraffinolaj (Light-NAPL),
- Kloroform (Dense-NALP).

#### Paraffinolaj

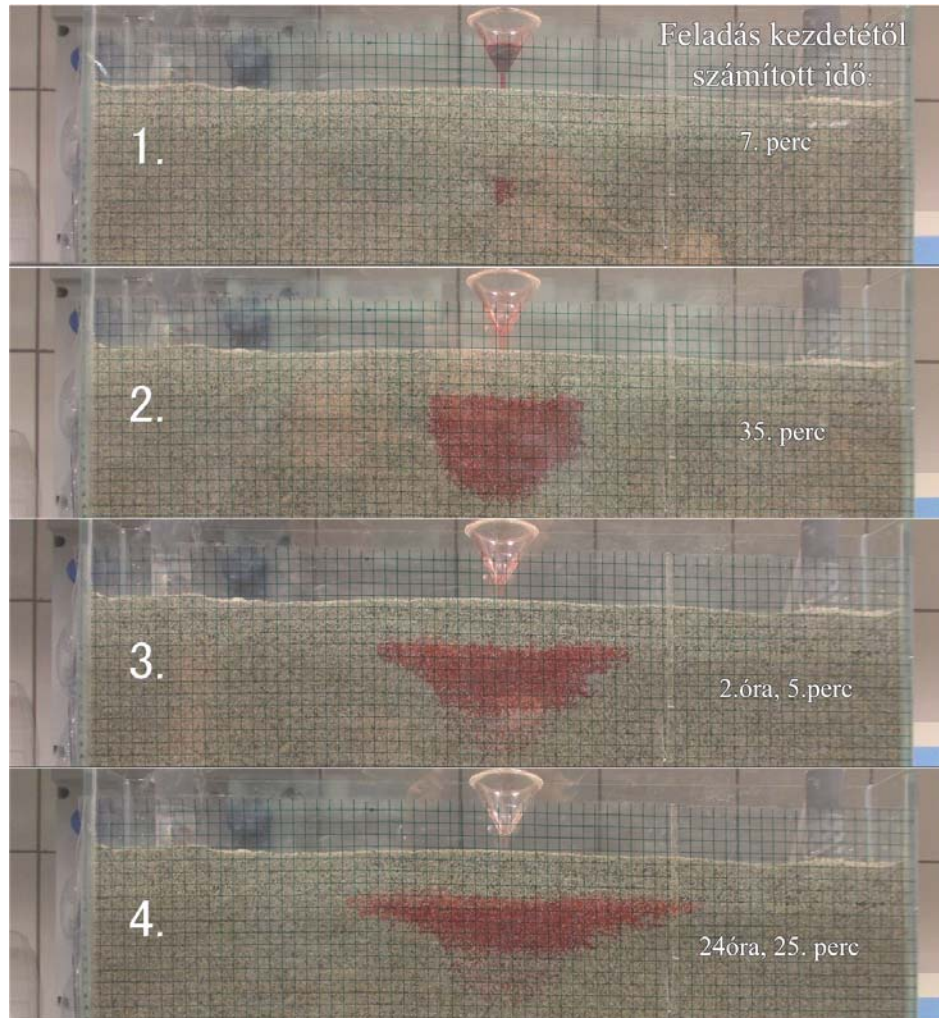
A folyékony paraffin a kőolajfinomítás mellékterméke, nehéz alkánokból hátramaradt keverék.  $C_nH_{2n+2}$  felépítésű alkán szénhidrogén, szobahőmérsékleten folyékony halmazállapotú, színtelen, szagtalan, viszkózus olaj, amely hosszú szénláncú szénhidrogének keverékéből áll. Vízben nem, oldószerekben jól oldódik. Átlagos sűrűsége  $0,8g/cm^3$ , azaz a víznél kisebb sűrűségű, ezért az NAPL szennyezőkön belül az Light-NAPL csoportba tartozik.

A 4. ábra feladástól a mérés végéig mutatja be a mérés fontosabb állomásait, amiket az ábrán számokkal jelöltünk időbeli sorrendben:

1. Paraffinolaj feladásának kezdete.
2. Paraffinolaj feladásának vége (30perc).
3. Light-NAPL felúszása.
4. Felúszott és a talajvízáramlásnak megfelelően elmozdult csóva (másnap fotó).

