

---

Vanja Vukojević

## Ispitivanje potencijalnih hiperakumulatorskih vrsta deponije pepela

---

*Na ciljem da se odrede potencijalne hiperakumulatorske vrste i proceni ugroženost prostora i okoline na prostoru neaktivne kasete II termoelektrane Nikola Tesla-B u Obrenovcu, jedne od najvećih deponija pepela u zemlji, sprovedena je površinska analiza pepela na teške metale (do dubine od 30 cm) i analiza uzoraka nadzemnih i podzemnih delova biljaka prikupljenih na ovom prostoru. Vršena je analiza na cink, nikal, mangan, olovo, gvožđe, kadmijum, kobalt i bakar. U uzorcima pepela otkrivene su povećane koncentracije cinka, gvožđa i bakra, što sugeriše visoke koncentracije na većim dubinama ovih, pa i drugih metala čije su koncentracije na površini (gde su po pravilu najmanje koncentracije metala) vrlo blizu gornje granice.*

*Na prostoru je konstatovano 17 biljnih vrsta i 3 kompleksa mahovina. Od ukupnog broja vrsta hiperakumulatorske osobine su konstatovane kod ukupno 6 vrsta od kojih je samo jedna zvanično registrovana kao hiperakumulator. Najizrazitije hiperakumulatorske osobine detektovane su kod *Erigerum canadensis*; i to za Zn (0.23% dw nadzemnog dela) i Fe (0.40 dw nadzemnog dela); *Lusule pilose*; za Fe (0.14% dw nadzemnog dela); *Serratulle tinctorie*; za Cu (0.15% dw nadzemnog dela). Povećane koncentracije metala su detektovane i u svim slučajevima kod sva tri kompleksa mahovina.*

---

### Uvod

Teški metali obuhvataju grupu od 38 elemenata, od kojih su neki važni za više biljke, ali u većim koncentracijama oni se ponašaju toksično i izazivaju brojne posledice. Čovek svojim uticajem i delatnostima uzrokuje povećanje koncentracije teških metala u životnoj sredini i samim tim ih čini dostupnijim vegetaciji. Oblasti oko objekata teške industrije, oblasti pored puteva, deponije pepela, smeća, jalovišta rudnika, otpadne vode su mesta na kojima je usled izraženog negativnog antropogenog uticaja vremenom došlo do stvaranja visoke kontaminacije teškim metalima. Takvi delovi naše planete, zagađeni teškim metalima, predstavljaju globalni problem za očuvanje životne sredine i ljudskog zdravlja pa se stoga intenzivno traga za efikasnim i ekonomski odgovarajućim, ekološkim rešenjima.

---

*Vanja Vukojević  
(1982), Obrenovac,  
Radenka Rankovića  
12/3, učenik 4.  
razreda Gimnazije u  
Obrenovcu*

**MENTOR:**  
*mr. Marko Sabovljević*

Jedno od takvih rešenja je fitoremedijacija. Ona predstavlja novi metod koji koristi biljke u smislu degradacije, asimilacije, detoksifikacije ili metabolisanja metala i organskih zagađivača. Hiperakumulatori su biljne vrste sposobne da u svojim nadzemnim tkivima akumuliraju visoke koncentracije polutanata, najčešće teških metala. O tome da li je neka vrsta hiperakumulator postoje dve teorije, od kojih je druga prihvatljivija jer jasno daje graničnu vrednost akumulacije iznad koje se neka vrsta može smatrati hiperakumulatom: vrsta je hiperakumulator ako usvaja za jedan red veličina veće koncentracije nekog metala u odnosu na neakumulatorske vrste – 0.01-0.06%; vrsta je hiperakumulator ako je sposobna da usvoji određeni metal u koncentraciji većoj od 0.1% suve biomase (Salt et al. 1998).

