Onečišćenje tla teškim metalima kao posljedica privremenog odlaganja čeličnog otpada namijenjenog obradi u čeličanama

Pavičić, Nikolina

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Metallurgy / Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:115:663713

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU METALURŠKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB FACULTY OF METALLURGY
SISAK

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb - Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

Nikolina Pavičić

ZAVRŠNI RAD

Sisak, srpanj 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

Nikolina Pavičić

ONEČIŠĆENJE TLA TEŠKIM METALIMA KAO POSLJEDICA PRIVREMENOG ODLAGANJA ČELIČNOG OTPADA NAMIJENJENOG OBRADI U ČELIČANAMA

ZAVRŠNI RAD

Voditelj: doc. dr.sc. Tahir Sofilić

Članovi Povjerenstva za ocjenu i obranu završnog rada:

Prof. dr. sc. Ankica Rađenović - predsjednica
Doc. dr. sc. Tahir Sofilić - član
Izv. prof. dr. sc. Ivan Brnardić - član
Izv. prof. dr. sc. Tamara Holjevac Grgurić – zamjenska članica

Sisak, srpanj 2017.

Zahvaljujem se svome voditelju doc. dr. sc. Tahiru Sofiliću na velikodušnoj pomoći, savjetima i strpljenju. Također se zahvaljujem svima koji su svojim prijedlozima i savjetima pridonijeli izradi ovog rada. Posebno se zahvaljujem mojim roditeljima na bezuvjetnoj potpori tijekom studiranja, te hvala mojoj sestri, bratu i prijateljima.

SAŽETAK

U ovom radu dan je prikaz onečišćenja tla teškim metalima uzrokovanog privremenim odlaganjem čeličnog otpada na nezaštićenim zemljanim površinama. Čelični otpad se koristi kao sirovina za proizvodnju čelika. Kao primjer ovakve vrste onečišćenja tla, dan je osvrt na ispitivanje tla provedenog na području tzv. *lomare* u sisačkoj čeličani. Na tom području se čelični otpad odlagao dugi niz godina te je bio izložen utjecaju atmosferilija što je dovelo do onečišćenja tla. U navedenom ispitivanju, analizirane su koncentracije teških metala u tlu (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb i Zn). Dobiveni rezultati analize uzoraka tla sa područja *lomare* uspoređeni su s rezultatima referentnog uzorka tla, kao i s preporučenim graničnim vrijednostima teških metala u tlu namijenjenog u industrijske i komercijalne svrhe prema Programu trajnog motrenja tala Hrvatske i graničnim vrijednostima teških metala u tlu propisanih Pravilnikom o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja.

Ključne riječi: onečišćenje tla, teški metali, čelični otpad, privremeno odlaganje otpada

Soil pollution with heavy metals as a result of temporary steel scrap storage intended for processing at melt shop

ABSTRACT

This paper reviews soil contamination with heavy metals caused by the temporary disposal of steel scrap on unprotected earthen surfaces. Steel scrap is used as a raw material for steel production. As an example of this type of soil pollution, a survey of soil testing carried out in the area of scrap yard at Sisak melt shop is given. In this area, steel scrap was disposed of for many years and was exposed to the influence of atmospheric conditions leading to soil contamination. Heavy metal concentrations in soil were investigated (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn). The results of the analysis of soil samples from the area of scrap yard are compared with the results of the reference soil sample as well as with the recommended heavy metals limit values in the soil intended for industrial and commercial purposes according to the Croatian Soil Monitoring Program and with the heavy metals limit values in the soil intended for agricultural purposes as well.

Key words: soil pollution, heavy metals, steel waste, temporary waste disposal

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. OPĆI DIO 2

   2.1. Onečišćenost tla teškim metalima u Republici Hrvatskoj 3

3. METALURGIJA ŽELJEZA I ČELIKA KAO IZVOR ONEČIŠĆENJA TLA 4

   3.1. Proizvodnja čelika elektropećnim postupkom kao izvor onečišćenja tla 5

4. ČELIČNI OTPAD I NJEGOVO PRIVREMENO ODLAGANJE KAO IZVOR ONEČIŠĆENJA TLA 9

   4.1. Onečišćenje tla privremeno odloženim čeličnim otpadom u sisačkoj čeličani 11

      4.1.1. Uzorkovanje tla sa područja *lomare* i kemijska analiza 13

      4.1.2. Rezultati kemijske analize tla sisačke *lomare* 17

5. ZAKLJUČAK 21

6. LITERATURA 22

1. UVOD

Tlo je gornji dio Zemljine kore, smješten između kamene podloge i njene površine. Sastoji se od čestica minerala, organske tvari, vode, zraka i živih organizama, a nastalo je od matične stijene pod utjecajem čimbenika pedogeneze djelovanjem niza procesa. Tlo ima brojne značajke koje mogu biti fizičke, kemijske i biološke prirode, ovisno o čimbenicima i procesima nastanka tla. Ono je trofazni sustav sastavljen od krute, tekuće i plinovite sastavnice koje tlu daju osobine porozne mase i osigurava životni prostor biljnog korijena i živih organizama. Najvažnija kemijska značajka tla je humus, a sastoji se od stabilne amorfne smjesa koloidnih supstanci koje utječu na ostale značajke, posebice na plodnost tla. Plodnost tla je preduvjet za ostvarivanje najvažnije uloge tla, a to je primarna proizvodnja organske tvari. Ostale važne uloge tla su ekološko-regulacijska, biološko-regulacijska, uloga prirodne pohrane tvari, prostorna i konzervacijsko-arhivna uloga, te uloga oblikovanja krajobraza [1].

Ranije se pod pojmom zaštite okoliša, prvenstveno mislilo na zaštitu zraka i vode, te se tlu nije pridavalo dovoljno pozornosti, a o tome u prilog govori i podatak da Republika Hrvatska još uvijek nema uređen Zakon o zaštiti tla kao ni mnoge druge članice Europske unije. Čovjek je svojim brojnim aktivnostima znatno oštetio tlo, ponegdje u tolikoj mjeri da se oštećeno tlo više ne može popraviti. Klasifikacija oštećenja tla je složen postupak, a najčešće vrste oštećenja su degradacija tla u intenzivnoj proizvodnji, onečišćenje i/ili zagađenje, translokacija i prenamjena tla [1].

Onečišćenje tla se u Programu trajnog motrenja tala Hrvatske [2] definira kao unos tvari, bioloških organizama ili energije u tlo, što rezultira u promjeni kakvoće tla te utječe na normalnu uporabu tla ili zdravlje ljudi i ostalih organizama. Izvori onečišćenja mogu biti prirodni (vulkanske erupcije, potresi, poplave, klizišta, šumski požari, prirodno radioaktivno zračenje, olujni vjetrovi i slično) i antropogeni koji su i znatno brojniji i štetniji. U njih ubrajamo primjenu organskih i mineralnih gnojiva i pesticida u poljoprivredi, industrije, izlijevanje goriva i ulja na tlo, utjecaj plinskih i energetskih postrojenja, otpadne vode, otpadni mulj, odlagališta, ratove, industrijske nesreće i slično. Industrijska proizvodnja negativno utječe na okoliš u cijelosti zbog emisija štetnih tvari u zrak, vodu i tlo. Industrijske djelatnosti koje mogu prouzročiti onečišćenje tla su nuklearne i termoelektrane, rudarstvo i prerada ruda, metalurgija, kemijska i elektronička industrija, te mnoge druge djelatnosti. Nužno je provoditi kontinuirano praćenje njihovih emisija u okoliš, te unaprijediti proizvodnju primjenom najbolje raspoloživih tehnika. Uredbom o postupku utvrđivanja objedinjenih uvjeta zaštite okoliša [3] utvrđene su industrijske djelatnosti u Republici Hrvatskoj koje svojim emisijama mogu dovesti do onečišćenja tla, zraka i vode, te su propisani uvjeti zaštite okoliša.

