

## KVALITET ELEMENATA OKOLINE U BLIZINI TERMoeLEKTRANE "TUZLA" - UZROCI I POSLJEDICE NA LJUDSKO ZDRAVLJE





# KVALITET ELEMENATA OKOLINE U BLIZINI TERMoeLEKTRANE "TUZLA" - UZROCI I POSLJEDICE NA LJUDSKO ZDRAVLJE

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



**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 Đozić, [abdel.inzio@gmail.com](mailto:abdel.inzio@gmail.com)

**Centar za ekologiju i energiju**

Denis Žiško, [denis.zisko@bih.net.ba](mailto:denis.zisko@bih.net.ba)

**Štampa:**

OFF-SET Štamparija Tuzla

<https://www.off-set.ba/>

<u>Simbol</u>	<u>Značenje</u>
EF	Faktor obogaćenja
CF	Faktor kontaminacije
$mC_d$	Modificirani faktor kontaminacije,
$C_d$	Stepen kontaminacije
PLI	Indeks opterećenja polutantima
I geo	Geoakumulacijski indeks
SZ	Stepen zagađenja
IER	Indeks ekološkog rizika
PCB-s	Polihlorirani bifenili
VOC	Volatilni organski spojevi
$C_n$	Koncentracija ispitivanog metala u uzorku
$C_{ref}$	Koncentracija ispitivanog metala u referentnom uzorku
$B_n$	Koncentracija referentnog metala u uzorku
$B_{ref}$	Koncentracija referentnog elementa u referentnom uzorku
$C_{muzorka}$	Koncentracija metala u ispitivanom uzorku
$C_{mref.uzorka}$	Koncentracija metala u referentnom uzorku
$C_{gr.vrijednost}$	Granične vrijednosti koncentracije metala u zemljištu
$T_i$	Faktor toksičnog odziva
$N$	Broj analiziranih elemenata
SNA	Sulfati, nitrati i amonijum joni
HEAL	Health and Environment Alliance

## Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	<b>5</b>
<b>2. TEŠKI METALI U OTPADNIM TOKOVIMA TERMoeLEKTRANE "TUZLA"</b> .....	<b>6</b>
<b>3. OBOLJEVANJE I UMIRANJE LJUDI IZLOŽENIH TEŠKIM METALIMA U NEPOSREDNOJ BLIZINI ODLAGALIŠTA ŠLJAKE I PEPELA TERMoeLEKTRANE TUZLA<sup>1</sup></b> .....	<b>17</b>
<b>3.1. ISPITANICI I METODE ISTRAŽIVANJA</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1.1. Ispitanici</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1.2. Skrining poremećaja zdravlja</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1.3. Statistička obrada podataka</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2. REZULTATI I DISKUSIJA</b> .....	<b>19</b>
<b>3.3. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>36</b>
<b>PRILOG I Toksikološke osobine teških metala</b> .....	<b>37</b>
<b>PRILOG II Određivanje stepena kontaminacije šljake i pepela</b> .....	<b>42</b>
<b>PRILOG III Stepen zagađenja teškim metalima šljake i pepela TE "Tuzla"</b> .....	<b>46</b>
<b>ZAKLJUČCI</b> .....	<b>61</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>63</b>

---

<sup>1</sup> Tekst poglavlja 3. u cjelosti preuzet iz dokumenta " OBOLJEVANJE I UMIRANJE LJUDI IZLOŽENIH TEŠKIM METALIMA U NEPOSREDNOJ BLIZINI ODLAGALIŠTA ŠLJAKE I PEPELA TERMoeLEKTRANE TUZLA", autora Nurke Pranjić, objavljenog na <http://ekologija.ba/wp-content/uploads/2018/02/OBOLJEVANJE-I-UMIRANJE-LJUDI-IZLO%25%BDENIH-TE%25%A0KIM-METALIMA-U-NEPOSREDNOJ-BLIZINI-ODLAGALI%25%A0TA-%25%A0LJAKE-I-PEPELA-TERMoeLEKTRANE-TUZLA.pdf>

## 1. UVOD

Od otkrića da je uglj "stijena koja gori" do njegove enormne eksploatacije i upotrebe za proizvodnju električne energije dolazi do 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 upotrebom, odnosno 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 kvalitete zraka, promjeni kvalitete podzemnih i površinskih vodotoka, trajnoj promjeni pejzažnih karakteristika i pojavi odlagališta šljake i pepela.

Istraživanja organizacije HEAL (Health and Environment Alliance) pokazala su da termoelektrane na uglj u 30 evropskih zemalja – 28 u EU te u Srbiji i Turskoj, godišnje uzrokuju preranu smrt čak 23.000 ljudi i trošak u zdravstvu, neposredno i u privredi do čak 54,7 milijardu eura – stoji u procjeni troškova povezanih sa emisijom štetnih tvari iz termoelektrana na uglj u Evropi.

Sagorijevanjem uglja nastaju emisije zagađujućih materija koje su uzrok zagađenja, sa mnogo rizika, za okoliš i zdravlje, što je postalo izazov u pronalaženju načina zaštite okoliša. Emisija SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> i volatilnih organskih spojeva (VOC) u otpadnom toku dimnih plinova, uzrokuje sljedeće negativne uticaje: povećanje prizemnih koncentracija ozona, acidifikaciju i eutrofikaciju zemljišta kroz depoziciju kiselih kiša i azota.

Poljoprivredno zemljište, vodotoci i zrak su pod uticajem neprečišćenih otpadnih voda, muljevutih otpadnih tokova, emisije dimnih plinova i čvrstih čestica koje su rezultat sagorijevanja čvrstih, tečnih i plinovitih fosilnih goriva. Zrak se onečišćuje plinovima poput ugljik dioksida (CO<sub>2</sub>), sumpor dioksid (SO<sub>2</sub>), azotnih oksida (NO<sub>x</sub>) i volatilnih organskih spojeva VOC, ali i toksičnim elementima poput arsena, kadmija, žive, olova, nikla i hroma. Plinoviti polutanti CO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> utiču na zagrijavanje zemljine atmosfere, dok drugi poput As, Cd, Hg, Pb, Ni i Cr u zavisnosti od koncentracije mogu imati izražen negativan uticaj na zdravlje stanovništva.

Termoelektrana "Tuzla" je najveći termoenergetski objekat u Bosni i Hercegovini. Prema količini nastalih otpadnih tokova, Termoelektrana "Tuzla" je najveći zagađivač čiji je uticaj na okoliš prepoznatljiv na širem području Grada Tuzle i okolnih općina.

## 2. TEŠKI METALI U OTPADNIM TOKOVIMA TERMoeLEKTRANE "TUZLA"

Šljaka i pepeo je najznačajniji otpadni tok koji nastaje sagorijevanjem uglja. Na osnovu dosadašnjih istraživanja, svi elementi iz periodnog sistema elemenata prisutni su u uglju. Tokom sagorijevanja, dio elemenata prelazi u plinovito stanje adsorbuje se na čvrste čestice i emituje u atmosferu, preostali elementi se ugrađuju u šljaku i pepeo gdje može doći i do njihovog koncentriranja.

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 (zlato, kobalt, hrom, nikl, platina), teratogenim (živa), spermotoksičnim (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). 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 uticaj 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 proizvodnje 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 analize teških metala u ugljevima iz rudnika Banovići i Dubrave prikazani su u tabeli 2.1.

**Tabela 2.1.** Koncentracije teških metala u ugljevima rudnika „Banovići“ i „Dubrave“

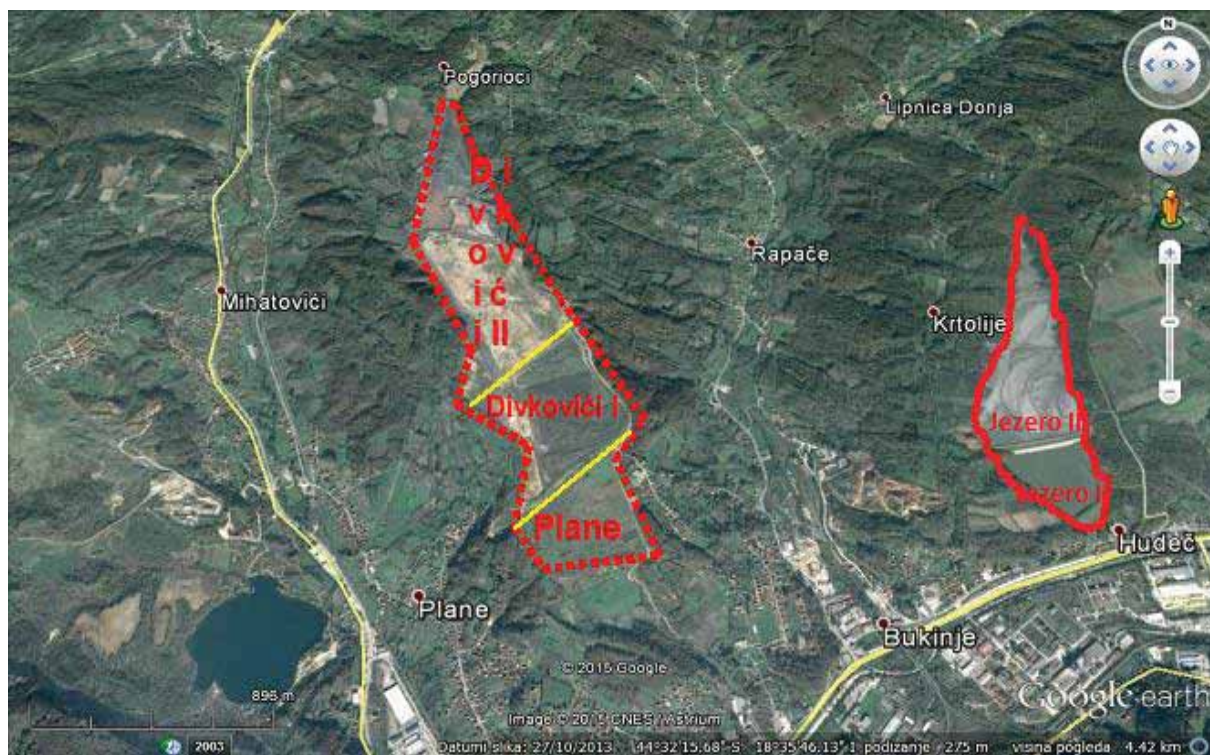
Naziv elementa i hemijski simbol	Rudnik mrkog uglja „Banovići“, mg/kg		Rudnik lignita „Dubrave“, mg/kg
Arsen (As)	29,9	45,83	141,0
Bakar (Cu)	25,0	26,23	197,0
Bor (B)	310,0	-	347,0
Cezij (Cs)	3,44	-	16,6
Hrom (Cr)	n.d.	13,30	1050,0
Kadmij (Cd)	0,10	0,43	0,58
Kobalt (Co)	12,7	6,50	80,4
Mangan (Mn)	225,0	-	1610,0
Molibden (Mo)	1,11	-	3,67
Niki (Ni)	291,0	114,30	1130,0
Olovo (Pb)	7,46	8,60	40,2
Rubidij (Rb)	8,82	-	75,6
Talij (Tl)	0,09	-	0,73
Uranij (U)	-	-	3,53
Vanadij (V)	-	9,00	272,5
Cink (Zn)	32,7	33,73	232,0
Željezo (Fe)	15500,0	-	93100,0

Na osnovu poređenja koncentracije teških metala u tabeli 2.1. i vrijednosti koncentracija 38 metala (podaci su prikupljeni analizom više od 1500 uzoraka) u ugljevima 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 m<sup>3</sup>. Na slici 2.1. prikazana je lokacija odlagališta Plane, Divkovići I i Divkovići II kao i pozicije najbliže naseljenih mjesta.

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 vjetrova 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 2.2.). Odlagališta šljake i pepela predstavljaju najznačajniji emisijski izvor čvrstih čestica



različitog prečnika i taložnog praha. Na slici 2.4. prikazan je izgled šljake i pepela na izlazu iz cjevovoda a na slici 2.5. izgled dijela aktivnog odlagališta Jezero II.



**Slika 2.1.** Satelitski snimak odlagališta šljake i pepela Plane, Divkovići I, Divkovići II, Jezero I i Jezero II (izvor: [www.google](http://www.google.com) earth.com)



**Slika 2.2.** Čestice prašine nošene vjetrom sa odlagališta šljake i pepela „Divkovići II“

U cilju utvrđivanja ekvivalentne doze zračenja na predmetnim odlagalištima izvršeno je mjerenje  $\alpha+\beta+\gamma$  zračenja. Ekvivalentna doza zračenja se koristi kako bi opisali efekte zračenja na biološke sisteme. Negativan uticaj zračenja različito djeluje a sve u zavisnosti od vrste tkiva koje je izloženu zračenju. Na slici 2.3 prikazan je uređaj tokom mjerenja na zatvorenom odlagalištu Plane. U tabeli 2.2. prikazane su prosječne vrijednosti rezultata mjerenja ekvivalentne doze zračenja na odlagalištima i u neposrednoj blizini.



**Slika 2.3.** Mjerenje ekvivalentne doze zračenja na odlagalištu Plane

**Tabela 2.3.** Rezultati mjerenja ekvivalentne doze zračenja,  $\mu\text{Sv/h}$

Rb.	Plane	Divkovići I	Divkovići II	Izvan odlagalista
1.	0,136	0,142	0,140	0,081
2.	0,148	0,140	0,151	0,053
3.	0,119	0,152	0,137	0,096
4.	0,139	0,132	0,122	0,085
5.	0,111	0,128	0,161	0,022
6.	0,129	0,144	0,158	0,017
7.	0,118	0,158	0,147	0,045
8.	0,099	0,133	0,125	0,060
9.	0,131	0,134	0,137	0,033
10.	0,092	0,121	0,162	0,074

Rezultati mjerenja prikazani u tabeli 2.3. ukazuju na povišeno zračenje na odlagalištima u odnosu na njihov okoliš. Međutim, vrijednosti ne prelaze granične, da bi stekli potpuni uvid u nivo zračenja, potrebno je izvršiti detaljnije istraživanje uz određivanje ukupne doze zračenja na godišnjem nivou i mjerenjem koncentracije radona.



Transport šljake i pepela od mjesta nastanka do odlagališta vrši se hidraulički suspenzijom koju čini šljaka/pepeo i voda u omjeru 11:1. U toku samog hidrauličkog transporta dolazi do intenzivnog miješanja vode, šljake i pepela pri čemu raste pH vrijednost na oko 12 jedinica. Dio teških metala iz čvrste faze šljake i pepela prelazi i obogaćuje procjedne i preljevne vode sa odlagališta, čime direktno negativno utiču na kvalitet površinskih i podzemnih voda.



**Slika 2.4.** Hidraulični transport šljake i pepela - odlagalište Jezero II



**Slika 2.5.** Odlagalište šljake i pepela Jezero II

Ne postoji jedinstvena definicija teških metala, sve postojeće se zasnivaju na jednom od slijedećih parametara: gustoći, atomskom broju, hemijskim osobinama ili toksičnosti. Teški metali su stabilni, ne mogu se razgraditi ili uništeni, zbog toga imaju tendenciju akumuliranja u tlu i sedimentu. Međutim, antropogene aktivnosti drastično utiču na biohemijske i geohemijske cikluse kao i na prirodno uspostavljenu ravnotežu teških metala u okolišu. Zagađenje okoliša teškim metalima prisutno je skoro u svim dijelovima svijeta upravo zbog toga što su nerazgradivi, mnogi od njih imaju toksične uticaje na organizme, pojedini su esencijalni i neophodni za normalan razvoj ljudskog organizma ali pri povišenim koncentracijama i esencijalni ispoljavaju toksični uticaj. Između 4-8% smrtnih slučajeva koje se javljaju na svjetskom nivou povezane su sa zagađenjem zraka, odnosno antropogenim aktivnostima koji vode ka zagađenju zraka. Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije za 2012. godinu, zagađenje zraka uzrokovano čestičnim tvarima PM<sub>10</sub> i PM<sub>2.5</sub> uzročnik je 3 miliona smrtnih slučajeva širom svijeta.<sup>2</sup> Svjetska zdravstvena organizacija je u nekoliko navrata isticala zabrinutost za Bosnu i Hercegovinu kao jednu od četiri zemlje u svijetu sa najzagađenijim zrakom, a time i najvećim brojem smrtnih slučajeva prouzrokovanih štetnim uticajem zagađenog zraka po zdravlje stanovnika BiH. Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije u Bosni i Hercegovini je u 2012. godini više od 3500 osoba<sup>3</sup> prerano umrlo zbog štetnog djelovanja ambijentalnog zagađenja zraka na njihovo zdravlje. Oko 94% smrtnih slučajeva je povezano sa kardiovaskularnim bolestima (infarkt), hroničnim obstruktivnim plućnim bolestima i karcinomom pluća. Preostalih 6% se odnosi na smrtne slučajeve kod djece ispod 5 godina uzrokovane akutnim respiratornim infekcijama. Ugalj je najčešće korišteno fosilno gorivo, sagorijevanjem u termoenergetskim postrojenjima proizvodi se oko 40% električne energije na svjetskom nivou. Kao rezultat sagorijevanja nastaju plinoviti polutanti: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, čestične tvari, živa (Hg), kadmij (Cd), arsen (As), molibden (Mo), vanadij (V) kao i plinoviti HCl i HF. U okolinskim studijama u kojima se vrši istraživanje povezanosti teških metala u okolišu sa metalima u uglju korištena je klasifikacija utvrđena od NRC (National Research Center)<sup>4</sup>. Klasifikacija je izvršena na osnovu poznatih zdravstvenih uticaja ili njihove prisutnosti u uglju. Polutanti prisutni u uglju sa najvećim negativnim uticajem su: As, B, Cd, Pb, hg, Mo i Se. Arsen, kadmij, olovo i živa su ekstremno toksični za većinu bioloških sistema ukoliko su prisutni u granicama iznad maksimalno dozvoljenih. Selen iako pripada skupini esencijalnih elemenata, pri visokim koncentracijama pokazuje toksična svojstva. Posebno zabrinjavajuće su visoke koncentracije molibdena i bora u biljkama. Molibden utiče na laktaciju kod krava, dok je bor fitotoksičan. Umjereni polutanti prisutni u uglju su: Cr, V, Cu, Zn, Ni i F. Navedeni elementi su potencijalno toksični i

<sup>2</sup> <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/250141/1/9789241511353-eng.pdf?ua=1>

<sup>3</sup> <http://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>

<sup>4</sup> <http://www.ica-coal.org.uk/documents/83083/8631/Trace-element-emissions-from-coal.-CCC/203>

prisutni su u produktima sagorijevanja (šljaka i pepeo, elektrofilterski pepeo i dimni plinovi) u povišenim koncentracijama. Većina pomenutih elemenata sklona je bioakumulaciji. Flour je naročito štetan ukoliko je prisutan u stočnoj hrani. Uran i torij su radioaktivni elementi, produkti njihovog raspada su prirodni radionuklidi prisutni u okolišu. Od prirodnih radionuklida, radij, polonij i radon se uzimaju u problematici zaštite okoliša. Radij i polonij su emiteri alfa zračenja sa dugim vremenskim periodom poluraspada. Radon je plin sa kraćim vremenom poluraspada, do nakupljanja radona često dolazi u jamskim prostorijama. Sagorijevanjem uglja, pojedini teški metali u otpadnim tokovima kakav je na primjer šljaka i pepeo se koncentriraju, takođe u pojedinim slučajevima može doći i do porasta koncentracije radioaktivnih elemenata. U tabeli 2.4., prikazan je uobičajeni opseg koncentracija elemenata u ugljevima i njihova usporedba sa teškim metalima prisutnim u ugljevima RMU „Banovići“ i „Dubrave“.