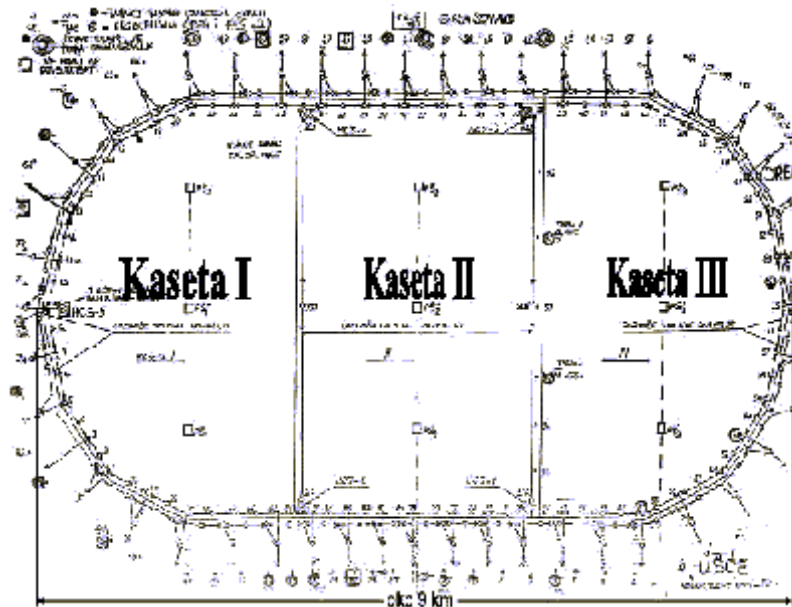
Veliki problem u realizaciji metode kontinuirane fitoekstrakcije (odstranjivanja polutanata iz sredine) primenom hiperakumulatora je u tome što je do sada pronađeno i proučeno samo oko 50 hiperakumulatorskih vrsta, što je zaista malo.

Termoelektrane koje rade na principu sagorevanja uglja predstavljaju veliki izvor polutanata u životnoj sredini, i to preko gasova koji se oslobađaju u atmosferu i preko nusprodukata sagorevanja – pepela koji se deponuje na deponijama. Jedna od najvećih u našoj zemlji je termoelektrana Nikola Tesla-B (u daljem tekstu TENT-B). Pri maksimalnom angažovanju kapaciteta, termoelektrana svakog sata sagori oko 3500 tona uglja, što godišnje iznosi oko 25 miliona tona. Dnevno se u TENT-u izdvoji negde oko 17000 tona pepela koji se skladišti na deponijama (Kisić 1997). Deponija termoelektrane B se prostire na površini od oko 700 ha i locirana je na većoj udaljenosti od reke u gusto naseljenom području. Pošto je pepeo sastavljen od veoma sitnih čestica koje su veoma podložne raznošenju, a kako posle povlačenja vode iz akumulacionih jezera ostaju debele površine pepela koji se lako podiže i raznosi van same deponije, ovako odložen pepeo predstavlja izuzetno veliki problem. Pored toga, kako je pepeo pretežno silikatnog sastava, veoma visoke toksičnosti sa visokim sadržajem teških metala, povećane radioaktivnosti i siromašan makroelementima, on predstavlja vrlo nepovoljnu površinu za razvoj flore.

S obzirom na prirodu materijala i uslove koji vladaju na deponijama istraživanje je sprovedeno sa ciljem da se determinišu potencijalne hiperakumulatorske vrste na prostoru deponije TENT-B. Osim aspekta potrage za hiperakumulatorskim vrstama sprovedeno je i istraživanje deponije sa aspekta procene ekološkog stanja iste, tj. sa aspekta njene kontaminiranosti teškim metalima i potencijalne opasnosti koju ona predstavlja za životnu sredinu.

## Materijal i metode

Uzorci pepela i biljnog materijala su uzeti u julu 1999, 2000. i 2001. godine na kaseti II deponije pepela TENT-B. Kasetna je bila aktivna do 1996. godine kada je obustavljen njen rad. Nakon inaktivacije je došlo do



Slika 1.  
Šematski prikaz  
deponije  
termoelektrane B

Figure 1.  
Coal plant  
ash-disposable areas

njenog delimičnog spontanog obrastanja vegetacijom. Na slici 1 dat je šematski prikaz deponije termoelektrane B.

U cilju ravnomernog uzorkovanja, kasetta je podeljena na 30 manjih parcela i sa svake je uzet uzorak pepela i uzorci svih prisutnih biljnih vrsta. Uzorci pepela su uzimani na dubini od oko 40 cm, 25 cm i na površini.

Uzorci biljaka su determinisani, a zatim je izvršeno odvajanje nadzemnog od podzemnog dela biljke. Uzorci su potom usitnjeni mehaničkim putem i osušeni u sušnici. Prvih 15 min sušeni su na 105°C, a narednih 8 sati na 60°C. Desikacija je dalje vršena do postizanja konstantne suve mase. Za čuvanje uzoraka korišćen je eksikator u kojem je kao higroskopna materija korišćen  $\text{CaCl}_2$ . Uzorci su zatim homogenizovani.

