

# Potenciális kémiai stabilizálószeres toxikus fémek mobilitását csökkentő hatásának vizsgálata laboratóriumi talajinkubációs modellkísérletben

Anton Attila<sup>1</sup> – Barna Sándor<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, 1022 Budapest, Herman Ottó út 15.

<sup>2</sup>Nyíregyházi Főiskola MMFK Tájgazdálkodási és Vidékfejlesztési Tanszék  
E-mail: barnas@nyf.hu

## Összefoglalás

A nehézfémekkel (toxikus fémek) szennyezett talajok leghatékonyabb *in situ* remediációs technológiája a fizikai-kémiai stabilizáció, illetve a fitoremediáció együttes alkalmazása. A fizikai-kémiai stabilizáció során a stabilizáló szerek csökkentik a toxikus fém mobilitását, környezeti kockázatát. A fitoremediáció, ezen belül a fitostabilizáció a megfelelő növényborítottságon keresztül biztosítja a szennyezett terület talajának helyben maradását. Laboratóriumi talajinkubációs modellkísérletben teszteltük több potenciális kémiai stabilizálószernek (ivóvíztisztításból származó vas- és mangántartalmú csapadékkomplexek, vörösiszap) alkalmasságát a nehézfémek stabilizálására. A Gyöngyösorosziban található, felhagyott színesfémérc bánya környékéről gyűjtött, toxikus fémekkel szennyezett területről származó modelltalajokhoz 2 és 5 tömegszázalékban adtunk hozzá stabilizálószeret, majd mértük a desztillált víz-, acetátpuffer-, Lakanen-Erviö puffer- és a királyvíz által oldható fémfrakciókat. A vizsgált stabilizáló szerek közül a vörösiszap bizonyult a leghatékonyabbnak.

## Summary

The most efficient remediation technology of heavy metal contaminated soils is combining the physical-chemical stabilization with phytoremediation. The physico-chemical stabilization may reduce the mobility and environmental risk of toxic metals. The phytostabilization localizes the soil of the contaminated area by suitable plant-covering. In a soil incubation model experiment we have tested the suitability of potential stabilizing agents (e.g. iron- and manganese-hydroxide wastes from drinking-water treatment, red mud). We have applied the additives in two concentrations (2 and 5 m/m %) to the contaminated soils, originating from the neighborhood of abandoned lead-zinc sulfide ore mining area. Then we have assayed the soluble and "total" metal concentrations, extracted by distilled water, acetate buffer, Lakanen-Erviö buffer, and nitrohydrochloric acid. Among the tested stabilizing agents the red mud proved to be the most efficient.

## Bevezetés

A talajremediációs technológiákkal szemben egyre nagyobb az az igény, hogy a beavatkozáskor egyáltalán ne, vagy csak kis mértékben terhelődjön a

környezet az újabb szennyezésekkel (mosófolyadék, szennyezett levegő stb.). A remediálás során cél a talaj multifunkcionalitásának megőrzése, szerkezetének megóvása. E szempontok figyelembe vételével fokozottan előtérbe kerülnek az innovatív, *in situ* eljárások. A technológiai fejlesztések elengedhetetlen része a több lépcsőben történő kísérletsorozatok alkalmazása, amikor kontrollált, ellenőrzött körülmények között a technológia alkalmazása kémiai és biológiai vizsgálatokkal nyomon követhető.

A talaj Magyarország kiemelkedő értékű – feltételesen megújítható – természeti erőforrása. A talaj szennyeződése természetes (geológiai, biológiai) és antropogén (emberi) hatásokra következhet be, melyek pontszerűek, és diffúzak lehetnek. A természetes eredetű hatások okozta viszonylag lassú változásokkal szemben az antropogén hatások rendszerint drasztikusan és gyorsan változtatják meg a talaj összetételét, tulajdonságait és módosítják funkcióit (ANTON et al., 1999).