Jedna od industrija koja predstavlja mogući izvor onečišćenja tla je metalurška industrija bez obzira radi li se o industriji željeznih ili neželjeznih metala. U svakom dijelu procesa proizvodnje metala dolazi do nastanka onečišćujućih tvari koje mogu izravno ili neizravno utjecati na tlo. Ovisno o vrsti i kvaliteti sirovine i pomoćnih materijala koji se koriste u proizvodnji metala, nastaju razne onečišćujuće anorganske tvari poput teških metala (živa, olovo, kadmij, krom, nikal, cink, bakar, vanadij itd.), otpadnih plinova (sumporov (IV) oksid, dušikovi oksidi, amonijak, sumporovodik, ugljikov (IV) oksid, ugljikov (II) oksid,

metan itd.). U industriji proizvodnje metala nastaju i razne organske onečišćujuće tvari poput benzena, fenola, policikličkih aromatskih ugljikovodika, polikloriranih bifenila, postojanih organskih onečišćujućih tvari poput polikloriranih dibenzo-*p*-dioksina i polikloriranih dibenzofurana, cijanida, masti i ulja. Sve ove tvari u tlo mogu dospjeti atmosferskom depozicijom otpadnih plinova i prašine iz zraka ili direktno, odlaganjem sirovina, proizvodnih ostataka ili nusproizvoda na nezaštićeno tlo [2].

2. OPĆI DIO

Onečišćenje tla teškim metalima obično je posljedica prekomjernog unošenja toksičnih teških metala u i na tlo uzrokovano ljudskom djelatnošću. Od velikog broja metala koji pripadaju ovoj skupini, najčešće je kao onečišćujuća tvar prisutna Hg, Cd, Pb, Cr, As, Zn, Cu, Ni, Sn, V itd. Do nedavno, onečišćenju tla se nije pridavala jednaka pozornost kao onečišćenju vode i zraka iako visoke koncentracije teških metala u tlu predstavljaju veliku opasnost za živi svijet na tlu i u tlu kao i u cijelom okolišu. Naime, kad se tlo jednom onečisti teškim metalima, vrlo teško ga je oporaviti. Iako teški metali kratkoročno ne štete okolišu, kroz duže vremensko razdoblje, daljnjom akumulacijom ili promjenom uvjeta u tlu, oni mogu postati ekološki aktivni te uzrokovati ozbiljne ekološke probleme [4].

Posljednjih 20-tak godina odnosu prema pitanju onečišćenosti tla se pridaje sve veća pozornost, čemu je značajno doprinijela pojava degradiranih tala i pronalaženje rješenja za poboljšanje njegove kvalitete, posebno u razvijenim zemljama.

Iako je onečišćenost tla teškim metalima teško uočljiva jer ga ne karakterizira promjena boje ili mirisa, ono može uzrokovati brojne promjene kemijskih, fizičkih i bioloških značajki tla što na kraju može ograničiti ili onemogućiti njegovo daljnje korištenje. Tako npr, teški metali u tlu smanjuju mikrobnu i kemijsku aktivnost tla, a samim time smanjuje se njegova plodnost. Pojedini teški metali (Fe, Co, Cu, Zn, Mn) su esencijalni za razvoj živih organizama, no prekomjeran porast njihove koncentracije može štetno djelovati na biljni i/ili životinjski svijet tla. Ponekad, koncentracije teških metala koje premašuju tolerantne granice kod biljaka, narušavaju odvijanje procesa fotosinteze, sintezu proteina, uzrokuju oštećenje stanične membrane u biljkama, te u konačnici njeno odumiranje [4].

Jedna od posljedica onečišćenosti tla može biti i nastanak kiselih kiša. Naime, onečišćeno tlo uslijed procesa denitrifikacije može biti izvorom emisije relativno velikih količina dušika, zbog isparavanja amonijaka i raspadanja organskih tvari u tlu, što rezultira oslobađanjem dušikovih i sumporovih spojeva koji u atmosferi prelaze u kiselu kišu. Nadalje, kisele kiše nastavljaju degradaciju tla smanjujući mu pH vrijednost sprječavajući obavljanje funkcije pufera što dovodi do smrti biljaka [5].

Teški metali iz tla mogu dospjeti u ljudski organizam izravno i to najčešće apsorpcijom kroz kožu (perkutano) i udisanjem (inhalacijom) lebdeće prašine u kojoj su prisutni. Drugi pak način dospijevanja teških metala u ljudski organizam je neizravno tj. uzimanjem hrane (ingestijom) metalima onečišćene hrane i/ili vode. Teški metali se često

akumuliraju u tijelu, a mogućnost detoksikacije organizma je ograničena pa se sporo izlučuju iz ljudskog tijela i toksično djeluju na pojedine organe. Tako npr. Cd utječe na razinu kalcija u kostima što rezultira krhkim kostima, Pb se akumulira u kostima, a toksično djeluje i na bubrege, jetru, reproduktivni sustav, živčani i imunološki sustav itd. Ni, Cu i As su kancerogeni i uzrokuju rak kože, jetre, pluća, debelog crijeva i urinarnog sustava. Hg utječe na rad mozga i neurološkog sustava [4].

U dostupnoj literaturi [6-11] se mogu pronaći podaci o onečišćenosti tla teškim metalima iz različitih izvora kao što su odlagališta elektroničkog otpada, odlagališta otpadnih automobila, poljoprivreda, transport, energetska postrojenja, postrojenja za preradu metala, kemijska industrija, metalurška industrija, itd.

2.1. Onečišćenost tla teškim metalima u Republici Hrvatskoj

U Hrvatskoj, kao niti u Europskoj uniji, ne postoji zakonska obveza identifikacije onečišćenih i potencijalno onečišćenih lokacija. Nisu definirane onečišćujuće tvari, izvori onečišćenja, kao ni maksimalno dopuštene koncentracije onečišćujućih tvari u tlu. Za Republiku Hrvatsku (RH) postoji samo Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta [12] koji propisuje granične vrijednosti (GV) koncentracija pojedinih onečišćujućih tvari pa tako i koncentracije teških metala za poljoprivredno zemljište, tablica 1. Zbog toga je otežano definiranje i sustavno motrenje onečišćenog zemljišta koje se koristi za druge namjene [13].

Tablica 1. Maksimalno dopuštene količine teških metala u poljoprivrednom zemljištu [12]

Vrsta tla	**GV, mg/kg suhe tvari**						
	Cd	**Cr**	**Cu**	**Hg**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
Pjeskovito tlo	0,0-0,5	0-40	0-60	0,0-0,5	0-30	0-50	0-60
Praškasto – ilovasto tlo	0,5-1,0	40-80	60-90	0,5-1,0	30-50	50-100	60-150
Glinasto tlo	1,0-2,0	80-120	90-120	1,0-1,5	50-75	100-150	150-200

Pojedine zemlje Europske unije propisale su granične vrijednosti onečišćujućih tvari u tlu s obzirom na njegovu namjenu. Te granične vrijednosti, s obzirom na sličnosti geološke podloge, načina korištenja tla i izvora onečišćenja pojedinih zemalja i Hrvatske, poslužile su kao osnova za izradu prijedloga graničnih vrijednosti za tlo različitih namjena, tablica 2, što je sadržano u Programu trajnog motrenja tala Hrvatske [2].