Uzorci pepela nisu zahtevali posebnu obradu, jer su po svojoj strukturi nalik prahu, te su stoga samo homogenizovani nakon desikacije.

Homogenizovani uzorci pepela i biljaka su pripremani za analizu na atomskom apsorpcionom spektrofotometru (AAS) standardnim postupkom mokrog razlaganja, pri čemu je primenjivana smeša kiselina  $\text{HClO}_4$  i  $\text{HNO}_3$  u odnosu 1 : 2. Vreme razlaganja je uslovljeno dobijanjem bistrog rastvora, sa izdvojenim silikatnim talogom, i iznosilo je između 45 i 80 minuta. Uzorci su filtrirani pomoću analitičkog (kvantitavnog) filter papira. Zapremina je podešena na 25 mL u normalnom sudu.

Tako pripremljeni uzorci su analizirani na AAS marke Philips, Pye Unicom SP9.

## Rezultati

Uzorkovanjem biljnog materijala i determinacijom istog pronađeno je ukupno 17 biljnih vrsta plus tri kompleksa mahovina:

- *Amarantus retroflexus* L., *Arctium minor* L., *Atriplex patula* L., *Cirsium arvensis* L. *Dactylis glomerata* L., *Epilobium parriflorum* L., *Erigeron canadensis* L., *Fleum subulatum* Hedw., *Luzula pilosa* L., *Medicago sativa* L., *Papaver rhoas* L., *Poa* sp., *Populus alba* L., *Serratula tinctoria* L., *Silene vulgaris* L., *Stenactis annua* L.
- pronađeni su sledeći Bryo-kompleksi: *Bryum capillare* compl., *Fungaria hygromerica* compl., *Bryum bicolor* compl.

### Cink i Nikal

Sadržaj nikla i cinka u uzorcima zemljišta kreće se u opsegu 0.006-0.012% dw i 0.005-0.04% dw, za nikal i cink respektivno.

Rezultati ukazuju na povišenost sadržaja nikla u zemljištu i to u svim slučajevima. Međutim, detektovane koncentracije, iako veće od uobičajenih, ne prelaze gornju granicu tolerancije, te ne predstavljaju veliku opasnost po životnu sredinu. Od 17 detektovanih biljnih vrsta i 3 kompleksa mahovina, nije pronađena ni jedna vrsta sa povećanom akumulacijom nikla i sve vrednosti su bile ispod granice detekcije aparata. Važno je napomenuti da je raspored koncentracija metala u zemljištu uravnotežen, te ne postoje velike razlike između različitih delova deponije. Ovakva uravnoteženost je karakteristična za sve ispitivane metale, i najvećim delom je posledica načina pravljenja deponije (najpre se pepeo meša sa vodom i pravi šljaka koja se deponuje u okviru kasete; nastalo jezero obezbeđuje homogenizaciju ukupne mase, tako da po povlačenju vode ostaje pepeo prilično ujednačenog sastava). Samim tim je nemoguće na osnovu varijeteta u koncentracijama diskutovati o eventualnim većim ili manjim oscilacijama kvalitativno-kvantitativnog sastava pepela.

Sadržaj cinka je, iako veći u odnosu na nikal, takođe imao vrednosti ispod granica tolerancije. Zanimljivo je da je i pri tako malim koncentracijama konstatovan jedan očigledan slučaj hiperakumulacije; kod *Erigeron canadensis* L. (koren: 0.1-0.2% dw, nadzemni deo: 0.11-0.23% dw). Raspored usvojenog metala sa stanovišta metode kontinuirane fitoekstrakcije je veoma povoljan. Visoke koncentracije su detektovane i u nadzemnom delu biljke, i to često veće nego u podzemnom delu biljke. Hiperakumulacija je konstatovana u svim slučajevima, i pri tom se opseg koncentracije akumuliranog metala kretao između 0.1-0.23% suve biomase. Taj raspon koncentracije pri poređenju sa akumulacijom u *Thlaspi caerulescens* – oko 0.5% dw (Brown *et al.* 1995; Pollard & Baker 1997) koja pripada porodici heroja hiperakumulacije *Brassicaceae*, izgleda manji, međutim u stvarnom slučaju vrlo je verovatno da ta razlika neće ni postojati, ili će

