



**PRISUSTVO TEŠKIH METALA U ZEMLJIŠTU I LOKALNO
PROIZVEDENOJ HRANI U NASELJIMA NA PODRUČJU OKO
ODLAGALIŠTA ŠLJAKE DIVKOVIĆI/PLANE - termoelektrane Tuzla**



Prisustvo teških metala u zemljištu i lokalno
proizvedenoj hrani u naseljima na području oko
odlagališta šljake Divkovići/Plane
- termoelektrane Tuzla

Tuzla, novembar 2015.

IZDAVAČ:

Centar za ekologiju i energiju

Filipa Kljajića 22, 75000 Tuzla, BiH

tel: ++387 35 249 310, fax: ++ 387 35 249 311

<http://ekologija.ba/>

Autor:

Abdel Dozić, abdel.inzio@gmail.com

Centar za ekologiju i energiju

Denis Žiško, denis.zisko@ekologija.ba

Analiza uzoraka:

ARNIKA - Toxics and Waste Programme

<http://arnika.org/>

Štampa:

OFF-SET Štamparija Tuzla

Publikacija je realizirana u okviru kampanje
"STOP prljavoj energiji - budućnost je obnovljiva"



| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. PORIJEKLO, VRSTE I KOLIČINE MATERIJALA KOJI SE ODLAŽE NA ODLAGALIŠTA | 6 |
| 2. TOKSIKOLOŠKE OSOBINE TEŠKIH METALA | 10 |
| 2.1. Arsen | 10 |
| 2.2. Hrom | 10 |
| 2.3. Kadmij | 11 |
| 2.4. Olovo | 11 |
| 2.5. Živa | 12 |
| 3. REZULTATI ANALIZE PRISUSTVA TEŠKIH METALA U ZEMLJIŠTU I LOKALNO PROIZVEDENOJ HRANI U NASELJIMA NA PODRUČJU OKO ODLAGALIŠTA ŠLJAKE DIVKOVIĆI/PLANE - TERMOELEKTRANE TUZLA | 13 |
| 4. REZULTATI ANALIZE SADRŽAJA TEŠKIH METALA U ZEMLJIŠTU | 16 |
| 5. REZULTATI ANALIZE SADRŽAJA TEŠKIH METALA U SEDIMENTU | 18 |
| 6. REZULTATI ANALIZE SADRŽAJA TEŠKIH METALA U BILJNOM I ANIMALNOM MATERIJALU | 20 |
| 7. REZULTATI ANALIZE SADRŽAJA TEŠKIH METALA U LJUDSKOJ KOSI | 24 |
| 8. REZULTATI ANALIZE SADRŽAJA TEŠKIH METALA U VODI | 26 |
| 9. ZAKLJUČCI | 30 |
| 10. LITERATURA | 32 |

Od otkrića da je ugalj kaustobiolit (stijena koja gori) do njegove enormne eksploatacije i upotrebe za proizvodnju električne energije dolazi do tako obimnih promjena u okolišu da one danas ne samo da obuhvataju pojedine regione, nego i čitave ekosisteme što za posljedicu ima globalne promjene u biosferi.

Negativan uticaj na okoliš naglo je porastao upravo upotrebom (sagorijevanjem) uglja u različitim industrijskim sektorima a posebno u termoelektranama. Prema uticaju na sastavnice okoliša ovi uticaji ogledaju se u: onečišćenju i trajnom uništavanju zemljišta, promjeni u kvaliteti zraka, promjeni kvalitete podzemnih i površinskih vodotoka, trajnoj promjeni pejzažnih karakteristika i pojavi tehnogenih zemljišta (odlagališta šljake i pepela). Privredni razvoj jednog područja zasnovan na eksploataciji uglja uzrokuje demografski rast, izgradnju infrastrukture i poboljšanje kvalitete života, ali s druge strane uzrokuje takve negativne uticaje na okoliš koji imaju sva obilježja neodrživog razvoja. U prilog navedenom potrebno je navesti, da na temelju istraživanja koja je proveo i objavio HEAL (Health and Environment Alliance), vodeća evropska neprofitna organizacija koja se bavi uticajem okoliša na zdravlje ljudi, a okuplja stručnjake iz raznih područja, pokazala su da termoelektrane na ugalj u 30 evropskih zemalja – 28 u Evropskoj Uniji te u Srbiji i Turskoj, godišnje uzrokuju preranu smrt čak 23.000 ljudi i trošak u zdravstvu, neposredno onda i u privredi, do čak 54,7 milijardi eura – stoji u procjeni troškova povezanih sa emisijom štetnih tvari iz elektrana na ugalj u Evropi¹.

Pretpostavka je da će, zbog smanjenja rezervi nafte i prirodnog plina, ugalj biti glavni izvor za proizvodnju električne energije iz fosilnih goriva. Emisija zagađujućih materija koje nastaju sagorijevanjem uglja uzrok su mnogim rizicima za okoliš i zdravlje, što je postalo izazov u pronalaženju načina zaštite okoliša. Emisija SO_x, NO_x, CO₂ i volatilnih organskih spojeva (VOC) u otpadnom toku dimnih plinova, uzrokuju sljedeće negativne uticaje: povećanje prizemnih koncentracija ozona, acidifikaciju i eutrofikaciju zemljišta kroz depoziciju kiselih kiša i azota. Drugi otpadni tokovi iz ovih termoelektrana sadrže teške metale kojima se u novije vrijeme posvećuje sve više pažnje, jer i pri niskim koncentracijama pokazuju izrazito negativan uticaj na okoliš. Istraživanja u domenu ponašanja teških metala kako u procesu sagorijevanja uglja, tako i u otpadnim tokovima (dimni plinovi, lebdeći pepeo, šljaka i pepeo) neophodni su iz sljedećih razloga:

- mogućnost da će se ugalj kao široko rasprostranjeni izvor energije posebno u zemljama u tranziciji, nastaviti intenzivno koristiti,
- pojedini teški metali nastali pri sagorijevanju uglja imaju izrazito negativan uticaj na okoliš, a time i na zdravlje ljudi,
- postojeća zakonska regulativa nije u dovoljnoj mjeri ograničila emisiju ove vrste zagađujućih materija

¹ <http://www.env-health.org/news/latest-news/article/the-unpaid-health-bill-how-coal>

Područje Grada Tuzla, posebno njegov zapadni dio, duži niz godina je pod uticajem velikih privrednih subjekata iz oblasti hemijske industrije (Solana, Xella BH, Polihem i Dita), rudarstva (rudnik lignita Mramor, i Tuzlakvarc) i energetike (Termoelektrana Tuzla). Poljoprivredno zemljište i vodotoci su pod uticajem neprečišćenih otpadnih voda, muljevitih otpadnih tokova i emisije dimnih plinova i čvrstih čestica koje su rezultat sagorijevanja čvrstih, tečnih i plinovitih fosilnih goriva. Zrak se onečišćuje plinovima poput ugljik dioksida (CO₂), sumpor dioksida (SO₂), azotnih oksida (NO_x) i volatilnih organskih spojeva (VOC) ali i metalnih elemenata (arsena (As), kadmija (Cd), žive (Hg), olova (Pb), nikla (Ni) i hroma (Cr). Pojedine onečišćujuće tvari poput CO₂ i NO_x utiču na zagrijavanje zemljine atmosfere (apsorpcija toplinskog zračenja u atmosferi) dok drugi poput (As), (Cd), (Hg), (Pb), (Ni) i (Cr) u zavisnosti od koncentracije mogu imati toksičan uticaj na zdravlje ljudi.

Područje Tuzlanskog kantona karakteriše jedan od najvećih ugljenih basena, upravo ovako velike količine uglja rezultirale su izgradnjom najvećeg termoenergetskog objekta u Bosni i Hercegovini, Termoelektrane Tuzla. Prema količini nastalih otpadnih tokova, Termoelektrana Tuzla najveći je zagađivač, čiji je uticaj na okoliš prepoznatljiv na širem području Grada Tuzla i okolnih općina.

Cilj ovog dokumenta je upoznavanje šire društvene zajednice sa naučno dokazanim činjenicama o svim negativnim uticajima koja odlagališta šljake i pepela imaju na okoliš i da se ukaže na potrebu njihove remedijacije kojoj se danas nažalost prilazi parcijalno i na neodrživ način. Aktualnost ovog dokumenta dolazi do izražaja i zbog mogućeg proširenja kapaciteta postojećih i izgradnje novih termoenergetskih postrojenja. Uz postojeću termoelektranu u Tuzli i Ugljeviku planirano je proširenje njihovih kapaciteta, izgradnja nove termoelektrane u Banovićima, dok je u završnoj fazi izgradnja termoelektrane u Stanarima. Svi navedeni termoenergetski objekti pozicionirani su na maksimalnoj udaljenosti od oko 110 km čime će ovaj dio Bosne i Hercegovine, odnosno Evrope imati najveći broj termoelektrana u odnosu na raspoloživi prostor.



Slika 1.1. Odlagališta šljake i pepela „Divkovići II“ (izvor: CEE arhiva)

1. PORIJEKLO, VRSTE I KOLIČINE MATERIJALA KOJI SE ODLAŽE NA ODLAGALIŠTA

Šljaka i pepeo je najznačajniji muljeviti otpadni tok koji nastaje sagorijevanjem uglja. Na osnovu istraživanja koje su proveli (Swaine, 1990; Swaine *i sar.*, 1995; Raask, 1985), svi elementi iz periodnog sistema elemenata prisutni su u uglju. U odnosu na njihov različit udio u uglju, ovi elementi mogu se podijeliti u tri grupe:

1. glavni elementi (C, H, O, N, S), prisutni u količini od 1000 ppm,
2. elementi koji čine mineralni dio uglja (Si, Al, Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Ti) i halogeni elementi (F, Cl, Br, I), prisutni u koncentracijama između 100 i 1000 ppm, i
3. elementi u tragovima, u koncentracijama ispod 100 ppm.

Posebnu grupu metala koji se javljaju u uglju čine tzv. „teški metali“ iako ne postoji opće prihvaćena definicija termin „teški metali“ najviše se koristi za specifičnu grupu metala i metaloida u biološkim i okolinskim studijama i to u konotaciji zagađujućih materija i toksičnosti. Od 113 poznatih elemenata, 17 su nemetali, a 7 su polumetali. Polumetali (metaloidi) čine prelaz između metala i nemetala. Često se pojedini povezuju sa akutno toksičnim (arsen, barij, hrom, živa, nikl, olovo i kalaj), kancerogenim (arsen, kobalt, hrom, nikl, platina), imunogenim (zlatu, kobalt, hrom, nikl, platina), teratogenim (živa), spermiotoksičnim (kadmij, živa, nikl, olovo, talij), nefrotoksičnim (kadmij, uran), neurotoksičnim (aluminij, živa, magnezij, mangan, olovo, kalij, talij), genotoksičnim (kobalt, hrom) i alergogenim (hrom, nikl, platina, paladij)². Od svih teških metala, čak i u malim količinama, **najveći negativan uticaj po ljudski organizam imaju: arsen, kadmij, olovo, nikl, živa, mangan i molibden**. Navedeni teški metali pokazuju sklonost ka bioakumuliranju tokom vremena, kada se njihov efekat ne iskazuje kao akutni, već dovodi do hroničnih, degenerativnih promjena na pojedinim životno važnim organima: jetri, kostima, slezeni, mozgu itd.

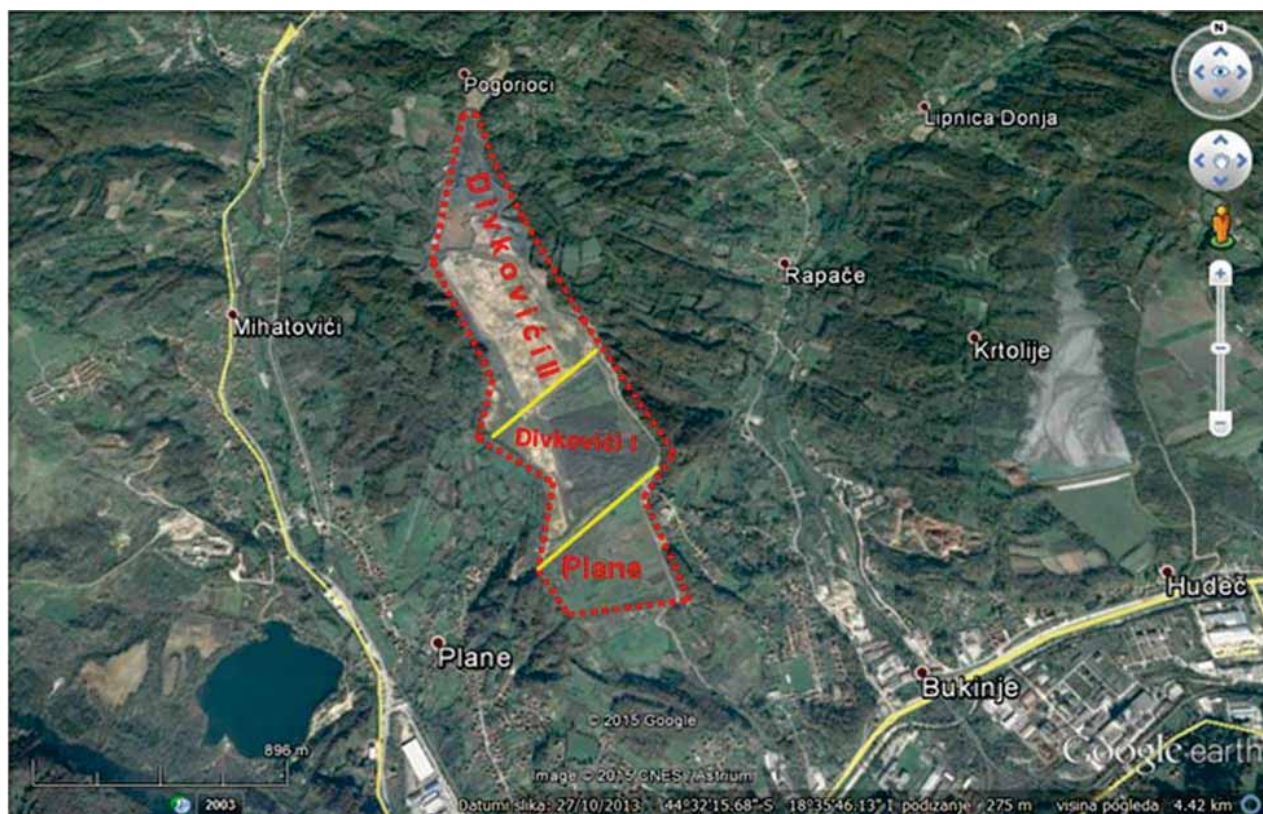
Pojedini metali bor, živa i selen koji djelomično ili potpuno isparavaju tokom sagorijevanja uglja, imaju tendenciju kondenziranja na submikronskim česticama zbog njihove velike površine. Submikronske čestice imaju veći negativan uticaja od supermikronskih čestica, budući da se duže vremena zadržavaju u atmosferi, čime se povećava mogućnost depozicije na zemljište. Metali arsen, barij, berilij, kadmij, kobalt, hrom, bakar, mangan, molibden, nikl, olovo, antimon, skandij, talij, titan, uran, vanadij i cink koji ne isparavaju tokom procesa sagorijevanja i ulaze u sastav šljake i pepela kao otopljeni.

