

Konverteriszapos talajkeverék ólom- és cinktartalmának csökkentése fitoextrakcióval

Összefoglalás: Kutatásunk fő célja, olyan nagy fitoextrakciós potenciállal rendelkező növényfaj(ok) kiválasztása volt, amelyek által a konverteriszap magas ólom- és cinkkoncentrációja mérsékelhető. Kísérleteinkhez konverteriszap és virágföld 5–10–15 %-os arányú keverékét, valamint négy teszt növényt: bazsalikomot, mezei tarsókát, szárazbabot és kisvirágú bársonyvirágot használtunk. A minták ólom- és cinktartalmát salétomsavas–hidrogén-peroxidos roncsolást követően ICP–OES–készülékkel mértük meg. A kapott eredmények szerint az iszap/talaj keverékek ólomtartalma átlagosan 35–61 %-kal, cinktartalma pedig 32–60 %-kal csökkent növényfajtól függően. A növényekben felhalmozódott ólom és cink leginkább (50–80 %-ban) a teszt növények gyökérzetében maradt, csak a kisvirágú bársonyvirág tudta ezeket az elemeket nagyobb mértékben (45–48 %-ban) a leveleiben is akkumulálni. A bioakkumulációs faktorszámok alapján az ólom akkumulációjában a szárazbab és a bazsalikom, míg a cink felhalmozásában a bársonyvirág volt hatékonyabb. A transzlokációs faktorszámok szerint az ólmot csak a bársonyvirág, míg a cinket a bársonyvirág mellett a bazsalikom is mobilizálni tudta a felsőbb növényi részekbe. **Kulcsszavak:** Konverteriszap, nehézfém, fitoextrakció, akkumuláció, transzlokáció.

Abstract: The main objective of our research was to select plant species with high phytoextraction potentials that could reduce the high lead and zinc concentrations in the converter sludge. For our experiments, mixture of converter sludge and potting soil was used in a ratio of 5–10–15% and four test plants: basil, marigold, bean and penny cress. The lead and zinc contents of the samples were measured by ICP–OES after nitric acid–hydrogen peroxide extraction. The results obtained showed that the lead content of the sludge/soil mixtures decreased on average by 35–61 % and the zinc content by 32–60% depending on the plant species.

* *Dunaiújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet*
E-mail: kovacsbe@uniduna.hu

** *Dunaiújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet*
E-mail: juhaszildiko@uniduna.hu

[1] Kovács-Bokor Éva (2022): *Iszapok nehézfém-tartalom mobilizációjának monitorozása, a nehézfém-tartalom csökkentése kémiai és biológiai módszerekkel*. Veszprém: Pannon Egyetem, Vegyész-mérnöki és Anyagtudományok Doktori Iskola. p. 139.

[2] Perei K.–Pernyeszi T.–Lakatos Gy. (2012): *Bioremediáció*. Szeged: Szegedi Tudományegyetem.

[3] Erdei L. (2015): *Fito(bio)remediáció. A környezet megtisztítása növényekkel*. Szeged: JATE Press.

The lead and zinc accumulated in the plants remained mostly (50–80%) in the root system of the test plants, only the marigold was able to accumulate these elements in its leaves to a higher extent (45–48%). Based on bioaccumulation factor ratios, dry bean and basil were more efficient in accumulating lead, while marigold was more efficient in accumulating zinc. According to the translocation factor ratios, lead could only be mobilized by marigold, whereas zinc could be mobilized by basil in addition to marigold. **Keywords:** Converter sludge, heavy metal, phytoextraction, accumulation, translocation.

Bevezetés

A jelenleg alkalmazott ipari eljárások során többféle ipari iszap keletkezik (pl. vörös-iszap, konverteriszap, galvániszap stb.), amely egy-egy gyártási folyamat melléktermékeként jön létre. Az ipari iszapokban a toxikus összetevők mellett számos, akár a növények fejlődésére serkentő hatást gyakorló, ún. esszenciális összetevőt (pl. cink, réz) is tartalmazhatnak. Ezek mellett számos olyan elemet is találhatunk bennük, amelyek kivonása esetén alapanyagként az ipari technológiában újra felhasználhatóvá válna, így ezen komponensek (ritkaföldfémek) visszanyerése jelentős profitot is termelhet. [1]

