

Európa itt épül



# BÁNYAREM

**Bányászati tevékenységből származó diffúz szennyezőforrások kockázatának csökkentése immobilizáción alapuló integrált remediációs technológiákkal**  
GVOP - 3.1.1 - 2004 - 05 - 0261 / 3.0

## TANULMÁNY

**(Rövidített verzió)**

**Kémiaival kombinált fitostabilizációs szabadföldi kísérletek eredményeinek integrált értékelése**

Készítette: Feigl Viktória, Klebercz Orsolya, Pásztor Marianna

BME Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Budapest  
2007. dec 20.



1	Bevezetés.....	3
2	Szabadszíki kísérlet Gyöngyösorsosiban .....	3
2.1	A kémiaival kombinált fitostabilizáció .....	3
2.2	Diffúz szennyezőforrások – bányászati hulladékok.....	4
2.2.1	Szabadszíki kísérlet Gyöngyösorsoszi bányaudvaron .....	5
2.2.2	Üledékkel szennyezett kiskert remediálása kémiaival kombinált fitostabilizációval .....	12
3	Vizsgálati módszerek .....	15
3.1	Analitikai mérések.....	15
3.1.1	Vízminták fémtartalmának és vízkémiai jellemzőinek mérése.....	15
3.1.2	Talajminták összes és mobilis fémtartalmának meghatározása .....	15
3.2	Biológiai-ökotoxikológiai módszerek .....	16
3.2.1	Aerob heterotróf sejtszám meghatározása lemezöntéses módszerrel .....	16
3.2.2	<i>Vibrio fischeri</i> lumineszcencia gátlási teszt .....	16
3.2.3	<i>Sinapis alba</i> gyökér- és szárnövekedés gátlási teszt .....	17
3.2.4	Öt napos bioakkumulációs teszt <i>Sinapis albával</i> .....	17
4	Eredmények kiértékelése.....	19
4.1.1	A bányaudvari parcellákra kapott eredmények összefoglaló értékelése .....	19
4.1.2	A Kató földi eredmények összefoglaló értékelése .....	21
5	Összefoglalás.....	22

# 1 Bevezetés

A BÁNYAREM projekt keretében az integrált kémiai és fitostabilizáció szabadföldi kísérletek tavasztól egész nyáron és ősszel folytak a demonstrációs területeken: Almásfüzitőn a vörösiszap-tározó felületének kiporzás elleni védelem céljára; A Toka-patak északi vízgyűjtőterületén diffúzan szétszórt bányászati hulladék fémtartalmának mobilizálódása, vízzel és növényekkel történő transzportja valamint az erózió elleni védelmére; A Toka-patak öntés-területeinek kiskertjei esetén a toxikus fémek növényekbe és rajtuk keresztül a táplálékláncba kerülésének megakadályozására. Ebben a tanulmányban az utóbbi két terület kísérleti eredményeit mutatjuk be.

## 2 Szabadföldi kísérlet Gyöngyösorosziban

### 2.1 A kémiaival kombinált fitostabilizáció

A kombinált fito- és kémiai stabilizáció toxikus fémekkel és más nehezen bomló szennyezőanyagokkal szennyezett területek in situ (helybeni) remediációjára alkalmazott, nemzetközi szinten is újnak számító technológia. A lényege az, hogy a szennyezett talajba kevert kémiai adalékanyag hatására átalakul a fémek (szennyezőanyagok) kémiai szerkezete, kevésbé mozgékony formát vesznek fel, emiatt a vízben rosszul oldódnak és a növények számára kevésbé felvehetőek, káros biológiai hatásukat nem tudják kifejteni. A stabilizálószerrel kezelt területre telepített növényeket nem mérgezik a fémek/szennyezőanyagok, jól nőnek és a felületen jól izoláló takaróréteget hoznak létre.

A kémiai adalék és a növénytakaró együttes stabilizáló hatása megakadályozza a szennyezőanyag továbbterjedését az összes transzportútvonalon: kiporzás szél hatására, kioldás esővízzel és a felszíni vagy felszín alatti vízbe jutás és erózió, vagyis a szilárd anyag víz általi transzportja. A táplálékláncba jutást úgy akadályozzuk meg, hogy nem akkumuláló növényeket alkalmazunk, amelyek a föld feletti szerveikben toxikus fémet/szennyezőanyagot nem raktároznak. További követelmény az alkalmazott növényekkel szemben, hogy gyorsan nőjenek és minél tökéletesebb, egybefüggő takaróréteget eredményezzenek.

Ennek a kémiai stabilizálással összekötött fitoremediációs technológiának a hatékonyságát több laboratóriumi kísérletben igazoltuk, melyek eredményei alapján szabadföldön is kipróbáltuk Gyöngyösorosziban a fémbányászati hulladékokra.