Za potrebe dobivanja električne i toplinske energije u termoelektrani „Tuzla“ koristi se lignit iz rudnika (Dubrave, Šikulje i Mramor) i mrki ugalj rudnika „Banovići“ i „Đurđevik“. Prosječna toplinska moć lignita je 8.000-10.000 kJ/kg, a mrkog uglja 12.500-15.000 kJ/kg, sa sadržajem pepela od 15-25%. Sadržaj teških metala u šljaci i pepelu zavisi od njihovog prisustva u uglju, rezultati analize³ teških metala u uglju iz rudnika Banovići i Dubrave prikazani su u tabeli 1.1. Ovdje treba napomenuti da osim analize urađene u sklopu projekta RECOAL, i pojedinih studija uticaja na okoliš, nije urađena sveobuhvatna analiza uglja koji se koristi u Termoelektrani Tuzla na sadržaj metalnih i nemetalnih elemenata na

² http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241572345_eng.pdf.

³ „Reintegration of Coal Ash Disposal Sites and Mitigation of Pollution in the West Balkan Area“ (project No. 509173; www.rhizo.at/RECOAL)

osnovu koje bi mogao biti urađen materijalni bilans pojedinih teških metala, odnosno predvidjeti njihovo oslobađanje u procesu sagorijevanja. Na slici 1.2. prikazana su odlagališta šljake i pepela u odnosu na najbliže naseljena mjesta.



Slika 1.2. Satelitski snimak odlagališta šljake i pepela „Plane“, „Divkovići I“ i „Divkovići II“ (izvor: www.google-earth.com)

Odlagališta šljake i pepela kod kojih nakon zatvaranja nije izvršena potpuna remedijacija, i dalje predstavljaju izvor različitih vrsta onečišćujućih tvari. U sušnom periodu, nakon što površinski sloj vode ispari, površina odlagališta šljake ostaje relativno ravna. Pod uticajem vjetra veće čestice prašine se kotrljaju po površini ili budu podignute na visinu od oko 1 m. Pod uticajem gravitacije one se vraćaju na površinu pri čemu nastaje emisija sitnih čestica prašine koje se zadržavaju u zraku i nošene vjetrom prelaze velike udaljenosti (slika 1.3.). Tokom vremena površinski sloj postaje tvrdi i onemogućava dalje podizanje čestica, međutim, uslijed djelovanja vode (oborinske) površinski sloj postaje mekan i čim se isuši ponovo postaje podložan uticaju vjetra. Dakle, odlagališta šljake i pepela predstavljaju jedan, ako ne i najznačajniji, emisioni izvor čvrstih čestica različitog prečnika i taložnog praha. Transport šljake i pepela od mjesta nastanka do odlagališta vrši se hidraulički suspenzijom koju čini šljaka/pepeo i voda u omjeru 11:1 čime se troši oko 37 m³ vode u minuti. Na deponij, dio vode ispari a dio prodire u tijelo deponije i tu se zadržava. Preostala voda preko prelijevanih brana odlagališta i obodnim kanalom (slika 1.5.) dopijeva u korito potoka Banovac (slika 1.8.), koji se kod Termoelektrane Tuzla ulijeva u rijeku Jalu (slika 1.12.). U toku samog hidrauličkog transporta dolazi do intenzivnog miješanja vode, šljake i pepela pri čemu raste pH vrijednost na oko 12 jedinica. Takođe, dio teških metala iz čvrste faze šljake i pepela prelazi i obogaćuje procjedne i prelijevne vode sa odlagališta, čime direktno negativno utiču na kvalitet recipijenta, potok Banovac i rijeku Jalu.



Slika 1.3. Čestice prašine nošene vjetrom sa odlagališta šljake i pepela „Divkovići II“ (izvor: CEE arhiva)

Tabela 1.1. Koncentracije teških metala u ugljevima rudnika „Banovići“ i „Dubrave“

| Naziv elementa i hemijski simbol | Rudnik mrkog uglja „Banovići“, mg/kg | Rudnik lignita „Dubrave“, mg/kg |
|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Arsen (As) | 29,9 | 141,0 |
| Bakar (Cu) | 25,0 | 197,0 |
| Bor (B) | 310,0 | 347,0 |
| Cezij (Cs) | 3,44 | 16,6 |
| Hrom (Cr) | n.d. | 1050,0 |
| Kadmij (Cd) | 0,10 | 0,58 |
| Kobalt (Co) | 12,7 | 80,4 |
| Mangan (Mn) | 225,0 | 1610,0 |
| Molibden (Mo) | 1,11 | 3,67 |
| Nikl (Ni) | 291,0 | 1130,0 |
| Olovo (Pb) | 7,46 | 40,2 |
| Rubidij (Rb) | 8,82 | 75,6 |
| Talij (Tl) | 0,09 | 0,73 |
| Uranij (U) | n.d. | 3,53 |
| Vanadij (V) | n.d. | 272,5 |
| Cink (Zn) | 32,7 | 232,0 |
| Željezo (Fe) | 15500,0 | 93100,0 |

n.d. – not detected

Na osnovu poređenja koncentracije teških metala u tabeli 1.1. i vrijednosti koncentracija 38 metala (podaci su prikupljeni analizom više od 1500 uzoraka) u uglju iz USA, Velike Britanije, Australije i Kine (Xu *i sar.*, 2003) može se zaključiti da ugljevi iz Rudnika „Banovići“ i „Dubrave“ sadrže povećane koncentracije hroma, nikla i arsena što za posljedicu ima njihov visok sadržaj i u šljaci i pepelu. Odlaganje šljake i pepela na području Plana i Divkovića počelo je 1964. godine a završeno 2015. godine, uzimajući u obzir

odlagališta Drežnik i Jezero I, **ukupna količina odložene šljake i pepela je oko 40 miliona m³**. U tabeli 1.2. date su osnovne karakteristike odlagališta šljake i pepela Plane, Divkovići I i Divkovići II.

Tabela 1.2. Karakteristike odlagališta šljake i pepela

| <i>Naziv odlagališta</i> | <i>Plane</i> | <i>Divkovići I</i> | <i>Divkovići II</i> |
|---------------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| <i>Vrsta podloge</i> | <i>Površinski kop</i> | <i>Prirodna dolina</i> | <i>Prirodna dolina</i> |
| Početak odlaganja | 1964 | 1985 | 1985 |
| Kraj odlaganja | 1990 | 1995 | 2013 |
| Površina, ha | 18 | 45 | 68 |
| Početak rekultivacije | 1991/1992 | 2004 | - |
| Rekultivisano, ha | 18 | 10 | - |
| Debljina prekrivnog sloja, cm | 10-30 | 10-15 | - |
| Rekultivisana površina se koristi za: | poljoprivredu | - | - |

Količina nastale šljake i pepela u direktnoj je zavisnosti od proizvodnje električne energije i kvalitete uglja, u tabeli 1.3. prikazani su podaci o količini nastale šljake i pepela sa pripadajućim podacima o potrošnji vode i uglja za period 2010-2013. godina⁴.

Tabela 1.3. Pregled proizvodnje električne energije u Termoelektrani Tuzla i produkcije šljake i pepela za period 2010-2013. godina

| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|---------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Ukupna proizvodnja el.energije u FBiH, GWh | 7981,4 | 7294,5 | 6509,0 | 7473,0 |
| Proizvodnja el.energije na generatoru u TE „Tuzla“, GWh | 3541,6 | 4335,6 | 3219,4 | 3290,0 |
| Učešće TE „Tuzla“ u proizvodnji el.energije, % | 44,3 | 59,4 | 49,4 | 44,0 |
| Potrošnja uglja, t | 3477301,32 | 4201500,00 | 3392300,00 | 3590170,00 |
| Nastalo šljake i pepela, t | 689463,00 | 639226,00 | 617833,00 | 568182,00 |
| Potrošnja vode, miliona m ³ | 22,824 | 22,824 | 14,752 | 16,879 |
| Specifični utrošak uglja, kg/kWh | 0,98 | 0,96 | 1,05 | 1,09 |
| Specifični utrošak vode, m ³ /kWh | 0,006 | 0,005 | 0,004 | 0,005 |

Iz tabele 1.3. vidljivo je da u periodu od 2010-2013. godina na odlagališta je odloženo 2514704,00 t šljake i pepela. Tokom 2013. godine **na deponiji Jezero II odloženo je i 3000 m³ opasnog otpada, klasifikacioni kod 17 06 05* - građevinski materijal koji sadrži azbest⁵**.

⁴ <http://www.elektroprivreda.ba/stranica/okolina>

⁵ [Godišnji izvještaj o zaštiti okoline/okoliša 2013](#)

2. TOKSIKOLOŠKE OSOBINE TEŠKIH METALA

Teški metali su ekološki vrlo značajni jer su nerazgradljivi i ne nestaju nego se kreću kroz ekosistem i imaju normalan biogeohemijski ciklus. Intezitet kruženja je neravnomjeran u toku godine i zavisi od klimatskih uslova, blizine izvora zagađivanja i aktivnosti bioloških sistema. Neki od njih, kao što su željezo, mangan, bakar, zink, molibden, kobalt, vanadij i stroncij, pripadaju skupini esencijalnih elemenata i u malim količinama su neophodni za mnogobrojne funkcije živog organizma. Pri većim koncentracijama ispoljavaju toksične efekte i ukoliko se uključe u hranidbeni lanac, predstavljaju opasnost po zdravlje životinja i čovjeka. Neki teški metali, kao što su olovo, nikl, arsen i živa ispoljavaju toksične uticaje u slučaju njihovog suviška u okolišu. Njihova antropogena redistribucija uzrokuje povećan prodor u hranidbene lance i izaziva različite poremećaje kako u prirodnim tako i u antropogeniziranim ekosistemima. U nastavku teksta opisane su osnovne toksikološke osobine arsena, hroma, kadmija, olova i žive.

2.1. Arsen

Arsen spada u metaloide. Pojavljuje se u spojevima kao As^{3+} i As^{5+} , najčešće se nalazi u vidu trovalentnog oksida As_2O_3 koji je i najtoksičniji. U prirodi je najviše zastupljen u stijenama (99 %), a ostatak se nalazi u zemljištu i vodama. Prosječna koncentracija arsena u zemljinoj kori procijenjena je na 1,5-2 mg/kg. U biosferu dospijeva i iz antropogenih izvora, kao što su rafinerije i topionice. U prirodi arsen je uglavnom vezan u različite geološke formacije iz kojih najčešće procjeđivanjem dospjeva u vodotoke. Arsen je u zemljištu jako mobilan što mu omogućava da kontaminira i podzemne vode. Zemljište i biljke ga akumuliraju i zadržavaju, pa se u podzemnoj vodi nalazi u nižim koncentracijama. Arsen je subjekat bioakumulacije, rijetko i biomagnifikacije. Arsen u organskom obliku se smatra relativno netoksičan osim onih sintetski stvorenih i razvijenih kao komponente pesticida.