A folyóvízi iszapok, vagy talajok szennyezettségének csökkentésére napjainkban többféle (bio)remediációs módszer ismert. A *remediálás* szó egy terület megjavítását, meggyógyítását, jelenti, a latin *remedium* = gyógyszer, orvosság, orvoslás kifejezés alapján. A *remediáció* az a tevékenység, amikor a talajt vagy az iszapokban található szennyező anyagok mennyiségét határérték alá csökkentjük. [1], [2]

Ez egy elég innovatív, újszerű technológiai megoldásnak számít napjainkban. Ha egy területen a szennyezés diffúz, vagy a kiterjedése nagy, akkor alkalmazzák inkább a bioremediációt a költségesebb kémiai és fizikai módszerekkel szemben. A bioremediációnak két fajtája ismert. Az egyik, amikor a talajban lévő, vagy oda bejuttatott mikroorganizmusokat alkalmazzák a szennyezők megkötésére, eltávolítására. A másikonál a nagy, hatékony potenciállal rendelkező növényfajok/fajták fitoremediációs képességét használják fel. [2], [3]

A fitoremediációs módszerek előnye, hogy környezetbarát, és nagy területen alkalmazhatók; a talaj biológiai aktivitása, termékenysége fennmarad általa; nem terheliük a környezetet veszélyes anyagokkal (pl. oldószerek); kisebb költségeket jelent más remedálási módszerekhez képest; továbbá az eljárás végén a növényi anyag elégetése után visszamaradt hamuból egyes szennyező anyagok (pl. nikkel) visszanyerhetők. Hátrányai, hogy eléggé időigényes folyamat, továbbá a növények nem vesznek fel, vagy nem bontanak le egyes összetevőket. Emellett az eljárás során a növényeket gondozni kell (tápanyagokkal, vízzel el kell őket látni) [2], [3], [4], [5], [6], [7].

A fitoremediáció történhet folyamatos fitoextrakcióval, amely során olyan hiperakkumulátor növényfajtaikat telepítenek a szennyezett területre, amelyek növekedésük során folyamatosan kivonják a szennyező anyagokat a talajból, iszapból. Másik módszere a *fitofiltráció*, amely a talajvízből és a szennyezett szennyvízből származó szennyeződések eltávolítására szolgáló technika [4]. *Rizofiltráció* során a fémeket (pl. ólom), és radionuklidokat a szennyezett vízből növényi gyökerek segítségével távolítják el. [4], [7] A *fitovolatilizáció* jelentése: *fito* = növény, *volatizáció* = illékonnyá tétel. *Fitoevaporáció*nak is nevezik. A folyamat során a növények illékonnyá teszik a talajban, üledékben, vízben lévő szennyező anyagokat (pl. szelént, higanyt, arzént) [4], [6], [7]. A fitostabilizációt fitoszekvesztrálásnak/fitodepozíciónak is nevezik, amely a talajban található szennyező anyagok rögzítését/megkötését jelenti. [1], [4], [6], [7]

Kutatásunk során a rendelkezésünkre álló konverteriszap magas ólom- és cinktartalmát kíséreltük meg csökkenteni fitoextrakciós módszer alkalmazásával. Erre alkalmas növényfajokat kerestünk főként a szakirodalmi ajánlások alapján. Az elemtartalmakat ICP-OES-készülékkel mértük meg, majd a kapott értékekből a növények bioakkumulációs és transzlokációs képességét határoztuk meg.

[4] Simon L. (2004): Fitoremediáció. *Környezetvédelmi Füzetek*. Budapest: BMKE-OMIKK, pp. 1–59.

[5] Anton A.–Dur Gy.–Gruiz K.–Horváth A.–Kádár I.–Kiss E.–Nagy G.–Simon L.–Szabó P. (1999): *Talajszennyeződés, talajtisztítás*. Budapest: Környezet- és Természetvédelmi Szakkönyvtár és Információs Központ.

[6] Singh, H.–Verma, A.–Kumar, M.–Sharma, R.–Gupta, R.–Kaur, M.–Negi, M.–Sharma, S. K. (2017): Phytoremediation: A Green Technology to Clean Up the Sites with Low and Moderate Level of Heavy Metals. *Austin Biochem*, 2., (2.), p. 1012.

[7] Hooda, V. (2007): Phytoremediation of toxic metals from soil and waste water. *Journal of Environmental Biology*, 28., (2.), pp. 367–376.