**Tabela 2.4.** Uporedni prikaz koncentracije elemenata u ugljevima iz različitih dijelova svijeta i uglja koji se koristi u TE Tuzla

Naziv elementa i hemijski simbol	Prosjek, mg/kg	Prosječni rang, mg/kg	Rudnik „Banovići“, mg/kg		Rudnik „Dubrave“, mg/kg
Arsen (As)	2,69	0,36-9,8	29,9	45,83	141,0
Bakar (Cu)	10,8	1,8-20	25,0	26,23	197,0
Bor (B)	47,0	11-123	310,0	-	347,0
Berilij (Be)	1,0	0,1-2,0	-	-	-
Cezij (Cs)	-	-	3,44	-	16,6
Hrom (Cr)	17,6	2,9-34	n.d.	13,30	1050,0
Kadmij (Cd)	0,093	0,01-0,19	0,10	0,43	0,58
Kobalt (Co)	4,5	1,2-2,3	12,7	6,50	80,4
Živa (Hg)	0,091	0,03-0,19	-	-	-
Mangan (Mn)	40,0	8-93	225,0	-	1610,0
Molibden (Mo)	-	-	1,11	-	3,67
Nikl (Ni)	11,1	1,5-21	291,0	114,30	1130,0
Olovo (Pb)	7,0	1,1-22	7,46	8,60	40,2
Rubidij (Rb)	-	-	8,82	-	75,6
Selen (Se)	2,13	0,15-5,0			
Talij (Tl)	-	-	0,09	-	0,73
Uranij (U)	-	-	-	-	3,53
Vanadij (V)	-	-	-	9,00	272,5
Cink (Zn)	12,7	5,1-18	32,7	33,73	232,0
Željezo (Fe)	-	-	15500,0	-	93100,0
Fluor (F)	120	15-305	-	-	-
Hlor (Cl)	440	25-1420	-	-	-



Odlagališta šljake i pepela doprinose povećanju koncentracije suspendirane tvari u zraku ili čestične tvari su kompleksni multifazni sistemi svih u zraku prisutnih čestica ali i utekućenih tvari sa niskim naponom para aerodinamičkog prečnika od 0,01 do 100  $\mu\text{m}$ . Zbog svog izraženog i dokazanog negativnog uticaja na ljudsko zdravlje posebna pažnja se poklanja čestičnim tvarima  $\text{PM}_{10}$  i  $\text{PM}_{2.5}$ . Od 1987. godine u SAD su utvrđene i primjenjuju norme za  $\text{PM}_{10}$ . Čestične tvari  $\text{PM}_{10}$  su prirodni konstituent atmosfere, uslijed antropogenih aktivnosti njihova koncentracija raste a značajno se mijenja i njihov hemijski sastav u pogledu porasta sadržaja teških metala o organskih polutanata. Brojne studije (Pope,2000; Brunekreef,2005; Davidson,2005) utvrdile su povećan rizik od uticaja čestičnih tvari na ljudsko zdravlje. Koliko opasne čestine tvari prisutne u zraku na ljudsko zdravlje mogu biti uglavnom zavisi od veličine čestice i njenog hemijskog sastava. Širok opseg veličina čestičnih tvari kao i njihov različit hemijski sastav i morfologija čini njihovu vezu sa uticajima na zdravlje vrlo kompleksnu za izučavanje (Solomon, 2011). Čestične tvari mogu prodrijeti duboko u respiratorni sistem, spojevi iz

kojih se sastoje čestice se zatim rastvaraju i dospjevaju u krvotok (WHO,1999). Akumuliranje komponenti čestičnih tvari poput teških metala u ljudski organizam uzrokuju ozbiljna oboljenja (Jarup, 2003). Postojeće studije vezane za određivanje teških metala u čestičnim tvarima uzimaju u obzir većinom As, Cd i Pb. Navedeni metali su na listi deset hemikalija koje imaju najveći negativan uticaj na zdravlje

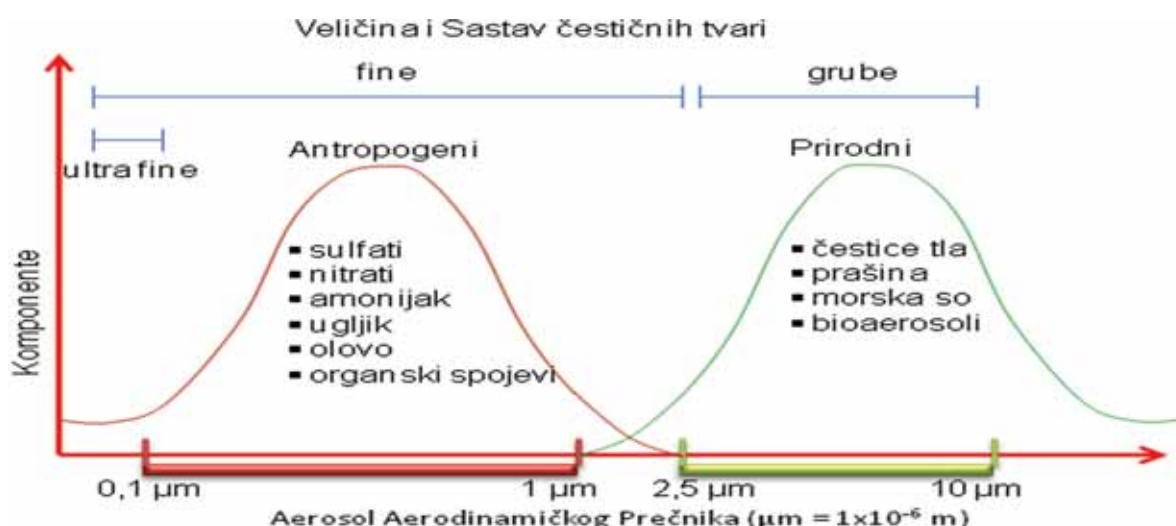
opće populacije (WHO, 2010). Olovo se klasificira kao mogući kancerogen za ljude (WHO, 2006). Kadmij se klasificira kao kancerogen za ljude (WHO, 2006). Arsen je povezan sa povećanim rizikom od kancera (Chiou et al., 1995). Prema priručniku o monitoringu ambijentalnog zraka u Njemačkoj<sup>5</sup> rizik od kancera postoji za slijedeće polutante i pripadajuće koncentracije: arsen i njegovi neorganski spojevi 5  $\text{ng}/\text{m}^3$ ; azbestna vlakna 88  $\text{F}/\text{m}^3$ ; benzen 2,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; kadmij i njegovi spojevi 1,7  $\text{ng}/\text{m}^3$ , čestice čađi iz dizel goriva 1,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , PAH karakteristična supstanca benzo –(a) piren 1,3  $\text{ng}/\text{m}^3$  i 2,3,7,8-tetrahlorodibenzo-p-dioksin 16  $\text{fg}/\text{m}^3$ . Čestične tvari osim što mogu da sadrže teške metale, često su nosioci organskih polutanata poput policikličnih aromatskih ugljikovodika (PAH) koji su kancerogeni, mutageni i genotoksični čak i pri niskim koncentracijama. Osnovne komponente  $\text{PM}_{2.5}$  su



Slika 2.6. Relativna veličina čestičnih tvari  $\text{PM}_{2.5}$  i  $\text{PM}_{10}$

<sup>5</sup> <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2702.pdf>

organske tvari (30-60%), metali (<19%), nitrati i sulfati (25-35%) i elementarni ugljik 5% (USEPA, 1995). Na koncentraciju PM<sub>2.5</sub> u urbanim sredinama bez industrije najveći uticaj ima saobraćaj. U industrijskim područjima dominantan izvor su industrijska postrojenja, najočitiji primjer je Lukavac<sup>6</sup> gdje je tokom akcidenta u jednoj od tvornica koncentracija PM<sub>2.5</sub> na mjerne stanici zabilježena u vrijednosti od 989 µg/m<sup>3</sup>. Hemijski sastav PM<sub>10</sub> u urbanim područjima uključuje Al i Fe, organski ugljik (na stotine spojeva), elementarni ugljik, sulfati, nitrati i amonijak (Kong et al., 2010). Sulfati, nitrati i amonijum joni (SNA) sekundarno doprinose masi PM<sub>10</sub> čestičnih tvari. SNA kao dio PM<sub>10</sub> raste uslijed transformacije plinova prekursora poput SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>. U zraku SO<sub>2</sub> oksidira do plinovitog SO<sub>3</sub> ili tečne H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> koja se zatim neutralizira do amonijum sulfata ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ili amonijum bisulfata (NH<sub>4</sub>HSO<sub>4</sub>). Azotni oksidi (NO<sub>x</sub>) fotohemijski oksidiraju do HNO<sub>3</sub> koja neutralizacijom prelazi u amonijum nitrat (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>). Meteorološki uslovi tokom ljeta ne doprinose nastajanju amonijum nitrata, zbog toga što amonijum joni (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) nastoje (imaju afinitet) neutralizirati sulfati. U zimskom periodu amonijum joni se javljaju u dovoljnoj količini za neutralizaciju sulfatne i nitratne kiseline pri čemu koncentracija amonijum nitrata raste. U zimskom periodu, rano proljeće i kasnu jesen, kada zbog vremenskih uslova emisije iz termoenergetskih postrojenja, industrijskih kotlovnica na uglj i individualnih ložišta, postanu preovladavajuće u odnosu na emisije iz saobraćaja iste imaju značajne uticaje na sastav čestičnih tvari. Pri navedenim izvorima emisija čestične tvari se gotovo u potpunosti sastoji od amonijum sulfata i amonijum nitrata pri čemu PM<sub>10</sub> pokazuju alkalnu reakciju. U ljetnjem periodu može doći do emitovanja skoro jednakih količina SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>, emisija amonijaka prestaje pri čemu PM<sub>10</sub> pokazuju kiselu reakciju. Kisela reakcija PM<sub>10</sub> uzrokovana je preovladavajućom nitratnom kiselinom. Na slici 2.6. prikazana je relativna veličina a na slici 2.7. sastav čestičnih tvari<sup>7</sup>.



**Slika 2.7.** Relativna veličina i sastav čestičnih tvari PM<sub>0,1</sub> – PM<sub>10</sub>

<sup>6</sup> <http://monitoringzrakatk.info/lukavac-yesterday.html>

<sup>7</sup> <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-05/documents/huff-particle.pdf>

Čestične tvari PM<sub>10</sub> sadrže različite zagađujuće tvari, od onih neorganskih poput teških metala do organskih čiji broj može biti i nekoliko stotina komponenti. Na osnovu istraživanja (Ružičkova et al., 2017) u ljetnom periodu broj organskih komponenti pronađenih u PM<sub>10</sub> je 374 a u zimskom 536. Visoka koncentracija organskih polutanata u frakciji čestičnih tvari PM<sub>10</sub> rezultat je sagorijevanja fosilnih goriva i biomase. Organske zagađujuće prisutne u PM<sub>10</sub> su: aromatski ugljikovodici, alkani, alkeni, alkini, alkadieni i njihovi ciklični analogi, aldehidi, ketoni, fenoli, eteri, karboksilne kiseline, nitrili, pireni, furani, benzofurani, policiklični aromatski ugljikovodici, organske komponente koje sadrže sumpor kao i geohemijske markere. Za uzorkovanje PM<sub>10</sub> koristili smo DIGITEL DH-77 uzorkivač prašine i aerosola, koji za potrebe istraživanja je ustupljen od strane Federalnog hidrometeorološkog zavoda. Uređaj je u skladu sa standardom EN12341:2014 Standarda gravimetrijska metoda određivanja koncentracije čestičnih tvari PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub>, koriste ga brojne evropske agencije za zaštitu okoliša kao i nacionalna tijela za monitoring zraka. Uzorkovanje je vršeno u augustu 2017. godine i trajalo je 8 dana. Analiza filter papira na sadržaj teških metala urađena je u laboratoriji WESSLING ROMANIA akreditiranoj prema EN ISO/IEC 17025:2005 rezultati su prikazani u Tabeli 2.5.



**Slika 2.8.** DIGITEL DH-77 uzorkivač prašine i aerosola

**Tabela 2.5.** Prosječna koncentracija teških metala u čestičnim tvarima PM<sub>10</sub>

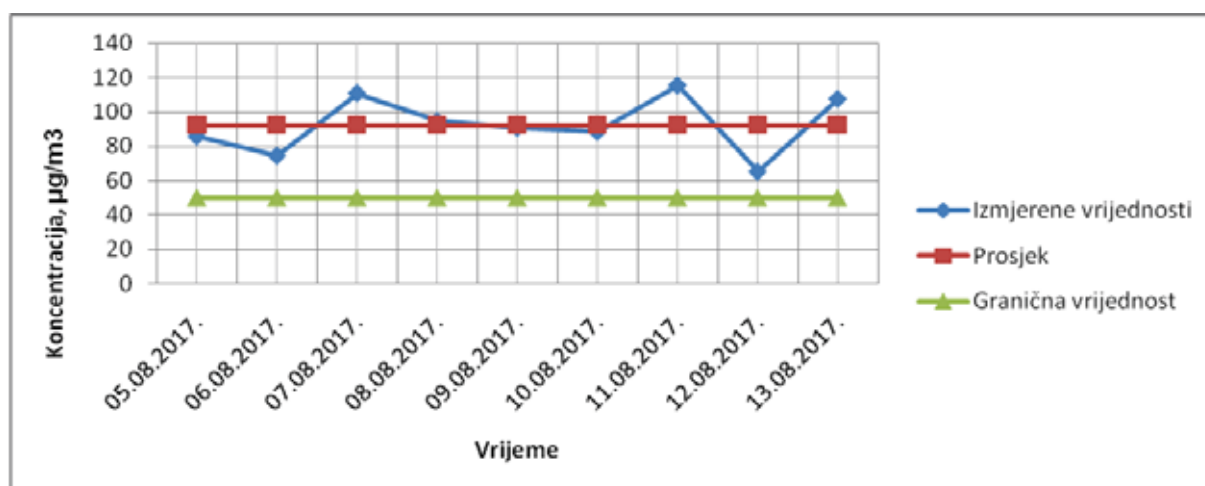
Naziv elementa i hemijski simbol	Prosječna koncentracija, ng/m <sup>3</sup>
Aluminij (Al)	<b>1050,0</b>
Arsen (As)	<b>0,96</b>
Hrom (Cr)	<b>3,15</b>
Kadmij (Cd)	<b>&lt;0,25</b>
Živa (Hg)	<b>&lt;0,25</b>
Nikl (Ni)	<b>8,2</b>
Olovo (Pb)	<b>130,3</b>
Talij (Tl)	<b>&lt;1</b>
Cink (Zn)	<b>5,21</b>

Prema Direktivi 2008/50/EZ o kvaliteti zraka i čistom zraku za Evropu granična vrijednost za zaštitu zdravlja ljudi u odnosu na olovo iznosi  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na godišnjem nivou. U našem slučaju, za samo 8 dana prosječna koncentracija olova je bila  $0,103 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . U Direktivi 2004/107/EZ o arsenu, kadmiju, živi, niklu i policikličkim aromatskim



**Slika 2.9.** Filter nakon uzorkovanja

ugljkovodicima u zraku jasno je naznačeno da rezultati naučnih istraživanja pokazuju da arsen, kadmij, nikl i neki policiklički aromatski ugljkovodici imaju genotoksični kancerogeni uticaj na ljudski organizam te da nije moguće odrediti prag ispod kojeg te tvari ne predstavljaju opasnost za zdravlje ljudi. Ciljna vrijednost na godišnjem nivou propisana navedenim dokumentom iznosi:  $6 \text{ ng}/\text{m}^3$  za arsen,  $5 \text{ ng}/\text{m}^3$  za kadmij i  $20 \text{ ng}/\text{m}^3$  za nikl. Vidljivo je da za vrlo kratko vrijeme se postižu relativno visoke koncentracije arsena i nikla u frakciji čestičnih tvari  $\text{PM}_{10}$ , sa dovoljnom tačnošću se može pretpostaviti da bi koncentracije navedenih elemenata na godišnjem nivou bile iznad graničnih. Na slici 2.8 prikazane su izmjerene vrijednosti koncentracije čestičnih tvari  $\text{PM}_{10}$ . Može se zaključiti da izmjerene vrijednosti prelaze graničnu dnevnu koncentraciju od  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Slika 2.10.** Koncentracija čestičnih tvari  $\text{PM}_{10}$

### 3. OBOLJEVANJE I UMIRANJE LJUDI IZLOŽENIH TEŠKIM METALIMA U NEPOSREDNOJ BLIZINI ODLAGALIŠTA ŠLJAKE I PEPELA TERMOELEKTRANE TUZLA<sup>8</sup>

#### 3.1. ISPITANICI I METODE ISTRAŽIVANJA

Tokom 2016. godine provedena je presječna studija koja je imala za cilj skrining dugoročnih neželjenih učinaka (efekata) ekspozicije teškim metalima na području odlagališta šljake i Termoelektrane Tuzla, gdje je izvršen ambijentni monitoring teških metala tokom 2015. godine.

##### 3.1.1. Ispitanici

Istraživanjem je bilo obuhvaćeno 502 ispitanika, 237 muškaraca (47.2%) i 265 (52.8%) žena. Prosječna dob ispitanika bila je  $52.40 \pm 13.988$  godina. Učešće u istraživanju bilo je na dobrovoljnom nivou, a skrining je proveden anketiranjem gradjana. Skrining je obavljen anketiranjem stanovnika, od domaćinstva do domaćinstva u izabranom području istraživanja (terenski rad educiranog anketara). Kontrolnu skupinu je činilo 100 stanovnika naselja Solina koji ne žive u blizini odlagališta šljake iz Termoelektrane (>od 12 km drumske razdaljine i >od 4km vazdušne udaljenosti od postrojenja Termoelektrane i deponije šljake), niti u blizini Termoelektrane. Ispitanici kontrolne skupine predstavljaju opću populaciju općine Tuzla. Ispitanike su činili stanovnici naselja Divkovići, Plane, Bukinje i Šićki Brod, ukupno 402 ispitanika. Ciljnu i prvu istraživačku grupu (I grupa) činili su stanovnici koji žive u neposrednoj blizini odlagališta šljake (rubna naselja), a blizu termoelektrane: 51 stanovnik naselja Divkovići i 121 stanovnik naselja Plane. Drugu istraživačku grupu činili su stanovnici koji žive u neposrednoj blizini Termoelektrane i u blizini deponije šljake iz Termelektrane: 85 žitelja Bukinja i 145 Šićkog Broda.

*Istraživačka hipoteza glasi:* život u kontaminiranom okolišu teškim metalima značajno utiče na zdravlje i umiranje stanovnika koji tu žive. Oni su svakodnevno (višekratno i ponavljano), dugotrajno izloženi metalima u okolišu koji potiču iz Termoelektrane u zraku, tlu, hrani i vodi. Metali se oslobadjaju sagorijevanjem fosilnih goriva, kao i odlaganjem zaostale šljake i pepela u deponije šljake i pepela iz Termoelektrane.

##### 3.1.2. Skrining poremećaja zdravlja

Za procjenu neželjenih efekata dugoročne ekspozicije teškim metalima u okolišu, kreiran je skrining test koji je obuhvatio: adaptirani i na nas jezik prevedeni standardni skrining test „Upitnik za skrining zdravlja povezan sa ekspozicijom teškim metalima u okolišu „(eng. „Heavy metal screening questionnaire“) (69); „Upitnik o znacima i simptomima okolišnog trovanja teškim metalima“ (eng. „Heavy metals toxicity questionnaire“)(70); te samokreiran

<sup>8</sup> Tekst poglavlja 3. u cjelosti preuzet iz dokumenta "OBOLJEVANJE I UMIRANJE LJUDI IZLOŽENIH TEŠKIM METALIMA U NEPOSREDNOJ BLIZINI ODLAGALIŠTA ŠLJAKE I PEPELA TERMOELEKTRANE TUZLA", autora Nurke Pranjčić, objavljenog na <http://ekologija.ba/wp-content/uploads/2018/02/OBOLJEVANJE-I-UMIRANJE-LJUDI-IZLO%25%BDENIH-TE%25%A0KIM-METALIMA-U-NEPOSREDNOJ-BLIZINI-ODLAGAL%25%A0TA-%25%A0LJAKE-I-PEPELA-TERMOELEKTRANE-TUZLA.pdf>



dio upitnika sačinjen od pitanja koja se odnose na demografske podatke, dob, spol, mjesto stanovanja (u gradu, u neposrednoj blizini odlagališta šljake ili u mjestu gdje je Termoelektana i u blizini odlagališta šljake  $\geq 500\text{m}$ ); obrazovanje, bračni status, status zaposlenosti, percepcije zadovoljstva finansijskom situacijom u domaćinstvima; te pitanja o oboljevanju od malignih bolesti (trenutno dijagnostikovana bolest), tip sijela dijagnostikovanog karcinoma, dob života prema dobi mortaliteta zadnje osobe koja je umrla u domaćinstvu; pitanje o reprodukciji fertilitetu ženskih osoba: problem sa sterilitetom, spontanim pobačajima, prijevremenim porodima, mrtvorodstvom; smrtnost od karcinoma u jednom domaćinstvu, tip karcinoma koji je uzrokovao smrt članova domaćinstva; oboljevanje djece od karcinoma; te pridodata pitanja o bašti (vrtu); pitanja o pušenju i karakteristikama eventualne ekspozicije metalima na radnom mjestu.

„Upitnik o uticaju teških metala na zdravlje“(69), je sastavljen od 30 tvrdnji postavljenih u tabeli, a svaka pojedinačna tvrdnja je bodovana. Potvrđan odgovor na tvrdnju ispitanik u praznom polju testa označavao je sa X. Tvrdnje su zapravo simptomi ili zdravstveni poremećaji povezani sa izloženošću teškim metalima. Ukupan skor se zbraja kao jednostavan zbir procjena označenih potvrđenih tvrdnji ispitanika od 0 (nijedna potvrđan odgovor) do maksimalno 126 bodova (Skor =0-126). Vrijednost skora otkriva povezanost simptoma sa ekspozicijom teškim metalima od male ili nesigurne povezanosti (skor=0-39), umjerene (40-85) do veoma značajne (jake) povezanosti (skor =86-126). Validnost i realibilnost Upitnika je veoma zadovoljavajuća: Cronbah alfa= 0.992, interkorelacijski faktor 1,080, P=0.196.

Upitniku je pridodata lista simptoma, znaka poremećaja zdravlja ili bolest povezana sa okolišnom toksičnošću metala, skrining test: „Upitnik i simptomi okolišnih otrovanja teškim metalima“ kojom su dodatno procijenjeni zdravstveni poremećaji kao efekti okolišne ekspozicije metalima iskazane u 75 tvrdnji. Potvrđan odgovor na tvrdnju ispitanik u praznom polju testa označavao je sa X. Potvrđne tvrdnje su označavale da osoba trpi određeni zdravstveni poremećaj, a neoznačeni odgovori ne (70).