čak šta više biti u korist *E. canadensis*. Naime *E. canadensis* ima mnogo veću produktivnost biomase po jedinici površine, dok je procenat vode u njegovom tkivu daleko ispod istog kod *T. caerulescens*. Na kraju, *E. canadensis* je mnogo bolje i više prilagođen predelu sa multihiperkontaminacijom teških metala, a da, sa druge strane, ima mnogo manje zahteve u pogledu staništa na koja se naseljava. To dokazuje i činjenica da je on, zajedno sa *Poa Scarba*, dominantna vrsta na predelu cele deponije, koja je, kako je već rečeno, po svom hemijskom i fizičkom sastavu veoma nepovoljna za razvoj biljnog pokrivača.

Interesantno je da kod *Silene vulgaris* koja je zvanični hiperakumulator za cink, ni u jednom slučaju nije pronađena hiperakumulatorska koncentracija cinka. To je verovatno uslovljeno relativno malim koncentracijama cinka u pepelu, jer su opservirane koncentracije kod ove vrste detektovane upravo na zemljištu sa visokim koncentracijama cinka. *Silene vulgaris* se odlikuje visokim stepenom tolerancije na visoke koncentracije cinka u zemljištu pa je mehanizam usvajanja kod ove vrste rezultat reakcije na visoke koncentracije metala. Upravo ta reakcija obezbeđuje tolerantnost ove vrste (Brown *et al.* 1995). Podaci za *T. caerulescens* se takođe odnose na zemljišta visoko kontaminirana teškim metalom. Stoga je akumulacija od 0.23% dw pri koncentracijama u granicama dozvoljenog zaista veliki učinak i verovatno je posledica genetski stvorenog sistema potrebnog za usvajanje cinka kao važnog metabolika. Vrlo je verovatno da će se pri velikim koncentracijama hiperakumulacija znatno povećati, jer je pri postojanju visokog minimuma realno očekivati i visok maksimum. Ipak, da bismo došli do pouzdanih zaključaka potrebno je sprovesti detaljnije istraživanje.

## Mangan i olovo

Sadržaj mangana i olova u uzorcima zemljišta kreće se u opsegu 0.015-0.03% dw i 0.003-0.009% dw, za mangan i olovo respektivno.

Koncentracije oba metala su daleko ispod očekivanih kritičnih granica, što je vrlo neobično, posebno za olovo, ako se uzme u obzir priroda ispitivane deponije. Razlog za takav, procentualno mali unos, ne samo ovih, već gotovo svih ispitivanih metala, se opet može potražiti u načinu formiranja deponije. Od pepela izmešanog sa vodom pravi se jezero u kome se izdvaja površinska voda i mulj koji sadrži pepeo. Problem se sastoji u tome da teški metali padaju na dno, ali se ni tu ne zadržavaju već se polako premeštaju sve dublje i dublje. Kad se voda povuče ostaje površinski pepeo koji ne sadrži relevantnu količinu metala. Uzimanjem pepela sa 3 tačke do 0.4 m dubine deponije i njegovim poređenjem sa uzorcima uzetim na otkopima deponije sa dubina i do 7m konstatovano je da se koncentracije znatno razlikuju, sa povišenjem pri povećanju dubine sa koje je uzorak uzet. Kako nije bilo moguće izvesti merenje na dubinama iznad 0.4 m u okviru svih uzorkovanih delova deponije, a kako dalje povećanje dubine sloja pepela

ne donosi veće povećanje koncentracije, podaci dobijeni uzorkovanjem na tri tačke do 0.4 m su uzimani kao reprezentativni. Od tri uzorka sa različite dubine dobijan je jedan reprezentativni za jedan snimak dela deponije.

U skupu determinisanih vrsta nije detektovana ni jedna hiperakumulatorska vrsta, kako za mangan, tako ni za olovo.