A kémiai stabilizálószer hatékonyága nagyban különbözhet egymástól, és csak igen kevés adat áll rendelkezésre a tiszta modellkísérletben történő vizsgálatokra. A kémiai stabilizálás önmagában is jelenthet végleges megoldást a szennyezett talajok kockázatának csökkentésére, a szennyezőanyag kémiai stabilizálása azt jelenti, hogy a veszélyes szennyezőanyag mozgékonyágát a kémiai forma megváltoztatásával csökkentjük le. Talajnál az immobilizáció nem mindig jár a szennyezőanyag eltávolításával, de a környezeti kockázat lényegesen lecsökkenthető: a továbbterjedés valószínűsége redukálódik, és a biológiai hozzáférhetetlenség eredményeképpen a negatív élettani hatás kifejtése lehetetlenné válik.

A remediáció során alkalmazható stabilizáló szerek számos típusával folytattak már laboratóriumi kísérleteket. A potenciális stabilizálószer közül a *pernye* esetében TERZANO et al. (2005) igazolta, hogy a pernyéből előállított szintetikus zeolit alapja lehet olyan remediációs technológiáknak, ahol a talaj nehézfémekkel szennyezett. A pernye önmagában is jó stabilizálószernek bizonyult (DERMATAS és MENG, 2003), egyúttal javítja a talaj pufferkapacitását. A *lignit* szén- és humusztartalmából eredően, a nehézfémek szorpcióval vagy komplexképződéssel történő immobilizálásra képes. Az *alginit* mikro- és makroelemekben rendkívül gazdag, 25-30% szerves anyaggal bír, mésztartalma 15% körüli. Stabilizáló hatása a lignithez hasonlóan humusztartalmából (komplexképző hatás), és enyhén lúgos kémhatásából ered. A *mészhidrát* szintén lúgos kémhatású anyag, amely hatására a pH eltolódása miatt a fémek a kolloidok felszínén megkötődnek, vagy oldhatatlan fém-hidroxidokká alakulnak át (FEIGL, 2005). GARCÍA et al. (2004) vizsgálati eredményei rámutattak arra, hogy a MgO szintén alkalmazható kémiai stabilizálásra, mivel a MgO nem csupán eltolja a pH-t lúgos irányba, csökkentve ezzel a fémek mobilitását, hanem reakcióközeget is biztosít, ami megakadályozza a fémek további visszaoldódását. A *kommunális szennyvíziszapnak* a talajba, megfelelő arányban

történő bekeverése is csökkentheti a nehézfémek mobilizációját (THEODORATOS, 2000; SIMON, 2005), és pozitív hatása lehet a természetett növények fejlődésére is.

### Vizsgálati anyag és módszer

A talajinkubációs modellkísérletben megvizsgált, „hulladékként” keletkező, potenciális stabilizáló szerek a ráckevei és csepeli vízműben keletkező vas- és mangántartalmú csapadékkomplexek, illetve az alumíniumgyártás során keletkező almásfüzitői vörösiszap voltak. A különféle kivonószerekben mért elemtartalmukat az 1. táblázat szemlélteti.

**1. táblázat.** A stabilizálószeres különféle kivonatokban mért elemtartalma

Adalékok	Kivonószer	Elemtartalom
Fe-Mn-mentesítő csapadék-Csepel	deszt. víz	140 µg/l
	acetát puffer	420 µg/l
	LE puffer	258 mg/l
	királyvíz	318546 mg/l
Fe-Mn-mentesítő csapadék-Ráckeve	deszt. víz	6,3 µg/l
	acetát puffer	569 µg/l
	LE puffer	266 mg/l
	királyvíz	410300 mg/l
Vörösiszap-Almásfüzitő	deszt. víz	6135 µg/l
	acetát puffer	90,9 µg/l
	LE puffer	19784 mg/l
	királyvíz	252528 mg/l

LE= Lakanen-Erviö oldat

A modelltalajok a Gyöngyösorosziban található felhagyott színesfémérc bányá udvaráról (minta jele: BU), ill. a bányá mellett Toka-patak öntésterületéről (minta jele: TOKA) származtak.