Tablica 2. Preporučene granične vrijednosti teških metala u tlu prema različitim načinima korištenja tla u RH [2]

Metal i njegovi spojevi u tlu	**Način korištenja tla - namjena**				
	Tlo za poljoprvrednu proizvodnju	Dječja igrališta	Područje za stanovanje	Parkovi i rekreacijska područja	Područja za industrijske i komercijalne svrhe
	Preporučena granična vrijednost (mg/kg suhe tvari)				
Cd	2	5	10	30	50
Cu	60	60	100	300	500
Ni	50	50	70	200	500
Pb	100	100	100	500	1000
Zn	200	200	300	700	1200
Cr	100	100	200	500	750
Hg	2	5	10	30	50

Na lokacijama onečišćenim teškim metalima u Hrvatskoj najčešće se javljaju As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb i Zn. Rezultat su antropogenih djelatnosti kao što je industrija, energetska postrojenja, rudarske djelatnosti, odlaganje otpada, pročišćavanje otpadnih voda, posljedice rata i vojni poligoni, promet i poljoprivredna djelatnost [13].

3. METALURGIJA ŽELJEZA I ČELIKA KAO IZVOR ONEČIŠĆENJA TLA

Metalurška industrija jedan je od značajnih antropogenih izvora onečišćenja okoliša. U procesima proizvodnje željeza i čelika nastaje niz onečišćujućih tvari koje u okoliš mogu dospjeti emisijama u sve njegove sastavnice tj. zrak, vodu i tlo. S obzirom na to da su sastavnice okoliša međusobno povezane, emisije ispuštene u jednu sastavnicu često imaju za posljedicu onečišćenje druge sastavnice. Primjera kojima se može ilustrirati povezanost onečišćenosti među sastavnicama okoliša ima mnogo i vrlo često su predmetom istraživanja poput onečišćenja tla suhim i mokrim depozicijama iz zraka onečišćujućih tvari iz metalurške industrije ili utjecaja onečišćenih otpadnih voda na onečišćenost tla i sl. Sve sastavnice okoliša mogu biti onečišćene izravno ili neizravno i nepropisnim odlaganjem proizvodnog i drugog otpada iz mnogih proizvodnih postrojenja o čemu se također mora voditi briga.

U procesima proizvodnje željeza i čelika nastaju relativno velike količine otpadnih dimnih plinova koji obično sadrže prašinu u kojoj znaju biti prisutni i teški metali, različiti plinovi poput CO, CO_2, H_2S, NH_3, HCl, NO_x itd. kao i organske onečišćujuće tvari. Da bi se spriječilo širenje ovih onečišćujućih tvari u okoliš, potrebno je provesti odgovarajuće mjere sprječavanja pročišćavanjem dimnih plinova prije njihovog ispuštanja u atmosferu.

Osim neizravnog onečišćenja tla uzrokovanog depozicijom onečišćujućih tvari iz zraka, tlo može biti neizravno onečišćeno i utjecajem otpadnih voda iz metalurških postrojenja koja koriste veće količine vode od bilo koje druge prerađivačke industrije. Voda se procesima proizvodnje željeza i čelika uglavnom koristi za hlađenje agregata, hlađenje i granulaciju troske, hlađenje žile kod kontinuiranog lijevanja čelika, za mokru regeneraciju ljevaoničkog pijeska, te za hlađenje i pročišćavanje dimnih plinova. Nakon pročišćavanja dimnih plinova, u otpadnim vodama zaostaju znatne količine mulja koje je potrebno odvojiti i zbrinuti na odgovarajući način jer njegovo nepropisno odlaganje također može dovesti do onečišćenja tla.

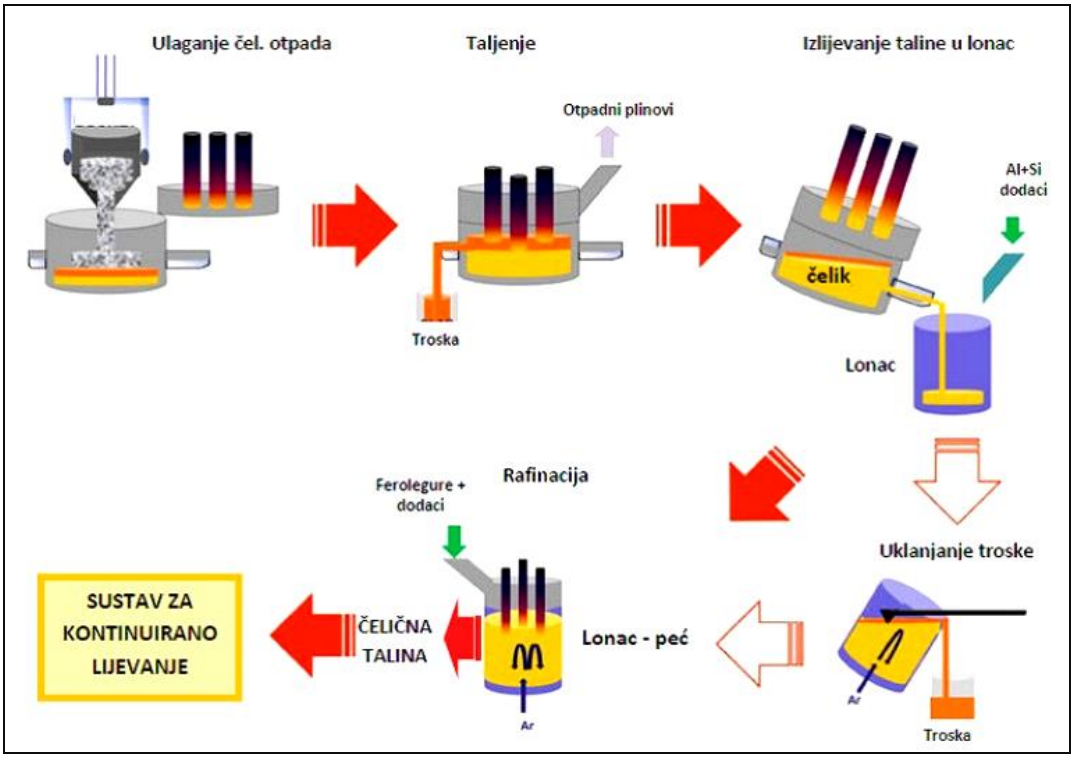
Izravno onečišćenje tla može biti uzrokovano i odlaganjem proizvodnog i drugih vrsta otpada nastalog u procesima proizvodnje željeza i čelika kao što su troske, iskorišteni vatrostalni materijali, ogorina, metalne strugotine itd. Nepropisno odloženi otpad na tlo uokolo proizvodnih pogona, izložen je utjecaju atmosferilija što uzrokuje migraciju topljivih štetnih tvari iz otpada s površine tla u njegove dublje slojeve. Pri ovome može doći i do onečišćenja podzemnih voda što problem onečišćenog tla čini još većim. Nadalje, do izravnog onečišćenja tla može doći i zbog nepropisnog privremenog odlaganja sirovina predviđenih uporabi u pojedinim metalurškim procesima, a koje se često odlažu na nezaštićenim zemljanim površinama [1].

3.1. Proizvodnja čelika elektropećnim postupkom kao izvor onečišćenja tla

Gotovo sva metalurška postrojenja mogu više ili manje, izravno ili neizravno utjecati na onečišćenost tla, pa tako i procesi proizvodnje čelika. Naime, proizvodnja čelika kao najzastupljenijeg tehničkog materijala koji ima vrlo široku primjenu, ujedno predstavlja i proces koji mora biti tako uređen da se njegov mogući štetan utjecaj na okoliš svede na najmanju moguću mjeru.

