

## Nehézfémekkel szennyezett talaj fitoremediációja *Salix viminalis* var. „*gigantea*” fűzfával

Tanárki Karolina<sup>1</sup> – Simon László<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar  
Kertészettudományi Doktori Iskola

<sup>2</sup> Nyíregyházi Főiskola Tájgazdálkodási és Vidékfejlesztési Tanszék  
E-mail: populus@freemail.hu

### Összefoglalás

A kosárfonó vagy „energiafűz” (*Salix viminalis* L. var. „*gigantea*”) nehézfém fitoextrakciós képességét tanulmányoztuk egy fémmegmunkálás, felületkezelés során nehézfémekkel (Cd, Cr, Co, Cu, Ni, Mo, Pb, Zn) és nátriummal (Na) elszennyeződött talajból. Az üvegházban tenyészedényekben nevelt 5 hetes növények hajtásának kadmium-, króm-, kobalt- és ólomakkumulációja kismértékű volt. A kontroll (szennyezetlen) talaj 23,3 mg/kg cinktartalma esetén 55,5 µg/g, a szennyezett talaj 66,3-175 mg/kg cinktartalma esetén pedig 84-184 µg/g cink jelent meg a hajtásokban. A kosárfonó fűz hajtásai jelentős mennyiségű molibdént (max. 41,3 µg/g) és nátriumot (max. 1745 µg/g) halmoztak fel a szennyezett talajból. A hajtások nikkeltartalma (max. 18,5 µg/g) viszonylag kicsi volt a talaj jelentős nikelszennyeződéséhez (148-430 mg/kg) képest.

### Summary

Phytoextraction capacity of basket or ‘energy’ willow (*Salix viminalis* L. var. „*gigantea*”) was studied from soil which was contaminated during metal elaboration. Plants were grown in pots with soil contaminated with heavy metals (Cd, Cr, Co, Cu, Ni, Mo, Pb, Zn) and sodium. After 5 weeks of growth in a growth chamber it was found that shoots accumulated low amounts of Cd, Cr, Co and Pb. When plants were grown in an uncontaminated control soil with 23.3 mg/kg Zn, in shoots of willow 55.5 µg/g zinc was detected. In case of contaminated control soil with 66.3-175 mg/kg Zn, this value was 84-184 µg/g in shoots. From contaminated soil shoots accumulated relatively high amounts of Mo (max. 41.3 µg/g), and Na (max. 1745 µg/g). In spite of the high concentration of nickel (148-430 mg/kg) in soil, the Ni concentration in shoots reached only 18.5 µg/g.

### Bevezetés

Az ipari és mezőgazdasági tevékenység, közlekedés, bányászat, kohászat következményeként elmúlt évszázadban talajaink többféle szennyezőanyaggal, köztük nehézfémekkel szennyeződtek el (SIMON, 1999).

Újszerű talajremediációs eljárás a fitoremediáció (fito=növény, remediáció = helyreállítás, gyógyítás), mely során növényekkel (illetve a velük társult mikro-bákkal) csökkentik a környezeti elemek (köztük a talaj) ökotoxikológiai kockázatát. A fitoremediációt vizsgáló kutatások a kilencvenes években gyorsultak

fel, napjainkban folyik az elméleti kutatási eredmények átültetése a környezetvédelmi gyakorlatba (SIMON, 2004; ARTHUR et al., 2005).

A *fitoextrakció* során (mely a fitoremediációs technikák közé tartozik) magasabb rendű növényeket alkalmaznak a nehézfémekkel szennyezett talajok megtisztítására. Az ún. *passzív fitoextrakció* során gyorsan fejlődő, nagy biomasszát képző kultúrnövényeket, pl. nád- (pl. *Miscanthus*, *Arundo*) és fűféléket, illetve fafajokat (leginkább fűzfa- (*Salix*) és nyárfafajokat (*Populus*)) ültetnek a szennyezett talajra, bányameddőre. Több külföldi és hazai közlemény igazolta, hogy a szennyezett talajokon termesztett *Salix* fajok föld feletti szerveiben, így a leveleikben is, viszonylag nagy mennyiségű kadmium és cink akkumulálódik (KELLER, 2006; MÁTHÉ-GÁSPÁR & ANTON, 2005; TLUSTOŠ et al., 2006; SIMON, 2007). A zöldleveles hajtások rendszeres betakarításával a talajok mobilis nehézfém-tartalma mérsékelhető. E gyorsan fejlődő, nagy biomasszát képező fajok tehát nemcsak bioenergia termelésére, hanem fitoremediációs célra is alkalmazhatók.