Kontaminacija podzemnih voda najvažniji je problem vezan uz izloženost spojevima arsena. Riječ je o anorganskim vrstama As, dok su organski spojevi znatno manje toksični ili netoksični. Toksičnost anorganskog As uključuje promjene na koži (hiperkeratoze, pa i rak kože), neurotoksičnost i karcinogenost, a postoje indicije da bi mogao djelovati i kao reproduktivni i razvojni toksin te izazivati dijabetes. Kardiovaskularna toksičnost arsena povezuje se s hipertenzijom i tzv. bolešću crnih stopala, zbog poremećaja periferne cirkulacije, kao i s aterosklerozom, srčanim, moždanim udarom i dr.⁶

2.2. Hrom

Hrom u okoliš dospijeva u obliku trovalentnog i šesterovalentnog hroma (Cr^{3+} i Cr^{6+}) kao rezultat prirodnih procesa i antropogenih aktivnosti. Ioni Cr^{3+} su mnogo manje pokretni od iona Cr^{6+} , koji ima širok spektar negativnih uticaja. Kancerogeni uticaj Cr^{6+} prvi put je otkriven krajem 19. vijeka kada su prvi puta opisane pojave tumora kod radnika koji su radili s pigmentima na bazi hroma u Škotskoj. Profesionalna bolest uzrokovana hromom

⁶ http://www.hah.hr/pdf/Knjiga_kemijske_i_fizikalne_opasnosti.pdf

otkrivena je 1936. godine u Njemačkoj u ovom periodu objavljene su i brojne studije koje opisuju pojavu raka pluća kod radnika koji su bili u kontaktu sa solima hroma. Do ljudi i životinja Cr^{6+} dopijeva isključivo inhalacijom ili kao produkt industrijskog onečišćenja. Prosječna koncentracija hroma u litosferi je oko 100 mg/kg, a u pedosferi 100-300 mg/kg. Glavni izvori antropogenog hroma su metalurška postrojenja, proizvodnja cementa, papira, sagorijevanje fosilnih goriva, đubriva i otpadni muljevi. Koncentracija hroma, je u većini zemljišta ekstremno mala u obliku pristupačnom za biljke. Količine Cr u zemljištu zavise od geografskog području i stepena kontaminacije iz antropogenih izvora tako da se koncentracije kreću od 1 do 1000 mg/kg s prosječnim koncentracijama od 14 do 70 mg/kg.

2.3. Kadmij

Nema esencijalne biološke funkcije, ali je pronađen u više od 1000 vrsta terestrične i akvatične flore i faune. On je najopasniji teški metal u zemljištu i životnoj sredini, zbog čega mu se i posvećuje posebna pažnja. Prirodni izvor kadmija je matični supstrat i najčešće se pojavljuje u sastavu sfalerita i galenita, tj. kao primjesa u sulfidnim rudama cinka i olova. Antropogena emisija kadmija u atmosferi javlja se kod proizvodnje i upotrebe kadmija i njegovih spojeva, odlaganja otpada koji sadrži kadmij, spaljivanja fosilnih goriva, proizvodnje cementa itd. Kadmij je prisutan u zemljištu kao njegov prirodni sastojak i njegov sadržaj iznosi 0,1-1,0 mg/kg zemljišta, odnosno 1-3 mg/kg na zraku suhog zemljišta. Sadržaj kadmija u zemljištu je relativno nizak, ali ima veliku sklonost nakupljanja, naročito u površinskom horizontu. Mobilnost mu je velika i zbog toga je pristupačniji biljkama, za razliku od drugih teških metala u zemljištu. Antropogenim uticajem, kadmija u zemljište dopijeva uglavnom iz zraka. Kadmij se apsorbira u tlu iz kojega ga uzimaju biljke te tako, preko konzumacije hrane direktno ili preko životinja, ulazi u hranidbeni lanac. Kadmij može u organizmu zamijeniti cink, kalcij i kalij i teško ga je ukloniti. Zadržava se u bubrezima i jetri i do 40 godina te u kostima. Kadmij je prvenstveno toksičan za jetru i bubrege, zatim probavni trakt, a hroničnim unosom uz nedovoljan unos kalcija ili zbog visokog unosa može se ugraditi u kosti i izazvati tzv. itai-itai, tj. bolest bolnih kostiju⁷.

2.4. Olovo

Javlja se u tragovima u litosferi i pedosferi. Nalazi se u obliku svojih spojeva: sulfata, sulfida i karbonata. Sadržaj olova u zemljištu je u prosjeku 0,1-20 mg/kg. Učešće prirodnih izvora u zagađivanju okoliša olovom je malo. Olovo u okolišu potiče uglavnom iz antropogenih izvora (rudnici i topionice olova, metalurška postrojenja, ispušni plinovi vozila, proizvodnja akumulatora i baterija, pojedini pesticidi i dr.). Olovo se takođe unosi u kopnene i vodene ekosisteme atmosferskim depozicijama na izloženim površinama. Smatra se vodećim zagađivačem okoliša i sve više ugrožava živi svijet, posebno okoliš velikih industrijskih postrojenja, frekventnih saobraćajnica i velikih gradova. Akumulira se u površinskom horizontu zemljišta i sedimentima gdje dugo ostaje biodostupno. Samo su manje koncentracije olova iz zemljišta dostupna biljkama. Intezitet njegovog usvajanja zavisi od koncentracija u zemljištu, pH-vrijednosti zemljišta, sadržaja organske materije, odnosa kationa i aniona, kao i drugih ekoloških faktora. Čovjek je izložen toksičnom

⁷ http://www.hah.hr/pdf/Knjiga_kemijske_i_fizikalne_opasnosti.pdf

djelovanju olova unosom hrane i vode koje su onečišćene olovom, ali i udisanjem čestica tla, prašine i starih bojila. Olovo se brzo apsorbira u krvotok i negativno djeluje na centralni nervni, krvožilni i imunološki sistem te bubrege⁸.

2.5. Živa

Živa je tečni metal i ima sposobnost rastvaranja drugih metala s kojima gradi hemijska jedinjenja poznata kao amalgami. Stabilna je na zraku, ne reaguje s bazama i većinom kiselina. Emisija žive u okoliš dolazi iz dva izvora, prirodnog i antropogenog. Prirodni izvori su vulkanske erupcije, erozija tla a antropogeni primarno sagorjevanje fosilnih goriva, topljenje ruda i spalionice otpada. Ispuštanjem iz tih izvora elementarna živa prelazi u svoju plinovitu fazu, ulazi u atmosferu, gdje kruži i dispergira se u okoliš te ulazi u stalni proces kruženja biogehemijskog ciklusa čiji je sastavni a ako ne i centralni dio čovjek. Isparavanjem, elementarna živa prelazi u anorgansku živu koja se povezuje s vodenom parom, prašinom i mokrom depozicijom pada na površinu zemlje, gdje se taloži u zemljištu ili u vodenoj sredini u sedimentu. U vodenoj sredini anorganska živa dijelom prelazi u netopivi živin sulfid (HgS), dok dio žive pomoću metanogenih bakterija prelazi u njen najtoksičniji metilni oblik (Hg-CH₃)⁹. Živa je teški metal sklon bioakumulaciji, unesena u organizam trajno se ugrađuje u ćelijama i u svakom narednom stepenu lanca ishrane njena koncentracija se povećava (biomagnificira). U prirodi se ne razgrađuje niti jednim poznatim biološkim procesom, te zbog toga ulaskom u okoliš postaje njen neraskidivi dio djelujuću na sve sastavnice okoliša negativno.

Anorganska živa slabo se apsorbira (<10% unesene žive) kroz probavni sustav čovjeka. Živine se pare apsorbiraju u plućima, a metil-živa gotovo se potpuno (>90%) apsorbira nakon unosa u probavni trakt. Uzimanjem anorganske žive hranom, njen oksidirani oblik može izazvati grčeve u trbuhu, čir na želucu i poremećaj u radu bubrega. Rezultat poremećaja rada bubrega oksidiranom živom je tzv. proteinuria, pri kojoj urin sadrži abnormalne količine proteina. Stalna izloženost utjecaju živinih para može kod ljudi izazvati različite poremećaje centralnog nervnog sistema, čije posljedice mogu biti: drhtanje, poremećaji sna, pa sve do gubitka pamćenja, depresije, delirija i halucinacija. Konzumacija ribe s povećanim sadržajem metil-žive može dovesti do povećane razine žive u krvi nerođenog djeteta i male djece, koja može oštetiti njihov nervni sustav u razvoju. Na trovanje živom posebice je osjetljiv mozak fetusa i male djece. Kod odraslih osoba male se količine žive u organizmu povezuju s hroničnim neurodegenerativnim bolestima, kao što su Perkinsonova bolest, Alzheimerova bolest, reumatoidni artritis itd., te poremećajima imunološkoga sistema i alergijama. Prema tome, opasnost od trovanja živom za čovjeka ovisi o hemijskom obliku žive, količinama kojima je čovjek izložen, starosti osobe (fetus je najosjetljiviji), vremenu izloženosti, načinu izloženosti: udisanjem, unosom hrane, kožnim kontaktom te prethodnim zdravstvenim stanjem osobe koja je izložena¹⁰.

⁸ http://www.hah.hr/pdf/Knjiga_kemijske_i_fizikalne_opasnosti.pdf

⁹ United Nations Environment Programme-UNEP and World Health Organisation-UNEP/WHO (2008) Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure. United Nations Environmental Program and World Health Organization: Geneva, Switzerland.

¹⁰ http://www.hah.hr/pdf/Knjiga_kemijske_i_fizikalne_opasnosti.pdf

3. REZULTATI ANALIZE PRISUSTVA TEŠKIH METALA U ZEMLJIŠTU I LOKALNO PROIZVEDENOJ HRANI U NASELJIMA NA PODRUČJU OKO ODLAGALIŠTA ŠLJAKE DIVKOVIĆI/PLANE - TERMoeLEKTRANE TUZLA

O okviru izrade ovog dokumenta izvršena je analiza uzoraka uzetih u neposrednoj blizini odlagališta šljake i pepela Plane, Divkovići I i Divkovići II. Ukupno su analizirana 32 uzoraka od čega 20 uzoraka organskog porijekla (kokošija jaja, krompir, češnjak, crveni luk, celer, peršin, riba i ljudska kosa). Od ihtiofaune analizirana je štuka iz manjeg jezera u naselju Divkovići. Takođe, uzeti su uzorci ljudske kose od stanovnika iz naselja Bukinje, Šićki Brod, Plane i Divkovići uz opis njihovih prehrambenih navika u pogledu konzumiranja ribe. U uzorcima je izvršeno određivanje arsena, hroma, kadmija, olova i žive, pored navedenih teških metala u uzorcima ljudske kose određena je metil-živa koja predstavlja njen najtoksičniji spoj. Izbor poljoprivrednih površina sa kojih je izvršeno uzorkovanje zemljišta izvršeno je na osnovu njihove blizine odlagalištu šljake i pepela „Divkovići II“, kao i na osnovu dopuštenja vlasnika. Takođe, u obzir je uzeta ruža vjetrova područja kao i informacije dobivene od lokalnog stanovništva (početak sjetve, vrsta gnojiva, vrste kultura koje se gaje itd.). Uzorkovanje zemljišta izvršeno je prema Uputstvu o postupku, radnjama i uslovima za vršenje kontrole plodnosti zemljišta (*"Službene novine FBiH"*, br. 72/09). Uzorci zemljišta za analizu uzimani su sa dubine od 0-25 cm. Prosječan uzorak dobiven je homogeniziranjem pojedinačnih uzoraka. Uzorkovanje sedimenta izvršeno je pomoću cijevi koja se uranja u sediment, prosječan uzorak dobiven je kao i kod zemljišta homogeniziranjem pojedinačnih uzoraka. Uzorci biljnog materijala uzimani su kao cijele biljke a analiziran je samo podzemni (jestivi) dio. U naselju Divkovići uzeto je 6 konzumnih jaja od koka nosilja starih 2-3 godine, koje se slobodno kreću unutar dvorišta. Koke nosilje se hrane kukuruzom uzgojenog na lokalnim njivama. U naselju Plane konzumna jaja su uzeta od jedne koke nosilje u količini od 5 komada. U naselju Divkovići konzumna jaja se prodaju susjedima, u naselju Plane koriste se za potrebe samo jedne porodice. Za potrebe određivanja hemijskog kvaliteta vode uzet je kompozitni uzorak sa pet lokacija i stabiliziran sa koncentrovanom hlorovodoničnom kiselinom. Vrste uzoraka sa pripadajućim oznakama i koordinatama mjernog mjesta prikazani su u tabeli 1.4.