U današnje vrijeme čelik se proizvodi uglavnom postupcima u kisikovim konvertorima i u elektrolučnoj peći (ELP), dok je postupak u Siemens – Martinovim pećima gotovo potpuno napušten. S obzirom na to da je elektropećni postupak proizvodnje čelika u EU i najzastupljeniji, u nekim članicama EU njegov udjel iznosi čak 100 % (Grčka, Luksemburg, Portugal, Slovenija, Bugarska i Hrvatska). Danas ovim postupkom u prosjeku proizvodi oko 40% od ukupne količine proizvedenog čelika u EU [14]. Ovaj postupak proizvodnje čelika se odvija u nekoliko faza, a započinje ulaganjem metalnog uloška, zatim slijedi taljenje i oksidacija, izlijevanje čelične taline u lonac gdje se provodi rafinacija taline.

U procesu proizvodnje čelika elektropećnim postupkom, slika 1, kao osnovna sirovina se koristi čelični otpad, uz kojeg se koriste i različiti dodaci (vapno, dolomit, kalcijev fluorit itd.) i ostali prateći materijali. Osim čeličnog otpada, za pripremu metalnog uloška se koristi i sirovo željezo u količini do najviše 10% od ukupne mase uloška [14].



Slika 1. Shematski prikaz ciklusa proizvodnje čelika elektropećnim postupkom [14]

U procesu proizvodnje čelika elektrolučnim pećima nastaju relativno velike količine dimnih plinova i čvrstih proizvodnih ostataka što ponekad može uzrokovati onečišćenje tla i to izravnim i/ili neizravnim djelovanjem.

Naime, za vrijeme rada elektrolučne peći nastaju onečišćujuće tvari koje u okoliš dospijevaju tzv. primarnim i sekundarnim emisijama. Primarne emisije iz elektropećnog procesa su emisije tijekom faze taljenja čeličnog otpada i rafinacije čelične taline, a sekundarne emisije se javljaju tijekom ulaganja čeličnog otpada u peć, skidanja troske s površine čelične taline i izlijevanja čelika iz elektropeći. Primarne emisije čine oko 95 % ukupnih emisija iz ELP i po količini onečišćujućih tvari su oko 10 puta veće od sekundarnih emisija [15]. Bilo da se radi o primarnim ili sekundarnim emisijama, a koje se javljaju za vrijeme rada elektrolučne peći, u njima se nalazi prašina, teški metali, oksidi dušika i sumpora i razni organski spojevi.

Kako bi se spriječilo širenje ovih onečišćujućih tvari u okoliš, obično se instaliraju uređaji za sakupljanje emisija iz elektropećnog postupka dobivanja čelika i provode različiti postupaka pročišćavanja otpadnih plinova.

Osim onečišćujućih tvari koje bivaju nošene otpadnim dimnim plinovima iz elektrolučne peći, a zatim suhom ili mokrom depozicijom dospiju na tlo i onečiste ga, tlo može biti onečišćeno i izravnim djelovanjem čvrstog proizvodnog i drugog otpada (elektropećna prašina, troska, ogorina, iskorišteni vatrostalni materijal, otpad od grafitnih elektroda i sl.). U prošlosti je na nezaštićene zemljane površine uz same čeličane vrlo često odlagan ovaj proizvodni otpad, što je kroz duže vremensko razdoblje, a kao posljedica interakcije onečišćujućih tvari i atmosferilija, uzrokovalo značajna onečišćenja tla teškim metalima.

Elektropećna prašina – je opasni proizvodni otpad čiji kemijski sastav ovisi o kvaliteti čeličnog otpada, kvaliteti proizvedenog čelika i tehnološkim uvjetima rada peći. Prema prosječnoj kemijskoj analizi elektropećne prašine, u njoj je najzastupljenije željezo s 10-45 % od ukupne mase, a zatim Zn, Pb, Cr, Cd, Mn, Cu, Si, Ca, Al, S, C, K i Na sa znatno manjim udjelima. Elektropećna prašina se postupcima pročišćavanja izdvaja iz dimnih plinova te se provodi njena oporaba. Oporaba se može provoditi procesima kojima se ne iskorištavaju prisutni metali, već se prašina prevodi iz statusa opasnog otpada u status neopasnog otpada (procesi stabilizacije/inaktivacije elektropećne prašine i procesi vitrifikacije/postakljivanja) i odlaže ili postupcima u kojima se iskorištavaju prisutni metali (pirometalurški i hidrometalurški procesi obrade elektropećne prašine). Iz elektropećne prašine izdvajaju se pojedini metali, poput željeza i cinka, što ovisi o njihovoj koncentraciji i ekonomskoj isplativosti. Ako se neobrađena elektropećna prašina nepropisno odlaže na nezaštićenu zemljanu površinu, dolazi do izravnog onečišćenja tla teškim metalima, koji mogu prodrijeti u njegove dublje slojeve, narušavajući njegovu kvalitetu, te onečistiti podzemne vode što dodaje novu težinu problemu onečišćenja tla. Onečišćenje tla na ovaj način nekada je bio vrlo čest slučaj jer se prašina odlagala na nepropisnom i nezaštićenom odlagalištu unutra tvorničkog kruga, slika 2a [14, 15].

Izravno onečišćenje tla može nastupiti i odlaganjem troske, istrošenih vatrostalnih materijala, ogorine i lomljenih grafitnih elektroda. Pri tome dolazi do promjene fizikalno-kemijskih svojstava tla što utječe na produktivnost i biogenost tla, te može doći do onečišćenja podzemnih voda.

Troska – nastala u elektropećnom procesu proizvodnje čelika može biti troska nastala u elektropeći kao i troska nastala za vrijeme rafinacije taline u lonac peći. Elektropećna troska, slika 2b, je po količini najznačajniji otpad iz elektropećnog procesa (60-270 kg/t sirovog čelika), a sastoji se od oksida Ca, Fe, Si, Al, Mg i Mn povezanih u složene spojeve kalcijevih silikata, aluminosilikata i aluminoferita. Troska se ranije često odlagala unutar tvorničkog kruga. Danas se pribjegava mnogo boljem rješenju njenog zbrinjavanja, a to je uporaba u graditeljstvu kao agregat u cestogradnji i izradi betona. Troska se koristi i u procesu proizvodnje čelika za izradu materijala za tzv. popravak ozida peći, a uporabljuje se i u drugim industrijskim granama, kao i u poljoprivredi.

Troska iz lonac peći, slika 2c, nastaje tijekom rafinacije taline, i to u znatno manjim količinama u odnosu na količine elektropećne troske, a također se može koristiti u proizvodnji čelika, industriji cementa ili graditeljstvu [14].

Ogorina – nastaje u čeličani tijekom čišćenja odlivenih i ohlađenih čeličnih gredica ili okruglica, slika 2d, a može nastati i pri njihovom zagrijavanju, koje prethodi oblikovanju čelika u proizvode (cijevi, limove i sl.). Sadržaj Fe, oksida Si, Al, Ca i Mg daje ogorini svojstva vrijednog materijala koji se može koristiti u različite svrhe, pa se tako ogorina pokazala dragocjenim materijalom kao dodatak željeznoj rudi u postupku sinteriranja, zatim se koristi u proizvodnji ferolegura, kao dodatak ulošku elektropeći, a može se koristiti u industriji cementa [14].



