



MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI FÖLDTUDOMÁNYI KAR
MIKOVINY SÁMUEL FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA



A DNAPL (*Dense Non-Aqueous Phase Liquid*) típusú szennyeződések felszín alatti transzport-folyamatainak szimulációja

Doktori (Ph.D.) értekezés téziszűzete

Készítette:
Zákányi Balázs
okl. környezetmérnök

Tudományos vezető:
Prof. Dr. Szűcs Péter
egyetemi tanár

Doktori Iskola vezetője:
Prof. Dr. Dobróka Mihály
egyetemi tanár

MIKOVINY SÁMUEL FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

Miskolc, 2013.

1. Bevezetés és célkitűzés

A 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 (Markóné, 2001).

A 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 (Kueper et al., 2003). Emberi beavatkozás nélkül még igen hosszú ideig várhatnánk a 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 (Markóné, 2001; Filep et al., 2002).

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 függnék 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 (Halmóczy, Gondi, 2010).

Hazánkban, az Észak-Magyarországi Régióban jelenleg is jelentős működő vegyipari vállalatok helyezkednek el. 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 szénhidrogénekkal 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 megerősítenek.

A környezeti elemeket érintő megörökölt ipari és bányászati eredetű szennyezések feltárása és felszámolása még napjainkban is tart.

Ehhez a súlyos örökséghez kötődően kezdtem el kutatásaimat a speciális, felszín alatti vizekbe jutó szennyező anyagok (*Dense Non-Aqueous Phase Liquid* /továbbiakban DNAPL/, klórozott szénhidrogének stb.) transzport folyamatainak vizsgálata és szimulációk megbízhatóságának növelésére vonatkozóan. A vizsgálataim eredményeképpen pontosabbá váló hidrogeológiai modellezésnek továbbra is igen jelentős szerepe lesz a felszín alatti környezetszennyeződések felszámolását megcélzó újszerű kármentesítési eljárások tervezésében, méretezésében és e rendszerek működésének nyomon követésében. A numerikus szimulációk alkalmazása ma már elengedhetetlen kelléke a hidrogeológiai kutatásoknak, illetve a szakmai döntéshozatalnak.

Mindezeket figyelembe véve fontos feladatnak tartom ezeknek a módszereknek a folyamatos fejlesztését, javítását. Továbbá jelentős kérdéseket vet fel a többfázisú áramlások numerikus szimulációjának telített közegekben történő megoldása, hiszen ebben a kérdéskörben jelenleg kevés program kínálkozik és a meglévők alkalmazása is nehézségekbe ütközik.

A fentiek kapcsán kutatásom fő célkitűzései a következők:

1. A víztől nehezebb önálló fázisú szennyezők (koncentrálva a klórozott szénhidrogénekre) legfontosabb fizikai-kémiai tulajdonságainak összefoglalása, melyek a transzport-modellezéséhez nélkülözhetetlenek.
2. A víznél nagyobb sűrűségű szennyezőanyagok viselkedésének és terjedésük fontosabb jellemzőinek összefoglalását a felszín alatti közegben, továbbá tényfeltárásuk jelentőségének, a felmerülő nehézségeknek és kihívásoknak az összefoglalása. Néhány olyan feltérési technológia ismertetése, amelyek mára már nélkülözhetetlen eszközzé nőttek ki magukat az ilyen típusú szennyezőanyagoknál külföldön és használatuk egyre elterjedtebb hazánkban is.
3. Az alkalmazott Groundwater Modeling System (GMS) szimulációs program bemutatása, kiemelve ebből azokat a modulokat (UTCHEM, SEAM3D), amelyekkel lehetséges a speciális szennyezőanyagok felszín alatti mozgásának modellezése. A többfázisú áramlás transzport folyamatainak analitikus leírása, illetve esettanulmányokon keresztül a modellezési programok által leginkább alkalmazott két numerikus módszer ismertetése:
 - a. Több szinten szűrőzött kutak hidraulikai viszonyainak vizsgálata véges differencia módszerrel, a transzport modellezések megbízhatóságának növelése érdekében.

- b. Gátak, töltések vizsgálata vízre és víztől nehezebb önálló fázisú szennyezőanyagok (pl. zagyatározók) tárolásánál, vége-selemes numerikus eljárást alkalmazó modul segítségével.
4. A DNAPL típusú szennyezőanyagok transzport folyamatainak megbízhatóbb megismerése érdekében végzett szimulációk eredményeinek bemutatása.
 - a. Agyag lencsék visszatartási hatásfokának meghatározása.
 - b. Laboratóriumi permeabilitás görbék beépítése az UTCHEM modulba.
 - c. Sztochasztikus modellezés alkalmazása speciális szennyezőanyagok modellezésénél.
5. Végezetül az elvégzett kutatások fő megállapításainak és a jövőbeli célkitűzések ismertetése.

2. A alkalmazott szimulációs módszerek a transzport-folyamatok leírására

A DNAPL típusú szennyezőanyagok modellezésére a GMS programban két lehetőség kínálkozik (Utchem, SEAM3D), ezeket mutatom be ebben a fejezetben röviden.

Természetesen léteznek más olyan programok, amelyekkel lehet ezeket a speciális szennyeződések modellezni, de ezek alkalmazása nehézségekbe ütközik, mert:

- általában dos alapú programok (pl. NAPL Simulator), így program nyelvek ismeretét igénylik,
- „csak” 2D modellek készíthetők el (pl. MOFAT/MOTRANS),
- NAPL szennyeződések közül csak az LNAPL-re alkalmazhatók (pl. Hydrocarbon Spill Screening Model – HSSM),
- saját fejlesztés, amelyek saját felhasználásra készültek, így nem vásárolhatók vagy tölthetők le (pl. DNAPL-3D).

A GMS 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 (Zakanyi, Szucs, 2012).

A következőkben ezeket a szimulációs kódokat mutatom be röviden.