Az akvárium falán feltüntetett cm-rács az üveg vastagságát figyelembe véve úgy lett felragasztva, hogy az az akvárium tényleges belső profil-metszetét fedje le. Az origó pontosan az

akvárium belsejének bal alsó sarkával esik egy pontba. A feladást követően a szennyező csóva eleje 22cm-nél volt, ezért a diagram görbéje is ebből a pontból indul. A paraffinolaj migrációja túlnyomó részt vertikális irányú volt, horizontálisan a szimmetrikus szétterülésén kívül csekély elmozdulás volt a talajvízáramlás irányába.



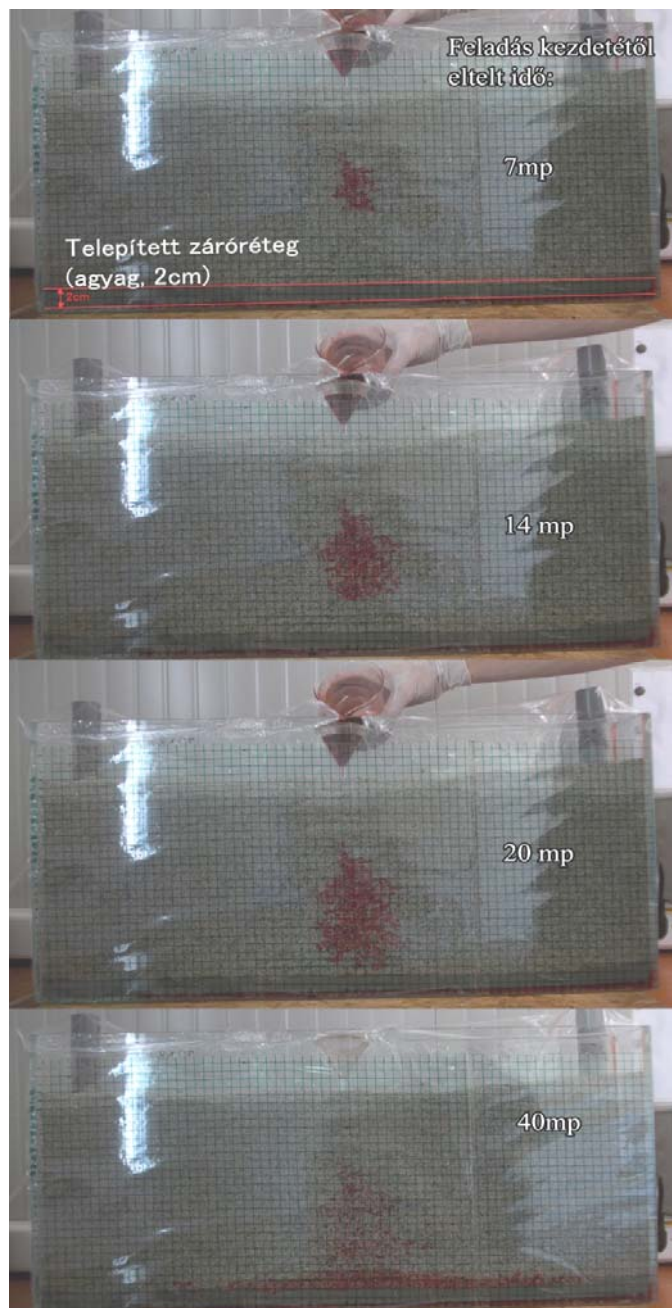
3. ábra Csóva migrációja az áramlás irányának megfelelően 6 óra alatt (szerző saját szerkesztése)

### Kloroform

A triklórmétán ( $\text{CHCl}_3$ ), hétköznapi nevén kloroform a halogénezett szénhidrogének csoportjába tartozó szerves vegyület. A vegyület nagyon veszélyes a környezetre és az élő szervezetre nézve, gőze a levegőnél nehezebb, forró vegyülettel vagy lánggal érintkezve bomlik és mérgező illetve maró hatású gőzöket (pl hidrogén-klorid-, foszgén- és klórgőzöket képezve). Lehetséges expozíciós utak: belégzés, bőrön keresztül vagy lenyeléssel Az anyag bizonyítottan rákkeltő. Földtani környezetbe kerülve is igen tartós kártékony hatással van az élővilágra, természetes tisztulása pedig nagyon lassú, mert biológiailag nehezen bomlik le. Felszámolásukhoz emberi beavatkozásra, kármentesítésre van szükség.

