

## BÁNYÁSZATI TERÜLETEK NAGY NEHÉZFÉM-TARTALMÚ TALAJÁNAK HATÁSA A NÖVÉNYVILÁGRA ÉS A NÖVÉNYEK TELEPÍTÉSÉVEL ELÉRHETŐ KÁRMENTESÍTÉSI LEHETŐSÉG VIZSGÁLATA

<sup>(1)</sup> *Kovács Helga*, <sup>(2)</sup> *Szemmelveisz Tamásné*

<sup>(1)</sup> tudományos segédmunkatárs <sup>(2)</sup> PhD, intézetigazgató helyettes, egyetemi docens

*Miskolci Egyetem, Tüzeléstani és Hőenergia Intézeti Tanszék*

### Összefoglaló

Az ökoszisztéma elemei bizonyos határig képesek tolerálni egy kémiai elem többlet mennyisége okozta környezetterhelést, így a talaj összetételben bekövetkezett változásoknak, megnövekedett koncentrációknak is több terhelési szintje van. Amikor azonban a talaj elér és átlép egy szennyezettségi mértéket, akkor szennyező forrássá is válhat.

Magyarországon a különböző ipari tevékenységek eredményeként, az ipari szerkezetváltást követően számos olyan szennyezett bányaterület maradt kihasználatlanul, amelynek talajösszetétele nagymértékben eltérhet az átlagos kémiai összetételtől. Ilyen esetekben a terület kármentesítési kötelezettsége jogilag szabályozott. Vannak olyan területek is, amelyek talajösszetétele nem minősül súlyosan szennyezettnek, vagy a szennyezésről nincs információ, és természetes növénytakaró borítja. Ilyen területeken a fejlődő növény kémiai összetétele eltérhet az átlagostól, másrészt a tápanyagfelvétel közben akkumulált kémiai elemek mennyiségével csökkenhet a talaj terheltsége. A növények növekedése során a vízben oldott ásványi sók a gyökértől a levelekig vándorolnak a szállítószövetekben. A növényeket alkotó elemek nem egyenletesen oszlanak meg a növényi részekben. Kutatásaink alapján egyes fémek a lombzatban (rügy, gally), más fémek a kéregben, illetve törzsben halmozódnak fel.

Vizsgálataink során két különböző szennyezett területről származó fafaj (nyár, tölgy) növényi részeinek (rügy+gally, nagy ág, törzs és kéreg) kémiai összetételét vizsgáltuk.

### 1. BEVEZETÉS

A növényekben metabolikus zavarokat nemcsak a tápanyagok hiánya, hanem túlzott jelenléte is okozhat. Általában a növények sokkal ellenállóbbak a nyomelemek fokozott koncentrációjával, mint annak hiányával szemben. A növények kivágáskor nagy nedvességtartalommal bírnak, amely a száradás során folyamatosan csökken. A nedvességgel felvett tápanyagok – így a magas nyomelem koncentrációk is – a növény különböző részeiben halmozódnak fel.

A fa kémiai összetétele a fát felépítő elemek összességét jelenti. A fa karbon tartartalma ~50%, oxigén tartalma ~43% és hidrogén tartalma ~6%. Ez az elemi összetétel az egyes fás szárú növényeknél nem

tér el nagymértékben. A maradék 1%-ot más, nemfémes és fémes kémiai elemek alkotják - például a nitrogén, a foszfor, a kén, a klór, a szilícium, stb. -, kis mennyiségben szintén fontosak a fa anyagcsere folyamataiban.

A fémes elemek, a kálium, a nátrium, a kalcium, a magnézium, a vas, a réz, a mangán, a bór, stb., a fa természetes állapotában csak nyomokban fordulnak elő a növényekben. A nyomelemek hiánya épp úgy veszélyezteti a fa fejlődését, mint nagy koncentrációban történő felhalmozódásuk. A nyomelemek eloszlása a növényen belül energetikai szempontból is fontos, kiemelt figyelemmel a legveszélyesebb nehézfémekre, vagy a tüzelőberendezésre legnagyobb kockázatot jelentő elemekre.