Slika 1.4. Poljoprivredno zemljište u neposrednoj blizini odlagališta šljake i pepela „Divkovići II“ (izvor: CEE arhiva)

Tabela 1.4. Vrste uzoraka i opis lokacije uzorkovanja

| Oznaka uzorka | Vrsta uzorka | Napomena ¹¹ | Koordinate mjernog mjesta |
|---------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Z-01 | Zemljište | Naselje Divkovići 500 m od odlagališta Divkovići II | 44.531044 18.598511 |
| Z-02 | Zemljište | Naselje Pogorioci, njiva u neposrednoj blizini odlagališta Divkovići II | 44.552429 18.584229 |
| Z-03 | Zemljište | Naselje Plane 750 m od odlagališta Divkovići II | 44.531711 18.587537 |
| S-01 | Sediment | Potok Banovac | 44.526798 18.598445 |
| S-02 | Sediment | Rijeka Jala, ušće potoka Banovac u Jalu | 44.521668 18.602798 |
| S-03 | Sediment | Rijeka Jala kod HAK-a | 44.527623 18.614789 |
| S-04 | Sediment | Rijeka Jala kod Gornje Tuzle, kontrolni uzorak | 44.548582 18.760808 |
| O-J-01 | Organski/kokošije jaje | Naselje Divkovići 500 m od odlagališta Divkovići II | 44.530831 18.598697 |
| O-J-02 | Organski/kokošije jaje | Naselje Plane 750 m od odlagališta Divkovići II | 44.531711 18.587537 |
| O-K-01 | Organski/krompir | Naselje Plane 750 m od odlagališta Divkovići II | 44.531711 18.587537 |
| O-L-01 | Organski/luk | Naselje Divkovići 250 m od odlagališta Divkovići II | 44.533825 18.596772 |
| O-L-02 | Organski/luk-češnjak | Naselje Plane 750 m od odlagališta Divkovići II | 44.531711 18.587537 |
| O-L-03 | Organski/luk i celer | Naselje Divkovići 300 m od odlagališta Divkovići II | 44.532621 18.597437 |
| O-P-01 | Organski/peršin | Naselje Divkovići 250 m od odlagališta Divkovići II | 44.534303 18.596702 |
| O-R-01 | Organski/riba (štuka) | Naselje Divkovići 980 m od odlagališta Divkovići II | 44.320108 18.360457 |
| O-H-01 | Organski/ljudska kosa | Naselje Šićki brod, pastrmka/šaran jednom sedmično | 44.311559 18.353214 |
| O-H-02 | Organski/ljudska kosa | Naselje Šićki brod, pastrmka/šaran jednom sedmično | 44.311559 18.353214 |
| O-H-03 | Organski/ljudska kosa | Naselje Bukinje, oslić jednom sedmično, pasivni konzument cigareta | 44.313739 18.363293 |
| O-H-04 | Organski/ljudska kosa | Naselje Bukinje, domaćica, ne konzumira ribu | 44.313739 18.363293 |
| O-H-05 | Organski/ljudska kosa | Naselje Bukinje, penzioner, ne konzumira ribu | 44.313739 18.363293 |
| O-H-06 | Organski/ljudska kosa | Naselje Šićki Brod, penzioner, pastrmka/oslić jednom sedmično | 44.311559 18.353214 |
| O-H-07 | Organski/ljudska kosa | Naselje Šićki Brod, šaran/som/skuša 2-3 puta sedmično | 44.311559 18.353214 |

¹¹ Kod opisa mjesta uzorkovanja ljudske kose, dati su samo opći podaci, bez navođenja detaljnijih podataka a sve u svrhu zaštite identiteta ispitanika (osoba od kojih su uzeti uzorci) uz navođenje koordinata za naseljeno mjesto.

Nastavak tabele 1.4.

| | | | |
|--------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| O-H-08 | Organski/ljudska kosa | Naselje Divkovići, oslić jednom sedmično, pasivni konzument cigareta | 44.320059 18.355211 |
| O-H-09 | Organski/ljudska kosa | Naselje Divkovići, domaćica, ne konzumira ribu | 44.320059 18.355211 |
| O-H-10 | Organski/ljudska kosa | Naselje Plane, student klen/deverika jednom sedmično, pasivni konzument cigareta | 44.314280 18.350911 |
| O-H-11 | Organski/ljudska kosa | Naselje Plane, penzioner, šaran/oslić jednom sedmično, aktivni konzument cigareta (20 cigareta na dan) | 44.314280 18.350911 |
| O-H-12 | Organski/ljudska kosa | Naselje Divkovići, pastrmka/oslić jednom sedmično, pasivni konzument cigareta | 44.320059 18.355211 |
| V-01 | Prelivna voda | Prelivna voda sa aktivnog odlagališta Jezero II | 44.314776 18.371664 |
| V-02 | Procjedna voda | Potok Banovac | 44.526798 18.598445 |
| V-03 | Procjedna voda | Procjedna voda sa vrha odlagališta prema naselju Pogorioci | 44.331909 18.351225 |
| V-04 | Voda | Rijeka Jala, naselje Šićki Brod, ispod mosta | 44.310072 18.351731 |
| V-05 | Voda | Rijeka Jala, kod Gornje Tuzle, kontrolni uzorak | 44.548582 18.760808 |



Slika 1.5. Dio obodnog kanala odlagalište šljake i pepela „Plane“, „Divkovići I“ i „Divkovići II“ (izvor: CEE arhiva)

4. REZULTATI ANALIZE SADRŽAJA TEŠKIH METALA U ZEMLJIŠTU

Teški metali su prirodni sastojci zemljišta, a potiču iz prirodnih (matična stijena) i antropogenih izvora (industrijska postrojenja). Antropogeni izvori predstavljaju najznačajnije zagađivače zemljišta¹², pri čemu ga kontaminiraju na sljedeće načine (Goletić, 2005.):

- emisijom čvrstih čestica koje sadrže teške metale i koje se putem vjetra raznose i talože na površinskom sloju zemljišta,
- preko otpadnih voda, taloženjem u sedimentu,
- preko procjednih voda sa deponija komunalnog i industrijskog otpada,
- korištenjem mineralnih i organskih đubriva i
- korištenjem pesticida.

Za razliku od većine organskih polutanata koji vremenom gube svoju toksičnost, teški metali, tokom vremena, ne mogu biti razgrađeni niti uništeni. Procesom bioakumulacije njihova koncentracija raste. Uzorci zemljišta, uzeti su početkom maja 2015. godine i to na onim zemljišnim površinama koje nisu tretirane gnojivima. Rezultati analize uzoraka zemljišta, na sadržaj teških metala prikazani su u tabeli 1.5. i grafički na slici 1.6. U tabeli 1.6. prikazane su granične vrijednosti teških metala u zemljištu u zavisnosti od teksture zemljišta.

Tabela 1.5. Rezultati analize uzoraka zemljišta na sadržaj teških metala, mg/kg

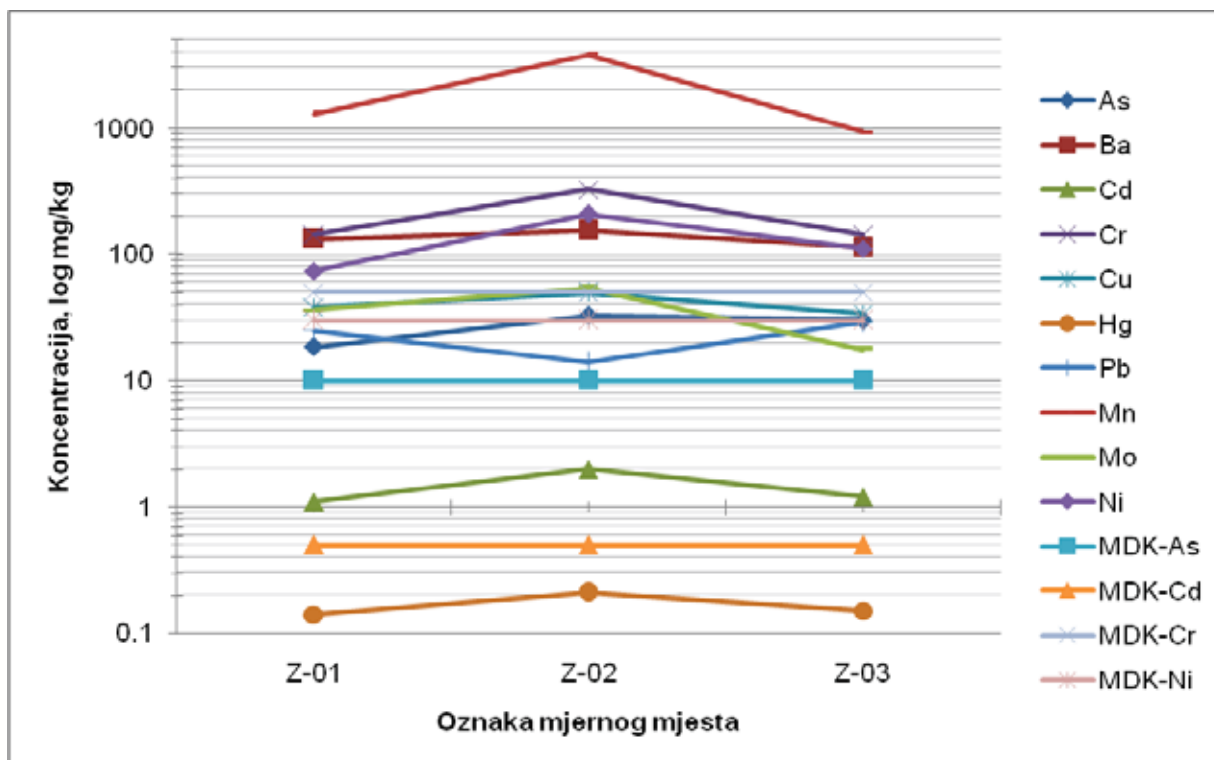
| Oznaka uzorka | As | Ba | Cd | Cr | Cu | Hg | Pb | Mn | Mo | Ni |
|---------------|------|-------|-----|-------|------|------|------|--------|------|-------|
| Z-01 | 18,6 | 132,5 | 1,1 | 143,8 | 37,9 | 0,14 | 24,9 | 1303,0 | 36,4 | 74,1 |
| Z-02 | 32,8 | 154,4 | 2,0 | 325,9 | 49,2 | 0,21 | 14,0 | 3832,0 | 54,5 | 209,5 |
| Z-03 | 30,1 | 113,5 | 1,2 | 142,9 | 33,8 | 0,15 | 28,8 | 937,0 | 17,6 | 111,6 |

Iznad granične vrijednosti

Tabela 1.6. Maksimalno dopuštene količine teških metala u poljoprivrednom zemljištu,

| Teški metali ukupni oblik (mg/kg) | Granične vrijednosti u zavisnosti od teksture zemljišta | | |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------|
| | Pjeskovito zemljište | Praškasto-ilovasto zemljište | Glinovito zemljište |
| Olovo (Pb) | 50 | 80 | 100 |
| Kadmij (Cd) | 0,5 | 1,0 | 1,5 |
| Nikl (Ni) | 30 | 40 | 50 |
| Cink (Zn) | 100 | 150 | 200 |
| Kobalt (Co) | 30 | 45 | 60 |
| Bakar (Cu) | 50 | 65 | 80 |
| Hrom (Cr) | 50 | 80 | 100 |
| Živa (Hg) | 0,5 | 1,0 | 1,5 |
| Arsen (As) | 10 | 15 | 20 |

¹² Goletić, Š. (2005): Teški metali u okolišu, *Univerzitet u Zenici*, Zenica.



Slika 1.6. Koncentracija teških metala u zemljištu naselja Plane, Divkovići i Pogorioci

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 1.5. i njihovom usporedbom sa graničnim vrijednostima datim u tabeli 1.6. može se zaključiti da je zemljište na mjernim mjestima Z-01 i Z-02 (**naselja Divkovići i Pogorioci**) **zagađeno arsenom**. Prirodni sadržaj arsena u zemljištu kreće se od 0,5 mg/kg za magmatske i ultrabazične stijene do 2 mg/kg za bazaltne stijene, odnosno 2,4 mg/kg za intermedijarne i 1,5 mg/kg za kisele stijene. Srednji sadržaj arsena u crnim šejlovima i uglju iznosi 13 mg/kg, **vidljivo je**, takođe, iz tabele 1.1. **prisustvo arsena u ugljevima „Banovići“ i „Dubrave“**. Iz navedenog se može zaključiti da se prisustvo povišenih koncentracija arsena u zemljištu koje nije tretirano vještačkim đubrivima i sredstvima za zaštitu može povezati sa najbližim izvorom zagađivanja (odlagališta šljake i pepela).

U zemljište analiziranog područja, arsen dopijeva isključivo putem mokre ili suhe depozicije iz zraka. Sitne čestice prašine sa odlagališta šljake i pepela nošene vjetrom zadržavaju se u prizemnom sloju atmosfere i u periodu suhog vremena čestice se kreću prema površini zemljišta sedimentacijom i turbulentnim transportom. Mokra depozicija odvija se u periodima visoke vlažnosti zraka, čestice se vežu za kapi u oblacima ili se kapima spiraju ispod oblaka čime dopijevaju na površinu zemljišta.

Prosječna koncentracija barija u zemljištu je 425 mg/kg, dok se njegova koncentracija u ugljevima kreće i do 3000 mg/kg. Koncentracija barija na ispitivanim lokacijama nalazi se ispod prosječne vrijednosti. Mangan se u zemljištu nalazi u koncentracijama od 20 do 3000 mg/kg. Molibden je esencijalni element neophodan za ugradnju azota i redukciji nitrata u nitrite u biljkama i bakterijama. Koncentracija Mo u zemljištu se kreće od 1 do 2

mg/kg. Prilikom sagorijevanja uglja dolazi do njegovog koncentriranja u čvrstim produktima sagorijevanja (tipične vrijednosti za ugalj u SAD se kreću od 0,2 do 50 mg/kg)¹³. Iako je molibden esencijalni element, povišene koncentracije u zemljištu mogu imati negativan uticaj, prema¹⁴ preporučene maksimalne koncentracije za poljoprivredno zemljište iznosi 15 mg/kg, vidljivo je da izmjerene koncentracije molibdena prikazane u tabeli 1.5. prelaze preporučene maksimalne koncentracije.

Sadržaj kadmija u zemljištu prelazi granične vrijednosti u sva tri uzorka u odnosu na zahtjeve date za praškasto-ilovasto zemljište. U svim uzorcima zemljišta pronađene su veoma visoke koncentracije hroma i nikla, mjerno mjesto Z-02 (Naselje Pogorioci, njiva u neposrednoj blizini odlagališta Divkovići II) je najzagađenija arsenom, kadmijem, hromom i niklom.

