



**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
VEGYÉSZMÉRNÖKI ÉS BIOMÉRNÖKI KAR
OLÁH GYÖRGY DOKTORI ISKOLA**

**Toxikus fémekkel szennyezett
talaj és bányászati meddőanyag remediációja
kémiaival kombinált fitostabilizációval**

Tézisfüzet

Szerző: **Feigl Viktória**

Témavezető: **Dr. Gruiz Katalin**

**Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi
Tanszék**

Budapest, 2011

1 Bevezetés és irodalmi áttekintés

Kutatás-fejlesztési munkám fémbányászati hulladékokkal szennyezett területek kockázat-menedzsmentjéhez kapcsolódik. A téma aktualitását nem csak a bányászati tevékenység felhagyása adja Magyarországon és szerte Európában, hanem az az európai kezdeményezés, hogy minden bányászat eredményeképpen szennyeződött területen egységes menedzsment stratégia mentén történjék meg a vizek és talajok felmérése és remediálása, a bányaterületek komplex rehabilitációja¹.

Szennyezett területek kockázatának csökkentése során a toxikus fémek terjedését és felvételét minden útvonalon csökkenteni kell, melyhez hatékony, környezetközpontú, fenntartható szemléleten alapuló és olcsó remediációs technológiákra van szükség. Diffúz szennyezettség kezelésére egyre jobban előtérbe kerülő remediációs technológia a fitoremediáció, azaz a növényekkel történő kockázatsökkentés². Ugyanakkor a növények egészséges növekedésének, a talajnedvesség és talajvíz elfogadható minőségének feltétele, hogy talajban lévő toxikus fémek ne legyenek vízdoldhatóak és ne legyenek a növények által felvehetőek, vagyis környezeti kockázatuk kicsi legyen. Emiatt kombináltam a fitostabilizációt a talajban lévő fémek kémiai stabilizációjával.

A kémiaival kombinált fitostabilizációnál nem a fémek eltávolítása, hanem a talajban tartásuk a cél. A kémiai stabilizálószer csökkenti a fémek mozgékonyságát, ezzel segíti a növénynövekedést és a növénytakaró kialakulását. A növénytakaró csökkenti a talajba jutó vízmennyiséget, ezzel pedig a fémek vízzel történő transzportját, a porzást, illetve az eróziót. A fémek bekerülését a táplálékláncba a kémiai stabilizáláshoz képest tovább csökkenthetjük úgy, hogy olyan növényeket alkalmazunk, amelyek nem szállítanak át fémeket a gyökérükből a föld feletti részekbe. A kémiaival kombinált fitostabilizáció csökkenti a fémek mozgékonyságát, azáltal a fémmel szennyezett területet használó receptorok, az ökoszisztéma és az ember kitettséget: a por belélegzéséből, a víz fogyasztásából, a bőrkontaktusból és a szennyezett növények és állatok elfogyasztásából adódó humán és ökológiai kockázatokat^{3,4,5}.

¹ http://viso.ei.jrc.it/pecomines_ext/index.html

² Salt, D.E., Smith, R.D., Raskin, I. (1998) Phytoremediation, Annual review of plant physiology and plant molecular biology, 49, 643–668

³ MOKKA/KÖRINFO lexikon: www.korinfo.hu

⁴ Simon L. (2004) Fitoremediáció, BME OMIKK, Budapest, Környezetvédelmi füzetek

⁵ Berti, W.R., Cunningham, S.D. (2000) Phytostabilization of metals, In: Raskin, I., Ensley, B.D. (szerk.) Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean-up the environment, John Wiley and Sons, New York, 71–88

A megfelelő stabilizálószer–növény kombinációt mindig az adott terület sajátosságaihoz, a szennyezettséget okozó fém(ek) minőségéhez, a szennyezett talaj tulajdonságaihoz, a klimatikus viszonyokhoz és egyéb helyszínspecifikus adottságokhoz kell kiválasztani, melyhez egy új technológia fejlesztése során technológiai előkísérletekre és többlépcsős technológiafejlesztésre van szükség. Kémiai stabilizálószerként a lúgos anyagok (mész és pernyék), agyagásványok, vas és vastartalmú vegyületek, foszfátok és szerves anyagok alkalmazhatóak⁶⁷. Fitostabilizációra általában fűféléket alkalmaznak, mivel gyökérzetük sűrű, gyorsan beborítják a szennyezett területet és elősegítik más növényfajok betelepülését⁸. Ezen kívül ipari és takarmánynövények, valamint cserjék és fák is alkalmazhatóak⁹.

Magyarországon, Gyöngyösorszi környékén 150 éve kezdődött, és az 50-es évektől közel negyven éven keresztül folyt intenzív cink és ólom bányászat, majd a bányászatot 1986-ban a bánya szakszerű bezárása nélkül abbahagyták savasán málló, fémtartalmú bányászati hulladékok hátrahagyásával. Az azóta eltelt idő alatt a Toka-patak vízgyűjtőterülete nagymértékben elszennyeződött toxikus fémekkel, főként kadmiummal, cinkkel, ólommal és arzénnel, elsősorban a diffúzan szennyezett területekről lefolyó vizek és a szennyezett szilárd anyag eróziója révén¹⁰¹¹. A terület kockázatfelmérése és a Toka-patak vízgyűjtőjére kidolgozott, a kockázati modellen alapuló menedzsment-stratégia alapján a pontforrások eltávolítása után a diffúz szennyezettséget kémiaival kombinált fitostabilizációval tervezik kezelni.