A vizsgálataink célja az volt, hogy meghatározzuk egyes kémiai elemek, például egyes alkáli fémek és alkáliföldfémek eloszlását felhagyott bányászati területeken nőtt növényekben.

## 2. NEHÉZFÉMEK HATÁSA A NÖVÉNYEK NÖVEKEDÉSÉRE

A talaj és a növények egy határig képesek elviselni valamely nyomelemmel szembeni túlterhelést. Amikor a talaj szennyezőanyag tartalma elér és átlép egy határt, akkor szennyező forrássá is válhat, és a talajszennyezés mobilizálódhat. A szennyeződés tovaterjedése nagymértékben függ

- a szennyezés kémiai összetételétől, minőségétől,
- a szennyezők koncentrációjától,
- a szennyezők oldhatóságától, mobilitásától,
- az élő szervezetekre gyakorolt hatásoktól (beépülési képesség, toxicitás).

Számos vizsgálaton alapuló tanulmányban írtak már a nagy nyomelem koncentráció környezetre, közegekre, talajra gyakorolt káros hatásairól [1][2].

A nyomelemek természetes vagy mérgező koncentrációban való jelenlétének megítélése a növényekben nagyon összetett feladat. Az élő szervezetek kémiai egyensúlya alapvető feltétel a megfelelő növekedéshez és fejlődéshez. A növények nehézfém felvétele nagy mértékben függ a növénytani jellemzőktől.

A koncentráció és a toxicitás közötti összefüggést jól mutatja, hogy nagy koncentrációban a növények számára egyébként nélkülözhetetlen mikroelemek (Cu, Fe, Mo, Mn, Zn, Se) is káros hatásúak, ugyanakkor nagyon kis mennyiségben a közismerten toxikus elemek (Pb, Hg, Cr, Cd) nem gátolják a növények fejlődését. Fontos azonban megjegyezni, hogy a növényekben igen nagy mennyiségű nehézfém halmozódhat fel látható toxicitási tünetek nélkül, jelenlétük azonban ettől függetlenül veszélyt jelenthet a környezetre [3][4][5].

## 3. FÁSSZÁRÚ NÖVÉNYEK KÉMIAI ÖSSZETÉTELE, NEHÉZFÉM TARTALMA

A növényi biomassza, fitomassza összetétele változhat a nedvességtartalom, hamutartalom és biomassza típus függvényében. Mindazonáltal, ha az adatokat száraz mintára vonatkoztatjuk, akkor a

jellemzők értéke keskeny tartományban mozog [6]. A biomasszában található főbb elemek csökkenő sorrendben a C, O, H, N, Ca, K, Si, Mg, Al, S, Fe, P, Cl, Na, Mn és Ti.

Kutatások szerint a nehézfémekkel szennyezett talajon felnőtt fák esetén az Zn tartalom gyökérben meg nem kötött része a levelekben és a kéregben halmozódik fel [7][8]. Több tanulmány eredményei támasztják alá azt, hogy az akkumuláció során a „szennyezők” az aktívan növekvő szövetekben, mint például a hajtásokban és fiatal levelekben halmozódnak fel. A nyárfa vizsgálatok azt az eredményt mutatják, hogy a Zn és a Cd koncentráció a lombzatban a legnagyobb [9]. Egy fa törzsét vizsgálva is változhat a fémek eloszlása [11][12]. Ha csak a fa törzsének kémiai összetételét vizsgáljuk, nem kaphatunk pontos eredményt a növényben található kémiai elemek mennyiségéről, mert az elemek zöme a gallyakban és a rügyekben halmozódik fel [13].

#### 4. NÖVÉNYEKEL TÖRTÉNŐ TALAJTISZTÍTÁS LEHETŐSÉGEI

A bioakkumuláció az élőlények azon tulajdonsága, hogy a vegyületek környezetből történő felvétele eredményeképpen ezeket koncentrálnak, feldúsítják sejtjeikben, szöveteikben.