## Gvožđe i kadmijum

Sadržaj gvožđa i kadmijuma u uzorcima zemljišta kreće se u opsegu 0.4-2.1% dw i 0.004-0.007% dw, za gvožđe i kadmijum, respektivno. U proseku, koncentracija Fe u pepelu se kreće između 10 i 25 g/kg suve mase. Takve koncentracije drastično prelaze granične koncentracije i Fe kao takvo, iako u manjim koncentracijama vrlo važno, ima izrazito toksično dejstvo. Visoke koncentracije gvožđa su sa sigurnošću bile očekivane, ako se uzme u obzir poreklo pepela na deponiji, koji je nusprodukt sagorevanja lignita koji u svom sastavu ima visok udeo gvožđa. Na tako visokim koncentracijama detektovane su tri potencijalne hiperakumulatorske vrste; *Erigeron canadensis* (koren: 0.11-0.38% dw, nadzemni deo: 0.08-0.22% dw), *Lusula pilosa* (koren: 0.13-0.16% dw, nadzemni deo: 0.11-0.12% dw), *Seratulla tinctoria* (koren: 0.14-0.18% dw, nadzemni deo: 0.12-0.20% dw). *Lusula pilosa* i *Seratulla tinctoria* su pronađene na samo dva dela deponije gde su bile dominantne vrste. Međutim, kako je reprezentativan uzork dobijen iz velikog broja uzoraka, podaci o hiperakumulatorskom potencijalu ove dve vrste su takođe validni. U svim slučajevima postignuta je dobra raspodela usvojenog metala, a raspon koncentracija u nadzemnom delu se kretao od 0.22% dw kod *E. canadensis* do 0.12% dw i do 0.18% dw kod *L. pilosa* i *S. tinctoria*, respektivno.

Rezultati dobijeni za kadmijum u zemljištu jasno ukazuju da koncentracije ovog metala ne prelaze regulatorske koncentracije, i čak šta više nalaze se daleko ispod njih. Međutim čak i pri takvim koncentracijama konstatovan je jedan validan slučaj potencijalne hiperakumulacije: kod *Erigerum canadensis*. (koren: 0.08-0.15% dw, nadzemni deo: 0.10-0.16% dw).

*E. canadensis* je i pri usvajanju kadmijuma imao vrlo visoke rezultate. Ta činjenica je pojačana podatkom o sadržaju kadmijuma u zemljištu. Naime, čak i pri tako niskim koncentracijama metala u zemljištu koje su detektovane, ova vrsta je imala akumulaciju u nadzemnom delu biljke od skoro 0.14% dw. Time je svakako svrstana u hiperakumulatorske vrste visokog potencijala za niske koncentracije Cd u zemljištu, a sudeći pri rezultatima na niskim koncentracijama i činjenice da *E. canadensis* podnosi visoke koncentracije metala (Kojić & Karadžić 1996) možemo pretpostaviti, isto kao i za cink, da će usvajanje na višim koncentracijama imati još bolje efekte.

## Kobalt i bakar

U ispitivanim uzorcima zemljišta nije pronađen kobalt ili je njegova koncentracija bila izrazito mala tako da je bila ispod granice detekcije. Sadržaj bakra u uzorcima zemljišta detektovan je u opsegu 0.015-0.03% dw.

Koncentracije bakra se pri maksimumu, 0.025-0.03% dw, kreću oko gornje kritične koncentracije ovog metala u zemljištu, što može predstavljati problem za životnu sredinu ako se uzme u obzir izrazit toksičan uticaj ovog metala u većoj količini.

Pri ovim koncentracijam konstatovana je hiperakumulacija u reprezentativnom, ali samo na jednom delu deponije zastupljenom uzorku *Serratulle tinctoria* (koren: 0.14-0.16% dw, nadzemni deo: 0.10-0.11% dw).

Na osnovu iznetih rezultata može se zaključiti da sam sastav pepelišta, barem što se tiče sastava ispitivanih teških metala, nije previše problematičan u pogledu životne sredine. Najveći problem predstavljaju svakako gvožđe, cink i bakar. Gvožđe drastično prelazi dozvoljene limite, dok Zn i Cu variraju oko graničnih koncentracija. Međutim postavlja se pitanje sastava pepela u dubljim slojevima pepela i to bi moralo da bude cilj nekih budućih istraživanja. Značajan podatak je i taj da je u pronađenim uzorcima mahovine, koja je izuzetno rasprostranjena, detektovan visok nivo Fe, što ukazuje da je prskanje deponije u letnjem periodu, pored efekta vezanog za smanjenje problema fizičke kontaminacije, imalo veliku ulogu i u dekontaminaciji samog staništa. Potrebno je takođe odraditi i merenja radioaktivnosti, kiselosti, sastava organskog i makroelementskog materijala, kao i vlažnosti zemljišta, kako bismo uvideli u celini da li i kakvu opasnost deponija predstavlja.