## **2.2 Diffúz szennyezőforrások – bányászati hulladékok**

Az ércbányászat során képződő, és a felszínen tárolt meddőnek minősülő kőzetek alól, igen gyakran savas oldatok szivárognak. Egyes felhagyott bányákból még évszázadokkal a felhagyás után is savas bányavizek kerülnek a felszínre. Szulfid érceket termelő bányák esetében kijelenthető, hogy a bányatermelvény szilárd feldolgozási maradékai (meddőhányók), különösen a fizikai dúsítás maradékai (zagytározók), és igen gyakran az üzemelő ércbányák is, savas jellegű vizek folyamatos forrásai. Az angol nyelvű irodalomban a kőzetek savképző tulajdonságával összefüggésben jelentkező szivárgó víz elsavasodást, rendszerint acid rock drainage (ARD) vagy acid mine drainage (AMD) műszaki kifejezéssel illetik. Mivel a diffúz szennyezőforrások alól szivárgó savas vizek, illetve a bányavizek, jelentős forrásai a talaj, a felszíni, a felszín alatti víz, valamint más környezeti elemek nem kívánt szennyeződésének, az érintett területeken jelentős figyelmet szentelnek a savas szivárgó vizek elleni védekezésre.



**2-1. ábra: A Gyöngyösroszsi bánya bejárata a bányaudvaron és a bányából szivárgó vasas és savas bányavíz**

A diffúz szennyezőforrások remediációja esetében más megoldások keresése válik indokolttá, mint pontforrások esetében. A diffúz szennyezőforrások kockázatának csökkentésére alternatív technológiák jelentek meg az elmúlt évtizedekben. Ezek a bányászati hulladék helyben hagyása mellett csökkentik a forrás környezetszennyező hatását. Ilyen módszer lehet Permeábilis Reaktív Gátak (PRB) építése, vagy talaj adalékanyagok segítségével a szennyezőanyagok immobilizációja a forrásban, vagy a felszíni erózió megakadályozása stb. A kockázat csökkentéséhez, a szennyező hatást kell csökkenteni, de ehhez általában integrált módszer szükséges, mely figyelembe veszi azt, hogy a szennyező hatás több környezeti elemet is érint, és ezen hatásokat együttesen képes csökkenteni. Ezen okok miatt általában a különböző műszaki megoldások együttes alkalmazása a célravezető.

A környezeti tényezők hatásának kitett, ércbányászat eredetű hulladékok, mint diffúz szennyezőforrások (meddőhányók, zagytározók stb.), nagy környezeti kockázatát, főként a magas pirittartalom által generált savasodási folyamatok okozzák. A savasodási folyamatok miatt, az ércbányászati meddőben jelen lévő nehézfémek jelentős része (pl.: Cd, Cr, Cu, Mn, Zn stb.) mobilizálódik, és magas koncentrációban jelentkezik a diffúz szennyezőforrás alatt megjelenő csurgalék vizekben.

A BÁNYAREM kutatás-fejlesztési projekt egyik alapgondolata, hogy adalékanyagok bekeverése mellett, megállítsa a savasodási folyamatokat, és meggátolja a nehézfémek oldatba jutását, valamint azok migrációját a környezet, a felszíni és felszín alatti vizek irányába. A másik alapfolyamat, a növényekkel való beültetés és ezzel egy izoláló réteg létrehozása, ami megakadályozza a szilárd anyag erózióját, és kiporzását is. A harmadik transzportútvonalat, a növényi fémfelvétel csökkenését egyrészt a kémiai stabilizálószer biztosítja, másrészt maga a növény, melynek megválasztásakor fontos szempont. Hogy kevésbé akkumuláljon.

### **2.2.1 Szabadföldi kísérlet Gyöngyösoroszi bányaudvaron**

A Gyöngyösoroszi Ércbányászat hatásterületén, több jelentős méretű diffúz szennyezőforrás található. Ezek főként meddőhányók. A Gyöngyösoroszi Ércbányászat teljes körű felhagyásának keretében, ezen meddőhányók rekultivációja is megvalósul. Ezek közül, az egyik legjelentősebbnek, a Bányabérci-meddőhányónak a felszámolása 2007-ben kezdődött el, a koncentrált szennyezőanyag-mennyiség elszállítására utáni maradék és az eltávolíthatatlanul szétszóródott hányad kezelésére a kombinált kémiai- és fitostabilizációt fogjuk alkalmazni.



**2-2. ábra: A bányabérci meddőhányó**

Egy nagy környezeti kockázatú diffúz szennyezőforrás hatásának in situ megmérése (felszíni és felszín alatti monitoring rendszer kiépítése, kutak kiképzése, üzemeltetése, karbantartása, mintázása, vízjogi engedélyeztetése stb.) rendkívül költséges folyamat és a diffúz szennyezettség kiterjedése miatt szinte lehetetlen feladat. A matematikai modell, a kidolgozott GIS-alapú, vízgyűjtőszintű terjedési modell sem működik expozíciós paraméterek nélkül, melynek kimérése mikrokozmosz kísérletekben megtörtént, de a kisléptékű kísérletekből nyert eredmények pontosítására és validálására szabadföldi kísérletekre van szükség. A mi megoldásunk az lett, hogy az AMD folyamatoknak kitett meddő anyagból nagyobb mennyiséget kivettünk, és drénezett, alulról szigetelt prizmákat építettünk belőle. Az így elkészített parcellán elvégezhetővé válnak azok a mérések, melyek segítségével megbecsülhető a toxikus fémtartalmú bányászati hulladék hatása a talajvízre, valamint az ültetett növényzetre. A szabadföldi parcellás kísérletek célja tehát kettős volt. Elsősorban a meddőhányók, mint diffúz szennyezőforrások hatásának pontosabb megismerése, mérhetővé tétele, másodsorban a meddőanyaghoz kevert talajadalékanyagok tesztelése, kedvező tulajdonságaik jobb megismerése volt. A kísérlet-sorozat által lehetőség nyílt a felhasznált talajadalékanyagok hatásmechanizmusának és hatásfokának jobb megismerésére.

