

POTENCIÁLISAN TOXIKUS ELEMÉK BIOAKKUMULÁCIÓJA MEDDŐHÁNYÓN FEJLŐDŐ FÁSSZÁRÚ NÖVÉNYEKBEN

SZABÓ VIVIEN – JOVITO L. OPEÑA – HORVÁTH MÁRK –
ÁRGYELÁN JÓZSEF TIBOR – HALÁSZ GÁBOR ENDRE

Összefoglalás

Munkánk célja az ércbányászat környezeti hatásainak vizsgálata volt egy észak-magyarországi mintaterületen. A gyöngyösoroszi bánya mátraszentimrei telephelyének egyik meddőközet-tárolóján talaj- és növénymintákat gyűjtöttünk, majd roncsolás után mértük ezek cink-, kadmium-, ólom- és rézkoncentrációját. A talajminták elemtartalma igazolta a szennyezettséget, az ólomtartalom hétszeresen meghaladta a földtani közegre vonatkozó szennyezettségi határértéket. A fás szárú növénymintákban jelentős mennyiségű ólom- és cinktartalmat mértünk, és meghatároztuk a biokoncentrációs faktort és a transzlokációs faktort. Valamennyi faj esetében jelentős mennyiségű ólom volt mérhető a gyökerekben. A vizsgált fajok közül a nyír esetében mutatkozott a legnagyobb bioakkumulációs képesség, amely jórészt a hajtásban és a levelekben képes a cinket felhalmozni, ami alkalmassá teheti bioremediációs felhasználásra.

Kulcsszavak: bányászat, nehézfémek, szennyezés, bioakkumuláció, fásszárúak

JEL kód: Y80

BIOACCUMULATION OF POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS IN WOODY PLANTS GROWING IN A WASTE ROCK DEPOSIT

Abstract

The aim of our work was to study the environmental impacts of ore mining in a sample area in Northern Hungary. Soil and plant samples were collected in a waste rock deposit at the Mátraszentimre site of the Gyöngyösoroszi mine, and after digestion the concentration of zinc, cadmium, lead and copper were measured. The elemental content of the soil samples confirmed the contamination, with lead levels seven times above the contamination limit for the geological medium. Significant levels of lead and zinc were measured in woody plant samples and the bioconcentration factor and translocation factor were determined. In all species significant amounts of lead were measured in the roots. Among the species studied, birch showed the highest bioaccumulation capacity, being able to accumulate zinc largely in shoots and leaves, which may make it suitable for bioremediation.

Keywords: mining, heavy metals, pollution, bioaccumulation, wood species

Bevezetés

A potenciálisan toxikus elemek természetes módon jelen vannak környezetünkben, azonban az ipari forradalom óta az emberi tevékenység hatására környezetbe jutó és mobilizálódó elemek mennyisége nagyságrendekkel meghaladja a geokémiai ciklusból származó anyagforgalmat. (PEREI et al., 2012) Az ipar, a bányászat, a közlekedés és a mezőgazdaság egyaránt hozzájárult a nehézfémterhelés növekedéséhez. A meddőhányók létesítésével összefüggő talajszennyezés különösen nagy jelentőségű. (BARNA, 2008; SZŰCS-VÁSÁRHELYI, 2019)

Magyarországon a Mátra térségében miocén korú, andezites hidrotermális ércesedés szolgált alapjául az ércbányászatnak. A kitermelés 1986-ban megszűnt a Mátraszentimre és Gyöngyös-oroszi térségében elhelyezkedő bányában, majd 2004-ben megindultak a kármentesítési, tájrendezési és rekultivációs tevékenységekkel kapcsolatos tervezési, engedélyeztetési és kivitelezési munkálatok. A területet a Nitrokémia Zrt. kezeli. A mátrai bányászat környezeti hatásaival több kutatás foglalkozott. (HAHN et al., 1998; SIKLÓSSY, 1977)

A felhagyott meddőhányó területéről származó szennyezés talajba ill. ivóvízbe kerülve humán- és környezetegészségügyi kockázatot jelenthet. A nehézfémek a növények által felvehetővé válhatnak, a táplálékláncon keresztül eljuthatnak az emberi szervezetbe. A területen található Toka-patak üledéke és az ártéri területek talaja olyan mértékben szennyeződött, hogy a talajban és az ott termelt növényekben határértékeket meghaladó ólom- és cinkkoncentrációkat találtak. (LÁZÁR, 2005) A növényekben igen nagy mennyiségű nehézfém halmozódhat fel látható toxicitási tünetek nélkül, jelenlétük azonban ettől függetlenül veszélyt jelenthet a környezetre (KOVÁCS-SZEMMELVEISZ, 2012) Munkánk során összefüggést kerestünk a mintaterület talajában és az azon fejlődő fásszárú növényekben található elemtartalmak között.