2.1. 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 (*Center for Petroleum and Geosystems Engineering, 2000./a*). 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.

A programot eredetileg *Pope és Nelson 1978*-ban arra használta, hogy szimulálja a felületaktív anyagok és polimerek felhasználásával történő szénhidrogén kármentesítések folyamatait. 1990-ben *Bhuyan és szerzőtársai* kiterjesztették a modellt más kémiai folyamatokra és különböző geokémiai reakciókra a vizes és szilárd fázisok között.

A legújabb 9.1-es UTCHEM modulban az áramlási-, és tömegtranszport-egyenletek megoldást adnak a felhasználó által megadott tetszőleges számú kémiai összetevőre (víz, szerves szennyezők, felületaktív anyagok, alkohol stb.). Ezek összesen 4 fluid fázisból kerülhetnek ki (levegő-, víz-, olaj- és mikroemulzió-), és tetszőleges számú szilárd ásványi anyagot tartalmazhatnak (*Center for Petroleum and Geosystems Engineering, 2000/a*).

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 (*Center for Petroleum and Geosystems Engineering, 2000/b*). Ideális eszköze az UTCHEM a pump-and-treat rendszerek szimulációjának.

A program több fázisú áramlási és transzport modellezés lehetősége, és a Modflow programtól való önállósága teszi a programot egyedivé.

2.2. A SEAM3D modul

A SEAM3D Reaktív transzport szimulációs kód, mellyel komplex, több szubsztrátumot és elektron akceptort is figyelembe vevő biodegradációs feladatok modellezhetők (*Widdowson, 2002*). A modul alapja a MT3DMS kód.

A SEAM3D - az MT3DMS (Modflow transzport-szimulációs kód) modulhoz képest – tartalmaz egy biodegradációs és egy NAPL típusú szennyeződések lebomlását szimuláló csomagot. Ezt a program kódot Mark Widdowson fejlesztette ki (*Widdowson, 2002*) 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 vízádókban, 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 modellcellájában 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.

3. Az értekezés tartalmi összefoglalása

A dolgozatom célja, hogy olyan transzportmodellezési programokat gyűjtsek össze, amely a klórozott szénhidrogének szimulációjára alkalmas telített közegben. *Fő célom*, hogy a transzport modellezési szimulációk megbízhatóságát növeljem. A vizsgálataim eredményeképpen pontosabbá váló hidrogeológiai modellezésnek továbbra is igen jelentős szerepe lesz a felszín alatti környezetszennyeződések felszámolását megcélzó újszerű kármentesítési eljárások tervezésében, méretezésében és e rendszerek működésének nyomon követésében.

Az irodalmi áttekintésben röviden ismertetem a víztől nehezebb önálló fázisú szennyezők (koncentrálva a klórozott szénhidrogénekre) legfontosabb fizikai-kémiai tulajdonságait, amelyek a transzport-modellezéséhez nélkülözhetetlenek. Összefoglaltam a víznél nagyobb sűrűségű szennyezőanyagok viselkedésének és terjedésének fontosabb jellemzőit a felszín alatti közegben, továbbá tényfeltárásuk jelentőségét, a felmerülő nehézségeket és kihívásokat. Néhány olyan feltárási technológiát ismertetek, amelyek mára már nélkülözhetetlen eszközzé nőttek ki magukat az ilyen típusú szennyezőanyagoknál külföldön és használatuk egyre elterjedtebb hazánkban is.

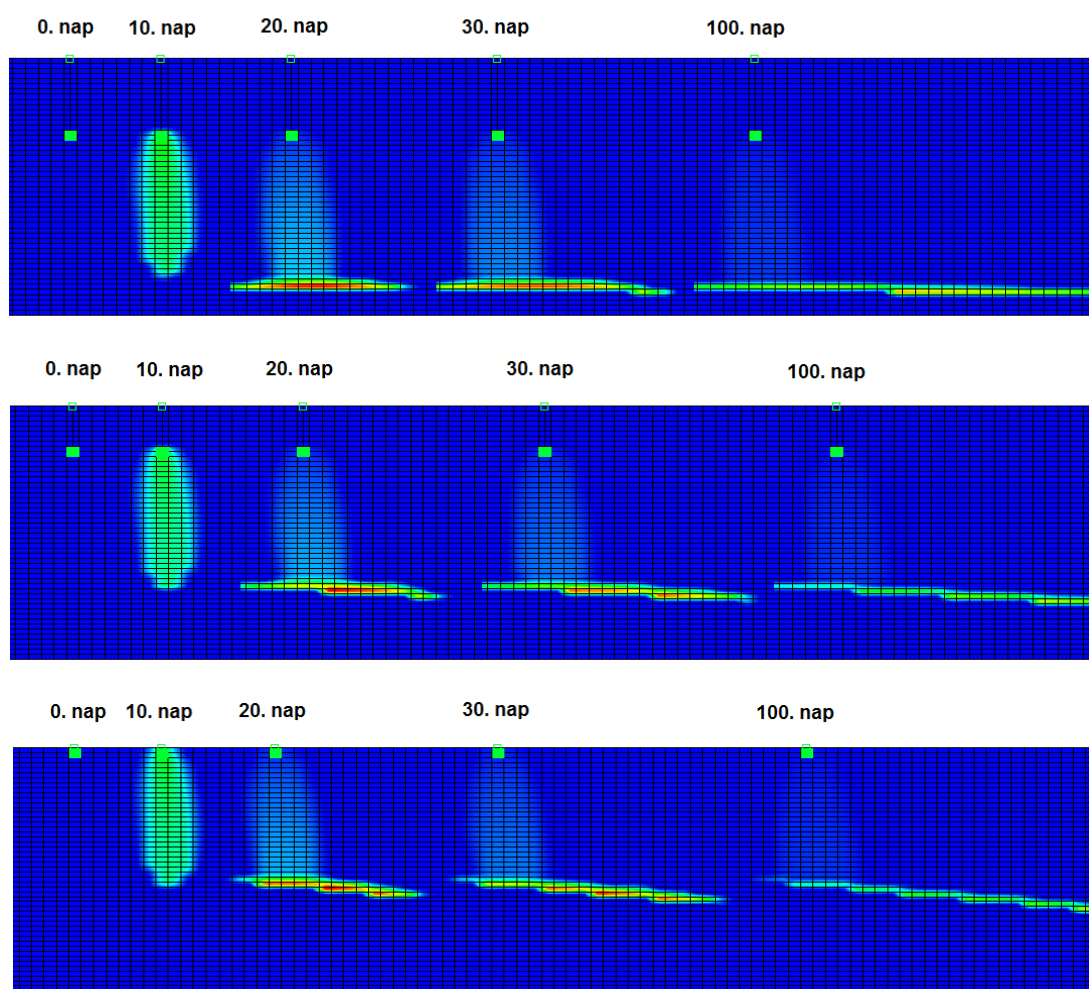
Tanulmányoztam a több fázisú áramlások törvényszerűségeit, azért hogy a speciális szennyezőanyagok transzport folyamatainak szimulációs alapelveit megértsük. Ezen keresztül kiválóan bemutatathatók a szimulációk során fellépő főbb nehézségek kiváltó okai.