A szennyező elemek koncentrációja függ a talajszennyezések meghatározására alkalmazott minta-előkészítési eljárástól, ezért 4 – környezetvédelmi analitikai szempontból jelentős – kivonási eljárást alkalmaztunk a minták előkészítése során, hogy képesek legyünk megfelelő pontossággal jellemezni az eltérő kötésű vegyületformákat a talajban. A desztillált vizes kioldás a legmobilisabb, kimosódó nehézfémek, az acetátos kivonat pedig a mobilis, növények számára közvetlenül felvehető frakció becslésére alkalmas. A szerves komplexképzők (pl. EDTA) a lassan vagy

középtávon felszabaduló, a növények számára felvehető frakció becslését szolgálják. A királyvizes kivonat az „összes” elemtartalom becslésére használható.

A kivonási eljárások a következők voltak:

- desztillált vizes kivonat (MSZ 21978-9:1998)
- acetát pufferes kivonat (4,5 pH-jú ecetsavoldat, MSZ 21978-9:1998)
- Lakanen-Erviö pufferes kivonat (ecetsav+EDTA, MSZ 20135:1999, LAKANEN és ERVIÖ, 1971)
- királyvizes kivonat (MSZ 21470-50:1998).

A 2. táblázatban mutatjuk be a Gyöngyösoroszból származó talajok különféle kivonatokban mért elemtartalmát.

**2. táblázat.** A szennyezett talajok elemtartalma különféle kivonatokban

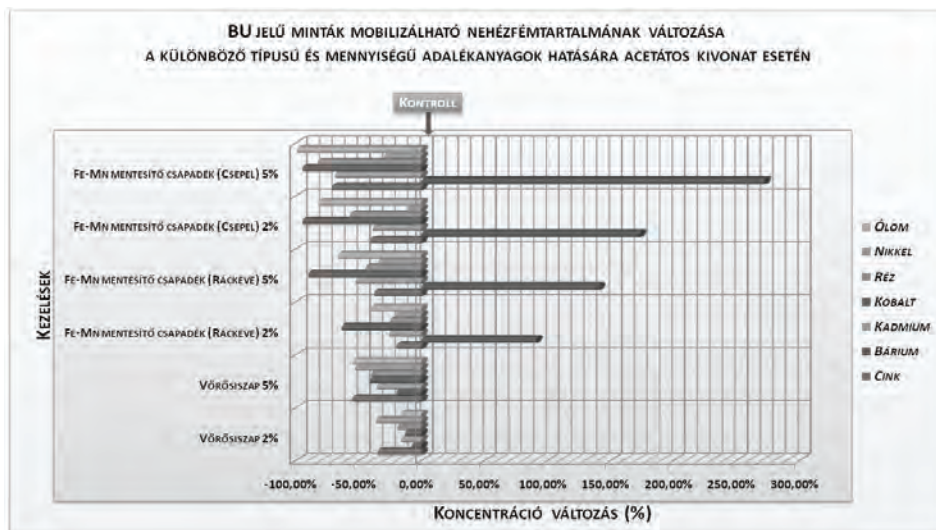
Minta jele	BU			
Kivonószer	deszt.víz µg/kg	acetát puffer µg/kg	LE puffer mg/kg	királyvíz mg/kg
Elemtartalom	38,4	23723	1815	153981
Minta jele	TOKA			
Kivonószer	deszt.víz µg/kg	acetát puffer µg/kg	LE puffer mg/kg	királyvíz mg/kg
Elemtartalom	75,1	23228	1108	119218

A modelltalajokhoz 2% és 5% m/m%-ban adtunk a stabilizáló szerekből. Az inkubációs idő 45 nap volt. A hőmérséklet (25 °C) és a nedvességtartalom (szántóföldi vízkapacitás 60 %-a) az inkubációs idő alatt állandó volt. A kivonási eljárás után ICP plazmaemissziós spektrometriával (MSZ 21978-9:1985 szerint) határoztuk meg a modelltalajok nehézfém tartalmát az MTA TAKI budapesti laboratóriumában.

**Vizsgálati eredmények és értékelésük**

A toxikus fémek a tápláléklánca elsősorban a növényeken keresztül kerülnek be (ANTON et al., 1999). A talaj összes fémtartalmának csak egy kis része hozzáférhető a növények számára. Elsősorban a vízdoldható és a könnyen kicserélhető forma az, amit a növények képesek felvenni. A nehézfémrel szennyezett talajok veszélyességét (transzport lehetősége tápláléklánca, környezetbe) a természetben is lezajló oldódási folyamatokhoz a leginkább hasonlító acetát pufferes és Lakanen-Erviö kivonási eljárások eredményeként kapott kivonatok elemtartalma alapján ítélni lehet meg, ezáltal jellemezhető a kémiai stabilizáció hatékonysága is. A következő ábrákon a potenciális stabilizáló szerek hatására bekövetkező koncentrációcsökkenések láthatók. Az

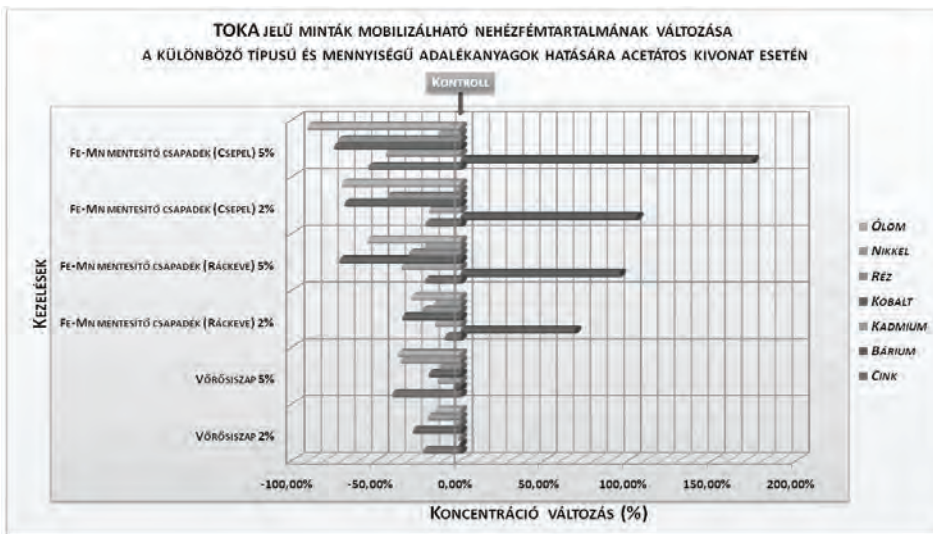
1. és 2. ábrán mutatjuk be a két szennyezett területről származó talajminta mobilizálható nehézfém-tartalmának változását a különböző típusú és mennyiségű adalékanyagok hatására acetátos kivonatos eljárást alkalmazva.



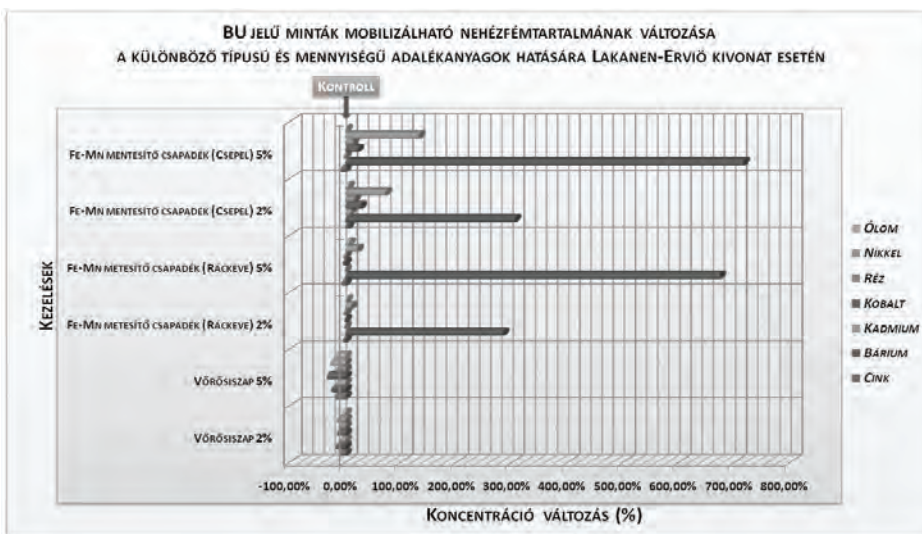
**1. ábra.** BU jelű minta elemtartalmának változása (acetátos kivonat)