A szennyezettnek minősülő talajok kármentesítésének egyik módja a fitoextrakció, mely során a szennyező anyagokat akkumulálni képes növények a talajra, vízre különösen káros nehézfémeket, például az általunk is vizsgált ólmot, kadmiumot, cinket és rezet képesek megkötni a talajból. Ezek a szennyezők a növények könnyen betakarítható föld feletti szerveibe, hajtásába ill. gyökerébe helyeződnek át. A fitoextrakció irányított, tervezett és monitorozott kármentesítési technológiát jelent, azonban egy használaton kívüli bányaterületen megjelenő természetes növénytakarónál is figyelembe kell vennünk a növény akkumulációs képességét, mint a talaj összetételét megváltoztató, vagy szennyezettségi szintjét csökkentő tulajdonságát. (KOVÁCS-SZEMMELVEISZ, 2012)

Anyag és módszer

Mintavétel

A Mátraszentimrei lejtősakna meddőhányón talaj- ill. meddőközetmintákat vettünk a felső 25 cm-es rétegből szűrőbotos mintavevővel, valamint növénymintákat gyűjtöttünk 2019 júniusában. A mintákat polietilén zacskókban tároltuk, majd szobahőmérsékleten szállítottuk a laboratóriumba.

Mintaelőkészítés

A talaj- és meddőközetmintákat a laborban szétterítve szobahőmérsékleten szárítottuk, majd achát mozsárban homogenizáltuk.

A növényi részek mintavétele során a begyűjtött mintákat polietilén zacskóban tároltuk és szállítottuk. A lágyszárú részeket és valamennyi levelet ultracentrifugális darálóban őröltük a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Környezettudományi Intézet Környezetanalitikai és

Környezettechnológiai Tanszék Környezetkémiai Csoport laboratóriumában. A fás részeket a Soproni Egyetem Kémiai Intézetében kalapácsos darálással őrölték.

A minták feldolgozása és vizsgálata során két vonatkozó szabványt alkalmaztunk: MSZ 214070-50:2006 (Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Az összes és az oldható toxikus elem-, a nehézfém- és a króm(VI) tartalom meghatározása.), MSZ EN ISO 11885:2009 (Vízminőség. Egyes kiválasztott elemek meghatározása induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometriával (ICP-OES) (ISO 11885:2007).

Roncsolás során analitikai mérlegen 0,3000-0,4500 g légszáraz mintát mértünk be, melyhez hozzáadtunk 5 ml 65 m/m% -os HNO₃-t és 3 ml 30 m/m% -os H₂O₂-ot és mikrohullámú energiaközléssel elroncsoltuk CEM MARS5 mikrohullámú feltáróban az alábbi program szerint:

- 20 perc felfűtési idő (800 W, 180°C-ig, vagy 450 psi nyomásig)
- 15 perc szinten tartás (800 W, 180°C, vagy 450 psi nyomásig)
- 5 perc pihentetés (0 W)
- 10 perc roncsolás (800 W, 180°C vagy 450 psi)
- kb. 25 perc visszahűtés

Roncsolás után a visszamaradt folyadékot MN 389-es szűrőpapíron szűrtük, majd 25 ml-re töltöttük HPLC minőségű vízzel.

Elemanalízis

Az induktív csatolású plazma optikai emissziós (ICP-OES) módszer 70–80 elem kimutatását ill. mennyiségi meghatározását teszi lehetővé. A mintaoldatot porlasztással aeroszollá alakítva, gázárammal juttatjuk az induktív csatolású plazmába, ahol a minta komponensei elpárolognak, atomizálódnak, a keletkező szabad atomok, illetve ionok gerjesztődnek és az elemekre jellemző hullámhosszú fotonokat bocsátanak ki. A plazma fényemisszióját polikromátorral spektrálisan felbontjuk és az egyes elemek adott hullámhosszú spektrumvonalának intenzitását optikai detektor(ok) segítségével mérjük. (POKOL et al., 2011)

Az ICP-OES jó kimutatási képességű (0,1-10 ng/cm⁻³) sokelemes módszer. Az általunk használt HORIBA Jobin Yvon ACTIVA-M ICP-OES készülék működési paraméterei a következők voltak: 1300 W plazma teljesítmény; plazma gázáram (Ar) 16 l/h; burkoló gázáram (Ar) 0,4 l/h; segéd gáz (Ar) 0,3 l/h. Porlasztó nyomás: 2,78 bar. Ciklon típusú ködkamra, Meinhard porlasztással, argon nedvesítéssel.