5. REZULTATI ANALIZE SADRŽAJA TEŠKIH METALA U SEDIMENTU

Sediment se definiše kao materijal istaložen u vodotoku u obliku mulja ili kao čvrsti talog. Sediment čine organske i anorganske tvari, čestice pijeska, šljunka, mulja, blata i fino zrnastog tla koji u vodotok dospjeva uslijed atmosferilija i prenosi se nizvodno djelovanjem vode. U vodotoku sedimenti imaju visoku ekološku vrijednost jer su sastavni i dinamični dio ekosistema voda, sediment je osnova u izgradnji i razvoju vodene flore i faune. Sedimenti u vodenim sredinama imaju važnu ulogu u ciklusu ishrane jer predstavljaju stanište za mnogobrojne organizme, u sedimentu se odvija izmjena hranjivih tvari iz vodnog tijela prema sedimentu i obratno ali takođe i polutanata. Zbog toga određivanje kvalitete sedimenta je od posebnog interesa u proučavanju stanja vodotoka i okoliša u cjelini. Analizom sedimenta možemo dobiti podatke o onečišćenju istraživanog područja u određenom trenutku ili u bilo kojem razdoblju u prošlosti. Rezultati analize uzoraka sedimenta, na sadržaj teških metala prikazani su u tabeli 1.7. i grafički na slici 1.7. U tabeli 1.8. prikazane su vrijednosti kvalitete sedimenta preuzete iz Sediment Quality Criteria in Use Around the World¹⁵.

Tabela 1.7. Rezultati analize uzoraka sedimenta na sadržaj teških metala, mg/kg

| Oznaka uzorka | As | Ba | Cd | Cr | Cu | Hg | Pb | Mn | Mo | Ni |
|---------------|------|-------|------|-------|------|------|------|--------|------|-------|
| S-01 | 42,3 | 184,5 | 1,2 | 299,5 | 55,6 | 0,50 | <0,1 | 708,0 | 10,0 | 322,5 |
| S-02 | 32,4 | 107,5 | <1,0 | 260,6 | 56,0 | 0,42 | <0,1 | 1041,0 | 20,6 | 279,9 |
| S-03 | 35,3 | 115,7 | 1,5 | 167,5 | 29,2 | 0,37 | 34,7 | 920,0 | 10,2 | 94,6 |
| S-04 | 49,8 | 103,6 | 2,4 | 224,6 | 34,6 | 0,24 | 5,4 | 1168,9 | 22,8 | 193,3 |

Toksičan uticaj na organizme u sedimentu

Iznad granične vrijednosti

¹³ Alloway B.J. (1995) Heavy Metals in Soils, Blackie Academic & Professional.str.318

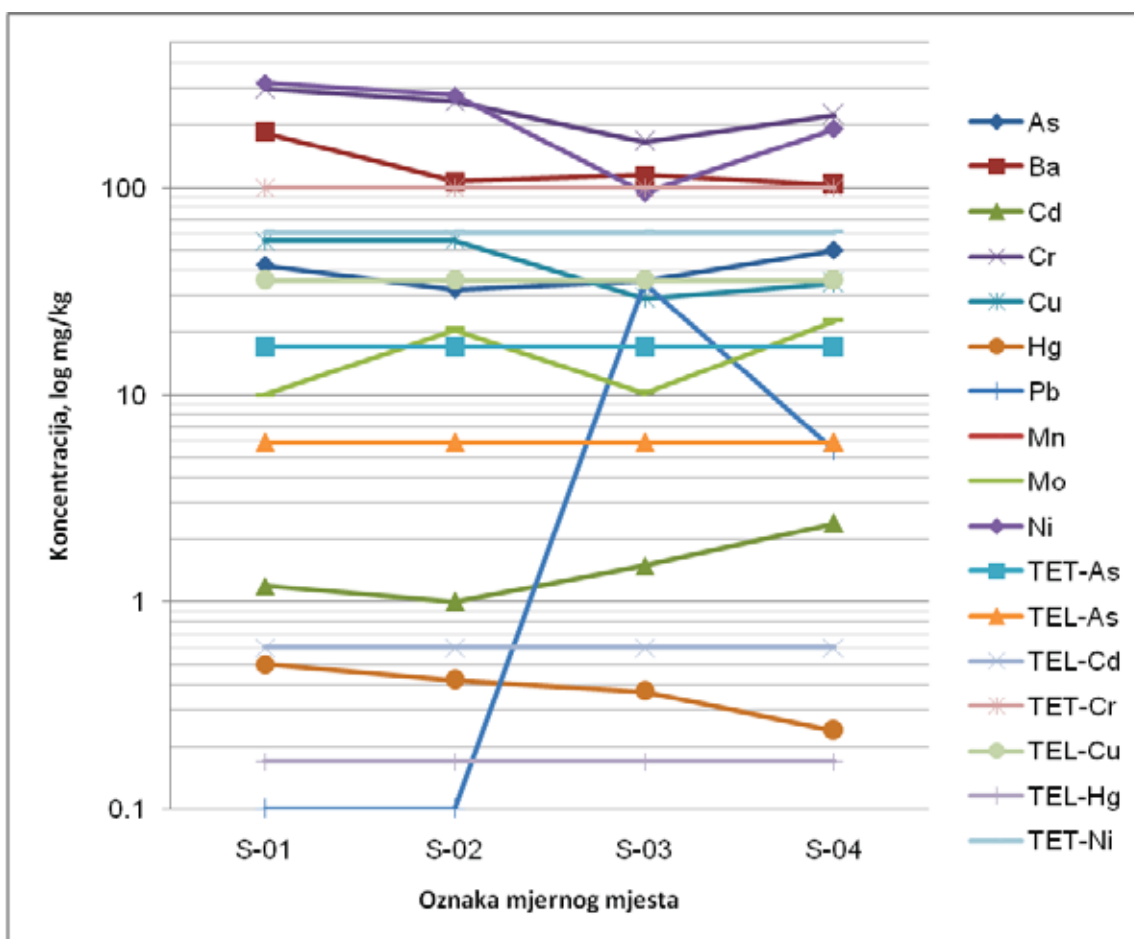
¹⁴ <https://www.google.ba/webhp?hl=hr&tab=Tw#q=molybdenum+contamination+in+soil&hl=hr&start=20>

¹⁵ <http://link.springer.com/article/10.1007/s102010200008#page-1>

Tabela 1.8. Vrijednosti kvalitete sedimenta prema smjernicama navedenim u (*Sediment Quality Criteria in Use Around the World*), mg/kg

| Ekstremno negativan uticaj teških metala | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------|-----|------|-----|-----|------|----|------|
| Smjernice kvalitete sedimenta | As | Cr | Cd | Pb | Hg | Ni | Cu |
| TET | 17 | 100 | 3 | 170 | 1 | 61 | 86 |
| SEL ¹⁶ | 33 | 110 | 10 | 250 | 2 | 75 | 110 |
| Granična vrijednost iznad koje se javljaju negativni uticaji | | | | | | | |
| Smjernice kvalitete sedimenta | As | Cr | Cd | Pb | Hg | Ni | Cu |
| TEL ¹⁷ | 5,9 | 37,3 | 0,6 | 35 | 0,17 | 18 | 35,7 |
| LEL | 6 | 26 | 0,6 | 31 | 0,2 | 30 | 70 |

TET – toxic effect threshold - granična vrijednost toksičnog uticaja, koncentracije imaju toksičan uticaj
 SEL – severe effect level - koncentracije pri kojoj su jako izraženi negativni uticaji na organizme u sedimentu
 TEL – threshold effect level – koncentracija iznad koje su mogući negativni uticaji na organizme u sedimentu
 LEL – lowest effects level – najniža koncentracija metala pri kojoj može doći do negativnog uticaja na veoma osjetljive organizme u sedimentu



Slika 1.7. Koncentracija teških metala u sedimentu

¹⁶ Ontario Ministry of Environment Screening Level Guidelines, ANZECC 1997

¹⁷ Canadian Freshwater Sediment Guidelines, ANZECC 1997

Na osnovu provedenog istraživanja može se zaključiti da sediment na mjernim mjestima S-01, S-03 i S-04 (potoka Banovac, rijeka Jala kod bivšeg HAK-a i kontrolno mjerno mjesto) **sadrže arsen u koncentracijama koje su toksične po organizme u sedimentu**, na mjernom mjestu S-02 koncentracija arsena je iznad granične.

Visoke koncentracije arsena na mjernom mjestu S-01 je direktna posljedica ispuštanja prelivnih voda sa predmetnih odlagališta gdje se sitne čestice šljake i pepela talože u pomenutom vodotoku. Visoka koncentracija arsena na kontrolnom mjernom mjestu u Gornjoj Tuzli rezultat je ispuštanja neprečišćenih komunalnih otpadnih voda ali i odlaganja različitih vrsta otpada u korito vodotoka što je uočeno tokom obilaska lokacije i uzorkovanja.

Na svim mjernim mjestima koncentracije hroma i nikla dostigle su takve koncentracije koje imaju toksičan uticaj na bentos vodotoka. U analiziranim uzorcima sedimenta granične vrijednosti prelaze toksični teški metali kadmij i živa, na mjernim mjestima S-01 i S-02 sadržaj bakra prelazi graničnu vrijednost.



Slika 1.8. Potok Banovac ispod odlagališta šljake i pepela „Plane“, „Divkovići I“ i „Divkovići II“ (izvor: CEE arhiva)

6. REZULTATI ANALIZE SADRŽAJA TEŠKIH METALA U BILJNOM I ANIMALNOM MATERIJALU

Analizom biljnog materijala, može se jasno ukazati na prisustvo i intenzitet različitih zagađujućih materija (teški metali, perzistentni organski polutanti, itd.) u zraku i zemljištu, kako u prirodnim ekosistemima, tako i u urbanim sredinama. Teške metale iz zemljišta, biljke većinom, usvajaju preko korijenovog sistema, ali ih usvajaju i preko nadzemnih organa (list, plod) putem procesa difuzije. Procesom apsorpcije iona metala iz zemljišnog

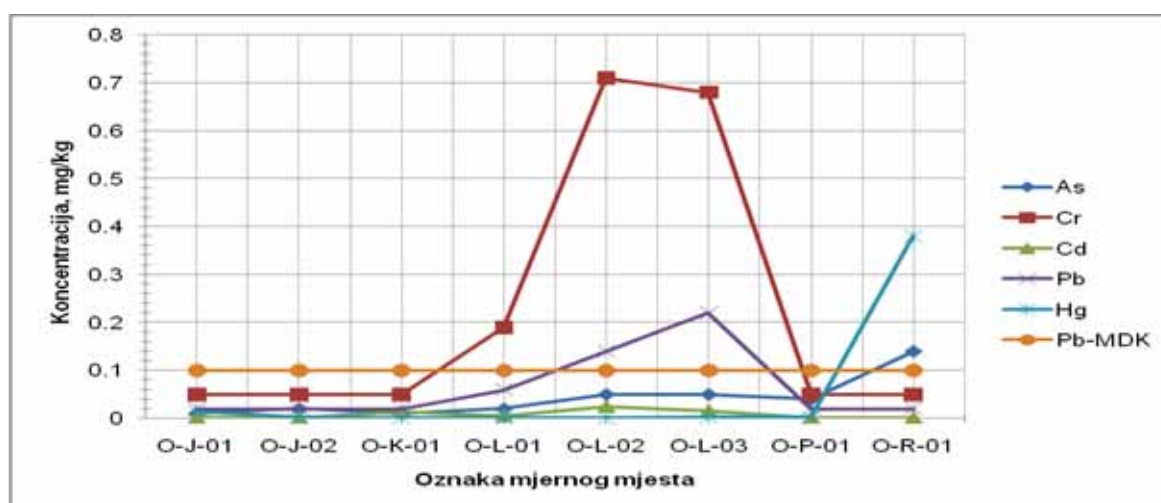
rastvora biljke su vezane sa zemljištem u jedinstven funkcionalni sistem koji omogućuje razmjenu materije između abiotičke i biotičke sredine. Prema tome, biljke predstavljaju osnovu kariku geobiociklusa teških metala u prirodi koji se gotovo uvijek odvija u geohemijskom ciklusu zemljište - biljke - životinje - čovjek.

U industrijsko-urbanim područjima u ovaj ciklus uključuju se teški metali iz antropogenih izvora, pa se tok teških metala odvija u ciklusu: atmosfera - zemljište - biljke - životinje - čovjek. Povećan sadržaj teških metala u zemljištu uzrokuje njihovo intenzivnije usvajanje i nakupljanje u biljkama. Na apsorpciju i akumulaciju teških metala u biljkama utiče prvenstveno njihov sadržaj u spoljašnjoj sredini, posebno sadržaj rastvorenih (aktivnih) oblika metala.

Veliku sposobnost usvajanja teških metala pokazuju biljke koje se inače gaje i koriste za ishranu: mrkva, špinat, salata. Nešto niže vrijednosti usvajanja pokazuju: krompir, kupus, kelj i rotkvica, dok kupine, jagode i celer manje usvajaju metale. Najmanju sposobnost usvajanja teških metala pokazuju grašak, paradajz, paprika, patlidžan, koštuničavo i jabučasto voće. Rezultati analize uzoraka biljnog i animalnog materijala, na sadržaj teških metala prikazani su u tabeli 1.9. i grafički na slici 1.9. U tabeli 1.10. prikazane su granične vrijednosti teških metala za gajene biljke prema važećim pravilnicima u Hrvatskoj, BiH, direktivi EC br. 1881/2006 i br. 629/2008 i FAO/WHO Codex Alimentarius Commission¹⁸.

