



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

PhD értekezés tézisei

**SZENNYEZETT TALAJ CIKLODEXTRINNEL
INTENZIFIKÁLT BIOREMEDIÁCIÓJA
TERVEZÉSTŐL AZ ALKALMAZÁSIG**

MOLNÁR MÓNIKA

TÉMAVEZETŐ

DR. GRUIZ KATALIN

KONZULENS

DR. FENYVESI ÉVA

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
MEZŐGAZDASÁGI KÉMIAI TECHNOLÓGIA TANSZÉK
BUDAPEST, 2006

1. BEVEZET3S, A KUTAT3S C3LKIT3Z3SEI

A talaj sz3nhidrog3n szennyezetts3ge vil3gszerte gondot okoz, komoly k3rnyezeti kock3zatot jelent. Az Orsz3gos K3rnyezeti K3rmentesıt3si Program felm3r3sei alapj3n, Magyarorsz3gon 18 000-re tehet3 a gazd3atlan szennyezett ter3letek sz3ma, 3s ezek 86 %-ban a talajt 3s a felszın alatti vizeket vesz3lyeztetik.

Napjainkban talajkezel3si technol3gi3k sz3zai 3llnak rendelkez3s3nkre, de m3g mindig kevés szerep jut a talajban foly3 természetes szennyez3anyag cs3kkent3 folyamatokra alapoz3 biotechnol3giai elj3r3soknak. Az alakul3 Eur3pai f3rumok 3s projektek sora bizonyıtıtja, hogy ig3ny van az innovatıv, k3rnyezeti, gazdas3gi 3s t3rsadalmi szempontb3l el3ny3s technol3gi3kra.

A bioremedi3ci3 gyakori korl3toz3, 3s egyben id3sz3ks3glet3t n3vel3 t3nyez3je a szennyez3anyag korl3tozott biol3giai hozz3f3rhet3s3ge. A hozz3f3rhet3s3g n3vel3s3nek egyik m3dja a ciklodextrinek (CD) alkalmaz3sa. A k3l3nb3z3 ciklodextrinek talajvonatkoz3s3 k3rnyezetv3delmi felhaszn3l3si lehet3s3geit els3sorban extrakci3s elj3r3sokban, illetve talajmos3si technik3kban tesztelt3k. Alkalmaz3sukkal a bioremedi3ci3 intenzifik3l3s3ban csak n3h3nyan foglalkoznak, a megjelent k3zlem3nyek alapj3n ezek a k3s3rletek m3g labor3toriumi szinten 3llnak.

A nemzetk3zi kutat3s–fejleszt3si ir3nyokhoz kapcsol3d3an **c3lom egy innovatıv, k3rnyezetbar3t, biol3giai lebont3son alapul3 technol3gia megalapoz3sa 3s kidolgoz3sa** volt, sz3nhidrog3nnel szennyezett talaj kezel3s3re, random metilezett β -ciklodextrin (RAMEB) adal3k alkalmaz3s3val: *CikloDextrinnel intenzifik3lt Talajremedi3ci3 (CDT)*. Doktori munk3m els3dleges c3lkit3z3se a CDT olyan sz3nvonalra fejleszt3se, ami versenyk3pess3 teszi hat3konys3g 3s id3ig3ny szempontj3b3l, a nem biol3giai folyamaton alapul3, vagy nem intenzifik3lt biotechnol3gi3khoz k3pest.

Kutat3s-fejleszt3si munk3m tov3bbi **c3lja** volt a **technol3gia tervez3s3t, k3vet3s3t 3s 3rt3kel3s3t t3mogat3 integr3lt technol3gia-monitoring kidolgoz3sa 3s alkalmaz3sa**.

2. ALKALMAZOTT KUTATÁSI M3DSZEREK

A ciklodextrinnel intenzifikált bioremediációs technológia kidolgozása és alkalmazása újszerű megközelítés, mely komplex tervezési, kivitelezési és értékelési metodikát igényel.