A kiválasztott elemek emisszióját a következő hullámhosszokon mértük:

- Cd 228,802 nm
- Cu 324,754 nm
- Pb 220,353 nm
- Zn 213,857 nm

Standard oldat VWR multieleemes etalon (QC, 1 mg/l), kalibrálóoldat: Merck multieleemes ICP standardból (1000 mg/L) egy lépésben hígítva megfelelő sorozat szerint.

Eredmények

A mintaterületen gyűjtött talajminták közül kiválasztott „B” és „C” minták cink-, kadmium-, ólom- és réztartalmát az 1. táblázat mutatja be, kiegészítve a felszín alatti vizek és földtani közeg minőségi védelméről szóló 219/2004 (VII.21) Korm. rendeletben ill. az ennek végrehajtását segítő 6/2009 (IV. 14) KvVM-EüM-FVM-KHVH együttes miniszteri rendeletben rögzített (B) szennyezettségi határértékekkel és K_i veszélyességi besorolással (mely szerint K₁ a minden esetben veszélyes anyagokat jelöli). A „B” mintavételi pont a meddőhányó alsó, délkeleti részén, a „C” pont magasabban fekvő középső részén helyezkedett el.

Az elemanalitikai mérések eredményeiből megállapítható, hogy a „B” talajmintában a cink és a réztartalom a vonatkozó rendeletben előírt szennyezettségi határérték alatt maradt, az ólom koncentrációja azonban meghaladja azt. A kadmiumtartalom nem érte el a kimutatási határt ($0,02 \text{ mg kg}^{-1}$).

A „C” helyről származó talajmintában a réz szennyezettségi határérték alatt van, ellentétben a cinkkel és az ólommal, amelyek meghaladják a földtani közegre vonatkozó szennyezettségi határértéket. A mintából készült roncsolat kadmiumtartalma az előzőhöz hasonlóan kimutatási határ alatt volt.

Mindkét talajmintában megállapítható, hogy az ólom mennyisége a legjelentősebb. A „B” minta esetében hétszer, a „C” minta esetében hatszor magasabb a mért érték, mint a 100 mg kg^{-1} szennyezettségi határérték.

1. táblázat: Talajminták elemtartalma, szennyezettségi határértékek és veszélyességi besorolás / Table 1. Elemental content of soil samples, contamination limits and hazard classification

Mintavételi pont	Zn (mg kg^{-1})	Cd (mg kg^{-1})	Pb (mg kg^{-1})	Cu (mg kg^{-1})
B	$162,6 \pm 0,4$	$< 0,02$	797 ± 4	$40,10 \pm 0,30$
C	224 ± 2	$< 0,02$	606 ± 2	$19,24 \pm 0,11$
(B) szennyezettségi határérték	200	1	100	75
Ki besorolás	K2	K1	K2	K1

Forrás: saját szerkesztés, 219/2004 (VII.21) Korm. rendelet, 6/2009 (IV. 14) KvVM-EüM-FVM-KHVH együttes miniszteri rendelet / Source: Own construction based on Government decree 219/2004 (VII.21), joint ministerial decree 6/2009 (IV. 14) KvVM-EüM-FVM-KHVH

A fenti mintavételi pontokon gyűjtött fásszárú növényminták elemanalízisére is sor került. A „B” pontról származó közönséges nyír (*Betula pendula*) és bükk (*Fagus sylvatica*), a „C” pontról közönséges gyertyán (*Carpinus betulus*) és kecskefűz (*Salix caprea*) gyökér, hajtás és levél növényi részeinek cink-, kadmium-, ólom- és réztartalmát határoztuk meg roncsolás után.

A mérések eredményét fafajonként mutatjuk be.