A laboratóriumi kísérletekben megvizsgáltuk, melyek a Toka-patak vízgyűjtőjében található hulladékokra és szennyezett talajokra leghatékonyabb kémiai stabilizálóanyagok és a célnak megfelelő növények. Az eröművi pernye, valamint a pernye és mész keveréke bizonyult a leghatékonyabbnak a területre jellemző Zn, Cd, Cu és Pb szennyezettségre.



Három kísérleti parcella került kialakításra a Bányaudvaron, egy pernye+mésszel, egy pernyével kezelt és egy adalék nélküli kontroll parcella. Kísérleti növények parcellánként: fűkeverék, cirok, szudáni fű. A kémiai stabilizálás vízoldhatatlanná és biológiailag felvehetetlenné teszi a szennyező fémeket.

**2-1. Táblázat: A bányaudvari parcellák kémiai adalékanyagai**

parcella jele	meddő	Kémiai adalékanyag	
		pernye	mész-hidrát
I.	90 m <sup>3</sup>	3,5 m <sup>3</sup> tatabányai pernye 3,5 m <sup>3</sup> visontai pernye	1,5 m <sup>3</sup>
II.	90 m <sup>3</sup>	7 m <sup>3</sup> tatabányai pernye	---
III.	90 m <sup>3</sup>	---	---

I. parcella: tatabányai pernye, visontai pernye és méshidrát

II. parcella: tatabányai pernye

III. parcella: nincs kémiai kezelés

Fűkeverék	Cirok	Szudáni fű	Fűkeverék	Cirok	Szudáni fű	Fűkeverék	Cirok	Szudáni fű
-----------	-------	------------	-----------	-------	------------	-----------	-------	------------

**2-3. ábra: A bányaudvari parcellákon ültetett növények**



**2-4. ábra: A bányaudvari parcellák kialakítása 1.**



**2-5. ábra: A bányaudvari parcellák kialakítása 2.**



**2-6. ábra: A bányaudvari parcellák kialakítása 3.**

2007. július 04–2007. szeptember 30. között, folyamatos felügyelet mellett üzemeltettük a fél-üzemi parcellákat. Napi rendszerességgel jegyzőkönyvet vezettünk az üzemeltetéssel kapcsolatos paraméterekről. A napi feladatok, melyeket a Mecseköko látott el a következők voltak: a csapadék mennyiségének naponkénti regisztrálása, a drénvíz változó vízkémiai paramétereinek naponkénti mérése, a drénvíz mennyiségének feljegyzése, a prizma felszínén összegyűlő víz vízkémiai paramétereinek naponkénti mérése, a prizmák rendszeres locsolása,



a gyűjtő edények folyamatos ürítése, a mintavételek feljegyzése, karbantartás, felügyelet biztosítása.



**2-7. ábra: Vízyűjtés a bányaudvari parcellákon**



**2-8. ábra: Locsolóberendezés működése a bányaudvari parcellákon**



**2-9. ábra: A növényesített bányaudvari parcellák (2007.07.19)**

### 2.2.1.1 A technológiamonitring

A projekt során terepi méréseket, vízkémiai analitikai vizsgálatokat, talaj és közettani vizsgálatokat, valamint pernyevizsgálatokat végeztünk az alábbi mérési módszerekkel: pH mérés, elektromos vezetőképesség mérése, plazmaindukciós emissziós spektrometriás mérés, TIC (Total Inorganic Carbon), TOC (Total Organic Carbon) és  $\Sigma$  kén mérése, vízoldható és szódával megbontható  $\text{SO}_4$  koncentráció meghatározása, póruszvíz összetétel meghatározása hígítási tényező figyelembe vételével, meteorológiai mérések, terepi mérések. A terepi mérések kiterjedtek a parcellák talajának fémtartalmára (XRF), a csurgalékvíz mennyiségére és pH-értékére, valamint a növények mennyiségi és minőségi jellemzőire, mint szárhossz, darabszám, stb. A kísérlet követésére, elsősorban a kémiai stabilizálószer hatásának követésére nemcsak a parcellák talaján átfolyó víz jellemzőit, hanem a talajból különböző erősségű savas oldószerekkel kivonható fémtartalmakat és a növények fémtartalmát elemeztük. A mérések egy részét a Mecseköko, másikat a TAKI és a BME munkatársai végezték. Ebben a tanulmányban csak a TAKI és BME eredményeit mutatjuk be.

A stabilizálószeres kísérletek monitoringjára integrált módszeregyüttest alkalmaztunk, amely a fizikai-kémiai analitika kombinálását jelenti biológiai-ökotoxikológiai tesztekkel. A kémiai analitikai mérések mellett bakteriális és növényi toxikológiai tesztek végeztünk. Az integrált módszer alkalmazása azért célszerű, mert vele részletesebb képet kaphatunk a szennyezett talaj környezeti kockázatáról és nyomon követhető velük a remediáció és értékelhető annak hatékonysága. A kísérleti területekről bizonyos időközönként növény, talaj és vízmintát vettünk.