S obzirom na podatak da je na ispitivanom području sa sigurnošću detektovano 3 hiperakumulatora, od kojih jedan za čak tri metala, jedan za dva i jedan isključivo za gvožđe, ovo istraživanje je imalo veoma pozitivan rezultat sa strane hiperakumulacije, jer sada postoje tri, tj. šest potencijalnih novih hiperakumulatora, koji već pri malim koncentracijama daju odlične rezultate. Potrebno je sprovesti dalje ispitivanje pomenutih vrsta i proučiti njihovo ponašanje pri višim koncentracijama metala. Za neke od njih je čak vrlo izvesno, kao na primer *E. Canadensis*, da će pri višim koncentracijama imati još bolji uticaj.

## Zaključci

1. Koncentracije Ni se nalaze u okvirima normale i ne predstavljaju neki veliki problem sa strane ekološkog zagađenja, dok se koncentracije Zn nalaze oko gornje granične vrednosti i mogu ubuduće predstavljati problem zbog izrazitog štetnog dejstva.

2. *Erigerum canadensis* sa stopom hiperakumulacije od 0.23% dw u nadzemnom delu predstavlja potencijalnu hiperakumulatorsku vrstu za

cink. Sa druge strane kod *Serratula tinctoria*, koja se smatra hiperakumulatorom cinka, nije pronađen ni jedan slučaj hiperakumulacije što upućuje na to da ova vrsta verovatno ne funkcioniše kao hiperakumulator na niskim koncentracijama metala.

3. Viosok sadržaj Fe otkriven je i u kompleksima *Brzum capillare* compl., *Fungaria higromerica* compl., *Brzum bicolor* compl. što upućuje i na mogućnost njihovog korišćenja u hiperakumulaciji.

4. Koncentracije i olova i mangana se nalaze u okvirima regulative, što je protivno svim očekivanjima, poznajući prirodu porekla pepela.

5. Koncentracije gvožđa premašuju dozvoljene koncentracije nekoliko puta i stoga predstavljaju za tlo, inače siromašno organskim materijama i bogato silikatnim jedinjenjima, veoma veliki ekološki problem. Takvo rešenje se može postići primenom nekih tehnoloških mera za izdvajanje Fe pre samog deponovanja pepela. Koncentracije Cd, su iako ispod granice normale, veoma veliki problem zbog toksičnosti ovog teškog metala, ali još više zbog velike verovatnoće da su koncentracije u donjim slojevima zemljišta još više.

6. Konstatovana su ukupno tri potencijalna Fe-hiperakumulatora; *Eriogerum canadensis* (stopa od 0.4% dw), *Lusula pilosa* (0.12% dw), *Serratula tinctoria* (stopa od 0.13% dw) (svi podaci se odnose na nadzemni deo biljke).

7. Koncentracije bakra ne predstavljaju veliki problem u većini slučajeva, ali njegove koncentracije variraju do koncentracija 300 mg/kg dw koje imaju veoma nepovoljno dejstvo. Konstatovano je da Cu ima najvarijantniji raspored koncentracija po deponiji i o tome bi ubuduće trebalo da se vodi računa tako što će se kontrolisati sastav šljake i delova deponije i sprečiti da se metal nagomilava u pojedinim delovima. Koncentracije kobalta su zanemarljivo male, ispod granice detekcije.

8. *Serratula tinctoria* validno predstavlja potencijalnu hiperakumulatorsku vrstu za bakar i to sa stopom od 0.14%.

9. Ako se uzme u obzir debljina pepela u kaseti i mobilnost teških metala kroz pepeo, sigurno je da je koncentracija metala u dubljim slojevima višestruko veća u odnosu na površinsku koncentraciju te predstavlja veliku opasnost po životnu sredinu, naročito zbog prodiranja u podzemne vode.