2. táblázat: A „B” mintavételi pontról származó közönséges nyír (*Betula pendula*) részeinek elemtartalma / Table 2. Elemental content of parts of silver birch (*Betula pendula*) from sampling site B

Közönséges nyír (<i>Betula pendula</i>)			
	gyökér	hajtás	levél
Zn (mg kg^{-1})	$163,90 \pm 1,02$	$347,54 \pm 1,92$	$571,25 \pm 4,38$
Cd (mg kg^{-1})	$0,36 \pm 0,01$	$1,04 \pm 0,00$	$1,39 \pm 0,02$
Pb (mg kg^{-1})	$203,36 \pm 0,75$	$27,66 \pm 0,42$	$8,73 \pm 0,48$
Cu (mg kg^{-1})	$6,95 \pm 0,03$	$2,59 \pm 0,01$	$4,29 \pm 0,05$

Forrás: saját szerkesztés / Source: Own construction

A 2. táblázatban bemutatott eredményekből látható, hogy a közönséges nyír jelentős mennyiségű cinket halmoz fel, különösen a levelekben. A kadmium kimutatható volt, legnagyobb koncentrációban ugyancsak a levelekben. Az ólom és a réz koncentrációja a gyökérben jóval nagyobb volt, mint a hajtásban és a levelekben.

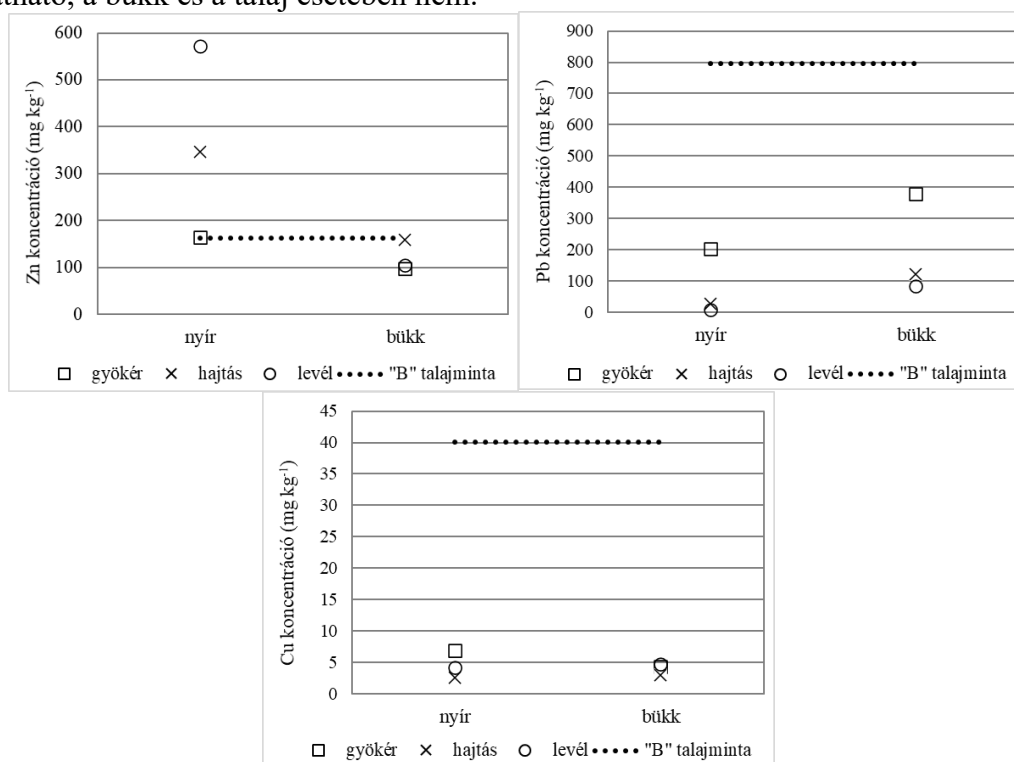
A 3. táblázatban bemutatott bükk esetében a cink- és ólomtartalom jelentős, előbbi a hajtásban és levélben nagyobb mennyiségben található, míg utóbbi a gyökerekben halmozódik fel. Kadmiumot nem tudunk kimutatni, a réztartalom a levelekben a legmagasabb.

3. táblázat: A „B” mintavételi pontról származó bükk (*Fagus sylvatica*) részeinek elem-tartalma / Table 3. Elemental content of parts of beech (*Fagus sylvatica*) from sampling site B

Bükk (<i>Fagus sylvatica</i>)			
	gyökér	hajtás	levél
Zn (mg kg ⁻¹)	97,84 ± 1,08	158,44 ± 1,01	105,08 ± 0,49
Cd (mg kg ⁻¹)	< 0,02		
Pb (mg kg ⁻¹)	380,29 ± 4,07	121,34 ± 0,18	83,81 ± 0,43
Cu (mg kg ⁻¹)	4,33 ± 0,03	2,99 ± 0,01	4,81 ± 0,05

Forrás: saját szerkesztés / Source: Own construction

A „B” pontról származó talajminta és növényminták cink-, ólom- és rézkoncentrációját az 1. ábrán foglaltuk össze. A kadmiumtartalmat nem ábrázoltuk, mert az csak a nyír mintákban volt kimutatható, a bükk és a talaj esetében nem.