Kutatómunkám szerves részét képezte a MGKT Tanszék Környezeti Mikrobiológia és Biotechnológia kutatócsoport komplex kutatás-fejlesztési munkájának, melynek egyik célja a szennyezett talaj „fekete dobozának” jobb megismerése, a másik pedig, ennek alapján új, ökoszisztéma-barát bioremediációs módszerek fejlesztése. A szerteágazó fejlesztési irányok sorában a technológiát megalapozó laboratóriumi kísérletek tervezése, kivitelezése és értékelése teljes egészében az én területem volt. A kifejlesztett technológia *in situ* alkalmazása kutatócsoportunk közös munkájának eredménye.

A technológia megalapozását, kifejlesztését támogató kísérleti metodikám két fő egységből állt:

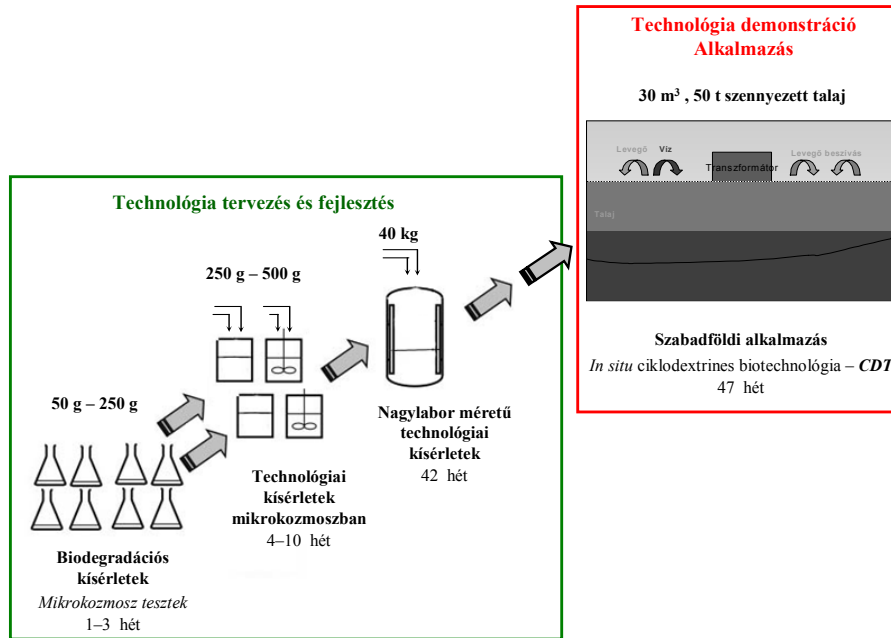
- I. Léptéknövelési koncepció a kísérletek tervezése és kivitelezése során, a remediációs technológia megalapozásához (1. ábra)
- II. Fizikai-kémiai, biológiai és ökotoxikológiai módszereket integráló módszeregyüttes kidolgozása és alkalmazása

2.1. A CDT megalapozása léptéknöveléssel kísérletekkel

Kisléptékű *biodegradációs kísérletekben* vizsgáltam különféle szerves szennyezőanyagok biodegradációját, mesterségesen szennyezett talajokban.

Technológiai mikrokozmosz kísérletekben teszteltem a kifejlesztett talajlégzés mérő rendszer alkalmazhatóságát a biodegradációs folyamatok követésére, a remediáció hatékonyságát befolyásoló paraméterek vizsgálatára. Koros szennyeződésű, kőszénkátrányolajjal szennyezett talaj bioremediációját iszapfázisú biodegradációval, és bioventillációval modelleztem. Tanulmányoztam és értékeltem a RAMEB-kezelés (0–0,7 %) hatását különféle szennyezőanyagok biodegradációjára, eltérő szorpciós képességű talajokban, iszapállagú és háromfázisú talajban.

A CDT megalapozásának utolsó szakaszában *nagylabor kísérletekben*, a RAMEB hatásának vizsgálata mellett a tápanyagpótlás paramétereinek meghatározása volt a célom, transzformátorlajjal szennyezett háromfázisú talajban. Teszteltem, hogy a talaj biológiai állapotát jellemző módszerek, alkalmasak-e a talajban zajló folyamatok követésére és a célállapot jellemzésére.



