

Upotreba troske iz elektropečnog postupka proizvodnje čelika u poljoprivredi

Čavrak, Tea

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:115:647769>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-30**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb - Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

Tea Čavrak

ZAVRŠNI RAD

Sisak, rujan 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

Tea Čavrak

UPOTREBA TROSKE IZ ELEKTROPEĆNOG POSTUPKA PROIZVODNJE
ČELIKA U POLJOPRIVREDI

ZAVRŠNI RAD

Voditelj: izv. prof. dr. sc. Ivan Brnardić

Članovi Povjerenstva za ocjenu i obranu završnog rada:

Izv. prof. dr. sc. Natalija Dolić – predsjednica
Izv. prof. dr. sc. Ivan Brnardić – član
Izv. prof. dr. sc. Tamara Holjevac Grgurić – član
Prof. dr. sc. Ankica Rađenović – zamjenski član

Sisak, rujan 2017.

SAŽETAK

Proizvodnjom čelika elektropečnim postupkom nastaju velike količine troske. S obzirom na elektropečni postupak nastaju dvije vrste troske, a to su crna troska koja nastaje u elektrolučnoj peći i bijela troska koja nastaje u lonac peći. Troske se prema svojim fizikalno-kemijskim karakteristikama svrstavaju u neopasni otpad te se mogu odlagati na predviđena odlagališta. Odlaganje se pokušava izbjeći s obzirom na visoke cijene, moguća onečišćenja tla, gubitka obradivih zemljišnih površina, te u slučaju troske gubitka njenih vrijednih sastojaka samim odlaganjem. U skoroj budućnosti Europska i Hrvatska politika nalažu nultu stopu odlaganja te se time pokušava pronaći kako i gdje možemo primijeniti trosku. Tako se troske danas koriste u građevini, cestogradnji pa i u poljoprivredi.

U ovom radu prikazane su fizikalno-kemijske karakteristike crne i bijele troske te kako se prema svojim karakteristikama mogu koristiti u poljoprivredi i koje su prednosti korištenja elektropečne troske u poljoprivredi.

Ključne riječi: čelik, elektropečna troska, poljoprivreda

USE OF SLAG FROM THE ELECTRIC ARC FURNACE STEEL MAKING PROCESS IN THE AGRICULTURE

ABSTRACT

In the production of the steel by the electric arc furnace process large amounts of slags are formed. Due to the electric arc furnace process, there are two different types of slags, black slag formed in electric arc furnace and white slag formed in ladle furnace slag. Both slags according to physical-chemical characteristic are classified as non-hazardous waste and they can be disposed at the provided landfill. Disposal is attempted to avoid due to high cost, possible soil contamination, loss of landfill, and loss of slags valuable ingredients by disposal. In future European and Croatian politics are zero rate of disposal so there is a need to find how and where we can apply the slag. Thus, slags are used today in construction, road construction and agriculture.

In this paper are present physico-chemical characteristic of black and white slag, how they can be used in agriculture according to their characteristic, and the advantages of using them in agriculture.

Keywords: steel, electric arc furnace slag, agriculture

Zahvaljujem se mentoru Izv. prof. dr. sc. Ivanu Brnardiću na uloženom vremenu, stručnim savjetima i pomoći tijekom izrade završnog rada. Hvala roditeljima i sestri na podršci i razumijevanju. Zahvaljujem se i Tomi na podršci i pomoći.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PROIZVODNJA ČELIKA ELEKTROPEĆNIM POSTUPKOM	2
2.1. POVIJEST ELEKTROLUČNE PEĆI	4
2.2. IZGLED ELEKTROLUČNE PEĆI	5
2.3. PROIZVODNJA ČELIKA ELEKTROLUČNIM POSTUPKOM	6
3. TROSKA	9
3.1. VRSTE TROSKE	9
3.2. ELEKTROPEĆNE TROSKE	10
3.3. FIZIKALNO-KEMIJSKE KARAKTERISTIKE CRNE I BIJELE TROSKE	11
3.4. UPORABA ELEKTROPEĆNE TROSKE	14
4. UPORABA ELEKTROPEĆNE TROSKE U POLJOPRIVREDI	17
4.1. TROSKA KAO ANORGANSKI POBOLJŠIVAČ TLA	17
4.2. UTJECAJ ELEKTROPEĆNE TROSKE NA KISELO TLO I KUKURUZ (ZEA MAYS L.)	19
5. ZAKLJUČAK	21
6. LITERATURA	22

1. UVOD

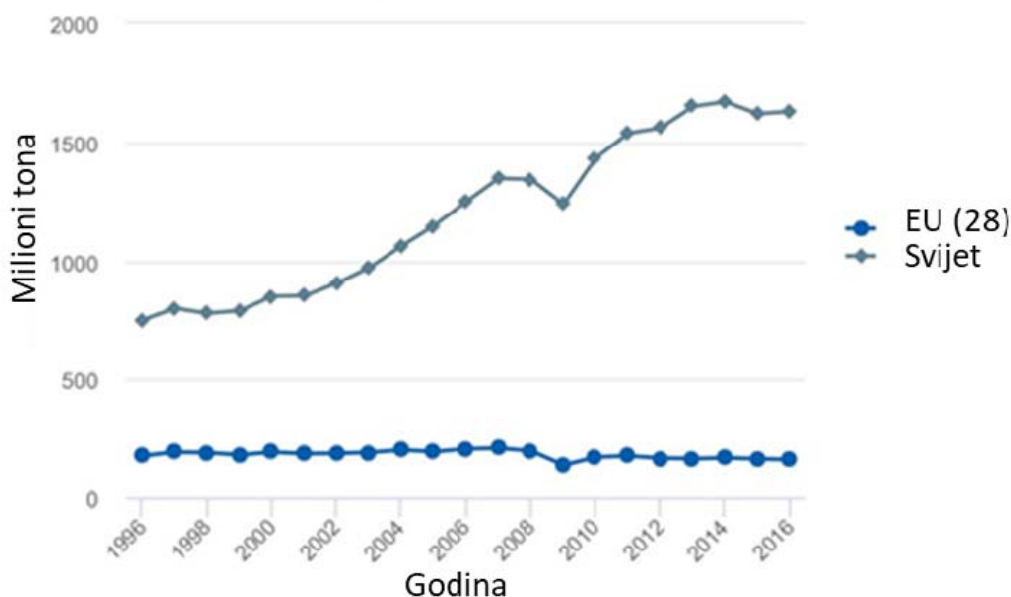
Jedna od najznačajnijih aktivnosti u području zaštite okoliša je upravljanje okolišem prvenstveno zbog količine proizvedenog otpada koji nastaje u različitim industrijskim procesima. Cilj održivog razvoja u današnje vrijeme je iskorištenje svakog proizvodnog otpada, odnosno da otpad kao proizvodni ostatak koji je nastao u jednoj industriji postane sirovina u drugoj industriji [1]. Poznato je da čeličane, kao i većina metalurških postrojenja, imaju izravan utjecaj na okoliš. Tako nastaju emisije onečišćujućih tvari u zrak, vode i tlo te se okoliš također opterećuje opasnim i neopasnim proizvodnim otpadom kojeg često odlažu na neuređena odlagališta. Proizvodni otpad koji se neadekvatno odlaže su neobrađena troska (šljaka), prašine iz dimnih plinova, iskorišteni vatrostalni materijal, različiti muljevi, ogorina, itd. [2].