---

## Literatura

Blaylock M.J., Salt D.E., Dushenkov S. and Zakharova O. et al.1997. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. *Environ. Sci. Technol.* **31**: 860

Brown S.L., Chaney R.L., Angle J.S. and Baker A.J.M. 1995. Zinc and cadmium uptake by hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* and metal tolerant *Silene vulgaris* on sludge-amended soils. *Environ. Sci. Technol.* **29**: 1581



- Huang J.W. and Cunningham S.D. 1996. Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. *New phyt.* **134**: 75-84
- Murphy A., Zhou J.M., Goldsbrough P.B. and Taiz L. 1997. Purification and immunological identification of metallothioneins 1 from 2 *Arabidopsis thaliana*. *Plant. Physiol.* **113**: 1293
- Robinson N.J., Tommey A.M., Kuske C., Jackson P.J. and 1993. Plant metallothioneins. *Biochem. J.* **295**: 1
- Rausser W.E., 1990. Phytoshelatins. *Annu. Rev. Biochem.* **59**: 61-86
- Pollard J.A. and Baker A.J.M., 1997. Deterrence of herbivory by zinc in *Thlaspi caerulescens*. *New. Phytol.* **135**: 655-58
- Stephan U.W., Schmidke I., Stephan V.W. and Scholz G. 1996., The nicotinamin molecule in the phloem?. *Physiol. Plant.* **9**: 84
- Quiquampoix G., Ratclife R.G., Ratković S. and Vučinić Ž. 1990., A H and P NMR investigation of gadolinium uptake in maize roots. *Inorganic Biochem.* **38**: 265
- Nikolić M. and Rohmeld V. 1999. Mechanisms of Fe uptake by the leaf simplast. Plant and soil (in press)
- Kastori R., Plesničar M., Sakač Z., Panković D. and Arsenijević I. 1998. Effect on excess lead on sunflower and photosynthesis. Unpublished thesis. Institute of Agriculture, University of Novi Sad, Novi Sad
- Sarić M. 1979. *Fiziologija biljaka*. Beograd: Naučna knjiga.
- Vukojević V. 1999. Ispitivanje sposobnosti fitoekstrakcije olova i gvožđa kod kukuruza. *Petničke sveske*, **49**: 207

---

*Vanja Vukojević*

## Analysis of Potentially Hyperaccumulator Species in Coal Plant Ash-disposable Areas

Hyperaccumulator species have the capability of accumulating high concentrations of heavy metals in above-ground tissues of the plant. In this way they offer a natural solution for contaminated soils.

Coal plant ash-disposable areas represent a big problem for natural surroundings and living beings because of high concentrations of toxic materials, primarily heavy metals. The biggest area of this kind in Yugoslavia is located on the left side of the Sava River, six kilometers from Obrenovac. It produces 7000 tons of ash per day. During inactive periods of partition II of this area, some plant species spontaneously settled there. Considering the habitational conditions, these species must have formed some kind of natural mechanism for survival. Among these mechanisms are hyperaccumulator capabilities, which was the main reason for conducting this research in the mentioned area.

Surface samples of ash and samples of present plant species were collected, determined and then prepared for AAS by wet dissipation method. Concentrations of zinc, nickel, manganese, lead, iron, cadmium, cobalt and copper were analyzed on AAS.

In surface ash samples, high concentrations of zinc, iron, and copper were found, which suggests even several times higher concentrations in deeper parts of the inactive disposal pool, because heavy metals are very mobile and with water they migrate quickly to deeper parts of soil. This is probably the main reason why concentrations of other heavy metals were only near the upper concentration level.

Seventeen plant species and three Bryo-complexes were found on the examined partition II. Among these, hyperaccumulation qualifications were determined in six plant species. The highest concentrations of accumulated heavy metal in above-ground parts of the plant were detected in; *Erigerum canadensis* (0.23% dw for Zn and 0.40% dw for Fe), *Lusula pilosa* (0.14% dw for Fe), *Serratula tinctoria* (0.15% dw for copper). High concentrations were detected in samples of all three Bryo-complexes: *Bryum capillare* compl., *Fungaria higromerica* compl. and *Bryum bicolor* compl.

Results of this research suggest that this ash disposal field presents a great danger for the environment and living beings, especially because of high concentrations of heavy metals and very good conditions for their migration. This clearly shows that this is an urgent ecological problem. Ash should be further examined, especially in deeper parts of the soil, and analyzed for the presence of some other toxic pollutants.

The discovery of six new potential hyperaccumulator species, among the 17 that were detected, suggests that the search for hyperaccumulator species should be performed in places with high contamination and natural vegetation.

New hyperaccumulator species should be further studied and analyzed for their implementation as hyperaccumulators because of the great results that this method could provide.