Az acetát pufferes kivonatban végzett elemvizsgálatok alapján megállapíthatjuk, hogy a vizsgálatba bevont stabilizálószeres talajokban a növények számára ionos formában jelenlévő és mobilizálható nehézfém-tartalmát. Az 5%-os csepeli vas-mangán mentesítő csapadék alkalmazásakor tapasztaltuk a legnagyobb mértékű koncentrációcsökkenést a talajokban. A víztisztításból származó csapadékok magas báriumkoncentrációja miatt azonban a talajok báriumtartalma jelentősen megemelkedett.

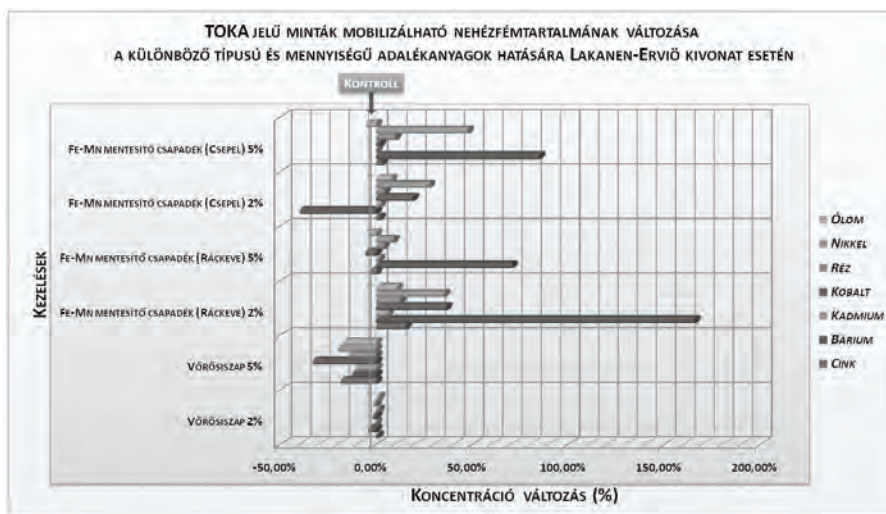
A 3. és 4. ábrán mutatjuk be a szennyezett talajokban a kezelések hatására bekövetkező mobilizálható nehézfém-tartalom változásokat (Lakanen-Ervió puffert használva kivonószerként).



2. ábra. TOKA jelű minta elemtartalmának változása (acetátos kivonat)



3. ábra. BU jelű minta elemtartalmának változása (LE kivonat)



**4. ábra.** TOKA jelű minta elemtartalmának változása (LE kivonat)

A Lakanen-Erviő pufferes kivonatból végzett mérési eredményekből látható, hogy a víztisztításból származó adalékanyagok a talajoknak a növények által potenciálisan felvehető nehézfém tartalmát jelentősen nem változtatták meg (3-4. ábra). A vizsgálatba bevont stabilizálószer közül az 5%-ban adagolt vörösiszap esetében tapasztaltuk a legnagyobb felvehető nehézfém tartalom csökkenését a talajban (4. ábra).

A 3. táblázatban a modelltalajok nehézfém tartalmának legnagyobb mértékű csökkenését eredményező kezeléseket, és a koncentrációváltozás mértékét gyűjtöttük össze.