A mérés alkalmával az akvárium aljára 2-3cm záró agyagréteget építettünk, hogy a szennyező migrációját a közeg természetes anyagú fekvésére érve lehessen vizsgálni (5. ábra). Tökéletesen látszik a színezett kloroform útvonala kiterjedése és szétterülése. A szilárd szemcsék felületén való megkötődés is jól látható.

Végeredményben elmondható, hogy sikerült egy olyan laboratóriumi modellkísérletet kialakítani, ami könnyen összeállítható és eredményei reprodukálhatóak. A rendszer kialakítása lehetővé teszi, hogy különböző áramlási sebességeket szimulálva vizuálisan jól követhető szennyezőanyag terjedési méréseket végezhessünk.



4. ábra Kloroformmal végzett laboratóriumi vizsgálat eredményei különböző időpillanatokban

A víztől könnyebb, illetve nehezebb fázisú anyagok mérése során az épített laboratóriumi rendszer, jó közelítéssel tudta szimulálni a természeteshez közeli állapotokat, ezáltal későbbi mérések során reprezentatív vizsgálatok elvégzését teszi lehetővé.

A szimulációk során csak a vízben kevésbé, vagy nem oldódó szénhidrogén terjedésének mérése kivitelezhető. A szennyező transzportja során detektálható a csóva mérete és terjedésének időbeli változása.

## 4. NAPL SZENNYEZŐANYAGOK TRANSPORTMODELLEZÉSI LEHETŐSÉGEI

A Groundwater Modeling System programban két lehetőség kínálkozik a NAPL típusú szennyezőanyagok modellezésére, ezek a következők:

- az UTCHEM modul, amely képes a többfázisú rendszerek szimulációjára,
- SEAM3D modul, amely csak az oldott fázis és ennek biológiai lebontásának modellezésére használható [7].

A következőkben ezeket a szimulációs kódokat mutatom be röviden.

### 4.1. Az UTCHEM modul

Az UTCHEM programot a Center for Petroleum and Geosystems Engineering The University of Texas fejlesztette ki. Az 1970-es évektől kezdve úttörő kutatások folytak a Texasi Egyetemen annak érdekében, hogy tudományos és mérnöki alapot nyújtsanak a több fázisú áramlási modellezésére vonatkozóan. Ennek oka, hogy egyre elterjedtebb a szénhidrogén származékokkal szennyezett területek (vízadók) kármentesítése, amelyekhez elengedhetetlen szükség volt/van megfelelő transzport modellező szimulátorok fejlesztésére és alkalmazására. A kutatások eredményeként született meg az UTCHEM szimulátor, amely egy 3D-s, többkomponensű, többfázisú összetett modellje a kémiai áramlási folyamatoknak. Mindez magában foglalja a komplex fázisviselkedés, kémiai és fizikai átalakulások, a heterogén porózus közeg tulajdonságainak vizsgálatát, és fejlett megközelítési módok alkalmazását a numerikus pontosság, a diszperzió eloszlás, a vektor és párhuzamos folyamatok terén [4].

A programmal 3-dimenziós több komponensű, több fázisú véges differencia modellt lehet létrehozni. Nagyon jól használható szennyeződésterjedések, és NAPL szennyeződéseknek felületaktív anyagokkal elősegített kármentesítésének (*Surfactant Enhanced Aquifer Remediation - SAER*) modellezésére. Ideális eszköze az UTCHEM a pump-and-treat rendszerek szimulációjának [6].

Mindezek a jellemzők együttesen, de különösen a több fázisú áramlási és transzport modellezés lehetősége, és a Modflow programtól való önállósága teszi a programot egyedivé.

### 4.2. A SEAM3D modul

A SEAM3D Reaktív transzport szimulációs kód, mellyel komplex, több szubsztrátumot és elektron akceptort is figyelembe vevő biodegradációs feladatok modellezhetők [8]. A modul alapja a MT3DMS kód.

A SEAM3D - az MT3DMS (Modflow transzport-szimulációs kód) modulhoz képest – tartalmaz egy biodegradációs és egy NAPL típusú szennyeződések lebomlást szimuláló csomagot. Ezt a program kódot Mark Widdowson fejlesztette ki [8] a Virginia Tech egyetemen.