[8] Márkus R.–Grega O. (2011): *Veszélyes hulladéknak minősülő ipari eredetű porok és más hulladékok veszélyességének megszüntetése, hasznosítási lehetőségeik kidolgozása*. <http://anyagokvilaga.hu/tartalom/2011/1/osszefoglalo.pdf>

Felhasznált anyagok és módszerek

1. Konverteriszap jellemzése

Laboratóriumi kísérleteink során az ISD–Dunaferr Zrt. acélgyártási folyamatában melléktermékként keletkező konverteriszapot használtuk fel. Az ISD–Dunaferr Zrt. iszapjának cinkkoncentrációja 0,67–3,95%, a Pb-tartalom 0,2–0,4% közötti. [8]

A kísérleteket megelőzően a konverteriszap összetételét XRF-módszerrel is meghatároztuk, az elemtartalmat az 1. táblázat tartalmazza.

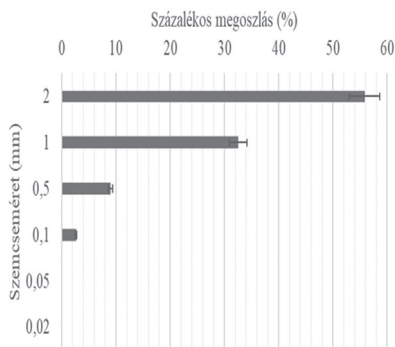
1. táblázat. A konverteriszapban mért elemtartalmak:

Elemek:	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn	Rb	Cd	Sn	Ni	Pb	Cr
Átlag: (ppm)	10 887.25	258.25	9361.25	469 273.8	234	41 475.25	61.67	155	206	0	5235.5	411.5

2. Biohumuszos virágföld (bioföld) jellemzői

A biohumuszos virágföld pH-értéke $6,4 \pm 0,5$ volt, szervesanyag-tartalma min. 70% körüli, nitrogéntartalma 1,0 m/m%, K_2O -tartalma 0,3 m/m%, továbbá a P_2O_5 -mennyisége 0,1 m/m%. A szemcseméret összetételét vizsgálva (1. ábra) 56%-ban a 2 mm feletti frakció volt többségben, 50 μm alatti tartományban nem volt mérhető mennyiségű talaj a szitákban. Mész tartalma 3,04 % volt.

1. ábra. A biohumuszos virágföld szemcseméret-eloszlása



3. Tesztnövények

A biohumuszos virágföldbe a konverteriszapot 5–10–15% arányban kevertük be. A fitoextrakciós kísérletek elvégzéséhez szakirodalmi ajánlások alapján négy tesztnövényfajt választottunk ki: bazsalikomot (*Ocimum basilicum* L.); mezei tarsókat (*Thlaspi arvense* L.); kisvirágú bársonyvirágot (*Tagetes patula* L.); és szárazbabot (*Phaseolus vulgaris* L. var. Coco) (2. a, b ábra, 3. a, b ábra).

2. ábra. (a) mezei tarsóka és (b) bazsalikom



(a)

(b)

Forrás: Saját fotó.

3. ábra. (a) szárazbab és (b) bársonyvirág



(a)

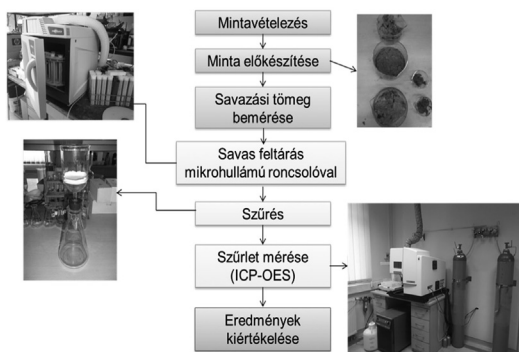
(b)

Forrás: Saját fotó.

4. A talaj/iszap keverékminták feltárásának menete

A talaj/iszapos keverékek elemtartalmát salétromsavas–hidrogén-peroxidos feltárással, ICP–OES-készülék segítségével mértük meg (4. ábra). Ennek első lépéseként a növények vetésekor és a kísérlet végén vett iszapos talajmintákat szárítottuk, majd ledaráltuk. A mintákat ezután CEM MARS 6 típusú mikrohullámú roncsolóval tártuk fel. A szűrletek cink- és ólomtartalmát pedig Perkin Elmer Avio200 típusú ICP–OES-készülékkel mértük meg.