A fenti előzmények ismeretében – tenyészedényes kísérlet beállításával – az alábbi kérdésekre kerestük a választ:

- Milyen fémeket mekkora mennyiségben vesz fel a megvizsgált kosárfonó fűz (*Salix viminalis* L. var. „*gigantea*”) többféle nehézfémrel erősen szennyezett talajból?
- Miként alakul a tesztnövények hajtásának zöldtömege és szárazanyag-hozama, ha ezt a nehézfémekkel erősen szennyezett talajt különféle tömegarányban szennyeztelen tiszta talajjal keverjük össze?

### Anyag és módszer

Tenyészedényes kísérletet állítottunk be 2008 márciusában kosárfonó fűz (*Salix viminalis* L. var. „*gigantea*”) tesztnövényekkel a Bauer Umweltgruppe fűthető üvegházában. A szaporítóanyag a Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Főiskolai Karának gyakorlókertjéből származott. A csapvízben előhajtott dugványokból 4-5 leveles állapotban 2-2 db-ot ültettük a 18 cm átmérőjű tenyészedények talajába. A 4-4 ismétléssel beállított kísérlet kezelése az alábbiak voltak:

1. *kontroll szennyeztelen talaj* (származási hely: Edelshausen, In der Scherau 1, Németország (pH 7,7; Cd-0,3, Cr-11, Cu-7,5, Ni-7,7; Zn-22 mg/kg HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kivonatban),
2. *nehézfémekkel szennyezett talaj* (származási hely: Bauer und Mourik Umwelttechnik GmbH., Bodenreinigungszentrum, Németország (pH 6,6; Cd-0,8, Cr-77, Cu-70, Ni-1000; Zn-300 mg/kg HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kivonatban),
3. 75% (m/m) *kontroll talaj* (1)+ 25 % (m/m) *szennyezett talaj* (2),
4. 50% (m/m) *kontroll talaj* (1) + 50% (m/m) *szennyezett talaj* (2),
5. 25 % (m/m) *kontroll talaj* (1) + 75 % (m/m) *szennyezett talaj* (2).

Ezekben a közegben 5 hétig neveltük a növényeket. Előkísérletünkben megállapítottuk, hogy a nehézfémekkel szennyezett talajban nem lehet növényeket nevelni (a fűz nem indult fejlődésnek), ezért ahhoz különféle tömegarányban kontroll, szennyezetlen talajt kevertünk.

A kísérlet időtartama alatt, természetes megvilágítás mellett, nappal 23-25 °C, este pedig 17-18 °C volt az üvegházban. A növényeket hetente 3 alkalommal desztillált vízzel, a szántóföldi vízkapacitás eléréséig öntöztük.

A kísérletet 5 hét után bontottuk. A tenyészedények gyökérközeli (rizoszféra) talajainak megmintázása után a növények gyökerét, hajtását csapvízzel, majd háromszor váltott desztillált vízzel gondosan megmostuk, megszáritottuk (70°C, 10 óra). A növényi szervek zöldtömegének és szárazanyaghozamának mérése után a hajtások elemanalízisét a Wessling Laboratorien GmbH. müncheni laboratóriuma végezte el ICP-OES technikával. Valamennyi mérés 4 ismétléssel történt.

### Vizsgálati eredmények és értékelésük

Az 1. táblázat a tenyészedényes kísérletben alkalmazott kontroll, szennyezetlen talaj és a fémmegmunkálás, felületkezelés során elszennyeződött talaj nehézfém- és nátriumtartalmát szemlélteti a tenyészedényes kísérlet befejezésekor. A táblázatban a gyökerekkel átszótt ún. rizoszféra-talaj elemösszetételét mutatjuk be.