A szakmában elterjedt modellező rendszerek legnagyobb része - így a GMS is - a véges differencia és a végelem módszereket alkalmazza, ezért erre a két módszerre

végzett szimulációs vizsgálataimat mutatom be, amelyek kapcsolódnak a fő célkitűzésemhez:

- Több szinten szűrőzött kutak hidraulikai viszonyainak vizsgálata véges differencia módszerrel, a transzport modellezések megbízhatóságának növelése érdekében
- Gátak, töltések vizsgálata speciális szennyezőanyagok (pl. zagytározók) tárolásánál, végelelemes numerikus módszert alkalmazó modul segítségével.

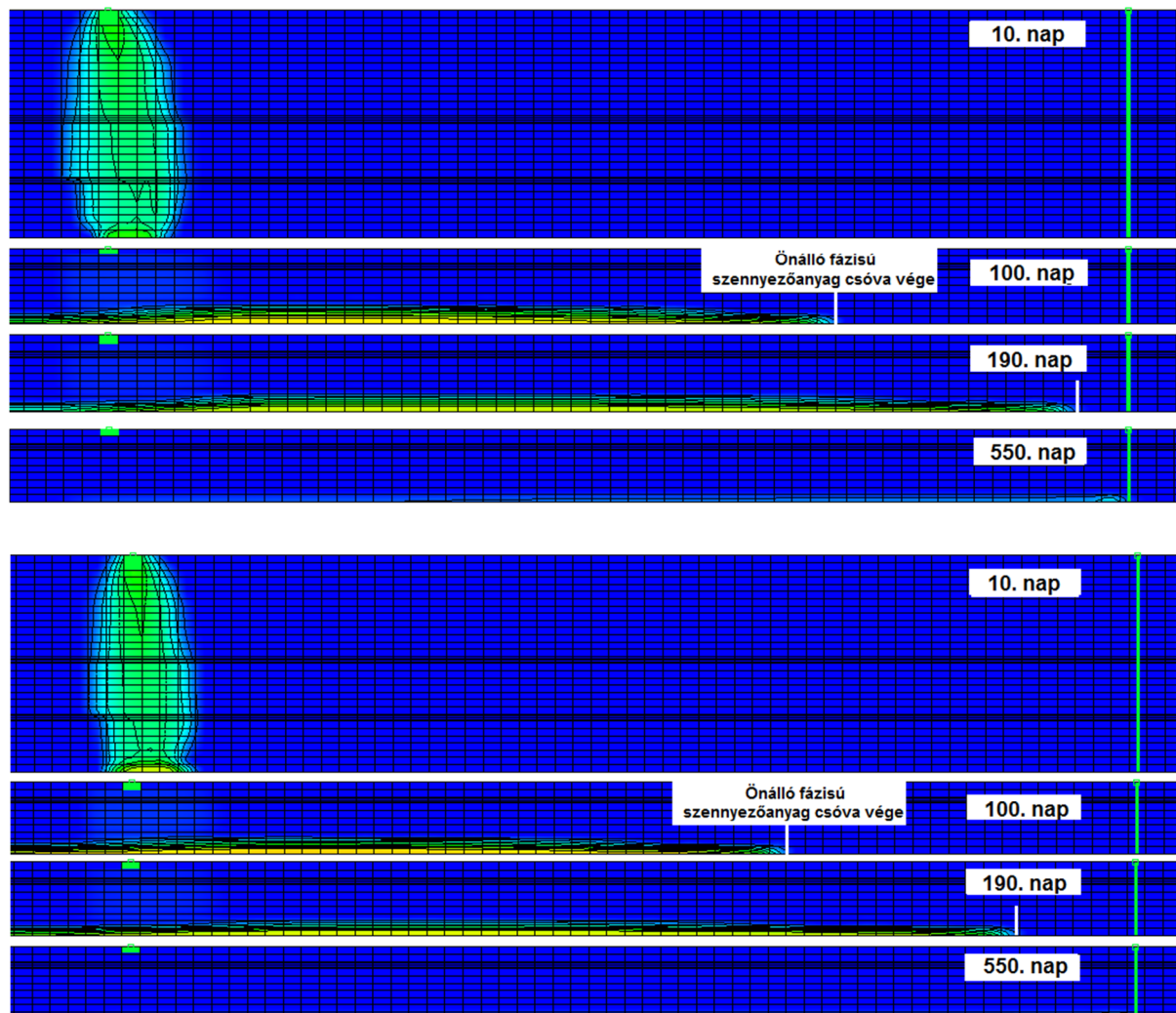
A VII. fő fejezetben a DNAPL transzport szimulációk megbízhatóságának növelése kérdéskörrel foglalkozom. Ezen belül először az agyaglencsék speciális szennyeződésekkel kapcsolatos visszatartási hatásfokát vizsgáltam meg, azok vastagságának és dőlésének függvényében, több esetet is megvizsgálva (0-40 cm rétegvastagság és 0-5° dőlés között) (1. ábra). Szimulációimat az Utchem modullal végeztem el.