A redukzív deklórozási csomaggal szimulálhatjuk 3D-ben a klórozott oldószervegyületek transzport folyamatait, ezen anyagok redukzív dehalogénezése révén létrejövő lebomlási termékek (TCE, cisz 1-2-diklór-etén, és vinil-klorid) összetett biológiai folyamatait a vízadókban, mint pl. közvetlen oxidáció, redukzív dehalogénezés és kómetabolizmus. Mindegyik folyamat alkalmazhatósága és mértéke, ami hatással van szennyező anyag összetételére, függenek a véges-differencia rácsháló minden egyes modelcellájában szimulált redox feltételektől.

A NAPL lebomlási csomaggal szimulálhatók az elektron donorok (például szénhidrogén szennyeződések) és klórozott etilének (PCE, TCE és / vagy DCE) transzport folyamatai - amelyek lehetnek víznél könnyebb és nehezebb NAPL szennyezők - a vizes fázisban. SEAM3D nem képes szimulálni a többfázisú áramlást, azonban időfüggő NAPL felhalmozódás hozzáadása és / vagy a források eltávolítása meghatározott időpontokban lehetséges a

szimulációk során [9].

## 5. JÖVŐBELI CÉLOK, ÖSSZEFOGLALÁS

A jövőben szeretnénk folytatni a megkezdett méréseket és kiterjeszteni más NAPL anyagokra is. A továbbiakban célszerű lenne nem csak homogén, hanem heterogén rendszerekre is elvégezni a felszín alatti transzportfolyamatok laboratóriumi modellkísérleteit.

A laboratóriumi mérések eredményeit felhasználva lehetőség nyílik numerikus szimulációkra, melyet UTCHEM programmal lehet elvégezni. A transzportmodellezés a laboratóriumi mérésekkel ezáltal validálhatóvá válna, és olyan paraméterek is mérhetőek lennének, melyet legtöbbször csak szakirodalom alapján származtatnak.

## 6. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A kutató munka a Miskolci Egyetemen működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0049 jelű „KÚTFŐ” projektjének részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## 7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **MARKÓNÉ DR. MONOSTORY B.** (2001): Halogénezett szénhidrogének a talajban és a talajvízben., Környezetvédelmi füzetek, Budapest, 2001., pp. 1-52.
- [2] **KUEPER, B.H., WEALTHALL, G.P., SMITH, J.W.N., LEHARNE, S.A., LERNER, D.N.** (2003.): An illustrated handbook of DNAPL transport and fate in the subsurface; Environment Agency, R&D Publication 133, ISBN: 1844320669, pp. 63.
- [3] **HALMÓCZKI SZ., GONDI F.** (2010): Klórozott szénhidrogénekkal szennyezett területek kármentesítése korszerű technológiákkal – A laboratóriumi kísérletektől a terepi alkalmazásig vezető út. Magyar Hidrológiai Társaság XXVIII. Országos Vándorgyűlés, Sopron, 2010. július 7-9.
- [4] **SZUCS P., MADARSZ T.** (2013): Hydrogeology in the Carpathian basin – how to proceed? *European Geologist* 35: p. 17-20. (2013)
- [5] **SZUCS P., KOMPAR L., PALCSU L., DEAK J.** (2012): Determination of natural groundwater recharge with the help of groundwater modeling and tritium field measurements. *Geosciences and Engineering: A Publication of the University of Miskolc* 1:(1) p. 159-165.
- [6] **ZÁKÁNYI BALÁZS** (2013): A DNAPL (Dense Non-Aqueous Phase Liquid) típusú szennyeződések felszín alatti transzport-folyamatainak szimulációja. PhD értekezés. Miskolc. pp 121.
- [7] **ZAKANYI B., SZUCS P.** (2012.): Opportunities in Increasing Reliability of DNAPL Transport Modeling. Paper 435. Annual IAHR Conference in 2012., Niagara Falls, Kanada, p. 100-105.
- [8] **WIDDOWSON, M. A.** (2002): SEAM3D -Documentation and User's Guide, The Via Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, p. 1-84.
- [9] **PLANK ZS., SZUCS P., MADARÁSZ T., NEDUCZA B.** (2011): Interdisciplinary Characterization of Subsurface Hydrocarbon Contamination on a Test Site in Hungary. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica* 46:(4) p. 457-470.