**1. táblázat.** *Salix viminalis* var. „*gigantea*”-val beállított tenyészedényes kísérlet gyökérközeli talajainak nehézfém- és nátriumtartalma HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kivonatban (Schrobenhausen, Németország, 2008)

Elem (mg/kg)	Kontroll talaj	Szennyezett talaj		
		25 m%	50 m%	75 m%
<b>Cd</b>	0,40 <sup>a</sup>	0,40 <sup>a</sup>	0,58 <sup>b</sup>	0,60 <sup>b</sup>
<b>Cr</b>	12,3 <sup>a</sup>	17,3 <sup>b</sup>	27,0 <sup>c</sup>	36,3 <sup>d</sup>
<b>Co</b>	3,70 <sup>a</sup>	8,93 <sup>b</sup>	15,0 <sup>c</sup>	22,0 <sup>d</sup>
<b>Cu</b>	8,93 <sup>a</sup>	14,8 <sup>b</sup>	23,3 <sup>c</sup>	31,0 <sup>d</sup>
<b>Na</b>	48,0 <sup>a</sup>	595 <sup>b</sup>	1375 <sup>c</sup>	1750 <sup>d</sup>
<b>Ni</b>	8,68 <sup>a</sup>	148 <sup>b</sup>	253 <sup>c</sup>	430 <sup>d</sup>
<b>Mo</b>	2,0 <sup>a</sup>	5,33 <sup>b</sup>	7,63 <sup>c</sup>	8,78 <sup>c</sup>
<b>Pb</b>	14,3 <sup>a</sup>	35,0 <sup>b</sup>	48,8 <sup>b</sup>	75,3 <sup>c</sup>
<b>Zn</b>	23,3 <sup>a</sup>	66,3 <sup>b</sup>	120 <sup>c</sup>	175 <sup>d</sup>

Variancia-analízis. Tukey-féle b-teszt (n=4). Az eltérő betűindexet kapott sorok értékei szignifikánsan különböznek egymástól (P<0,05)

A korábbi irodalmi adatokat (SIMON, 1999) összevetve a mérési adatokkal megállapítható, hogy a talaj enyhén szennyezett kadmiummal, krómmal, kobalttal, rézzel, molibdénnel, ólommal és cinkkel, viszont erősen szennyezett nikkellel. Jelentős a talajok nátriumtartalma is, mely alapján feltételezhető, hogy a szennyezést okozó ipari folyamat során nátriumsókat használtak fel. A szennye-

zett talaj tömegarányának növekedésével lineárisan, szignifikánsan nőtt a talaj króm, kobalt, réz, nátrium nikkell és cinktartalma.

A 2. táblázat a tesztnövények gyökerének és hajtásának zöldtömegét és szárazanyag-hozamát szemlélteti a tenyészedényes kísérlet befejezésekor.

**2. táblázat.** *Salix viminalis* var. „*gigantea*” zöldtömege és szárazanyag-hozama tenyészedényes kísérletben (Schrobenhausen, Németország, 2008)

Kezelések	Zöldtömeg (g/tenyészedény)	Szárazanyag (g/tenyészedény)
<b>Gyökér</b>		
1. Kontroll talaj	1,33 <sup>c</sup>	0,35 <sup>a</sup>
2. Szennyezett talaj (25 m%)	0,58 <sup>b</sup>	0,18 <sup>b</sup>
3. Szennyezett talaj (50 m%)	0,15 <sup>a</sup>	0,10 <sup>b</sup>
4. Szennyezett talaj (75 m%)	0,12 <sup>a</sup>	0,10 <sup>b</sup>
<b>Hajtás</b>		
1. Kontroll talaj	5,63 <sup>c</sup>	2,75 <sup>c</sup>
2. Szennyezett talaj (25 m%)	3,68 <sup>bc</sup>	1,81 <sup>b</sup>
3. Szennyezett talaj (50 m%)	1,80 <sup>ab</sup>	1,05 <sup>a</sup>
4. Szennyezett talaj (75 m%)	1,15 <sup>a</sup>	0,88 <sup>a</sup>

Variancia-analízis. Tukey-féle b-teszt (n=4). Az eltérő betűindexet kapott oszlopok értékei szignifikánsan különböznek egymástól (P<0,05)