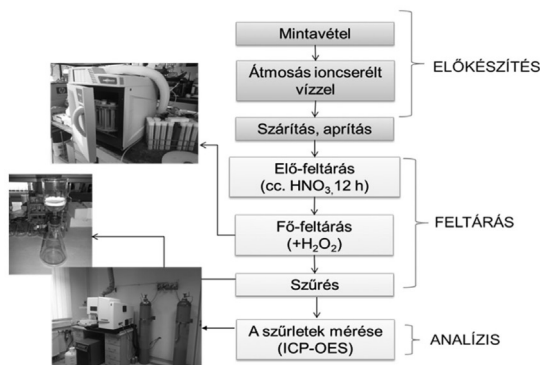
4. ábra. Az iszapos talajminták elemtartalmának lépései



5. A növényminták feltárásának menete

A tesztnövény-minták cink- és ólomtartalmát hasonló módon határoztuk meg, mint az iszap/talajkeverékeket. A szilárd, növényi minták feltárásához szintén salétromsavas–hidrogén-peroxidos módszert választottunk ki. A növénymintákat szárítás és aprítás után előkezeltük, 12 órán keresztül salétromsavban hagytuk őket. Ezután a mintákat CEM MARS 6 típusú mikrohullámú roncsolóval tártuk fel, s szűrés után a kapott oldatok elemtartalmát Perkin Elmer Avio200 típusú ICP–OES-készülékkel határoztuk meg (5. ábra).

5. ábra. A növényminták elemtartalmának mérése



6. Növények fitoextrakciós potenciáljának faktorszámítása

a.) BAF= Bioakkumulációs faktor

BAF: a növény hajtásában (szár+levél) és az üledékben található nehézfém tartalom aránya. [9] [10]

$$BAF = C_{\text{hajtás}} / C_{\text{üledék}}$$

Ahol:

- $C_{\text{hajtás}}$ = növény szárában, levelében található elemkoncentráció (mg/kg)
- $C_{\text{üledék}}$ = ültetőközegben (iszap+talaj) mért elemkoncentráció (mg/kg)

b. TF=Transzlokációs faktor

TF: a növény föld feletti hajtásában (szár+levél) és a növény gyökerében mért nehézfém-koncentráció aránya. [9] [10]

$$TF = C_{\text{hajtás}} / C_{\text{gyökér}}$$

Ahol:

- $C_{\text{hajtás}}$ = növény szárában, levelében található elemkoncentráció (mg/kg)
- $C_{\text{gyökér}}$ = a növény gyökérzetében mért elemkoncentráció (mg/kg)

[9] Lago-Vila, M.–Arenas-Lago, D.–Rodríguez-Seijo, A.–Andrade Couce, M. L.–Vega, F. A. (2015): Cobalt, chromium and nickel contents in soils and plants from a serpentinite quarry. *Solid Earth*, 6., (1.), pp. 323–335.

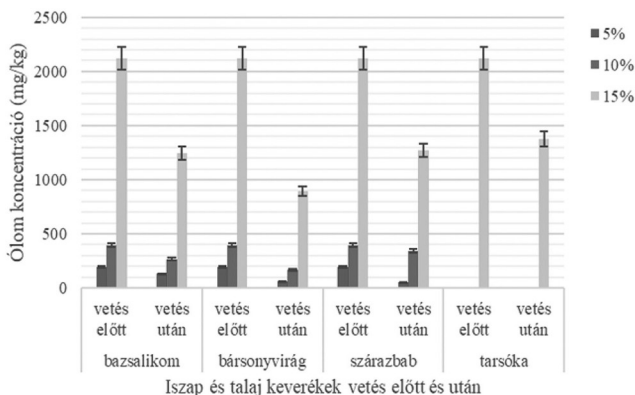
[10] Mehr, M. R.–Keshavarzi, B.–Moore, F.–Hooda, P. S.–Busquets, R.–Ghorbani, Z. (2020): Arsenic in the rock–soil–plant system and related health risk in a magmatic–metamorphic belt. *Environmental Geochemistry Health*, 42., (11.), pp. 3659–3673.

Eredmények

1. Talaj/iszapminták ólomtartalmának változása

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a keverékek ólomtartalma minden növénynél csökkent az ültetés hatására. Az átlagos ólomcsökkenés aránya bazsalikom esetén 35%, bársonyvirág esetén 61%, szárazbab esetén 42%, tarsóka esetén: 35% volt (6. ábra).