A szennyezettnek minősülő talajok kármentesítésének egyik módja a fitoextrakció, mely során a szennyező anyagokat akkumulálni képes növények a talajra, vízre különösen káros nehézfémeket (ólom, kadmium, cink) megkötik a talajból [14][15]. Ezek a szennyezők a növények könnyen betakarítható föld feletti szerveibe (hajtásába), illetve gyökerébe helyeződnek át.

Ez a megnevezés ugyan irányított, tervezett és monitoringozott 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.

#### 5. VIZSGÁLATOK, MÓDSZERTAN

Kutatásaink során vizsgálatokat végeztünk annak meghatározására, hogy a kémiai összetétel hogyan változik, a fa különböző részeiben.

Vizsgálatainkhoz nehézfémekkel szennyezett területről vettünk mintákat a nyárfa és a tölgyfa populációból, és a szennyezett talajból. A növényi részek (rügy, gally, nagy ág, törzs belső rész, kéreg) és a talaj elemi összetételét kémiai analízissel állapítottuk meg.

Az összes elemet ICP spektrometriával, a Varian, 720 ES típusú szimultán, axiális plazmafigyelésű ICP spektrométerével határoztuk meg. A pontosság-ellenőrzésre az MERCK Kft által forgalmazott, tanúsítással ellátott multielemes ICP hiteles anyagminta-oldatból kalibráló oldatot használtuk. A minták oldatba-vitele zárt teflon bombában, tömény salétromsavval, 130 °C-on 120 perces időtartamú oldással történt. A lehűlt oldatot 50 cm<sup>3</sup> végtérfogatra töltöttük fel. A klórtartalom meghatározása potenciometriás módszerrel, klorid-ion szelektív elektróddal történt, többszörös standard addícióval

való kalibráció alkalmazásával. A méréshez az ICP-s vizsgálatához előkészített törzsoldatot használtuk fel.

## 6. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ISMERTETÉSE

### 6.1. A VIZSGÁLT BÁNYÁSZATI TERÜLET TALAJVIZSGÁLATAI

A terület szennyezettségének vizsgálatakor a talajminták kémiai összetételét – elsősorban nehézfém tartalmát – határoztuk meg. A faminták környezetéből vett talajok összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A mintául szolgáló növények környezetéből vett talajminták nehézfém tartalma, mg/kg

Minta	Zn	Cu	Cd	Pb	Cr	Ni	Co	Ba
A ter/1	494,7	222,7	8,41	1651	87,12	13,94	28,08	687,3
A ter/2	640,3	275,3	10,43	3542	93,85	20,02	16,68	656,9
B ter/1	2599	326,6	20,28	751,5	101,4	24,54	20,28	365,1
B ter/2	110	67,4	6,22	23,86	88,17	23,76	23,86	477,2
C ter	5028	1113	28,04	9169	66,46	18,91	11,42	404,9

A kiemelt koncentrációk a talajtani szakirodalom, és előírások [16] alapján a terület túlterheltségét, szennyezettségét mutatják.

### 6.2. NYÁRFA, ÉS TÖLGYFA NÖVÉNYI RÉSZEINEK VIZSGÁLATI EREDMÉNYEI

Az 2. táblázatban és a 3. táblázatban feltüntetett mérési eredmények kémiai elemenként mutatják, hogy a különböző növényi részekben az adott elemnek hány százaléka található. A nehezen elkülöníthető rügy és gally részt a továbbiakban együtt kezeljük.