⁶ Adriano, D. C., Wenzel, W. W., Vangronsveld, J., Bolan, N.S. (2004) Role of assisted natural remediation in environmental cleanup, *Geoderma*, 122, 121–142

⁷ Kumpiene, J., Lagerkvist, A., Maurice, C. (2008) Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments – A review, *Waste Management*, 28, 215–225

⁸ Berti, W.R., Cunningham, S.D. (2000) Phytostabilization of metals, In: Raskin, I., Ensley, B.D. (szerk.) *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean-up the environment*, John Wiley and Sons, New York, 71–88

⁹ Pulford, L.D., Watson, C. (2003) Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees – a review, *Environmental International* 29, 529–540,

¹⁰ Gruiz, K., Vaszita, E., Siki, Z. (2006) Quantitative Risk Assessment as part of the GIS based Environmental Risk Management of diffuse pollution of mining origin. In: Conference proceedings of Difpolmine Conference, 2006. december 12–14, Montpellier, Franciaország

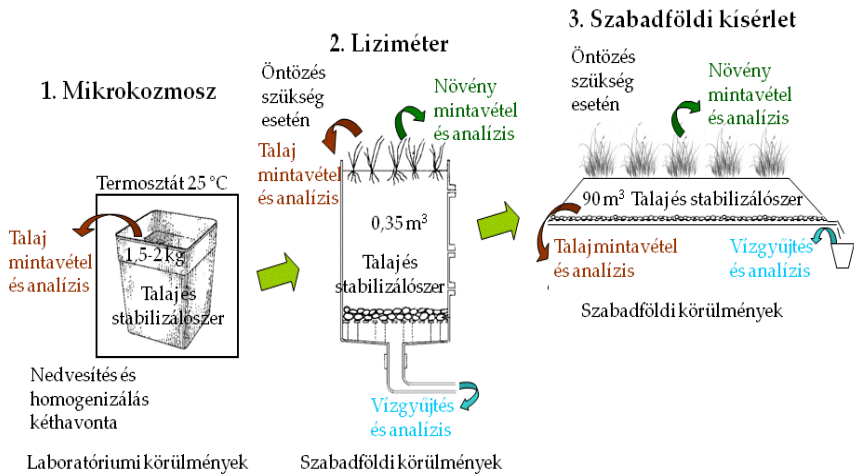
¹¹ Gruiz, K.; Vaszita, E.; Zaletnyik, P., Siki, Z. (2008) GIS-based catchment scale modelling of toxic metal transport by erosion in an abandoned mining area – In: Proceedings of the 10th International UFZ-Deltares/TNO Conference on Soil-Water Systems in cooperation with Provincia di Milano, ConSoil 2008 CD, 2008. június 3–6, Miláno, Olaszország, Theme F, 301–310

2 Célkitűzések

1. Fő célom a gyöngyösoroszi cink- és ólombánya fémekkel diffúzan szennyezett területén a bányászati hulladékokra, valamint az ezek terjedése révén elszennyeződött mezőgazdasági területekre a kockázat alapú menedzsment részeként remediációs technológia kidolgozása.
2. A technológia kidolgozásához alapul szolgál a Magyarországon fellelhető kémiai stabilizálószeres hatékonyságának vizsgálata és összehasonlítása kadmiummal, cinkkel, ólommal és egyes esetekben arzénnel szennyezett talajok és bányászati hulladékok stabilizálására, kiemelten vizsgálva hulladéknak tekintett anyagok, mint például az eróművi pernyék, víztisztítási hulladékok és a vörösiszap kémiai stabilizálószerként történő újrahasznosítását.
3. A kémiaival kombinált fitostabilizációs technológia fejlesztése során
 - a. a többlépcsős technológia-fejlesztés célszerű alkalmazási módjának kidolgozása,
 - b. a kísérletek nyomon követéséhez integrált technológia-monitoring és környezetmonitoring kidolgozása,
 - c. az innovatív technológia demonstrációja, vagyis első alkalmazása,
 - d. a technológia verifikációja, azaz technológiai, környezeti és gazdasági hatékonyságának bizonyítása.
4. Új, interaktív, a tesztorganizmus és a tesztelendő talaj érintkezését biztosító ökotoxikológiai teszt módszerek fejlesztése a szennyezett talajok hatásának méréséhez.