Kémiai analitikai módszerekkel ezek fémtartalmát vizsgáltuk. Mértük a vizek fémtartalmát és vízkémiai tulajdonságait, a pernyék és talajok összes fémtartalma mellett azok víz- és acetát oldható fémtartalmát is a mobilis fémtartalom mennyiségének becsléséhez, valamint a kísérleti területre ültetett növények fémtartalmát. A talaj toxicitásának mérésére *Vibrio fischeri* lumineszcencia gátlási tesztet, fitotoxicitásának mérésére *Sinapis alba* (fehér mustár) gyökér- és szárnövekedés gátlási tesztet alkalmaztunk. A növények számára hozzáférhető fémtartalmat öt napos bioakkumulációs teszttel mértünk *Sinapis albával*. Emellett minden talajmintából meghatároztuk lemezöntéses módszerrel az aerob heterotróf sejtek számát. A módszerek részletes leírása a vizsgálati módszerek részben található.

## 2.2.2 Üledékkel szennyezett kiskert remediálása kémiaival kombinált fitostabilizációval

Mezőgazdasági talajjal is folytattunk kémiaival kombinált fitostabilizációs kísérletet Gyöngyösoroszi falu alatt, a Toka-patak mentén található egyik kiskertben, mely „Kató földje” néven ismert. A fitoremediációs kísérlet számára kijelölt terület a Toka patak öntésterületén lévő két kiskert, melyet a Toka-patak rendszeresen eláraszt. A talaj szennyezettsége erősen heterogén. A szennyezettség a pataktól távolodva gradiens mentén erőteljesen csökken. A patakkel párhuzamosan is különböző mértékű szennyezettség fő oka a terület közepén a terep enyhe emelkedése: a mélyebben fekvő részek szennyezettsége nagyobb. A szennyezettség alapján a területet célszerű két sávra elkülöníteni: a patak mentén fekvő, 5 m széles, hordalékkupacokkal fedett és erősen szennyezett területre és a pataktól 5 m-nél távolabbi, kismértékben szennyezett területre.

A patak évenkénti áradásaival a talajra kerülnek a különböző eredetű fémtartalmú hulladékok és ott másodlagosan felhalmozódnak. A patak által lerakott üledék összetétele:

- (szulfidos érc tartalmú) aprózódott kőzet
- flotációs meddőanyag
- meszes, fémtartalmú csapadék.

Az hulladékok a mezőgazdasági talajokra jellemző körülmények között (savas pH, aktív mikrobiológiai tevékenység) azonnal kémiai mállásnak indulnak. A kőzetben kötött fémek mobilizálódnak, majd ionos formában kötődnek a talajban. A növények ezeket felveszik, és emberi fogyasztásra kerülve vagy állati takarmányként növelik az egészségkockázatot.

A szulfid tartalmú érc miatt a területre került pataküledék kéntartalma is említést érdemel. Utóbbi a talaj kémhatására, illetve a nehézfémek oldhatóságára gyakorol direkt és indirekt hatást. A talaj pH-értéke a 2003-as vizsgálatok alapján többnyire enyhén savastól enyhén lúgosig terjed ( $\text{pH}_{\text{talaj}}=5.09-7.58$ ).





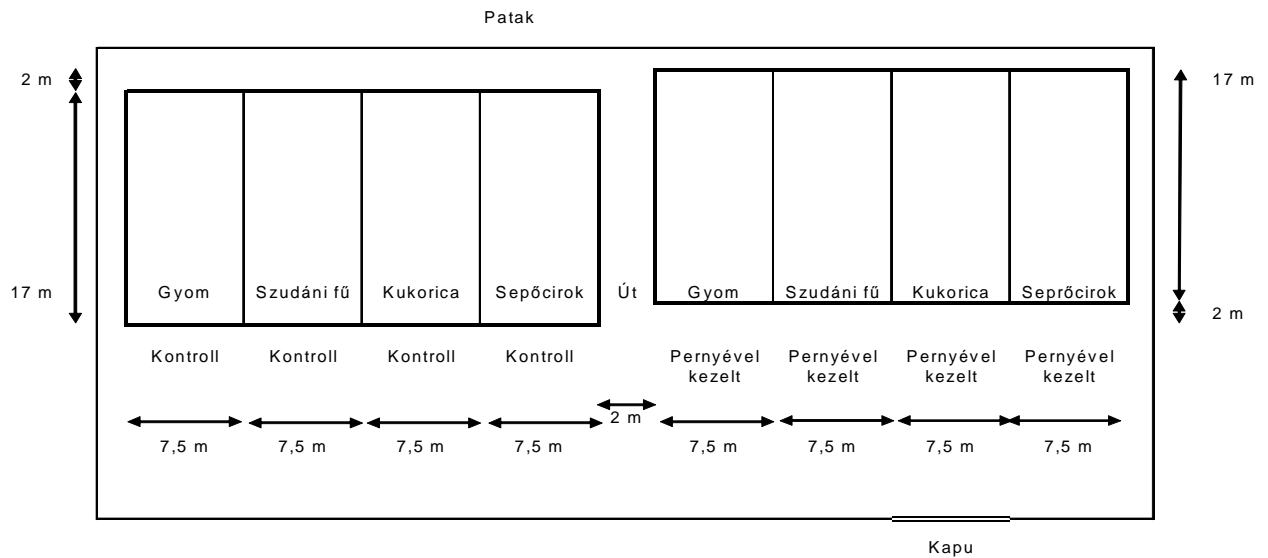
**2-10. ábra: A Kató földi terület a Mátra aljában, tavasszal (2007.04.24.)**