### **3.1.3. Statistička obrada podataka**

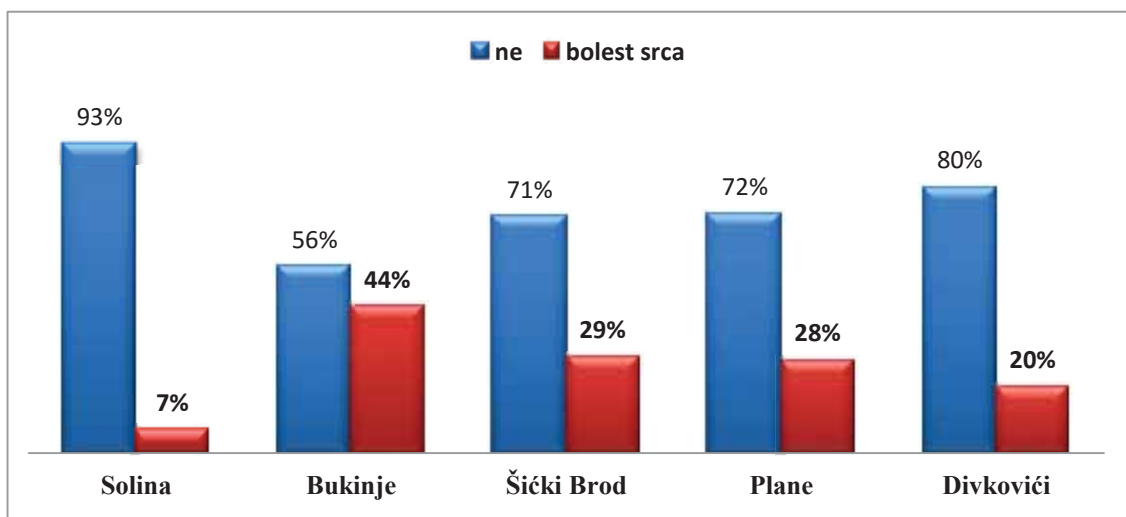
Za analizu rezultata korišten je standardni Statistički paket za društvena istraživanja (SPSS) verzija 19.0. U statističkoj obradi rezultata primjenjene su standardne metode deskriptivne statistike. Za testiranje statističke značajnosti razlike izabranih varijabli korišten je  $\chi^2$ -test, t-test i ANOVA, a za multivarijantne korelacione analize ne-parametrijski Spermán-ov test korelacije. Za procjenu faktora rizika provedena je multifaktorska analiza varijance ANOVA. Statistička analiza smatrala se pouzdanom sa intervalom pouzdanosti od 95%, a vrijednost od  $P < 0.05$  smatrala se statistički značajnom (signifikantnom).

### 3.2. REZULTATI I DISKUSIJA

**Tabela 3.1.** Komparativna distribucija uticaja metala na oboljevanje i smrtnost stanovnika koji žive uz odlagalište Šljake u odnosu na kontrolno područje Solina

Mjesto stanovanja	Kategorije skrining testa o uticaju metala na zdravlje			P
	Moguća, ali nije značajna n (%)	Značajna povezanost n (%)	Veoma značajna povezanost n (%)	
Solina	97 (97)	2 (2)	1 (1)	$\chi^2 = 115.492$ < 0.000
Bukinje (II gr.)	26 (31)	36 (42)	23 (27)	
Šićki Brod (II gr.)	89 (61)	42 (29)	14 (10)	
Plane (I gr.)	89 (73)	29 (24)	3 (3)	
Divkovići (I gr.)	27 (53)	21 (41)	3 (6)	

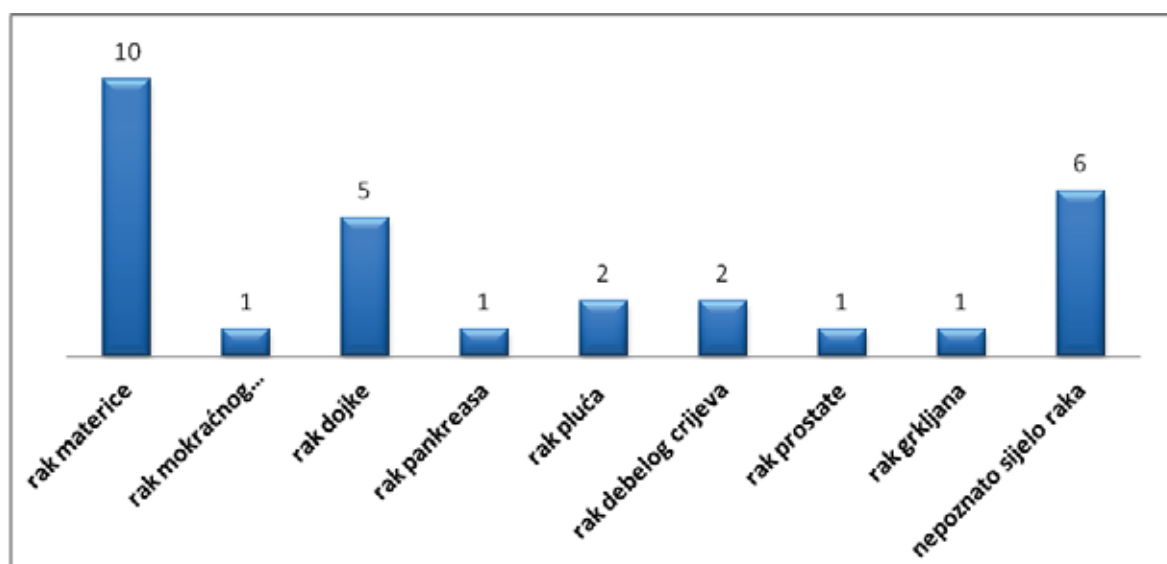
**Zdravstveni poremećaji stanovnika su statistički veoma značajno povezani sa izloženošću i negativnim efektima teških metala na zdravlje u okolišu Termoelektrane, II grupa ispitanika (viša stopa) i u II grupi ispitanika koji žive u neposrednoj blizini odlagalište šljake ( $P < 0.000$ ). Najviša stopa učestalosti (prevalence) veoma značajne povezanosti uticaja metala na zdravlje je u Bukinju 27% i Šićkom Brodu 10%, Divkovićima 6%, Planama 3%, a u kontrolnoj Solini 1%. U poređenju sa Solinom, naseljem u Tuzli (kontrolno područje - nije mjesto u području niti u blizini odlagališta šljake), **27 puta je veći rizik oboljevanju usljed uticaja teških metala u Bukinju i 10 puta u Šićkom Brodu** ( $P < 0.000$ ). Može se pretpostaviti da se najveći toksični sadržaj metala oslobađa u neposrednoj blizini Termoelektrane, mjesta sagorijevanja uglja. Ipak, **značajan uticaj na zdravstvene poremećaje je zabilježen u svim mjestima uz odlagalište šljake, a najviše u Bukinju 42%, Divkovićima 41%, Šićkom Brodu 29% i Planama 24%, u odnosu na kontrolno područje Solina 2%**. Zbirno, **uticaj metala na morbiditet i mortalitet (oboljevanje i smrtnost) građana koji žive u blizini termoelektrane i odlagalište šljake je veoma visok: Bukinju 69%: Šićki Brod 39%, Plane 27%, Divkovići 47% u poređenju sa kontrolnim područjem Solina 3%** (vjerovatno profesionalna ekspozicija na poslu). Prema epidemiološkim podacima Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) o 10 najučestalijih rizika za umiranje u svijetu (mortalitet), u zapadnim, razvijenim zemljama zagađenje okoliša je 10. rizik. Zbog njega umre 0.7 miliona ljudi godišnje ili 2.8% ove populacije. U zemljama sa niskim ekonomskim prinosima kao što je naša prema WHO, zagađenje okoliša kao uzrok mortaliteta je na 8. mjestu, a zbog zagađenja okoliša umre 2.5% ove populacije (71). Ovi podaci su komparabilni i u skladu sa našim rezultatima u kontrolnih ispitanika u Solini 3%: 2.5% (u zemljama u razvoju). U Bosni i Hercegovini uzroci umiranja se predstavljaju kao bolesti od kojih se umire, a ne etiološki uzroci.**



$\chi^2 = 34.448$   $P = 0.000$

**Slika 3.1.** Učestalost bolesti srca prema mjestu stanovanja

Učestalost (stopa prevalenc) bolesti srca (kardiovaskularnih poremećaja) je značajno viša nego u kontrolnom području, Solina 7% v.s. Bukinje 44%: Šićki Brod 29% (I grupa): Plane 28%: 20% Divkovići (II grupa) ( $P < 0.000$ ), 3-6 puta češće nego u kontrolnom području. Prevalenca ishemijske bolesti srca u Bosni i Hercegovini (BiH) je 9.9% što je u skladu sa učestalošću bolesti srca u Solini, kontrolnom području (72). Učestalost kardiovaskularnih bolesti je viša u naših ispitanika II grupe u odnosu na grupu ispitanika koji žive uz odlagalište šljake i pepela (I). Ipak u odnosu na prevalencu u općoj populaciji Bosni i Hercegovini (9.9%), u naših ispitanika prevalenca kardiovaskularnih bolesti je za 2-4X viša (72).



**Slika 3.2.** Distribucija ispitanika istraživačkih grupa oboljelih od karcinoma (n=29) prema sijelu raka među ispitanicima

Prevalenca novootkrivenih karcinoma (n=29) značajno je učestalija u područjima koji su u neposrednoj blizini Termoelektrane i odlagališta šljake: Solina 0% v.s. Bukinje 13%: Šićki Brod 7% (I grupa) v.s. Plane 4%: Divkovići 6% (P=0.006). U kontrolnom području, u Solini nikom nije dijagnosticiran novi slučaj karcinoma.

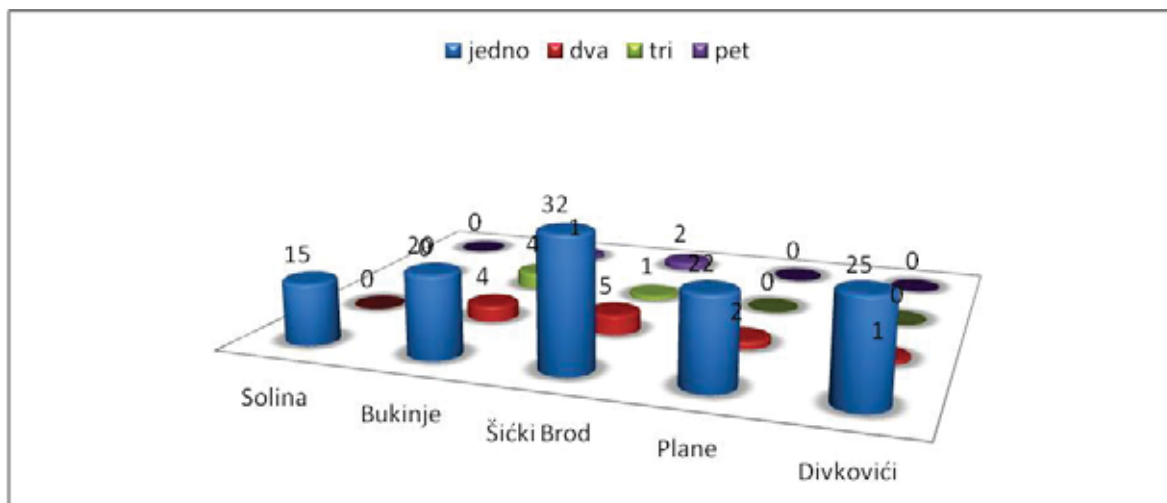
Najučestalije lokacije karcinoma (sijela) u ispitanika koji žive u blizini Termoelektrane i odlagališta šljake su (n=29): 10 slučajeva karcinoma materice, 5 slučajeva karcinoma dojke, 2 slučaja raka pluća (loša prognoza, kratak period preživljavanja), te 2 slučaja raka debelog crijeva. Među oboljelima su po 1 slučaj karcinoma prostate, 1 pankreasa, 1 grkljana i 1 mokraćnog mjehura. Za 6 karcinoma pacijenti nisu znali definisati primarno sijelo karcinoma. Indeks strukture novootkrivenih karcinoma u Tuzlanskom kantonu (73) u odnosu na naše ispitanike koji žive u blizini Termoelektrane i odlagališta šljake kreće se: grlića i tijela materice 9.81% v.s. 34.4% (3X viši) u naših ispitanika; karcinoma bronha i pluća 9.80% v.s. 6.88% u naših ispitanika; dojke 15.36% v.s. 17.2%; debelog crijeva 5.30% v.s. 6.88%.

Najučestaliji je karcinom grlića i tijela materice među novootkrivenim karcinomima. Nije u skladu sa epidemiološkim podacima u Tuzlanskom kantonu gdje prednjači karcinom dojke i pluća (72).

**Tabela 3.2.** Komparativna distribucija uticaja metala na broj umrlih od karcinoma (mortalitet od malignih tumora) u domaćinstvima ispitanika

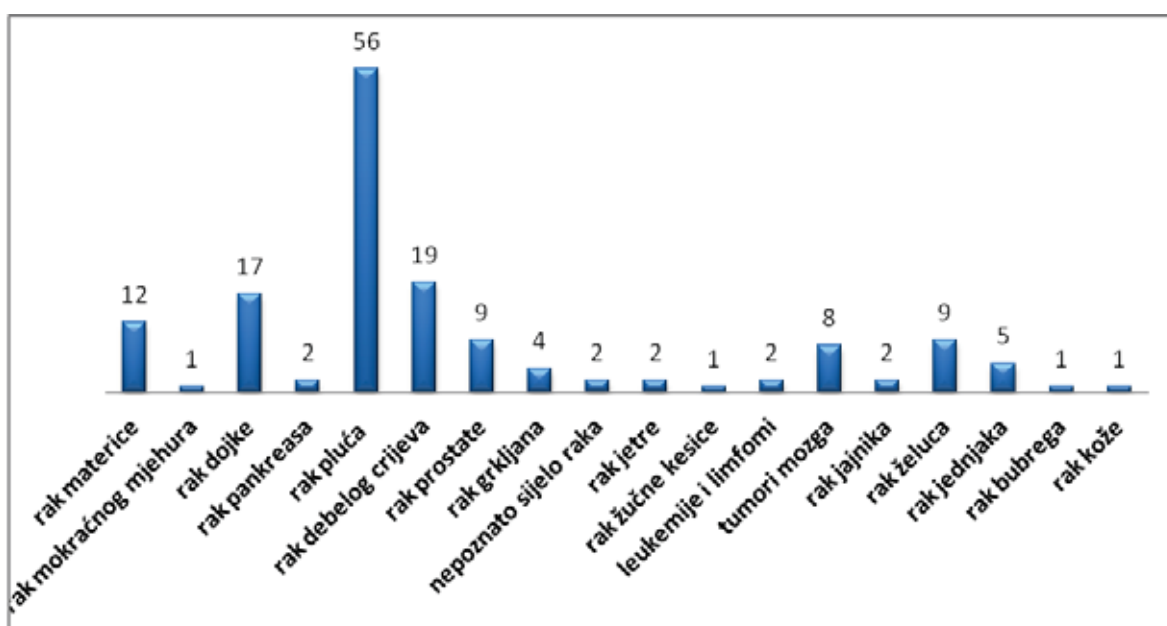
Mjesto stanovanja	Broj umrlih u domaćinstvu od karcinoma		P
	Nema slučajeva n (%)	Umrli od karcinoma n (%)	
Solina	85 (85)	15 (15)	$\chi^2 = 65.654$ <0.000
<b>Bukinje</b>	<b>40 (47)</b>	<b>45 (53)</b>	
<b>Šićki Brod</b>	<b>90 (62)</b>	<b>55 (38)</b>	
<b>Plane</b>	<b>95 (79)</b>	<b>26 (21)</b>	
<b>Divkovići</b>	<b>24 (47)</b>	<b>27 (53)</b>	

Smrtnost od karcinoma u domaćinstvima ispitanika je veoma zabrinjavajuća u odnosu na kontrolno područje, Solina 15% v.s. Bukinje 53%: Šićki Brod 38% v.s. Plane 21%: 53% Divkovići (P<0.000). Prevalenca karcinoma značajno je učestalija u područjima koji su u neposrednoj blizini odlagališta šljake, ali i sigurno glavni medicinski uzrok mortaliteta (P<0.000). Među vodećim pojedinačnim uzrocima smrti stanovništva u Tuzlanskom kantonu (73) na 4. mjestu je karcinom pluća sa učešćem 6.59%.



**Slika 3.3.** Učestalosti umiranja od karcinoma prema mjestu i broju umrlih u jednom domaćinstvu

Prema broju umrlih od karcinoma u jednom domaćinstvu postoje statistički značajne razlike u odnosu na kontrolno područje: Solina umrlih 15, umrlih po 1 u 15 domaćinstva; Bukinje umrlih 45: po 1 umrlih u 20 domaćinstava, 5 umrlih u jednom domaćinstvu, 1x 5 umrlih, 3 umrla u 4 domaćinstva; 2 umrla u 5 domaćinstava; Šićki Brod umrlih 55: umrlih po 1 u 32 domaćinstva, pet umrlih u dva domaćinstva, 3 umrlih u jednom domaćinstvu, 2 umrlih u 5 domaćinstava; Plane, umrlih 26: umrlih po 1 u 22 domaćinstva, i 2 umrla u 2 domaćinstva; Divkovići, umrlih 27: po 1 umrlih u 25 domaćinstava, i 2 umrla u jednom domaćinstvu.



**Slika 3.4.** Distribucija sijela karcinoma od kojih su članovi domaćinstva naših ispitanika umrli (n=153)



Postoje statistički značajne razlike broja umrlih prema mjestu stanovanja,  $\chi^2= 65.654$ ,  $P < 0.000$ . Najveći broj umrlih od karcinoma prema domaćinstvima utvrđen je u Šićkom Brodu i Bukinju (druga grupa).

Najučestaliji karcinomi od kojih umiru ljudi u blizini Termoelektrane i odlagališta šljake su: 56 karcinoma pluća (indeks strukture mortaliteta 36.6%), 19 karcinoma debelog crijeva (indeks strukture mortaliteta 12.4%), 17 rak dojke (indeks strukture mortaliteta 11.11%), 12 rak materice ((indeks strukture mortaliteta 7.8%). U Solini je zabilježeno sasvim drugačija struktura: 5 slučajeva karcinoma prostate, 4 slučaja malignih bolesti krvi, 3 karcinoma dojke i 3 karcinoma pluća (Slika 3.4).

Oboljevanje djece od maligne bolesti bilo je otkriveno u 6 slučajeva u Bukinju i 1 slučaj u Planama. Prevalenca karcinoma djece značajno je učestalija u područjima koji su u neposrednoj blizini Termoelektrane i odlagališta šljake u odnosu na kontrolno područje gdje nema slučajeva bolesti ( $P < 0.000$ ). Sva naselja su u veoma viokom riziku.

Prevalenca emfizema pluća je značajno učestalija u naseljima uz Termoelektranu i deponiju šljake nego u kontrolnom području, Solina 1% : Bukinje 19%: Šićki Brod 11%: Plane 9% i Divkovići 12%. Učestalost emfizema pluća je značajno viša nego u kontrolnom području (Solina) za 9 do 19 puta. ( $P < 0.000$ ).

Stopa učestalosti (prevalenca) anemije kao posljedica uticaja metala (posebno olova) je značajno učestalija u naseljima uz Termoelektranu i odlagalište šljake nego u kontrolnom području: Solina 1%: Bukinje 22%:Šićki Brod 10%: Plane 10% i Divkovići 16%. Učestalost anemije je u mjestima uz odlagalište šljake značajno viša nego u kontrolnom području (Solina) za 10 do 22 puta. ( $P < 0.000$ ).

Prevalenca osteoporoze je značajno učestalija nego u kontrolnom području, Solina 5%: Bukinje 34%: Šićki Brod 18%: Plane 19% i Divkovići 20%. Učestalost osteoporoze je u mjestima uz Termoelektranu i odlagalište šljake značajno viša nego u kontrolnom području (Solina) za 2 do 7 puta ( $P < 0.000$ ).

Prevalenca bolesti štitne žlijezde (hipofunkcija, hypothyreosis) značajno je učestalija u područjima koji su u neposrednoj blizini Termoelektrane i odlagališta šljake nego u kontrolnom području, Solini 4%, Bukinju 21%, Divkovićima 18%, Planama 11% i Šićkom Brodu 6% ( $P < 0.000$ ).

Simptomi fascikulacija ili podrhtavanja mišića povezani sa uticajem metala iz okoliša su značajno učestaliji u ispitanika koji žive u blizini Termoelektrane i odlagališta šljake u odnosu na kontrolno područje, Solina 2%: Bukinje 49%: Šićki Brod 30%: Plane 21%: Divkovići 35%. Učestalost polineuropatije u mjestima uz odlagalište šljake značajno viša nego u kontrolnom području (Solina) za 10 do 25 puta. ( $P < 0.000$ ).

Simptomi ukočenosti mišića (hronična bol takođe) su značajno učestaliji u ispitanika koji žive u blizini odlagališta šljake u odnosu na kontrolno područje: Solina 6% v.s. Bukinje 58%: 6% Šićki Brod 36% v.s. Plane 28%: Divkovići 37%. Učestalost polineuropatije u mjestima uz odlagalište šljake značajno je viša nego u kontrolnom području (Solina) za 6 do 10 puta. ( $P < 0.000$ ).

Tremor ruku povezan sa uticajem metala iz okoliša (posebno žive i mangana) i ima višu stopu učestalosti u ispitanika koji žive u blizini Termoelektrane i odlagališta šljake u odnosu na kontrolno područje, Solina 5%: Bukinje 36%: Šićki Brod 24%: Plane 14%: Divkovići 31%. Učestalost polineuropatije u mjestima uz odlagalište šljake značajno viša nego u kontrolnom području (Solina) za 3 do 7 puta. ( $P < 0.000$ ).

Hronična encefalopatija, pad kognitivne sposobnosti, poremećaj kratkoročne memorije i učenja novog, povezani sa uticajem metala iz okoliša. Oni su značajno učestaliji u ispitanika koji žive u blizini odlagališta šljake i Termoelektrane u odnosu na kontrolno područje, Solina 12%: Bukinje 44%: Šićki Brod 39%: Plane 29%: Divkovići 47%. Učestalost poremećaja pamćenja u mjestima uz Termoelektranu i odlagalište šljake značajno su viša nego u kontrolnom području (Solina) za 3 do 4 puta ( $P < 0.000$ ).

Prevalenca funkcionalnih i morfoloških oštećenja i bolesti jetre je značajno učestalija nego u kontrolnom području, Solina 1%: Bukinje 11%: Šićki Brod 9%: Plane 16% i Divkovići 14%. Učestalost bolesti jetre je u mjestima uz odlagalište šljake značajno viša nego u kontrolnom području (Solina) za 9 do 16 puta. ( $P = 0.006$ ).

Prevalenca sklerodermije je značajno učestalija u Bukinju i Šićkom Brodu nego u kontrolnom području, Solini, Divkovićima i Planama. Ovo sistemsko oboljenje je specifična posljedica izloženosti živi, koje zapravo u većim koncentracijama ima u okolišu u blizini termoelektrane, ali i nekadašnjeg hlorkalknog kompleksa, Solina, Plane, Divkovići 0: Bukinje 4%: Šićki Brod 5% (gdje je stanovnika izmjerena živa u kosi;  $P = 0.014$ ). Prevalenca psorijaze je značajno učestalija u Bukinju i Šićkom Brodu nego u kontrolnom području, Solini, Divkovićima i Planama ( $P = 0.002$ ). Prevalenca lupusa je značajno učestalija u Bukinju 7% nego u Solini, Šićkom Brodu i Divkovićima gdje nije dijagnosticiran ( $P < 0.000$ ).

Spontani pobačaji su značajno učestaliji u ispitanika koji žive u neposrednoj blizini odlagališta šljake i termoelektrane Tuzla: u kontrolnom području u Solini 12%, Bukinje 18%, Šićkom Brodu 14% i Divkovići 14% ( $P=0.000$ ). Najučestaliji spontani pobačaji su u Bukinju 18%. Problem steriliteta nije povezan sa uticajem metala u području okoliša uz odlagalište šljake u odnosu na kontrolno područje Solina ( $P= 0.074$ ). Problem ima najveću učestalost, podjednako zastupljeno u kontrolnom području Solina i Bukinju 6%. Uzroke steriliteta treba istražiti. Prijevremeni porod je statistički značajno češći problem do 5 puta u kontrolnom području Solina u području okoliša uz odlagalište šljake - inverzija rezultata ( $P<0.000$ ). Identičan je odnos u vezi sa mrtvorodstvom. *Mrtvorodstvo* je statistički značajno češći problem (2 do 4 puta) u kontrolnom području Solina nego u području okoliša uz odlagalište šljake - inverzija rezultata ( $P<0.000$ ). Uzroke problema prijevremenih porođaja i mrtvoropdstva u gradu Tuzli treba istražiti.

Ekspozicija i kontaminacija visokim nivoima arsena u okolišu koja je utvrđena u izabranom području istraživanja (blizina pogonu i odlagalištu šljake Termoelektrane Tuzla) je faktor rizika za nastanak niza zdravstvenih poremećaja u izloženih stanovnika. Izlaganje arsenu utiče gotovo na sve organe, uključujući kardiovaskularni sistem, kožu i sluznice, mozak i nervni sistem, jetru i žučne puteve, bubrege, probavni trakt i respiratorni sistem (34). Istraživanja su također ukazala na znatno višu standardiziranu stopu smrtnosti od karcinoma mokraćnog mjehura, bubrega, kože i jetre u mnogim područjima onečišćenja arsena. Nekoliko epidemioloških istraživanja pokazalo je snažnu vezu između izloženosti arsenu i povećanim rizicima razvoju raka i hroničnih nezaraznih oboljenja (34,35). U hroničnoj ekspoziciji arsenu (stanovanje u području kontaminiranog okoliša) zabilježen je povećana prevalenca i incidenca (stopa pojavljivanja u nekoj populaciji) kardiovaskularnih bolesti, razvojnih anomalija novorođenčeta, neuroloških poremećaja, mentalnih poremećaja i dijabetes melitusa (35). Ozbiljnost zdravstvenih poremećaja povezana je s hemijskim oblikom arsena, dužini ekspozicije i koncentracijama (dozi) arsena u okolišnom mediju (74). Izloženost arsenu javlja se oralnim putem (gutanjem), udisanjem, kožnim kontaktom i parenteralnim putem do neke mjere (75) Njegova koncentracija u vodi je obično manja od 10  $\mu\text{g/L}$  (75), iako se mogu pojaviti veći nivoi u blizini prirodnih mineralnih naslaga ili rudarskih mjesta, kao što je slučaj u našem području istraživanja 3-4 puta više (30-45  $\mu\text{g/L}$ ).

Prevalenca sindroma hiperaktivno dijete najviša je Bukinju 6%. Jedno autistično dijete živi u Šićkom Brodu. Amiotrofična lateralna skleroza otkrivena je u 2 stanovnika naselja Bukinje, te u jednog u Šićkom Brodu (neposredna blizina Termoelektrani).

**Tabela 3.3.** Regresiona analiza neželjenih efekata ekspozicije teškim metalima (nezavisne varijable), zavisna varijabla dihotomizirana, živjeti u blizini odlagališta šljake (*prediktor*) u II grupi ispitanika (n=172)

Poremećaji zdravlja i ishodi (nezavisne varijable)	$\beta$	P	95% Interval povjerenja
Povremeno požute oči i tijelo (icterus, lezija jetre)	0.159	0.001	0.035-0.119
Smanjen broj leukocita (leukopenija)	0.098	0.029	0.003- 0.057
Često lupanje srca (poremećaj ritma srca)	0.258	0.001	0.822-1.628
Česte alergije i osjetljivost na hranu	0.104	0.020	0.007- 0.086
Poremećaji sna	0.101	0.023	0.008- 0.113
Česte posjete ljekaru zbog otežanog disanja	0.096	0.031	0.004- 0.091
Usporeno mišljenje	0.093	0.037	0.003- 0.098
Bolesti srca (kardiovaskularne bolesti)	0.213	0.001	0.140- 0.329
Autistično dijete	0.039	0.382	-0.003- 0.007
Amiotrofična lateralna skleroza	0.002	0.967	-0.008- 0.009
Anemija	0.156	0.001	0.054- 0.189
Emfizem pluća	0.148	0.001	0.046- 0.177
Autoimuna bolest	0.010	0.827	-0.012- 0.016
Iznenadan gubitak daha	0.216	0.001	0.533-1.239
Metalni okus u ustima	0.094	0.034	0.016- 0.407
Glavobolja	1.160	0.001	0.127- 0.427
Depresivno raspoloženje	0.258	0.001	1.375- 2.726
Tremor ruku (tresu se ruke)	0.200	0.001	0.587- 1.475
Broj osoba umrlih od karcinoma u domaćinstvu	0.191	0.000	0.184- 0.486
Rak (karcinom)	0.121	0.007	0.021-0.128
Bolest štitne žlijezde	0.105	0.018	0.014- 0.149
Polineuropatije (oštećenja perifernih živaca)	0.090	0.044	0.001- 0.078
Osteoporoza	1.174	0.001	0.086- 0.255
Mrtvorodstvo	-0.146	0.001	-0.486- -0.123
Prijevreteni porod	-0.189	0.001	-0.524- -0.196
Dob umrlog člana porodice	-0.310	0.001	-26.822- -15.421
Hronični umor	0.200	0.001	0.144- 0.362
Problemi pamćenja i sjećanja	0.195	0.001	0.592- 1.533
Skor testa o toksičnosti teških metala	0.334	0.001	7.557- 12.574
Skor skrining testa	0.298	0.001	16.710- 29.768

ANOVA, multinominalna logistička regresiona analiza

Život u neposrednoj blizini odlagališta šljake i u blizini Termoelektrane povezan je sa ekspozicijom teškim metalima. Dugoročna, hronična ekspozicija teškim metalima koja najčešće i uglavnom prelaze dozvoljene koncentracije u različitim okolišnim medijima (zrak, tlo, sediment, vode, hrana) statistički korelira i udružena je sa specifičnim zdravstvenim poremećajima koje mogu uzrokovati teški metali, pojedinačno ili u sadejstvu. Ekspozicija teškim metalima u naših ispitanika prediktor je (faktor rizika) razvoju: lezije jetre (P=0.001), leukopenije (P=0.023), poremećaja ritma srca (P=0.001), alergijama na hranu (P=0.020), poremećajima sna (P=0.023), čestim posjetama ljekaru zbog otežanog disanja (P=0.031), usporenom mišljenju i padom koncentracije (P=0.037), kardiovaskularnom bolešću (P=0.001), anemijom (P=0.001), emfizemom pluća (P=0.001), iznenadnim gubitkom daha (P=0.001), metalnim okusom u ustima (P=0.034), glavoboljom (P=0.001), depresijom (P=0.001), tremorom ruku (P=0.001), brojem osoba umrlih od karcinoma u domaćinstvu (P=0.001), karcinomom (P=0.007), hipotireozom (P=0.018), polineuropatijama (P=0.044), osteoporozom (P=0.001), skraćenom životnom dobi umrlih od karcinoma (dob u vrijeme smrti  $59.59 \pm 27.175$ ; skraćen život prosječno iznosi 74-60= 14 godina izgubljenog života za svakog pojedinca) (P=0.001), hronični umor (P=0.001), problemi pamćenja i sjećanja (P=0.001), skorom Upitnika o toksičnosti metala (P=0.001) i skorom Skrininga zdravlja u izloženih teškim metalima. Vrijednosti  $\beta$  koje imaju negativan predznak, a visoko su statistički signifikantne (P=0.001), a odnose se na mrtvorodstvo i prijevremeni porod isključuju prediktornu ulogu teških metala. Eventualno postoji vjerovatnoća i hipoteza za protektivnu ulogu koju treba u budućnosti istražiti.



**Slika 3.5.** Odlagalište šljake i pepela Jezero II (juni 2017. godine, CEE arhiva)



**Tabela 3.4.** Korelacija skora skrininga simptoma i znaka trovanja metalima i sadržaja (koncentracije) teških metala u tlu u blizini odlagališta šljake i Termoelektrane

Metali u tlu	Lokacije	Sadržaj mg/kg	Faktor korelacije*	P
<b>Arsen</b>	Divkovići	18.6	0.122	0.006
	Pogorioci	32.8		
	Plane	30.1		
<b>Kadmijum</b>	Divkovići	1.1	0.122	0.006
	Pogorioci	2.0		
	Plane	1.2		
<b>Hrom</b>	Divkovići	143.8	0.122	0.006
	Pogorioci	325.9		
	Plane	142.9		
<b>Bakar</b>	Divkovići	37.9	0.122	0.006
	Pogorioci	49.2		
	Plane	33.8		
<b>Mangan</b>	Divkovići	1303.0	0.122	0.006
	Pogorioci	3832.0		
	Plane	937.0		
<b>Nikl</b>	Divkovići	74.1	0.122	0.006
	Pogorioci	209.5		
	Plane	111.6		
<b>Olovo</b>	Divkovići	24.9	0.122	0.006
	Pogorioci	14.0		
	Plane	28.8		
<b>Živa</b>	Divkovići	0.14	0.122	0.006
	Pogorioci	0.21		
	Plane	0.15		

\*Spearman faktor korelacije

Svi simptomi koji se odnose na neželjene efekte izloženosti metalima su statistički značajno povezani sa ekspozicijom metalima u tlu, neovisno o kom se monitoriranom metalu radi ili njegovoj koncentraciji u vodi (P=0.006). U prezentiranim rezultatima u Tabeli 3.4. vidljivo je da se neželjeni efekti i poremećaji zdravlja javljaju i pri sadržajima (koncentracijama) metala u vodi koje su ispod i u granicama dozvoljenih vrijednosti. Razvoj zdravstvenih poremećaja je više povezan sa dugoročnom ekspozicijom metalima u vodi različitih koncentracija. Prema statističkim podacima postoji sigurno sadejstvo metala u razvoju zdravstvenih poremećaja jer je faktor korelacije isti za svaki pojedinačan metal 0.122 (P=0.006).

**Tabela 3.5.** Korelacija između broja osoba umrlih od raka u domaćinstvu naših ispitanika i znaka trovanja metalima i sadržaja (koncentracije) teških metala u tlu u blizini odlagališta šljake i Termoelektrane

Metali u tlu	Lokacije	Sadržaj mg/kg	Faktor korelacije*	P
<b>Arsen</b>	Divkovići	18.6	0.093	0.037
	Pogorioci	32.8		
	Plane	30.1		
<b>Kadmijum</b>	Divkovići	1.1	0.093	0.037
	Pogorioci	2.0		
	Plane	1.2		
<b>Hrom</b>	Divkovići	143.8	0.093	0.037
	Pogorioci	325.9		
	Plane	142.9		
<b>Bakar</b>	Divkovići	37.9	0.093	0.037
	Pogorioci	49.2		
	Plane	33.8		
<b>Mangan</b>	Divkovići	1303.0	0.093	0.037
	Pogorioci	3832.0		
	Plane	937.0		
<b>Nikl</b>	Divkovići	74.1	0.093	0.037
	Pogorioci	209.5		
	Plane	111.6		
<b>Olovo</b>	Divkovići	24.9	0.093	0.037
	Pogorioci	14.0		
	Plane	28.8		
<b>Živa</b>	Divkovići	0.14	0.093	0.037
	Pogorioci	0.21		
	Plane	0.15		

\*Spearman faktor korelacije

Smrtnost (mortalitet) od malignih bolesti (raka, karcinoma) je statistički značajno povezana sa ekspozicijom metalima u tlu, neovisno o kom se monitoriranom metalu radi ili njegovoj koncentraciji ( $P=0.006$ ). U prezentiranim rezultatima u Tabeli 3.5. vidljivo je da se smrtnost od raka (kao i razvoj raka) odvija neovisno o sadržajima (koncentracijama) metala u tlu (rak se razvija kad su koncentracije olova, žive, bakra, mangana ispod i u granicama dozvoljenih vrijednosti). Razvoj karcinoma i smrtnost zbog karcinoma je više povezana sa dugoročnom ekspozicijom metalima u tlu i drugim okolišnim medijima (31,32). Prema statističkim podacima postoji sigurno sadejstvo metala u nastanku i umiranju od raka jer je faktor

korelacije isti za svaki pojedinačan metal 0.093 ( $P=0.037$ ), iako bakar, živa i olovo nisu sigurni karcinogeni nego vjerovatni.

**Tabela 3.6.** Korelacija skora skrininga simptoma i znaka trovanja metalima i sadržaja (koncentracije) teških metala u vodi u blizini odlagališta šljake i Termoelektrane

Metali u vodi	Lokacije	Sadržaj mg/kg	Faktor korelacije*	P
<b>Arsen</b>	Jezero 2	<3	0.122	0.006
	Potok Banovac	3.0		
	Procjedna voda Pogorioci	<3.0		
	Jala	22.0		
<b>Kadmijum</b>	Jezero 2	14	0.122	0.006
	Potok Banovac	<10		
	Procjedna voda Pogorioci	15		
	Jala	13		
<b>Hrom</b>	Jezero 2	60	0.122	0.006
	Potok Banovac	23		
	Procjedna voda Pogorioci	80		
	Jala	60		
<b>Bakar</b>	Jezero 2	10	0.122	0.006
	Potok Banovac	19		
	Procjedna voda Pogorioci	12		
	Jala	<10		
<b>Mangan</b>	Jezero 2	18	0.122	0.006
	Potok Banovac	12		
	Procjedna voda Pogorioci	142		
	Jala	136		
<b>Nikl</b>	Jezero 2	29	0.122	0.006
	Potok Banovac	27		
	Procjedna voda Pogorioci	25		
	Jala	24		
<b>Olovo</b>	Jezero 2	30	0.122	0.006
	Potok Banovac	<10		
	Procjedna voda Pogorioci	30		
	Jala	28		

\*Spearman faktor korelacije

Svi simptomi koji se odnose na neželjene efekte izloženosti metalima su statistički značajno povezani sa ekspozicijom metalima u vodi, neovisno o kom se monitoriranom metalu radi ili njegovoj koncentraciji u vodi ( $P=0.006$ ). U prezentiranim rezultatima u Tabeli 3.6. vidljivo je da se neželjeni efekti i poremećaji zdravlja javljaju i pri sadržajima (koncentracijama) metala u vodi koje su ispod i u granicama dozvoljenih vrijednosti. Razvoj zdravstvenih poremećaja je više povezan sa dugoročnom ekspozicijom metalima u vodi različitih koncentracija (1-3). Prema statističkim podacima postoji sigurno sadejstvo metala u razvoju zdravstvenih poremećaja jer je faktor korelacije isti za svaki pojedinačan metal 0.122 ( $P=0.006$ ). Rezultati pokazuju identičnu korelaciju i signifikantnost kao kod ekspozicije metalima u tlu!



**Slika 3.5.** Potok Banovac ispod odlagališta šlake i pepela Plane, Divkovići I i II, (maj 2015. godine, CEE arhiva)

**Tabela 3.7.** Korelacija između broja osoba umrlih od raka u domaćinstvu naših ispitanika i znaka trovanja metalima i sadržaja (koncentracije) teških metala u vodi u blizini odlagališta šljake i Termoelektrane

Metali u vodi	Lokacije	Sadržaj mg/kg	Faktor korelacije*	P
<b>Arsen</b>	Jezero 2	<3	0.118	0.008
	Potok Banovac	3.0		
	Procjedna voda Pogorioci	<3.0		
	Jala	22.0		
<b>Kadmijum</b>	Jezero 2	14	0.118	0.008
	Potok Banovac	<10		
	Procjedna voda Pogorioci	15		
	Jala	13		
<b>Hrom</b>	Jezero 2	60	0.118	0.008
	Potok Banovac	23		
	Procjedna voda Pogorioci	80		
	Jala	60		
<b>Bakar</b>	Jezero 2	10	0.118	0.008
	Potok Banovac	19		
	Procjedna voda Pogorioci	12		
	Jala	<10		
<b>Mangan</b>	Jezero 2	18	0.118	0.008
	Potok Banovac	12		
	Procjedna voda Pogorioci	142		
	Jala	136		
<b>Niki</b>	Jezero 2	29	0.118	0.008
	Potok Banovac	27		
	Procjedna voda Pogorioci	25		
	Jala	24		
<b>Olovo</b>	Jezero 2	30	0.118	0.008
	Potok Banovac	<10		
	Procjedna voda Pogorioci	30		
	Jala	28		

\*Spearman faktor korelacije



Smrtnost (mortalitet) od malignih bolesti (raka, karcinoma) je statistički značajno povezana sa ekspozicijom metalima u vodi, neovisno o kom se monitoriranom metalu radi ili njegovoj koncentraciji ( $P=0.008$ ). U prezentiranim rezultatima u Tabeli 3.7. vidljivo je da se smrtnost od raka (kao i razvoj raka) odvija neovisno o sadržajima (koncentracijama) metala u vodi (rak se razvija kad su koncentracije metala ispod i u granicama dozvoljenih vrijednosti) (21). Razvoj karcinoma i smrtnost zbog karcinoma je više povezana sa dugoročnom ekspozicijom metalima u vodi i drugim okolišnim medijima nego sa koncentracijom (dozom) metala (31,32). Prema statističkim podacima postoji sigurno sadejstvo metala u nastanku i umiranju od raka jer je faktor korelacije isti za svaki pojedinačan metal 0.093 ( $P=0.037$ ), iako bakar, živa i olovo nisu sigurni karcinogeni, nego vjerovatni (3-5).



**Slika 3.5.** Bašta u neposrednoj blizini odlagališta šljake i pepela Divkovići I i II, (maj 2015. godine, CEE arhiva)

**Tabela 3.8.** Korelacija skora skrininga simptoma i znaka trovanja metalima i bašte kao izvor prehrane u blizini odlagališta šljake i Termoelektrane

Bašte u području odlagališta	Faktor korelacije*	P
Bašta kao izvor prehrane	0.183	0.001
Bašta u blizini kuće	0.183	0.001

\*Spearman faktor korelacije

Svi simptomi koji se odnose na neželjene efekte izloženosti metalima su statistički značajno povezani sa ekspozicijom metalima u povrću i drugim povrtnim biljkama koje su izvor prehrane ispitanika. Naravno, hrana potiče iz bašte koja je u neposrednoj blizini odlagališta šljake i pepela (P= 0.001). Svi simptomi koji se odnose na neželjene efekte izloženosti metalima su statistički značajno povezani sa činjenicom da ispitanik ima baštu sa istim faktorom korelacije 0.183, što je i logično (P= 0.001).

**Tabela 3.9.** Korelacija bolesti kardiovaskularnog sistema i bašte koja je izvor prehrane

Bašte u području odlagališta	Faktor korelacije*	P
Bašta kao izvor prehrane	0.107	0.016
Bašta u blizini kuće	0.131	0.003

\*Spearman faktor korelacije

Dijagnosticirana kardiovaskularna bolest u naših ispitanika statistički značajno je povezana sa unosom metala putem prehrane iz vlastitih bašta (P= 0.016). Međutim, značajnija je činjenica da ispitanik ima baštu (P= 0.002). Bašta predstavlja dodatni izvor aerozagađenja teškim metalima u blizini odlagališta šljake i Termoelektrane.

**Tabela 3.10.** Korelacija emfizema pluća i bašte ispitanika i bašte koja je izvor prehrane u blizini odlagališta šljake i Termoelektrane

Bašte u području odlagališta	Faktor korelacije*	P
Bašta kao izvor prehrane	0.148	0.001
Bašta u blizini kuće	0.137	0.002

\*Spearman faktor korelacije

Dijagnosticiran emfizem pluća (uništeno plućno tkivo, posljedica je hroničnog bronhitisa i astme) u naših ispitanika statistički značajno je povezan sa unosom metala putem prehrane iz svojih bašta (P= 0.001) ili činjenicom da ispitanik ima baštu (P= 0.002). Faktor korelacije nije isti jer za emfizem pluća je značajniji unos metala inhalacijom, ali unos metala prehranom ima značajan doprinos u razvoju bolesti (ako ništa značajno utiče na pad imuniteta).

**Tabela 3.11.** Korelacija osteoporoze i bašte koja je izvor prehrane u blizini odlagališta šljake i Termoelektrane

Bašte u području odlagališta	Faktor korelacije*	P
Bašta kao izvor prehrane	0.087	0.053
Bašta u blizini kuće	0.093	0.039

\*Spearman faktor korelacije

Problem osteoporozе u naših ispitanika statistički nije značajno povezan sa unosom metala putem prehrane iz vlastitih bašta ( $P= 0.053$ ). Ipak, imati baštu je povezano sa osteoporozom ( $P= 0.039$ ). Pretpostavka je da baštu može biti izvor kontaminacije metalima u drugim okolišnim medijima, takođe.

**Tabela 3.12.** Korelacija oštećenja jetre i bašte koja je izvor prehrane u blizini odlagališta šljake i Termoelektrane

Bašte u području odlagališta	Faktor korelacije*	P
Bašta kao izvor prehrane	0.093	0.037
Bašta u blizini kuće	0.093	0.037
Olovo u luku i celeru	0.093	0.037

\*Spearman faktor korelacije

Oštećenja (lezije) jetre u naših ispitanika statistički je značajno povezano sa unosom metala putem prehrane iz vlastitih bašta, sa činjenicom da ispitanik ima baštu koja može biti izvor kontaminacije i drugih okolišnih medija. Prehranom olovom kontaminiranog luka i celera razvijaju se značajna oštećenja jetre ( $P= 0.037$ ).

**Tabela 3.13.** Korelacija između broja osoba umrlih od raka u domaćinstvu naših ispitanika i unosa prehranom olova u bijelom luku i luku i celeru iz bašta u blizini odlagališta šljake i Termoelektrane

Bašte u području odlagališta	Faktor korelacije*	P
Olovo u bijelom luku	-0.144	0.001
Olovo u luku i celeru	0.118	0.008

\*Spearman faktor korelacije

U korelaciji između sadržaja olova u bijelom luku otkrili smo inverziju jer u ovom slučaju bijeli luk igra zaštitnu ulogu od nastanka i umiranja od raka (protektor, negativan faktor korelacije-0.144) za razliku od olova u crvenom luku i celeru. On ima prediktivnu ili doprinoseću ulogu u razvoju i umiranju od karcinoma ( $P=0.008$ ). Ne znamo da li se radi o sadejstvu sa drugim karcinogenim metalima (neovisno o sadržaju metala), ali preporučujemo da se prekine unos luka i celera iz bašta ovog područja! Skoro identična reakcija je pri razvoju simptoma teškog pamćenja i učenja novog. Bijeli luk igra zaštitnu ulogu od nastanka ovih kognitivnih poremećaja (protektor, negativan faktor korelacije-0.093,  $P=0.037$ ) za razliku od olova u crvenom luku i celeru (rezultati nisu prikazani).



### 3.3. ZAKLJUČAK

Ranije su izmjerene prekomjerne koncentracije metala u tlu, sedimentu, vodama, ali i biološkom mediju (povrće, ljudska kosa). U istraživanju je utvrđena statistički značajna povezanost (korelacija) između dugoročne ekspozicije teškim metalima u blizini Termoelektane i odlagališta šljake, izmjerenih sadržaja teških metala u različitim okolišnim i biološkim medijima i zdravstvenih poremećaja. Učinci dugoročne izloženosti stanovnika teškim metalima su oboljevanje i umiranje od hroničnih nezataznih bolesti u naseljima: 41% u Divkovićima, 24% u Planama, 42% u Bukinju i 29% u Šićkom Brodu (u Solini 2%).



**Slika 3.6.** Hidraulični transport šljake i pepela - odlagalište Jezero II, (april 2017. godine, CEE arhiva)

**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, cink, 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, žive, nikla i bakra.

**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 dospjeva i iz antropogenih izvora, kao što su rafinerije, topionice i termoelektre. 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, međutim u pojedinim slučajevima može doći do koncentriranja arsena u podzemnim vodama. Arsen je subjekat bioakumulacije, rijetko i biomagnifikacije.

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. Arsen je primarno polutant koji zagađuje zrak, ali može značajno zagađiti sediment, vodu i akumulirati se u pojedinim vrstama ihtiofaune, posebno one na vrhu lanca ishrane.



## Hrom

Hrom je metal sive boje. U okoliš dospjeva u obliku trovalentnog i šesterovalentnog hroma ( $\text{Cr}^{3+}$  i  $\text{Cr}^{6+}$ ) kao rezultat prirodnih procesa i antropogenih aktivnosti. Ioni  $\text{Cr}^{3+}$  su mnogo manje pokretni od iona  $\text{Cr}^{6+}$ , koji ima širok spektar negativnih uticaja. Kancerogeni uticaj  $\text{Cr}^{6+}$  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 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  $\text{Cr}^{6+}$  dospjeva 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. Hrom je nužan za pravilno djelovanje inzulina koji omogućava ulaz šećera u ćeliju. Četverovalentni hrom izaziva oštećenje sluznice sistema za varenje, te dolazi do nastanka želučanog čira, oštećenja jetre i bubrega. Četverovalentni hrom je kancerogen.

## Kadmij

Nema esencijalne biološke funkcije, ali je pronađen u više od 1000 vrsta terestrične i akvatične flore i faune. Kadmij je teški metal sklon biomagnifikaciji, zbog toga mu se posvećuje posebna pažnja kada je u pitanju okolinski monitoring. 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 dospjeva uglavnom iz zraka. Kadmij se apsorbira u tlu iz kojega ga uzimaju biljke te tako, preko konzumacije hrane direktno ili preko životinja, ulazi u lanac ishrane. U ljudski organizam dospjeva konzumacijom povrća, ribe, školjki i putem pitke vode. Japan je rekorder u pitanju trovanja kadmijem, od 1962. do 1977. Godine zabilježeno je preko 230 slučajeva. 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 kostiju. Višegodišnji efekti dovode do hipertenzije, raka prostate i pluća.

### **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. Zemljišta u blizini industrijskih postrojenja i saobraćajnica sadrže velike količine olova, često iznad graničnih vrijednosti. 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 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 bubrege. Olovo uneseno hranom se u većini slučajeva putem ekskremenata izluči van, međutim u slučaju udisanja oko 40% ostaje u respirabilnom sistemu. Koncentracija olova u tijelu tokom vremena lagano raste. Trovanje olovom posebno je opasno za djecu, zbog njihovog visokog kapaciteta za absorpciju olova.

### **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 kiselinama. 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 biogeochemijskog 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 ( $\text{Hg-CH}_3^+$ ). 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 truhu, 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 nerođenoga 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 Parkinsonova 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 izložena. Uslijed emisije žive iz industrijskih pogona, široko je prisutna u sedimentu jezera i rijeka, očekuje se da će i u narednom periodu upravo sedimenti biti glavni izvor zagađenja živom.

## **Nikl**

Nikl je po zastupljenosti 24 element u litosferi s prosječnim sadržajem od 75 ppm. Prosječna koncentracija nikla u zemljištu iznosi 40 ppm, s velikim odstupanjima među tipovima zemljišta, što najviše ovisi o karakteristikama matične podloge. Stabilni oblik nikla u zemljištu je +2 oksidacijsko stanje,  $\text{Ni}^{2+}$  je gotovo podjednako elektronegativnosti kao  $\text{Cu}^{2+}$ , a što mu, uz elektronsku strukturu omogućava formiranje kompleksa s organskom tvari koji su po stabilnosti slični onima  $\text{Cu}^{2+}$ . Kao najmanji od prijelaznih metalnih kationa,  $\text{Ni}^{2+}$  se dobro uklapa u oktaedarska mjesta i koprecipitira sa željezovim i manganskim oksidima u tlu. Dobiva se iz sumpornih ruda ili elektrolizom sulfida.

Zbog spore oksidacije nikla pri sobnoj temperaturi, on se smatra otpornim na koroziju. Historijski, ova činjenica je dovela do njegovog korištenja za prekrivanje drugih metala, naročito željeza i mesinga, za oblaganje hemijske opreme i izradu određenih legura koje zadržavaju visoki srebrni sjaj, poput takozvanog njemačkog srebra. Oko 6% svjetske proizvodnje nikla i danas se koristi za oblaganje metala čistim niklom u svrhu zaštite od korozije. Smatra se da predmeti obloženi niklom mogu izazvati alergiju na nikl. Nikl se dosta koristi za proizvodnju raznih kovanica, mada je rast cijene na tržištu posljednjih godina doveo do njegove zamjene jeftinijim metalima.

Nikl je jedan od četiri elementa koji pokazuju feromagnetne osobine na sobnoj temperaturi. Oko 60% svjetske proizvodnje potroši se za niklove čelike (naročito nehrđajući čelik). Druge najčešće legure, kao i neke nove superlegure, čine najveći dio ostale potrošnje nikla u svijetu, dok upotreba niklovi spojeva u hemijskoj industriji učestvuje sa manje od 3% u ukupnoj proizvodnji nikla. Enzimi u nekim mikroorganizmima i biljkama sadrže nikl kao aktivno mjesto, što čini ovaj metal nezamjenjivim hranjivim sastojkom za ta bića.

## **Bakar**

Prosječna vrijednost za sadržaj bakra u zemljištima iznose od 5 do 50 ppm. Bakar je biogeni mikroelement koji je u prirodi ponekad u elementarnom stanju, ali najčešće u obliku sulfida. U tlu se ne veže u netopljive oblike, slabo je mobilan, osim u uslovima reakcije tla manje od 4,0 i veće od 7,0. Bakar u normalnim zemljištima dolazi iz primarnih (kao jednovalentan) i sekundarnih (kao dvovalentan) minerala. Prirodna zemljišta imaju od 10 do 200 mg/kg bakra. Bakar je mobilan u kiseloj sredini, dok se retencija bakra povećava sa povećanjem pH vrijednosti i količinom organske mase u zemljištu. Bakar se adsorbuje na organskim i mineralnim koloidima. Povišena koncentracija bakra u zemljištu djeluje depresivno na porast biljaka, smanjuje klijanje sjemena i antogenistički djeluje na druge mikroelemente. Rastvorljivost bakra u zemljištu raste sa zakiseljavanjem zemljišta, a smanjuje povećanjem pH vrijednosti. Sa fosforom, čak i u neutralnim zemljištima bakar formira teško rastvorljive tercijerne fosfate ( $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2 \times 3\text{H}_2\text{O}$ ). Dakle, smanjenje mobilnosti bakra može se postići, osim povećanjem organske materije i  $\text{CaCO}_3$  u zemljištu (humanizacijom i kalcizacijom) i unošenjem fosfornih đubriva u zemljište.

## Određivanje stepena kontaminacije šljake i pepela

Određivanje stepena kontaminacije šljake i pepela je provjeren način za određivanje kvalitete tehnogenih zemljišta, odnosno na osnovu utvrđenog stvarnog stanja moguće je dati mjere za njegovu remedijaciju. Upravo iz navedenog, u mnogo evropskih zemalja vrše se istraživanja o sadržaju toksičnih metala u zemljištu, sedimentu i odlagalištima industrijskih muljeva a sve s ciljem upravljanja njihovim tokovima kroz ekosistem i provođenja zaštitnih mjera (Lado et al., 2008). Uobičajen pristup u utvrđivanju stepena kontaminacije zemljišta teškim metalima je utvrđivanje koliko je zemljište, sediment ili odloženi otpad pod njihovim uticajem (prirodnim ili antropogenim). Odnosno, u tu svrhu se koriste različite metode izračunavanja stepena kontaminacije kao što su:

1. Faktor obogaćenja, *EF* (eng. Enrichment Factor),
2. Faktor kontaminacije, *CF* (eng. Contamination Factor),
3. Indeks opterećenja polutantima, *PLI* (eng. Pollution Load Index),
4. Geoakumulacijski indeks, *Igeo* (eng. Geo-accumulation Index),
5. Stepen zagađenja, *SZ*
6. Indeks ekološkog rizika, *IER* (eng. Ecological risk index).

### Faktor obogaćenja, *EF*

Faktor obogaćenja teškim metalima se izračunava za koncentracije teških metala za koje se pretpostavlja da su iznad normalnih vrijednosti za dato zemljište (eng. *background level*) ili za usvojenu referentnu vrijednost (Hu et al., 2010). Putem izračunavanja faktora obogaćenja određuje se količina metala prisutna u uzorku iznad koncentracije metala u referentnom uzorku (Abraham et al., 2008). Računa se po formuli koju su originalno izveli Buat-Menard i Chesselet (Buat-Menard et al., 1979). Faktor obogaćivanja se može koristiti za ili diferenciranje porijekla metala, odnosno sa dosta tačnosti možemo utvrditi da li metal u zemljištu potiču iz antropogenih izvora ili iz prirode (Sutherland et al., 2000). Na osnovu navedenog može se zaključiti da je faktor obogaćivanja parametar koji nam govori o stepenu antropogenog uticaja, što je veći faktora obogaćenja veći je antropogeni uticaj na zemljište.

$$EF = \frac{(C_n/C_{ref})_{sample}}{B_n/B_{ref}} \dots \dots \dots (1)$$

gdje je:

$C_n$  – koncentracija ispitivanog metala u uzorku (mg/kg),

$C_{ref}$  – koncentracija ispitivanog metala u referentnom uzorku (mg/kg),



$B_n$  – koncentracija referentnog metala u uzorku (mg/kg),

$B_{ref}$  - koncentracija referentnog elementa u referentnom uzorku (mg/kg).

Kao referentni element usvojen je cink (Zn) čija prosječna vrijednost se kreće od 10 mg/kg do 300 mg/kg. Kao referentni element najčešće se uzima skandij (Sc) kao najkonzervativniji element, međutim on u konkretnom slučaju nije određivan. Faktor obogaćenja teškim metalima prema (Sutherland et al., 2000) kategoriziran je na sljedeći način:

- EF < 2        nedostatak elementa, minimalno obogaćenje (EF od 0,5 do 2 predstavlja prirodnu varijaciju analiziranog elementa u tlu ),
- 2 ≤ EF < 5    umjereno obogaćenje,
- 5 ≤ EF < 20    značajno obogaćenje,
- 20 ≤ EF < 40    veoma visoko obogaćenje,
- EF > 40        ekstremno visoko obogaćenje.

### Indeks opterećenja polutantima, PLI

Indeks opterećenja polutantima izračunava se iz relacije koju je predložio (Tomlinson et al., 1980).

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_N)^{1/N} \dots \dots \dots (2)$$

Gdje je N broj analiziranih metala a CF faktor kontaminacije izračunat na osnovu relacije (3).

CF faktor kontaminacije koji se izračunava iz relacije:

$$CF = \frac{C_{m.uzorka}}{C_{m.ref.uzorka}} \dots \dots \dots (3)$$

gdje je :

$C_{m.uzorka}$  - koncentracija metala u ispitivanom uzorku (mg/kg)

$C_{m.ref.uzorka}$  - koncentracija metala u referentnom uzorku (mg/kg)

Pomoću indeksa opterećenja polutantima utvrđuje se status kontaminacije ispitivanog zemljišta pojedinim metalom kao i mjere koje je potrebno preduzeti. Kategorizacija PLI je izvršena na sljedeći način:

- PLI < 1        nezagađeno zemljište,
- PLI = 1        prisutni samo na nivou uobičajenih koncentracija,
- PLI > 1        zagađeno zemljište.

Na osnovu kategorizacije, vrijednosti  $PLI \geq 1$  ukazuju da je potrebna intervencija u cilju poboljšanja odnosno smanjenja zagađenja zemljišta; za  $0,5 \leq PLI < 1$  potrebno je uraditi detaljniju studiju monitoringa zagađenog zemljišta, vrijednost  $< 0,5$  ukazuje da nisu potrebne mjere sanacije.

### Geoakumulacijski indeks, $I_{geo}$

Geoakumulacijski indeks  $I_{geo}$  omogućuje procjenu onečišćenja usporedbom izmjerene koncentracije metala u zemljištu i koncentracije metala prije antropogenog uticaja. Proračun geoakumulacijskog indeksa vrši se prema slijedećoj relaciji, (Müller, 1969):

$$I_{geo} = \log_2 \left[ \frac{C_{m.uzorka}}{1,5 \times C_{m.ref.uzorka}} \right] \dots \dots \dots (4)$$

gdje je:

$C_{m.uzorka}$  koncentracija metala u ispitivanom uzorku (mg/kg),

$C_{m.ref.uzorka}$  koncentracija metala u referentnom uzorku (mg/kg).

Faktor 1,5 je uveden u formulu da se minimiziraju uticaji mogućih varijacija u okolnom zemljištu (litogene varijacije u zemljištu). Postoji sedam kategorija kvaliteta zemljišta prema vrijednostima  $I_{geo}$  (Müller, 1969). Ove kategorije su prikazane su u Tabeli 1.1.

**Tabela 1.1.** Kategorije Geoakumulacijskog indeksa

Vrijednost	Kategorija	Opis, kvalitet zemljišta
$I_{geo} > 5$	6	Ekstremno kontaminirano
$4 < I_{geo} \leq 5$	5	Jako do ekstremno kontaminirano
$3 < I_{geo} \leq 4$	4	Jako kontaminirano
$2 < I_{geo} \leq 3$	3	Umjereno do jako kontaminirano
$1 < I_{geo} \leq 2$	2	Umjereno kontaminirano
$0 < I_{geo} \leq 1$	1	Nezagađeno do umjereno kontaminirano
$I_{geo} = 0$	0	Nezagađeno

### Stepena zagađenja, SZ

Za zemljište koje se koristi u poljoprivredne svrhe, potrebno je odrediti stepen zagađenja (SZ) u cilju kategorizacije zagađenja prisutnog u zemljištu. Stepem zagađenja se računa iz relacije, (Bašić et al., 1998):

$$SZ(\%) = \left( \frac{C_{m.uzorka}}{C_{gr.vrijednost}} \right) \times 100 \dots \dots \dots (5)$$

gdje je:

$C_{m.uzorka}$  – koncentracija metala u ispitivanom uzorku (mg/kg),

$C_{gr.vrijednost}$  – granične vrijednosti koncentracije metala u zemljištu (mg/kg).

Na osnovu stepena zagađenja, zemljište za poljoprivrednu proizvodnju klasificira se u pet klasa (Tabela 1.2).

**Tabela 1.2.** Klasifikacije zemljišta za poljoprivrednu proizvodnju (Bašić et al., 1998)

Klasa	Definicija klase
I	SZ<25%, čisto zemljište, pogodno za poljoprivrednu proizvodnju
II	SZ=25-50 %, zemljište povećanog zagađenja, uzgoj biljaka uz neophodnu zaštitu od imisije teških metala
III	SZ=50-100 %, zemljište velike zagađenosti, uzgoj biljaka uz pojačane mjere zaštite imisije teških metala
IV	SZ=100-200 %, zagađeno zemljište i nepodno za uzgoj biljaka, neophodne mjere sanacije
V	SZ>220 %, ekstremno zagađeno zemljište, zabrana uzgoja biljaka za humanu i animalnu upotrebu, provesti cjelovite mjere sanacije i rekultivacije

### Indeks ekološkog rizika, IER

U cilju određivanja sinergetičkog uticaja onečišćenja šljake i pepela na deponiji, koristi se indeks ekološkog rizika (Håkanson, 1980). Prvobitno indeks ekološkog rizika je u korišten u svrhu određivanja ekološkog rizika sedimenta ali se može koristiti i za zemljište. Definiše se kao:

$$IER = \sum_{i=1}^n \left( T_i \frac{C_{m.uzorka}}{C_{m.ref.uzorka}} \right) \dots \dots \dots (6)$$

$C_{m.uzorka}$  – koncentracija metala u ispitivanom uzorku (mg/kg),

$C_{m.ref.uzorka}$  - koncentracija metala u referentnom uzorku (mg/kg).

$T_i$  – faktor toksičnog odziva (As=10, Hg=40, Cd=30, Cu=Pb=Ni=5, Cr=2, Zn=1)

Na osnovu indeksa ekološkog rizika, odložena šljaka i pepeo se klasificira prema kriterijima datim u Tabeli 1.3.

**Tabela 1.2.** Kategorije indeksa ekološkog rizika

Vrijednost	Opis
<b>IER &lt; 150</b>	Nizak ekološki rizik
<b>150 &lt; IER &lt; 300</b>	Umjeren ekološki rizik
<b>300 &lt; IER &lt; 600</b>	Značajan ekološki rizik
<b>IER &gt; 600</b>	Veoma visok ekološki rizik

**STEPEN ZAGAĐENJA TEŠKIM METALIMA ŠLJAKE I PEPELA TE "TUZLA"**

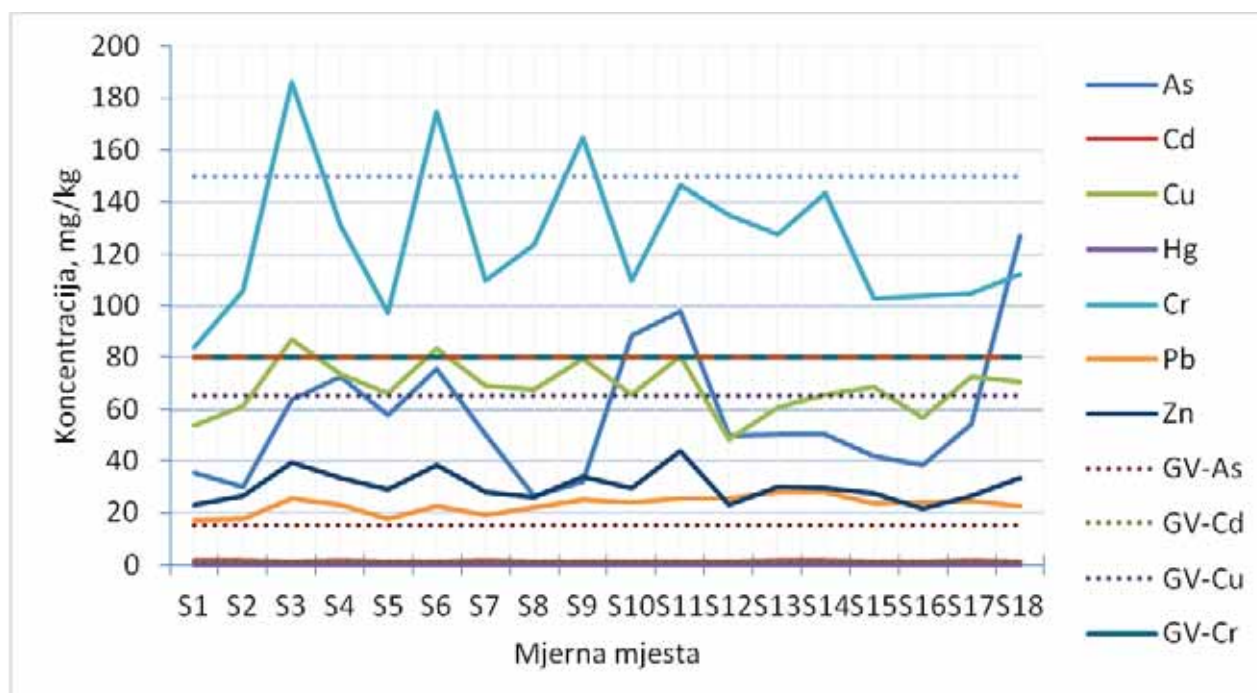
Određivanje stepena zagađenosti teškim metalima odložene šljake i pepela izvršeno je na osnovu podataka preuzetih iz Elaborata o analizi uzoraka tla na području odlagališta Divkovići II. Elaborat je urađen od strane Poljoprivredno-prehrambenog fakulteta, Institut za pedologiju, agrohemiju i melioracije u februaru 2013. godine. Istraživanja su obavljena u tri faze:

- terenska istraživanja;
- laboratorijska istraživanja;
- obrada podataka.

Terenska istraživanja su obuhvatila uzimanje 18 uzoraka odloženog materijala, uzeti su prosječni uzorci dobiveni miješanjem 9-10 pojedinačnih uzoraka uzetih sa dubine do 25 cm u poremećenom stanju. Uzorkovanje je izvršeno u skladu sa Pravilnikom o utvrđivanju dozvoljenih količina štetnih i opasnih materija u zemljištu i metode njihovog ispitivanja („Službene novine FBiH“ br. 72/09). Sadržaj teških metala Olovo (Pb), Kadmij (Cd), Živa (Hg), Cink (Zn), Bakar (Cu), Hrom (Cr) i Arsen (As) određeni su metodom atomske apsorpcije AAS (ekstrakcija u zlatotopci) a u skladu sa BAS ISO 11466:2000 i BAS ISO 11047:2000. Pepeo kao jedan od glavnih konstituenata odloženog materijala ima vrlo visoka adsorptivna svojstva vode bez značajnije promjene u volumenu (ne bubri). Odnosno, ukupno apsorbirana i hemijski vezana voda može dostići masu jednaku masi pepela. Zbog visokog sadržaja kalcijevih oksida, šljaka i pepeo imaju visoku pH reakciju koja se kreće od 8,18 do 8,86. Može se pretpostaviti da sa dubinom pH vrijednost raste a u površinskom sloju uslijed ispiranja i djelovanja oborinskih voda pH vrijednost je nešto niža. Obzirom da deponija šljake i pepela predstavlja svojevrsni hidrološki kolektor prije svega oborinskih voda, može se zaključiti da će u dužem vremenskom periodu se javljati procjedne deponijske vode sa vrlo visokom pH vrijednosti što svakako ima vrlo negativan uticaj na ekosistem recipijenta. Uslijed prirodnog procesa zakiseljavanja tla djelovanjem atmosferilija prisutni teški metali u odloženoj šljaci i pepelu postaju mobilni a time više pristupačni biljkama. Zbog toga je neophodno izvršiti potpunu tehnološku i biološku remedijaciju kako bi se što je moguće više tijelo deponije izoliralo i spriječio bilo kakav uzgoj poljoprivrednih kultura za ljudsku i animalnu ishranu. U tabeli 1.3. prikazani su rezultati analize 18 uzoraka šljake i pepela na deponiji Divkovići II, a u tabeli 1.4. vrijednosti faktora kontaminacije. Na slici 1.1. grafički su prikazane koncentracije teških metala sa graničnim vrijednostima a na slici 1.2 vrijednosti faktora kontaminacije.

**Tabela 1.3.** Sadržaj teških metala u šljaci i pepelu

Mjerna mjesta	As	Cd	Cu	Hg	Cr	Pb	Zn
S1	35,48	1,57	53,83	0,035	83,97	17,30	23,10
S2	29,92	1,50	61,27	0,085	105,70	17,77	26,23
S3	63,54	1,43	86,70	0,090	186,20	25,57	39,13
S4	72,57	1,67	73,77	0,054	131,13	22,90	33,20
S5	57,80	1,13	65,93	0,081	97,23	17,77	28,70
S6	75,64	1,43	83,40	0,097	174,70	22,40	38,50
S7	50,35	1,47	68,83	0,079	109,73	19,03	27,93
S8	26,32	1,40	67,77	0,118	123,67	21,93	25,83
S9	31,89	1,03	79,60	0,184	164,90	24,93	33,73
S10	88,18	1,43	65,73	0,009	109,87	24,23	29,40
S11	97,87	1,43	80,30	0,006	146,23	25,33	43,70
S12	49,91	1,03	48,17	0,042	135,13	25,63	22,80
S13	50,47	1,83	60,60	0,041	127,43	27,93	29,90
S14	50,14	1,63	65,50	0,003	143,33	27,77	29,67
S15	42,05	1,27	68,47	0,145	102,53	23,50	27,60
S16	38,37	1,43	56,53	0,152	103,87	23,90	21,40
S17	54,10	1,73	72,37	0,134	104,70	24,30	26,23
S18	127,13	1,43	70,57	0,009	112,07	22,27	33,63
Min	<b>26,32</b>	<b>1,03</b>	<b>48,17</b>	<b>0,003</b>	<b>83,97</b>	<b>17,3</b>	<b>21,4</b>
Max	<b>127,13</b>	<b>1,83</b>	<b>86,7</b>	<b>0,184</b>	<b>186,2</b>	<b>27,93</b>	<b>43,7</b>
Srednja vrijednost	<b>57,87</b>	<b>1,43</b>	<b>68,29</b>	<b>0,075</b>	<b>125,68</b>	<b>23,02</b>	<b>30,03</b>

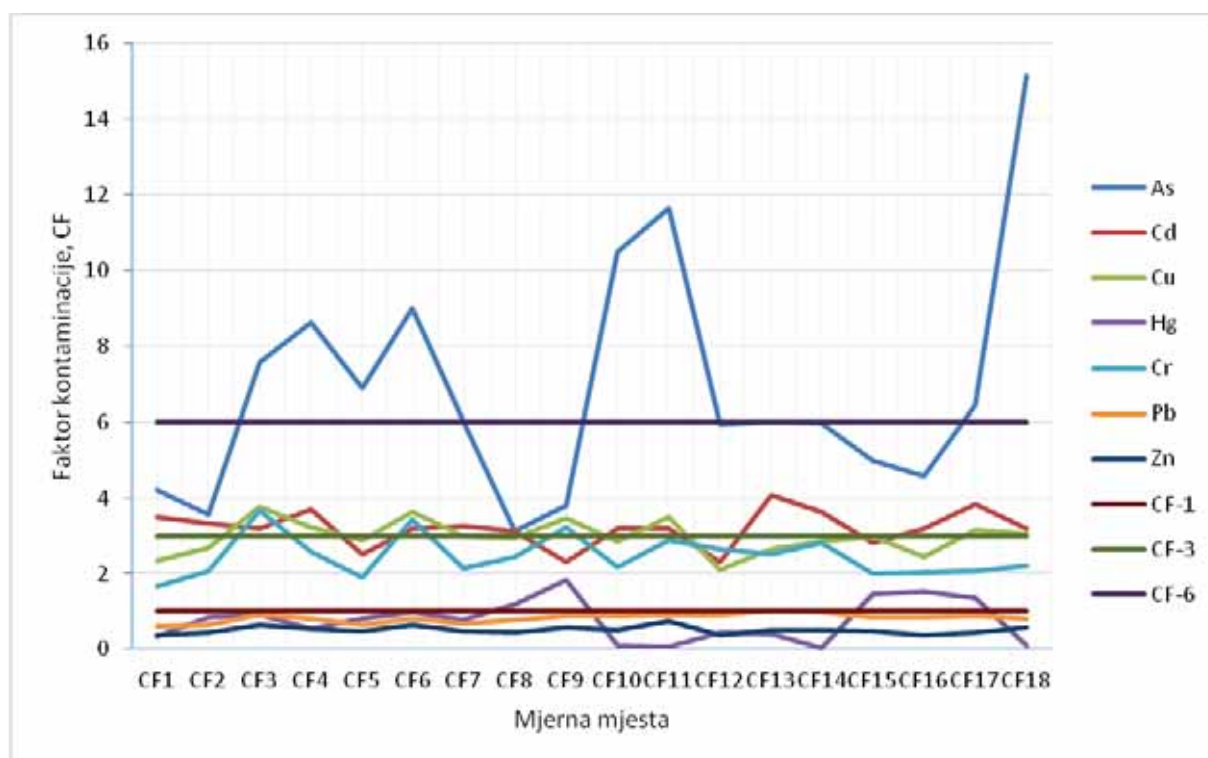


**Slika 1.1.** Koncentracija teških metala na ispitivanom području



**Tabela 1.4.** Faktor kontaminacije šljake i pepela teškim metalima, CF

Faktor kontaminacije	As	Cd	Cu	Hg	Cr	Pb	Zn
CF1	4,2238	3,4888	2,3404	0,35	1,6464	0,6178	0,3850
CF2	3,5619	3,3333	2,6639	0,85	2,0725	0,6346	0,4371
CF3	7,5642	3,1777	3,7695	0,9	3,6509	0,9132	0,6521
CF4	8,6392	3,7111	3,2073	0,54	2,5711	0,8178	0,5533
CF5	6,8809	2,5111	2,8665	0,81	1,9064	0,6346	0,4783
CF6	9,0047	3,1777	3,6260	0,97	3,4254	0,8	0,6416
CF7	5,9940	3,2666	2,9926	0,79	2,1515	0,6796	0,4655
CF8	3,1333	3,1111	2,9465	1,18	2,4249	0,7832	0,4305
CF9	3,7964	2,2888	3,4608	1,84	3,2333	0,8903	0,5621
CF10	10,4976	3,1777	2,8578	0,09	2,1543	0,8653	0,49
CF11	11,6511	3,1777	3,4913	0,06	2,8672	0,9046	0,7283
CF12	5,9416	2,2888	2,0943	0,42	2,6496	0,9153	0,38
CF13	6,0083	4,0666	2,6347	0,41	2,4986	0,9975	0,4983
CF14	5,9690	3,6222	2,8478	0,03	2,8103	0,9917	0,4945
CF15	5,0059	2,8222	2,9769	1,45	2,0103	0,8392	0,46
CF16	4,5678	3,1777	2,4578	1,52	2,0366	0,8535	0,3566
CF17	6,4404	3,8444	3,1465	1,34	2,0529	0,8678	0,4371
CF18	15,1345	3,1777	3,0682	0,09	2,1974	0,7953	0,5605
Max.	15,1345	4,0666	3,7695	1,84	3,6509	0,9975	0,7283
Min.	3,1333	2,2888	2,0943	0,03	1,6464	0,6178	0,3566
Srednja vrijednost	<b>6,8897</b>	<b>3,1901</b>	<b>2,9694</b>	<b>0,7577</b>	<b>2,4644</b>	<b>0,8223</b>	<b>0,5006</b>

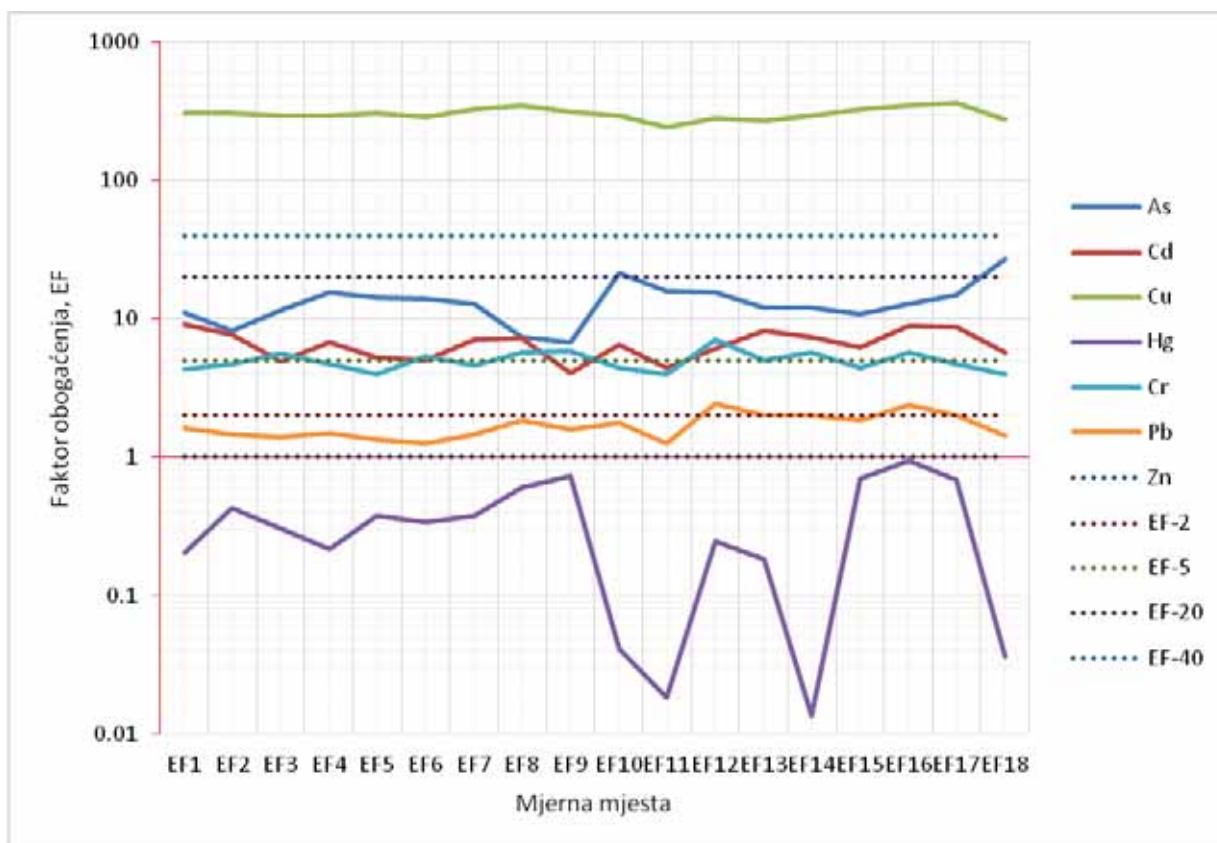


**Slika 1.2.** Vrijednosti faktora kontaminacije

Odložena šljaka i pepeo po mehaničkom sastavu predstavlja ilovastu pjeskulju sa učešćem frakcije pijeska (2,0-0,06) od 75 do 91%. Takav materijal je po nomenklaturi klasificiran kao sitni pijesak. Sadržaj čestica ispod 0,06 do 0,002 mm (prah) se kreće od 3-17% i čestica ispod 0,002 mm (glina) se kreće od 6-10%. Pepeo i šljaka navedenih karakteristika odloženi u okolišu i bez odgovarajućih mjera zaštite su pod jakim uticajem erozionih procesa uzrokovanih vodom i vjetrom. Volumna specifična gustina, prema ranijim istraživanjima kreće se od 0,52 do 0,96 g/cm<sup>3</sup>. U tabeli 1.5. prikazane su vrijednosti faktora obogaćenja šljake i pepela teškim metalima i grafički na slici 1.3. U tabelama 1.6., 1.7. i 1.8. kao i grafički na slikama 1.4., 1.5., 1.6. i 1.7. prikazane su vrijednosti geoakumulacijskog indeksa, stepena kontaminacije, modificiranog stepena kontaminacije, indeksa obogaćenja polutantima, stepena zagađenja i indeksa ekološkog rizika.

**Tabela 1.5.** Faktor obogaćenja šljake i pepela teškim metalima, EF

<b>Faktor obogaćenja</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Cr</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b>EF1</b>	10,9709	9,0620	310,707	0,2020	4,2765	1,6048	1
<b>EF2</b>	8,1477	7,6248	311,45	0,4320	4,7408	1,4517	1
<b>EF3</b>	11,5987	4,8726	295,426	0,3066	5,5982	1,4002	1
<b>EF4</b>	15,6132	6,7068	296,265	0,2168	4,6467	1,4780	1
<b>EF5</b>	14,3853	5,2497	306,295	0,3763	3,9856	1,3267	1
<b>EF6</b>	14,0334	4,9523	288,831	0,3359	5,3384	1,2467	1
<b>EF7</b>	12,8766	7,0175	328,583	0,3771	4,6220	1,4600	1
<b>EF8</b>	7,2783	7,2267	349,826	0,6091	5,6327	1,8193	1
<b>EF9</b>	6,7532	4,0715	314,656	0,7273	5,7515	1,5838	1
<b>EF10</b>	21,4237	6,4852	298,095	0,0408	4,3965	1,7660	1
<b>EF11</b>	15,9971	4,3630	245,004	0,0183	3,9367	1,2420	1
<b>EF12</b>	15,636	6,0233	281,696	0,2456	6,9726	2,4088	1
<b>EF13</b>	12,0569	8,1605	270,234	0,1828	5,0139	2,0016	1
<b>EF14</b>	12,0709	7,3250	294,349	0,0134	5,6833	2,0056	1
<b>EF15</b>	10,8825	6,1352	330,773	0,7004	4,3704	1,8245	1
<b>EF16</b>	12,8071	8,9096	352,212	0,9470	5,7102	2,3931	1
<b>EF17</b>	14,7323	8,794	367,874	0,6811	4,6960	1,9851	1
<b>EF18</b>	27,0018	5,6695	279,79	0,0356	3,9205	1,4190	1
<b>Max.</b>	27,0018	9,0620	367,8739	0,9470	6,9726	2,4088	1
<b>Min.</b>	6,75320	4,0715	245,0038	0,01348	3,9205	1,2420	1
<b>Srednja vrijednost</b>	<b>13,9010</b>	<b>6,5891</b>	<b>306,747</b>	<b>0,3704</b>	<b>5,0093</b>	<b>1,7034</b>	<b>1</b>

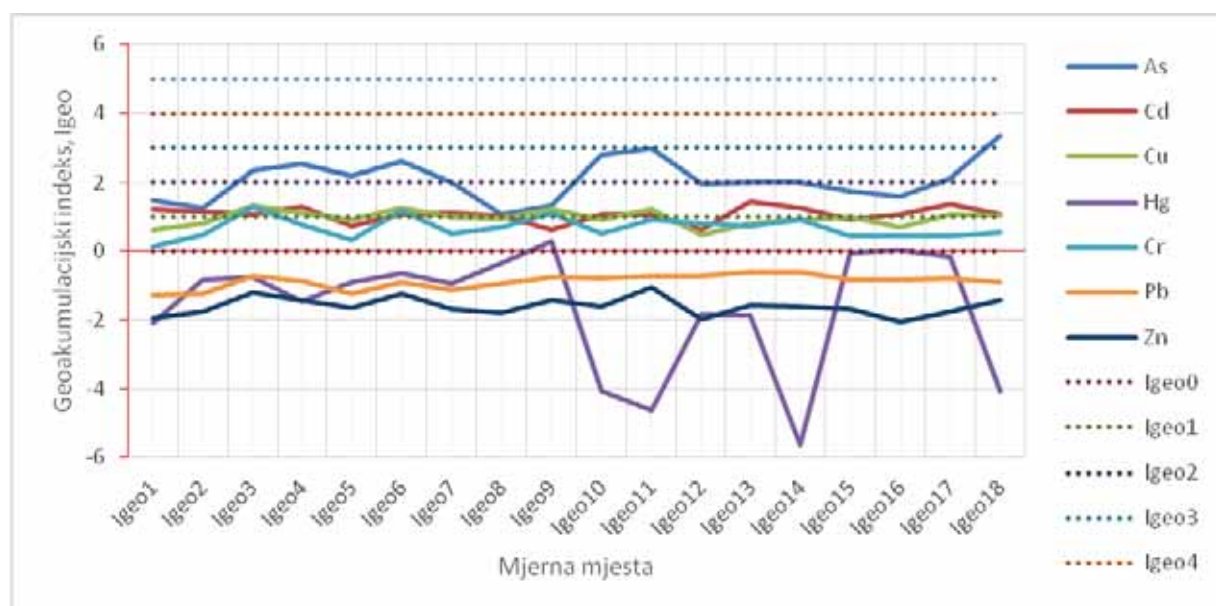


**Slika 1.3.** Faktor obogaćenja šljake i pepela teškim metalima

U analiziranim uzorcima šljake i pepela prosječna koncentracija arsena je bila 57,87 mg/kg, najveća izmjerena je na mjernom mjestu S18 i iznosi 127,13 mg/kg a najmanja na mjernom mjestu S8 26,32 mg/kg. Na osnovu graničnih vrijednosti prikazanih u tabeli 2.5. može se zaključiti da je sadržaj arsena iznad maksimalno dozvoljenih vrijednosti što predstavlja ozbiljan rizik vezan za zagađenje podzemnih voda ali i zagađenja zraka sitnim česticama prašine koje sadrže arsen. Takođe, biljke usvajaju arsen i postoji pozitivna korelacija između arsena prisutnog u tlu i u biljkama. U zavisnosti od pH vrijednosti tla, prisustva fosfata, oksidima minerala poput željeza ili sulfidima arsen se može javiti u obliku arsenata  $As^{5+}$  ili arsenita  $As^{3+}$ . Arsenat se veže za čestice tla čime postaje manje pokretan dok je s druge strane arsenit vrlo toksičan po biljni i životinjski svijet. Prema faktoru kontaminacije koji se kreće od 3,1333 do 15,1345 šljaka i pepeo su značajno do veoma visoko kontaminirani navedenim polutantom. Prema vrijednostima Igeo koje se kreću od 2,08 do 10,08 odložena šljaka i pepeo pripada skupini zagađenog zemljišta, prema stepenu zagađenja (175,46% do 847,50%) šljaka i pepeo su ekstremno zagađeni As, zabranjen je uzgoj biljaka za humanu i animalnu upotrebu.

**Tabela 1.6.** Vrijednosti geoakumulacijski indeksa, Igeo

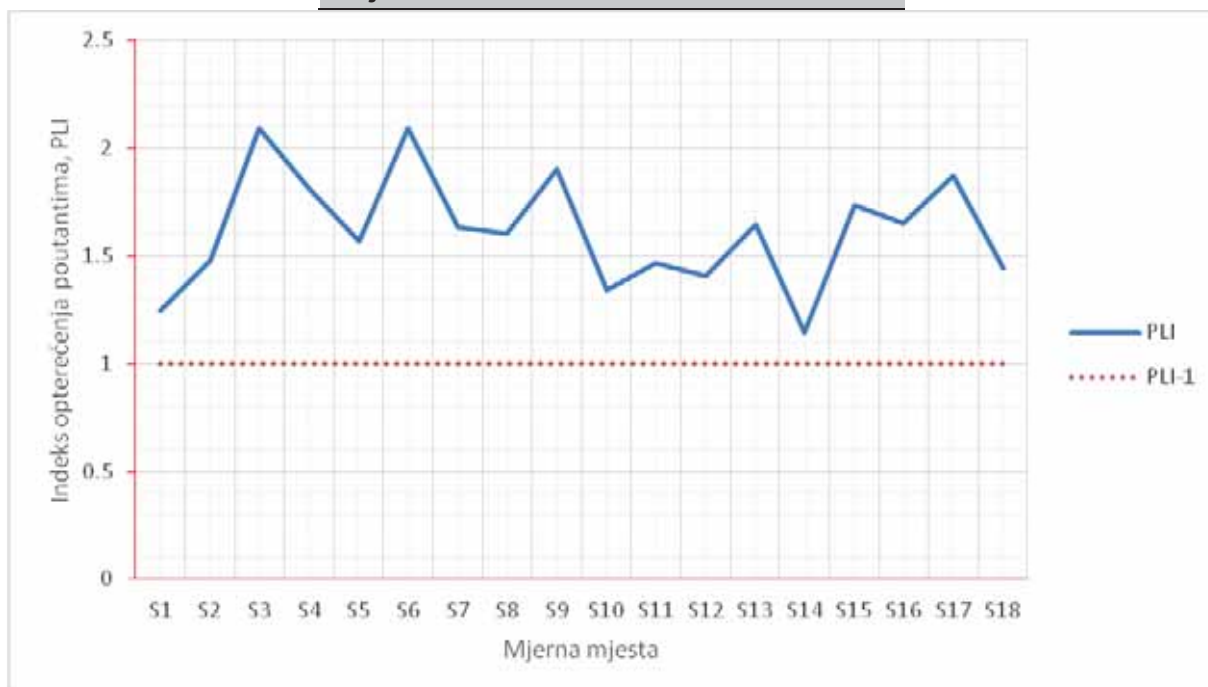
Geoakumulacijski indeks	As	Cd	Cu	Hg	Cr	Pb	Zn
Igeo1	2,8158	2,3259	1,5602	0,2333	1,0976	0,4119	0,2566
Igeo2	2,3746	2,2222	1,7759	0,5666	1,3817	0,4231	0,2914
Igeo3	5,0428	2,1185	2,5130	0,6	2,4339	0,6088	0,4347
Igeo4	5,7595	2,4740	2,1382	0,36	1,7141	0,5452	0,3688
Igeo5	4,5873	1,6740	1,9110	0,54	1,2709	0,4231	0,3188
Igeo6	6,0031	2,1185	2,4173	0,6466	2,2836	0,5333	0,4277
Igeo7	3,9960	2,1777	1,9950	0,5266	1,4343	0,4531	0,3103
Igeo8	2,0888	2,0740	1,9643	0,7866	1,6166	0,5221	0,287
Igeo9	2,5309	1,5259	2,3072	1,2266	2,1555	0,5935	0,3747
Igeo10	6,9984	2,1185	1,9052	0,06	1,4362	0,5769	0,3266
Igeo11	7,7674	2,1185	2,3275	0,04	1,9115	0,6031	0,4855
Igeo12	3,9611	1,5259	1,3962	0,28	1,7664	0,6102	0,2533
Igeo13	4,0055	2,7111	1,7565	0,2733	1,6657	0,665	0,3322
Igeo14	3,9793	2,4148	1,8985	0,02	1,8736	0,6611	0,3296
Igeo15	3,3373	1,8814	1,9846	0,9666	1,3402	0,5595	0,3066
Igeo16	3,0452	2,1185	1,6385	1,0133	1,3577	0,5690	0,2377
Igeo17	4,2936	2,5629	2,0976	0,8933	1,3686	0,5785	0,2914
Igeo18	10,0897	2,1185	2,0455	0,06	1,4649	0,5302	0,3736
Max.	10,0968	2,7111	2,5104	1,2666	2,4398	0,665	0,4855
Min.	2,0888	1,5592	1,3623	0,02	1,0764	0,4190	0,2777
Srednja vrijednost	4,7477	2,1259	1,9771	0,517	1,6552	0,5472	0,3365



**Slika 1.4.** Geoakumulacijski indeks šljake i pepela teškim metalima

**Tabela 1.7.** Vrijednosti indeksa obogaćenja polutantima i indeksa ekološkog rizika, PLI; IER

Mjerna mjesta	PLI	IER
S1	1,2484	179,3742
S2	1,4787	190,6941
S3	2,0953	238,3442
S4	1,8139	245,1481
S5	1,5671	198,34
S6	2,0947	253,804
S7	1,6370	212,6704
S8	1,6072	195,7957
S9	1,9005	209,0159
S10	1,3419	227,3241
S11	1,4674	242,6878
S12	1,4090	165,6111
S13	1,6463	222,1403
S14	1,1428	194,8705
S15	1,7350	216,2882
S16	1,6523	222,7989
S17	1,8744	257,953
S18	1,4427	274,5521
Max.	2,0953	274,5521
Min.	1,1428	165,6111
Srednja vrijednost	1,6178	219,3007

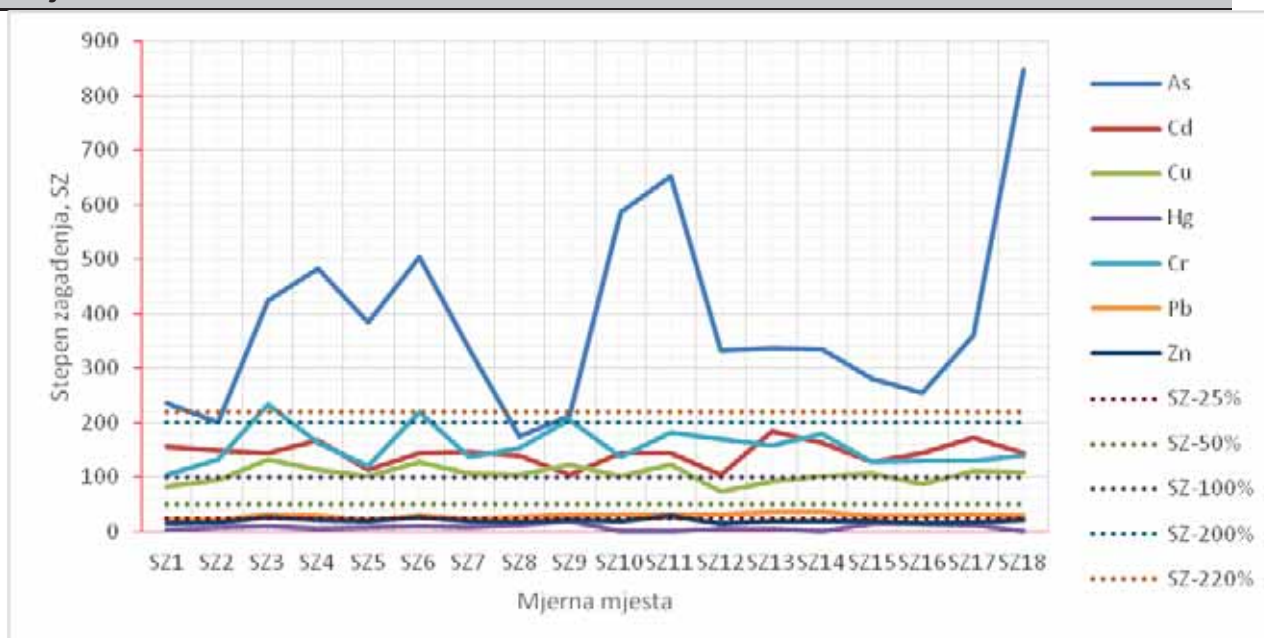


**Slika 1.5.** Indeks opterećenja polutantima



**Tabela 1.8.** Stepen zagađenja teškim metalima šljake i pepela

Stepen zagađenja	As	Cd	Cu	Hg	Cr	Pb	Zn
SZ1	236,53	157,00	82,81	3,50	104,96	21,625	15,4
SZ2	199,46	150,00	94,26	8,50	132,12	22,21	17,48
SZ3	423,60	143,00	133,38	9,00	232,75	31,96	26,08
SZ4	483,80	167,00	113,49	5,40	163,91	28,62	22,13
SZ5	385,33	113,00	101,43	8,10	121,53	22,21	19,13
SZ6	504,26	143,00	128,30	9,70	218,37	28,00	25,66
SZ7	335,66	147,00	105,89	7,90	137,16	23,78	18,62
SZ8	175,46	140,00	104,26	11,80	154,58	27,41	17,22
SZ9	212,60	103,00	122,46	18,40	206,12	31,16	22,48
SZ10	587,86	143,00	101,12	0,90	137,33	30,28	19,60
SZ11	652,46	143,00	123,53	0,60	182,78	31,66	29,13
SZ12	332,73	103,00	74,10	4,20	168,91	32,03	15,20
SZ13	336,46	183,00	93,23	4,10	159,28	34,91	19,93
SZ14	334,26	163,00	100,76	0,30	179,16	34,71	19,78
SZ15	280,33	127,00	105,33	14,50	128,16	29,37	18,40
SZ16	255,80	143,00	86,96	15,20	129,83	29,87	14,26
SZ17	360,66	173,00	111,33	13,40	130,87	30,37	17,48
SZ18	847,53	143,00	108,56	0,90	140,08	27,83	22,42
Max.	847,53	183,00	133,38	18,40	232,75	34,91	29,13
Min.	175,46	103,00	74,10	0,30	104,96	21,62	14,26
Srednja vrijednost	398,39	143,50	104,93	7,75	158,28	28,730	20,19



**Slika 1.6.** Stepen zagađenja šljake i pepela teškim metalima



**Slika 1.7.** Indeks ekološkog rizika

Koncentracija Cu se kreće od 48,17 mg/kg do 86,70 mg/kg srednja vrijednost za istraživano područje je 68,29 mg/kg što je iznad granične vrijednosti od 65 mg/kg. Takođe, Cu je esencijalni metal koji toksični uticaj iskazuje pri ekstremno visokim koncentracijama koje nisu prisutne u analiziranim uzorcima. Koncentracija Cu u tlu je prosječno 5-50 mg/kg, Cu u obliku  $\text{Cu}^{2+}$  se čvrsto sorbira na koloidne čestice tla. U prirodi se ponekad javlja u elementarnom stanju ali najčešće je u obliku sulfida. U smjesi sa organskim kiselinama, polurazloženim ili humificiranim organskim tvarima gradi stabilne kompleksne spojeve tipa helata. Zbog toga u tlu bogatom organskim tvarima Cu je biljkama manje raspoloživ uslijed „organske fiksacije“.

Na raspoloživost Cu utiče pH vrijednost, ona raste s kiselošću (optimalan pH 4,5-6). Usvajanje bakra od strane biljaka ometa prisustvo Mn, Fe i Zn. Ako su u tlu prisutne visoke koncentracije fosfora u prisustvu Cu doći će do nastajanja teško topivog  $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Ukoliko se utvrdi da je Cu u tlu mobilan to se sprječava unošenjem gnojiva sa povišenim sadržajem fosfora ali i humizacijom i kalcizacijom tla (povećanje sadržaja organske tvari i dodavanje  $\text{CaCO}_3$ ). Tlo zagađeno Cu smanjuje rast korijenskog sistema biljaka, javlja se hloroza starijih lisnih izdanaka uz pojavu crvenkastomrke nekroze rubnog dijela lista. Srednja vrijednost CF za Cu iznosi 2,9694 što šljaku i pepeo svrstava u umjereno kontaminiranu Cu. Srednja vrijednost SZ iznosi 104,9392% odnosno šljaku i pepeo svrstava u IV klasu zagađenog tla nepogodnog za uzgoj biljaka i gdje su neophodne mjere sanacije.

Olovo pripada skupini halkofilnih hemijskih elemenata zbog čega se lahko jedini sa polarizabilnim sulfidnim jonom. U prirodi se najčešće pojavljuje u oksidacijskom stanju  $PbO$  i  $Pb^{2+}$  u obliku sulfida galenita ( $PbS$ ) te cerusita ( $PbCO_3$ ), anglezita ( $PbSO_4$ ) i krokoita ( $PbCrO_4$ ) (Filipović i Lipanović, 1987). Koncentracija olova u tlima kreće se od 2,6 do 83 mg/kg sa srednjom vrijednošću oko 14 mg/kg (Halamić i Miko, 2010). Olovo se najčešće akumulira u površinskom sloju tla obično do 5 cm dubine, u dubljim slojevima njegova koncentracija opada. Sadržaj organske tvari utiče na akumuliranje olova, organska tvar može da sadrži i do tri puta veću količinu olova od prosječne vrijednosti u tlu. Zbog toga što olovo pokazuje sklonost prema organskoj materiji nakuplja se u uglju i crnim šejlovima. Olovo u tlu se može nalaziti u obliku  $Pb^{2+}$  anorganskih i organskih kompleksa što utiče na biološku aktivnost tla iako je u navedenim oblicima niske mobilnosti. U tlu, površinskim i podzemnim vodama olovni kompleksi podliježu adsorpciji na Fe-Mn oksihidrokside, nerastvorljivu organsku tvar i minerale glina. Rastvorljivost olova se povećava s nižim pH reakcije tla, zbog toga što se oslobađa u obliku  $Pb^{2+}$  jona iz  $Pb_3(PO_4)_2$ ,  $PbSO_4$  i  $PbCO_3$ . Koncentracije olova u tlu iznad 100 mg/kg upućuju na moguće onečišćenje a najčešće je prisutno u blizini industrijskih postrojenja, saobraćajnica i odlagališta industrijskog otpada (Tomašek, 2013). Potencijalni izvori olova u okoliš su sagorijevanje tečnih goriva, metalna industrija, hemijska industrija, Cu-Pb-Zn baterije, sagorijevanje uglja i otpada, talionice i korištenje boja te fosfatnih gnojiva koje sadrže olovo.

Olovo nije esencijalan element za žive organizme je štetan čak i pri vrlo niskim koncentracijama. Do trovanja može doći udisanjem prašine koja sadrži olovo ili putem hrane. Visoki sadržaj olova u krvi može uzrokovati neurološka oštećenja, kardiovaskularna oboljenja, bolesti bubrega, jetre, povišeni pritisak te reproduktivnu disfunkcionalnost. Prosječna vrijednost Pb u šljaci i pepelu iznosi 23,0 mg/kg što je ispod granične vrijednosti od 80 mg/kg. Navedena količina Pb samo prividno ne predstavlja opasnost po okolinu, uslijed djelovanja vjetra i raznošenja prašine sa odlagališta koncentracija Pb može na poljoprivrednom tlu zbog sadržaja organske tvari i čestica gline se akumulirati u površinskom sloju. Takođe, zbog sitnozrnaste strukture šljake i pepela koja je podložna uticaju oborinskih voda, može se očekivati prisustvo Pb u sedimentu potoka Banovac odnosno svih stalnih i povremenih vodenih tokova na području koje gravitira odlagalištima.

Koncentracija Cd se kreće od 1,03 mg/kg do 1,83 mg/kg, srednja vrijednost iznosi 1,43 mg/kg što je iznad granične vrijednosti od 1 mg/kg. Kadmij je rijedak halkofilni element, koji se nalazi na 65. mjestu po učestalosti u Zemljinoj kori. U prirodi, u mineralima i stijenama, pojavljuje u obliku sulfida ili karbonata, u tlu se javlja kao elementaran ili kao  $Cd^{2+}$  u rastvoru tla. Mobilnost Cd zavisi isključivo od pH vrijednosti, za svaki pad pH vrijednosti od

0,5 jedinica od 6,5 do 5,5, usvajanje Cd od strane biljaka se dvostruko povećava (Tram, 1998). Pšenica, celer i mrkva usvajaju kadmij, a krompir ne. Kadmij nije biogeni element te je toksičan za ljude i životinje. Pojedine biljke Cd akumuliraju u korijenu. Porijeklo Cd u okolišu prvenstveno je rezultat antropogenih aktivnosti, na tlo dospjeva iz zraka putem suhe i mokre depozicije.