1. ábra: A „B” mintavételi helyről származó talajminta és növényi részek elem-tartalma / Fig. 1. Element content of the soil sample and parts of plant samples collected in sampling site B.

4. táblázat: A „C” mintavételi pontról származó közönséges gyertyán (*Carpinus betulus*) részeinek elemtartalma

Table 4. Elemental content of parts of common hornbeam (*Carpinus betulus*) from sampling site C

Gyertyán (<i>Carpinus betulus</i>)			
	gyökér	hajtás	levél
Zn (mg kg⁻¹)	124,63 ± 0,55	197,22 ± 1,47	72,29 ± 0,20
Cd (mg kg⁻¹)	1,06 ± 0,03	0,40 ± 0,01	0,11 ± 0,01
Pb (mg kg⁻¹)	170,47 ± 1,10	77,07 ± 0,83	40,59 ± 0,18
Cu (mg kg⁻¹)	8,90 ± 0,6	4,97 ± 0,06	5,23 ± 0,02

Forrás: saját szerkesztés / Source: Own construction

A gyertyán minták 4. táblázatban bemutatott mérési eredményeiből látható, hogy a hajtás cinktartalma a legnagyobb. Az ólom a gyökerekben halmozódik fel, a kadmium és a réz legnagyobb mennyiségben ugyancsak a gyökerekben található.

5. táblázat: A „C” mintavételi pontról származó kecskefűz (*Salix caprea*) részeinek elemtartalma

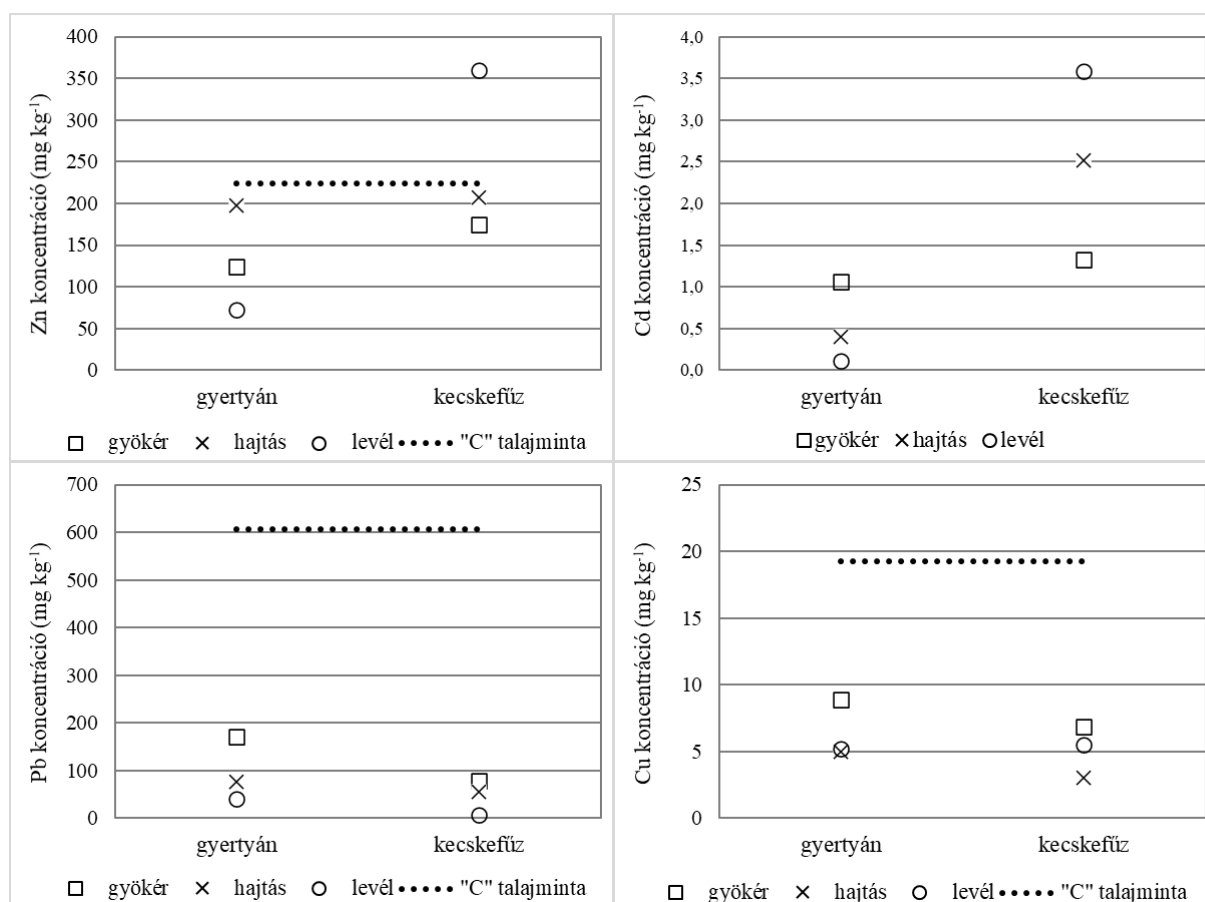
Table 5. Elemental content of parts of goat willow (*Salix caprea*) from sampling site C