Tabela 1.9. Rezultati analize uzoraka biljnog i animalnog materijala na sadržaj teških metala, mg/kg

| Oznaka uzorka | As | Cr | Cd | Pb | Hg |
|---------------|----------------------------|-------|--------|-------|--------|
| O-J-01 | 0,010 | <0,05 | <0,002 | <0,02 | 0,014 |
| O-J-02 | 0,020 | <0,05 | <0,002 | <0,02 | 0,003 |
| O-K-01 | <0,010 | <0,05 | 0,014 | <0,02 | <0,001 |
| O-L-01 | 0,020 | 0,190 | 0,005 | 0,06 | 0,001 |
| O-L-02 | 0,050 | 0,71 | 0,025 | 0,14 | 0,001 |
| O-L-03 | 0,050 | 0,68 | 0,017 | 0,22 | 0,002 |
| O-P-01 | 0,040 | <0,05 | <0,002 | <0,02 | 0,002 |
| O-R-01 | 0,140 | <0,05 | <0,002 | <0,02 | 0,381 |
| | Iznad granične vrijednosti | | | | |



Slika 1.9. Koncentracija teških metala u uzorcima biljnog i animalnog porijekla

¹⁸ http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/agns/pdf/CXS_193e.pdf

Tabela 1.10. Granične vrijednosti teških metala za gajene biljke prema važećim pravilnicima u Hrvatskoj, BiH, direktivi EC 1881/2006 i 629/2008 i FAO/WHO Codex Alimentarius Commission

| Teški metal | Uzgojana biljna hrana | Granične vrijednosti, mg/kg | | | |
|-------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------|
| | | Hrvatska ^a | Commission Regulation (EC) No 1881/2006 and No 629/2008 ^b | FAO/WHO Codex Alimentarius Commission ^c | Bosna i Hercegovina ^d |
| Pb | Jaja | 0,05 | 0,1 | - | 0,1 |
| | Korjenasto povrće | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,3 |
| | Celer | 0,2 | - | - | - |
| | Krompir | 0,1 | - | 0,1 | 0,1 |
| | Povrće | 0,1 | - | - | 0,1 |
| | Mišićno meso ribe | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Cd | Korjenasto povrće i krompir | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| | Povrće i voće | - | - | - | 0,05 |
| | Celer | - | - | 0,2 | 0,2 |
| | Mišićno meso ribe | 0,05 | 0,05 | - | 0,05 |
| Hg | Jaja | 0,3 | - | - | - |
| | Voće i povrće | 0,02 | 0,05 | - | - |
| | Krompir | - | - | - | - |
| | Mišićno meso riba | 0,5 | 0,5 | - | 0,5 |
| As | Jaja | 0,1 | - | - | 0,1 |
| | Voće i povrće | 0,3 | - | - | 0,3 |
| | Riba riječna i morska | 2,0 | - | - | 0,5 |

- (a) Pravilnik o toksinima, metalima, metaloidima te drugim štetnim tvarima koje se mogu nalaziti u hrani ("Narodne novine", broj 16/05)
- (b) The Commission of the European Communities No 1881/2006 and No 629/2008 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs
- (c) (FAO/WHO) Codex Alimentarius Commission. Doc No. Cx/FAC 96/17 Joint FAO/WHO food standards programme. Codex general standard for contaminants and toxins in foods (1996)
- (d) Pravilnik o maksimalno dozvoljenim količinama za određene kontaminante u hrani ("Službeni glasnik BiH" br. 37/09, 39/12)

Sadržaj arsena u biljkama je obično znatno niži nego u matičnom supstratu, iako su biljne kulture uzgojene na zemljištu koje sadrži povišene koncentracije arsena, nije došlo do njegovog usvajanja u analiziranim uzorcima. Nakupljanje, a samim tim i toksičnost ovog elementa, veća je na kiselim zemljištima, posebno ako je pH-vrijednost zemljišta manja od 5. Na zemljištu bogatim humusom rijetko dolazi do njegovog toksičnog uticaja nego na pjeskovitim, jer se kod prvih arsen bolje vezuje.

Osjetljivost biljaka na visoke koncentracije arsena je različita. U osjetljivije vrste spadaju grah, lucerka i uopšte leguminoze, dok su tolerantne vrste krompir, paradajz i šargarepa.

U prirodi se veoma rijetko može uočiti fitotoksično dejstvo visokih koncentracija arsena ili njegovo nepovoljno dejstvo na prinos biljaka. Pošto je koncentracija arsena u biljkama niska, njegov ulazak u lanac ishrane preko biljaka je minimalan. Koncentracija za biljke pristupačnog hroma u većini zemljišta je niska, na ispitivanim lokacijama koncentracije hroma su znatno ispod graničnih što je rezultiralo i njegovim malim udjelom u analiziranim biljkama. Koncentracija hroma u korijenastom povrću i u većini krmnih biljaka kreće se od 0,01 do 1 mg/kg.

Kod brojnih biljnih vrsta intenzitet usvajanja kadmija je u korelaciji sa njegovom koncentracijom u hranljivoj podlozi. Kadmij usvojen iz hranljive podloge uglavnom se zadržava u korijenu što je slučaj sa analiziranim uzorcima krompira i luka. Može se zaključiti da nije došlo do usvajanja kadmija od strane biljnih kultura u koncentraciji koja prelazi dozvoljene vrijednosti. Udio ovog elementa u stabljici i listovima biljaka približno je isti ali manji od njegove koncentracije u podzemnom dijelu biljke. Ovaj element najviše se apsorbira u paradajzu, salati i špinatu. Kod pomenutih vrsta, koncentracija kadmija u vegetativnim nadzemnim organima može iznositi i do 160 mg/kg.

Bioakumulacija olova u biljkama, u blizini izvora zagađivanja zavisi od udaljenosti, pokrivenosti zemljišta biljkama, dužine trajanja vegetacije, pravca i intenziteta vjetra. Biljke olovo u neorganskom obliku slabo usvajaju i premještaju u nadzemne organe, izuzev na kiselim zemljištima. Organska jedinjenja olova, veoma se brzo usvajaju i raspodjeljuju u nadzemne dijelove biljaka. Taloženje olova kod većine biljaka intenzivnije je u korijenu nego u nadzemnim dijelovima. Sposobnost korijena da akumulira olovo mogla bi da bude i jedan vid zaštite nadzemnog dijela.

Koncentracije olova **iznad graničnih** pronađene su u češnjaku uzgajanom u naselju Plane na njivi udaljenoj oko 750 m od odlagališta Divkovići II i crvenom luku i celeru uzgajanom u naselju Divkovići na njivi udaljenoj oko 300 m od odlagališta Divkovići II.

Sva jedinjenja žive su izuzetno toksična za biljke i životinje. Fitotoksičnost žive ne predstavlja veći ekološki problem. Koncentracija pri kojoj se uočavaju simptomi povišene koncentracije žive na biljkama znatno je iznad onih koje se u normalnim uslovima nalaze u zemljištu. Sem toga, pristupačnost žive u zemljištu za biljke je obično niska. Smatra se da korijen predstavlja prepreku većem nakupljanju žive u izdanku. Akumuliranje žive u korijenu je dvadeset puta veća nego u izdanku. Koncentracija žive u biljkama kreće se u prosjeku od 10 do 200 ng/g suhe materije. Na osnovu izvršenih analiza može se zaključiti da nije došlo do usvajanja žive od strane analiziranih biljnih kultura. **Nešto veća koncentracija žive (ali ispod granične) pronađena je u mesu štuke**, što je za očekivati jer se ova riblja vrsta nalazi na vrhu lanca ishrane a poznato je da je živa element koji je sklon biomagnifikaciji (koncentracija žive se povećava u svakom narednom stepenu lanca ishrane).

Na osnovu podataka prezentiranih u tabeli 1.9. i njihovom usporodbom sa graničnim vrijednostima datim u tabeli 1.10. **može se zaključiti da su analizirane biljne kulture (crveni luk, češnjak i celer) usvojile olovo u koncentracijama iznad graničnih.** Iako su koncentracije olova u zemljištu niske, ono se očigledno nalazi u organskom obliku u

zemljištu u kojem biljke mnogo lakše usvajaju ovaj metal. Ostali teški metali nisu mobilni tj. nisu u obliku u kojem bi putem korijenskog sistema bili ugrađeni u tkivo biljaka. Prisutnost olova u biljkama koje ljudi koriste u ishrani dokaz je njegovog ulaska u lanac ishrane i potencijalnog negativnog uticaja na zdravlje stanovništva u blizini odlagališta šljake i pepela Plane, Divkovići I i Divkovići II.

7. REZULTATI ANALIZE SADRŽAJA TEŠKIH METALA U LJUDSKOJ KOSI

Kosa, kao biološko tkivo, od posebnog je značaja za analizu esencijalnih, neesencijalnih i potencijalno toksičnih teških metala. Općenito, količina nekog teškog metala u kosi je proporcionalna koncentraciji u drugim organima. Stoga, analizom kose može se odrediti fiziološki višak ili manjak teških metala u tijelu.

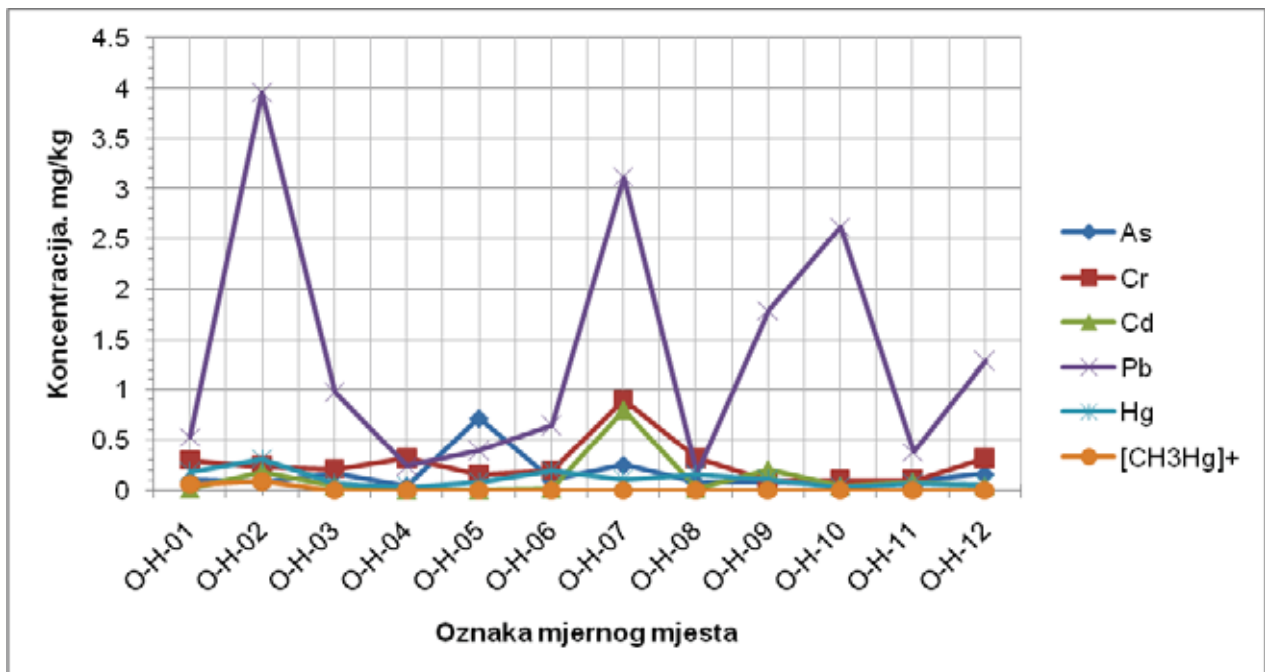
Klinička istraživanja pokazuju da koncentracija specifičnih elemenata u kosi posebno potencijalno toksičnih, kao što su kadmij, živa, olovo i arsen su visoko korelirani s patološkim poremećajima. Svjetska zdravstvena organizacija (World Health Organization, WHO), Agencija za zaštitu okoliša Environmental Protection Agency, EPA) i Međunarodna agencija za atomsku energiju (International Atomic Energy Agency, IAEA) preporučuju analizu kose kao važnog biološkog materijala za monitoring okoliša. U tabeli 1.11. i na slici 1.10. prikazani su rezultati analize uzoraka kose na sadržaj arsena, hroma, kadmija, olova, žive i metil-žive za dvanaest ispitanika a u tabeli 1.12. prikazane su referentne granične vrijednosti teških metala u kosi.