1. ábra Az 1°, 3° és 5°-os dőlésű agyag záró réteg esetében a triklór-etilén szennyező csóva alakulása különböző időpontokban.

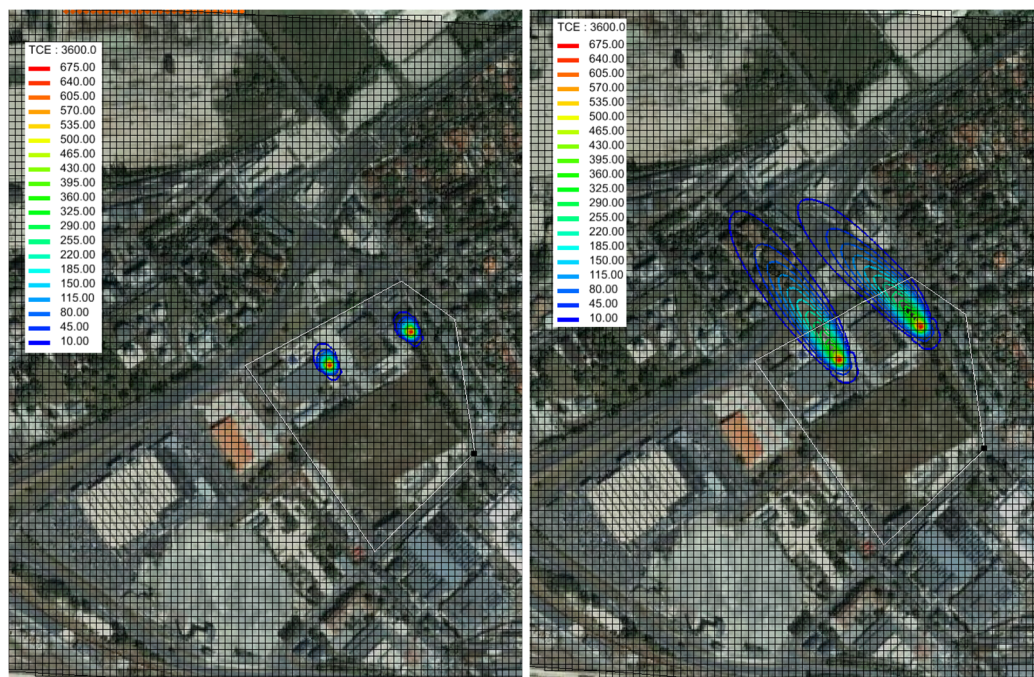
A következő alfejezetben az olaj kiszorítási vizsgálatokhoz alkalmazott radiális rendszerben végrehajtott nem állandósult (unsteady-state) vízkiszorítási vizsgálatok laboratóriumi méréseiből nyert relatív permeabilitási görbéket használtam fel. Ezeket az

eredményeket a DNAPL szennyezések kutakkal történő kármentesítésének modellezésénél beépítettem az UTCHEM modulba (2. ábra), amelyekkel a tényleges területre jellemző adatokkal a kármentesítések szimulációjának megbízhatósága növelhető.



2. ábra Egy klórozott szénhidrogén szennyezés szimulációs eredményei irodalmi adatokból nyert relatív permeabilitás görbe (fent), majd pedig tényleges fúrási magon végzett radiális kiszorítási kísérletek mérési adataiból számított relatív permeabilitási görbe eredményeivel (lent).

Az utolsó alfejezetben olyan esettanulmányt mutatok be, ahol valós triklór-etilén szennyeződés adatait használom fel. A modellezéshez az oldott fázis illetve a szennyezőanyag lebomlási sorát figyelembe vevő SEAM3D modult alkalmazom. A tényfeltárás során vizsgált terület viszonylag kicsi (330m x 200m) és mivel a modellezést nagyobb területre kívánom elvégezni - de erre adataim nincsenek - a szimuláció kiterjesztéséhez sztochasztikus módszert alkalmazok (3. ábra).



3. ábra Sztochasztikus szimulációk (64 db) során kapott eredmények közül a legkisebb, illetve a legnagyobb szivárgási tényezőt figyelembe vevő futtatások ábrái.

Az alábbiakban felsorolt tézisekben megfogalmaztam dolgozatomban főbb új tudományos eredményeit.

Dolgozatom 110 oldal terjedelmű, 58 ábrát és 14 táblázatot tartalmaz, 104 felhasznált irodalmi forrást dolgoz fel, ebből 68 idegen nyelvű.

4. Eredmények értékelése, tézisek

A környezeti elemeket, így a talajokat és a felszín alatti vizeket érintő megörökölt ipari és bányászati eredetű szennyezések feltárása, továbbá felszámolása még napjainkban is tart. Bizonyos területeken jelenleg és a jövőben is történhet hasonló elszennyeződés. Ezért, különösen fontos a speciális szennyezőanyagok (pl. DNAPL, klórozott szénhidrogének) transzport folyamatainak jobb megismerése, hiszen azok megbízható szimulációja vezethet csak megfelelő hatékonyságú kármentesítési eljárások kidolgozásához. Dolgozatom elsődleges célja, hogy a DNAPL típusú szennyezők terjedési folyamatainak sajátosságait jobban megismertessem a GMS szoftver UTCHEM és SEAM3D moduljainak segítségével. A magas szintű numerikus szimulációk alkalmazása ma már hasznos és fontos kelléke a hidrogeológiai kutatásoknak, ugyanakkor elengedhetetlen alapja a megfelelő szakmai döntéshozatalnak.