1. ábra. A léptéknövelési koncepció sematikus ábrája

2.2. Integrált módszeregyüttes a kísérletek követésére és értékelésére

A CDT minden fázisában, a tervezéstől az alkalmazásig, integrált módszeregyüttest alkalmaztam a szennyezett talaj vizsgálatára. A talajremediáció követésére kidolgozott módszeregyütteshez biológiai és ökotoxikológiai eljárásokat fejlesztettem és adaptáltam talajra.

2.2.1. K3miai m3dszerek a szennyez3anyagok vizsg3lat3ra

Talajmint3k ultrahangos old3szeres extrakci3val t3rt3n3 felt3r3sa ut3n az extraktum-tartalmat gravimetri3san m3rtem. A szennyez3anyagok analizis3t Fourier-transzform3ci3s infrav3r3s spektroszk3pi3val v3geztem.

2.2.2. Biol3giai m3dszerek a mikrofl3ra 3s a talajaktivit3s jellemz3s3re

A talaj biol3giai 3llapot3nak jellemz3s3re mind a benne 3l3 mikroorganizmusokat (aerob heterotr3f sejt3k 3s sz3nhidrog3nt szelekt3ven bont3 sejt3k), mind pedig ezen mikroorganizmusok m3k3d3s3t, aktivit3s3t (talajl3gz3s) m3rtem.

2.2.3. Toxikol3giai tesztek a szennyezett talaj hatás3nak m3r3s3re

A direkt kontakt k3rnyezettoxikol3giai m3dszerekkel a szennyezett talaj toxikus hatás3t vizsg3ltam bakteri3lis, n3v3nyi 3s 3llati tesztorganizmusokkal:

- ✚ *Vibrio fischeri* biolumineszcencia g3tl3s
- ✚ *Azotobacter agile* dehidrogen3z enzimaktivit3s g3tl3s
- ✚ *Pseudomonas fluorescens* dehidrogen3z enzimaktivit3s g3tl3s
- ✚ *Sinapis alba* gy3k3r- 3s sz3rn3veked3s g3tl3s
- ✚ *Folsomia candida* mortalit3s.

2.2.4. A k3s3rletek eredm3nyeinek statisztikai 3rt3kel3s3

A toxikus v3gpontok (ED_{20}/LD_{20} , ED_{50}/LD_{50}) meghat3roz3s3t a d3zis–v3lasz 3sszef3gg3s vizsg3lata alapj3n, a *Microcal Software™ ORIGIN® 6.0* programmal v3geztem.

Pearson-f3le korrel3ci3anal3zist haszn3ltam a talajmint3k sz3nhidrog3n–tartalma 3s a biol3giai 3s 3kotoxikol3giai tesztek eredm3nyei k3z3tti 3sszef3gg3s jellemz3s3re, *StatSoft Statistica® 6.1* program seg3s3g3vel.

A RAMEB 3s a talajtulajdons3gok hatás3nak 3rt3kel3s3hez, az eredm3nyek feldolgoz3s3hoz *varianciaanal3zis (ANOVA)* m3dszer3t alkalmaztam, *h3rom faktor (RAMEB, fizikai talajf3les3g, id3)* szerinti oszt3lyoz3ssal, *StatSoft Statistica® 6.1* program haszn3lat3val.

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

Méretnöveléssel kísérletekre alapozott tervezéssel megteremttem egy innovatív és hatékony, komplex **CikloDextrinnel intenzifikált Talajremediációs technológia (CDT)** tudományos hátterét és megalapoztam a technológiát.

A technológiát megalapozó *laboratóriumi mikrokozmosz és nagylabor kísérletekben kimutattam és bizonyítottam a RAMEB biológiai hozzáférhetőséget javító hatását*. A random metilezett β -ciklodextrin (RAMEB) hatására nőtt a szennyezőanyagok biodegradációjának mértéke. Ez megmutatkozott a nagyobb mértékű szennyezőanyag eltávolításban, a megnövekedett mikrobiális aktivitásban, és a csökkent toxicitásban.

PhD dolgozatomban bemutatott munka új eredményei a következő tézispontokban foglalhatók össze:

- 3.1. **Kimutattam**, hogy a **RAMEB hozzáférhetőség javító hatása jelentősebb mértékű a háromfázisú talajban**, ahol a százalékos szénhidrogén-eltávolítás RAMEB kezelés mellett általában 1,5–2,5-szerese volt, mint anélkül. Ezzel szemben iszapfázisú talajokban általában csak a kevésbé szennyezett (10 000 mg/kg) talajminták esetén tapasztaltam jelentősebb mértékű (~20–50 %-os) növekedést a szennyezőanyag degradációban a RAMEB hatására.
- 3.2. Megállapítottam, hogy **a RAMEB-kezelés hatékonyabb a transzformátorolajjal szennyezett talajok esetén, mint a könnyebben degradálható dízelolajjal szennyezett talajokban**. A RAMEB adagolás eredményeképpen, legtöbb esetben ~30–60 %-os növekedést mértem a dízelolaj-eltávolításban, a kezeletlen (kontroll) talajokhoz képest. Ezzel szemben transzformátorolaj szennyezés esetén, CD hatására ~1,5–3,5-szeres volt degradáció mértéke, a kontroll talajhoz viszonyítva. Az eredmények megmutatták, hogy a dízelolaj esetén a biológiai hozzáférhetőség nem, vagy csak kisebb mértékben limitálja a biodegradációt.

- 3.3. Megállapítottam, hogy transzformátorolajjal szennyezett talaj esetén a **0,1 %** koncentrációban alkalmazott **RAMEB** is jelentősen **növeli a bioremediáció hatékonyságát háromfázisú talajban**; 0,1 %-os RAMEB tartalom mellett ~1,5–2,5-szeres volt a szénhidrogén-eltávolítás mértéke, a kezeletlen talajhoz viszonyítva. Így elegendő a nedves talajra vonatkoztatva 0,10–0,15 % ciklodextrint alkalmazni, a költségek csökkentése szempontjából.
- 3.4. A különböző textúrájú talajok (homok-, agyag- és vályogtalaj) eltérő fizikai-kémiai sajátosságai a szennyezőanyagok eltérő biodegradálhatóságában is megmutatkoztak. A leghatékonyabb biodegradációt a 4 hetes időtartamban a humuszos vályogtalajban tapasztaltam. A kedvező fizikai-kémiai tulajdonságú humuszos vályogtalajban nagyobb mértékben szaporodtak a specializálódott szennyezőanyag bontására képes sejtek, intenzívebb volt a szennyezőanyag-bontása, és a ciklodextrines kezelés előnyös hatásai is jól érvényesültek. Az eredmények statisztikai értékelésével (ANOVA varianciaanalízis) **igazoltam**, hogy az **eltávolított szennyezőanyag és az eltávolítás sebessége szignifikánsan függ a RAMEB koncentrációjától**, és hogy az eltávolítás sebessége talajonként különböző. A RAMEB koncentrációjától való függés leírható lineáris összefüggéssel.
- 3.5. **Problémaspecifikus módszeregyüttest dolgoztam ki és alkalmaztam** az egyes kísérletek követésére és értékelésére. A módszeregyüttes fizikai-kémiai, biológiai és ökotoxikológiai vizsgálatokat integrál. A köszénkátrányolajjal szennyezett talaj bioremediációjának integrált értékelése egyértelműen megmutatta, hogy a toxikus anyag hozzáférhetősége alapvetően befolyásolja a kockázatot; felhívta a figyelmet a környezetoxikológiai tesztelés fontosságára a remediáció során is, de különösen a remediáció végén.

Javaslatot tettem sz3nhidrog3nekkel szennyezett talaj toxicit3s3nak vizsg3lat3ra alkalmas **3kotoxikol3giai m3dszercsomagra**. A javasolt kombin3ci3: *Vibrio fischeri* biolumineszcencia g3tl3si, *Sinapis alba* sz3rn3veked3s g3tl3si 3s *Folsomia candida* mortalit3si teszt.

- 3.6. T3lt3tt oszlopreaktoros **talajl3gz3s m3r3sre szolgál3 rendszer kidolgoz3s3val** 3s tesztel3s3vel bizonyıtottam a talajl3gz3sm3r33 rendszer alkalmazhat3s3g3t a talajban zajl3 biodegrad3ci3s folyamatok k3vet3s3re, a technol3giai param3terek hat3s3nak kim3r3s3re 3s jellemz3s3re. A termelt CO₂ alapj3n kim3rtem, hogy a biodegrad3ci3t mik3nt befoly3solja a szennyez33nyag tıpusa, koncentr3ci3ja, a szennyez3d3s kora 3s a leveg3ell3totts3g.
- 3.7. M3dszertani fejleszt3seket v3geztem az 3kotoxikol3giai talajvizsg3latok ter3let3n.

Direkt kontakt n3v3nyi biotesztet fejlesztettem (az MSZ 21976-17 magyar szabv3ny alapj3n) szennyezett talajok toxicit3s3nak vizsg3lat3ra. A gyakorlatban elterjedt talajkivonatok vizsg3lata helyett, a teljes talajt vizsg3lтам, k3zvetlen kapcsolatot l3tesıtve a szennyezett talaj 3s a n3v3nyi tesztorganizmus k3z3tt. A direkt kontakt tesztek a teljes talajt, mint m3atrixot 3s 3l3helyet jellemzik, 3s a természeteshez hasonl3 k3lc3s3nhat3st biztosıtanak a talaj 3s a tesztorganizmus k3z3tt.

N3v3nyi tesztorganizmusok, els3sorban a *Sinapis alba* eset3n, **kimutattam**, hogy szerves szennyez33nyagokkal szennyezett talajok toxicit3s3nak jellemz3s3re a **sz3rn3veked3s-g3tl3s vizsg3lata 3rz3kenyebb**, 3s megbiz3hat3bb eredm3nyt ad, mint a magyar szabv3nyban vizsg3lati v3gpontk3nt szerepl3 gy3k3rn3veked3s-g3tl3s.

4. ALKALMAZÁSOK

4.1. A **ciklodextrinnel intenzifikált technológia (CDT) szabadföldi demonstrációjára és verifikálására** a népligeti transzformátorállomás transzformátorolajjal szennyezett (25 000 mg/kg) területén került sor. Az *in situ* komplex bioremediáció során a RAMEB kedvez3 hatását többféleképpen kamatoztattuk: kihasználtuk biológiai hozzáférhet3ség-javító hatását a háromfázisú talajban, szolubilizáló képességét pedig a talajmosás hatékonyságának növelésére.

A **CDT** integrált módszeregyüttessel kapott eredményei és a komplex technológiaértékelés (anyagmérleg, környezeti kockázat, költség-hatékonyság felmérés, SWOT analízis) igazolták a technológiaválasztás helyességét. A kísérlet végére mind a talaj, mind a talajvíz szennyezőanyag-tartalma lecsökkent, a határérték alá; 47 hét elteltével a szennyezett talaj gázkromatográfiával meghatározott transzformátorolaj tartalma 210–260 mg/kg volt. A **CDT**-vel kevesebb, mint **egy év alatt sikerült** az erősen szennyezett területen **a talaj szennyezőanyag-tartalmát határérték alá** csökkenteni. A kezelés végén a vizsgált talajok egyike sem mutatott már toxikus hatást szemben a szabadföldi kísérlet indítása előtt mért nagy toxicitásokkal.

A **CDT** tehát alkalmas nehezen degradálható, és kevésbé hozzáférhető szennyezőanyagokkal szennyezett talajok kockázatának csökkentésére. Az időcsökkenés az egyik legjelent3sebb haszon a remediációs technológiák értékelésénél, hiszen ezzel arányos a források felhasználása, a környezet terhelése, és nagy jelent3ségű lehet a j3v3beni területhasználatból adódó haszon.