Prilikom elektropečnog postupka proizvodnje čelika po količini nastalog otpada najznačajnija je elektropečna troska koja nastaje u količini od 60 do 263 kg/t sirovog čelika [3]. Krajem devedesetih godina prošlog stoljeća u svijetu su na raspolaganju bile ogromne količine visokopećne troske te primjena elektropečne troske nije bila atraktivna već se koristila za pripremu umjetnog gnojiva. Kako se smanjivala proizvodnja željeza u visokim pećima, čeličanska troska dobivala je na važnosti te njena primjena u svijetu sve više raste [2]. S obzirom da je proizvodnja čelika razvijena, bez obzira kojom se vrstom procesa proizvodi, važno je posvetiti pozornost zbrinjavanju najzastupljenijeg proizvodnog otpada, troske.

Elektropečna troska prema svojim fizikalno-kemijskim karakteristikama svrstana je u neopasni otpad te se može odlagati na predviđena odlagališta. No odlaganje se ne primjenjuje jer je visoka cijena odlaganja troske, moguća su onečišćenja tla, mogući je gubitak obradivih zemljišnih površina, mogući je gubitak vrijednih sastojaka troske odlaganjem. Kako se odlaganje ne primjenjuje elektropečna troska koristi se u različitim granama. Može se koristiti u cestogradnji kao nasipni sloj, u građevinskoj industriji kao dodatak cementu pa tako i u poljoprivredi kao poboljšivač tla. Poboljšivači tla mogu biti anorganskog i organskog podrijetla te se elektropečna troska prema svojim fizikalno-kemijskim karakteristikama i utjecaju na kvalitetu tla svrstava u anorganske poboljšivače tla.

2. PROIZVODNJA ČELIKA ELEKTROPEĆNIM POSTUPKOM

U današnje vrijeme proizvodnja čelika vrlo je raširena. U razdoblju od 1996. do 2016. godine svjetska proizvodnja čelika kretala se od 751 mil. tona (1996.) do 1629,6 mil. tona (2016.) te je u istom razdoblju ukupna količina proizvedenog čelika u Europskoj uniji (EU) iznosila od 178,2 mil. tona (1996.) do 162 mil. tona (2016.) što je vidljivo na slici 1 [4].



Slika 1. Grafički prikaz količina proizvedenog čelika svim postupcima u razdoblju 1996.-2016. godine u svijetu i EU [4].

Jedan od najraširenijih postupaka proizvodnje čelika je proizvodnja čelika elektropećnim postupkom. U tablici 1. prikazane su količine proizvedenog čelika elektropećnim postupkom u svijetu i Europi. U razdoblju od 1995. do 2015. godine u svijetu elektropećnim postupkom je proizvedeno od 245,3 mil. tona (1995.) do 408,7 mil. tona (2015.) čelika, dok su se količine u Europi kretale od 54,4 milijuna tona (1995.) do 65,5 mil. tona (2015.) [5].

Tablica 1. Količine proizvedenog čelika elektropečnim postupkom u razdoblju 1995.-2015. godine [5].

Godina	Proizvodnja čelika / t	
	Svijet	Europa
1995	245.341.000	54.428.000
1996	249.990.000	55.342.000
1997	269.753.000	63.790.000
1998	261.237.000	65.906.000
1999	264.517.000	63.664.000
2000	287.389.000	69.846.000
2001	285.110.000	69.816.000
2002	304.886.000	69.430.000
2003	324.453.000	70.231.000
2004	353.025.000	75.215.000
2005	359.969.000	72.560.000
2006	396.720.000	83.418.000
2007	431.466.000	84.708.000
2008	429.295.000	82.740.000
2009	356.541.000	61.226.000
2010	421.750.000	71.147.000
2011	454.198.000	75.825.000
2012	448.349.000	70.487.000
2013	428.808.000	66.292.000
2014	430.042.000	66.039.000
2015	408.670.000	65.497.000

Kako je već poznato da je najznačajniji proizvodni ostatak koji nastaje prilikom proizvodnje čelika elektropečnim postupkom čeličanska troska, tako se pod čeličansku trosku podrazumijeva troska koja nastaje u elektrolučnoj peći (crna troska) te troska koja nastaje u lonac peći (bijela troska). Ne postoje potpuni podaci o količinama nastalih troski u razdoblju od 1995. do 2015. te se mogu samo procijeniti. Prema literaturnim podacima poznato je da po toni proizvedenog čelika elektropečnim postupkom nastaje od 60 do 263 kg crne troske i 10 do 80 kg bijele troske. Prosječnim izračunom procijenjena je količina troski koje nastaju u procesu proizvodnje čelika elektropečnim postupkom u razdoblju od 1995. Do 2015. te su podaci prikazani u tablici 2.

Tablica 2. Procijenjena količina troski u razdoblju 1995.-2015. godine [4].

Proizvodnja čelika elektrolučnim postupkom	Svijet / t		Europa / t	
	Godina	Crna troska	Bijela troska	Crna troska
1995	40.481.265	11.040.345	8.980.620	2.449.260
1996	41.248.350	11.249.550	9.131.430	2.490.390
1997	44.509.245	12.138.885	10.525.350	2.870.550
1998	43.104.105	11.755.665	10.874.490	2.965.770
1999	43.645.305	11.903.265	10.504.560	2.864.880
2000	47.419.185	12.932.505	11.524.590	3.143.070
2001	47.043.150	12.829.950	11.519.640	3.141.720
2002	50.306.190	13.719.870	11.455.950	3.124.350
2003	53.534.745	14.600.385	11.588.115	3.160.395
2004	58.249.125	15.886.125	12.410.475	3.384.675
2005	59.394.885	16.198.605	11.972.400	3.265.200
2006	65.458.800	17.852.400	13.763.970	3.753.810
2007	71.191.890	19.415.970	13.976.820	3.811.860
2008	70.833.675	19.318.275	13.652.100	3.723.300
2009	58.829.265	16.044.345	10.102.290	2.755.170
2010	69.588.750	18.978.750	11.739.255	3.201.615
2011	74.942.670	20.438.910	12.511.125	3.412.125
2012	73.977.585	20.175.705	11.630.355	3.171.915
2013	70.753.320	19.296.360	10.938.180	2.983.140
2014	70.956.930	19.351.890	10.896.435	2.971.755
2015	67.430.550	18.390.150	10.807.005	2.947.365
Ukupno	1.222.898.985	333.517.905	240.505.155	65.592.315

Iz tablice 2 prema procijenjenim vrijednostima vidljivo je da su se vrijednosti količina troski koje nastaju pri proizvodnji čelika elektrolučnim postupkom od 1995. do 2015. godine kretale u svijetu do 1,2 milijardi tona za crnu trosku i 333,5 milijuna tona za bijelu trosku, te istovremeno za Europu do 240,5 milijuna tona za crnu trosku i 65,6 milijuna tona za bijelu trosku.