2. táblázat. A kémiai elemek eloszlása a nyárfa növényi részeiben, %

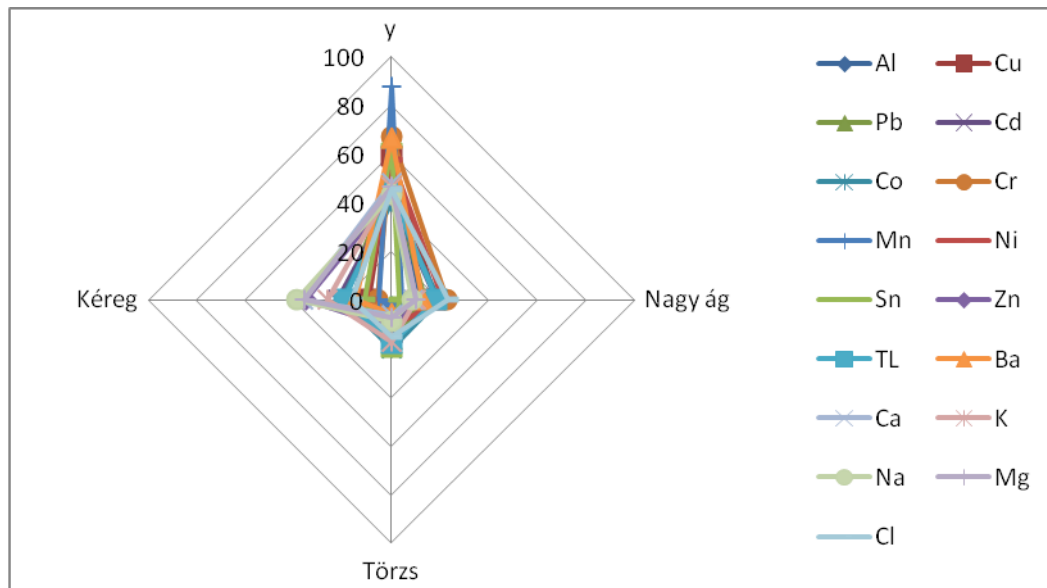
	Rügy+gally	Nagy ág	Törzs belső	Kéreg
Al	56,10	11,15	17,05	15,70
Cu	59,17	18,20	13,17	9,46
Pb	50,36	13,73	16,35	19,56
Cd	41,30	18,73	18,2	21,77
Co	40,32	19,51	19,69	20,48
Cr	67,32	22,79	4,48	5,41
Mn	87,57	4,54	2,57	5,32

	<b>Rügy+gally</b>	<b>Nagy ág</b>	<b>Törzs belső</b>	<b>Kéreg</b>
<b>Ni</b>	57,63	21,42	10,68	10,27
<b>Sn</b>	63,23	3,44	22,33	11,00
<b>Zn</b>	42,86	10,25	11,59	35,3
<b>TL</b>	44,21	18,68	17,94	19,17
<b>Ba</b>	66,74	12,83	5,77	14,66
<b>Ca</b>	48,18	9,38	6,30	36,14
<b>K</b>	46,34	10,07	17,18	26,41
<b>Na</b>	43,67	8,54	9,00	38,79
<b>Mg</b>	46,50	10,29	7,43	35,78
<b>Cl</b>	45,65	23,22	14,88	16,25

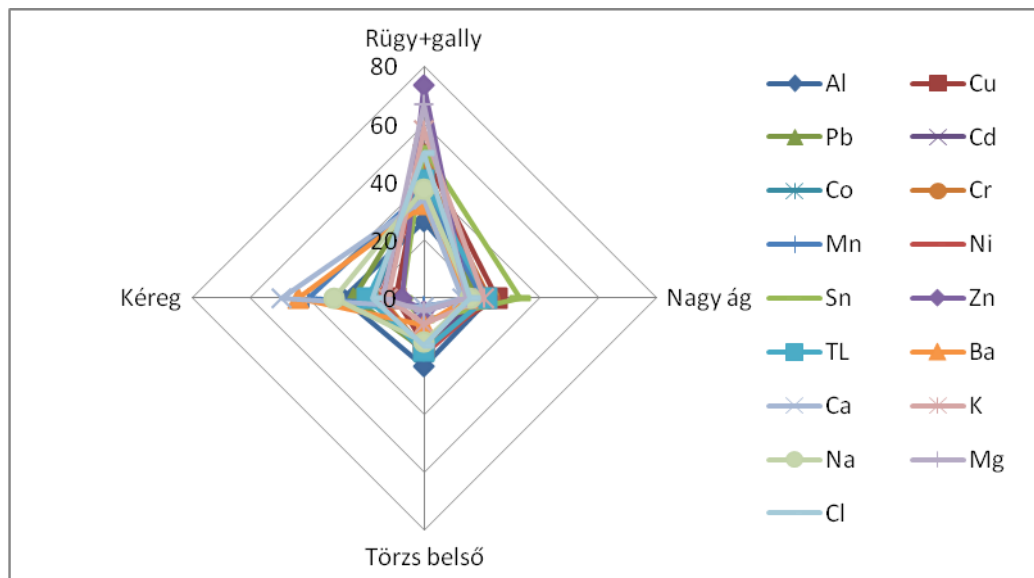
3. táblázat. Az elemtartalmak eloszlása a tölgyfa növényi részekben, %