Tabela 1.11. Rezultati analize ljudske kose na sadržaj teških metala i metil-žive.

| Oznaka uzorka | As | Cr | Cd | Pb | Hg | [CH ₃ Hg] ⁺ |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------------|
| O-H-01 | <0,1 | <0,3 | 0,02 | 0,53 | 0,190 | 0,059 |
| O-H-02 | 0,08 | 0,24 | 0,19 | 3,96 | 0,315 | 0,091 |
| O-H-03 | 0,17 | 0,21 | 0,05 | 0,98 | 0,071 | n.d. |
| O-H-04 | 0,04 | 0,32 | 0,01 | 0,24 | 0,042 | - |
| O-H-05 | 0,72 | 0,16 | 0,01 | 0,40 | 0,083 | - |
| O-H-06 | 0,10 | <0,2 | 0,02 | 0,65 | 0,198 | - |
| O-H-07 | 0,25 | <0,9 | 0,80 | 3,12 | 0,110 | - |
| O-H-08 | 0,08 | 0,32 | 0,02 | 0,17 | 0,163 | - |
| O-H-09 | 0,08 | <0,1 | 0,21 | 1,79 | 0,113 | - |
| O-H-10 | 0,06 | <0,1 | 0,05 | 2,62 | 0,037 | - |
| O-H-11 | 0,09 | <0,1 | 0,09 | 0,38 | 0,076 | - |
| O-H-12 | 0,16 | 0,32 | 0,05 | 1,29 | 0,062 | - |
| Prosijek | 0,166 | 0,262 | 0,127 | 1,344 | 0,122 | 0,075 |
| Median | 0,090 | 0,280 | 0,050 | 0,815 | 0,097 | - |

n.d. not detected

| | |
|--|-----------------------------------|
| | Iznad referentnih vrijednosti |
| | Iznad EPA referentnih vrijednosti |



Slika 1.10. Koncentracija teških metala u uzorcima ljudske kose

Tabela 1.11. Referentne granične vrijednosti teških metala u kosi, µg/g

| Teški metal | As | Cr | Cd | Pb | Hg |
|----------------------------------|--------|------|---------|--------|--------|
| Maksimalna referentna vrijednost | ≤ 0,15 | 0,69 | ≤ 0,389 | ≤ 7,69 | ≤ 2,42 |

Kosa nastaje od nakupine ćelija koje čine folikule. Tokom faze rasta, kosa je izložena unutrašnjim uslovima okoliša kao što su krv, limfa i vanćelijske tekućine. Kako kosa nastavlja i dalje rasti (prosječno oko 1 cm mjesečno) i dolazi do površine kože, njeni vanjski slojevi otvrdnu, zadržavajući metaboličke produkte akumulirane tokom razdoblja formiranja. Ovaj biološki proces pruža trajni zapis statusa metala i ostalih supstanci kao i prehrambene metaboličke aktivnosti koja je nastala tokom vremena. Kontakt i potencijalni unos metala u organizam u blizini industrijskih područja i odlagališta različitih vrsta otpadnih materijala najčešće se ostvaruje inhalacijom i putem hrane. Udisanje sitnih čestica prašine na kojoj se nalaze absorbovani metali primarni je put unosa za veliki broj elemenata u ljudski organizam, dok je unos hranom sekundarni.

Metali se inhalacijom unose u obliku respirabilnih čestica ili aerosola, pri čemu važnu ulogu ima veličina čestica. Čestice ispod 5 mikrometara, odnosno čestice prečnika PM_{2,5} i PM_{5.0} dospjevaju u pluća gde se apsorbuju u krvotok. Zbog velike površine i bogate kapilarne mreže u plućima se odvija resorpcija teških metala. Teški metali u zraku se mogu resorbovati i u gastrointestinalnom traktu preko respiratorne sluzokože, prilikom gutanja inhaliranih čestica. Za interpretiranje rezultata analize korištene su granične vrijednosti za pojedine teške metale koje su date od strane Clinical Laboratory „Metamatrix“ Duluth, USA. Ovdje treba napomenuti da različiti autori i istraživački centri navode različite granične vrijednosti. Referentne granične vrijednosti navedena laboratorije

prikazane su u tabeli 1.11. usvojene su na osnovu višegodišnjih istraživanja koja je ova klinika provela u USA na 10 000 uzoraka kose od osoba različite životne dobi. Granične vrijednosti za metilnu živu iste su kao i za ukupnu živu. U analiziranim uzorcima kose utvrđeno je prisustvo visoko toksičnih teških metala arsena, kadmija i olova.

Najveća koncentracija arsena zabilježena je kod ispitanika O-H-05, u koncentraciji od 0,72 mg/kg, odnosno **kod 33,3% ispitanika sadržaj arsena u kosi je iznad maksimalne referentne vrijednosti**. Ovako visok postotak prisutnosti arsena u ljudskom tkivu (kosi) rezultat je njegovog unosa iz okoliša putem lanca ishrane i općenito njegove prisutnosti u okolišu u koju dospjeva iz antropogenih izvora npr. odlagališta šljake i pepela. Kod jednog ispitanika iz naselja Bukinje zabilježene su **povišene koncentracije arsena i kadmija** što je najvjerovatnije rezultat ulaska ovih metala u lanac ishrane. Međutim kod ispitanika u naselju Bukinje zabilježene su povišene koncentracije arsena što je rezultata njegovog unosa iz vanjske sredine (putem vode i zraka). Ovdje treba napomenuti da kontinuirano izlaganje i niskim koncentracijama teških metala može uzrokovati njihovu bioakumulaciju u ljudskom organizmu. Prema podacima datim EPA referentnim vrijednostima¹⁹ koncentracija žive u ljudskoj kosi iznad 1,0 mg/kg može se povezati sa neurološkim smjetnjama i drugim štetnim uticajima, koncentracija kadmija iznad 0,2 mg/kg i olova iznad 2,0 mg/kg se povezuje sa različitim štetnim uticajima na zdravlje čovjeka. **Najveća koncentracija olova zabilježena je kod ispitanika iz naselja Šićki Brod 3,96 mg/kg.** Povišene koncentracije olova u kosi ispitanika mogu se povezati sa njihovim načinom ishrane, odnosno prisutnosti olova u vodenom ekosistemu. Sadržaj kadmija prelazi EPA referentnu vrijednost kod jednog ispitanika iz naselja Divkovići što je vjerovatno rezultat njegovog unosa putem vode.

8. REZULTATI ANALIZE SADRŽAJA TEŠKIH METALA U VODI

Otpadne materije kao rezultat ljudske aktivnosti u većini slučajeva završavaju u vodotocima čime na posredan način utiču, najčešće negativno, na kvalitet slatkovodnih ekosistema. Poznavanje sadržaja teških metala u vodi (otpadnoj ili pitkoj) od presudnog je značaja za određivanje kvaliteta otpadnih voda koje emisijom dospjevaju u okoliš i kvalitet vode koja se koristi za piće, navodnjavanje ili u rekreacijske svrhe. U tabeli 1.13. i grafički na slici 1.11. prikazani su rezultati analize uzoraka vode na sadržaj teških metala.

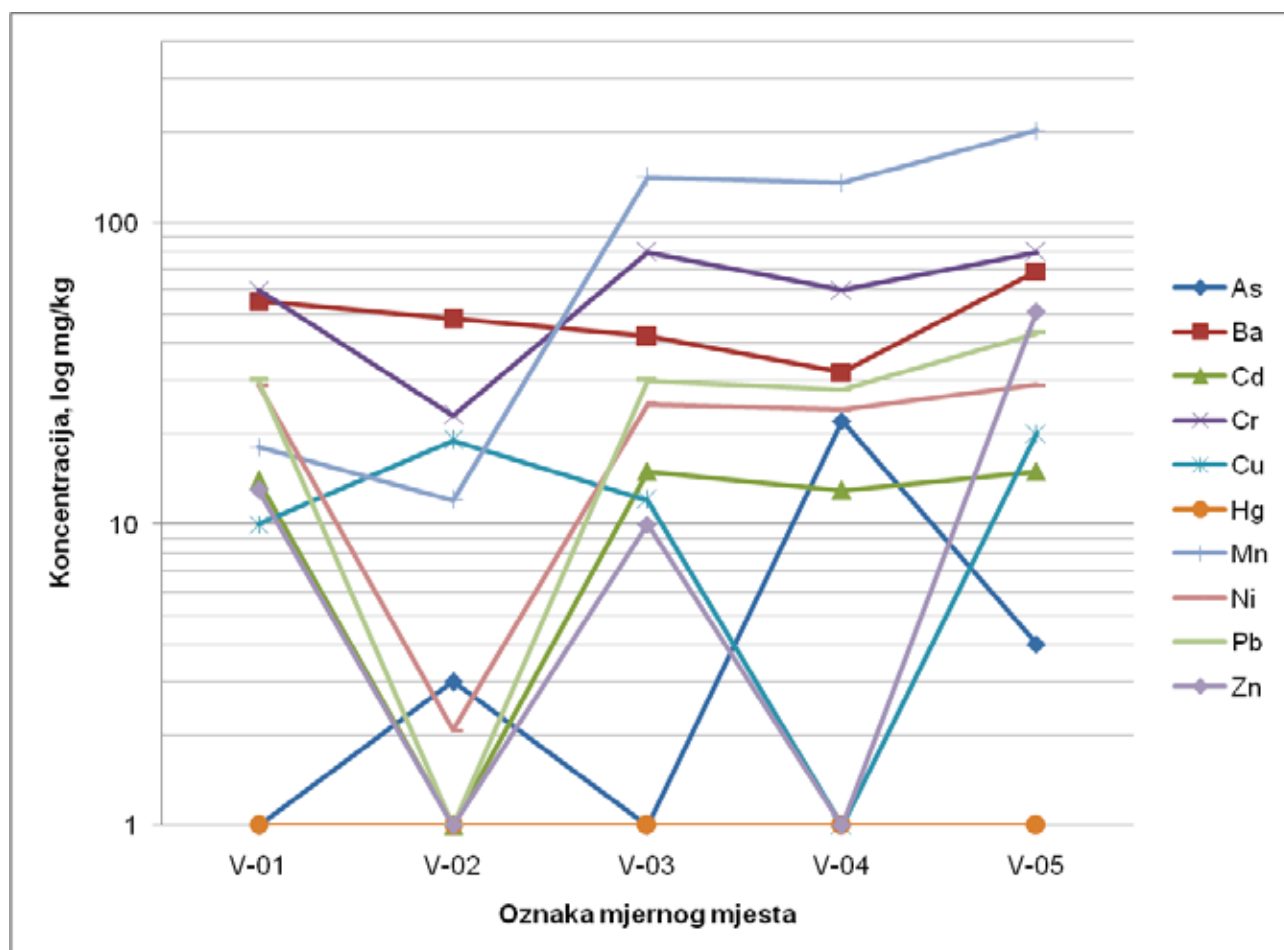
Pojedini teški metali poput željeza, cinka, bora, mangana, kobalta, molibdena i vanadija su neophodni u metabolizmu biljaka i životinja. U određenim koncentracijama toksični su za akvatičnu floru i faunu premda toksičnost zavisi od vrste organizma i fizičkih parametara poput pH vrijednosti, temperature, otopljenog kisika itd. Metali koji imaju sposobnost bioakumuliranja i biomagnifikacije u lancu ishrane su posebno opasni, primjer takvog metala je živa koja u organskom obliku dospjeva u organizam što može dovesti do oštećenja centralnog nervnog sistema. Područje Tuzlanskog kantona je bogato vodom, međutim njena kvaliteta u nizu područja nije zadovoljavajuća. U tabeli 1.14. prikazane su vrijednosti teških metala u odnosu na granične vrijednosti za pitku vodu i referentnim

¹⁹ http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/human_health_exposure.htm

uslovima i parametrima za ocjenu stanja voda i monitoringu voda u FBiH, Hrvatskoj i EU normama.

Tabela 1.13. Rezultati analize vode na sadržaj teških metala, $\mu\text{g/l}$

| Oznaka uzorka | As | Ba | Cd | Cr | Cu | Hg | Mn | Ni | Pb | Zn |
|---------------|-------|------|-------|------|--------|--------|-------|------|--------|--------|
| V-01 | < 3,0 | 55,0 | 14,0 | 60,0 | 10,0 | < 10,0 | 18,0 | 29,0 | 30,0 | 13,0 |
| V-02 | 3,0 | 48,0 | <10,0 | 23,0 | 19,0 | < 10,0 | 12,0 | 27,0 | < 10,0 | < 10,0 |
| V-03 | < 3,0 | 42,0 | 15,0 | 80,0 | 12,0 | < 10,0 | 142,0 | 25,0 | 30,0 | 10,0 |
| V-04 | 22,0 | 32,0 | 13,0 | 60,0 | < 10,0 | < 10,0 | 136,0 | 24,0 | 28,0 | < 10,0 |
| V-05 | 4,0 | 69,0 | 15,0 | 80,0 | 20,0 | < 10,0 | 203,0 | 29,0 | 43,0 | 51,0 |