4.2. A **CDT bekerült az EURODEMO adatbázisába**. Az **EURODEMO**, az új és hatékony talaj és talajvíz remediációs technológiák eur3pai platformja 2005-ben indult, 22 eur3pai résztvev3vel. F3 célja az innovatív és ígértes remediációs technológiák adatbázisba gyűjtése és terjesztése a piacra lépés megkönnyítése és a bizalom növelése érdekében.

5. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN

Lektorált folyóiratcikkek idegen nyelvű folyóiratban

- Gruiz, K., Fenyvesi, É., Kriston, É., **Molnár, M.** and Horváth, B. (1996) Potential use of cyclodextrins in soil bioremediation, *Journal of Inclusion Phenomena and Molecular Recognition in Chemistry*, **25**, p. 233-236
- Fenyvesi, E., Csabai, K., **Molnár, M.**, Gruiz, K., Murányi, A. and Szejtli, J. (2003) Quantitative and Qualitative Analysis of RAMEB in Soil, *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, **44**, p. 413–416
- Molnár, M.**, Fenyvesi, É., Gruiz, K., Leitgib, L., Balogh, G., Murányi, A. and Szejtli, J. (2003) Effects of RAMEB on Bioremediation of Different Soils Contaminated with Hydrocarbons, *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, **44**, p. 447–452
- Molnár, M.**, Leitgib, L., Gruiz, K., Fenyvesi, É., Szaniszló, N., Szejtli, J. and Fava, F. (2005) Enhanced biodegradation of transformer oil in soils with cyclodextrin –from the laboratory to the field, *Biodegradation*, **16** p. 159–168
- Molnár, M.**, Gruiz, K. and Halász, M. (2006) Integrated methodology including toxicity test-battery to evaluate the bioremediation potential of creosote-contaminated soils in lab-scale experiments, *Periodica Polytechnica*, közlésre elfogadva

Könyv

- Gruiz K., Horváth B. és **Molnár M.** (2001) Környezettoxicológia, Vegyi anyagok hatása az ökoszisztémára, Műegyetemi Kiadó, Budapest

Szerkesztett könyvben cikk

- Gruiz, K., Fenyvesi, É., Kriston, É.; **Molnár, M.** and Horváth, B. (1996) Potential use of cyclodextrins in soil bioremediation, In: Proceedings of the Eight International Symposium on Cyclodextrins (Eds.: J. Szejtli and L. Sente) Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 609–612
- Molnár, M.**, Fenyvesi, É., Gruiz, K. and Szejtli, J. (1998) Application of β -cyclodextrin for bioremediation of contaminated soil, In: Proceedings of the Ninth International Symposium on Cyclodextrins (Eds.: J. Torres-Labandeira and J.L. Vila-Jato) Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 600–602
- Molnár, M.**, Gruiz, K., Fenyvesi, É. and Szőnyi, M. (1998) Potential use of β -cyclodextrin for bioremediation of contaminated soil, In: Contaminated Soil'98 (Preprints of the International Conference on Contaminated Soil, Edinburgh, May 17-21, 1998) Thomas Telford Publishing, London, pp. 1207–1208

- Molnár, M.**, Leitgib, L., Gruiz, K., Fenyvesi, É., Szaniszló, N., Szejtli, J. and Fava, F. (2003) Cyclodextrin-enhanced bioremediation of transformer oil contaminated soil evaluated from the laboratory to the field, In: Proceedings of Ecomondo – International Trade Fair on Material & Energy Recovery and Sustainable Development (Rimini, Italy, 22-25 October, 2003) pp. 162–171
- Molnár, M.**, Gruiz, K., Fenyvesi, É., Leitgib, L., Halász, M. and Szejtli, J. (2003) Integrated Methodology in the Monitoring of Soil Bioremediation, In: ConSoil 2003, Proceedings, CD of the 8th International FZK/TNO Conference on Contaminated Soil; Forschungszentrum Karlsruhe, *Wissenschaftliche Berichte*, FZKA 6943. (Eds.: G.J. Annokkée, F. Arendt and O. Uhlmann) Forschungszentrum Karlsruhe GmbH Publisher, Karlsruhe, pp.1445–1454
- Fenyvesi, É., **Molnár, M.**, Gruiz, K., Murányi, A., Szaniszló, N., Csabai, K. and Szejtli, J. (2003) Effect of Randomly Methylated Cyclodextrins on Hydrocarbon Contaminants in Soil, In: ConSoil 2003, Proceedings, CD of the 8th International FZK/TNO Conference on Contaminated Soil; Forschungszentrum Karlsruhe, *Wissenschaftliche Berichte*, FZKA 6943. (Eds.: G.J. Annokkée, F. Arendt and O. Uhlmann) Forschungszentrum Karlsruhe GmbH Publisher, Karlsruhe, pp. 2296–2304
- Leitgib, L., Gruiz, K., **Molnár, M.** and Fenyvesi, É. (2003) Bioremediation of Transformer Oil Contaminated Soil – In: ConSoil 2003, Proceedings, CD of the 8th International FZK/TNO Conference on Contaminated Soil; Forschungszentrum Karlsruhe, *Wissenschaftliche Berichte*, FZKA 6943. (Eds.: G.J. Annokkée, F. Arendt and O. Uhlmann) Forschungszentrum Karlsruhe GmbH Publisher, Karlsruhe, pp. 2762–2771