	<b>Rügy+gally</b>	<b>Nagy ág</b>	<b>Törzs belső</b>	<b>Kéreg</b>
<b>Al</b>	26,36	22,32	23,39	27,93
<b>Cu</b>	49,56	25,15	15,29	10,00
<b>Pb</b>	39,81	18,10	17,66	24,43
<b>Cd</b>	45,92	19,82	16,87	17,39
<b>Co</b>	42,50	20,93	18,58	17,99
<b>Cr</b>	45,21	22,41	17,61	14,77
<b>Mn</b>	37,27	20,37	2,56	39,80
<b>Ni</b>	43,42	21,88	19,31	15,39
<b>Sn</b>	51,88	33,08	7,52	7,52
<b>Zn</b>	73,52	14,69	4,26	7,53
<b>TL</b>	40,58	21,47	18,32	19,63
<b>Ba</b>	32,41	14,81	9,50	43,28
<b>Ca</b>	34,24	13,26	3,07	49,43
<b>K</b>	57,85	20,51	9,04	12,60
<b>Na</b>	37,76	15,98	15,05	31,21
<b>Mg</b>	66,53	14,59	4,63	14,25
<b>Cl</b>	49,99	15,86	16,40	17,75

A táblázatban látható százalékos megoszlásokat a nyárfa esetén az 1. ábra, a tölgyfa esetén a 2. ábra szemlélteti.