2.1. POVIJEST ELEKTROLUČNE PEĆI

Elektrolučna peć najraširenija je od svih vrsta peći za proizvodnju čelika koju je na prijelazu s 19. na 20. stoljeće izumio francuski kemičar Paul Louis Heroult te je po njemu i dobila naziv Heroult-ova elektrolučna peć [6]. Smatra se da je proizvodnja elektročelika u elektrolučnoj peći započela sto godina nakon otkrića električnog luka i to puštanjem u rad prve ovakve peći 1906. godine u SAD, a kapacitet joj bio 4 tona i luk je proizvodila pomoću dviju elektroda [6]. Iste godine instalirana je prva takva peć i u Njemačkoj, nakon toga i u ostalim zemljama koje su predstavljale značajnije proizvođače čelika, pa je već 1917. godine bilo instalirano više od 730 peći širom svijeta [6].

U današnje vrijeme jezgru mini-čeličana čine elektrolučne visokoučinske peći (engl. *Ultra High Power*, UHP). Elektrolučne visokoučinske peći odlikuju se velikom fleksibilnošću

u zadovoljavanju promjenjivih potreba tržišta, ako se raspolože potrebnom električnom energijom, čeličnim otpadom i nemetalnim dodacima (slika 2).



Slika 2. Prikaz elektrolučne peći [7].

Prema veličini elektrolučne peći dijele se na:

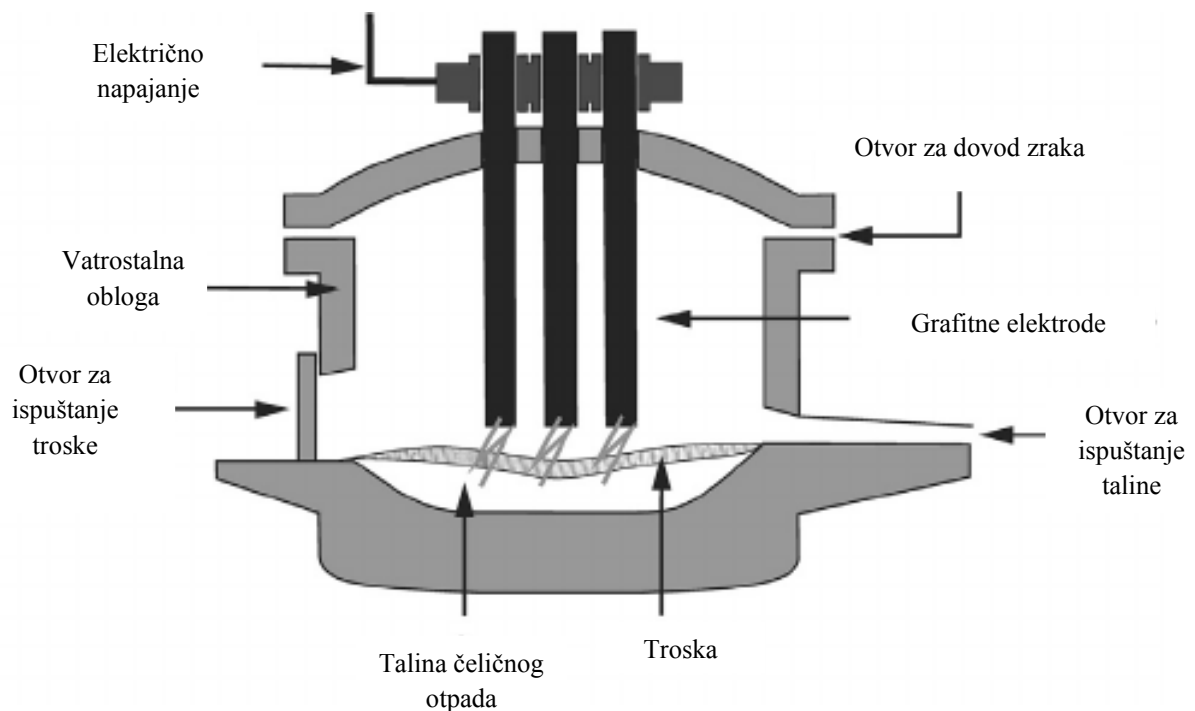
- male elektrolučne peći kapaciteta do 50 tona,
- srednje elektrolučne peći kapaciteta od 50 do 100 tona,
- velike elektrolučne peći kapaciteta od 100 do 200 tona.

Kapacitet suvremene elektrolučne peći je do 180 tona, no počele su se graditi i sve veće peći. Potvrdilo se da se povećanjem kapaciteta elektrolučne peći povećava ekonomičnost proizvodnje čelika. Naime, testiranjem je utvrđeno da prijelaz s elektrolučne peći kapaciteta 10 tona, na elektrolučnu peć kapaciteta 30 tona može pojeftiniti proizvodnju čelika za 25%, dok prijelaz s elektrolučne peći kapaciteta 30 tona na elektrolučnu peć kapaciteta 70 tona, može pojeftiniti proizvodnja čelika čak za 50% [6].

2.2. IZGLED ELEKTROLUČNE PEĆI

Izgled elektrolučne peći cilindričnog je oblika te se sastoji od podnice, plašta, vodom hlađenog svoda s otvorima za tri elektrode, izljevni otvora, uređaja za nagibanje (za izljev čelika i ispuštanje troske), uređaja za zakretanje svoda (svod se podiže zajedno s elektrodom i zakreće radi ulaganja), držača elektrode, transformatora i ostale prateće opreme (slika 3). Podnica peći sastoji se od sferično oblikovane čelične posude s nekoliko slojeva vatrostalnog

materijala, a svod peći je sferičnog oblika. Plašt iznad razine troske, kao i svod peći, obično se sastoje od vodom hlađenih panela [6].



Slika 3. Prikaz poprečnog presjeka elektrolučne peći [8].