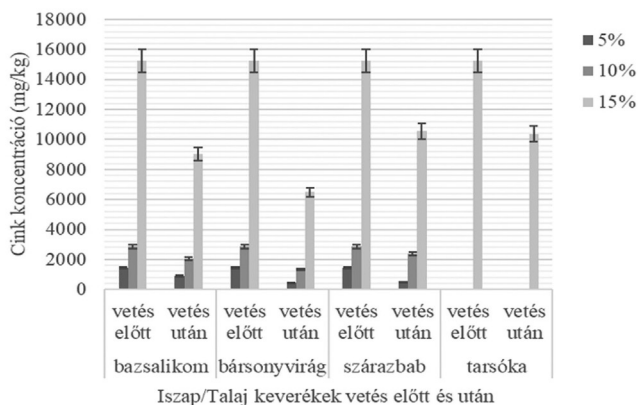
6. ábra. Az iszapos talajkeverékek ólomtartalmának változása



2. Talaj/iszapminták cinktartalom-változása

Az ültetető közegek cinktartalmát vizsgálva elmondható, hogy szintén csökkent a koncentráció a kísérlet végére. A cink átlagos csökkenési aránya bazsalikom esetén 36%, bársonyvirágnál 60%, szárazbab esetén 37%, tarsóka esetén 32% volt (7. ábra).

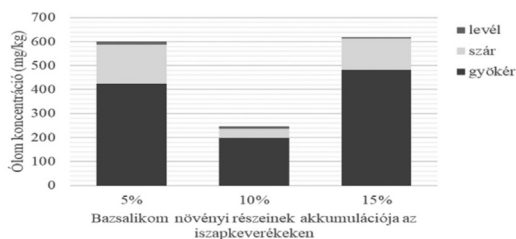
7. ábra. Az iszapos talajkeverékek cinktartalmának változása

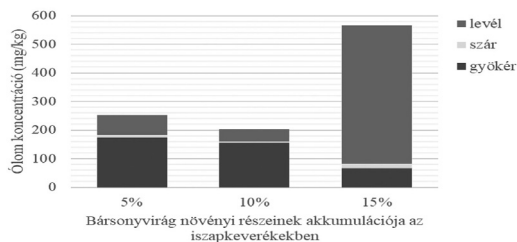
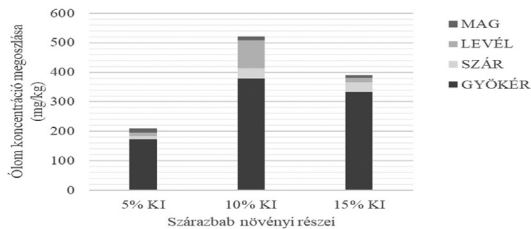
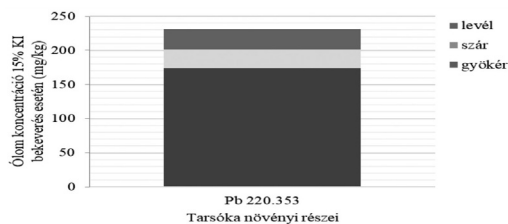


3. A teszt növények részeinek ólomtartalma

Az eredmények alapján elmondható, hogy bazsalikom esetén volt a legtöbb ólom (átlagosan 76%) a gyökérben, legkisebb arányban pedig a levelekben (átlagosan 2%) halmozódott fel. A bársonyvirágnál már nagyobb mértékben halmozódott fel ez az elem a levelekben. Míg a gyökérzetben átlagosan a növényben mérhető összes ólom 52%-a, addig a levelekben 44%-a akkumulálódott. A szárazbabban detektált ólom-mennyiségek szerint jól látható, hogy ez az elem inkább a gyökerekben (83%), mint a levelekben (4-6%) raktározódott. A tarsókában ez az elem inkább a gyökérzetben maradt (8-11. ábra).

8. ábra. A bazsalikom növényi részeinek ólomtartalma

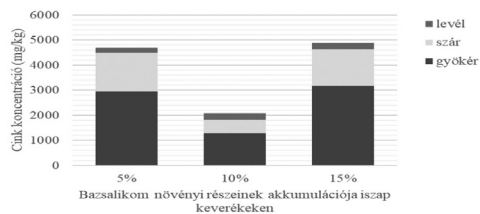


9. ábra. A bársonyvirág növényi részeinek ólomtartalma**10. ábra. A szárazbab növényi részeinek ólomtartalma****11. ábra. A tarsóka növényi részeinek ólomtartalma****4. A teszt növények részeinek cinktartalma**