3 Anyagok és módszerek

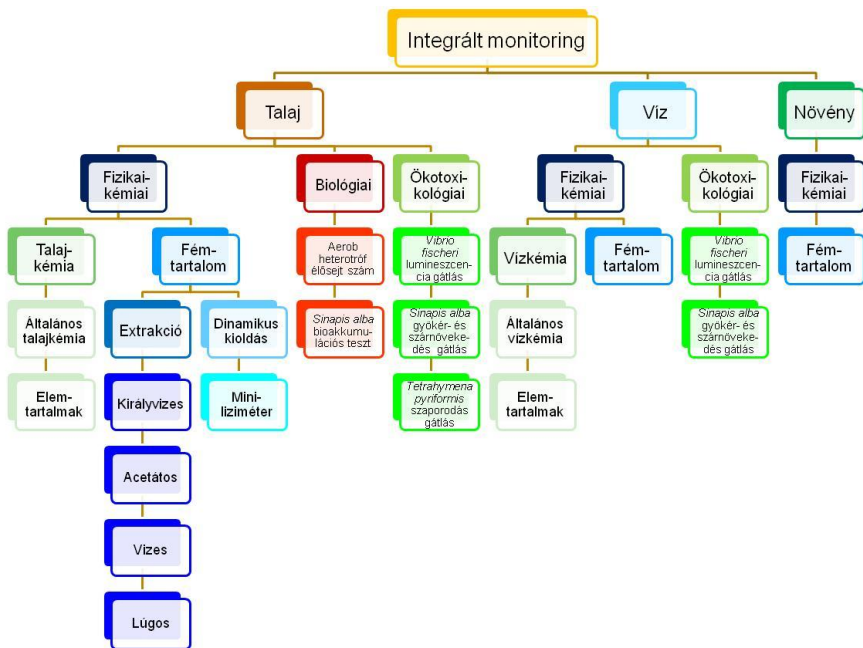
A gyöngyösoroszi bányaterületen három kísérleti területet választottam: a Gyöngyösoroszi falu alatt a bányászati területről a Toka-patak fémekkel szennyezett hordalékával rendszeresen elárasztott és elszennyezett mezőgazdasági területet, az Altáró, a bánya fő bejáratánál kialakított meddőhányót és egy, a Mátra erdős részén található erősen mállott és kilúgzódott, szulfidos kőzetet tartalmazó meddőhányót. A kémiai stabilizálószer kiválasztásához többlépcsős kísérleteket folytattam laboratóriumi mikrokozmoszokban, szabadföldi liziméterekben és kisparcellás szabadföldi kísérletekben (1. ábra).



1. ábra: Többlépcsős technológiai kísérletek

Stabilizálószerként többféle erőművi pernyét, meszet, elemi vasat, alginitet, nyersfoszfátot, lignitet, ivóvíztisztítási csapadékokat és vörösiszapot alkalmaztam a hosszútávú, akár 3 évet is átölelő mikrokozmosz kísérletekben. Szabadföldi kísérleteimben már egy leszűkített kört, az, erőművi pernyéket, a pernye és a mész keverékét, valamint a pernye, a mész és a vasreszelék kombinációját alkalmaztam kémiai stabilizálás céljából. Növényként fűkeveréket, *Sorghum* fajokat (szudáni fű és seprőcirok) és kukoricát alkalmaztam.

A kísérletek monitoringjához integrált módszeregyüttest dolgoztam ki, mely a fizikai, kémiai, biológiai és ökotoxikológiai módszerek együttes alkalmazását és értékelését jelenti (2. ábra). A környezeti kockázat, elsősorban a fémek mozgékonyságának, kioldhatóságának jellemzésére vizes, híg savas, erősen savas és lúgos kioldásokat alkalmaztam párhuzamosan. A kezelt talajok hatásának közvetlen mérésére interaktív ökotoxikológiai tesztekkel használtam, melyek közül kettőt magam fejlesztette ki (mikrokolorimetriás toxicitás mérés talajban és gyors növényi bioakkumulációs teszt).



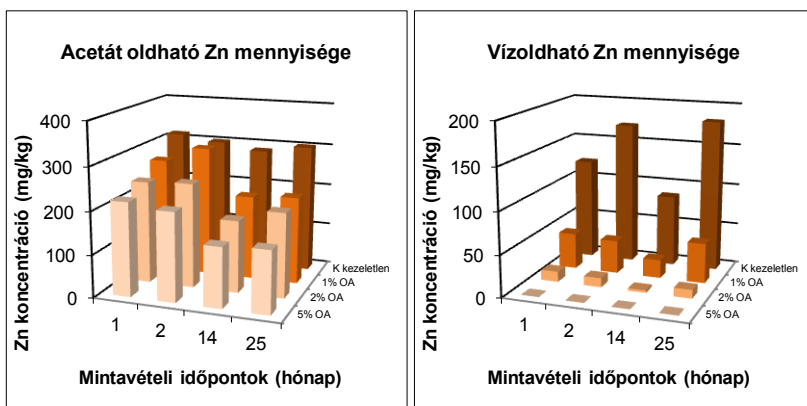
2. ábra: Integrált technológia monitoring

4 Eredmények bemutatása

A stabilizációs kísérletekben igazoltam, hogy a lúgos pernye (pH=12,6) képes a gyöngyösoroszi talajokban az ammónium-acetáttal kiextrahálható Cd és Zn mennyiségét 45%-kal és 49%-kal, a desztillált vízzel kioldható Cd és Zn mennyiségét >99%-kal csökkenteni a kezeletlen talajhoz képest. Minél több pernyét adtunk a talajhoz (1, 2 és 5 tömeg%), annál jobb volt a stabilizáló hatás. A pernye hatása már 21 nappal a kezelés után észlelhető, és az egyszeri kezelés 2 év múltán is megőrzi stabilizáló hatását (3. ábra). A pernyék a vizsgált maximum 2–3 évnél hosszabban is megőrzik stabilizáló hatásukat, mivel a fémek bediffundálnak az ásványi felületekbe és a kristálynövekedés során irreverzibilisen beépülnek a fém-szilikátokba¹². A pernye a talaj toxicitását is csökkentette (bakteriális toxicitás 40–50%-kal, növényi toxicitás 30–50%-kal csökkent) és 71%-kal mérsékelte a növények

¹² Vangronsveld, J., Ruttens, A., Clijsters, H. (1999) The use of cyclonic ashes of fluidized bed burning of coal mine refuse for long-term immobilization of metals in soils. In: Sajwan, K.S., Alva, A.K., Keefer, R.F. (szerk.) Biogeochemistry of Trace Elements in Coal and Coal Combustion Byproducts, Plenum, New York, 223–233

által felvehető Cd és Zn mennyiségét. A semleges kémhatású pernye mésszel együtt alkalmazva hasonló eredményt mutatott.



3. ábra: Szennyezett mezőgazdasági talaj ammónium-acetáttal és vízzel kiextrahálható Zn-tartalma 1, 2, 5 tömeg% pernyés kezelés hatására 1, 2, 14 és 25 hónappal a kezelés után

A pernyék hatékonysága eltért a keletkezés helye (Oroszlány, Tata, Visonta) és ideje szerint. A Cd és a Zn extrahálható és növény által felvehető mennyiségének csökkentésére az oroszlányi „OA” pernye magában, valamint a tatai „TB” és visontai „V” pernyék mésszel kombinálva bizonyultak a leghatékonyabb stabilizálószernek. Megállapítottam, hogy a semleges kémhatású pernyéket érdemes mésszel együtt alkalmazni savanyú vagy savanyodásra hajlamos talajoknál és bányászati hulladékoknál.

Elemi vasat alkalmaztam arzént is tartalmazó bányászati hulladékok esetén, elsősorban a Cd és a Zn immobilizálására fókuszáló lúgos kezelések (pernye és mész) hatására megnövekedett As mobilitás csökkentésére. Az elemi vas alkalmazásának eredményeképpen az acetáttal kioldható As mennyisége 80%-kal, a vízzel kiextrahálható 50%-kal, a miniliziméteres kísérletben nyert csurgalék As-tartalma 68%-kal csökkent a vas nélküli pernye+mészes kezeléshez képest. Megállapítottam, hogy a vasreszeléket 20 cm-nél mélyebben, körülbelül 40 cm-es mélységig szükséges bekeverni a talajba ahhoz, hogy hosszútávon biztosítsa az átfolyó vizek kis arzén tartalmát.

A hagyományosan alkalmazott talajjavító szerek, primer nyersanyagok, mint az alginit, a nyersfoszfát és a mész is csökkentették a fémekkel szennyezett talajok extrahálható (84–97%-os csökkenés a vízzel kioldható fémtartalomban) és növény által felvehető (61–71%-os csökkenés) fémtartalmát és mérsékeltek toxicitást (serkentő hatás *S. alba* tesztnövények

esetén), de a hulladéknak tekintett pernyékhez képest kisebb hatásfokkal. A mész hatása hosszú távon lecseng¹³, így magában nem, de olyan pernyék mellé, melyek nem lúgosak és a fémek ásványszerkezetbe épülése csak hosszú távon jelentkezik, ideális adalék. Az alginit előnye, hogy immobilizáló képessége mellett a növények számára gazdag tápanyagforrás, a nyersfoszfát lassan feltáródó foszforforrást is jelent. A lignit a gyöngyösoroszi talajban lévő fémeket mobilizálta, alkalmazása erre az esetre nem javasolt.

A pernye, az ivóvíztisztítási csapadék és a vörösiszap olyan hulladékok, melyek „lerakással történő ártalmatlanítása” a költségeken kívül ma már jól ismert környezeti károkkal jár. A lerakva káros és veszélyes hulladékok kémiai stabilizációra való alkalmazása kimondottan hasznos, hiszen adalékanyagként képesek a talajok és meddőanyagok extrahálható és növény által felvehető fémtartalmának és toxicitásának csökkentésére. Ezek a hulladékok hosszú távú eredményt biztosító, olcsó adalékanyagoknak tekinthetők, melyek a talajban káros következmények nélkül alkalmazhatóak a szükséges mennyiségben. A hulladékok közül kémiai stabilizálószerként a leghatékonyabbnak a pernye bizonyult, a legjobb esetben az ivóvíztisztítási csapadékokkal 60–69%-os, a vörösiszappal 85%-os csökkenést értem el a vízzel kioldható fémtartalomban. A növényi fémfelvételt a csapadékok maximum 18–20%-kal, a vörösiszap 19–29%-kal csökkentette, a talajok toxicitását nem befolyásolták.

Szabadföldi demonstráció során toxikus fémekkel szennyezett mezőgazdasági talaj kezelésére tatai pernyét *Sorghum* fajokkal kombináltam sikeresen. A tatai pernye 5 tömeg%-ban alkalmazva csökkentette a fémekkel szennyezett talajok extrahálható fémtartalmát (ammónium-acetáttal kiextrahálható Cd, Zn és Pb mennyisége 75–78%-kal, desztillált vízzel kioldható Cd és Zn mennyisége 94%-kal csökkent) és a növények által felvett Cd és Zn 70–90%-kal csökkent. A seprőcirkot és szudáni füvet kis fémakkumulációja, valamint ipari és energetikai hasznosíthatósága miatt javasolom a Toka-patak öntésterületén található mezőgazdasági területek kémiaival kombinált fitostabilizációjára.

Az erősen mállott és savas, évek óta terméketlen bányászati meddőanyag remediációjára tatai pernye, visontai pernye, mész és elemi vas keverékét fűkeverékkel és *Sorghum* fajokkal kombinálva alkalmaztam sikeresen. A tatai pernye, visontai pernye, mész és vasreszelék 2,5; 2,5; 2,0 és 0,7 tömeg%-os keveréke bizonyult a leghatékonyabbnak a bányabérci meddőanyagra. Növényként az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet által fitostabilizációs célokra kifejlesztett fűkeveréket és a mezőgazdasági

¹³ Ruttens, A., Adriaensen, K., Meers, E., De Vocht, A., Gebelen, W., Carleer, R., Mench, M., Vangronsveld, J. (2010) Long-term sustainability of metal immobilization by soil amendments: Cyclonic ashes versus lime addition, *Environmental Pollution*, 158, 1428–1434

területen már jól vizsgázott *Sorghum* fajokat alkalmaztam. A meddőanyagból kialakított parcellákon átfolyó víz Cd, Zn és Pb tartalmát sikerült a határértékek alá szorítani (mind a Toka-patakra javasolt helyszínspecifikus célérték¹⁴, mind a rendeletben meghatározott felszín alatti vízre vonatkozó határérték alá¹⁵). A kémiaival kombinált fitostabilizáció szabadföldi alkalmazása során a bányabérci savanyú meddőanyag és csurgalékvizének ~3-as pH-ja semleges lett, a meddőanyag toxicitása megszűnt, a talajélet normalizálódott, mikroelem tartalma nőtt, textúrája és víztartóképesége javult, egészséges, zárt növénytakaró telepedett meg rajta, mely a takarmányokra vonatkozó fém határértéket¹⁶ is teljesítette (4. ábra).



4. ábra: Balról fentről sorrendben: 1. A kezeletlen bányabérci meddőanyag, melyen a nagy mobilis fémtartalom és erős toxicitás miatt a növények nem tudtak megtelepedni; 2. Összefüggő, dús fűtakaró a pernyével és mésszel kezelt parcellán; 3. Egészséges szudáni fű a pernyével és mésszel kezelt parcellán, 4. A kezelt parcellák látképe a Bányaudvaron

¹⁴ Gruiz, K., Vaszita, E., Siki, Z. (2006) Quantitative Risk Assessment as part of the GIS based Environmental Risk Management of diffuse pollution of mining origin. In: Conference proceedings of Difpolmine Conference, 2006. december 12–14, Montpellier, Franciaország

¹⁵ 6/2009. (IV.14) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről

¹⁶ 44/2003. (IV.26.) FVM rendelet a Magyar Takarmánykódex kötelező előírásairól

A technológia demonstrációval igazoltam a kémiaival kombinált fitostabilizáció hatékonyságát. A fémek mozgékonyaságától függő kockázatának jellemzéséhez integrált módszeregyüttest dolgoztam ki, mely a fizikai-kémiai analitikai módszerek és a biológiai-ökotoxikológiai tesztek együttes alkalmazását és értékelését jelenti. A módszeregyütteshez gyors bioakkumulációs tesztet dolgoztam ki fehér mustárral (*Sinapis alba*) a növény által felvehető fémmennyiség becslésére, melyet a szabadföldön termesztett növények által felvett fémmennyiséggel validáltam. Új, érzékeny végpontnak találtam a tesztorganizmusok hőtermelésének mérését és kidolgoztam egy mikrokalorimetriára alapozó talajtesztelési eljárást. Mikrokalorimetriával egészen kicsi hőváltozásokat (± 50 nW, azaz $0,5 \cdot 10^{-6}$ °C Thermal Activity Monitor készülékkel) is tudunk detektálni. A kifejlesztett teszttel végzett mérésekkel bizonyítottam, hogy a hőtermelés mérésével például a *Sinapis alba* tesztorganizmussal már 50 mg/kg Zn hatása mérhető a talajban, mely a hagyományos, gyökér- és szárnövekedés gátlási tesztben több mint 500 mg/kg Zn koncentrációnál tapasztalható.

Bizonyítottam, hogy a kémiaival kombinált fitostabilizáció, mint innovatív remediációs technológia alkalmas a gyöngyösorosi bánya diffúzan szennyezett területén a toxikus fémszennyezettség olyan szintre csökkentésére, mely már nem jelent kockázatot az ökoszisztémára, a vizekre és az emberre. A többlépcsős technológiafejlesztés idő- és költséghatékonyan bizonyult az innovatív technológia kifejlesztéséhez, lehetővé téve, hogy három-öt év alatt eljussak a az új technológia szabadföldi demonstrálásáig. A technológia jószának bizonyítására olyan több szempontú verifikációs eszköztárat alkalmaztam¹⁷, mely együtt értékeli a technológiai, az ökológiai és a társadalmi-gazdasági hatékonyságot.

5 Tézisek

Kémiai stabilizálószeres hatékonyságának és alkalmazhatóságának értékelése:

1. Igazoltam, hogy a **lúgos pH-jú pernye önmagában és a semleges pH-jú pernye mésszel együtt alkalmazva képes a mobilis kadmium-, cink- és ólomhányad hosszú távú csökkentésére** szennyezett talajokban és bányászati hulladékokban (**5, 9, 10, 16**).

¹⁷ Gruiz, K., Molnár, M., Fenyvesi, É. (2008) Evaluation and Verification of Soil Remediation. In: Kurladze, G.V. (szerk.) Environmental Microbiology Research Trends, Nova Science Publishers Inc., New York, 1–57

2. Megállapítottam, hogy az **eltérő eredetű magyarországi erőművi pernyék eltérő hatékonysággal** képesek a **kadmiumot és a cinket stabilizálni/immobilizálni** a talajokban és bányászati hulladékokban (5, 15).
3. Igazoltam, hogy az **elemi vas** (acéltöret formájában) **képes** a lúgos adalékanyagok (pernye, mész) alkalmazásának következtében megnövekedett **arzénmobilitás csökkentésére** az arzéntartalmú bányászati hulladékokban (2, 13).
4. Megállapítottam, hogy az **alginit** és a **nyerszfát alkalmas** toxikus fémekkel szennyezett talajok kémiai stabilizálására, míg a **lignit nem** javasolható a gyöngyösoroszi talajok kezelésére (5, 9, 16).
5. Megállapítottam, hogy olyan hulladékok, mint az **ivóvíztisztítási csapadék** és a **vörösiszap**, – melynek „lerakással történő ártalmatlanítása” a költségeken kívül ma már jól ismert veszélyekkel jár – **alkalmas** toxikus fémekkel szennyezett talajok és bányászati hulladékok kémiai stabilizálására (1, 5).

Kémiaival kombinált fitostabilizációs technológia hatékonyságának és alkalmazhatóságának igazolása:

6. Szabadföldi technológiai kísérletben bizonyítottam, hogy a **tatai pernye Sorghum fajokkal** együtt alkalmazva alkalmas a gyöngyösoroszi **toxikus fémekkel diffúzan szennyezett mezőgazdasági területek** kémiaival kombinált fitostabilizációjára (4, 15).
7. Szabadföldi technológiai kísérletben bizonyítottam, hogy a **tatai pernye, a visontai pernye, a mész és az elemi vas keveréke fűkeverékkel vagy Sorghum fajokkal** együtt alkalmazva alkalmas az **erősen mállott szulfidos bányászati hulladék** kémiaival kombinált fitostabilizációjára (2, 6, 7, 13, 14).

Módszerfejlesztések – koncepciók és metodikák:

8. Igazoltam a **léptéknövelési koncepció** alkalmazhatóságát a kémiaival kombinált fitostabilizációs technológia kifejlesztése során (11, 15).
9. **Integrált monitoring módszeregyüttest** dolgoztam ki a kémiaival kombinált fitostabilizációs kísérletek és a technológia-alkalmazás nyomon követéséhez és verifikálásához (2, 8).
10. Biológiai és ökotoxikológiai módszereket fejlesztettem: **direkt kontaktuson alapuló talajtesztet mikrokalorimetria** alkalmazásával és **gyors bioakkumulációs tesztet Sinapis albával** (3, 9, 13).

6 Alkalmazási lehetőségek

A kémiaival kombinált fitostabilizáció egy kockázatközpontú, a fenntarthatóságot szem előtt tartó technológia. Technológia-demonstráció során igazoltam, hogy alkalmas toxikus fémekkel szennyezett talajok és bányászati hulladékok remediációjára, így kockázatsökkentő eljárásként alkalmazható a körülbelül 11,5 hektáron diffúzan szennyezett, felhagyott gyöngyösoroszi bányaterület rehabilitációja során. A felhagyott fémbányászati területek hasonlósága miatt a DIFPOLMINE EU-Life projektben¹⁸ született eredmények tükrében további bizonyítást nyert a kémiaival kombinált fitostabilizáció létjogosultsága és általános alkalmazhatósága.

Európában a PECOMINES projekt¹⁹ keretében elkezdődött a bányászati okokra visszavezethető szennyezettség felmérése. Hatalmas területekről van szó például Lengyelországban, Romániában, Bulgáriában, ahol ez a technológia alkalmazható lehet. Magyarországon a gyöngyösoroszi bányaterület mellett a Recsk-Lahocai Ércbánya okozott olyan környezetszennyezést, ami a kidolgozott technológiával kezelhető.

A kémiaival kombinált fitostabilizációs technológia alkalmazása elsősorban a diffúzan szennyezett, azaz nagy területet érintő fém-szennyezettség esetén javasolható. Ilyen területek lehetnek: az ipari tevékenység okozta fém-mel szennyezett területek, pl. kohók környéke, közlekedés hatására fém-mel, pl. ólommal szennyezett területek, mezőgazdasági tevékenységből eredő szennyeződés, pl. szakszerűtlen trágyázás, szennyvíziszapos kezelés által, fémtartalmú és savanyodó hulladékot tartalmazó tározók, pl. szénbányászati meddőanyagok vagy vörösiszap tározók felülete.

A kémiaival kombinált fitostabilizáció alkalmas terméketlen, rossz minőségű talajok javítására is. Az adalékanyagok tápanyagpótlásra, textúrajavításra, eróziógátlásra, lúgosításra használhatóak, pl. hulladéklerakók növényesítésére, természetes közegek és geotechnikai elemek előállítására (SOILUTIL projekt²⁰).

A kémiaival kombinált fitostabilizációs technológia és a fémek mozgékonyaságát és környezeti kockázatát követő monitoring módszeregyüttes bekerült a KÖRINFO/MOKKA adatbázisba²¹ is, melynek célja az innovatív módszerek népszerűsítése, hogy azok ne tűnjenek el az ú.n. „halál völgyében”, hanem jól ismert és elfogadott technológiává váljanak.

¹⁸ <http://www.difpolmine.org>

¹⁹ http://viso.ei.jrc.it/pecomines_ext/index.html

²⁰ <http://soilutil.hu/>

²¹ <http://www.korinfo.hu/>

7 Közlemények

7.1 Az értekezés alapjául szolgáló közlemények

7.1.1 Impakt faktoros folyóiratban cikkek

1. **Feigl, V.**, Anton, A., Uzinger, N., Gruiz, K. (2011) Red mud as a chemical stabilizer for soil contaminated with toxic metals, *Water, Air & Soil Pollution*, online first: 2011. szeptember 9, IF₂₀₁₀: 1,765
2. **Feigl, V.**, Gruiz, K., Anton, A. (2010) Remediation of metal ore mine waste using combined chemical- and phytostabilisation, *Periodica Polytechnica*, 54 (2), 71–80, IF₂₀₁₀: 0,042.
3. Gruiz, K., **Feigl, V.**, Hajdu, Cs., Tolner, M. (2010) Environmental toxicity testing of contaminated soil based on microcalorimetry, *Environmental Toxicology*, Special Issue: 14th International Symposium on Toxicity Assessment, 25 (5), 479–486, IF₂₀₁₀: 1,932
4. **Feigl, V.**, Uzinger, N., Gruiz, K., Anton, A. (2009) Reduction of abiotic stress in a metal polluted agricultural area by combined chemical and phytostabilisation, *Cereal Research Communications*, 37, Suppl. 465–468. IF₂₀₀₇: 1,190

7.1.2 Egyéb folyóiratcikkek

5. **Feigl, V.**, Uzinger, N., Gruiz, K. (2009) Chemical stabilisation of toxic metals in soil microcosms, *Land Contamination and Reclamation*, 17 (3–4), 483–494.
6. **Feigl, V.**, Anton, A., Gruiz, K. (2009) Combined chemical and phytostabilisation: field application, *Land Contamination and Reclamation*, 17 (3–4), 577–584.
7. Gruiz, K., Vaszita, E., Siki, Z., **Feigl, V.**, Fekete, F. (2009) Complex environmental risk management of a former mining site, *Land Contamination and Reclamation*, 17 (3–4), 355–367.
8. Gruiz, K., Molnár, M., **Feigl, V.** (2009) Measuring adverse effect of contaminated soil using interactive and dynamic methods, *Land Contamination and Reclamation*, 17 (3–4), 443–459.
9. **Feigl, V.**, Atkári, Á., Anton, A., Gruiz, K. (2007) Chemical stabilisation combined with phytostabilisation applied to mine waste contaminated soils in Hungary, *Advanced Materials Research*, 20–21, 315–318.
10. Gruiz, K., Vaszita, E., Siki, Z., **Feigl, V.** (2007) Environmental risk management of an abandoned mining site in Hungary, *Advanced Materials Research*, 20–21, 221–225.

7.1.3 Könyvrészlet

11. **Feigl, V.**, Anton, A., Gruiz, K. (2010) An innovative technology for metal polluted soil – combined chemical and phytostabilisation, In: Construction for a sustainable environment (Eds. Sarsby, R. W. and Meggyes, T.), Proceedings of the International Conference of Construction for a Sustainable Environment, Vilnius, Lithuania, 1–4 July, 2008, ISBN 978-0-415-56617-9, Taylor and Francis Group, London, pp. 187–195.
12. Gruiz, K., Vaszita E., **Feigl, V.**, Siki, Z. (2010) Environmental risk management of diffuse pollution of mining origin, In: Construction for a sustainable environment (Eds. Sarsby, R. W. and Meggyes, T.), Proceedings of the International Conference of Construction for a Sustainable Environment, Vilnius, Lithuania, 1–4 July, 2008, ISBN 978-0-415-56617-9, Taylor and Francis Group, London, pp. 219–228.

7.1.4 Egyéb publikációk

13. **Feigl, V.**, Gruiz, K., Anton, A. (2010) Combined chemical and phytostabilisation of an acidic mine waste – Long-term field experiment, Conference Proceedings CD of Consoil 2010, 2010. szeptember 22–24, Salzburg, Ausztria, Consoil 2010 Posters A3-24
14. **Feigl, V.**, Anton, A., Gruiz, K. (2008) Kombinált kémiai és fitostabilizáció alkalmazása szabadföldi kísérletben, Országos Környezetvédelmi Konferencia, Siófok 2008. Szeptember 16–18, Konferencia Kiadvány, 83–93.
15. **Feigl, V.**, Anton, A., Fekete, F., Gruiz, K. (2008) Combined chemical and phytostabilisation of metal polluted soil – from microcosms to field experiments, Conference Proceedings CD of Consoil 2008, 2008. június 3–6, Milánó, Olaszország, Theme E, 823–830.
16. **Feigl V.**, Atkári Á., Uzinger N., Gruiz K. (2006) Fémmel szennyezett területek integrált kémiai és fitostabilizációja, Országos Környezetvédelmi Konferencia, Siófok 2006. Szeptember 19–21, Konferencia Kiadvány, 99–108.

7.1.5 Absztraktok konferencia kiadványban

17. **Feigl, V.**, Gruiz, K., Bagi, A., Hajdu, Cs., Tolner, M. (2009) Microcalorimetry: a sensitive end point in soil toxicity testing, 14th International Symposium on Toxicity Assessment, Program and Abstract Book, 116.
18. **Feigl, V.**, Gruiz, K. (2006) Combined chemical and phytostabilisation of metal polluted soil, International Symposium on Environmental Biotechnology, Book of Abstracts, 312.