2.3. PROIZVODNJA ČELIKA ELEKTROLUČNIM POSTUPKOM

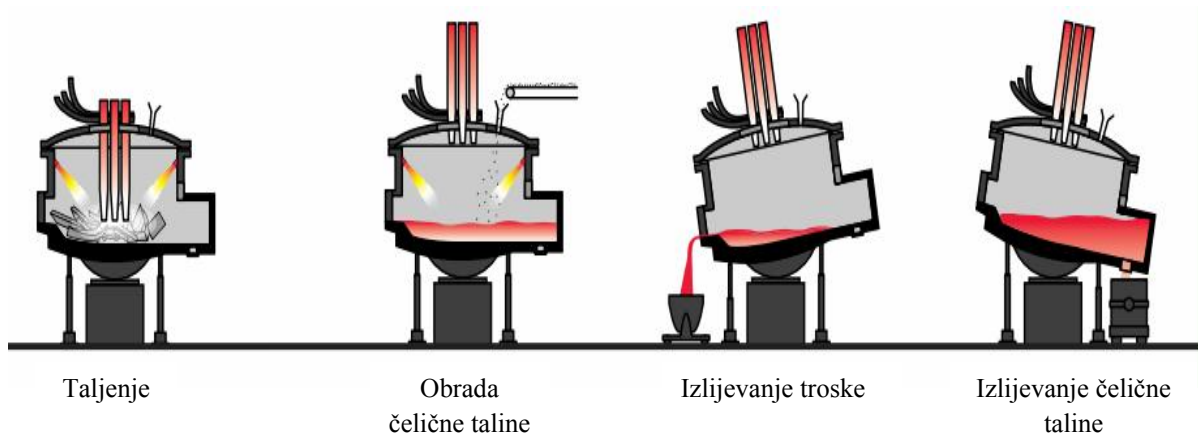
Ciklus proizvodnje čelika u elektrolučnoj peći naziva se ciklus "*tap to tap*" i sastoji se od nekoliko koraka:

- Punjenje peći,
- Taljenje,
- Rafinacije,
- Uklanjanje troske,
- Izlijevanje u lonac.

Sirovina koja se koristi prilikom proizvodnje čelika je čelični otpad, tzv. staro željezo te različiti nemetalni dodatci. Kako bi se formirala troska u fazi taljenja uloška dodaje se vapno, dok se kao taljitelj, zbog snižavanja tališta troske, mogu koristiti različiti nemetalni dodatci kao što su dolomit, kalcijev fluorit i dr.

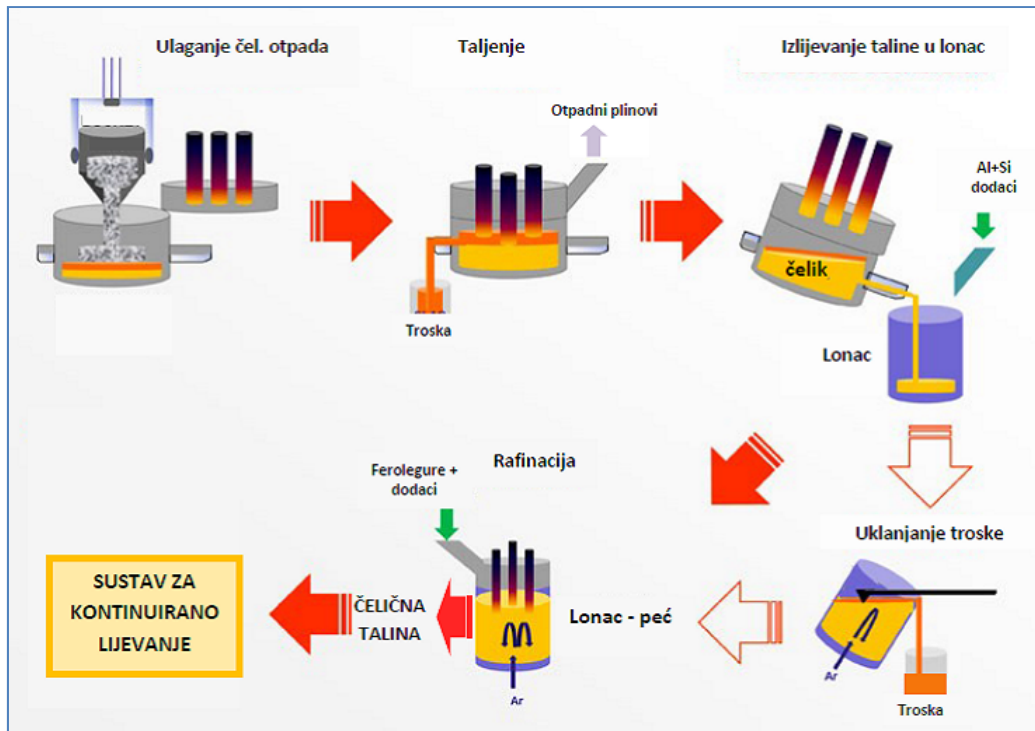
Elektropećni postupak, od punjenja peći do izlijevanja troske pa zatim i izlijevanja čelika traje otprilike 35-40 minuta. Prvi korak kod procesa proizvodnje čelika je ulaganje čeličnog otpada u elektrolučnu peć. Krov s elektrodama podigne se i okrene na stranu kako bi se omogućilo punjenje elektrolučne peći čeličnim otpadom. Zatim se krov s elektrodama spušta, elektrode i električni luk usmjere se prema čeličnom otpadu, podesi se visoki napon te započinje proces taljenja. Proces taljenja postiže se dobavom energije u unutrašnjost peći, a energija može biti električna ili kemijska. Električna energija isporučuje se preko grafitnih

elektroda, dok se kemijska energija isporučuje upuhivanjem kisika ili nekog drugog goriva čime se postiže brže taljenje [9]. Kada je kisikovo koplje izravno usmjereno u talinu dolazi do oksidacije aluminija (Al), silicija (Si), mangana (Mn), fosfora (P), ugljika (C) i željeza (Fe) pri čemu nastaje toplina za daljnje taljenje. Metalni oksidi koji tada nastaju prelaze u trosku, a dobiveni ugljikov (II) oksid (CO) izlazi iz taline u prazan prostor peći gdje može dalje izgarati uz dodatno dovodenje kisika. Nakon što se formirala troska, elektrolyčna peć se nagnje te dolazi do odlijevanja troske (slika 4.). Tako nastala troska crne je boje za razliku od bijele troske koja nastaje daljnjim postupkom u lonac – peći [6].



Slika 4. Prikaz pojedinih faza proizvodnje čelika u elektrolyčnoj peći [10].

Nakon što se postigne željeni sastav i temperatura taline elektrolyčna peć se nagne te se čelik kroz otvor ili žlijeb izlije u lonac - peć i odlazi na daljnju obradu. Prilikom izlijevanja čelika u lonac - peć potrebno je spriječiti izlijevanje troske jer bi tijekom narednih faza proizvodnje to otežalo obradu čelika [6]. Nakon što se talina iz elektrolyčne peći izlije u lonac-peć, u tzv. fazi sekundarne metalurgije, nastavlja se niz kemijskih reakcija oksidacija koje uključuju odsumporavanje, ofosforavanje, itd. Na slici 5. prikazana je shema proizvodnje čelika elektropećnim postupkom uz kombinaciju lonac – peći.