Slika 2. Najčešći proizvodni otpadi iz procesa proizvodnje čelika elektropećnim postupkom [14,16]

Vatrostalni materijali **–** od kojih se izrađuju oblikovani i neoblikovani proizvodi, najčešće se koriste za unutarnje oblaganje elektropeći, lonaca za transport i doradu čelične taline, razdjelnika za lijevanje taline itd. Ovi materijali mogu biti na bazi magnezijevog oksida, smjese magnezijevog i kromovog oksida, smjese magnezijevog oksida i grafita i sl., što ovisi o njihovoj namjeni i uvjetima u kojima će se koristiti. Vatrostalni materijal je u peći izložen trošenju uslijed korozije, oksidacije i erozije, te je potrebno njegovo redovito održavanje i zamjena dotrajalih opeka kako bi se osigurao ispravan i učinkovit rad peći. Istrošeni vatrostalni materijal, slika 2e, obično predstavlja neopasni otpad kojeg se zbrinjava na zakonom propisan način [14].

Grafitne elektrode **–** su izrađene od mješavine naftnog koksa, katrana i dodataka. Uz kontinuiranu potrošnju elektroda, često dolazi i do raskola vrha elektrode zbog mehaničkih i toplinskih naprezanja, kao i loma elektrode pri montaži. One tada postaju otpad kojeg se naziva otpad grafitnog loma, slika 2f. Takav otpad se uglavnom prodaje na domaćem i inozemnom tržištu i koristi uglavnom u kemijskoj i elektroindustriji, iako se može koristiti i u vlastitom procesu kao sredstvo za naugljičavanje taline [14].

Osim nepropisnog odlaganja spomenutih vrsta proizvodnih otpada na tlo, čime dolazi do njegovog onečišćenja, vrlo značajan utjecaj na onečišćenja tla u neposrednoj blizini čeličane, predstavlja i praksa privremenog odlaganja čeličnog otpada na nezaštićenoj zemljanoj površini, a kojemu predstoji priprava za taljenje u elektropeći.

4. ČELIČNI OTPAD I NJEGOVO PRIVREMENO ODLAGANJE KAO IZVOR ONEČIŠĆENJA TLA

Čelični otpad, ili kako se često naziva *staro željezo*, koristi se kao sirovina za proizvodnju čelika u elektropećima gdje udio čeličnog otpada u metalnom ulošku često iznosi i do 100% , a prema podrijetlu, čelični otpad se dijeli na [17]:

- vlastiti (tvornički) otpad koji nastaje prilikom izrade i prerade čelika, relativno je čist, poznatog kemijskog sastava i lako se reciklira;
- procesni (novi) otpad koji potječe od mehaničke obrade tijekom izrade čeličnih proizvoda, koristan je za recikliranje nakon sortiranja i pripreme i
- stari (amortizirani) otpad koji se sastoji od čeličnih proizvoda na kraju životnog vijeka, najnekvalitetniji otpad.

U čeličnom otpadu primjese se javljaju u tri oblika [17]:

- primjese u čistom stanju pomiješane sa željeznim komponentama čeličnog otpada koje se mogu odvojiti mehaničkim putem (npr. željezo i bakar u elektromotorima),
- primjese korištene nanošenjem metalnih prevlaka na čeličnim proizvodima (npr. kontaminacija cinkom potječe od galvaniziranih čeličnih limova) i

- legirajući elementi prisutni kao otopljeni u volumenu čeličnog otpada (npr. otpad iz legiranih čelika niklom, kromom i molibdenom).

Čistoća otpada utječe na kvalitetu gotovog proizvoda, pa je bitno da otpad ne sadrži veće količine neželjeznih i nemetalnih materijala, poput zemlje, gume, plastike, tkanine, drveta i drugih organskih supstanci. Dimenzije otpada su propisane i usklađene s dimenzijama košara za ulaganje i dimenzijama same elektropeći, slika 3. Dijelovi otpada, koji ne zadovoljavaju po dimenzijama, prije ulaganja u peć se usitnjavaju/lome te se prostori na kojima se obavlja ova aktivnost često nazivaju *lomara*. Prema kvaliteti, čelični otpad se dijeli u 11 kategorija koje se označavaju slovnim i brojčanim oznakama [18] kao npr. stari otpad (E3, E1), novi otpad (E2), otpad s nižim sadržajem primjesa (E8, E6), zdrobljeni otpad (E40), čelična strugotina (E5H, E5M), laki legirani otpad s visokim sadržajem primjesa (EHRB), otpad s visokim sadržajem ostataka (EHRM) i zdrobljeni otpad nakon spaljivanja komunalnog otpada (E46) .



Slika 3. Košara sa čeličnim otpadom iznad otvorene elektrolučne peći [19]

U prošlosti je vrlo često bila praksa da se otpad nabavljen za proizvodnju čelika privremeno odlaže/skladišti na otvorenom prostoru tj. na nezaštićenim zemljanim površinama, slika 4. Tako je odloženi čelični otpad, koji je duže ili kraće čekao na uporabu, bio izložen

vremenskim uvjetima pri čemu je nerijetko dolazilo do ispiranja onečišćujućih tvari sadržanih u otpadu i njihovog širenja u okoliš.

To je, naravno, uzrokovalo onečišćenje tla različitim organskim i anorganskim tvarima koje su u otpadu obično sadržane u obliku različitih prahova, nakupina, tekućih fluida i taloga. Ova spoznaja, da do onečišćenja okoliša, a posebice tla, može doći i prije nego što započne proces proizvodnje čelika ulaganjem čeličnog otpada u elektrolučnu peć posebno posljednjih 15-etak godina, zainteresirala je mnoge istraživače [6-11].



Slika 4. Skladištenje čeličnog otpada na nezaštićenoj zemljanoj površini [20]

4.1. Onečišćenje tla privremeno odloženim čeličnim otpadom u sisačkoj čeličani

U Hrvatskoj se čelik proizvodio elektropećnim postupkom u dvije mini čeličane u Sisku i Splitu koje su kao sirovinu za proizvodnju čelika koristile čelični otpad. Kako je i u našim čeličanama bila praksa odlagati nabavljeni čelični otpad na nezaštićenim zemljanim površinama, na kojima je znao stajati i više godina te bio izložen vremenskim uvjetima, bilo je upitno da li je došlo do ispiranja onečišćujućih tvari iz otpada i njihovog širenja u okoliš odnosno je li tlo ispod *lomare* onečišćeno. Da bi se odgovorilo na ovo pitanje odnosno da bi se utvrdio utjecaj privremenog skladištenja čeličnog otpada na onečišćenost tla teškim metalima, provedeno je ispitivanje tla u čeličani Sisak [10] gdje je tlo dugi niz godina bilo izloženo izravnom utjecaju čeličnog otpada.

Ispitivanje je provedeno na području tzv. *lomare* ukupne površine 5300 m^2. U blizini lomare nema drugih postrojenja koja bi svojom djelatnošću mogla uzrokovati onečišćenje tla, dok je najbliži vodotok rijeka Sava udaljena 1,5 km u smjeru sjeveroistoka.
Čelični otpad se u tvornički krug dovozio kamionima ili željezničkim vagonima, slika 5 te se odlagao na nezaštićeno tlo, slika 6.



Slika 5. Dovoz čeličnog otpada u željezničkim vagonima [22]



Slika 6. Privremeno odlaganje/skladištenje čeličnog otpada na nezaštićenom tlu [22]

Čelični otpad se zatim priprema postupcima sječenja kako bi se prilagodio karakteristikama peći, slika 7, nakon čega se ulaže u košare i kranom odvozi na ulaganje u ELP. Za vrijeme sječenja obično dolazi do rasipanja ili prolijevanja onečišćujućih tvari koje su u čeličnom otpadu najčešće prisutne u obliku različitih prahova, nakupina, tekućih fluida, taloga i slično [10].