A mérési adatokból nyilvánvaló, hogy a talaj nehézfém-szennyezése oly nagy mértékű volt, hogy már 25 tömegszázalékos arányban is statisztikailag szignifikáns mértékben gátolta a fűz növekedését. A gyökerek és hajtások zöldtömegében és szárazanyag-hozamában egyaránt jelentős visszaesést tapasztaltunk. Amennyiben a nehézfémekkel szennyezett talajt nem „hígítottuk ki” szennyezetlen talajjal, azon nem tudtunk növényeket nevelni, a dugványok nem indultak fejlődésnek (nem közölt adatok). Ez a talaj tehát fitotoxikus, rajta fitoremediációs célra növények közvetlenül nem termesztethetők. Szabadföldi körülmények között célszerű tehát a talajban lévő nehézfémeket adalékanyagok (mész, foszfátok, zeolit, szennyvíziszap komposzt, SIMON, 2005; SIMON et al., 2006) kijuttatásával stabilizálni és ezután rajta növénytakarót kialakítani. Mivel az ily módon fitostabilizált talajból a növények kevés fémet távolítanak el, másik megoldásként a nehézfémekkel szennyezett talaj keverése lenne célszerű tiszta talajjal. A 2. táblázat eredményeiből feltételezhető, hogy ha a szennyezett talaj tömegaránya 25% alá csökken, azon már eredményesen lehet növényeket, köztük fűzfákat tenyészteni. Felmerül a kérdés, hogy a gyorsan fejlődő, nagy biomasszát képező kosárfonó fűz hajtásaiba mely nehézfémek és milyen mértékben kerülnek be ebből a talajból, eredményes lehet-e a nehézfémek fitoextrakciója?

A 3. táblázat a *Salix viminalis* var. „*gigantea*” hajtásának nehézfém- és nátriumtartalmát szemlélteti a tenyészedényes kísérlet befejezésekor.

**3. táblázat.** *Salix viminalis* var. „*gigantea*” hajtásának nehézfém- és nátrium-tartalma a tenyészedényes kísérlet befejezésekor (Schrobenhausen, Németország, 2008)

Elem (mg/kg)	Kontroll talaj	Szennyezett talaj		
		25 m%	50 m%	75 m%
<b>Cd</b>	0,49 <sup>a</sup>	0,59 <sup>ab</sup>	0,73 <sup>b</sup>	0,79 <sup>a</sup>
<b>Cr</b>	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.
<b>Co</b>	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.
<b>Cu</b>	6,20 <sup>a</sup>	7,18 <sup>a</sup>	13,2 <sup>b</sup>	14,0 <sup>b</sup>
<b>Na</b>	205 <sup>a</sup>	1325 <sup>b</sup>	1745 <sup>b</sup>	1213 <sup>b</sup>
<b>Ni</b>	5,55 <sup>a</sup>	6,63 <sup>ab</sup>	16,8 <sup>ab</sup>	18,5 <sup>b</sup>
<b>Mo</b>	1,23 <sup>a</sup>	39,0 <sup>b</sup>	41,3 <sup>b</sup>	36,3 <sup>b</sup>
<b>Pb</b>	1,67 <sup>a</sup>	1,15 <sup>a</sup>	6,95 <sup>a</sup>	4,48 <sup>a</sup>
<b>Zn</b>	55,5 <sup>a</sup>	84,0 <sup>a</sup>	184 <sup>a</sup>	153 <sup>a</sup>

Variancia-analízis. Tukey-féle b-teszt (n=4). Az eltérő betűindexet kapott sorok értékei szignifikánsan különböznek egymástól (P<0,05)

A mérési adatok összevetése után általánosságban megállapíthatjuk, hogy a kosárfonó fűz – a többi növényfajhoz hasonlóan – kevés krómot, kobaltot és ólmot halmoz fel szerveiben, köztük a hajtásaiban. Ezeknek a nehézfémeknek a mobilitása a talaj-növény rendszerben általában kicsi (SIMON, 1999). Jól ismert jelenség, hogy a legtöbb *Salix* jelentős mennyiségű kadmiumot és cinket akkumulál hajtásaiban, mely a fitoextrakció során könnyen betakarítható (KELLER, 2006; MÁTHÉ-GÁSPÁR & ANTON, 2005; TLUSTOŠ et al., 2006). Korábbi tenyészedényes kísérletünkben (SIMON, 2007) kontroll szennyezetlen (0,2 mg/kg Cd és 36,1 mg/kg Zn HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kivonatban) barna erdőtalajon, illetve galvániszappal szennyezett (2,1 mg/kg Cd és 352 mg/kg Zn) barna erdőtalajon neveltünk kosárfonó fűzet. A kontroll kultúrák hajtásában mindössze 0,25 mg/kg kadmiumot és 98 mg/kg cinket mértünk, míg a szennyezett talajon nevelt kultúrákban ez az érték elérte az 1,53 mg/kg illetve 125 mg/kg értéket. A levelek szárazanyag-hozamát megszorozva az itt mért Cd és Zn-tartalommal megállapítottuk, hogy a három megvizsgált *Salix* és egy *Populus* faj közül a *S. viminalis* távolította el a legtöbb nehézfémet a szennyezett talajból (SIMON, 2007). A koncentráció hányadosokat (a hajtásban mért kadmium-, illetve cinktartalom, ld. 3. táblázat, osztva a talajban mért kadmium- és cinktartalommal, ld. 1. táblázat) kiszámítva megállapítottuk, hogy a kosárfonó fűz relatíve jobban felveszi a kadmiumot, mint a cinket a szennyezett talajból. Jól ismert, hogy a Cd és a Zn a talajból a növényekbe, illetve a gyökerekből a hajtásokba jól transzportálódik (SIMON, 1999; HEGEDŰSOVÁ et al., 2006). Mindez e szennyezett talaj esetén is igazolódott.