Slika 5. Shematski prikaz proizvodnje čelika elektropećnim postupkom uz kombinaciju lonac – peći [11].

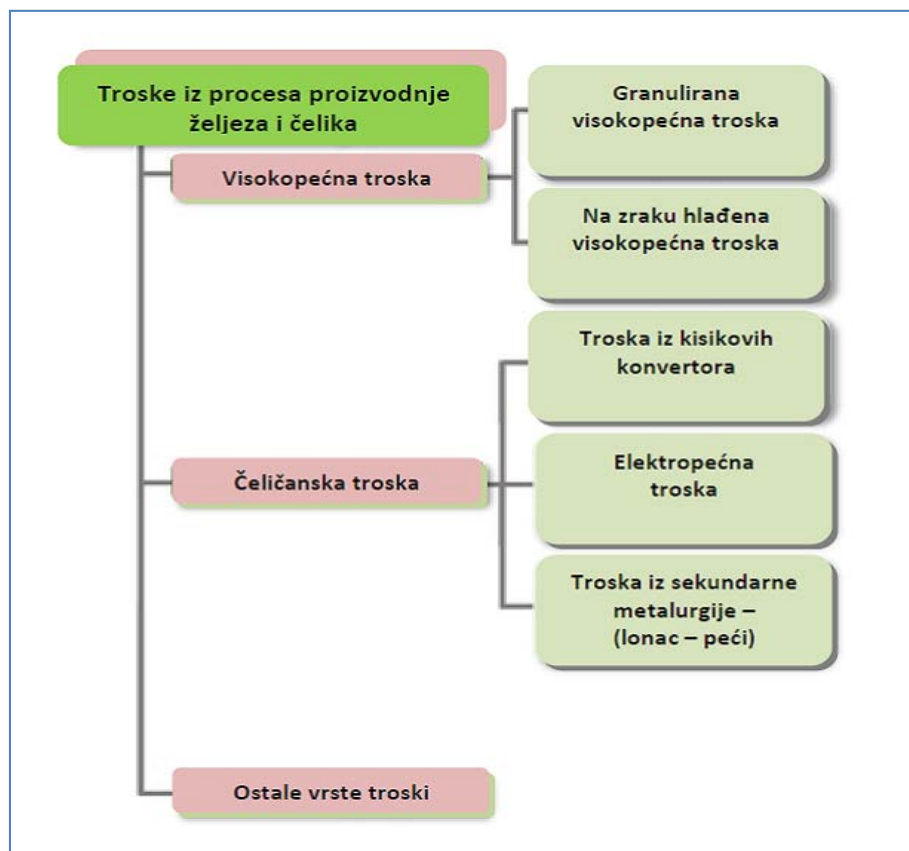
Lonac – peć sastoji se od lonca pokrivenog hlađenim svodom i elektrode koja električnim lukom zagrijava čelik i održava temperaturu taline tijekom procesa rafinacije. Proces rafinacije provodi se izravnim dodatkom ferolegure u lonac – peć pomoću kanala u svodu. Kako bi se ubrzao proces taljenja i homogenizacija taline provodi se propuhivanje internim plinovima kao što su npr. argon ili dušik. Kako bi se pospješilo odsumporavanje i daljnja rafinacija čelika, istovremeno kada se provodi i propuhivanje dodaje se odgovarajuća količina sintetičke troske. Nakon što se kemijskom analizom provjeri kvaliteta čelične taline, talina se odvođa na kontinuirani sustav za lijevanje čelika, a presjek odlivenog čelika može biti pravokutni, kvadratni, okrugli, itd. [6]. U lonac-peći nastaje bijela troska koja ima ulogu apsorbaranja produkta reakcija, sprječavanja reoksidacije taline kisikom iz zraka, sprječavanje hlađenje taline, uklanjanje štetnih primjesa sumpora itd. Kako se bijela troska po svome sastavu razlikuje od crne troske, samim time se razlikuje i njena daljnja uporaba u drugim procesima [12].

3. TROSKA

Troska je proizvodni ostatak koji nastaje prilikom procesa taljenja kod proizvodnje čelika elektrolučnim postupkom. Kako troska pluta na čeličnoj talini zaključujemo da je manje gustoće nego talina, a prema literaturnim podacima znamo da se sastoji od onečišćenja u metalima, rudama ili spaljivanim materijalima. Kako je jedna od najznačajnijih aktivnosti u području zaštite okoliša upravljanje okolišem sve veći zahtjevi usmjereni su na recikliranje otpada. Tako se povećalo korištenje troske u različitim granama te je njena uporaba postala toliko široka da se više ne smatra kao korisni otpad već kao nusproizvod industrije čelika [13].

3.1. VRSTE TROSKE

Troske se razvrstavaju prema procesima u kojima nastaju. Tako ih možemo razvrstati na željezne troske koje uključuju visokopećnu trosku i čeličanske troske te na neželjezne troske nastale pri proizvodnji neželjeznih (lakih i obojenih) metala (Cu, Zn, Pb, Ni,). Također postoje i nemetalurške troske koje nastaju u termoenergetskim postrojenjima, kao i troske nastale u spalionicama krutog otpada. Uz visokopećne i čeličanske troske, s obzirom na mjesto nastanka, u željezne troske ubrajaju se i tzv. ostale troske koje su nastale u procesima sekundarne metalurgije. Na slici 6. mogu se vidjeti troske iz procesa proizvodnje željeza i čelika.



Slika 6. Troske iz procesa proizvodnje željeza i čelika [14].

3.2. ELEKTROPEĆNE TROSKE

Tijekom proizvodnje čelika u elektrolučnoj peći najznačajniji proizvodni ostatak koji nastaje je čeličanska troska i to u količinama od 60 do 263 kg/t sirovog čelika. Trosku nastalu elektropećnim postupkom možemo podijeliti na crnu trosku koja nastaje prilikom proizvodnje ugljičnih čelika i na bijelu trosku koja nastaje prilikom proizvodnje visoko legiranih čelika. Na slici 7. prikazana je crna troska iz procesa proizvodnje ugljičnih čelika elektrolučnim postupkom [15].



Slika 7. Prikaz crne troske iz procesa proizvodnje ugljičnih čelika elektrolučnim postupkom [15].

Nakon što se završi proces taljenja uzorka, uklanja se crna troska te dolazi do izlivanja taline u lonac – peć. Zatim slijede postupci sekundarne metalurgije koji se odvijaju u lonac – peći. Kako se proces proizvodnje čelika godinama modernizirao elektrolučne peći postale su isključivo agregati za pretaljivanje čeličnog otpada dok je lonac – peć postao prijam tekućeg čelika. Nakon što se talina obradi u lonac – peći slijedi odvajanje bijele troske. Prema literaturnim podacima bijela troska razlikuje se po sadržaju pojedinih elemenata od crne troske. Kada se kvaliteta čelične taline provjeri kemijskom analizom, talina se najčešće odvodi u sustav za kontinuirano lijevanje čelika. Na slici 8. prikazan je izgled bijele troske nakon hlađenja i separacije po frakcijama [16].