Magyar nyelvű konferencia kiadványban előadások

- Molnár, M.**, Gruiz, K., Halász, M., Fenyvesi, É. és Szejtli, J. (2002) Módszeregyüttes kialakítása és alkalmazása szénhidrogénnel szennyezett talajok bioremediációjának követésére – XVI. Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás (Siófok, 2002. szeptember 10–12) pp. 283–292
- Fenyvesi, É., **Molnár, M.**, Szécsényi-Nagy, Z., Gruiz K., Csabai, K., Szaniszló, N., Murányi, A. és Szejtli J. (2002) Ciklodextrinek alkalmazása talajtisztítási technológiákban – XVI. Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás (Siófok, 2002. szeptember 10–12) pp. 293–302
- Leitgib, L., **Molnár, M.**, Fenyvesi, É., Murányi, A. és Gruiz K. (2002) Random metilezett β - ciklodextrin hatása szénhidrogénnel szennyezett különböző típusú talajok bioremediációja során – XVI. Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás (Siófok, 2002. szeptember 10–12) pp. 303–312

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBE KÖZVETLENÜL NEM ILLESZKEDŐ PUBLIKÁCIÓK

Lektorált folyóiratcikkek külföldi idegen nyelvű folyóiratban

Gruiz, K., Murányi, A., **Molnár, M.** and Horváth, B. (1998) Risk Assessment of Heavy Metal Contamination in the Danube Sediments from Hungary, *Water Science and Technology*, **37** (6–7) p. 273–281

Szerkesztett könyvben cikk

Gruiz, K., **Molnár, M.**, Szakács, T. and Bagó, T. (1998) New biological and ecotoxicological methods to support risk assessment and soil remediation, In: Contaminated Soil'98 (Preprints of the International Conference on Contaminated Soil, Edinburgh, May 17-21, 1998) Thomas Telford Publishing, London, pp. 1051–1052

Horváth, B., Gruiz, K., **Molnár, M.** and Kovács, Sz. (2000) Assessment of long term ecological risk of toxic metals by examining the alteration of their bioavailability, In: Contaminated Soil' 2000, Thomas Telford Publishing, London, pp. 896–901

Gruiz, K., Horváth B., **Molnár, M.** and Sipter, E. (2000) When the chemical bomb explodes – Chronic risk of toxic metals at a former mining site, In: Contaminated Soil' 2000, Thomas Telford Publishing, London, pp. 662–670

Szécsényi-Nagy, Z., Gruiz, K., **Molnár, M.** and Balogh, G. (2003) Adaptation of the Microflora to Soil Contaminants, In: ConSoil 2003, Proceedings, CD of the 8th International FZK/TNO Conference on Contaminated Soil; Forschungszentrum Karlsruhe, *Wissenschaftliche Berichte*, FZKA 6943. (Eds.: G.J. Annokée, F. Arendt and O. Uhlmann) Forschungszentrum Karlsruhe GmbH Publisher, Karlsruhe, pp. 2772–2780