Célkitűzéseim megvalósítása során az alábbi tézisekbe foglalt új eredményekre és megállapításokra jutottam:

1. Szimulációs vizsgálatok segítségével bebizonyítottam, hogy a MODFLOW programhoz kapcsolódó MNW moduljának alkalmazásával a több szinten szűrőzött kutak hidraulikai sajátosságai elfogadható pontossággal írhatóak le még bonyolult vízföldtani szituációk esetében is. A több szinten szűrőzött kutak hidraulikai viselkedésének pontosításával megbízhatóbban szimulálhatóak a szennyeződés-terjedési és kármentesítési folyamatok.
2. Esettanulmányokon keresztül bebizonyítottam, hogy a SEEP2D modul hatékonyan alkalmazható speciális szennyezőanyagok tárolására alkalmas tározók gátjának, töltésének hidrodinamikai vizsgálatára. A SEEP2D modul lehetővé teszi a víznél nagyobb sűrűségű fluidumok gátszivárgási mechanizmusának leírását is.
3. A vizsgálataim során a speciális szennyeződések agyaglencsék általi visszatartásának hatásfokát modelleztem az UTCHEM modullal vízszintes réteg fekü esetén. Kimutattam, hogy a DNAPL típusú szennyező anyagok felszín alatti transzport-folyamatainak szimulációja esetében rendkívüli jelentőséggel bír a földtani felépítés pontos ismerete és annak a modellben való szerepeltetése. Szimulációk segítségével bebizonyítottam, hogy a feküből kiemelkedő 30 cm vastag agyag lencse a vizsgált mennyiségű (1 m^3) önálló fázisú szennyezőanyag közel 100%-át képes visszatartani.
4. Többfázisú UTCHEM szimulációk segítségével megvizsgáltam a valóságban gyakran előforduló ferde rétegzettségű összletek esetében a különböző magasságú agyaglencsék szennyeződés-terjedéssel kapcsolatos visszatartási hatásfokát. Ferde feük esetében az agyaglencsék speciális szennyeződésekkel kapcsolatos visszatartási hatásfoka homogén anizotróp közegben 1° , 3° és 5° -os ferdeségnél is exponenciális egyenlettel közelíthető.
5. A speciális szennyezőanyagok többfázisú transzport-folyamatainak pontosítása érdekében egy az olajipar számára kifejlesztett, egyszerű kiszorítási kísérleten alapuló relatív permeabilitás meghatározási módszert adaptáltam és alkalmaztam. Ezzel a környezetvédelmi célú alkalmazással a numerikus szimulációk megbízhatósága növelhető, amely hatással van a szennyezett területek kármentesítésének tervezésére és kivitelezésére.
6. Szimulációs vizsgálatokkal bebizonyítottam, hogy a sztochasztikus modellezés alkalmazása jelentős mértékben elősegítheti a kis területeken végzett tényfeltárások során kapott eredmények nagyobb térrészre történő kiterjesztését. Megállapítottam, hogy a SEAM3D modul és a hozzá kapcsolódó sztochasztikus modellezés az oldott fázisú DNAPL szennyezőanyagok modellezésére hatékonyan alkalmazható, amely nagy segítséget nyújthat a humán kockázat értékelések elkészítésénél.

5. Summary

Nowadays one of the most important questions of environmental protection is the elimination of inherited industrial and mining related contaminations. This kind of contaminations can happen in some areas now and in the future. It is therefore especially important for a better understanding the transport processes of specific pollutants (eg, DNAPL chlorinated hydrocarbons), since the development of reliable simulation can only lead to an efficient clean-up procedures. The primary objective of this dissertation is to better acquaint the diffusion processes of the DNAPL -type impurities with UTCHEM and SEAM3D modules of GMS software. The use of high-level numerical simulations is now useful and important ingredient of the hydrogeological research, however, an essential foundation for appropriate professional decision.

My new research results and findings contained in the following theses.

1. The hydraulic characteristics of multi-level screened wells can be described reasonable accuracy even for complex hydrogeological situations as well with the use of MODFLOW program MNW module. The simulate of pollution and remediation processes is clarified reliably by accurate knowing of hydraulic behavior of multi-level screened wells.
2. The module SEEP2D effectively used for examine hydrodynamic properties of dam reservoirs and filling storing specific pollutants which were proved in case studies. The SEEP2D module allows the description of leakage mechanism the density greater than water fluids.
3. The specific contaminants retention efficiency of clay lens was modeled by UTCHEM module for the horizontal layers of bedrock. It has shown that it has a particular importance of detailed knowledge of the geological structure and inclusion into the model in simulation of DNAPL type pollutants transport processes. Simulations have proven that a 30 cm thick clay lenses that outstanding from the confining bed can be contained close to 100% of pollutants.
4. It has been examined by UTCHEM multiphase simulations the contamination retention efficiency of clay lenses with different heights in case often occurring in reality. For specific contaminants in oblique footwall the retention efficiency for clay lenses in homogeneous anisotropic medium well approximated by an exponential equation in 1° , 3° and 5° angle.
5. In order to clarify the specific pollutant multiphase transport processes there was adapted and applied a method for determining relative permeability based on the oil industry. With this method the reliability of numerical simulations can be increased, which affects the plan and execute of remediation the contaminated sites.

6. Simulation studies have proven that the use of stochastic modeling can help significantly to obtain the results in actual excavations carried out in areas with large compartment extension. I has found that the SEAM3D module and the associated stochastic modeling, can be used effectively for modeling dissolved -phase DNAPL contaminants, which can provide great assistance in the preparation of human risk assessments.