Slika 1.11. Koncentracija teških metala u uzorcima vode

Tabela 1.14. Granične vrijednosti teških metala za pitku vodu i kvalitetu stanja površinskih voda

| Standardi kvalitete okoliša za specifične zagađujuće materije i za prioritne materije i određene druge zagađujuće materije, µg/l ²⁰ | | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------|------------------|-----------------------|----|----|-----|---------|
| As | Ba | Cd | Cr | Cu | Hg | Mn | Ni | Pb | Zn |
| 20 | - | ≤0,08-0,25 | 10 | 1,1-88 | 0,05 | - | 20 | 7,2 | 7,8-100 |
| Voda za piće, µg/l ²¹ | | | | | | | | | |
| 10 | - | 5 | 50 | 2,0 mg/l | 1,0 | 50 | 20 | 10 | - |
| Standardi kvalitete za ocjenu hemijskog stanja, µg/l ²² | | | | | | | | | |
| 10 | - | ≤0,08-0,25 | - | - | 0,05 | - | 20 | 7,2 | - |
| Granične vrijednosti specifičnih onečišćujućih tvari µg/l ²³ | | | | | | | | | |
| 10 | - | 5 | - | - | 1 | - | - | 10 | - |
| EU standard za klasifikaciju površinskih voda, µg/l ²⁴ | | | | | | | | | |
| Metal | Klase vodotoka | | | | | | | | |
| | I-ne zagađena | II-blago zagađena | III-zagađena | IV-jako zagađena | V-veoma jako zagađena | | | | |
| As | <10 | 10-100 | 100-190 | 190-360 | >360 | | | | |
| Cd | <0,07 | 0,07-0,53 | 0,53-1,1 | 1,1-3,9 | >3,9 | | | | |
| Cr | <1 | 1-6 | 6-11 | 11-16 | >16 | | | | |
| Cu | <2 | 2-7 | 7-12 | 12-18 | >18 | | | | |
| Pb | <0,1 | 0,1-1,6 | 1,6-3,2 | 3,2-82 | >82 | | | | |
| Hg | <0,003 | 0,003-0,007 | 0,007-0,012 | 0,012-2,4 | >2,4 | | | | |
| Ni | <15 | 15-87 | 87-160 | 160-1400 | >1400 | | | | |
| Zn | <45 | 45-77 | 77-110 | 110-120 | >120 | | | | |
| Metal | Kriterij za život vodenih organizama prema EPA normi ²⁵ , µg/l | | | | | | | | |
| | CMC (akutno) | | | CCC (hronično) | | | | | |
| As | 340 | | | 150 | | | | | |
| Cd | 2,0 | | | 0,25 | | | | | |
| Pb | 65 | | | 2,0 | | | | | |
| Hg | 1,4 | | | 0,77 | | | | | |
| Ni | 470 | | | 52 | | | | | |
| Zn | 120 | | | 120 | | | | | |

CMC – Criteria Maximum Concentration, Kriterij maksimalne koncentracije (najveća koncentracija metala pri kojoj vodeni organizmi mogu biti izloženi kratkotrajno bez negativnih posljedica)

CCC – Criterion Continuous Concentration, Kriterij kontinuirane koncentracije (najveća koncentracija metala u površinskim vodama pri kojoj vodeni organizmi mogu biti izloženi neodređen vremenski period bez negativnih posljedica)

Za ocjenu stanja kvaliteta voda istraživanih područja ukupno je uzeto 5 kompozitnih uzoraka vode. **Svih pet uzoraka je klasificirano kao veoma jako zagađena voda u pogledu koncentracije hroma i četiri uzorka ukazuju na veoma jako zagađenje kadmijem.** U pogledu sadržaja nikla svih pet uzoraka je klasificirano kao blago zagađeno.

²⁰ Odluka o karakterizaciji površinskih i podzemnih voda, referentnim uslovima i parametrima za ocjenu stanja voda i monitoringu voda ("Službene novine Federacije BiH", broj 91/13)

²¹ Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće ("Službene novine Federacije BiH", broj 113/10)

²² Uredba o standardu kakvoće voda ("Narodne novine", broj 73/13)

²³ Uredba o standardu kakvoće voda ("Narodne novine", broj 73/13)

²⁴ http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wpcchap2.pdf

²⁵ National Recommended Water Quality Criteria-

<http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/current/index.cfm>

Dobivene koncentracije olova ukazuju na jako zagađenje u 4 uzorka. Blago zagađenje arsenom određeno je u 1 uzorku. Klasa vodotoka u pogledu sadržaja bakra pokazuje zagađenje i jako zagađenja ovim metalom u 1 uzorku, 2 uzorka su veoma jako zagađena. Blago zagađenje cinkom detektovano je u 1 uzorku. Prema kriterijima datim u odnosu na vodu za piće u 3 uzorka su pronađene visoke koncentracije mangana i hroma, u svih 5 uzoraka koncentracija nikla prelazi dozvoljenu vrijednost u 4 uzorka su pronađene visoke koncentracije kadmija i olova a u 1 uzorku arsena. Uzorci vode uzeti na mjernim mjestima rijeka Jala, naselje Šićki Brod i rijeka Jala kod Gornje Tuzle identificirani su kao najzagađeniji, sadrže takve koncentracije teških metala koje ih svrstavaju u **veoma jako zagađene vode**. Općenito, može se zaključiti da su uzorci vode **veoma jako zagađeni** hromom i kadmijem. Prema Kriteriju Kontinuirane Koncentracije (CCC-Criterion Continuous Concentration) a u skladu sa (Aquatic Life criteria for freshwater according to EPA) dobivene koncentracije kadmija i olova mogu imati neprihvatljive negativne uticaje na vodeni ekosistem analiziranih vodotoka.



Slika 1.12. Lokacija na kojoj se potok Banovac ulijeva u rijeku Jalu.
(izvor: CEE arhiva)

9. ZAKLJUČCI

Za potrebe određivanja prisustva teških metala u zemljištu i lokalno proizvedenoj hrani u naseljima na području oko odlagališta šljake Divkovići/Plane-termoelektrane Tuzla izvršena je analiza uzoraka uzetih u neposrednoj blizini odlagališta šljake i pepela Plane, Divkovići I i Divkovići II. Ukupno su analizirana 32 uzoraka od čega 20 uzoraka organskog porijekla (kokošija jaja, krompir, češnjak, crveni luk, celer, peršin, riba i ljudska kosa) i 12 uzoraka anorganskog porijekla (zemljište, sediment i voda). U uzorcima organskog porijekla je izvršeno određivanje arsena, hroma, kadmija, olova i žive, pored navedenih metala u uzorcima ljudske kose određena je i metil-živa.

- U analiziranim uzorcima zemljišta pronađene su visoke koncentracije hroma i nikla, takođe iznad graničnih vrijednosti za praškasto-ilovasto zemljište su i koncentracije arsena i kadmija. Uzorci zemljišta uzeti u neposrednoj blizini odlagališta Divkovići II **sadrže visoke koncentracije arsena, kadmija, hroma i nikla što ga čini neupotrebljivim za poljoprivrednu proizvodnju.**
- Sediment u potoku Banovac i na ušću navedenog potoka u Jalu kao i na kontrolnom mjernom mjestu sadrže arsen u koncentracijama koje su toksične po organizme u sedimentu. **Visoke koncentracije arsena u sedimentu potoka Banovac najvjerovatnije su rezultat ispuštanja prelivnih voda sa odlagališta šljake i pepela.** Prisustvo arsena na kontrolnom mjernom mjestu rezultat je ispuštanja neprečišćenih komunalnih otpadnih voda ali i odlaganja različitih vrsta otpada u korito vodotoka što je uočeno tokom obilaska lokacije i uzorkovanja. **Na svim mjernim mjestima koncentracije hroma i nikla su u takvim koncentracijama koje imaju toksičan uticaj na bentos vodotoka.** U analiziranim uzorcima sedimenta **na svim mjernim mjestima granične vrijednosti prelaze toksični teški metali kadmij i živa**, na dva mjerna mjesta sadržaj bakra prelazi graničnu vrijednost.
- Analizom uzoraka biljnog i animalnog porijekla utvrđeno je prisustvo olova iznad dozvoljene granične vrijednosti u korjenastim biljnim kulturama (češnjak, crveni luk i celer) u naseljima Divkovići i Plane. **Prisutnost olova u biljkama koje ljudi koriste u ishrani dokaz je njegovog ulaska u lanac ishrane** i potencijalnog negativnog uticaja na zdravlje stanovništva u blizini odlagališta šljake i pepela Plane, Divkovići I i Divkovići II. U analiziranom uzorku ribe nisu utvrđene koncentracije teških metala koje prelaze dozvoljene, međutim **uočeno je bioakumuliranje arsena i žive.**
- U analiziranim uzorcima kose utvrđeno je prisustvo visoko toksičnih teških metala arsena i kadmija. **Kod 33,3% ispitanika sadržaj arsena u kosi je iznad maksimalne referentne vrijednosti.** Ovako visok postotak prisutnosti arsena u ljudskom tkivu (kosi) rezultata je njegovog unosa iz okoliša putem lanca ishrane, odnosno njegove prisutnosti u okolišu iz antropogenih izvora ali i prehrambenih navika. Kod jednog ispitanika iz naselja Bukinje zabilježene su povišene koncentracije arsena i kadmija što je najvjerovatnije rezultat ulaska ovih metala u lanac ishrane. Međutim u kosi ispitanika u naselju Bukinje zabilježene su povišene koncentracije arsena što je rezultata njegovog unosa iz vanjske sredine (putem vode i zraka).

- Za ocjenu stanja kvaliteta voda istraživanog područja analizirano je 5 uzoraka vode. Na osnovu izvršene analize može se zaključiti da je **u svim uzorcima povišena koncentracija hroma i nikla što vodu svrstava u veoma jako zagađenu. U četiri uzorka dokazano je prisustvo kadmija u takvim koncentracijam koje vodu čine veoma jako zagađenom.** U pogledu sadržaja nikla svih pet uzoraka je klasificirano kao blago zagađeno. Utvrđene **koncentracije olova ukazuju na jako zagađenje u 4 uzorka.** Blago zagađenje arsenom određeno je u 1 uzorku. Klasa vodotoka u pogledu **sadržaja bakra pokazuje zagađenje i jako zagađenja ovim metalom u 1 uzorku, 2 uzorka su veoma jako zagađena.** Blago zagađenje cinkom detektovano je u 1 uzorku. **Uzorci V-04 i V-05 identifikirani su kao najzagađeniji, sadrže takve koncentracije teških metala koje ih svrstavaju u veoma jako zagađene vode.** Općenito, može se zaključiti da su **uzorci vode veoma jako zagađeni hromom i kadmijem.** Prema Kriteriju Kontinuirane Koncentracije (CCC-Criterion Continuous Concentration) a u skladu sa (Aquatic Life criteria for freshwater according to EPA) **dobivene koncentracije kadmija i olova mogu imati neprihvatljive negativne uticaje na vodeni ekosistem analiziranih vodotoka.**



Slika 1.13. Odlagališta šljake i pepela „Divkovići II“ (izvor: CEE arhiva)

10. LITERATURA

- Alloway B.J. (1995) Heavy Metals in Soils, Blackie Academic & Professional. 318.
- Burton G.A. (2002): Sediment Quality Criteria in Use Around the World, The Japanese Society of Limnology, Limnology (3) 65-75 [dostupno na: <http://link.springer.com/article/10.1007/s102010200008#page-1>]
- Codex Alimentarius Commission. Doc No. Cx/FAC 96/17 Joint FAO/WHO food standards programme. Codex general standard for contaminants and toxins in foods (1996).
- Godišnji izvještaj zaštite okoline za 2013 Javno preduzeće Elektroprivreda Bosne i Hercegovine d.d – Sarajevo / Služba za okolišno upravljanje, Sarajevo, 2014. [dostupno na: [Godišnji izvještaj o zaštiti okoline/okoliša 2013](#)]
- Goletić, Š. (2005): Teški metali u okolišu, Univerzitet u Zenici, Zenica.
- National Recommended Water Quality Criteria- [dostupno na: <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/current/index.cfm>]
- Odluka o karakterizaciji površinskih i podzemnih voda, referentnim uslovima i parametrima za ocjenu stanja voda i monitoringu voda ("Službene novine Federacije BiH", broj 91/13)
- Pravilnik o toksinima, metalima, metaloidima te drugim štetnim tvarima koje se mogu nalaziti u hrani ("Narodne novine", broj 16/05).
- Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće ("Službene novine Federacije BiH", broj 113/10)
- Pravilnik o maksimalno dozvoljenim količinama za određene kontaminante u hrani ("Službeni glasnik BiH" br. 37/09, 39/12).
- Raask, E.(1985): The mode of occurrence and concentration of trace elements in coal, Fuel 11(1): 97-118.
- Reintegration of Coal Ash Disposal Sites and Mitigation of Pollution in the West Balkan Area"project No. 509173;[dostupno na:www.rhizo.at/RECOAL]
- Swaine, D.J. (1990): Trace Elements in Coal, (M), Butterworth, London.
- Swaine, D.J., Goodarzi, F. (1995): Environmental Aspects of Trace Elements in Coal
- The Commission of the European Communities No 1881/2006 and No 629/2008 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs.
- Uredba o standardu kakvoće voda ("Narodne novine", broj 73/13)
- United Nations Environment Programme-UNEP and World Health Organisation-UNEP/WHO (2008) Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure. United Nations Environmental Program and World Health Organization: Geneva, Switzerland.
- US EPA. Human Health: Exposure Assessment [dostupno na: http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/human_health_exposure.htm].
- Uputstvu o postupku, radnjama i uslovima za vršenje kontrole plodnosti zemljišta ("Službene novine FBiH", br. 72/09).
- WHO. Environmental Health Criteria 234. Elemental speciation in human health risk assessment. [dostupno na: http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241572345_eng.pdf.]
- Xu, M., Rong, Y., Chuguang, Z., Yu, Qi., Jun, H., Changdong, S. (2003): Status of trace element emission in a coal combustion process: a review, Fuel Processing Technology (85) 215– 237
- Hrvatska agencija za hranu (HAH) Kemijske i fizikalne opasnosti u hrani [dostupno na: http://www.hah.hr/pdf/Knjiga_kemijske_i_fizikalne_opasnosti.pdf].



Centar za ekologiju i energiju

Filipa Kljajića 22, 75000 Tuzla, BiH
Tel: +387 35 249 310, fax: +387 35 249 311
www.ekologija.ba



ČUVAJMO OKOLIŠ!