Slika 8. Prikaz bijele troske iz procesa proizvodnje u lonac - peći [16].

3.3. FIZIKALNO-KEMIJSKE KARAKTERISTIKE CRNE I BIJELE TROSKE

Elektropećna troska se u današnje vrijeme više ne svrstava u otpad nego u nusproizvod te je poznato da je po količini najveći proizvodni ostatak koji nastaje elektrolučnim procesom. Troske iz elektropeći se uglavnom sastoje od niza oksidnih komponenata i imaju relativno složen kemijski sastav koji ovisi o količini i vrsti troskotvornih materijala korištenih pri izradi taline, vrsti i količini dodanih legirnih elemenata, termodinamičkim uvjetima procesa, kvaliteti upotrijebljenog čeličnog otpada, odnosno o tzv. fazi unutar procesa izrade čelične taline. U tablici 3. prikazan je kemijski sastav i uloga troske odnosa $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 2-3,5$ [17].

Tablica 3. Kemijski sastav i uloga troske odnosa $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 2-3,5$ iz elektrolučne peći [18].

Kemijski sastav troske (%)	Karakteristika Troske	Uloga
$\text{Al}_2\text{O}_3 = 10-15$ $\text{FeO} = 5-30$	oksidacijska	uklanjanje P, S, C, Mn i Si iz metala
$\text{Al}_2\text{O}_3 = 10-15$ $\text{CaF}_2 = 2-5$ $\text{CaC}_2 = 1-5$	dezoksidacijska	uklanjanje S

Struktura čeličanskih troski temelji se na više komponentnim sastavima tipa $\text{CaO} - \text{SiO}_2$, $\text{CaO} - \text{FeO}$, $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{MnO}$, $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO} - \text{FeO} - \text{SiO}_2$ i $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{FeO} - \text{MgO}$, a najzastupljeniji minerali u troskama su dikalcijevi i trikalcijski silikati te se pojavljuju i različiti aluminati i silikati što je vidljivo u tablici 4 [16].

Tablica 4. Fazni sastav bazične troske [18].

Faza	Formula	Naziv
Silikati	$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	volastonit
	$\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	montičelit
	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	kalcij ortosilikat
	$2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	forsterit
	$\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	piroksen i diopsid
	$2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{FeO}$	olivin
	$2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$	fajalit
Spinel	$\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	magnezij ferit
	$\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	plemeniti spinel
	$2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	dikalcij ferit
	$\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$	ferokromit
	Fe_3O_4	magnetit
	$\text{MgO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$	krom magnezij spinel
Alumosilikati	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	anortit
	$2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	dikalcij alumosilikat
Fosfati	$3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$	
	$4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$	
	$3\text{FeO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$	
Sulfidi	CaS	kalcijev sulfid
	MnS	alabandit
	FeS	željezov sulfid
	MgS	magnezijev sulfid
Sulfati	CaSO_4	gips
Slobodni oksidi	CaO	vapno
	FeO	vistit
	MnO	manganozit
	MgO	periklas

Prema literaturnim podatcima o kemijskom sastavu čeličanskih troski (crna troska) možemo zaključiti da se sadržaj pojedinih oksida kreće u vrlo širokim granicama što je posljedica kvalitete i sastava čeličnog otpada koji se koristi u procesu proizvodnje čelika elektrolučnim postupkom. Također kemijski sastav ovisi i o udjelu i vrsti nemetalnih dodataka, upotrijebljenoj vrsti i količini ferolegura kao i o ostalim tehnološkim parametrima [19]. Tako prema literaturnim podatcima o kemijskoj analizi crne troske koju su napravili Sofilić i suradnici sadržaj CaO bio je 33,2%, Fe_2O_3 29,64%, SiO_2 10,08%, MgO 13,09%, Al_2O_3 1,66%, MnO 6,18%, Na_2O 0,02 %, K_2O 0,06%, sulfidi 0,12%, kloridi 0,02%, netopivi ostatak HCl i Na_2CO_3 4,18% i netopivi ostatak HCl i KOH 0.64% [20]. Također u crnoj troski se mogu naći i radionuklidi. Prema Sofiliću i suradnicima radionuklidi koji se mogu naći u crnoj troski su prirodni izotopi ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{238}U . Izmjerene vrijednosti prisutnih pojedinih izotopa i njihova aktivnost kretale su se u vrijednosti: ^{40}K od $8,4 \text{ Bq kg}^{-1}$ do $36,9 \pm 4,8 \text{ Bq kg}^{-1}$, ^{232}Th od $6,7 \pm 1,9 \text{ Bq kg}^{-1}$ do $14,4 \pm 0,9 \text{ Bq kg}^{-1}$, ^{226}Ra od $13,4 \pm 1,9 \text{ Bq kg}^{-1}$ do $24,0 \pm 0,8 \text{ Bq kg}^{-1}$ i ^{238}U od $9,0 \pm 3,7 \text{ Bq kg}^{-1}$ do $24,1 \pm 2,8 \text{ Bq kg}^{-1}$ [21]. Što se tiče

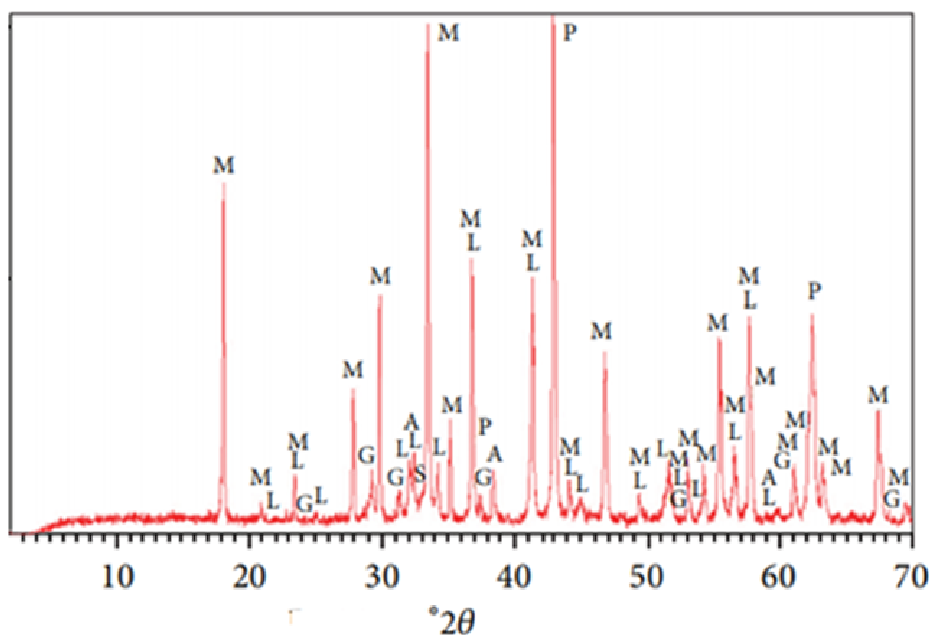
mineraloškog sastava čeličanske troske (crne troske) iz procesa proizvodnje nelegiranih čelika elektrolučnim postupkom, prema analizama koje su proveli Sofilić i suradnici vidljivo je da se sastoje od mješavine različitih minerala relativno složenog kemijskog sastava. Tako crna troska može sadržavati FeO, CaFe₂O₄/(CF), Ca₂Fe₂O₅/(C₂F), Ca₂SiO₄/(C₂S), Ca₃SiO₅/(C₃S), Ca₁₂Al₁₄O₃₃/C₁₂A₇, Ca₂(Al,Fe)₂O₅/C₄AF. Također može sadržavati i CaFe₂O₄ (CF) i Ca₃Si₂O₇ (C₃S₂) [19].