**2-11. ábra: A Kató földi terület szántás után a fák között folyó Toka-patakkal (2007.05.15)**



A kísérleti terület felét kezeltük tatabányai pernyével, míg a másik fele kezeletlen maradt. Minkét oldalon négyféle növényt vetettünk, az ábrán bemutatott elrendezés szerint:



**2-12. ábra: A patakparti parcellák kialakítása**

A stabilizáció nyomon követése ezen a területen a növényminták fémtartalmát és a talajból különféle erősségű savas oldószerekkel kivonható, eltérő mozgékonyaságú fémfrakciókat, valamint a talaj toxikusságát vizsgáltuk monitoringszerűen a kísérlet tartama alatt.



**2-13. ábra: Kató földje a növényesítés után (2007.06.27)**

## 3 Vizsgálati módszerek

### 3.1 Analitikai mérések

Az analitikai méréseket az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézetben végezték szabványos módszerekkel.

#### 3.1.1 Vízminták fémtartalmának és vízkémiai jellemzőinek mérése

- Általános vízkémia: pH – MSZ 260-4:1971  
Vezetőképesség – MSZ EN 27888:1998  
Kationok – MSZ 1484-3:2006  
Anionok –  $\text{SO}_4^{2-}$  = MSZ 11885:2000  
 $\text{CO}_3^{2-}$ ;  $\text{HCO}_3^-$  = MSZ 448-11:1986  
 $\text{Cl}^-$  = MSZ 448-15:1982
- Toxikus nehézfémek: MSZ 1484-3:2006

#### 3.1.2 Talajminták összes és mobilis fémtartalmának meghatározása

A talajminták fémtartalmát levegőn tömegállandóságig szárított talajból mérték a következő feltárási módszerek után:

- **Királyvizes feltárás** az MSZ 21470-50:1998 szerint. Az összes fémtartalmat adja meg.
- **Acetátos kivonat** az MSZ 21978-9:1998 szerint. A 4,5 pH-jú ecetsavoldattal kivonható (ionos formában oldható), mobilis fémtartalmat jellemzi.
- **Vizes kivonat** az MSZ 21978-9:1998 szerint. A talaj saját pH-ján a vízzel kioldható fémtartalmat adja meg.

Az acetátos és a vizes kivonat esetén a száraz talaj-oldószer arány 1:10.

A szennyezőanyagok (toxikus fémek) vizsgálata ICP plazmaemissziós spektrometriás elemanalízisekkel történt, JY Ultima 2. plazmaemissziós spektrométerrel az MSZ 21978-9:1985 szerint.

## **3.2 Biológiai-ökotoxikológiai módszerek**

Az ökotoxikológiai méréseket a BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszékén végezték.

### **3.2.1 Aerob heterotróf sejtszám meghatározása lemezöntéses módszerrel**

Az eljárás alapelve, hogy a mikroorganizmusokat különböző koncentrációkban tartalmazó sejtszuszpenziókból a baktériumokat a számukra megfelelő tápanyagokat tartalmazó közegbe (esetünkben húslé agar) visszük, majd kedvező hőmérsékleti körülmények között termosztáljuk, hogy minden sejtől telep fejlődjék. A telepeket megszámlálva nyerhetünk információt az aerob heterotróf mikroorganizmusok mennyiségéről a vizsgált talajban.

A vizsgálandó anyagból alapszuszpenziót készítünk 1,0 g talajminta 10 cm<sup>3</sup> steril vízben történő elosztatásával. Ezután hígítási sort készítünk. A várható sejt-számnak megfelelő hígításokból 0,1 cm<sup>3</sup>-t oltunk Petri-csészébe, húslé-agar táptalajra. A sejtszám Petri-csészénként 30-300 darabig jól számlálható. A vizsgálatoknál általában a 10<sup>2</sup>, 10<sup>3</sup>, 10<sup>4</sup> hígítás került leoltásra. 0,1 cm<sup>3</sup> hígított talajszuszpenziót megolvasztott és kb. 45°C-ra visszahűtött húslé-agarba keverünk. A kihűlt, megszilárdult homogén elegyet tartalmazó csészét megfordított helyzetben termosztátba helyezük és 30°C-on 48 óráig inkubáljuk.

A húslé-agar tápközeg átlátszó, így belsejében a kifejlődött telepek jól felismerhetők. Ezek megszámlálásával az aerob heterotróf sejtek számra kapunk tájékoztató értéket. Az eredményt db telepképző sejt / gramm nedves talaj mértékegységben adjuk meg. Három egymást követő hígításból számlálunk telepeket. Ezeket bizonyos feltételekkel átlagoljuk.