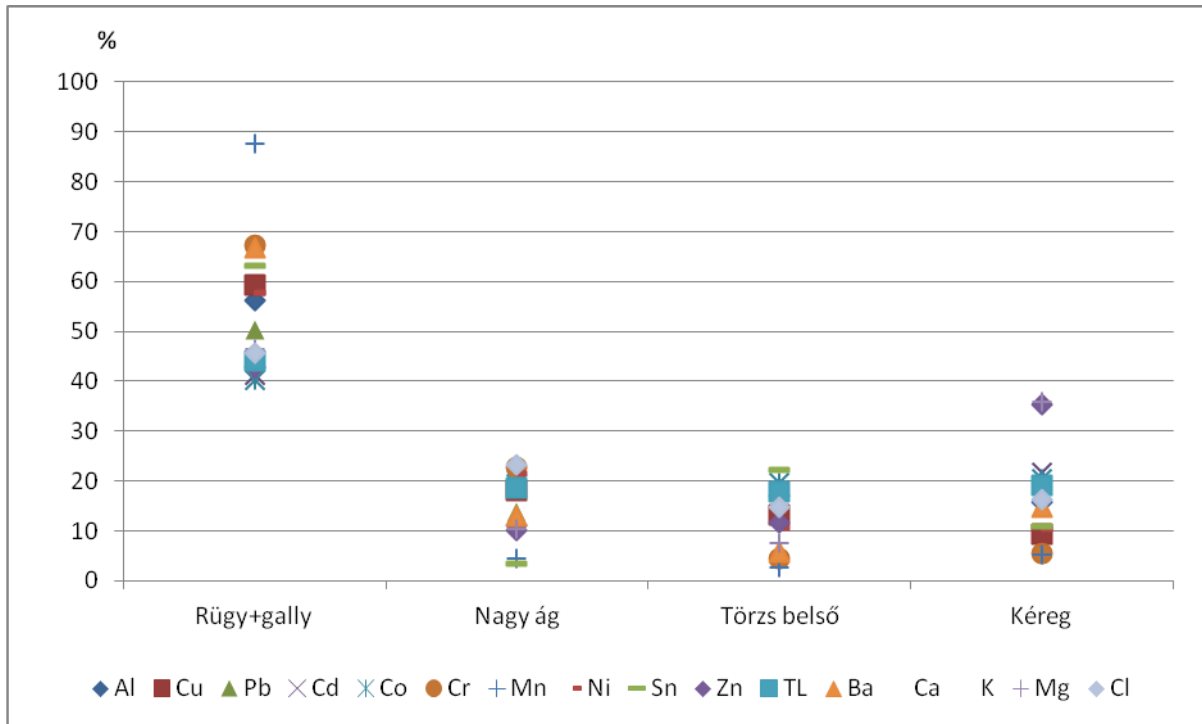


1. ábra. A nyárfa különböző növényi részeinek összetétele %-ban

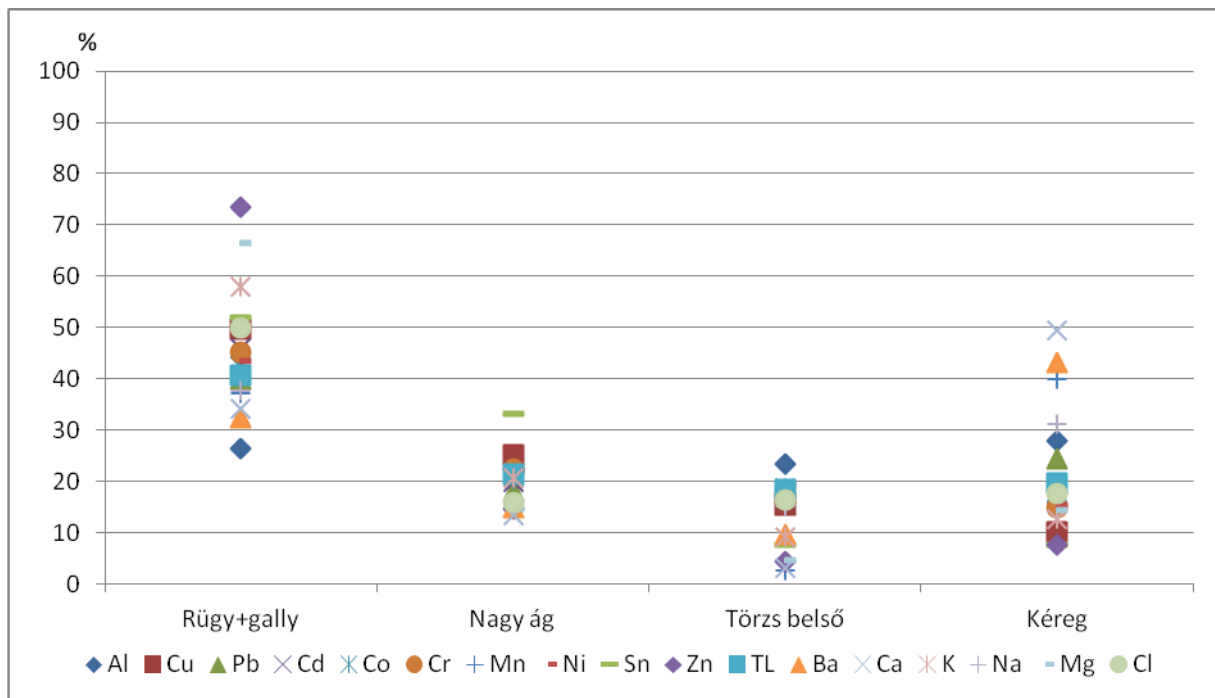


2. ábra. A tölgyfa különböző növényi részeinek összetétele %-ban

Az eredmények és a szemléltető grafikonok alapján megállapíthatjuk, a vizsgált kémiai elemek a fásszárú növényekben a hajtásban (rügy), és vékonyabb ágakban (gally) és a kéregben mutattak felhalmozódást. A kémiai összetétel alakulására vonatkozó tendenciákat a trendvonalként összekötött mérési eredmények segítségével a 3. ábra (nyárfa) és a 4. ábra (tölgyfa) szemlélteti.



3. ábra. A kémiai elemek eloszlása a nyárfa növényi részeiben, %



4. ábra. A kémiai elemek eloszlása a tölgyfa növényi részeiben, %

A két vizsgált faj összes Ba, Ca, K, Na és Mg-tartalmának 71,6 – 84 %-a az aktívan növekvő szövetekben (hajtás, kisebb ágak, kéreg) halmozódik fel. A vizsgált fászszerű növények Cl

koncentrációja is a gallyakban és hajtásokban a legnagyobb, a növény klór tartalmának átlagosan 64,8 %-a itt található.

A Pb, Cr, Mn és Zn esetén ugyanez a megállapítás tehető. Míg a Cr és Pb 66-67 %-a, addig a Zn és Mn 79,6 - 85 %-a az aktívan növekvő szövetekben (hajtás, kisebb ágak, kéreg) koncentrálódik.

Megállapítható továbbá, hogy a nyárfa törzs Cr, Mn, Ba és Fe, a tölgyfa törzse pedig Mn, Zn, Ca és Mg elemekből 6 % -nál kevesebbet halmoz fel. A tölgyfában egyenletesen oszlik meg, míg a nyárfa 56%-ban a lombzatban (gally, rügy) halmozza fel az alumíniumot.

A hajtások, kis ágak Cu, Cd, Co, Ni, Tl átlagos koncentrációja a növényben lévő teljes mennyiségükhöz viszonyítva rendre 58,4 %, 43,6 %, 41,4 %, 50,5 % és 42,4 %.