Kecskefűz (<i>Salix caprea</i>)			
	gyökér	hajtás	levél
Zn (mg kg⁻¹)	174,17 ± 0,41	207,29 ± 2,25	360,35 ± 1,09
Cd (mg kg⁻¹)	1,33 ± 0,02	2,52 ± 0,04	3,59 ± 0,03
Pb (mg kg⁻¹)	79,25 ± 0,78	55,75 ± 0,87	7,53 ± 0,08
Cu (mg kg⁻¹)	6,86 ± 0,01	3,03 ± 0,01	5,51 ± 0,04

Forrás: saját szerkesztés / Source: Own construction

Az 5. táblázatban látható, hogy a kecskefűz esetében a cink- és kadmiumtartalom a levelekben a legmagasabb, míg az ólom és a réz elsősorban a növény gyökereiben halmozódik fel.

A „C” pontról származó talajminta és növényminták elemkoncentrációit a 2. ábrán foglaltuk össze. Kadmium esetében csak a növényi részek koncentrációi szerepelnek, mert a talajmintából nem lehetett kimutatni.



2. ábra: A „C” mintavételi helyről származó talajminta és növényi részek elemtartalma
Fig. 2. Element content of the soil sample and parts of plant samples collected in sampling site C.

A fásszárú növényminták elemanalízisének mérési eredményeit összevetve megállapítható, hogy a különböző növényi részekben a cink és az ólom található meg a legnagyobb mennyiségben a vizsgált elemek közül, ami összhangban van a talajminták elemtartalmával. A cink a növények számára az egyik legkönnyebben felvehető nehézfém, így a táplálékláncba könnyen bekerülhet és veszélyt jelenthet az emberi egészségre (PEREI et al. 2012), azonban a vizsgálat helyszínéül választott meddőhányó kis mérete, a vadvilág nem számottevő jelenléte és a helyi tápláléklánc emberi vonatkozású táplálkozási kapcsolatának hiánya miatt jelentős humánegészségügyi kockázatra nem kell számítani.

A bioakkumuláció mértékét a biokoncentrációs faktorról (BCF) jellemezhetjük, amit az szervezetben mérhető koncentráció és a környezeti elemekben mérhető aránya ad meg (FEIGL 2011). A fásszárú növényminták elemanalíziséből származó mérési eredmények felhasználásával kiszámítottuk a biokoncentrációs faktor értékeit a $BCF_{\text{növény}} = C_{\text{növény}}/C_{\text{talaj}}$ összefüggéssel (FEIGL 2011). Az eredményeket a 6. táblázatban ismertetjük.

A kadmium esetében nem lehetett kiszámítani a biokoncentrációs faktort, mert koncentrációja a talajmintákban kimutatási határ alatt volt, a növényi részekben viszont mérhető mennyiségben volt jelent kadmium, tehát a vizsgált fajok képesek lehetnek a kadmium akkumulációjára hasonlóan egyes lágyszárú fajokhoz (LEHOCZKY et al. 2006). A cink, ólom és réz esetében a biokoncentrációs faktor többnyire 1 alatti értékű. A közönséges nyír (hajtás, levél) és a kecskefű (levél) esetében a cinkre vonatkozó értékek 1-nél nagyobbak, ennek alapján ezek a fajok képesek a cink felhalmozására.