6. Az értekezés témájában született publikációk listája

2013

1. **Zákányi B.**: Nem vizes fázisú, víznél sűrűbb szennyezőanyagok transzport-folyamatainak szimulációja felszín alatti közegben. In: Földtudományi Vándorgyűlés és Kiállítás: Föld- és Környezettudományok a fenntartható gazdaság érdekében. Konferencia helye, ideje: Veszprém, Magyarország, 2013.07.04-2013.07.06. Magyarhoni Földtani Társulat, ISBN:978-693-8221-50-6, 2013. pp. 64-69.
2. Szucs P, Virag M, **Zakanyi B**, Kompar L, Szanto J: Investigation and Water Management Aspects of a Hungarian-Ukrainian Transboundary Aquifer. Water Resources 40: (4) pp. 462-468. (2013)
3. Szucs P., Szekely F., **Zakanyi B.**: Comparison of analytical and numerical approaches for simulating groundwater flow to multi screen wells. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences 8:(2) pp. 69-76. (2013)
4. **B Zákányi**, P Szűcs, M Tóth: Sensitivity of DNAPL transport simulations concerning the relative permeability data. In: IAH Central European Groundwater Conference 2013. Mórahalom, Magyarország, 2013.05.08-2013.05.10. University of Szeged, 2013. ISBN:978-963-306-217-3, pp. 137-141.

2012

5. **Zákányi B.**, Szűcs P.: Transzport modellezés megbízhatóságának növelése DNAPL szennyezőanyagok esetén. Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2012 Konferencia. Szolnoki Főiskola, Szolnok, 2012. május 10. Konferencia kiadvány, Kiadja: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága. ISBN 978-963-7064-28-9. Szerkesztette: Pokorádi László. HU ISSN 2060-7954, Debrecen 2012.
6. **Zakanyi B.**, Szucs P.: Opportunities in Increasing Reliability of DNAPL Transport Modeling. Paper 435. In: Annual IAH Conference in 2012. Niagara Falls, Kanada, 2012.09.26-2012.09.30. pp. 100-105.
7. **Zákányi B.**, Szűcs P.: Klórozott szénhidrogén szennyezések transzport folyamatainak modellezése SEAM3D és UTCHEM programkódok alkalmazásával. In: VIII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Veszprém, Magyarország, 2012.04.18-2012.04.21. (Pannon Egyetem Környezetmérnöki Intézet), Veszprém: Göttinger Kiadó, 2012. pp. ISBN:978-963-86627-2-9, pp.158-163.
8. **Zákányi B.**, Szűcs P., Nyiri G.: Esettanulmányok a Lázberci-víztározó és három szerkezetes árvízvédelmi gát és altalajának szivárgás-hidraulikai modellezésére.: Műszaki Földtudományi Közlemények, Geotudományok: A Miskolci Egyetem közleménye: A sorozat, Bányászat 83, HU ISSN 1417-5398, pp. 277-287.

2011

9. Szűcs P, Székely F, **Zákányi B**: Comparison of different simulation approaches in a multi-layer aquifer system.: A Miskolci Egyetem Közleménye, A sorozat, Bányászat, 81. kötet, VIII. Kárpát-medence Ásvány- és Gyógyvizei Konferencia, „Termásvíz-Borvíz-Egészség”, HU ISSN 1417-5398, pp. 277-284.
10. Madarász T, Szűcs P, Lakatos J, Gombkötő I, Szántó J, Radeczky J, Trauer N, **Zákányi B**, Székely I: Új típusú PRB töltetek fejlesztése.: A Miskolci Egyetem Közleménye, A sorozat, Bányászat, 81. kötet, VIII. Kárpát-medence Ásvány- és Gyógyvizei Konferencia, „Termásvíz-Borvíz-Egészség”, HU ISSN 1417-5398, Miskolci Egyetemi Kiadó, pp. 401-410
11. **Zákányi B**: Speciális szennyeződések transzport-folyamatainak modellezési lehetőségei. IAH Magyar Nemzeti Tagozat, Előadás, Miskolc, 2011. 11. 11.
12. **Zákányi B**, Szűcs P.: Modellezési kihívások a klórozott szénhidrogének felszín alatti transzport folyamatainak szimulációjában. In: VII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia 1-2. Kolozsvár, Románia, 2011.03.24-2011.03.27, Ábel Kiadó, pp. 629-633.
13. Madarász T, Szűcs P, Lakatos J, Gombkötő I, Szántó J, Radeczky J, Trauer N, **Zákányi B**, Székely I: Reaktív gátak komplex tervezése.: Multidiszciplináris Tudományok: A Miskolci Egyetem közleménye 1, ISSN 2062-9737, pp. 21-30.
14. **Zákányi B**.: Klórozott szénhidrogének transzport-modellezési lehetőségei a GMS programban. Multidiszciplináris Tudományok: A Miskolci Egyetem közleménye 1, ISSN 2062-9737, pp. 333-340.
15. Szűcs P., Virág M., Kompár L., **Zákányi B**.: A Magyar-Ukrán határtérség felszín alatti vízkészleteinek mennyiségi és minőségi kérdései.: Hulladékonline elektronikus folyóirat, ISSN 2062-9133, 2011, pp. 1-12.
16. Madarász T, Szűcs P, Lakatos J, Gombkötő I, Szántó J, Radeczky J, Trauer N, **Zákányi B**, Székely I: Újszerű reaktív gátak tervezése.: Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2011 Konferencia előadásai. Miskolci-Egyetem, 2011. május 18., Elektronikus Műszaki Füzetek, 9. kötet, Kiadja: MTA Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága. Szerkeszti: Prof. Dr. Pokorádi László. HU ISSN 2060-7954. pp. 1-10.
17. Madarász T, Szűcs P, Lakatos J, Szántó J, **Zákányi B**, Tóth R: PRB gátak működésének szimulációja hidrogeológiai modellezéssel. In: microCAD 2011, A szekció: XXV. International Scientific Conference. Miskolc, Magyarország, 2011.03.31-2011.04.01. pp. 87-92.