### **3.2.2 *Vibrio fischeri* lumineszcencia gátlási teszt**

A *Vibrio fischeri* egy tengeri baktérium, általános érzékenységű tesztorganizmus. Azt a különleges tulajdonságát használjuk a teszteléshez, hogy fényt emittál. Ezt a luxustevékenységet kedvezőtlen körülmények között azonnal beszünteti.

A vizsgálatához 16 órán át, 28 °C-on rázatott lombikos inokulumot állítunk elő. A minták mellett standard Cu-sor lumineszcencia-gátlását is mérjük. A különböző mérési sorozatok

eredményét mindig az aktuális Cu-sor eredményéhez viszonyítjuk. Talajminta mérése esetén OECD kontroll sort is mérünk, ha nem rendelkezünk szennyezetlen kontroll mintával.

A vizsgálandó mintából öttagú hígítási sort készítünk. A mérőműszer mintatartóiba 0,2-0,2 cm<sup>3</sup> inokulumot mérünk és a minta hozzáadása nélkül megmérjük a lumineszcencia intenzitását (I0). Az inokulumhoz 0,05 cm<sup>3</sup>-t mérünk a minták felkevert hígításaiból, illetve a standard Cu-sor tagjaiból. A kontroll mintához 0,05 cm<sup>3</sup> 2%-os NaCl- oldatot mérünk. A minta hozzáadása után azonnal mérjük a lumineszcencia intenzitását (I1). Az I1 az adott minta kontrolljaként szolgál, feltételezve azt, hogy a hozzáadás pillanatában a minta még nem fejt ki gátló hatást, az intenzitás csökkenést csak a minta sötét színe okozza. 30 perces kontakt idő leteltével megmérjük a lumineszcencia intenzitását. (I30). A mért értékekből kiszámítjuk a fényintenzitás csökkenést (H%).

A kiszámított adatok segítségével egy H% - log bemért anyag (ml vagy mg eredeti minta) görbét szerkesztünk, amelyről leolvassuk a 20%-os illetve az 50%-os fényintenzitás-csökkenéshez tartozó koncentrációértéket. Ezeket EC<sub>20</sub> illetve EC<sub>50</sub> értéként kezeljük. Cu esetén ugyancsak megszerkesztjük a diagramot: H%-log (bemért mg Cu), és az EC<sub>20Cu</sub> illetve EC<sub>50Cu</sub> értékeket leolvassuk. A végeredmény megadása Cu-egyenértékben történik

### **3.2.3 *Sinapis alba* gyökér- és szárnövekedés gátlási teszt**

A teszt a szennyezőanyagoknak a fehér mustármagok gyökér- és szárnövekedésre gyakorolt hatását mutatja. A talajmintákból üveg Petri-csészékbe 5 gramm talajt mérünk, majd meghatározott mennyiségű (3,5 ml) vizet pipettázunk a homogéne szétterített talajokra. Vízminták esetén a Petri-csészébe szűrőpapír korongot helyezünk és 5 ml-t mérünk be a folyadékból. Ezután egyenletesen elhelyezünk 20–20 magot. Lefedve 20°C-on 72 óráig hagyjuk őket fejlődni, majd megmérjük a gyökerek és a szárok hosszát, melyet mm-ben adunk meg.

### **3.2.4 Öt napos bioakkumulációs teszt *Sinapis albával***

A teszt lehetőséget nyújt arra, hogy egy egyszerű és gyors módszerrel meghatározzuk és összehasonlítsuk a különböző talajokból a növények által felvehető toxikus fém mennyiségét.

A légszárakra szárított, elporított és átszitált talajmintákból 5–5 grammot steril Petri-csészébe mérünk és egyenletesen szétterítjük. 3 ml vízzel megnedvesítjük a talajmintákat, úgy, hogy a kapilláris víztartó képességét a talajnak ne lépjük túl és UV fényben 30 percig

sterilezzük. Ezután fehér mustár magjából 40-et egymástól egyenlő távolságra elhelyezünk a talajok felületén. A mintákat 5 napig sötét helyen, 20 °C-on tároljuk, a növekedéshez szükséges vízmennyiséget 3 nap után pótoljuk.

A kinőtt növényeket vízzel mossuk, szárukat és gyökerüket nem fémes eszközzel (pl. műanyag késsel) különválasztjuk és légszárazra szárítjuk szobahőmérsékleten. Ezután a minták kémiai elemzésre kerülnek.

A növények szárának, illetve gyökerének teljes fémtartalmát a Fejér Megyei Növényegészségügyi és Talajvédelmi Állomás Talajvédelmi Laboratóriumában (Velence) határozták meg hidrogén-peroxidos feltárás után ICP-AES módszerrel, ICP Thermo Jarrel Ash ICAP 61E készülékkel az MSZ 21470-50:1998 szabvány szerint.



## 4 Eredmények kiértékelése

### Publikálás alatt

#### 4.1.1 A bányaudvari parcellákra kapott eredmények összefoglaló értékelése

A következőkben összefoglalva bemutatjuk a bányabérci meddőből készült parcellákra kapott eredményeket a jobb áttekinthetőség kedvéért. A kezelések jóságát +/- értékekkel is megjelöltük. Minél több +-t kapott az adott kezelés, annál hatékonyabb volt.