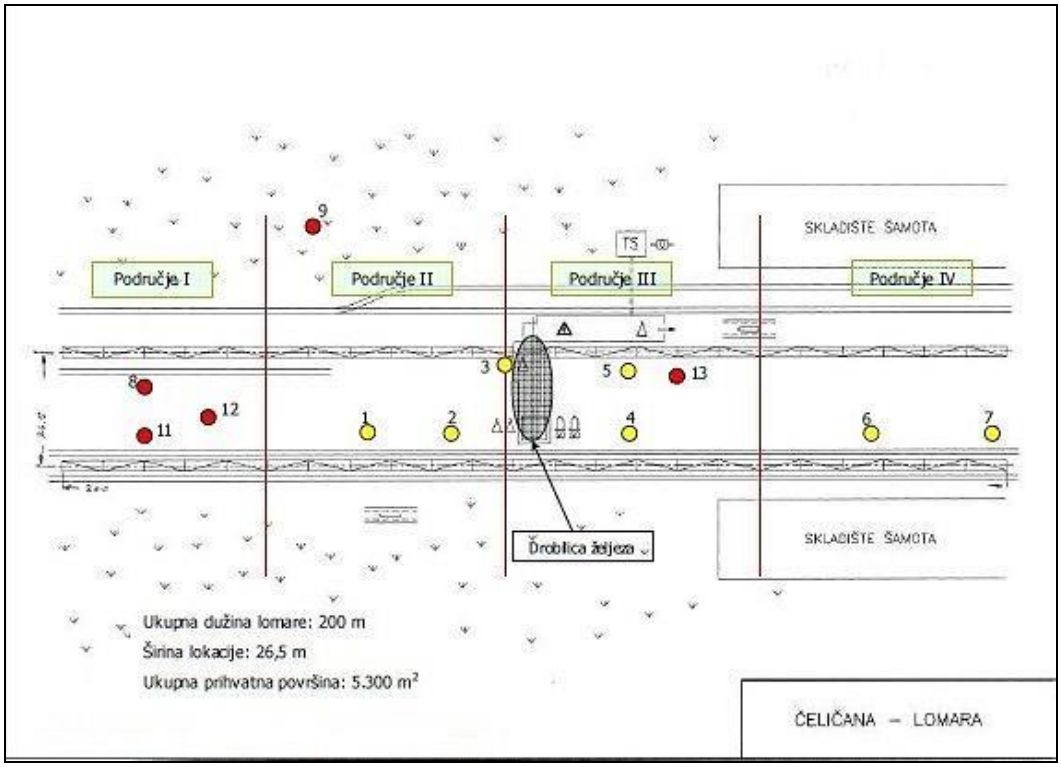


Slika 7. Uređaj za sječu i usitnjavanje čeličnog otpada [22]

4.1.1. Uzorkovanje tla sa područja *lomare* i kemijska analiza

Uzorkovanje tla na područje *lomare* ukupne površine u iznosu 5300 m^2 provedeno je nakon što je cijela površina podijeljena na četiri približno jednaka dijela površine oko 1350 m^2 od kojih je svaka bila označena oznakama PI, PII, PIII i PIV, slika 8. Na svakom od ovih dijelova izvršeno je višekratno uzorkovanje tla i to na različitim dubinama kako bi se mogli izraditi kompozitni uzorci [10].

Uzorci tla su uzimani prema mogućnostima kopanja tla i otvaranja profila, slika 9-11, pri čemu je iz područja PI uzeto 9 uzoraka tla s 3 mjesta iskopa; iz područja PII uzeto je 6 uzoraka tla s 2 mjesta iskopa; iz područja PIII uzeto je 6 uzoraka tla s 3 mjesta iskopa; iz područja PIV uzeto je 5 uzoraka tla s 2 mjesta iskopa. Svi uzorci su uzimani lopaticom na dubinama 30, 50 i 70 cm, a kompozitni uzorak za svako područje je napravljen miješanjem jednakih količina (1000 g) pojedinačno uzetih uzoraka. U nekim raskopima na dubini od 0.5-0.7 m se pojavljivala voda, slika 11, što ukazuje na opasnost koju predstavlja ovako onečišćeno tlo jer se površinska onečišćenja oborinskim vodama mogu prenijeti u dublje slojeve tla i onečistiti podzemne vode.



Slika 8. Lokacije uzorkovanja tla na području *lomare* [10]

Za referentni uzorak u provedenom ispitivanju [10] uzet je uzorak tla iz obližnjeg parka izvan tvorničkog kruga čeličane, slika 12. Park se nalazi na otprilike 500 m zračne linije sjeverozapadno od ispitivanog područja *lomare* i pretpostavlja se da je izvan utjecaja djelatnosti koje se provode na tom području.

Ovako dobiveni uzorci su pripremljeni u skladu s normom HRN ISO 11464:2004 – Kakvoća tla – Priprema uzoraka za fizikalne i kemijske analize/*Soil quality - Pretreatment of samples for physico-chemical analyses*, te su nakon pripreme bili čuvani u eksikatoru. Sadržaja teških metala Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb i Zn određen je nakon ekstrakcije zlatotopkom sukladno normi HRN ISO 11466:2004 (Kakvoća tla – Ekstrakcija elemenata topljivih u zlatotopci/*Soil quality -- Extraction of trace elements soluble in aqua regia*). Određivanje sadržaja svih navedenih metala osim žive, provedeno je metodom optičke emisijske spektrometrije induktivno spregnute plazme (ICP-OES) prema normi HRN EN ISO 11885:2010 (Kvaliteta vode - Određivanje određenih elemenata optičkom emisijskom spektrometrijom induktivno vezane plazme/*Water quality - Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry*) dok je sadržaj žive određen spektrometrijom atomske apsorpcije (AAS) uz upotrebu hidridne tehnike prema normi HRN EN 1483:2008 (Kakvoća vode - Metoda atomske apsorpcijske spektrometrije/*Water quality - Method using atomic absorption spectrometry*) [10].



Slika 9. Iskop tla na području *lomare* [22]



Slika 10. Raskop na području P IV, uzorak br. 7 [22]



Slika 11. Raskop pun vode području P III, uzorak br. 4 [22]



Slika 12. Lokacija uzorkovanja referentnog uzorka tla u parku izvan tvorničkog kruga [22]

4.1.2 Rezultati kemijske analize tla sisačke *lomare*

Kako bi se utvrdio stupanj onečišćenosti tla, potrebno je utvrditi, kao i u slučaju drugih sastavnica okoliša, granične vrijednosti za pojedine onečišćujuće tvari ispod kojih razina onečišćenosti ne bi predstavljala rizik ili bi rizik bio u najmanje mogućoj mjeri za štetno djelovanje na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini. U legislativi RH još uvijek ne postoje propisane granične vrijednosti za razine onečišćujućih tvari u tlu. Postoji samo Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja [12]. Za razliku od Hrvatske, pojedine zemlje Europske unije (EU) propisale su granične vrijednosti onečišćujućih tvari u tlu [23] s obzirom na njegovu namjenu. Te granične vrijednosti su poslužile kao osnova za izradu prijedloga graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u Hrvatskoj sadržanih u *Programu trajnog motrenja tala Hrvatske* [2].

Kako bi se utvrdilo stanje ispitivanog područja sisačke *lomare*, rezultati dobiveni provedenim ispitivanjem tla [10] uspoređivani su s preporučenim GV onečišćujućih tvari u tlu namijenjenom za industrijske i komercijalne svrhe prema *Programu trajnog motrenja tala Hrvatske* [2]. Rezultati analize tla prikazani u tablici 3, pokazali su da su koncentracije teških metala u kompozitnim uzorcima tla uglavnom ispod granične vrijednosti (GV) onečišćujućih tvari u tlu namijenjenom u industrijske i komercijalne svrhe kako je navedeno u ranije spomenutom *Programu trajnog motrenja tala Hrvatske*. Koncentracije teških metala koje premašuju granične vrijednosti su koncentracije olova u uzorcima tla PII, PIII i PIV, bakra u uzorku tla PI, kroma u uzorku PIII te cinka u uzorcima PII, PIII i PIV [10].