**3. táblázat.** Legjelentősebb koncentrációcsökkenések a modelltalajok nehézfém tartalmában

Elem	Acetátos pufferes kivonat		LE pufferes kivonat	
	csökkenés mértéke	kezelés	csökkenés mértéke	kezelés
Ba	19,8%	5%-os vörösiszap	39,6%	5%-os csapadék
Cd	68,8%	5%-os csapadék	16,2%	5%-os vörösiszap
Co	94,6%	5%-os csapadék	33,3%	5%-os vörösiszap
Cu	82,4%	5%-os csapadék	16,6%	5%-os vörösiszap
Ni	52,6%	5%-os vörösiszap	26,9%	5%-os vörösiszap
Pb	98,9%	5%-os csapadék	18,5%	5%-os vörösiszap
Zn	71,1%	5%-os csapadék	18,4%	5%-os vörösiszap

Megállapítottuk, hogy az acetát pufferes kioldás esetén a talajokban mind a Fe-Mn-mentesítő csapadékkal történő kezelés, mind a vörösiszap adagolás hatására jelentős mobilizálható nehézfém tartalom csökkenés volt tapasztalható. A Lakanen-Erviő pufferes kivonatból végzett vizsgálati eredmények alapján

elmondhatjuk, hogy jelentős koncentrációcsökkenést érhetünk el az 5% tömegszázalékban adagolt vörösiszappal.

### Következtetések

A vizsgálatba vont potenciális stabilizálószerke a szennyeződésként jelen lévő nehézfémek mobilitásviszonyait jelentősen megváltoztatták. A modelltalajokban a növények számára közvetlenül felvehető elemek (acetátos pufferes kivonat) mobilitása nagymértékben csökkent, míg a talajból középtávon feltáródó nehézfémek (LE pufferes kivonat) mobilitása – a vörösiszapos kezelések kivételével, ahol kismértékű mobilizálhatóság csökkenést tapasztaltunk – valamennyi mintában stabilizálódott, illetve néhány esetben az adalékanyagok nehézfém-tartalma miatt növekedett. Az analitikai eredmények alapján 5 tömegszázalékban kiadott stabilizálószerke a modelltalajokban hatékonyabban csökkentették a kioldható fémtartalmakat, mint a 2 tömegszázaléknyi mennyiségben adott adalékok.

### Irodalomjegyzék

- ANTON et al. (1999): Talajszennyeződés, talajtisztítás (szerk.: SIMON L.) Környezetügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató, Környezetgazdálkodási Intézet, Budapest.
- DERMATAS, D., MENG, X., (2003): Utilization of fly ash for stabilization/solidification of heavy metal contaminated soils. *Engineering Geology* **70**. 377-394.
- FEIGL, V. (2005): Toxikus fémekkel szennyezett talajok stabilizációja, BME MGKT, Budapest (diplomamunka).
- FEIGL, V. et al. (2006): Fémmel szennyezett területek integrált kémiai és fitostabilizációja. Siófoki Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás, 2006. szept. 19-21.
- GARCÍA, M. A. et al. 2004. Low-grade MgO used to stabilize heavy metals in highly contaminated soils. *Chemosphere* **56**. 481-491
- LAKANEN E., R. ERVIÖ, (1971): A comparison of eight extractants for determination of plant available micronutrients in soil. *Acta Agronomica Fennica* **123**. 23-232.
- SIMON, L., (2005): Stabilization of metals in acidic mine spoil with amendments and red fescue (*Festuca rubra* L.) growth. *Environmental Geochemistry and Health* **27**. 289-300.
- TERZANO, R. et al., (2005): Zeolite synthesis from pre-treated coal fly ash in persence of soil as a tool for soil remediation, *Applied Clay Science* **29**. 99-110.
- THEODORATOS, P., et al. (2000): The use of municipal sewage sludge for the stabilization of soil contaminated by mining activites, *Journal of Hazardous Materials* **B77**. 177-191.