## 7. KÖVETKEZTETÉSEK

A nehézfémekkel szennyezett talajok kármentesítése környezetvédelmi és jogszabályi kötelezettségek miatt is feltétele a kihasználatlan, nagy nehézfém koncentrációval jellemezhető területek gazdaságos hasznosításának. A talaj remediációjának elvégzésére több technológia is létezik, energetikai megfontolásból a kutatási eredményeink alapján az ilyen, nehézfémekkel szennyezett területek energianövényekkel történő beültetése javasolható. Növekedése során minden növény nagy mennyiségű nehézfémet képes raktározni, - ahogy eredményeink bizonyítják - elsősorban a hajtásokban és kisebb ágakban.

A növények nehézfém akkumulációjának kármentesítési hatékonyságát energianövény fajták körültekintő választásával kedvezően befolyásolhatjuk azok nagy növekedési volumenének, rövid vágásfordulójának, illetve a nagyobb hajtás, kis ág/növény arányának befolyásolásával. Így a növényi részekben megoszló nehézfém-tartalom a gyorsan növekvő fák esetén hatékonyabb kármentesítést tesz lehetővé. A letermelt energianövények sorsát a bennük felhalmozódott szennyezőanyag mennyisége határozza meg, annak vizsgálata minden esetben szükséges.

A növények ugyanezen tulajdonságai miatt az energetikai hasznosítás elsősorban apríték formában javasolt, ahol a fa teljes egésze elégetésre kerül, ezáltal a talajból akkumulált nehézfémek a környezetből eltávolítva, az égési maradékokban dúsulnak fel. Ez azt is jelenti, hogy a keletkező hamu deponálási lehetőségeit speciálisan kell vizsgálni, és az égetés során kiemelt figyelmet kell fordítani a tüzelőberendezés káros emisszióira.