Tablica 3: Sadržaj teških metala u analiziranom tlu ispod *lomare* u odnosu na preporučene GV i vrijednosti izmjerene u referentnom uzorku tla [10]

Metal	**Sadržaj metala u tlu, mg/kg suhe tvari**					
	PI	**PII**	**PIII**	**PIV**	**Prep. GV**	**Ref. uzorak**
Cd	1,37	25,30	<0,001	<0,001	50	<0,01
Hg	0,58	2,43	3,23	1,42	50	0,162
Pb	558	**2538**	**2620**	**2724**	1000	49,82
Ni	25,27	321	477	263	500	34,14
Cu	155	**2239**	**722**	**643**	500	21,09
Cr	158	438	**1333**	437	750	57,86
Zn	508	**14851**	**2457**	**2907**	1200	284

Utvrđene razlike u sadržaju metala između pojedinih mjernih mjesta na tlu *lomare,* npr. sadržaj cinka i olova u PI koji je značajno manji od sadržaja ovih metala na ostalim mjernim mjestima (PII – PIV), obrazložen je vjerojatno najslabijom izloženošću ovog područja odloženom čeličnom otpadu. Naime, prema navodima autora [10], područje PI je bilo najmanje izloženo izravnom utjecaju onečišćujućih tvari sadržanih u čeličnom otpadu jer se čelični otpad na ovo područje rijetko odlagao, a svježe dopremljeni otpad se uglavnom uvijek istovarivao na područja P IV i PIII koja su bila i najbliža pogonskoj hali i elektropeći.

Izmjerene niže koncentracije teških metala u kompozitnim uzorcima uzetih s područja PI u odnosu na druga područja, rezultat su slabije izloženosti tog područja utjecaju čeličnog otpada. Nadalje, svježe dopremljeni čelični otpad se uglavnom istovarivao na područja PIII i PIV koja su najbliža pogonskoj hali u kojoj se nalazi elektropeć. Onečišćenost cinkom i kromom je vrlo izražena zbog velikog udjela kromiranog i pocinčanog čelika u čeličnom otpadu.

Za dobivanje potpune slike o stanju onečišćenosti tla sisačke *lomare*, bilo je potrebno usporediti sadržaj teških metala u referentnom uzorku u odnosu na preporučene granične vrijednosti istih metala u tlu namijenjenom u industrijske i komercijalne svrhe, tablica 4.

Tablica 4. Sadržaj teških metala u referentnom uzorku tla u usporedbi sa preporučenim GV za tlo namijenjeno u industrijske i komercijalne svrhe [10]

Metal	**Sadržaj metala u tlu, mg/kg suhe tvari**	
	Referentni uzorak	**GV**
Cd	<0.001	50
Hg	0.162	50
Pb	49.82	1000
Ni	34.14	500
Cu	21.09	500
Cr	57.84	750
Zn	284	1200

Iz navedenih podataka u tablici 4, vidljivo je da su izmjerene koncentracije svih metala (Cd, Hg, Pb, Ni, Cu, Cr i Zn) u referentnom uzorku ispod preporučenih graničnih vrijednosti danih u *Programu trajnog motrenja tala Hrvatske*.

Kako bi se otklonila sumnja u ispravnost izbora lokacije referentnog tla u ovim istraživanjima, rezultati dobiveni analizom sadržaja teških metala u referentnom uzorku uspoređeni su i s graničnim vrijednostima koncentracija teških metala u poljoprivrednim tlima, tablica 5, prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja [12].

Tablica 5. Sadržaj teških metala u referentnom uzorku tla u usporedbi s propisanim GV teških metala u poljoprivrednom tlu [10]

Vrsta tla	**GV, mg/kg suhe tvari**						
	Cd	**Cr**	**Cu**	**Hg**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
Pjeskovito tlo	0,0-0,5	0-40	0-60	0,0-0,5	0-30	0-50	0-60
Praškasto – ilovasto tlo	0,5-1,0	40-80	60-90	0,5-1,0	30-50	50-100	60-150
Glinasto tlo	1,0-2,0	80-120	90-120	1,0-1,5	50-75	100-150	150-200
Referentni uzorak	*<0.001*	*57.84*	*21.09*	*0.162*	*34.14*	*49.82*	***284***

U tablici 5 prikazana je usporedba rezultata referentnog uzorka s graničnim vrijednostima za teške metale u poljoprivrednom tlu prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja [12], iz čega je vidljivo da su koncentracije svih metala, osim cinka, ispod granica ili unutra graničnih vrijednosti.

S obzirom na to da su na svim mjernim mjestima (područjima PI-PIV) nakon uzorkovanja tla na dubinama 30, 50 i 70 cm, formirani i kompozitni uzorci, u njima su također provedena određivanja sadržaja teških metala. Dobiveni rezultati sadržaja teških metala u kompozitnim uzorcima tla, tablica 6, ukazali su na značajnu razliku u odnosu na sadržaje istih metala u referentnom uzorku, a neki od promatranih metala i u odnosu na granične vrijednosti. To se, prema riječima autora [10], pripisuje onečišćenju tla na prostoru *lomare* što je uzrokovano dugogodišnjem odlaganja čeličnog otpada na nezaštićenom i nenatkrivenom tlu pod različitim vremenskim uvjetima.

Za usporedbu ocjene razine onečišćenosti analiziranog tla sisačke *lomare* s graničnim vrijednostima analiziranih metala u nekim drugim zemljama članicama EU, dobivene vrijednosti koncentracija teških metala u kompozitnim uzorcima tla na sva četiri područja uspoređeni su s vrijednostima za potencijalno neprihvatljiv rizik za tlo korišteno u industriji, koje su propisale Belgija, Finska, Italija, Poljska i Velika Britanija, tablica 6.

Na ovaj način je utvrđeno da je koncentracija nikla u tlu sisačke *lomare* područja PI ispod vrijednosti potencijalno neprihvatljivog rizika propisanih u navedenim zemljama EU, dok je koncentracija ovog metala u uzorcima tla područja PII, PIII i PIV ispod vrijednosti potencijalno neprihvatljivog rizika propisanih u Belgiji i Italiji, a premašuje propisane vrijednosti u Finskoj i Poljskoj. Nadalje, onečišćenost tla sisačke *lomare* olovom, bakrom, kromom i cinkom, izraženija je u odnosu na ostale metale, što ukazuju i izmjerene vrijednosti koncentracija ovih metala koje su, izuzev u tlu područja PI, iznad vrijednosti potencijalno neprihvatljivog rizika propisanih u Belgiji, Finskoj, Italiji i Poljskoj za tlo namijenjeno u industrijske i komercijalne svrhe.