2010

18. **Zákányi B**, Szűcs P: Völgyzáró gát és árvízvédelmi töltések hidraulikai vizsgálata SEEP2D modullal. Hidrológiai Közlöny 90: (4), ISSN 0018-1323, pp. 54-62.
19. Szűcs P, Virág M, Csegény J, **Zákányi B**: Regionális hidrogeológiai modellezés a magyar-ukrán térségben. In: Mérnökgeológia-Kőzettechnika 2010, Műegyetemi Kiadó 2010, ISBN 978-963-313-001-8, pp. 29-34.
20. Szűcs P, Kovács B, Lénárt L, **Zákányi B**: Modellezési eljárások a felszín alatti vízkészletek mennyiségi és minőségi szolgálatában. Geotudományok: A Miskolci Egyetem közleménye: A sorozat, Bányászat 79, A Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kara 50 éve Miskolcon. HU ISSN 1417-5398, pp. 207-220.
21. Szűcs P, Virág M, Csegény J, **Zákányi B**, Szántó J: Határral osztott felszín alatti vízadó komplex hidrogeológiai vizsgálata a magyar-ukrán térségben.: Szemelvények a geotermikus energia hasznosítás hidrogeológiai alkalmazásaiból. Tanulmánykötet, ISBN 978-963-06-9622-7. InnoGeo Kft., Szeged, pp. 129-141.
22. Szűcs P, Virág M, **Zákányi B**: A magyar-ukrán határtérség ásványvíz termelési lehetőségei. In: A Kárpát-medence ásványvizei: 7. Nemzetközi Tudományos Konferencia. Csíkszereda, Románia, 2010.08.27-2010.08.29. ISBN:978-973-7625-26-7, pp. 25-34.
23. Szűcs P, Madarász Tamás, **Zákányi B**, Szántó J: A kállósemjéni Nagymohos vízháztartási viszonyainak meghatározása hidrodinamikai modellezés, illetve terepi monitoring vizsgálatok segítségével.: Természetvédelmi és környezetvédelmi célú szakértői tanulmány. Megrendelő: Hortobágyi Nemzeti Park Igazgatósága. A kutatási jelentés készült a Miskolci Egyetemen. pp. 1-55.
24. Szűcs P, Madarász T, Szántó J, **Zákányi B**, Gonda N: A kállósemjéni Nagymohos vízháztartási viszonyainak meghatározása hidrodinamikai modellezés, illetve terepi monitoring vizsgálatok segítségével. microCAD 2010 A szekció: XXIV. International Scientific Conference, Miskolc, Magyarország, 2010.03.18-2010.03.20. ISBN:978 963 661 906 0, pp. 33-38.

2009

25. **Zákányi B**: A Groundwater Modeling System (GMS) alkalmazási lehetőségei a hidrogeológiában. In: XV. Nemzetközi Környezetvédelmi és Vidékfejlesztési Diákkonferencia, ISBN 978-963-06-87874-3, 2009. pp. 21. Előadás
26. **Zákányi B**: Zagytarozók vízháztartás vizsgálata a HELP modellel. In: XV. Nemzetközi Környezetvédelmi és Vidékfejlesztési Diákkonferencia, ISBN 978-963-06-87874-3, 2009. pp. 64. Poszter

27. **Zákányi B**, Mészáros R: Emulzióbontás új megvilágításban. In: XV. Nemzetközi Környezetvédelmi és Vidékfejlesztési Diákkonferencia, ISBN 978-963-06-87874-3, 2009. pp. 65. Poszter
28. **Zákányi B**: Víznel nehezebb sűrűségű szénhidrogén szennyezések transzportmodellezése. In: XL. Ifjú Szakaemberek Ankéntja, 2009, pp. 50.
29. **Zákányi B**: Hidraulikai modellezés alkalmazása víztározó gátjának vizsgálatára. In: XL. Ifjú Szakaemberek Ankéntja, 2009, pp. 49.
30. **Zákányi B**, Szűcs P: A GMS háromdimenziós hidrogeológiai modellező rendszer alkalmazási lehetőségei. microCAD 2009 A szekció: XXIII. International Scientific Conference, Miskolc, Magyarország, 2009.03.19-2009.03.20. ISBN:978-963-661-867-4. pp. 43-48.
31. Szűcs P, Madarász T, **Zákányi B**, Szántó J: Szennyeződésterjedés meghatározása geofizikai eljárások, valamint hidrodinamikai és transzport modellezés kombinációjával. microCAD 2009 A szekció: XXIII. International Scientific Conference, Miskolc, Magyarország, 2009.03.19-2009.03.20. ISBN:978-963-661-867-4, pp. 37-42
32. Szűcs P, Sallai F, **Zákányi B**, Madarász T: Vízkészletvédelem: A vízminőség-védelem aktuális kérdései. Miskolc: Bíbor Kiadó, 2009. ISBN:978-963-9988-00-2. Szakkönyv
33. Szűcs P, **Zákányi B**, Szántó J, Zsemle F: Repedezett hévíztárolók vezetőképességi viszonyinak meghatározása az ACE algoritmus alkalmazásával. In: Geotudományok: A Miskolci Egyetem közleménye: A sorozat, Bányászat 79, VI. Kárpát-medence Ásvány- és Gyógyvizei Konferencia, „Kutatás-felhasználás-védelem”, HU ISSN 1417-5398, Miskolci Egyetemi Kiadó, pp. 209-225.
34. Szűcs P, **Zákányi B**, Szántó J, Zsemle F: Repedezett geotermikus tárolók vezetőképességi viszonyainak meghatározása az ACE algoritmus segítségével. In: 15th Building Services, Mechanical and Building Industry Days, Debrecen, Magyarország, 2009.10.15-2009.10.16. ISBN:978-963-473-315-7, pp. 52-62.
35. Horne R N, Szucs P, **Zakanyi B**: Inferring Well-to-Well Connectivity Using Nonparametric Regression on Well Histories. In: Recent Innovations in Oil and Gas Recovery (Progress in Oilfield Chemistry; Vol. 8.), Budapest: Akadémiai Kiadó, 2009. ISBN:978 963 05 8719 8 pp. 247-258.