**4-1. Táblázat: A bányabérci meddőn átfolyó drénvíz tulajdonságainak összefoglalása, a fémtartalmak százalékos csökkenésben megadva a kezeletlenhez képest, a növénytesztnél a növekedés mértéke megadva a kezeletlenhez képest**

Mért tulajdonság	Pernye + meszes kezelés		Pernyés kezelés	
Zn - tartalom (%-os csökkenés)	99,7	+++	65,9	+
Cd - tartalom (%-os csökkenés)	99,5	+++	68,8	+
Pb - tartalom (%-os csökkenés)	88,5	++	-668,1	-
Cu - tartalom (%-os csökkenés)	99,1	+++	94,1	+++
As - tartalom (%-os csökkenés)	-1581,1	--	<kh	n.a.
Bakteriális teszt	Nincs gátlás	+++	Nincs gátlás	+++
Növényteszt (növekedés mértéke)	8 és 14	+++	8 és 14	+++

A drénvíz tulajdonságait nézve a mobilis fémekre (Zn és Cd) a pernye+meszes kezelés nagyon hatékony (>99%-os fémvisszatartás), míg az As mobilizálódik. A csak pernyés kezelés kevésbé hatékony, de így is nagymértékű, 66–94%-os fémvisszatartást eredményez. Az ólmot mobilizálja. Az ökotoxikológiai tesztelés alapján a víz toxikusságát mindkét kezelés közel azonos mértékben csökkenti.

**4-2. Táblázat: A bányabérci meddőanyag tulajdonságainak összefoglalása, a fémtartalmak és a bakteriális teszt eredménye százalékos csökkenésben megadva a kezeletlenhez képest, az élősejt számmal és a növénytesztnél a növekedés mértéke megadva a kezeletlenhez képest**

Mért tulajdonság	Pernye + meszes kezelés		Pernyés kezelés	
Actetát oldható Zn (%)	85,5	+++	36,6	+
Actetát oldható Cd (%)	79,8	+++	7,9	0
Actetát oldható Pb (%)	94,7	+++	-154,5	-
Actetát oldható Cu (%)	77,7	+++	46,0	++
Actetát oldható As (%)	-392,7	--	<kh	n.a.
Vízoldható Zn (%)	99,8	+++	61,5	+
Vízoldható Cd (%)	99,4	+++	47,5	+
Vízoldható Pb (%)	99,5	+++	55,9	+
Vízoldható Cu (%)	88,6	++	85,7	++
Vízoldható As (%)	-193,2	--	11,7	0
Akkumulált Zn (%)	61–77	+++	53	++
Akkumulált Cd (%)	60–84	+++	59	++
Akkumulált Pb (%)	68–82	+++	47	+
Akkumulált Cu (%)	61	++	62	++
Akkumulált As (%)	21	+	28	+
Élősejt szám (növekedés mértéke)	100	+++	10	+
Bakteriális teszt (%-os csökkenés)	67,3	++	75,3	+++
Növényteszt (növekedés mértéke)	5–38	++	7–78	+++

A bányabérci meddőanyag tulajdonságait vizsgáljuk, akkor a kapott eredmények nagyrészt egybeesnek a drénvízben mértekkel. Az acetát oldható fémtartalmak a pernye+meszes kezelés hatására 77–94%-kal csökkentek, ami rendkívül jó eredmény, a vizes kivonatban itt is >99%-os csökkenést mértünk, valamint az As mobilizálódását. A csak pernyés kezelés a drénvíz eredményeihez hasonlóan a rezet mobilizálja a legnagyobb mértékben, a mobilis fémeknél csak 47–61%-os csökkenést okoz a vízoldható fémtartalomban. Az acetátos kivonatban a drénvízhez hasonlóan az ólom mobilizálódását mértük, a vizes kivonatban érdekes módon nem.

Az öt napos bioakkumulációs teszttel mért fémtartalmak mindenhol csökkenést mutatnak a kezeletlenhez képest, az arzén és az ólom esetén is, a növények számára tehát minden fém kevésbé felvehető formába került. A biológiai sejtszám mérés alapján a pernye+meszes kezelés rendkívül jó hatással van a talaj aktivitására, míg a másik két ökotoxikológiai teszt alapján a csak pernyés kezelés jobban csökkentette a meddő toxikusságát, mint a pernye+meszes kezelés. Ezt az eredményt a mobilis As, illetve a mész okozhatta. Az arzén immobilizálására a továbbiakban vasat fogunk alkalmazni.

**4-3. Táblázat: A bányabérci meddön nőtt növények fémtartalma szempontjából a jobb kezelés**

	Fűkeverék	Cirok	Szudáni fű
Zn - tartalom	Pernye + mész / pernye	Pernye + mész	Pernye + mész
Cd - tartalom	Pernye + mész / pernye	Pernye + mész	Pernye + mész
Pb - tartalom	Pernye + mész / pernye	Pernye + mész	Pernye + mész
Cu - tartalom	Pernye + mész	Pernye + mész	Pernye + mész
As - tartalom	Pernye + mész / pernye	Pernye + mész	Pernye + mész

Mivel a kezeletlen bányabérci meddön nem nőttek ki a szabadföldi kísérletben a növények, ezért itt százalékos fémtartalom csökkenést nem tudunk számolni. A két kezelést összehasonlítva azonban minden esetben a pernye+mészes kezelés jobb volt, mint a csak pernyés. Kivétel a fűkeverék esetén az utolsó mintavétel, ahol a legtöbb fém esetén a csak pernyével kezelt területen mértünk kisebb fémtartalmakat.