## Köszönetnyilvánítás

A publikáció a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.



## 1. IRODALOM

- [1] Xiangdong Li, Chi-sun Poon, Pui Sum Liu: Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong, *Applied Geochemistry*, Volume 16, Issues 11-12, August-September 2001, Pages 1361-1368.
- [2] J.L. Hall: Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance, *Journal of Experimental Botany*, Volume 53, Issue 366, pp. 1-11.
- [3] Lehoczky, É., Szabados, I., Marth, P.: Cd content of plants as affected by soil Cd concentration. *Comm. in Soil Science and Plant Analysis*. 27 (5-8) 1765-1777.
- [4] Lehoczky, É., Szabó, L., Horváth, Sz.: Cadmium uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) in different soils. *Comm. in Soil Science and Plant Analysis*, 29 (11-14) 1903-1912.
- [5] Lehoczky, É., Marth, P., Szabados, I., Palkovics, M., Lukács, P: Influence of soil factors on the accumulation of cadmium by lettuce. *Commun. of Soil Sci. and Plant Anal.* 31 (11-14) 2425-2431.
- [6] Stanislav V. Vassilev, David Baxter, Lars K. Andersen and Christina G. Vassilev: An overview of the chemical composition of biomass, *Fuel* Volume 89, Issue 5, May 2010, Pages 913-933
- [7] Turner AP, Dickinson NM. Survival of *Acer pseudoplatanus* L. (sycamore) seedlings on metalliferous soils. *New Phytol* 1993;123:509-21.
- [8] McGregor SD, Duncan HJ, Pulford ID, Wheeler CT. Uptake of heavy metals from contaminated soil by trees. Glimmerveen I, editor. *Heavy metals and trees. Proceedings of a Discussion Meeting*, Glasgow. Edinburgh: Institute of Chartered Foresters; 1996. p. 171–6.
- [9] Drew AP, Guth RL, Greatbatch W. Variation in heavy metal accumulation by hybrid poplar clones on sludge amended soil. *Poplar culture to the year 2000. Proceedings of the Poplar Councils of the USA and Canada Joint Meeting*; 1987. p. 109–17.
- [10] Riddell-Black D. Heavy metal uptake by fast growing willow species. Aronsson P, Perttu K, editors. *Willow vegetation filters for municipal wastewaters and sludges. A biological purification system*. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences; 1994. p. 145–51.
- [11] Punshon T, Dickinson NM, Lepp NW. The potential of *Salix* clones for bioremediating metal polluted soil. In: Glimmerveen I, editor. *Heavy metals and trees. Proceedings of a Discussion Meeting*, Glasgow. Edinburgh: Institute of Chartered Foresters; 1996. p. 93–104.
- [12] Pulford ID, Riddell-Black D, Stewart C. Heavy metal uptake by willow clones from sewage sludge-treated soil: the potential for phytoremediation. *Int J Phytoremediat* 2002;4:59–72.
- [13] Dickinson NM, Lepp NW. Metals and trees: impacts, responses to exposure and exploitation of resistance traits. In: Prost R, editor. *Contaminated soils: the 3rd International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements*. Paris: INRA; 1997. p. 247–54.

- [14] Muhammad Nazmin Bin Yaapar, Intan nNdhirah Binti Masri, Nuradliza Binti Baharom, Yeow Jiing Shyi, Hanafi B Mohd Ali, *Biology-Online.org*, Article published on 23 June 2008. in <http://www.biology-online.org/articles/phytoremediation-a-lecture/phytoextraction.html>, Ellenőrizve: 2012.03.07.
- [15] E. Meers, A. Ruttens, M.J. Hopgood, D. Samson, F.M.G. Tack: Comparison of EDTA and EDDS as potential soil amendments for enhanced phytoextraction of heavy metals, E. Meers et al. / *Chemosphere* 58 (2005) 1011–1022.
- [16] 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet