



**ZAGAĐENJE ZEMLJIŠTA, POVRŠINSKIH I PODZEMNIH
VODA U BLIZINI ODLAGALIŠTA ŠLJAKE I PEPELA
TERMoeLEKTRANE "TUZLA"**





ZAGAĐENJE ZEMLJIŠTA, POVRŠINSKIH I PODZEMNIH VODA U
BLIZNI ODLAGALIŠTA ŠLJAKE I PEPELA
TERMoeLEKTRANE TUZLA



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/>

Autori:

Abdel Đozić, abdel.inzio@gmail.com

Centar za ekologiju i energiju

Denis Žiško, denis.zisko@bih.net.ba

Štampa:

OFF-SET Štamparija Tuzla

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



Popis skraćenica

<u>Simbol</u>	<u>Značenje</u>
<i>EPA</i>	<i>Američka agencija za zaštitu okoliša</i>
<i>SZ</i>	<i>Stepen zagađenja</i>
<i>IARC</i>	<i>Međunarodna agencija za istraživanje raka</i>
<i>IER</i>	<i>Indeks ekološkog rizika</i>
<i>PCB-s</i>	<i>Polihlorirani bifenili</i>
<i>VOC</i>	<i>Volatilni organski spojevi</i>
C_n	<i>Koncentracija ispitivanog metala u uzorku</i>
C_{ref}	<i>Koncentracija ispitivanog metala u referentnom uzorku</i>
C_m uzorka	<i>Koncentracija metala u ispitivanom uzorku</i>
C_m ref.uzorka	<i>Koncentracija metala u referentnom uzorku</i>
$C_{gr.vrijednost}$	<i>Granične vrijednosti koncentracije metala u zemljištu</i>
T_i	<i>Faktor toksičnog odziva</i>
n	<i>Broj analiziranih elemenata</i>
<i>SNA</i>	<i>Sulfati, nitrati i amonijum joni</i>
<i>HEAL</i>	<i>Health and Environment Alliance</i>

1. UVOD.....	5
2. KARAKTERIZACIJA I DINAMIKA TEŠKIH METALA U UGLJU, ŠLJAKI I PEPELU.....	6
3. REZULTATI I DISKUSIJA.....	14
3.1. Rezultati analize kvalitete otpadne vode.....	17
3.2. Rezultati analize kvalitete bunarske i površinske izvorske vode..	23
3.3. Rezultati analize kvalitete zemljišta na odlagalištima Plane i Drežnik.....	27
4. ZAKLJUČCI.....	34
5. LITERATURA.....	35

1. UVOD

Čvrste ostatke nastale u procesu sagorijevanja uglja u termoenergetskim postrojenjima nazivamo šljakom i pepelom, u navedenu vrstu otpada spada i elektrofilterski pepeo kao i čvrsti ostatci nastali tokom odsumporavanja dimnih plinova. Šljaka i pepeo sadrži brojne hemijske elemente, između ostalih sadrži i toksične teške metale druge koji uslijed djelovanja oborina i raznošenjem čestica šljake i pepela vjetrom mogu imati negativan uticaj na ljudski organizam ali i ekosisteme u cjelini. Općenito govoreći, sagorijevanje uglja u termoelektranama ima devastirajući učinak na okoliš koji počinje na samom početku kroz enormnu eksploataciju uglja a zatim putem emisije dimnih plinova i na kraju odlaganja šljake i pepela na deponijama. Navedeni uticaji dovode do trajnih promjena u okolišu koje ne samo da obuhvataju pojedine regione, nego i čitave ekosisteme što za posljedicu ima globalne promjene u biosferi. Najznačajniji otpadni tok koji nastaje u Termoelektrani "Tuzla" je šljaka i pepeo koja se hidrauličkim putem odlaže na deponiju Jezero II. Uzimajući u obzir činjenicu da šljaka i pepeo sadrže teške metale neophodno je poznavati hemijski oblik u kojem se oni nalaze kao i dali uslovi odlaganja i/ili odložena šljaka i pepeo utiču na transformaciju i dostupnost teških metala. Odnosno da se utvrdi njihov mogući negativan uticaj prije svega na opću populaciju stanovnika koji se nalaze u neposrednoj blizini deponija. Istraživanja organizacije HEAL (Health and Environment Alliance) pokazala su da termoelektrane na ugalj u 30 evropskih zemalja – 28 u EU te u Srbiji i Turskoj, godišnje uzrokuju preranu smrt čak 23.000 ljudi i trošak u zdravlju, neposredno i u privredi do čak 54,7 milijardu eura – stoji u procjeni troškova povezanih sa emisijom štetnih tvari iz termoelektrana na ugalj u Evropi. Dosadašnja istraživanja na odlagalištima šljake i pepela su pokazala da teški metali prisutni u odloženom materijalu mogu u dužem vremenskom periodu imati negativan uticaj na sastavnice okoline. Navedeno je posebno izraženo kod dužeg doticaja šljake i pepela sa vodom pri čemu teški metali prelaze u vodeni rastvor, odnosno na taj način mogu zagaditi podzemne vode, izvorišta ili biti usvojeni od strane biljnih kultura. Intenzitet prelaska toksičnih teških metala iz odložene šljake i pepela zavisi od načina odlaganja, podloge na kojoj se vrši odlaganje, blizine površinskih vodotoka, dinamike podzemnih voda kao i postojećih antropogenih struktura u neposrednoj blizini odlagališta. Obzirom da su postojeća odlagališta TE Tuzla formirana u prirodnim dolinama u neposrednoj blizini naseljenih mjesta bez prethodne izolacije dna i obodnih strana odlagališta postoji visok rizik od trajne kontaminacije podzemnih voda, ali i površinskog sloja zemljišta na djelomično rekultiviranim odlagalištima.

2. KARAKTERIZACIJA I DINAMIKA TEŠKIH METALA U UGLJU, ŠLJAKI I PEPELU

Svake godine u svijetu nastane između 3,4 i 4,0 milijarde tona komunalnog i industrijskog otpada od čega na neopasni industrijski otpad otpada oko 1,2 milijarde tona (Chalman i Gaillochet 2009). Termoelektrane spadaju u najveće izvore zagađivanja tla čvrstim otpadom (šljaka, pepeo, čvrsti produkti odsumporavanja), proizvodnja čelika (šljaka i troska iz visokih peći), proizvodnja glinice, i aluminijski (otpadni crveni mulj), proizvodnja pulpe i papira, sode, krečnjaka, đubriva i gipsa. U Tabeli 2.1. prikazane je količina nastalog otpada na godišnjem nivou iz različitih sektora (National Waste Management Council- Ministry of Environment & Forests-1990/1999.).

Tabela 2.1. Količina industrijskog otpada na godišnjem nivou iz različitih industrijskih sektora

Rb.	Otpadni tok	Količina (miliona tona/godišnje)	Izvor
1.	Šljaka i troska	35,0	Proizvodnja čelika
2.	Muljevita slana voda	0,02	Proizvodnja sode
3.	Šljaka i pepeo	70,0	Termoelektrane
4.	Prašina klinkera	1,6	Cementare
5.	Crveni mulj	3,0	Glinica
6.	Mulj sa sadržajem čestica uglja	3,0	Separacija uglja

Osnovni pristup u upravljanju velikim količinama otpada je prevencija na mjestu nastanka i kontrola zagađenja okoline uslijed odlaganja. Kontrola zagađenja podrazumjeva monitoring odloženog otpada i otpadnih tokova koji nastaju na odlagalištima. Ako analiziramo otpadne tokove prikazane u tabeli 1.1. vidimo da su to u suštini muljeviti otpadni tokovi čijim odlaganjem se trajno zagađuje tlo, prelivnim vodama sa odlagališta zagađuju površinske a procjednim podzemne vode. Na odlagalištima šljake i pepela čest je slučaj da se površinski sloj isuši čime sitne čvrste čestice lako pod uticajem vjetra se podižu što značajno doprinosi onečišćenju zraka čestičnim tvarima. Onečišćenje okoline kada su u pitanju muljeviti otpadni tokovi vidljivi su kroz emisione tokove sa odlagališta (otpadne vode, prašina itd), međutim prisutni su i polutanti poput teških metala (As, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Hg, Tl, V, Al, Zn....). Takođe, potrebno je u obzir uzeti činjenicu da se često tvrdi da su otpadni tokovi inertni (na primjer: šljaka i pepeo iz termoelektrane Tuzla) samo na osnovu saznanja da je takav otpad definisan kao neopasan na temelju Pravilnika o kategorijama otpada sa listama („Službene novine FBiH“, broj 9/05) a da nije ispitan njegov sastav i određen stepen opasnosti prema

važecim standardima. Kada je riječ o produkciji šljake i pepela na globalnom nivou, u tabeli 2.2. dati su podaci o količinama nastale šljake i pepela kao i njihove ponovno upotrebe u različite svrhe sa prikazanim procentom iskorištenja.

Tabela 2.2. Prosječna količina nastale šljake i pepela u 2016. godini na globalnom nivou sa stepenom iskorištenja

Država/region	Količina šljake i pepela, (miliona tona/godišnje)	Iskorišteno šljake i pepela, (miliona tona/godišnje)	Stepen iskorištenja, %
Australija	12,3	5,4	43,5
Kina	565	396	70,1
Koreja	10,3	8,8	85,4
Indija	197	132	67,1
Japan	12,3	12,3	99,9
Ostale azijske države	18,2	12,3	67,6
Evropa (15 država)	40,3	38	94,3
Srednji istok i Afrika	32,2	3,4	10,6
Izrael	1,1	1	90,9
Kanada	4,8	2,6	54,2
USA	107,4	60,1	56,0
Rusija	21,3	5,8	27,2

Iz tabele 2.2 vidljivo je da najveći stepen iskorištenja šljake i pepela (u obzir se uzima i gips sa postrojenja za odsumporavanje) je u Japanu, zemljama evropske unije, zatim slijedi Izrael i Kina. Bosna i Hercegovina spada u red država gdje je najmanja stopa iskorištenja čvrstih produkata sagorijevanja nastalih u termoelektranama. Upravljanje otpadnim tokovima u industriji predstavlja imperativ održivog razvoja zbog toga što emisije različitih polutanata imaju negativan uticaj na zdravlje opće populacije stanovništva u blizini izvora emisije. U okolini Tuzle, Lukavca, Živinica i Banovića izgrađeni su industrijski kompleksi za proizvodnju električne energije, koksa, građevinskih materijala, sode, soli, deterdženta, vještačkih đubriva, anhidrida maleinske kiseline i drugih. Međutim, ne postojanje dovoljnog broja postrojenja za prečišćavanje otpadnih tokova su doprinijeli ozbiljnom narušavanju kvalitete tla, vodotoka i zraka. 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 a samim tim i u šljaci i pepelu uz dodatno koncentriranje pojedinih elemenata poput bora (B), selena (Se), olova (Pb) i

nikla (Ni). U odnosu na njihov različit udio u uglju, ovi elementi mogu se podijeliti u tri grupe:

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

Nakon više provedenih istraživanja od strane različitih autora o raspodjeli teških metala u uglju, može se zaključiti da se njihov broj i koncentracija razlikuju u zavisnosti od vrste uglja, kao i od procesa nastajanje određene vrste uglja. Međutim, poznavanje sadržaja teških metala u ugljevima važno je zbog mogućnosti predviđanja njihovog oslobađanja u procesu sagorijevanja. U tabeli 2.3. dat je komparativni prikaz prosječnog sadržaja hemijskih elemenata u ugljevima (USA, Velike Britanije, Australije i Kine) i elemenata koji se nalaze u ugljevima iz rudnika Banovići i Dubrave.

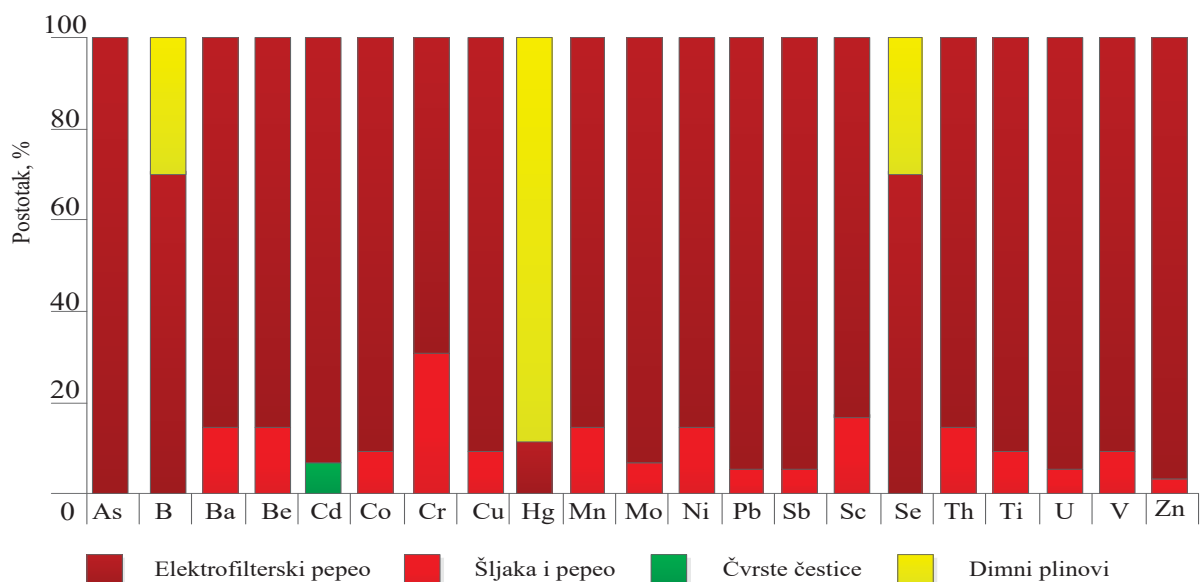
Tabela 2.3. Komparativni prikaz sadržaja hemijskih elemenata u ugljevima iz različitih dijelova svijeta i domaćih ugljeva koje koristi TE Tuzla

Hemijski element	Prosječna koncentracija, mg/kg	Prosječni rang koncentracija, mg/kg	Rudnik „Banovići“, mg/kg		Rudnik „Dubrave“, mg/kg
Arsen, As	2,69	0,5-80	29,9	45,83	141,0
Bakar, Cu	10,8	0,5-50	25,0	26,23	197,0
Bor, B	47,0	5-400	310,0	-	347,0
Berilij, Be	1,0	0,1-15	-	-	-
Cezij, Cs	0,8	0,3-5	3,44	-	16,6
Hrom, Cr	17,6	0,5-60	n.d.	13,30	1050,0
Kadmij, Cd	0,093	0,01-0,3	0,10	0,43	0,58
Kobalt, Co	4,5	0,5-50	12,7	6,50	80,4
Živa, Hg	0,091	0,02-0,1	-	-	-
Mangan, Mn	40,0	5-300	225,0	-	1610,0
Molibden, Mo	-	0,1-10	1,11	-	3,67
Nikl, Ni	11,1	0,5-50	291,0	114,30	1130,0
Olovo, Pb	7,0	2-80	7,46	8,60	40,2
Rubidij, Rb	14	2-50	8,82	-	75,6
Selen, Se	2,13	0,2-4	-	-	-
Talij, Tl	0,5	0,2-1	0,09	-	0,73
Uran, U	3,7	0,5-10	-	-	3,53
Vanadij, V	-	2-100	-	9,00	272,5
Cink, Zn	12,7	5-300	32,7	33,73	232,0
Željezo, Fe	-	-	15500,0	-	93100,0
Fluor, F	120	20-500	-	-	-
Hlor, Cl	440	50-2000	-	-	-

n.d. not detected (nije detektovan)

Na osnovu podataka prezentiranih u tabeli 2.3. može se zaključiti da pojedini teški metali u domaćim ugljevima prelaze prosječni rang koncentracija sa sljedećim opadajućim nizom koncentracija: Mn>Ni>Cr>B>V>Cu>As>Co>Rb>Cs>Cd.

Vrlo važan podatak koji nedostaje kod analize domaćih ugljeva je sadržaj žive, naime zagađenje zraka živom usko je vezano za termoelektrane, 50% zagađenja zraka živom USA vodi porijeklo iz termoelektrana¹. Takođe, nedostaju podaci i o sadržaju fluora i hlora u ugljevima, ovi elementi tokom procesa sagorijevanja prelaze u plinovite fluoride i hloride koji imaju razarajući efekat na okoliš. Teški metali sadržani u ugljevima u toku sagorijevanja raspodjeljuju se u sljedećim otpadnim tokovima: šljaka i pepeo, lebdeći pepeo, elektrofilterski pepeo, čvrste čestice i dimni plinovi kao što je to prikazano na slici 2.1.



Slika 2.1. Distribucija pojedinih teških metala između elektrofilterskog pepela, šljake i pepela, čvrstih čestica i dimnih plinova (Ratafia-Brown, 1994)

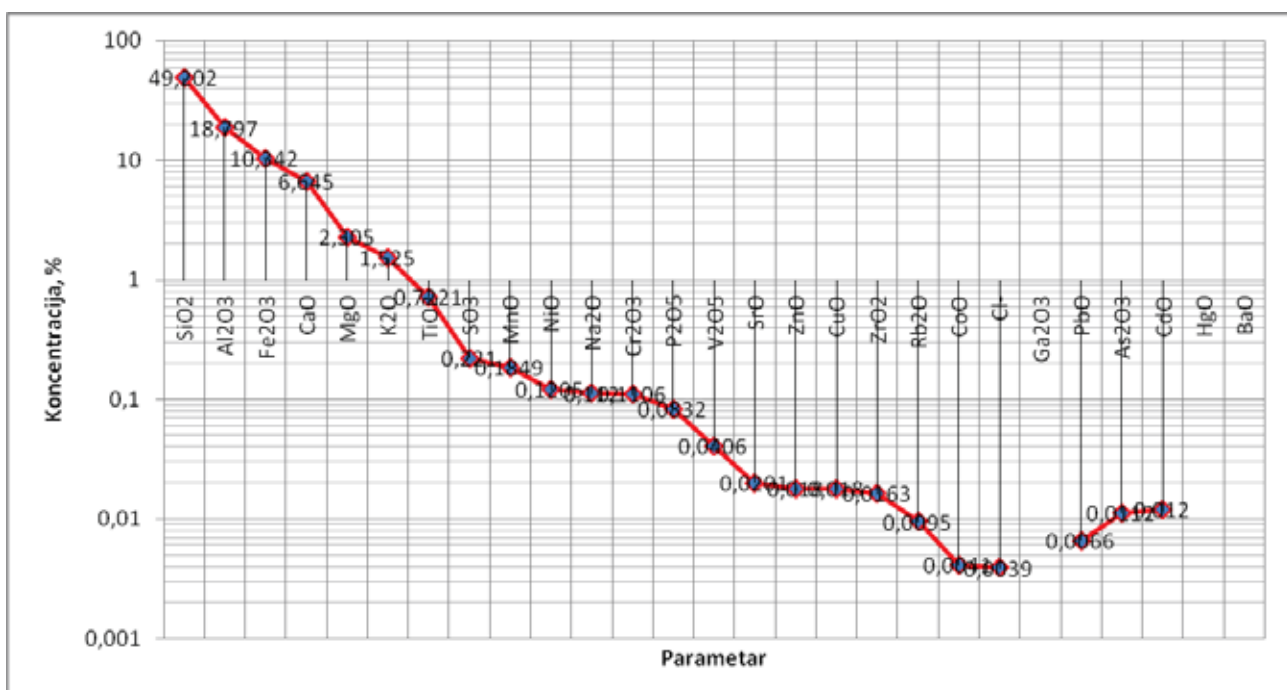
Na osnovu istraživanja različitih autora može se zaključiti da postoji trend obogaćivanja teškim metalima submikronskih čestica. Pojedini teški metali koji djelomično ili potpuno isparavaju tokom sagorijevanja uglja, imaju tendenciju kondenziranja na submikronskim česticama zbog njihove velike površine.

Submikronske čestice imaju više štetnih uticaja od supermikronskih čestica, budući da se duže vremena zadržavaju u atmosferi, čime se povećava mogućnost depozicije na

¹ <https://www.epa.gov/mats/cleaner-power-plants>

zemljište. Teški metali koji ne isparavaju tokom procesa sagorijevanja ulaze u sastav šljake i pepela kao otopljeni. Takođe, dio se zadržava na česticama lebdećeg pepela. Elementi koji djelimično ili potpuno isparavaju proći će dodatne transformacije u tri složena i međusobno povezana procesa: adsorpcija, kondenzacija i hemijska transformacija. Moguća su tri načina raspodjele teških metala: parna faza, submikronski i supermikronski aerosoli.

Analiza šljake i pepela prikazana na slici 2.2 je pokazala da ista sadrži preko 75% jedinjenja silicijevog, aluminijevog i željeznog oksida, a da samog silicijevog oksida ima 49 %. Ove komponente su inertne na djelovanje vode, odnosno ne rastvaraju se u vodi. Odložena šljaka i pepeo predstavlja nepovoljnu podlogu za rast biljaka, prisustvo visoke koncentracije rastvorljivih soli kao i prisustvo karbonata u dodiru s vodom povećavaju pH iznad 9 što doprinosi povećanju negativnog uticaja šljake na korijenski sistem biljaka. Šljaka i pepeo se sastoje od sitnih sivih ili bjeličastih čestica, veličine od 2-0,06 mm. Po teksturnoj oznaci to je sitni pijesak, čiji se udio kreće od 86,56 do 96, 08 %. Sadržaj praha (čestica od 0,06 do 0,002 mm) i gline (čestice < 0,002 mm) je vrlo mali i kreće se od 1 do 4 %.



Slika 2.2. Hemijski sastav šljake i pepela

Od svih teških metala, čak i u malim količinama, **najveći negativan uticaj po ljudski organizam imaju: arsen (As), hrom (Cr), kadmij (Cd), olovo (Pb), nikl (Ni), živa (Hg), mangan (Mn) i molibden (Mo)**. 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. Odlaganje šljake i pepela na području Plana i Divkovića počelo je 1964. godine a završeno 2013. godine, uzimajući u obzir odlagališta Drežnik i Jezero I, ukupna količina odložene šljake i pepela je oko 40 miliona m³. U tabeli 2.3. date su osnovne karakteristike odlagališta šljake i pepela.

Tabela 2.3. Karakteristike odlagališta šljake i pepela

Naziv odlagališta	Plane	Drežnik	Divkovići I	Divkovići II	Jezero I
Vrsta podloge	Površinski kop	Prirodna dolina	Prirodna dolina	Prirodna dolina	Prirodna dolina
Početak odlaganja	1964.	1981.	1985.	1985.	1991.
Kraj odlaganja	1990.	1991.	1995.	2011.	2003.
Površina, ha	18	45	45	68	24
Početak rekultivacije	1991/1992	1993.	2004.	-	-
Rekultivisano, ha	18	45	10	-	-
Debljina prekrivnog sloja, cm	10-30	10-30	10-15	-	-
Rekultivisana površina se koristi za:	poljoprivredu	poljoprivredu	-	-	-

Zbog činjenice da je pepeo iz sagorijevanja uglja općenito poznat po tome da sadrži raznovrsne potencijalno toksične elemente u tragovima – u slučaju Tuzle naročito Ni, Cr, As i B –, mora se pretpostaviti da odlaganje pepela u toj količini predstavlja ozbiljan okolišni problem. Glavnu opasnost predstavlja: zagađenje zemljišta, zagađenje voda (podzemnih i površinskih) i disperzija prašine sve navedeno predstavlja visok rizik u pogledu ulaska teških metala ali i ostalih toksičnih supstanci u lanac ishrane. Površine odlagališta mogu biti predmet nekontroliranog korištenja od strane lokalnog stanovništva kao što je to slučaj u Tuzli.

Stanovništvo koji živi u blizini koriste ova odlagališta za proizvodnju hrane za ljudsku ishranu i stočne hrane, kao pašnjake, za rekreaciju i mjesta za odlaganje otpada. Kompilacija svih načina korištenja zemljišta uključujući i nezvanični je od ključnog značaja za otkrivanje okolišnih i društvenih međudnosa². U tabeli 2.4 prikazani su podaci o karakterističnim parametrima vezanim za opterećenje okoliša za vremenski period 2010-2018. godina, podaci se odnose na TE Tuzla. Tokom 2013. godine na deponiji Jezero II

² https://bib.irb.hr/datoteka/667887.RECOAL_Handbook_on_treatment_of_coal_ash_disposal_sites.pdf

odloženo je i 3000 m³ opasnog otpada, klasifikacioni kod 17 06 05* - građevinski materijal koji sadrži azbest³.

Tabela 2.4. Okolinski parametri TE Tuzla za periodi 2010-2018. godina⁴

Godina	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.
Proizvedeno energije, GWh	3843,1	4671,8	2993,5	3404	3772	3847	3798	3557	3557
Potrošnja uglja, t	3477301,3	4201500	3392300	3590170	3811594	3755432	3811800	3792711	3456881
Utrošeno vode, m ³	22824000	22824000	14752480	16879728	17415484	15153418	9876140	10616048	10243860
Ispušteno vode, m ³	4870000	7130000	3721334	7666141	6948300	4028444	2056179	936288	1275269
NOx, t/god	9295	8422	4712	5813	4057	5752	5861	5222	4891
SO ₂ , t/god	57554,7	54466	43728	53013	53156	61896	66431	57692	47499
Č.Č., t/god	4348	4312	2139	1204	966	935	1017	959	777
CO ₂ , t/god	4128954	5077138	3708245	4016912	4461696	3759867	3941042	3564130	3054202
Šljaka i pepeo, t	689463	639226	617833	1046324	639240	-	-	-	-

Indikativan pokazatelj uticaja na okolinu TE Tuzla ogleda se u količini utrošene vode, naime u vremenskom periodu od 2010.-2018. godine utrošeno je ukupno 140585158 m³, uporedimo li utrošenu količinu sa korisnom zapreminom jezera Modrac⁵ koja iznosi 66522627,33 m³ dolazimo do zaključka da je u navedenom vremenskom periodu TE Tuzla utrošila 2,1 jezero Modrac. Takođe, podaci o količini nastale šljake i pepela od 2015. do 2018. godine prikazuju se kao zbirni za TE Tuzla i TE Kakanj tako da nije poznata količina šljake i pepela koja se u navedenom periodu odložila na odlagalište Jezero II. Određenih nepoznanica ima i kada su u pitanju ispuštene vode jer nije navedeno o kojoj vrsti otpadnih voda je riječ (tehnoškim, komunalnim ili zagađenim oborinskim). Isto tako, nije definisano šta predstavlja razliku između utrošene i ispuštene vode, pretpostaviti je da na osnovu materijalnog bilansa vode dio ispari putem tornjeva za hlađenje a dio vode se koristi za hidraulički transport šljake i pepela.

Voda koja služi za hidraulički transport šljake zajedno sa oborinskim koje dospijevaju na tijelo odlagališta može u dužem vremenskom periodu predstavljati izvor zagađivanja podzemnih voda, odnosno izvorišta pitke jer odložena šljaka i pepeo predstavlja hidrogeološki kolektor intergranularne poroznosti. Ovakav sastav materijala gdje dominiraju sitnozrnaste komponente je idealan za formiranje akumulacija podzemne vode sa slobodnim nivoom. Zbog visine odložene šljake i pepela moguće je formiranje više hidrogeoloških kolektora na različitim nivoima, ove vještačke tvorevine u hidrodinamičkom smislu će doći u interakciju sa prirodnim tokovima podzemnih voda, odnosno na kraju će

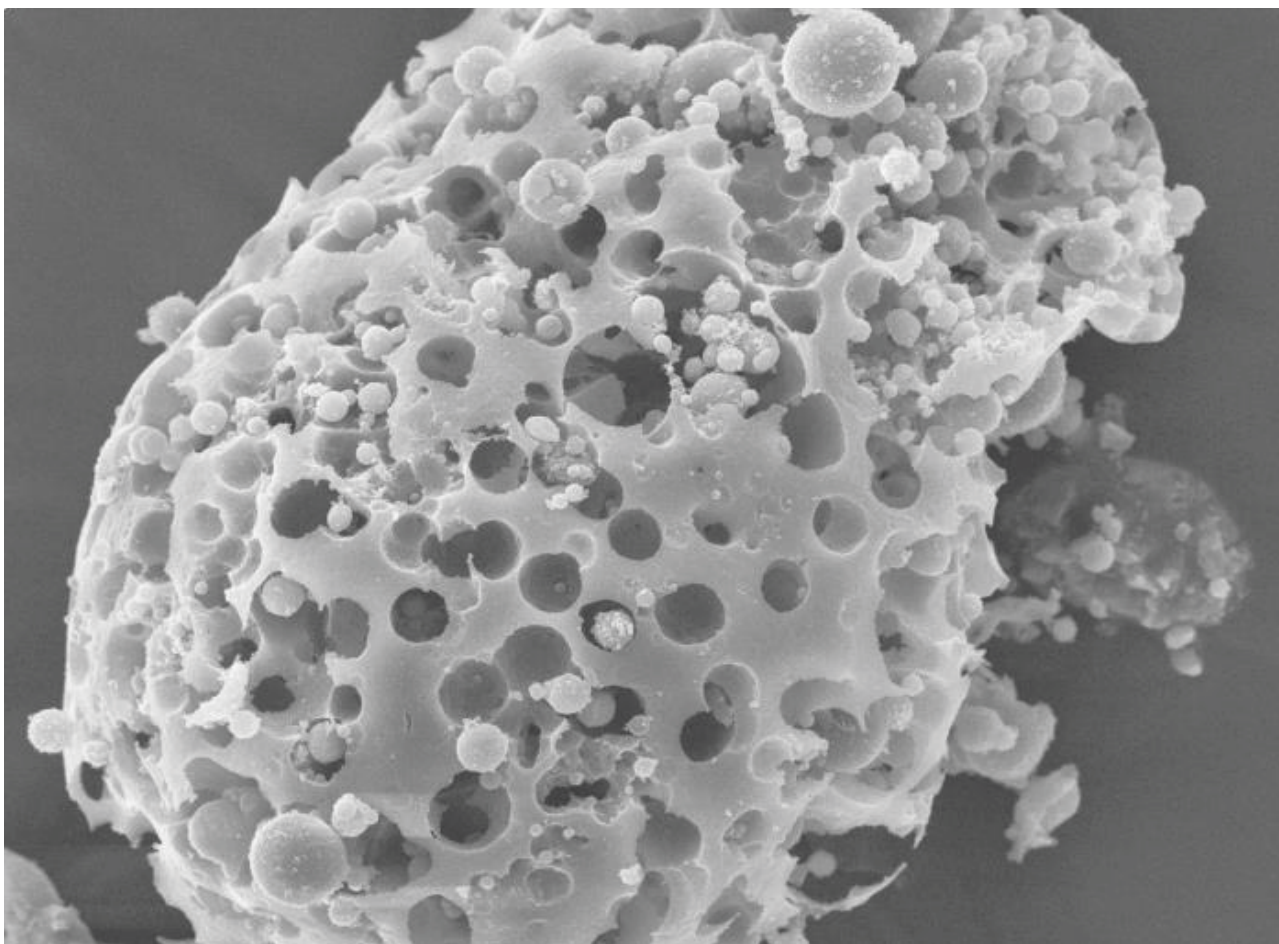
³ <https://www.epbih.ba/stranica/okolina#izvjestaji-o-zastiti-okolisa>

⁴ <https://www.epbih.ba/stranica/okolina#izvjestaji-o-zastiti-okolisa>

⁵ https://www.researchgate.net/publication/297920842_Reservoir_modrac_and_its_functioning_during_the_floods_in_may_2014

završiti u lokalnim izvorištima (bunarska voda ili prirodni površinski izvori). Efekti filtracije vode kroz vodopropusna odlagališta također utječu na lokalne bunare i slojeve podzemne vode.

Tokom procesa prolaska vode i/ili njenog privremenog zadržavanja u tijelu odlagališta može doći do rastvaranja jona teških metala, i to u dužem vremenskom periodu. Smanjenje redoks potencijala u tijelu odlagališta (zbog odsustva kisika) mogu dovesti do procesa rastvaranja i ispuštanja redoks osjetljivih elemenata kao što je arsen⁶. Na slici 2.3. prikazan je mikroskopski izgled čestice šljake i pepela, čestica šljake je zakrivljena sa mnogobrojnim kraterima na površini dok je čestica pepela sfernog oblika (vidljiva na gornjem dijelu slike) i ugrađena je na površinu čestice šljake.



Slika 2.3. Izgled čestice šljake i pepela⁷

⁶ https://bib.irb.hr/datoteka/667887.RECOAL_Handbook_on_treatment_of_coal_ash_disposal_sites.pdf

⁷ <http://www.atl.semtechsolutions.com/node/95/coal-ash-sem>

3. REZULTATI I DISKUSIJA

U okviru izrade ovog dokumenta izvršena je analiza uzoraka (vode i zemljišta) uzetih u zoni uticaja zatvorenih odlagališta šljake i pepela Plane, Divkovići I, Divkovići II, Drežnik i Jezero I kao i uzoraka otpadne vode sa aktivnog odlagališta Jezero II. U vremenskom periodu od 01.03.2020. do 31.08.2020. godine ukupno je uzeto 23 uzoraka vode i 2 uzorka zemljišta. Prosječni uzorci vode i zemljišta uzeti su kao kompozitni (homogeniziranjem pojedinačnih uzoraka). Uzorkovanje zemljišta izvršeno je prema Uputstvu o postupku, radnjama i uslovima za vršenje kontrole plodnosti zemljišta („Službene novine FBiH“, br. 72/09), uzorci zemljišta za analizu uzimani su sa dubine od 0-25 cm. Voda za piće, bez obzira na porijeklo (bunarska, površinski izvor) izložena je različitim vrstama onečišćenja koji potiču iz tzv. tačkastih i netačkastih izvora koje je vrlo teško kontrolirati u pogledu monitoringa i ocjene vrste i koncentracije zagađujuće tvari.

Kvalitet vode određen je njenim hemijskim, fizičkim i biološkim parametrima koji moraju biti uravnoteženi i ispod dopuštenih graničnih vrijednosti. Kada je riječ o pitkoj vodi njen kvalitet je mjera za takvo stanje vode u odnosu na njenu sigurnu upotrebu kao vode za piće. Za ocjenu kvalitete vode postoji nekoliko načina, prvi je analiza i poređenje sa graničnim vrijednostima a drugi putem analize i proračuna indeksa zagađenja.

Sadržaj teških metala u uzorku zemljišta sa površinskog sloja zatvorenih odlagališta određeni su metodom atomske absorpcije 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 okoliš.

U cilju razumjevanja toksičnog uticaja odložene šljake i pepela u tabeli 3.1. prikazane su granične vrijednosti teških metala u ukupnom obliku a koje su određene važećim Pravilnikom. Vrijednosti u tabeli 3.1. se odnose na zemljište kisele i karbonatne reakcije, za karbonatna zemljišta navedene vrijednosti se uvećavaju za 25% u odnosu na kisela.

Od anorganskih spojeva granična vrijednost za sumpor (S) iznosi 300 mg/kg za pjeskovito tlo, 400 mg/kg za praškasto-ilovasto i 500 mg/kg glinovito. Takođe jedan od polutanata zemljišta koji pripada skupini neorganskih spojeva je fluor (F) čija granična vrijednost za pjeskovito tlo iznosi 150 mg/kg za praškasto-ilovasto 250 mg/kg i 350 mg/kg glinovito.

Tabela 3.1. Granične vrijednosti teških metala u ukupnom obliku za kisela i karbonatna zemljišta

Teški metal	Granične vrijednosti, mg/kg					
	Pjeskovito tlo		Praškasto-ilovasto tlo		Glinovito tlo	
	kiselo	karbonatno	kiselo	karbonatno	kiselo	karbonatno
Arsen, As	10	12,5	15	18,75	20	25
Kadmij, Cd	0,5	0,625	1	1,25	1,5	1,875
Bakar, Cu	50	62,5	65	81,25	80	100
Barij, Ba	60	75	80	100	100	125
Bor, B	30	37,5	40	50	50	62,5
Hrom, Cr	50	62,5	80	100	100	125
Kobalt, Co	30	37,5	45	56,25	60	75
Molibden, Mo	10	12,5	15	18,75	20	25
Nikl, Ni	30	37,5	40	50	50	62,5
Olovo, Pb	50	62,5	80	100	100	125
Talij, Tl	0,5	0,625	1	1,25	1	1,25
Vanadij, V	30	37,5	40	50	50	62,5
Cink, Zn	100	125	150	187,5	200	250
Živa, Hg	0,5	0,625	1	1,25	1,5	1,87

Određivanje stepena kontaminacije zemljišta na zatvorenim odlagalištima je provjeren način za određivanje kvalitete 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 s ciljem upravljanja njihovim tokovima kroz ekosistem i provođenja zaštitnih mjera (Lado i sar., 2008).

Uobičajen pristup u utvrđivanju stepena kontaminacije zemljišta teškim metalima je utvrđivanje koliko je zemljište pod njihovim uticajem (prirodnim ili antropogenim). Odnosno, u tu svrhu se koriste različite metode izračunavanja stepena kontaminacije, u okviru ove Studije korišten je: Stepen zagađenja, SZ i Indeks ekološkog rizika, IER (eng. Ecological risk index).

Za zemljište koje se koristi u poljoprivredne svrhe, neophodno je odrediti stepen zagađenja (SZ) u cilju kategorizacije zagađenja prisutnog u zemljištu. Stepen zagađenja se računa iz relacije, (Bašić i sar., 1998):

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

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. Klase za poljoprivrednu proizvodnju prikazane su u tabeli 3.2.

Tabela 3.2. Klasifikacije zemljišta za poljoprivrednu proizvodnju

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 nepogodno 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

Za određivanje sinergetičkog uticaja prisutnih teških metala u šljaci i pepelu na odlagalištima, koristi se indeks ekološkog rizika (Håkanson, 1980). Definiše se kao:

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

Gdje je: $C_{m.uzorka}$ 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 i Zn=1). Kao referentni uzorak uzete su granične

vrijednosti analiziranih teških metala. Na osnovu indeksa ekološkog rizika, zemljište se klasificira prema kriterijima datim u tabeli 3.3.

Tabela 3.3. Kategorije indeksa ekološkog rizika

Vrijednost	Opis
IER < 150	Nizak ekološki rizik
150 < IER < 300	Umjeren ekološki rizik
300 < IER < 600	Značajan ekološki rizik
IER > 600	Veoma visok ekološki rizik

Teški metali u zemljištu dospjevaju na dva načina, iz prirodnih (geogenih) i antropogenih izvora. Prirodni izvori teških metala u zemljištu su, uz matične stijene, i vulkanske erupcije, morski aerosoli i šumski požari (Reichman, 2002). Prirodni ili geogeni procesi obuhvataju trošenje stjenovitog dijela litosfere iz kojeg nastaje mineralni dio pedosfere, tj. zemljište ili tlo.

Osobine i hemijski sastav zemljišta u direktnoj su zavisnosti od hemijskog sastava matične stijene ili u našem slučaju od hemijskog sastava šljake i pepela. Zbog visokog stepena toksičnosti, arsen, kadmij, hrom, olovo i živa svrstavaju se među prioritete metale koji su od značaja za javno zdravlje.

Navedeni metalni elementi smatraju se sistemskim toksičnim tvarima za koje se zna da izazivaju oštećenje više organa, čak i pri nižim nivoima izloženosti. Također su klasificirani kao kancerogeni za ljude (poznati ili vjerovatni) prema američkoj Agenciji za zaštitu okoliša (EPA) i Međunarodnoj agenciji za istraživanje raka (IARC).

3.1. Rezultati analize kvalitete otpadne vode

U cilju utvrđivanja sadržaja teških metala i općenito kvaliteta otpadne vode na aktivnom odlagalištu Jezero II kao i na glavnom kolektoru ispusta otpadnih voda iz TE Tuzla izvršeno je uzorkovanje i analiza otpadnih voda, rezultati analize prikazani su u tabeli 3.4. Na slici 3.1. i 3.2. prikazane su lokacije uzorkovanja otpadne vode sa pripadajućim koordinatama na aktivnom odlagalištu Jezero II. Raspored mjesta uzorkovanja tehnoloških otpadnih voda prikazan je na slici 3.3. koordinate mjernog mjesta E2 su 44.530168, 18.621266 a E3 44.518810, 18.599027.

Tabela 3.4. Rezultati analize otpadnih voda

Parametar	Jedinica	Uzorak 1	Uzorak 2	Ispust E2	Ispust E3	GVE
Temperatura	°C	21,3	21,1	22,9	18,5	30
pH vrijednost	-	13,49	13,45	7,34	2,38	6,5 – 9,0
Elektroprovodljivost	µS/cm	8470	9030	804	665	-
Boja	Pt/Co skala	28,5	29,1	20,1	14	-
Miris	-	primjetan	primjetan	bez	bez	-
Ukupne suspendovane materije	mg/l	30	14	1	23	35
Hemijska potrošnja kisika	mgO ₂ /l	20,1	20,3	5	29,6	125
Biološka potrošnja kisika	mgO ₂ /l	4	5	1	18	25
Sadržaj rastvorenog kisika	mgO ₂ /l	6,93	6,79	7,36	2,4	-
Amonijačni azot	mgN/l	0,445	0,625	0,18	0,55	10
Ukupni azot	mgN/l	4,7	6,1	1,3	1,3	15
Ukupni fosfor	mgP/l	0,03	0,03	0,03	0,03	2,0
Taložive tvari po Imhofu	ml/l	0,1	0,1	<0,1	0,3	0,5
Test toksičnosti (48LC50)	%	5,23	5,18	79,0	3,20	>50
Teško hlapive lipofilne tvari (ukupna ulja i masti)	mg/l	3,4	3,3	1,94	1,56	20
Sulfati	mg/l	454,2	448,9	294,7	144,0	2000
Kadmij	mg/l	0,0328	0,0456	0,0070	0,000282	0,005
Cink	mg/l	0,0805	0,0813	0,0575	0,4437	2,0
Olovo	mg/l	0,4154	0,5526	0,1309	0,00279	0,02
Nikl	mg/l	0,1486	0,1966	0,1750	<0,1	0,05
Arsen	mg/l	0,0098	0,0362	0,00114	0,0045	0,05
Bakar	mg/l	0,0028	0,0039	0,00056	0,248	0,05
Hrom	mg/l	0,0839	0,0832	0,00422	0,01448	0,05
Mangan	mg/l	-	0,013	0,016	0,287	1,0



Slika 3.1. Lokacija uzorkovanja (Uzorak 1) - lokacija Jezero II (44.540470, 18.617755)



Slika 3.2. Lokacija uzorkovanja (Uzorak 2) - lokacija Jezero II (44.538114, 18.617218)

Uzorak 1 predstavlja otpadnu vodu uzetu sa aktivnog odlagališta Jezero II iznad gornje brane, dok je Uzorak 2 takođe, otpadna voda sa Jezera II uzeta ispod gornje brane. Ispust E2 je betonski kanala kojim voda slobodno otječe iz pravca Jezera II. Ispust E3 je glavni ispust otpadnih voda iz Termoelektrane Tuzla. Opadajući niz za teške metale po uzorcima je:

Uzorak 1: Cr>As>Cu>Pb>Ni>Zn>Cd>Mn

Uzorak 2: Cr>As>Mn>Cu>Pb>Ni>Zn>Cd

Uzorak 3: Mn>Cr>As>Cu>Ni>Pb>Zn>Cd

Uzorak 4: Pb>Mn>Cu>Cr>As>Zn>Ni=Cd



Slika 3.3. Raspored mjesta uzorkovanja tehnoloških otpadnih voda

Otpadne vode sa odlagališta Jezero II možemo podijeliti na:

- Otpadnu vodu koja se koristi za hidraulički transport, i
- Procjednu vodu sa odlagališta.

Prva vrsta otpadnih voda zbog površine odlagališta na koje dospjeva ima određeno vrijeme zadržavanje u kojem dio vode ispari, dio gravitaciono otječe prema najnižoj tački odlagališta a dio se procjeđuje kroz prethodne slojeve šljake i pepela gdje se zadržava ili prolazi dalje u podzemne vode. Procjedne vode sa odlagališta predstavljaju višak vode koji se ne može akumulirati i koji putem izgrađenog sistema, cjevovodom se ponovo vraća u TE Tuzla, dok dio procjedne vode se betonskim kanalom preko ispusta E2 (44.530168, 18.621266) ispušta bez tretmana u rijeku Jalu. Navedeno ispuštanje posebno je intenzivno u vrijeme oborina. Na osnovu rezultata analize otpadne vode za Uzorke 1 i 2 uočljiv je vrlo visok stepen toksičnosti od 5,23%, odnosno 5,12%. Utvrđena vrijednost ukazuje da je dovoljno svega 5,23% u prvom i 5,12 % slučaju da ugine >50% testnih organizama. Test toksičnosti predstavlja ukupnu procjenu uzorka odnosno na osnovu testa se procjenjuju kombinovani uticaji analiziranih ali i supstanci koje nisu obuhvaćene analizom.

Toksičnost otpadne vode predstavlja nezavisan parametar za procjenu njene kvalitete. Toksičnost vode je prouzrokovana prisustvom toksičnih supstanci u određenoj koncentraciji u samoj vodi. Hemijskom analizom vode određuje se sastav (prisustvo određenih zagađujućih tvari) i njihovu koncentraciju a test toksičnosti nam pokazuje negativan uticaj takvih tvari na žive organizme.

Na toksičnost analiziranih uzoraka najveći uticaj ima ekstremno visoka pH vrijednost ali i značajno visoke koncentracije teških metala. Prethodna istraživanja koja su rađena u sklopu projekta RECOAL takođe su pokazala vrlo visoku pH vrijednost ne samo vode kojom se vrši transport već i voda iz bušotina. Rezultati pokazuju veoma visoke pH vrijednosti za vode kojima se transportuje pepeo (12), procjedne vode iz deponije (10.5) i vode iz bušotine (10), kao i povišene vrijednosti elektro-provodljivosti⁸. Analiza je pokazala da ekstremno alkalne vode koje se koriste za transport pepela uništavaju kako bentičku, tako i faunu riba⁹. U analiziranim uzorcima otpadne vode uočljive su visoke koncentracije hroma, arsena, bakra, olova i kadmija

⁸ https://bib.irb.hr/datoteka/667887.RECOAL_Handbook_on_treatment_of_coal_ash_disposal_sites.pdf

⁹ Cairns, J., Dickson, K.L., Crossman, J.S., 1972. Biološki oporavak rijeke Clinch nakon zagađenja letećim pepelom: Zaključci sa 25 Međunarodne konferencije o otpadu. Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA, str. 182-192.

U anaerobnim uslovima (bez prisustva kisika) kakvi vladaju u tijelu odlagališta dolazi do redukcije arsena iz V-valentnog u III-valentni koji je toksičniji i mnogo mobilniji od V-valentnog. Upravo zbog ove osobine, moguće su vrlo visoke koncentracije arsena u podzemnim, odnosno bunarskim vodama u neposrednoj blizini aktivnog ali i zatvorenih odlagališta. Što se tiče hroma, prema ranijim istraživanjima on se u šljaki pepelu nalazi oko 30% kao Cr^{6+} , poznato je i naučno dokazano da je ovaj oblik hroma kancerogen za ljude. U prethodnom istraživanju zaključeno je da je u fazi transporta i odlaganja šljake i pepepla, hrom bio prisutan kao toksični Cr^{6+} i da je potom reduciran u reduktivnim uslovima na Cr^{3+} . Štaviše, vjerovatno je da se hrom prisutan kao kationski Cr^{3+} , adsorbuje u mnogo većoj mjeri na alkalnim česticama pepela što rezultira značajnim smanjenjem koncentracije rastvorenog hroma procjednim vodama¹⁰.

U ranijim istraživanjima u sklopu projekta RECOAL primjećene su znatno veće koncentracije arsena u bušotinama i procjednim vodama na deponiji Drežnik, u odnosu na vodu kojom se transportuje šljaka i pepeo na tada aktivno odlagalište Divkovići II. Odlagališta šljake i pepela predstavljaju sisteme u kojima se dešavaju različiti fizičko-hemijski procesi i gdje se hemijsko stanje prisutnih elemenata mijenja tokom vremena, zbog toga, ona u dužem vremenskom periodu predstavljaju izvor različitih zagađujućih tvari i gdje dominiraju teški metali. Ukoliko dno odlagališta i obodne strane nisu propisno izolirane a odlagalište pozicionirano na vodopropusnom tlu ili u dolinama lokalnih vodotoka (potok Banovac) postoji vrlo visok rizik od zagađenja podzemnih voda, odnosno bunarskih voda i izvorišta.

Prestankom odlaganja šljake i pepela na odlagalištu ne prestaju negativni uticaji na okoliš, oni jesu manji u pogledu emisije površinskih otpadnih voda ali tokom vremena uslijed procjeđivanja i dotoka oborinskih voda negativan uticaj na podzemne vode može oscilirati od pojačanog do umanjenog a sve u zavisnosti od brojnih geoloških i fizičko-hemijskih procesa u tijelu odlagališta. Visoka vrijednost elektroprovodljivosti u Uzorcima 1 i 2 rezultat je prisustva rastvorljivih soli odnosno prisustva visokih koncentracija kationa i aniona gdje prevladavaju Ca^{2+} i SO_4^{2-} . Visoka pH vrijednost otpadne vode od 13,49 i 13,45 bi trebala uticati na smanjenje koncentracija teških metala koji se javljaju u kationskom obliku, međutim u analiziranim uzorcima desilo se suprotno, visoke

¹⁰ Alex Dellantonio, Walter J. Fitz, Hamid Custovic, Frank Repmann, Bernd U. Schneider, Holger Grunewald, Valeria Gruber, Zeljka Zgorelec, Nijaz Zerem, Claudia Carter, Mihajlo Markovic, Markus Puschenreiter, Walter W. Wenzel: Environmental risks of farmed and barren alkaline coal ash landfills in Tuzla, Bosnia and Herzegovina, Environmental Pollution 153 (2008) 677-686.

koncentracije teških metala rezultat su oksidacijskih procesa uslijed visokog sadržaja otopljenog kisika, odnosno otpadna voda je zasićena kisikom.

Mjerno mjesto E3 (44.518810, 18.599027) je specifično na osnovu tri parametra koji ekstremno odstupaju od propisanih graničnih vrijednosti. pH vrijednost otpadne vode iznosi 2,38 što u suštini predstavlja vrlo kiselu otpadnu vodu koja ima razarajući negativan uticaj na ekosistem rijeke Jale. Ovakvo visoka kiselost uticala je na parametar toksičnosti koji iznosi 3,20% što predstavlja ekstremno nisku vrijednost, treći parametar koji je posebno uočljiv je sadržaj olova koji iznosi 2790 mg/kg. Ovakva vrsta otpadnih voda se bez prethodnog prečišćavanja ne smije ispuštati u rijeku Jalu. Takođe, nije poznato koji procesi unutar TE Tuzla kao i pripremne radnje na izgradnji bloka 7 su uticale na izrazito loš kvalitet otpadnih voda na mjernom mjestu E3.

3.2. Rezultati analize kvalitete bunarske i površinske izvorske vode

Višedecinijsko odlaganje šljake i pepela na vrlo uskom prostoru zapadnog dijela Tuzle kao i postojanje aktivnog odlagališta Jezera II ima tačno definisane negativne uticaje na okoliš od kojih su neki vidljivi kao što je podizanje prašine u sušnom periodu, prelivne vode za vrijeme oborina kao i destrukcija prirodnog zemljišta odloženom šljakom i pepelom. U cilju definisanja manje vidljivih negativnih uticaja u okviru izrade ovog dokumenta analizirali smo bunarske (podzemne) i površinske izvorske vode u okruženju odlagališta kako bi smo utvrdili njihov mogući uticaj na podzemne vode.

Obzirom da slična istraživanja kada su u pitanju podzemne vode posmatranog područja nisu rađena rezultati prikazani u ovoj Studiji su prvi takve vrste i mogu se koristiti i za utvrđivanje prirodnih koncentracija teških metala ali samo u slučaju kad one ne prelaze granične vrijednosti za pitke vode. Istraživanje koje smo proveli je u skladu i sa Okvirnom direktivom o vodama (2000/60/EC) i Direktive o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja kvalitete (2006/118/EC) čiji je cilj očuvanje dobrog hemijskog stanja podzemne vode. U tabeli 3.5 prikazani su rezultati analize podzemnih i površinskih voda naseljenih područja u blizini odlagališta šljake i pepela. Prostorni raspored mjernih mjesta prikazan je na slici 3.5. a u tabeli 3.6. koordinate mjernih mjesta.

Tabela 3.5 Rezultati analize kvalitete podzemnih i površinskih voda

Parametar	Jedinica	Bunar 1	Bunar 2	Bunar 3	Bunar 4	Bunar 5	Bunar 6	GVE
Boja	-	bez	bez	bez	bez	bjeličasta	bez	
Miris	-	nesvojstven	bez	bez	bez	nesvojstven	bez	
Ukus	-	-	-	-	-	-	-	
Mutnoća	NTU	1,1	0,77	1,2	0,5	17	0,8	
pH vrijednost	-	6,81	6,92	6,40	7,09	6,74	7,09	6,5-9,5
Utrošak KMnO ₄	mgO ₂ /l	2,0	1,20	0,40	1,20	2,0	3,3	5
Elektroprovodljivost (20 °C)	µS/cm	273	533	478	347	633	345	2500
Amonijačni azot	mgN/l	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,16	0,50
Rezidualni hlor	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,5
Hloridi	mg/l	10,0	20,0	18,0	8,0	27,0	15,7	250
Nitriti (NO ²⁻)	mg/l	0,29	0,02	0,00	0,00	0,10	0,13	0,5
Nitrati (NO ³⁻)	mg/l	7,55	6,99	54,27	16,04	19,95	13,6	50
Sulfati	mg/l	55,45	83,85	92,22	39,14	178,97	39,9	250
Željezo	mg/l	0,03	0,01	0,02	0,02	0,37	0,24	0,2
Kadmij	mg/l	<0,050	<0,050	0,0007	<0,050	<0,050	0,0049	0,005
Olovo	mg/l	0,00081	0,00071	0,0020	0,0007	0,0006	0,0889	0,01
Arsen	mg/l	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	0,01
Hrom	mg/l	<0,50	<0,50	0,0017	0,0011	<0,50	17,51	0,05
Mangan	mg/l	0,027	0,014	0,01	0,016	0,061	0,0290	0,05

Tabela 3.6. Koordinate mjernih mjesta podzemnih i površinskih voda

Bunar /izvorište	Bunar 1	Bunar 2	Bunar 3	Bunar 4	Bunar 5	Bunar 6	Izvorište
Koordinate:	44°31'44.6" 18°36'47.6"	44°31'41.8" 18°36'50.7"	44°31'44.2" 18°36'57.4"	44°31'43.7" 18°36'56.2"	44°31'41.9" 18°36'39.7"	44°32'36.0" 18°37'07.5"	44°32'13.0" 18°36'04.9"

**Slika 3.4.** Deponija Jezero 2 hidraulički transport šljake i pepela iz termoelektrane Tuzla



Slika 3.5. Prostorni raspored mjernih mjesta podzemnih i površinskih voda

Prosječna dubina svih analiziranih bunara iznosi oko 6 m. Bunarevi 1, 2, 3 i 4 se nalaze u naselju Hudeč, dok je bunar 6 najbliži aktivnom odlagalištu Jezero II. Bunar 1. se nalazi u naselju Hudeč, voda iz navedenog bunara se ne može koristiti za piće zbog mutnoće, mirisa koji nije svojstven za vode. Bunar 3. se nalazi u naselju Hudeč, voda iz navedenog bunara se ne može koristiti za piće zbog povišene koncentracije nitrata. Bunar 5. se nalazi u naselju Bukinje, voda iz navedenog bunara se ne može koristiti za piće zbog boje i mirisa koji nisu svojstveni pitkim vodama, povišene koncentracije željeza od 0,37 mg/l i povišene koncentracije mangana od 0,061 mg/l.

Obzirom da su tokom istraživanja utvrđene toksične koncentracije teških metala, posebno olova izvršeno je dodatno, prošireno uzorkovanje i analiza pitike vode kako bi se utvrdilo stanje kvalitete vode u odnosu na teške metale. Rezultati analize prikazani su u tabeli 3.7.

Tabela 3.7 Sadržaj teških metala u podzemnim i površinskim vodama

Parametar	Jedinica	Bunar 2	Bunar 3	Bunar 4	Bunar 6	Izvorište	GVE
Kadmij	mg/l	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,005
Olovo	mg/l	0,000580	0,000481	<0,10	0,002	<0,10	0,01
Arsen	mg/l	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	0,01
Hrom	mg/l	<0,50	<0,50	0,017	0,017	0,007	0,05
Mangan	mg/l	<0,10	<0,10	0,029	0,027	<0,10	0,05

Vidljivo je da u podzemnim i površinskim voda se pojavljuje olovo i hrom. Hemijski oblici olova u vodenoj sredini su veoma složeni. Olovo ima osobinu da stvara jedinjenja male rastvorljivosti sa većinom aniona prisutnih u vodi. Količina olova u površinskim vodama zavisna je od pH vode i sadržaja rastvorenih soli u vodi. Sadržaj olova u površinskim vodama široko varira u zavisnosti od izvora zagađivanja, sadržaja olova u sedimentu, i osobina sredine (pH, temperature itd.).

U uzorku vode iz Bunara 3 graničnu vrijednost prelaze nitriti. Azot se u vodi može pojaviti u četiri oblika: slobodni amonijačni, u obliku nitrita i nitrata i kao organski (albuminoidni). Prisustvo amonijačnog jona ukazuje na prisustvo nerazgrađene organske tvari. Takođe, to ukazuje na početnu fazu oksidacije prisutne organske tvari, odnosno da je zagađenje vode u početnoj fazi. Organski ugljik prisutan u vodi predstavlja količinu azota prije početka razlaganja. Prisustvo nitrita ukazuje da je dio organske tvari u vodi se dijelom razložio (oksidirao) u osnovi predstavlja intermedijarni stepen razlaganja prisutne organske tvari. Visoke koncentracije nitrata ukazuju da je organska materija prisutna u

vodi u potpunosti se razložila (oksidirala) odnosno ukazuje da je vodno tijelo već duži period pod uticajem zagađenja.

3.3. Rezultati analize kvalitete zemljišta na odlagalištima Plane i Drežnik

Proces odlaganja šljake i pepela na odlagalištima Plane i Drežnik prestao je prije 20 godina, od remedijacijskih tehnika primjenjeno je prekrivanje površinskog sloja šljake i pepela zemljištem prosječne debljine oko 20 cm. Nakon prekrivanja, započeo je proces autorekultivacije (javlja se samonikla vegetacija u obliku korova), dio površina lokalno stanovništvo je počelo koristiti u poljoprivredne svrhe (uzgoj žitarica i ispaša stoke). Obilaskom deponija utvrđeno je da su šljaka i pepeo uslijed poljoprivrednih aktivnosti na pojedinim dijelovima vidljivi i to uglavnom na horizontalnoj ravni. Obzirom da ovakve aktivnosti nisu spriječene niti je rekultivacija zatvorenih odlagališta u potpunosti završena, postoji vrlo visok rizik od unosa teških metala u lanac ishrane. Prvi je, usvajanjem metala putem korjenskog sistema gajenih kultura, a drugi tokom ispaše stoke koja osim trave u organazam unosi i sitne čestice šljake i pepela.

Sa aspekta plodnosti šljaka i pepeo se odlikuju sadržajem humusa koji se kreće u granicama slabe (1,14%) do visoke obezbjeđenosti (4,76%). Sadržaj kalcijevog karbonata se kreće od 0,3 do 3,3 %. Sve vrijednosti fiziološki aktivnog kalijuma (K_2O) su veoma visoke i kreću se od 39,7 do 110 mg/100 g tla¹¹. Utvrđeno je da je pepeo ugljena iz odlagališta u Tuzli visoko alkalan. Na temelju ranijih istraživanja, odlagalište Jezero, koje je napušteno 2003. godine, prosječna pH vrijednost je iznosila 9,2 na površini (0 do 20 cm) i 9,7 na dubini od 40 do 60 cm. Poznato je da sadržaj S u uglju i proces sagorijevanja utječu na pH pepela i šljake, sagorijevanjem uglja sa niskim sadržajem S daje alkalni pepeo i obrnuto¹². Na slici 3.6. prikazane su poljoprivredne površine na odlagalištu Plane sa kojih su uzeti uzorci površinskog sloja zemljišta, na slici 3.7. prikazana je ista lokacija odlagalište u vrijeme intenzivne poljoprivredne proizvodnje.

Visoka pH vrijednost šljake i pepela smanjuje mobilnost i pristupačnost većine teških metala, od ovog pravila odstupaju arsen (As), bor (B), molibden (Mo) i selen (Se)

¹¹ PLAN REHABILITACIJE ZA ZATVARANJE DEPONIJE ŠLJAKE I PEPELA "PLANE", "DIVKOVIĆI I" I "DIVKOVIĆI II" (u obnovljenom postupku), ENOVA d.o.o. Sarajevo, decembar, 2018. godine.

¹² Alex Dellantonio, Walter J. Fitz, Hamid Custovic, Frank Reppmann, Bernd U. Schneider, Holger Grünnewald, Valeria Gruber, Zeljka Zgorelec, Nijaz Zerem, Claudia Carter, Mihajlo Markovic, Markus Puschenreiter, Walter W. Wenzel: Environmental risks of farmed and barren alkaline coal ash landfills in Tuzla, Bosnia and Herzegovina, Environmental Pollution 153 (2008) 677-686.

koji su dostupni biljkama pri visokom pH. Kod odlagališta u ranoj fazi zatvaranja prisutne su vrlo visoke koncentracije (B) koje mogu imati fitotoksični uticaj. Terenskim obilaskom deponija potvrđeno je da su ove površine slabo vegetacijski pokrivene (brojnost je jako niska) te se razvijaju samo korovske biljne vrste. Zemljišta su plitka i siromašna te su šljaka i pepeo vidljivi kako na horizontalnoj ravni tako i na vertikalnim presjecima (otkopima)¹³. Za razliku od većine organskih polutanata koji vremenom gube svoju toksičnost, teški metali, tokom vremena, ne mogu biti razgrađeni niti uništeni. Rezultati analize uzoraka zemljišta sa površina koje se koriste za uzgoj biljnih kultura na odlagalištima Plane i Divkovići prikazani su u tabeli 3.8. U navedenoj tabeli prikazani su rezultati proračuna stepena zagađenja zemljišta (SZ).



Slika 3.6. Lokacija uzorkovanja zemljišta na odlagalištu Plane

Na slici 3.8. prikazane su poljoprivredne površine na odlagalištu Drežnik sa kojih su uzeti uzorci površinskog sloja zemljišta, a na slici 3.9. je prikazana ista lokacija u vrijeme intenzivne poljoprivredne proizvodnje.

¹³ PLAN REHABILITACIJE ZA ZATVARANJE DEPONIJE ŠLJAKE I PEPELA "PLANE", "DIVKOVIĆI I" I "DIVKOVIĆI II" (u obnovljenom postupku), ENOVA d.o.o. Sarajevo, decembar, 2018. godine.



Slika 3.7. Izgled poljoprivrednih kultura na lokaciji uzorkovanja, odlagalište Plane

Tabela 3.8. Parametri kvalitete zemljišta na odlagalištima Plane i Drežnik

Parametar	Jedinica	Plane	Drežnik	GVE	SZ, Plane	SZ, Drežnik
pH (H ₂ O)	-	8,93±0,06	7,90±0,13	-	-	-
pH (KCl)	-	8,36±0,06	6,55±0,08	-	-	-
Humus	%	0,7±0,07	0,9±0,011	-	-	-
CaCO ₃	%	2,42±0,13	4,63±0,24	-	-	-
Ukupni N	%	0,035±0,00	0,045±0,00	-	-	-
Fosfor(P ₂ O ₅)	mg/100g	3,079±0,313	4,6±0,050	-	-	-
Kalij(K ₂ O)	mg/100g	21,936±2,041	35,1±0,050	-	-	-
Hrom	mg/kg	81,61±4,10	113,91±0,050	50	163,2	227,8
Mangan	mg/kg	720,14±36,14	768,92±5,72	-	-	-
Kobalt	mg/kg	23,50±1,18	29,93±1,50	30	78,3	99,6
Nikl	mg/kg	189,15±9,40	368,49±18,32	30	630,5	1228,3
Kadmij	mg/kg	1,63±0,08	2,01±0,10	0,5	326,0	402,0
Olovo	mg/kg	20,48±1,03	22,89±1,15	50	40,6	45,7
Cink	mg/kg	43,67±2,24	54,25±2,78	100	43,6	54,2
Bakar	mg/kg	46,73±2,58	59,93±3,31	50	93,4	119,8

Na osnovu utvrđene pH vrijednosti zemljište na Planama i Drežniku je umjereno do jako alkalno što je nepovoljno za procese bioremedijacije zemljišta. Uočen je i nizak sadržaj humusa, nedostatak organske tvari u zemljištu vodi ka smanjenoj aktivnosti mikroorganizama čime se umanjuje produkcija amonijaka i hidrogensulfida, odnosno

smanjuje njihova oksidacija do jakih kiselina koje bi snizile pH vrijednost. Ovom Studijom, kada je u pitanju analiza površinskog sloja zemljišta nisu bili obuhvaćeni svi teški metali koji mogu predstavljati potencijalni rizik po ljudsko zdravlje. Kako bi obuhvatili većinu metala u tabeli 3.9 prikazani su podaci iz istraživanja (Dellantonio et al., 2008).



Slika 3.8. Lokacija uzorkovanja zemljišta na odlagalištu Drežnik



Slika 3.9. Izgled poljoprivrednih kultura na lokaciji uzorkovanja, odlagalište Drežnik

Tabela 3.9 Sadržaj teških metala u površinskom sloju, šljaci i pepelu na odlagalištima Plane i Drežnik, mg/kg

Parametar	Plane		Drežnik		GVE
	prekrivni sloj	šljaka i pepeo	prekrivni sloj	šljaka i pepeo	
Arsen	24	61	23	69	10
Bor	67	187	66	116	30
Kadmij	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5
Kobalt	33	41	35	38	30
Hrom	228	352	323	354	50
Cezij	5,2	9	5,4	9,1	-
Bakar	49	100	46	81	50
Molibden	0,4	0,9	0,5	0,7	10
Nikl	368	682	418	597	30
Olovo	22	17,4	18	16	50
Selen	1,3	2,3	1,4	1,8	-
Uran	1,3	2,5	1,0	2,6	-
Vanadij	64	120	82	148	30
Cink	82	85	80	90	100

Iz tabele 3.9 vidljivo je da su arsen, bor, kobalt, hrom, cezij, nikl i vanadij sadržani u odloženoj šljaci i pepelu u koncentracijama koje prelaze granične vrijednosti. Takođe, i u pokrivnom sloju osim bakra navedeni metali prelaze graničnu vrijednost i njihovo porijeklo je geogenog a ne antropogenog porijekla. Uzimajući u obzir koncentracije teških metala prikazanih u tabeli 3.7 i 3.8 izračunat je indeks ekološkog rizika koji za Plane iznosi 208,0 što predstavlja umjeren indeks ekološkog rizika za površinski, pokrivni sloj. Ukoliko odložena šljaka i pepeo dospije na površinu što je čest slučaj indeks ekološkog rizika za Plane iznosi 450,6 što predstavlja značajan ekološki rizik po okoliš. Kada je riječ o Drežniku, indeks ekološkog rizika površinskog sloja iznosi 257,3 što je umjeren indeks ekološkog rizika. Indeks ekološkog rizika za odloženu šljaku i pepeo na Drežniku iznosi 397,7 što je značajan ekološki rizik. Na temelju provedenog istraživanja može se zaključiti da pokrivni sloj, šljaka i pepeo nisu supstrat na kojem je dopušten uzgoj biljnih kultura. Najveći stepen zagađenja za oba odlagališta utvrđen je za nikl, zatim slijedi kadmij i hrom. Prema izračunatom stepenu zagađenja površinski sloj na oba odlagališta je ekstremno zagađeno i gdje je potrebno zabraniti uzgoj biljaka za humanu i animalnu upotrebu te je potrebno provesti cjelovite mjere sanacije i rekultivacije. Posebno su zabrinjavajuće vrlo visoke koncentracije hroma, kadmija i nikla. Teški metali u zemljištu klasificirani su na rastvorljive, izmjenjive (u organskim i neorganskim spojevima) i kao strukturalna nerastvorljiva komponenta minerala zemljišta. Od svih navedenih formi teških metala

najveći negativan uticaj imaju izmjenjivi (bio dostupni) i rastvorljivi koje su biljke sposobne usvojiti. Najveći negativan uticaj na biljni i životinjski svijet imaju arsen, živa, kadmij i olovo. Navedeni teški metali nisu esencijalni (potrebni živim organizmima) kod biljaka inhibiraju (sprječavaju) proces fotosinteze, utiče negativno na morfološko-anatomsku građu biljaka, akumuliraju se u korjenu, plodovima i na taj način ulaze u lanac ishrane.

Toksičnost spojeva hroma povezana je sa snažnim oksidirajućim svojstvima heksavalentnog spoja, koja se redukuje u trovalentni oblik nakon apsorpiranja u tijelo. Apsorpcija se odvija preko gastrointestinalnog trakta i pluća, a sistemski učinci mogući su i preko kože. Oko 60% apsorpirane doze izlučuje se u urin u unutar 8 sati nakon apsorpcije. Hromovi spojevi su iritansi kože i sluznice, a alergeni za kožu i pluća. Šestovalentni hromni spojevi su kancerogeni (bronhogeni karcinom). Respiratorni sistem glavni je put apsorpcije hroma. Hrom je prepoznat kao kontaktni alergen i karcinogen (rak pluća). Prema Međunarodnoj agenciji za istraživanje raka (IARC) šestovalentni hrom je klasificiran u Grupu 1 kancerogena.

Na temelju dosadašnjih istraživanja utvrđeno je da kadmij nema esencijalne biološke funkcije, ali je pronađen u više od 1000 vrsta terestrične i akvatične flore i faune. On je teški metal sa izrazitim negativnim uticajem za sve sastavnice okoline, zbog čega mu se i posvećuje posebna pažnja. 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 gdje dostiže visoke koncentracije i zbog toga je pristupačniji biljkama, za razliku od drugih teških metala u zemljištu. Prema Međunarodnoj agenciji za istraživanje (IARC) kadmij je klasificiran u Grupu 1 kancerogena, odnosno dokazani kancerogen za ljude i životinje. U ljudski organizam kadmij ulazi preko probavnog i disajnog sistema te preko kože. 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. Zadržava se u bubrezima i jetri i do 40 godina, a nakuplja se i u kostima. Kadmij uzrokuje i druge negativne efekte kod ljudi kao što su reproduktivna toksičnost, teratogenost, negativne efekte na jetri, hematološke (negativan uticaj na krv), endokrine (sistem žlijezda sa unutrašnjim lučenjem) i imunološke (otpornost organizma na bolesti) efekte.

Nikl se prvenstveno absorbira kroz disajni sistem, a manje se absorbuje u probavnom sistemu. Nikl se lako veže na proteine plazme i brzo se uklanja iz bubrega. Kod ljudi, nuspojave spojeva nikla topljivih u vodi javljaju se nakon kontakta s kožom i

nakon inhalacije (koja uzrokuje iritaciju dišnih putova i astmu). Izlaganje ljudi anorganskim niklovim spojevima netopivih u vodi obično se javljaju putem udisanja dima ili prašine. Akutna toksičnost nikla i njegovih jedinjenja je mala. Hronično trovanje može uzrokovati iritaciju kože i sluznica, te kontaktni dermatitis. Prema IARC postoji dovoljno dokaza da nikl i njegova jedinjenja uzrokuju rak pluća, nosne šupljine i paranazalnih sinusa.

Neorgansko olovo je klasificirano kao karcinogen Grupe 2A, odnosno vjerovatni kancerogenik za ljude. Olovo uneseno u ljudsko tijelo brzo se apsorbuje u krvotok i veže za eritrocite (poluživot od oko 20-40 dana), a većina dugotrajnog skladištenog olova (90%) pohranjeno je u koštanom tkivu (poluživot od 20-30 godina). Iz koštanog tkiva postepeno se otpušta nazad u krvotok, osobito pri fiziološkim ili patološkim razdobljima demineralizacije kostiju kao što su trudnoća, dojenje i osteoporoza. Olovo utiče na gotovo svaki sistem u tijelu, uključujući krv i krvožilni sistem, endokrini, probavni, imunološki, te reproduktivni sistem. Najkritičnije ciljno tkivo za olovo je središnji živčani sistem, osobito mozak u razvoju kod kojeg olovo može štetno djelovati na kognitivni razvoj i intelektualne performanse djece, čak i pri niskim nivoima izloženosti.



Slika 3.10. Jezero 2 odlagalište šljake i pepela termoelektrane Tuzla

4. ZAKLJUČCI

- Otpadna voda na aktivnom odlagalištu Jezero II pripada skupini alkalnih toksičnih voda sa vrijednostima teških metala kadmija, olova, nikla i hroma koji prelaze propisane dozvoljene granične vrijednosti. Ovakva vrsta otpadnih voda se bez prethodnog tretmana nesmije ispuštati u površinske vode, niti smije doći u kontakt sa podzemnim vodama.
- Zemljište na zatvorenim odlagalištima Plane i Drežnik koje se koristi za poljoprivrednu proizvodnju sadrži ekstremno visoke koncentracije nikla i povišene koncentracije hroma i kadmija. Prema izračunatom stepenu zagađenja na navedenim odlagalištima je potrebno zabraniti uzgoj biljaka za humanu i animalnu upotrebu te je potrebno provesti cjelovite mjere sanacije i rekultivacije u skladu sa važećim standardima iz ove oblasti. Dosadašnja mjera prekrivanja površinskog sloja odlagališta zemljom debljine oko 20 cm je nedovoljna i neučinkovita.
- Obzirom na činjenicu da u neposrednoj blizini aktivnog i zatvorenih odlagališta, na kojim nije ugrađen umjetni brtveni sloj, postoje bunarski i površinski izvori vode, na tom području je neophodno uspostaviti sistem monitoringa kvalitete podzemnih voda. Redovni monitoring bi obezbijedio preduslove da se na vrijeme reaguje u slučaju pogoršanja kvalitete podzemnih/izvorskih voda.
- Za sprečavanje štetnih uticaja na okoliš ili njihovo smanjenje u najvećoj mogućoj mjeri, posebno za sprečavanje i smanjenje onečišćenje površinskih voda, podzemnih voda kao i svake opasnosti za zdravlje ljudi do kojeg bi moglo doći zbog odlaganja šljake i pepela tokom cijelog životnog vijeka odlagališta temeljno tlo i bočne strane odlagališta moraju se sastojati od mineralnog sloja koji zadovoljava uslove vodonepropusnosti najmanje $K \leq 1,0 \times 10^{-7}$ m/s; debljina tla ≥ 1 m. Kada geološka barijera na prirodan način ne zadovoljava gornje uvjete, ona se može umjetno dopuniti i učvrstiti na druge načine kako bi pružala jednaku zaštitu. Umjetni brtveni sloj ne smije biti tanji od 0,5 metara.
- Neophodno je izraditi podzakonski akt kojim će se jasno propisati obavezne mjere kojim bi se spriječili štetni utjecaji deponija šljake i pepela na okoliš, te obaveza uspostavljanja redovnog monitoringa zagađenja zraka, tla, površinske i podzemne vode koji će se provoditi tokom rada deponije i nakon njenog zatvaranja.

5. LITERATURA


- [1] Alloway B.J. (1995): Heavy Metals in Soils, Blackie Academic & Professional. 318.
- [2] 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.
- [3] Goletić, Š.(2005): Teški metali u okolišu, Univerzitet u Zenici, Zenica.
- [4] National Recommended Water Quality Criteria- [dostupno na: <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/current/index.cfm>]
- [5] Kabata-Pendias, A. (2011): Trace Elements in Soils and Plants, Fourth Edition, CRC Press, USA
- [6] Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće ("Službene novine Federacije BiH", br. 113/10)
- [7] Dozic. A. (2015): 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.
- [8] Raask, E.(1985): The mode of occurrence and concentration of trace elements in coal, Fuel 11(1): 97-118.
- [9] Reintegration of Coal Ash Disposal Sites and Mitigation of Pollution in the West Balkan Area project No. 509173;[dostupno na:www.rhizo.at/RECOAL]
- [10] Swaine, D.J. (1990): Trace Elements in Coal, (M), Butterworth, London.
- [11] Swaine, D.J., Goodarzi, F. (1995): Environmental Aspects of Trace Elements in Coal
- [12] Uputstvu o postupku, radnjama i uslovima za vršenje kontrole plodnosti zemljišta („Službene novine FBiH“, br. 72/09).
- [13] 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
- [14] PLAN REHABILITACIJE ZA ZATVARANJE DEPONIJE ŠLJAKE I PEPELA "PLANE", "DIVKOVIĆI I" I "DIVKOVIĆI II" (u obnovljenom postupku), ENOVA d.o.o. Sarajevo, decembar, 2018. godine.
- [15] Alex Dellantonio, Walter J. Fitz ,Hamid Custovic, Frank Repmann, Bernd U. Schneider, Holger Gruñewald , Valeria Gruber, Zeljka Zgorelec, Nijaz Zerem, Claudia Carter, Mihajlo Markovic, Markus Puschenreiter, Walter W. Wenzel: Environmental risks of farmed and barren alkaline coal ash landfills in Tuzla, Bosnia and Herzegovina, Environmental Pollution 153 (2008) 677-686.



cee
centar za ekologiju i energiju





An aerial photograph of a winding river flowing through a mountainous, forested landscape. The river is light-colored, possibly due to sediment or snow, and meanders through the terrain. The surrounding land is covered in dense, dark green forest. The left side of the image is overlaid with a vertical teal-to-white gradient. The text 'ČUVAJMO OKOLIŠ!' is positioned in the lower right quadrant of the image.

ČUVAJMO OKOLIŠ!