#### 4.1.2 A Kató földi eredmények összefoglaló értékelése

Az alábbiakban a Kató földi kísérletekre kapott eredményeket foglaljuk össze táblázatos módon. A kezelések jóságát +/- értékekkel is megjelöltük. Minél több +-t kapott az adott kezelés, annál hatékonyabb volt.

**4-4. Táblázat: A Kató földi talaj tulajdonságainak összefoglalása, a fémtartalmak és a bakteriális teszt eredménye százalékos csökkenésben megadva a kezeletlenhez képest, az élősejt számnál és a növekedés mértéke megadva a kezeletlenhez képest, a növénytesztnél a növényhossz %-os növekedése megadva**

	Patakhöz közeli terület		Pataktól távoli terület	
Actetát oldható Zn (%)	75,7	+++	54,9	++
Actetát oldható Cd (%)	78,4	+++	47,1	++
Actetát oldható Pb (%)	75,0	+++	20,2	+
Actetát oldható Cu (%)	5,5	0	-156,9	--
Actetát oldható As (%)	3,2	0	14,3	0
Vízoldható Zn (%)	94,2	+++	56,3	++
Vízoldható Cd (%)	93,6	+++	<kh	0
Vízoldható Pb (%)	-8,6	0	3,8	0
Vízoldható Cu (%)	-32,3	-	-19,5	-
Vízoldható As (%)	-37,7	-	3,1	0
Élősejt szám (növekedés mértéke)	1,3	+	1,3	+
Bakteriális teszt (%-os csökkenés)	15,5	++	6,6	+
Növényteszt (%-os növekedés)	31,6	++	8–15,2	+

A Kató földi kísérleti területen a talajok elemzése alapján a pernye jó stabilizáló hatású, elsősorban a mobilis fémek acetát és vízdoldható mennyiségét csökkenti le 78%-kal, illetve 94%-kal. Az arzénél és az ólomnál kismértékű mobilizálódást tapasztaltunk a bányabérci meddőanyaghoz hasonlóan. A biológiai és toxicitási tesztek pozitív változást mutatnak, azaz a talajok toxicitása csökkent, amit elsősorban az erősebben szennyezett területen látunk jól.

A növények bioakkumulációját 4.17-es összefoglaló táblázat mutatja, melyből jól látszik, hogy a termesztett növények fémtartalma 70–78%-kal csökkent a kezelés hatására, de a kevésbé szennyezett területen is 20–50%-os csökkenést tapasztaltunk a felvett mobilis fémmennyiségben.

## 5 Összefoglalás

Ebben a tanulmányban bemutattuk a Gyöngyösorosziban folytatott szabadföldi kémiaival kombinált fitostabilizációs kísérletek eredményeit. A kísérleteket két helyszínen, kétféle, fémekkel szennyezett anyaggal indítottuk 2007 elején. Az u.n. bányaudvaron 3 aládréncsövezett kísérleti parcellán vizsgáltuk a bányabérci meddőanyag stabilizációját pernye+mész kombinációjával és csak pernyével. Növényként fűkeveréket, cirkot és szudáni fűvet vetettünk. Az eredmények alapján a pernye+meszes stabilizálás kitűnő hatásfokú, a mobilis fémek vízdoldható mennyiségét <99%-kal csökkentette és a növények fémfelvétele is kisebb volt, mint a csak pernyével kezelt parcellán.

A Kató földi, nagy fémtartalmú pataküledékkal szennyezett talajt tatabányai pernyével kezeltük és négyféle növényt vetettünk rá: fűkeveréket, szudáni fűvet, kukoricát és cirkot. A vízdoldható fémmennyiség 56–94%-kal lecsökkent a kezelés hatására, a növények fémfelvétele pedig 20–78%-kal csökkent.

Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a kémiaival kombinált fitostabilizáció ígéretes remediációs módszer a gyöngyösoroszi bányászati hulladékok kezelésére, mivel minden tarnszportútvonalon csökkenti a fémek terjedését, és egészséges növényzet kialakulását teszi lehetővé.

## **Irodalom:**

10/2000. (VI. 2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelet a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről

17/1999. (VI. 16.) EüM rendelet az élelmiszerek vegyi szennyezettségének megengedhető mértékéről

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

Atkári Ágota: Toxikus fémekkel szennyezett Gyöngyösoroszi talajok stabilizációja, Diplomamunka, Budapest, 2006

J. Kumpiene, S. Ore, G. Renella, M. Mench, A. Lagerkvist, C. Maurice: Assessment of zerovalent iron for stabilization of chromium, copper, and arsenic in soil, Environmental Pollution 144 (2006) 62–69

Stefanovits Pál: Talajtan , Mezőgazda kiadó, Budapest, 1992.