2008

36. **Zákányi B**, Szűcs P: Végeselemes hidraulikai modellezés alkalmazása árvízvédelmi gátaknál. In: IV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia I. kötet, Debrecen, Magyarország, 2008.03.28-2008.03.29. ISBN:978-963-06-4625-3, pp. 301-306.

37. **Zákányi B:** UTCHEM program alkalmazása szénhidrogén szennyeződések modellezésére. XIV. Nemzetközi Környezetvédelmi és Vidékfejlesztési Diákkonferencia, ISBN 978-963-06-87874-0-8, pp. 41.
38. **Zákányi B:** Lázberci-víztározó gátjának hidraulikai modellezése. XIV. Nemzetközi Környezetvédelmi és Vidékfejlesztési Diákkonferencia, ISBN 978-963-06-87874-0-8, pp. 100.
39. Zákányi B: Új környezetdiagnosztikai módszer speciális szénhidrogén szennyezések felmérésére. In: Környezet Reneszánsza a Tudományban és a Nevelésben Konferencia, Sopron, Magyarország, 2008.11.20-2008.11.21. ISBN:978-963-9883-15-4, pp. 45-46.
40. Szűcs P, Madarász T, **Zákányi B**, Tóth A, Nyári Zs, Neduczka B, Halmóczki Sz: Speciális felszín alatti szennyeződések roncsolásmentes vizsgálata. In: IV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia I. kötet, Debrecen, Magyarország, 2008.03.28-2008.03.29. ISBN:978-963-06-4625-3, pp. 295-300.
41. Szűcs P, **Zákányi B:** Végeselemes hidraulikai modellezés alkalmazása árvízvédelmi gátaknál. In: IV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia I. kötet, Debrecen, Magyarország, 2008.03.28-2008.03.29. ISBN:978-963-06-4625-3, pp. 301-306.
42. Szűcs P, Madarász T, **Zákányi B**, Tóth A, Nyári Zs, Neduczka B, Halmóczki Sz: Felszín alatti szénhidrogén szennyeződés modellezése Ásotthalom térségében. In: microCAD 2008: International Scientific Conference, Miskolc, Magyarország, 2008.03.20-2008.03.21. ISBN:978 963 661 812 4, pp. 63-68.

2007

43. **Zákányi B**, Tóth A: Transzport modellezés pontosítása geofizikai módszerek alkalmazásával. In: XIII. Nemzetközi Környezetvédelmi és Vidékfejlesztési Diákkonferencia, pp. 26.
44. **Zákányi B**, Szűcs P: Gátszivárgás meghatározása SEEP2D modullal. In: microCAD 2007, International Scientific Conference, University of Miskolc, March 22-23, 2007, Section B: , Water management and Environmental Protection. ISBN: 978-963-661-744-8, pp. 185-190.
45. **Zákányi B:** Esettanulmányok a gáttesten átszivárgó víz számítógépes modellezésére. In: XXVIII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia, Széchenyi István Egyetem Győr, ISBN 978-963-7175-32-9, Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium különdíj, pp. 288.
46. **Zákányi B**, Szűcs P, Lénárt L: Árvízvédelmi gátak hidraulikai viszonyainak modellezése. In: IX. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Buziásfürdő, 2007. március 29 – , április 1., EMT, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, pp. 286-291.

47. Szűcs P, Madarász T, **Zákányi B**: Hidrodinamikai és transzport modellezés alkalmazása a Berhida és Péterfürdő vízbázisok védelme érdekében. In: Geotudományok: A Miskolci Egyetem közleménye: A sorozat, Bányászat 72 „IV. Nemzetközi Tudományos Konferencia a Kárpát-medence Ásványvizeiről”, „Dr. Juhász József 80. születésnapjára”, pp. 209-219.
48. Szűcs P, **Zákányi B**: A leggyakoribb érték (MFV) módszerének alkalmazása a hidrogeológiai modellezésben. In: Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2007, Budapest, Magyarország, 2007.11.15. Budapest: Műegyetemi Kiadó, ISBN:978-963-420-933-1. pp. 161-174.
49. Szűcs Péter, Madarász Tamás, **Zákányi Balázs**: "Start" Modeling of Multifunctional Recharge Options for the Great-Forest Park in Debrecen. In: Smart Fields, Smart Wells and Smart Technologies (Progress in Oilfield Chemistry; 7.) Budapest: Akadémiai Kiadó, 2007. ISBN:978-963-058-550-7, pp. 245-252.

2006

50. Szűcs P, Tóth A, **Zákányi B**, Madarász T: Inverziós módszerek a hidrogeológiában. Magyar Geofizika 47:(4) pp. 169-172. (2006)

7. Felhasznált irodalom

- Bhuyan, D., Lake, L.W., and Pope, G.A. (1990.):* Mathematical Modelling of High-pH Chemical Flooding, SPE Reservoir Engineering, May pp. 213-220.
- Center for Petroleum and Geosystems Engineering (2000.)/a:* Technical Documentation for UTCHEM - A Three-Dimensional Chemical Flood Simulator. The University of Texas at Austin, USA.
- Center for Petroleum and Geosystems Engineering (2000.)/b:* User's Guide for UTCHEM - A Three-Dimensional Chemical Flood Simulator. The University of Texas at Austin, USA.
- Filep Gy., Kovács B., Lakatos J., Madrász T., Szabó I. (2002.):* Szennyezett területek kármentesítése, Miskolci Egyetemi kiadó.
- Halmóczy 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.
- 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.1-63.
- Markóné Dr. Monostory B. (2001.):* Halogénezott szénhidrogének a talajban és a talajvízben. Környezetvédelmi füzetek, Budapest pp. 1-52.
- 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, pp. 1-84.
- Zakanyi B., Szucs P. (2012.):* Opportunities in Increasing Reliability of DNAPL Transport Modeling. Paper 435. Annual IAHR Conference in 2012., Niagara Falls, Kanada, pp. 100-105.