Bijela troska koja nastaje u lonac – peći tijekom proizvodnje čelika elektrolučnim postupkom razlikuje se od crne troske po sastavu i količini. Po toni taline manja je nekoliko puta od količine crne troske te nastaje u količinama od 10 do 80 kg/t. [3]. Prema literaturnim podacima kemijski sastav bijele troske sastoji se od CaO (30% - 60%), SiO₂ (2% - 35%), Al₂O₃ (4,1% - 35,76%), MgO (1% - 12,6%), FeO (0% - 15%), MnO (0% - 5%), Cr₂O₃ (0,03% - 0,37%), P₂O₅ (0% - 0,4%), TiO₂ (0,2% - 0,9%), K₂O (0,01% - 0,02%), i Na₂O (0,06% - 0,07%) [22]. Kemijska ispitivanja napravili su i Rađenović i suradnici te je sadržaj njihove ispitivane bijele troske bio u granicama: CaO 19,02% - 51,34% (srednja vrijednost 35,54%), SiO₂ 11,30% - 30,10% (srednja vrijednost 22,16%), Al₂O₃ 8,54% - 15,18% (srednja vrijednost 11,65%), MgO 7,66% - 18,84% (srednja vrijednost 13,83%), FeO 1,17% - 7,45% (srednja vrijednost 2,53%), MnO 0,22% - 1,34% (srednja vrijednost 0,48%), Cr₂O₃ 0,04% - 0,92% (srednja vrijednost 0,15%), P₂O₅ 1,52% - 3,00% (srednja vrijednost 2,35%), TiO₂ 0,08% - 0,22% (srednja vrijednost 0,15%), K₂O 0,19% - 0,42% (srednja vrijednost 0,57%) i Na₂O 0,38% - 0,56% (srednja vrijednost 0,46%) [22]. U tablici 5. prikazan je kemijski sastav bijele troske.

Tablica 5. Kemijski sastav bijele troske [22].

Komponente bijele troske (mas.%)	
CaO	48,37
SiO ₂	15,00
FeO	1,54
Al ₂ O ₃	14,30
MgO	15,25
Na ₂ O	0,43
K ₂ O	0,36
TiO ₂	0,20
P ₂ O ₅	2,73
Cr ₂ O ₃	0,92

Na slici 9. prikazan je difraktogram dobiven difrakcijskom rendgenskom analizom troske od Rađenović i suradnika [22] te mineraloški sastav.



(M) – Majenit	(G) – Gelenit
(L) – Larnit	(A) – C ₃ A
(P) – Periklas	(S) – Šanit

Slika 9. Difraktogram troske iz lonac-peći [22].

Također prema literaturnim podacima Sofilića i suradnika prema analizi difrakcije rendgenskih zraka za mineraloški sastav troska se sastoji od majenita ($12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$, C_{12}A_7), larnita ($\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, $\beta\text{-}\text{Ca}_2\text{SiO}_4$), periklasa (MgO), gelenita ($2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$, $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$), trikalcijev aluminat ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$, C_3A) i šanita ($\gamma\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, $\gamma\text{-}\text{Ca}_2\text{SiO}_4$) [23]. Tako su zbog svojih fizikalno-kemijskih karakteristika elektropečne troske pogodne za uporabu u različitim grana.

3.4. UPORABA ELEKTROPEČNE TROSKE

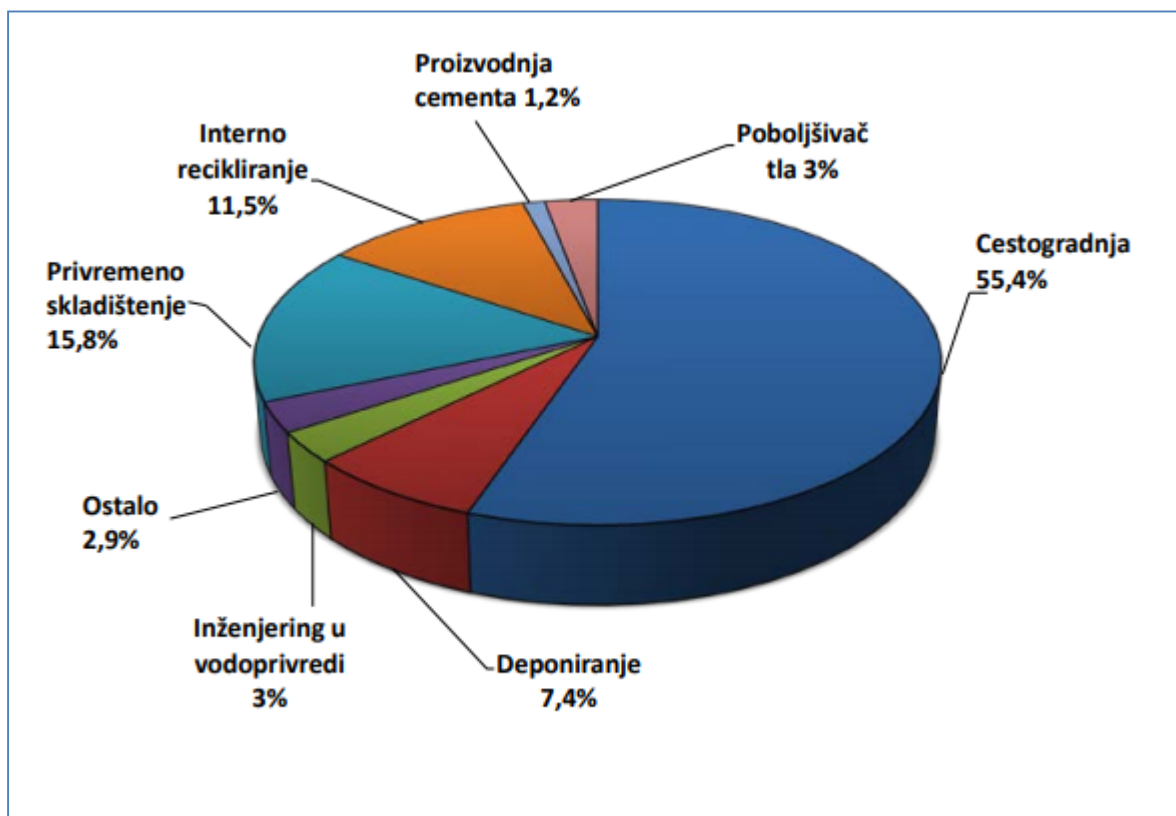
Kao što smo naveli, u svijetu nastaju velike količine troski, a razlog tome su velike potrebe za proizvodnjom čelika. Troske mogu biti upotrijebljene u drugim procesima, a mogu se također prevesti iz otpada u nusproizvod. Time čeličanska troska dobiva sve više na značaju te primjena troske u svijetu sve više raste što je moguće vidjeti u tablici 6 [25].