Újszerű eredmény, hogy a kosárfonó fűz hajtásai jól akkumulálják a molibdént és jelentős mennyiségű nátriumot halmoznak fel hajtásaikban. A hajtások nikkeltartalma azonban viszonylag kicsi volt a talaj jelentős nikkelszennyező-déshez képest (3. táblázat).

### Következtetések

Tenyészedényes kísérletünk megerősítette, hogy szennyezett talajból a megvizsgált fűzfaj jelentős mennyiségű cinket akkumulál hajtásaiban. Eredményeink alapján feltételezhető, hogy a talaj molibdén- és nikkelszennyezése esetén is hatékony lehet a *Salix viminalis* var. „*gigantea*” termesztésével történő fitoextrakció.

### Köszönetnyilvánítás

Munkánkat az OTKA T043479 kutatási program támogatta. Köszönjük a BAUER Umweltgruppe-nak a kutatási háttér és az elemanalízis anyagi fedezetének biztosítását.

### Irodalomjegyzék

- ARTHUR, E.L., P.J. RICE, P.J. RICE, T.A. ANDERSON, S.M. BALADI, K.L.D. HENDERSON, J.R. COATS, (2005): Phytoremediation – an overview. *Critical Reviews in Plant Sciences* **24**. 109-122.
- HEGEDŰSOVÁ, A., HEGEDŰS, O., MUSILOVÁ, J., (2006): Riziká kontaminácie pôd kadmium. Vedecká monografia. (A talajok kadmiumszennyeződésének veszélyei. Tudományos monográfia). FPV UKF Nitra, Szlovákia.
- KELLER, C. (2006): Efficiency and limitations of phytoextraction by high biomass plants: the example of willows. In: Trace Elements in the Environment. Biogeochemistry, Biotechnology, and Bioremediation. (Eds.: PRASAD, M.N.V., K.S. SAJWAN, R. NAIDU). 611-630. Taylor & Francis, Boca Raton London New York.
- MÁTHÉ-GÁSPÁR, G. & A. ANTON, (2005): Phytoremediation study: factors influencing heavy metal uptake of plants. *Acta Biologica Szegediensis* **49**. 69-70.
- SIMON L. (szerk.), (1999): Talajszennyeződés, talajtisztítás. Környezetügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató. 5. kötet. Környezetgazdálkodási Intézet. Budapest. 1-221 old.
- SIMON L., (2004): Fitoemediáció. Környezetvédelmi Füzetek. Azonosító: 2318. BMKE OMIKK, Budapest.
- 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.
- SIMON, L., J. TAMÁS, E. KOVÁCS, B. KOVÁCS, B. BIRÓ, (2006): Stabilisation of metals in mine spoil with amendments and growth of red fescue in symbiosis with mycorrhizal fungi. *Plant Soil and Environment* **52**. 385-391.
- SIMON, L., (2007): Nehézfémek fitoextrakciója *Salix* és *Populus* fajokkal. In: “Versenyképes Mezőgazdaság” konferencia kiadványa. (Szerk.: SZABÓ B., VARGA Cs.). 197-200. Bessenyei György Könyvkiadó, Nyíregyháza.
- TLUSTOŠ, P., D. PAVLÍKOVÁ, J. SZÁKOVÁ, Z. FISCHEROVÁ, J. BALÍK (2006): Exploitation of fast growing trees in metal remediation. In: Phytoremediation Rhizoremediation. (Eds.: MACKOVA, M., D. DOWLING, T. MACEK). 83-102. Springer, Dordrecht, The Netherlands.