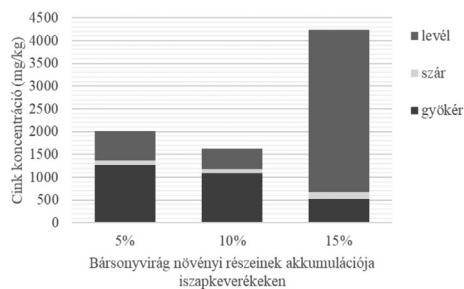
A bazsalikomnál mérhető összes cinkmennyiséghez viszonyítva a gyökerekben a cink 63%-a volt jelen, míg a levelekben csupán 7%-a. A bársonyvirág esetén a cink könnyebben épült be a levelekbe. A cink a gyökerekben átlagosan 47%, a levelekben pedig 48% volt jelen. A legnagyobb cinkkoncentrációt 15%-os iszapjelenlét mellett mutattuk ki a levelekből (84%). A szárazbab esetén a cink átlagosan 72%-ban csak a gyökérzetben maradt. 10%-os bekeverési aránynál mértük a legmagasabb cinktartalmat a növényben.

A levelekben nagyobb arányban volt jelen (23%), mint a többi keverék esetén (6–7%). A tarsóka ezt az elemet már nagyobb százalékban tudta a szárában és a leveleiben akkumulálni (12–15. ábra).

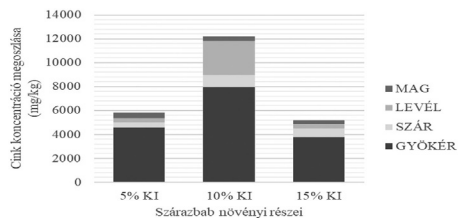
12. ábra. A bazsalikom növényi részeinek cinktartalma



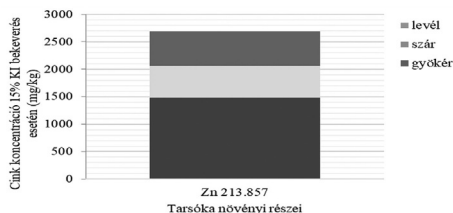
13. ábra. A bársonyvirág növényi részeinek cinktartalma



14. ábra. A szárazbab növényi részeinek cinktartalma



15. ábra. A tarsóka növényi részeinek cinktartalma



5. Faktorszámítások

A BAF-értékek szerint ólmot és a cinket is leginkább a bazsalikom és a bársonyvirág tudta akkumulálni a keverékekből. A transzlokációs faktorszámokat áttekintve megállapítható, hogy az ólmot inkább a bársonyvirág, míg a cinket a bársonyvirág mellett a tarsóka is mobilizálni tudta a felsőbb növényi részekbe (2. táblázat).

2. táblázat. A bioakkumulációs és transzlokációs faktorértékek

Pb	bazsalikom			bársonyvirág			szárazbab			tarsóka
	5%	10%	15%	5%	10%	15%	5%	10%	15%	15%
BAF	0,99	0,93	0,5	0,41	0,3	0,63	1,74	0,28	0,08	0,04
TF	0,42	0,25	0,28	0,46	0,30	7,43	0,13	0,34	0,15	0,33

Zn	bazsalikom			bársonyvirág			szárazbab			tarsóka
	5%	10%	15%	5%	10%	15%	5%	10%	15%	15%
BAF	1,25	1,00	0,54	46,22	0,30	0,65	0,18	0,04	0,01	0,12
TF	0,59	0,62	0,55	0,59	0,50	7,08	0,17	0,48	0,29	0,82

Összegzés

Az iszap/talajkeverékek eredményei alapján megállapítottuk, hogy a keverékek cink- és ólomtartalma növények segítségével csökkenthető. Az iszap és talajkeverékek átlagos ólom- és cinktartalom-csökkenése a bársonyvirágnál elérte a 60%-ot. A növények fitoextrakciós-potenciál sorrendje a talaj/iszapkeverékek Pb- és Zn-tartalmának csökkenése alapján:

bársonyvirág < szárazbab < bazsalikom(<=) tarsóka

A növényi részek elemtartalma szerint a legjobb bioakkumulációs képességgel a bársonyvirág és a bazsalikom rendelkezik. A legjobb transzlokációs képességgel: a bársonyvirág (Pb, Zn), és a tarsóka (Zn) rendelkezik. A négy tesztnövény közül a bársonyvirág alkalmazható leginkább az ilyen jellegű szennyezett talajok, vagy iszapok remedálására.