6. táblázat: Biokoncentrációs faktor értékek a vizsgált fásszárú minták részeiben / Table 6. Bioconcentration factor values in parts of the studied tree species

	Közönséges nyír (<i>Betula pendula</i>)			Bükk (<i>Fagus sylvatica</i>)			Közönséges gyertyán (<i>Carpinus betulus</i>)			Kecskefűz (<i>Salix caprea</i>)		
	gyökér	hajtás	levél	gyökér	hajtás	levél	gyökér	hajtás	levél	gyökér	hajtás	levél
Zn	1,01	2,3	3,51	0,6	0,97	0,65	0,56	0,88	0,32	0,76	0,93	1,61
Pb	0,26	0,03	0,01	0,48	0,15	0,11	0,28	0,13	0,07	0,13	0,09	0,01
Cu	0,26	0,03	0,01	0,11	0,07	0,12	0,46	0,26	0,27	0,36	0,16	0,29

Forrás: saját szerkesztés / Source: Own construction

A gyökér és hajtás által akkumulált elemkoncentrációk aránya a transzlokációs faktor (TLF), amely a gyökérakkumuláció mértékét adja meg. A transzlokációs faktort az alábbi képlet szerint határoztuk meg: $TLF = \frac{\text{fém tartalom}_{(\text{gyökér})}}{\text{fém tartalom}_{(\text{hajtás})}}$ (NAGY 2009), az eredményeket a 7. táblázatban mutatjuk be.

7. táblázat: Transzlokációs faktor értékek a vizsgált fásszárú minták részeiben
Table 7. Translocation factor values in parts of the studied tree species

	Közönséges nyírfa (<i>Betula pendula</i>)	Bükk (<i>Fagus sylvatica</i>)	Közönséges gyertyán (<i>Carpinus betulus</i>)	Kecskefűz (<i>Salix caprea</i>)
Zn	0,47	0,61	0,63	0,84
Cd	0,35	kimutatási határ alatt	2,65	0,53
Pb	7,35	3,13	2,11	1,42
Cu	2,67	1,45	1,79	2,26

Forrás: saját szerkesztés / Source: Own construction

Az adatokból látható, hogy a réz és az ólom elsősorban a fásszárú növények gyökerében dúsul fel, a föld feletti szervekben kisebb koncentrációban található ez az elemek.

Közönséges gyertyán esetében a kadmium akkumulációja is jelentős mértékű a gyökérben.

Általánosságban elmondható, hogy a talajból történő felvételkor a gyökér ólom tartalma nagyobb, mint a hajtásé, és a hajtásban fölfelé haladva csökken az ólomtartalom (KÁDÁR 1991, LEHOCZKY et al. 2002). Ez az állítás az általunk vizsgált fás szárú növény minták elem analízisének vizsgálata során is igazolást nyert. A vizsgált mintákban a kadmium és a cink mozgékonyabb, a növényen belül leginkább a hajtásban és a levélben található nagyobb mennyiségben, ezen elemek koncentrációja a gyökérben a legkisebb.

Kecskefűz esetében igazolást nyert az a korábbi szakirodalmi megállapítás, hogy a kadmium és cink esetében a levelek fémkoncentrációja nagyobb, mint a gyökereké (TÓZSÉR 2018).

Következtetések

A fitoremediációs célú kutatások alátámasztották, hogy a fűz fajok kiemelkedő fémakkumulációs képességgel rendelkeznek. Mélyre hatoló gyökérzetük révén nagy mennyiségű szennyezett talajjal érintkeznek, ezáltal nagy hatékonysággal képesek a szennyezettség csökkentésére. Ezt méréseink részben igazolták, a levél bioakkumulációs faktora ugyanis meghaladta az 1 értéket, ugyanakkor a vizsgált kecskefűz hajtás és gyökér alkotórészekben értéke 1 alatti. Az általunk vizsgált fás szárú növények közül a nyírfának a legjobb a bioakkumulációs képessége. A vizsgált példány valamennyi növényi alkotórészben 1 fölötti biokoncentrációs faktorial rendelkezik cink esetében, így kármentesítési szempontból jelentősége lehet ennek a fajnak.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak a Nitrokémia Zrt-nek a mintavételhez nyújtott segítségért, továbbá Nagy János Györgynek, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Növénytermesztési Tudományok Intézete egyetemi docensének segítségéért a növényminták meghatározásában. Jovito Opeña doktori tanulmányait a Tempus Közalapítvány Stipendium Hungaricum programja támogatta.