7.1.6 Előadások és poszterek

1. **Feigl, V.**, Gruiz, K., Anton, A.: Combined chemical and phytostabilisation of an acidic mine waste – Long-term field experiment, Consoil 2010, 2010. szeptember 22–24, Salzburg, Ausztria (poszter)
2. Gruiz, K., **Feigl, V.**, Hajdu, Cs., Tolner, M., Bagi, A.: Microcalorimetry: a sensitive test method in soil toxicity testing, 14th International Symposium on Toxicity Assessment, 2009. augusztus 30–szeptember 4., Metz, Franciaország (előadás)
3. Gruiz, K., **Feigl, V.**, Hajdu, Cs., Tolner, M., Bagi, A.: Microcalorimetry: a sensitive test method in soil toxicity testing, 14th International Symposium on Toxicity Assessment, 2009. augusztus 30–szeptember 4., Metz, Franciaország (poszter)
4. **Feigl, V.**, Klebercz, O., Uzinger, N., Gruiz, K., Anton, A.: Reduction of abiotic stress in a metal polluted agricultural area by combined chemical and phytostabilisation, 8th Alps-Adria Scientific Workshop, 2009. április 27 - május 2, Neum, Bosznia-Hercegovina (poszter)
5. **Feigl, V.**, Anton, A., Gruiz, K.: Kombinált kémiai és fitosztabilizáció alkalmazása szabadföldi kísérletben, Siófoki Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás, 2008. szeptember 16–18, Siófok (előadás)
6. **Feigl, V.**, Anton, A., Gruiz, K.: An innovative technology for metal polluted soil – combined chemical and phytostabilisation, Green5 – Construction for a sustainable environment, 2008. július 1–4, Vilnius, Litvánia (előadás)
7. **Feigl, V.**, Anton, A., Fekete, F., Gruiz, K.: Combined chemical and phytostabilisation of metal polluted soil – from microcosms to field experiments, Consoil 2008, 2008. június 3–6, Milánó, Olaszország (poszter)
8. **Feigl, V.**, Atkári, Á., Anton, A., Gruiz, K. Chemical stabilisation combined with phytostabilisation applied to mine waste contaminated soils in Hungary, 17th International Biohydrometallurgy Symposium, , 2007. szeptember 2–5, Frankfurt, Németország (poszter)
9. **Feigl, V.**, Atkári, Á., Uzinger, N., Gruiz, K.: Chemical stabilisation combined with phytostabilisation applied to mine waste contaminated soils, Diffpolmine Konferencia: What does the future hold for large metal-polluted sites?, 2006. december 12–14, Montpellier, Franciaország (poszter)

10. **Feigl V.**, Atkári Á., Uzinger N., Gruiz K.: Fémekkel szennyezett területek integrált kémiai és fitostabilizációja, Siófoki Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás, 2006. szeptember 19–21, Siófok (előadás)
11. **Feigl, V.**, Atkári, Á., Uzinger, N., Gruiz, K.: Combined chemical and phytostabilisation of metal polluted soil, International Symposium on Environmental Biotechnology ISEB ESEB JSEB 2006, 2006. július 9–13., Leipzig, Németország (poszter)
12. Gruiz, K., Vaszita, E., **Feigl, V.**, Siki, Z.: Complex risk management of mine waste at the Hungarian model site of the „Difpolmine” project, NICOLE workshop, 2006. május 11–13, Carcassonne, Franciaország (poszter)

7.2 Egyéb, a dolgozathoz nem közvetlenül kapcsolódó publikációk

7.2.1 Impakt faktoros folyóiratban cikk

1. Mayes, W.M., Jarvis, A.P., Burke, I.T., Walton, M., **Feigl, V.**, Klebercz, O., Gruiz, K. (2011) Dispersal and Attenuation of Trace Contaminants Downstream of the Ajka Bauxite Residue (Red Mud) Depository Failure, Hungary, Environmental Science & Technology, 45 (12), 5147–5155. IF₂₀₁₀: 4,825

7.2.2 Egyéb publikációk

2. Gruiz, K., **Feigl, V.**, Vaszita, E., Klebercz, O., Újaczky, É., Atkári, Á. (2010) An integrated approach for the utilization of waste on soil – Innovative management and technologies, Conference Proceedings CD of Consoil 2010, 2010. szeptember 22–24, Salzburg, Ausztria, Consoil 2010 Ths B2
3. Gruiz, K., **Feigl, V.**, Vaszita, E., Klebercz, O., Újaczky, É., Atkári, Á. (2010) An integrated approach for the utilization of waste on soil – Innovative management and technologies, Consoil 2010, Abstract Book of Presentations, 139. (absztrakt)
4. Klebercz, O., Gruiz, K., **Feigl, V.**, Anton, A. (2010) Introducing the project SOILUTIL, Conference Proceedings CD of Consoil 2010, 2010. szeptember 22–24, Salzburg, Ausztria, Consoil 2010 Posters A3-39

5. Gruiz K., Sára B, Molnár M., **Feigl V.** (2009) Az életciklus elemzés tudományos és gyakorlati elemeinek integrálása a KÖRINFO online információs rendszerbe a környezethatékony és környezettudatos döntéshozatal szolgálatában, Életciklus-elemzés Szakmai Konferencia, Budapest, 2009. szeptember 23–24, Rövid kivonatok, 9–11, ISBN 978-963-7154-90-4 (absztrakt)

7.2.3 Előadások és poszterek

6. Gruiz, K., Feigl, V., Vaszita, E., Klebercz, O., Újaczky, É., Atkári, Á. An integrated approach for the utilization of waste on soil – Innovative manegement and technologies Consoil 2010, 2010. szeptember 22–24, Salzburg, Ausztria (előadás)
7. Klebercz, O., Gruiz, K., **Feigl, V.**, Anton, A.: Introducing the project SOILUTIL, Consoil 2010, 2010. szeptember 22–24, Salzburg, Ausztria (poszter)
8. Gruiz K., Sára B., Molnár M., **Feigl V.**: Az életciklus elemzés tudományos és gyakorlati elemeinek integrálása a KÖRINFO online információs rendszerbe a környezethatékony és környezettudatos döntéshozatal szolgálatában, Életciklus-elemzés Szakmai Konferencia, 2009. szeptember 23–24, Budapest (előadás)
9. **Feigl V.**: Sequential extraction of sediment samples from Quaking Houses CoSTaR/ASURE konferencia, 2006. március 12–13, Newcastle Upon Tyne, Anglia (előadás)