Tablica 6. Usporedba vrijednosti rezultata određivanja sadržaja teških metala kompozitnih uzoraka tla s vrijednostima za potencijalno neprihvatljiv rizik za tlo korišteno u industriji nekih zemalja EU [10]

Element	Područje *lomare*	GV sadržaja metala u tlu, mg/kg suhe tvari							
		Ova studija	Ref uzorak	Belgija /Bruxelles/	Belgija /Valonija/	Finska	Italija	Poljska	Velika Britanija
Cd	P I	1.37	<0.001	30	50	20	15	13	1400
	P II	25.30							
	P III	<0.001							
	P IV	<0.001							
Hg	P I	0.58	0.162	30	84	5	5	27	480
	P II	2.43							
	P III	3.23							
	P IV	1.42							
Pb	P I	558	49.82	2500	1360	750	1000	600	750
	P II	2538							
	P III	2620							
	P IV	2724							
Ni	P I	25.27	34.14	700	500	150	500	285	-
	P II	321							
	P III	477							
	P IV	263							
Cu	P I	155	21.09	800	500	200	600	600	-
	P II	2239							
	P III	722							
	P IV	643							
Cr	P I	158	57.84	800	700	300	800	475	5000
	P II	438							
	P III	1333							
	P IV	437							
Zn	P I	508	284	3000	1300	400	1500	1650	-
	P II	14851							
	P III	2457							
	P IV	2907							

5. ZAKLJUČAK

Za ocjenu razine onečišćenosti tla na kojem se niz godina privremeno odlagao čelični otpad sisačke čeličane, napravljena je usporedba rezultata određivanja teških metala u uzorcima tla s vrijednostima za potencijalno neprihvatljiv rizik za tlo korišteno u industriji i to prema *Programu trajnog motrenja tala Hrvatske* kao i prema propisanim vrijednostima u nekim od zemalja EU. Dobiveni rezultati su uspoređeni i sa sadržajem teških metala u referentnom uzorku tla, u neposrednoj blizini čeličane, a prema svim dobivenim podacima, zaključeno je sljedeće:

- rezultati određivanja sadržaja analiziranih teških metala (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb i Zn) u svim kompozitnim uzorcima tla višestruko premašuju koncentracije istih metala u referentnom uzorku, što se može pripisati kontaminaciji tla na prostoru *lomare* kao posljedicom dugogodišnjeg odlaganja čeličnog otpada na nezaštićenom i nenatkrivenom tlu.
- koncentracija olova je samo u uzorku tla *lomare* označenog kao PI ispod, dok je u uzorcima ostalih područja iznad vrijednosti potencijalno neprihvatljivog rizika propisanih u Belgiji, Finskoj, Italiji, Poljskoj i Velikoj Britaniji, te se s obzirom na koncentracije olova, tlo *lomare* može smatrati onečišćenim;
- na temelju utvrđenih razlika u sadržaju ispitivanih teških metala između pojedinih mjernih mjesta područja *lomare*, zaključeno je da je područje PI najmanje onečišćeno teškim metalima, što se tumači i njegovim najmanjim opterećenjem čeličnim otpadom koji se na ovom području i najrjeđe odlagao;
- uzevši u obzir navedeno, a u svrhu zaštite tla i sprječavanja ponavljanja ovakvog oblika onečišćavanja tla u industrijskim dvorištima, nužno je poduzeti određene radnje kako je to i predviđeno *Pravilnikom o gospodarenju otpadom* (NN 23/14,51/14,121/15,132/15). U skladu s tim, površina na kojoj bi se privremeno skladištio čelični otpad mora biti izgrađena od čvrstog materijala, potpuno zatvorena ili natkrivena, podna površina mora biti nepropusna i otporna na djelovanje uskladištenog čeličnog otpada i u njemu prisutnih onečišćujućih tvari. Skladište/privremeno odlagalište također mora biti opremljeno tako da se spriječi širenje prašine, buke, mirisa i drugih emisija u okoliš.

6. LITERATURA

1. T. Sofilić, Onečišćenje i zaštita tla, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2014.
2. Program trajnog motrenja tala Hrvatske, Projekt Izrada Programa trajnog motrenja tala Hrvatske s pilot projektom LIFE TCY/CRO 000105, Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb, 2008.
3. Uredba o postupku utvrđivanja objedinjenih uvjeta zaštite okoliša (NN 114/08)
4. C. Su, L. Q. Jiang, W. J. Zhang, A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques, Environmental Skeptics and Critics, **3**, 2 (2014) 24-38.
5. http://www.eartheclipse.com/pollution/devastating-effects-of-soil-pollution.html (20.05.2017.)
6. F. Acheampong, J. W. Akenten, R. Imoro, H. R. Agbesie, D. Abaye, Evaluation of Heavy Metal Pollution in the Suame Industrial Area, Kumasi, Ghana, Journal of Health & Pollution, **6**, 10 (2016) 56-63.
7. F. M. Mtunzi, E. D. Dikio, S. J. Moja, Evaluation of Heavy Metal Pollution on Soil in Vaderbijlpark, South Africa, International Journal of Environmental Monitoring and Analysis, **3**, 2 (2015) 44-49.
8. F. A. Aisien, I. G. Okoduwa, E. T. Aisien. Levels of Heavy Metals in and Around Scrap Car Dumpsite at Uwelu, Nigeria, British Journal of Applied Science & Technology, **3**, 4 (2013) 1519-1532.
9. O. B. Olafisoye, T. Adefioye, O. A. Osibote, Heavy Metals Contamination of Water, Soil and Plants around an Electronic Waste Dumpsite, Pol. J. Environ. Stud. **22**, 5 (2013) 1431-1439.
10. T. Sofilić, B. Bertić, V. Šimunić-Mežnarić, I. Brnadić. Soil Pollution as a Result of Temporary Steel Scrap Storage at Melt Shop, Ecologia Balkanica, **5**, 1 (2013) 21-30.
11. V. T. Sanyaolu, A. A. Adeniran, Determination of Heavy Metal Fallout on the Surrounding Flora and Aquifer: Case Study of A Scrap Metal Smelting Factory in Odogunyan Area, Ikorodu, Lagos- State, Nigeria, International Research Journal of Environment Sciences, **3**, 4 (2014) 93-100
12. Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 32/10)
13. Agencija za zaštitu okoliša, Izvješće o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj, 2014.
14. T. Sofilić, Održivo gospodarenje otpadom; Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2015.
15. Best Available Techniques (BAT) Refrence Dokument for Iron and Steel Production, Industrial Emission Directive 2010/75/EU, European Commission, 2013.
16. http://imformed.com/mineral-recycling-and-secondary-raw-materials-on-ecs-radar/ (05.07.2017.)
17. M. Gojić, Metalurgija čelika, Denona d.o.o., Zagreb, 2005.
18. EFR, EU-27 Steel Scrap Specification, svibanj 2007.
19. http://www.fj-sanbao.com/news_show.php?id=110 (03.06.2017.)
20. http://images.worldsteel.org/picture/369 (03.06.2017.)

21. http://protehno.si/nasi-projekti/projekt/news/locevalni-obrat-1/ (03.06. 2017.)
22. Izvješće o provedenim preliminarnim istražnim radovima ispitivanja onečišćenja tla na prostoru „lomare“ tvrtke CMC Sisak d.o.o., APO d.o.o., usluge zaštite okoliša, Zagreb, rujan 2009.
23. C. Carlon, M. D'Allesandro, F. Swartjes, Derivation Methods of Soil Screening Values in Europe a Review and Evaluation of National Procedures Towards Harmonisation, European Comission, Directorate-General Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg, 2007.

ŽIVOTOPIS

OSOBNI PODACI:

Ime i prezime: Nikolina Pavičić
Datum i mjesto rođenja: 28. prosinac 1994., Sisak
Adresa: Ulica Braće Bobetka 12a, Sisak 44000
Telefon: 099/69 34443
E-mail: nikolinap28@gmail.com

OBRAZOVANJE:

2001.-2009. – Osnovna škola „Braća Bobetko“ Sisak
2009.-2013. –Tehnička škola Sisak, ekološki tehničar
2013.-2017. –Metalurški fakultet Sisak, preddiplomski sveučilišni studij Metalurgija, smjer Industrijska ekologija

VJEŠTINE:

Rad na računalu
Strani jezik: Engleski
Vozačka ispit - B kategorija