Prisutvo Cd u šljaci i pepelo primarno je rezultat njegovog sadržaja u uglju gdje se tokom procesa sagorijevanja njegova koncentracija povećava. Kadmij je vrlo toksičan teški metal koji se u ljudskom organizmu akumulira u jetri, kostima i bubrezima. Kadmij je dokazani kancerogen što je dokazano na osnovu brojnih istraživanja. Na listi kancerogenih supstanci nalazi se od 1980. godine.<sup>9</sup> Izloženost Cd povećava rizik od raka pluća, postoji dovoljno dokaza koji Cd klasificiraju u sigurne izazivače raka pluća ali nema dovoljno sigurnih dokaza da Cd izaziva rak prostate i jetre (Straif et al. 2009).

Takođe, drugi faktori mogu povećati rizik od nastanka raka, kao što je istovremena izloženost arsenu, što je prezentovano u nekoliko studija. Arsen i njegova jedinjenja su dokazani kancerogeni koji uzrokuju rak, organi koji najčešće obolijevaju od raka uzrokovanog As su koža, pluća, digestivni trakt, jetra, mokraćna bešika, bubrezi i limfni sistemi.<sup>10</sup> Posebno je povećan rizik od nastanka raka ukoliko se As nalazi u vodi za piće. Arsen je halkofilan hemijski element. Nalazi se u mnogim mineralima, a u ležištima je asociiran sa sumporom i sulfidima. Najčešći minerali arsena su arsenopirit (FeAsS) i realgar (AsS). Za razliku od drugih elemenata kod kojih su varijacije u sadržaju u tlu izražene koncentracija As u tlu se kreće između 4,4 i 7,3 mg/kg (Salminen i dr., 2005). U tlu je mobilan jer se veže za čestice gline, organsku tvar, okside Fe i Mn sulfide i karbonate. U oksidacijskim uslovima As koprecipitira i adsorbira na Fe-oksi-hidrokside do oslobađanja As u okolinu dolazi pri redukcijskim uslovima, zbog toga i raspodjela As u pedološkom profilu zavisi od oksido-redukcijskih osobina okoline (Šorša, 2014). Obzirom da su utvrđene vrlo visoke koncentracije arsena u šljaci i pepelu maksimalna koncentracija je iznosila 127,13 mg/kg postoji vrlo visok rizik da pute procjednih voda As dospije do podzemnih voda a time i do lokalnih izvorišta. Zbog toga bi trebalo vršiti redovan monitoring izvorskih voda u neposrednom okruženju odlagališta Divkovići II. Faktor obogaćenja šljake i pepela Cd iznosi 6,5891 što odloženi materijal svrstava u značajno obogaćen ovim teškim metalom. Srednja vrijednost geoakumulacijskog indeksa za Cd iznosi 2,125 što šljaku i pepeo kategorizira umjereno do jako kontaminiranu kadmijem. Stepem zagađenja šljake i pepela kadmijem iznosi 143,5 što

<sup>9</sup> <http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/content/profiles/cadmium.pdf>

<sup>10</sup> <http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/content/profiles/arsenic.pdf>

odloženi materijal svrstava u IV klasu zagađenog tla nepogodnog za uzgoj biljaka i gdje su neophodne mjere sanacije odnosno biološke i tehničke rekultivacije.

Cink pripada skupini oksihalkofilnih prelaznih elemenata, u tlu, mineralima i stijenama nalazi se u obliku sulfida (sfalerit, vurtzit), sulfata, karbonata, fosfata i hidratiziranih silikata. Pri nižim vrijednostima pH cink je relativno mobilan (ispod 5,5) a nalazi se u obliku  $ZnCl_2$ ,  $ZnSO_4$  i  $Zn(NO_3)_2$ . U alkalnim zemljištima antropogeni izvori Zn u okolini su šljaka i pepeo iz termoenergetskih postrojenja, odlagališta otpada i površinskih kopova. Srednja vrijednost Zn u šljaci i pepelu iznosi 30,0 mg/kg što je znatno ispod granične vrijednosti od 150 mg/kg. Cink je esencijalni element za sve organizme, sastavni je dio metalnih enzima i proteina. Toksičnost mu je niska, visoke koncentracije su umjereno otrovne za biljke (koncentracija Zn veća od 300 mg/kg uzrokuje smanjenje rasta biljaka) a za sisavce slabo otrovne. Koncentracije Zn u tlu kreću se od 1 do 900 mg/kg (češće od 1 do 300 mg/kg) sa srednjom vrijednošću od 90 mg/kg.

Koncentracija hroma u odloženoj šljaci i pepelu se kreće od 83,97 mg/kg do 186,20 mg/kg sa srednjom vrijednosti od 125,68 mg/kg, granična vrijednost za praškasto-ilovasto tlo iznosi 80 mg/kg. Srednja vrijednost stepena zagađenja šljake i pepela hromom iznosi 158, 285 što odloženi materijal svrstava u zagađen i nepogodan za uzgoj biljaka uz neophodne mjere sanacije. Geoakumulacijski indeks za Cr iznosi 1,6552 što šljaku i pepeo čini umjereno kontaminiranu. Vrijednost EF za Cr iznosi 5,0 što ukazuje na značajno obogaćenja hromom, vrijednost CF od 2,4644 ukazuje na umjerenu kontaminaciju šljake i pepela Cr. Kako je već napomenuto Cr se javlja u obliku  $Cr^{3+}$  koji je neophodan u metaboličkim procesima razgradnje šećera, proteina i masti. Nekoliko organizacija kao što su Department of Health and Human Services (DHHS), International Agency for Research on Cancer (IARC), i Environmental Protection Agency (EPA) su utvrdile da je  $Cr^{6+}$  dokazani kancerogen. Kod radnika, udisanje  $Cr^{6+}$  izaziva rak pluća, takođe  $Cr^{6+}$  uzrokuje rak kod životinja, a utvrđena je i veza u povećanju broja stomačnih tumora kod ljudi i životinja izloženih  $Cr^{6+}$  u pitkoj vodi<sup>11</sup>.

Od svih analiziranih teških metala koncentracija Hg je najmanja i kreće se od 0,003 mg/kg do 0,184 mg/kg, srednja vrijednost 0,075 mg/kg. Ovako niske koncentracije žive su očekivane, jer Hg pripada skupini metala koji vrlo brzo isparavaju u fazi sagorijevanja uglja, na sitnim česticama prašine može doći do adsorpcije para Hg. Međutim i ovako niske koncentracije su opasne i mogu imati izrazito negativan uticaj na okolinu prije svega zbog velike količine odložene šljake i pepela, odnosno velike površine koju zauzima. Uslijed

---

<sup>11</sup> <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tfacts7.pdf>



zagrijavanja površinskog sloja nesumnjivo dolazi do isparavanja žive sa površinskog sloja a uslijed eolske erozije površinski sloj se skida čime zagrijavanju postaju izloženi i niži slojevi. Nastale živine pare nošene vjetrom a zbog svoje specifične težine će se istaložiti u neposrednoj blizini odlagališta što može uzrokovati bioakumulaciju i biomagnifikaciju. Živa uzrokuje neurotoksične tegobe kod opće populacije stanovništva koje je izloženo ovom teškom metalu. Na koji način će zdravlje biti narušeno živom zavisi od slijedećih faktora: oblika u kojem se živa javlja (metilživa ili elementarna), količina žive (koncentracija), starosna dob osobe (fetus je posebno izložen), kolika je vremenska ekspozicija, na koji način je osoba izložena (disanjem, jelom, kontaktom preko kože) i općeg zdravstvenog stanja osobe. Metilna živa je vrlo jak neurotoksin, osobe izložene visokim koncentracijama mogu imati različite zdravstvene tegobe. U objavljenom EPA dokumentu Cancer Guidelines 2005. godine je zaključeno da okolinska izloženost neorganskoj živi i metil živi se ne može sa sigurnošću povezati da uzrokuje rak.<sup>12</sup> Međutim međunarodna agencija za istraživanje raka (IARC) je metilnu živu klasificirala u grupu 2B, odnosno kao mogućeg uzročnika raka.<sup>13</sup> Zbog svojih lipofilnih osobina metilna živa oštećuje sve organe u koje dospjeva. Srednja vrijednost stepena kontaminacije šljake i pepela teškim metalima iznosi 17,73899 što odloženi materijal svrstava u značajno kontaminiran teškim metalima, takođe srednja vrijednost indeksa ekološkog rizika je 219,3007 što se definiše kao umjeren ekološki rizik. Ovo treba uzeti sa rezervom obzirom da nisu analizirani svi teški metali kakav je npr. Ni, Co, Tl, V, Ba i B čiji sadržaj u ugljevima je vrlo visok te je očekivati i njihovu visoku koncentraciju u šljaci i pepelu što bi svakako rezultiralo povećanjem ekološkog rizika. U tabeli 1.9. prikazani su uporedni rezultati sadržaja teških metala u šljaci, pepelu i poljoprivrednom zemljištu. Takođe, u tabeli 1.10. prikazani su rezultati sadržaja teških metala u elementima okoline a koja je u neposrednom dodiru sa odloženom šljakom i pepelom.

---

<sup>12</sup> <https://www.epa.gov/mercury/health-effects-exposures-mercury>

<sup>13</sup> <http://www.greenfacts.org/en/mercury/1-2/mercury-2.htm>

**Tabela 1.9.** Usporedni prikaz sadržaja teških metala u uglju, šljaki i pepelu i poljoprivrednom zemljištu

Naziv elementa i hemijski simbol	1		2		3		4		
	Rudnik mrkog uglja „Banovići“, mg/kg		Rudnik lignita „Dubrave“, mg/kg		Šljaka i pepeo Divkovići II, mg/kg		Poljoprivredno zemljište, mg/kg		
							Divkovići	Pogorioci	Plane
Arsen (As)	29,9	45,83	141,0	57,87	18,6	32,8	30,1		
Barij (Ba)	-	-	-	-	132,5	154,4	113,5		
Bakar (Cu)	25,0	26,23	197,0	68,29	37,9	49,2	33,8		
Bor (B)	310,0	-	347,0	142,31	-	-	-		
Berilij (Be)	-	-	-	0,495	-	-	-		
Cezij (Cs)	3,44	-	16,6	-	-	-	-		
Hrom (Cr)	n.d.	13,30	1050,0	125,68	143,8	325,9	142,9		
Kadmij (Cd)	0,10	0,43	0,58	1,43	1,1	2,0	1,2		
Kobalt (Co)	12,7	6,50	80,4	10,8	-	-	-		
Živa (Hg)	-	-	-	0,075	0,14	0,21	0,15		
Mangan (Mn)	225,0	-	1610,0	-	1303,0	3832,0	937,0		
Molibden (Mo)	1,11	-	3,67	-	36,4	54,5	17,6		
Niki (Ni)	291,0	114,30	1130,0	221,07	74,1	209,5	111,6		
Olovo (Pb)	7,46	8,60	40,2	23,02	24,9	14,0	28,8		
Rubiđij (Rb)	8,82	-	75,6	-	-	-	-		
Talij (Tl)	0,09	-	0,73	-	-	-	-		
Uranij (U)	-	-	3,53	-	-	-	-		
Vanadij (V)	-	9,00	272,5	-	-	-	-		
Cink (Zn)	32,7	33,73	232,0	30,03	-	-	-		

1. <http://www.fmoit.gov.ba/userfiles/file/TE%20Banovići/ODGOVORI%20NA%20KOMENTARE%20Izmjene%20i%20dopune%20SUO%20TE%20B%20novići.pdf>

2. [http://www.forestry.gov.uk/pdf/recoal\\_handbook.pdf/\\$FILE/recoal\\_handbook.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/recoal_handbook.pdf/$FILE/recoal_handbook.pdf) 3. [http://www.forestry.gov.uk/pdf/recoal\\_handbook.pdf/\\$FILE/recoal\\_handbook.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/recoal_handbook.pdf/$FILE/recoal_handbook.pdf)

4. Studija o mogućnostima rekultivacije sa pedološkim elaboratom odlagališta šljake i pepela „Plane“ i „Divkovići I i II“ Rudarski Institut Tuzla, 2014. 3. Elaborat Analiza uzoraka tla na području odlagališta Divkovići II, Poljoprivredno-prehrambeni fakultet, Institut za pedologiju, agrohemiju i melioracije, Sarajevo 2013.

5. <https://www.researchgate.net/publication/298460679> The presence of heavy metals in soil and locally produced food in the area around the coal slag and ash disposal sites Divkovići Plane-thermal power plant Tuzla

**Tabela 1.10.** Usporedni prikaz sadržaja teških metala u elementima okoline povezanih sa odlagalištem šljake i pepela Divkovići II

Naziv elementa i hemijski simbol	Prosječna koncentracija										
	Ugljevi, mg/kg	Šljaka i pepeo, mg/kg	Poljoprivredno zemljište, mg/kg	Sediment, mg/kg	Voda, µg/l	PM <sub>10</sub> , ng/m <sup>3</sup>	Prehrambeni proizvodi, mg/kg	Riba, mg/kg	Ljudska kosa, mg/kg		
Aluminij (Al)	-	-	-	-	-	1050,0	-	-	-	-	
Arsen (As)	72,24	57,87	27,17	36,67	12,5	0,96	0,031	0,140	0,166	-	
Barij (Ba)	-	-	133,47	135,90	44,25	-	-	-	-	-	
Bakar (Cu)	82,74	68,29	40,3	46,93	13,66	-	-	-	-	-	
Bor (B)	328,5	142,31	-	-	-	-	-	-	-	-	
Berilij (Be)	-	0,495	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cezij (Cs)	10,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hrom (Cr)	531,65	125,68	204,2	242,53	55,75	3,15	0,52	<0,05	0,262	-	
Kadmij (Cd)	0,37	1,43	1,43	1,35	14,0	<0,25	0,015	<0,002	0,127	-	
Kobalt (Co)	33,2	10,8	-	-	-	-	-	-	-	-	
Živa (Hg)	-	0,075	0,17	0,43	<10	<0,25	0,003	0,381	0,122	-	
Mangan (Mn)	917,5	-	2024,0	874,50	77,0	-	-	-	-	-	
Molibden (Mo)	2,39	-	36,17	13,60	-	-	-	-	-	-	
Nikl (Ni)	511,77	221,07	131,73	232,33	26,25	8,2	-	-	-	-	
Olovo (Pb)	18,75	23,02	22,57	34,70	29,33	130,3	0,14	<0,02	1,344	-	
Rubidij (Rb)	42,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Selen (Se)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Talij (Tl)	0,41	-	-	-	-	<1	-	-	-	-	
Uranij (U)	3,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Vanadij (V)	140,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cink (Zn)	99,48	30,03	-	-	11,5	5,21	-	-	-	-	
Željezo (Fe)	54300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
metil živa [CH <sub>3</sub> Hg] <sup>+</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,075	-	

## ZAKLJUČCI

Povećane koncentracije onečišćujućih tvari u oklišu mogu uslijed dužeg vremenskog perioda izloženosti negativno djelovati na ljudsko zdravlje. U većini slučajeva, dospjevanje i onečišćenje sastavnica okoliša usko su povezane sa aktivnostima industrije, poljoprivrede, odlaganja otpada i spaljivanja uglja.

Dobivene vrijednosti koncentracije teških metala korištene su za određivanje stepena toksičnosti šljake i pepela, pomoću: Faktora obogaćenja *-EF* (eng. Enrichment Factor), Faktora kontaminacije, *CF* (eng. Contamination Factor) Modificiranog faktora kontaminacije - *mC<sub>d</sub>* (eng. Modified Degree of Contamination), Stepena kontaminacije - *C<sub>d</sub>* (eng. Degree of Contamination), Indeksa opterećenja polutantima - *PLI* (eng. Pollution Load Index), Geoakumulacijskog indeksa - *I<sub>geo</sub>* (eng. Geo-accumulation Index), Stepena zagađenja - *SZ* i Indeksa ekološkog rizika - *IER* (eng. Ecological risk index).

Analizirano je 18 uzoraka šljake i pepela na slijedeće teške metale: As, Cd, Cu, Hg, Cr, Pb i Zn. Najveća koncentracija zabilježena je za Cr i iznosi 186,2 mg/kg a najmanja za živu 0,003 mg/kg. Koncentracije metala se smanjuju slijedećim redoslijedom: Cr>Cu>As>Zn>Pb>Cd>Hg.

Faktor kontaminacije je najveći za arsen i iznosi 6,8897 a najmanji za cink 0,5006, prema navedenom faktoru šljaka i pepeo su veoma visoko kontaminirani arsenom.

Prema faktoru obogaćenja šljake i pepela teškim metalima, odloženi materijal je najviše obogaćen bakrom u vrijednosti od 306,747 što predstavlja ekstremno visoko obogaćenje, na pojedinim mjernim mjestima utvrđeno je veoma visoko obogaćenje arsenom. Najmanji faktor obogaćenja utvrđen je za živu.

Vrijednosti Geoakumulacijskog indeksa se kreću u rasponu od 0,517 za živu i 4,7477 za arsen. Prema navedenom indeksu šljaka i pepeo je jako kontaminirana arsenom.

Prema stepenu zagađenja od 398,393 šljaka i pepeo su ekstremno zagađeni arsenom, na ovakvoj podlozi zabranjen je uzgoj biljaka za humanu i animalnu upotrebu, uz neophodno provođenje mjera tehničke i biološke rekultivacije. Vrijednosti stepena zagađenja za kadmij, bakar i hrom klasificiraju šljaku i pepeo kao zagađenu i nepogodnu za uzgoj biljaka.

Na osnovu izračunatih faktora, stepena i indeksa zagađenja, može se zaključiti da je šljaka i pepeo na odlagalištu Divkovići II zagađena (za pojedine metale zabilježeno je i ekstremno zagađenje) zbog čega je neophodno izvršiti detaljan monitoring teških metala kako bi se

utvrdio trend kretanja koncentracija uz izradu tehničke dokumentacije biološke i tehničke rekultivacije.

Analiza sadržaja čestičnih tvari  $PM_{10}$  na prisustvo teških metala pokazuje ekstremno visoku koncentraciju aluminija koji se sve više u okolinskim Studijama izučava kao potencijalni uzročnik brojnih oboljenja. Osim aluminija čestične tvari sadrže Pb, As i Cr.



**Slika 1.8.** Nepročišćene preljevne vode sa odlagališta Jezero 2 (februar 2018. godine)



**Slika 1.9.** Nepročišćene preljevne vode sa odlagališta Jezero 2 (februar 2018. godine)



## 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).

Dozic. A., Selimbasic. V., Cipurkovic, A., Crnkic A., Hodzic Z., Trumic . I. (2014): Heavy Metals in Dust Deposition in the Vicinity of Coal Ash Disposal Site Divkovići II, Journal of Life Science, David Publishing Company USA ISSN: 1934-7391.

Direktiva 2008/50/EZ o kvaliteti zraka i čistom zraku za Evropu

Direktiva 2004/107/EZ o arsenu, kadmiju, živi, niklu i policikličkim aromatskim ugljikovodicima u zraku

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>]

Jana R., Marek K., Barbora S., Kristína Š., Konstantin R. (2017): Organic Compounds on PM<sub>10</sub> Particles in Air Pollution, Inżynieria Mineralna, Journal of the Polish Mineral Engineering Society

Kabata-Pendias, A. (2011): Trace Elements in Soils and Plants, Fourth Edition, CRC Press, USA

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", br. 113/10)

Pravilnik o maksimalno dozvoljenim količinama za određene kontaminante u hrani ("Službeni glasnik BiH" br. 37/09, 39/12).

Pravilnik o načinu vršenja monitoringa kvaliteta zraka i definiranju vrsta zagađujućih materija, graničnih vrijednosti i drugih standarda kvaliteta zraka ("Službene novine Federacije BiH", broj 1/12)

Prisustvo teških metala u zemljištu i lokalno proizvedenoj hrani u naseljima na području oko odlagališta šljake Divkovići/Plane - termoelektrane Tuzla, Centar za ekologiju i energiju, Tuzla, 2015.

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](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](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](http://www.hah.hr/pdf/Knjiga_kemijske_i_fizikalne_opasnosti.pdf)].

OBOLJEVANJE I UMIRANJE LJUDI IZLOŽENIH TEŠKIM METALIMA U NEPOSREDNOJ BLIZINI ODLAGALIŠTA ŠLJAKE I PEPELA TERMOELEKTRANE "TUZLA", autor Nurka Pranjić, Centar za ekologiju i energiju (2017). <http://ekologija.ba/wp-content/uploads/2018/02/OBOLJEVANJE-I-UMIRANJE-LJUDI-IZLO%20%BDENIH-TE%20%20KIM-METALIMA-U-NEPOSREDNOJ-BLIZINI-ODLAGALI%20%20A0TA-%20%20A0LJAKE-I-PEPELA-TERMOELEKTRANE-TUZLA.pdf>

Mapa za naslovnicu preuzeta sa <https://www.google.ba/maps/>

**ČUVAJMO OKOLIŠ!**