Hivatkozott források

- BARNA, SZ. (2008): Növényekre adaptálható gyors bioteszt kidolgozása talajok nehézfém-tartalmának jellemzésére. *PhD értekezés*, SZIE, Gödöllő, 133 p. https://archive2020.szie.hu/file/tti/archivum/BarnaSz_phd.pdf
- FEIGL, V. (2011): Toxikus fémekkel szennyezett talaj és bányászati meddőanyag remediációja kémiaiával kombinált fitostabilizációval. *PhD értekezés*, BME, Budapest 130 p. <https://repositorium.omikk.bme.hu/bitstream/handle/10890/1128/ertekezes.pdf?sequence=1>
- HAHN, GY. – HUDÁK, É. – LOBODA, Z. (1998): Az Észak-magyarországi-középhegység ásványi nyersanyagai és bányászata. *Földrajzi Értesítő* XLVII. 3. 317–358.
- KÁDÁR, I. (1991): A talajok és növények nehézfém-tartalmának vizsgálata. *Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium, MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete*, Budapest. 84p.
- KOVÁCS, H. – SZEMMELVEISZ, T. (2012): Bányászati területek nagy nehézfém-tartalmú talajának hatása a növényvilágra és a növények telepítésével elérhető kármentesítési lehetőség vizsgálata. *Hulladék Online elektronikus folyóirat* 3(2), 1–10. https://folyoirat.hulladekonline.hu/files/202/Kov%C3%A1cs_Szemmelveisz.pdf
- LÁZÁR, B. (2005): Ólomszennyezés vertikális migrációja a Toka-patak árterén. *OTDK*. 42p. http://atomfizika.elte.hu/akos/tezisek/tdk/lazarbence_tdk.pdf
- LEHOCZKY, É. – KISS, ZS. – NÉMETH, T. (2006): Study of the Transfer Coefficient of Cadmium and Lead in Ryegrass and Lettuce. *Communications in Soils Science and Plant Analysis* 37(15-20), 2531–2539. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103620600822986>
- LEHOCZKY, É. – LÓTH, I. – KISS, ZS. (2002): Cadmium and lead uptake by white mustard (*Sinapis alba* L.) grown in different soils. *Communications in Soils Science and Plant Analysis* 33(15-18), 3167–3176. DOI: <https://doi.org/10.1081/CSS-120014513>

NAGY, A. (2009): Természetes kármentesítési technológiák vizsgálata. *PhD értekezés*, Debreceni Egyetem. 141 p.

PEREI, K. – PERNYESZI, T. – LAKATOS, Gy. (2012): Bioremediáció. Szegedi Tudományegyetem 195p. Letöltés dátuma: 2020.11.02. forrás: <https://eta.bibl.u-szeged.hu/id/eprint/1296>

POKOL, Gy. – GYURCSÁNYI, E.R. – SIMON, A. – BEZÚR, L. – HORVAI, Gy. – HORVÁTH, V. – DUDÁS, K.M. (2011): Analitikai kémia. *Typotex Kiadó* 408 p.

SIKLÓSSY, S. (1977): GyöngyöSOROSZI és környékének szerkezeti értékelése. *Földtani Közlemény*, 107(3-4), 348–357.

SZÚCS-VÁSÁRHELYI, N. (2019): A talajszennyezésről általában, különös tekintettel a szerves szennyező anyagokra. *Hadmérnök*, 14(4), 127–146. DOI: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.4.8>

TÓZSÉR, D. (2018): Nehézfémekkel szennyezett talajok fitoremediációjának vizsgálata. *PhD értekezés*. Debreceni Egyetem, Debrecen, 148p.

219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről. Letöltés dátuma: 2020. 10. 23. forrás: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0400219.kor>

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. Letöltés dátuma: 2020. 10. 23. forrás: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0900006.kvv>

Szerzők

Szabó Vivien

MSc hallgató

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet

2100 Gödöllő, Páter K. u. 1.

szabo_vivien@hotmail.com

Jovito L. Opeña

PhD hallgató/associate professor

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet, 2100 Gödöllő, Páter K. u. 1. / Marinduque State College, Panfilo M. Manguera, Sr. Road, Tanza, Boac, Marinduque

- Philippines

jovito1565@gmail.com

Dr. habil. Horváth Márk PhD

egyetemi docens

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet,

2100 Gödöllő, Páter K. u. 1.

horvath.mark.kalman@uni-mate.hu

Dr. Árgyelán József Tibor PhD

projektmérnök

Nitrokémia Zrt.

8184 Balatonfüzfő, Munkás tér 2.

targyelan@nitro.hu

Dr. Halász Gábor Endre PhD

levelező szerző

egyetemi docens

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet,
2100 Gödöllő, Páter K. u. 1.

halasz.gabor.endre@uni-mate.hu

A műre a Creative Commons 4.0 standard licenc alábbi típusa vonatkozik: [CC-BY-NC-ND-4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