Tablica 6. Primjena elektropečnih i visokopećnih troski [25].

Primjena troske	Područje primjene				
	Graditeljstvo	Uređenje odlagališta otpada	Održavanje riječnih korita i morske obale	Ostala industrija	Poljoprivreda
Agregat u cestogradnji (asfaltne mješavine, nosivi slojevi)	X				
Agregat u industriji cementa i betona				X	
Sipina (sprječavanje poledice u zimskim uvjetima)	X				
Uređenje nasipa i obala rijeka	X		X		
Stabilizirani nosivi slojevi (sprječavanje erozije)	X		X		
Uređenje morskih luka i obala	X		X		
Nosivi sloj od znatog materijala	X				
Nasipanje neasfaltiranih cesta i putova	X				
Željeznički nasipi	X				
Neutraliziranje otpadnih voda rudarske industrije	X		X		
Agrotehničke mjere (reguliranje pH tla, donor Ca, Mg i sl.)					X
Granulirana ispuna (posteljice) kod polaganja cjevovoda, nasipanje neasfaltiranih parkirališta i sl.	X				
U čeličanama kao talitelj			X	X	
Pokrivanje otpada na odlagalištima		X			
Nasipni materijali (krajobrazna arhitektura)	X				
Ispuna za drenaže	X				
Pokrivalo krovova				X	
Punilo pri proizvodnji različitih proizvoda (boje, polimerni materijali, adhezivna sredstva)				X	
Mineralna vuna (izolacijski materijali)				X	

Prema podacima iz tablice vidljivo je da je elektropečnu trosku moguće upotrijebiti kao alternativnu sirovinu u građevinskoj industriji kao dodatak cementu, u cestogradnji, bilo kao nasipni sloj ili kao zamjenu prirodnih mineralnih agregata pri proizvodnji asfaltne mješavine. Zbog toga se korištenje elektropečne troske može promatrati puno šire od ekonomske mješavine. Npr. može se promatrati kao čimbenik očuvanja prirodnih neobnovljivih izvora mineralnih agregata [19]. Prema dostupnim literaturnim podacima rezultati ispitivanja elektropečne troske pokazala su da troska nije kemijski inertna te da se može upotrijebiti kao adsorbens za uklanjanje teških metala (bakra, kobalta, kadmija, cinka i olova) iz onečišćenih voda [26]. Prema ispitivanjima koje su proveli Rastovčan-Mioč i suradnici rezultati pokazuju kako se elektropečna troska može upotrijebiti kao izvor metalnog željeza, kao taljivo u metalurgiji, zamjena za neke mineralne sirovine u proizvodnji stakla i staklene vune [27]. Tako rezultati ispitivanja fizikalno-kemijskih svojstava elektropečne troske pokazuju široku mogućnost njene primjene, od izrade kolničkih konstrukcija u cestogradnji do uporabe kao

poboljšivača tla u poljoprivredi. Na slici 10. prikazan je postotak korištenja elektropećne troske u različitim djelatnostima u Europi.



Slika 10. Grafički prikaz korištenja elektropećne troske u Europi [28].

4. UPORABA ELEKTROPEĆNE TROSKE U POLJOPRIVREDI

Vrlo je važno da se razlikuje pojam prihranjivač tla (gnojivo) od poboljšivača tla jer gnojivo ima glavnu namjenu u ishrani biljke, dok su poboljšivači tla prema Zakonu o gnojivima i poboljšivačima tla tvari dodane u tlo s osnovnom namjenom poboljšavanja fizikalnih i/ili kemijskih svojstava i/ili biološke aktivnosti tla [29]. Poboljšivači tla mogu biti organskog i anorganskog podrijetla te je elektropećna troska, na temelju svojih fizikalno-kemijskih svojstava svrstana u anorganske poboljšivače tla.

4.1. TROSKA KAO ANORGANSKI POBOLJŠIVAČ TLA

Prema ispitivanjima fizikalno-kemijskih svojstava koja su provedena na elektropećnoj troski iz proizvodnje ugljičnih čelika došlo se do zaključka da u troski ne postoje sastojci koji bi na bilo koji način mogli imati štetan utjecaj na okoliš te je utvrđeno da ju je moguće odložiti na odlagalište neopasnog otpada. No odlaganje ipak nije najbolje rješenje za zbrinjavanje ovog otpada obzirom na njegova fizikalno-kemijska svojstva koja nam nude niz boljih rješenja koja su ekološki prihvatljivija i ekonomski opravdanija [12]. Poznato je kako je elektropećna troska svrstana u anorganske poboljšivače tla zbog svog kemijskog sastava i pozitivnog utjecaja na kvalitetu tla te da ima pozitivan utjecaj na rast biljaka. Prema dostupnim literaturnim podacima poznato je da elektropećna troska:

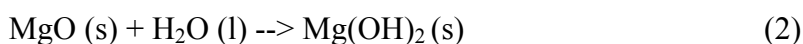
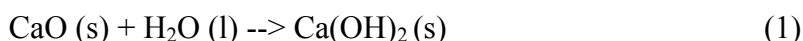
- **Obogaćuje tlo mineralnim tvarima**

Kako je poznato da se u troski nalazi veliki udio željeza tako može biljkama osigurati dovoljne količine željeza koje služe za rast biljaka [30]. Prema literaturnim podacima ne osigurava samo željezo, nego i dostupnost P, Mg, Ca i K. Također u troski su prisutni mangan, cink, molibden, bor i bakar te korištenjem troske u poljoprivredi oni svojim djelovanjem u tlu pospješuju rast biljaka, poboljšavaju kvalitetu usjeva te rješavaju problem nedostatka hranjivih tvari u tlu [31-33].

- **Poboljšava kvalitetu kiselih tala**

Prema literaturnim podacima kiselost tla negativno utječe na plodnost tla, na kontrolu štetnika u tlu te na sadržaj i sastav mineralnih tvari. Korištenjem gnojiva samo se pospješuju već navedeni problemi te se u tu svrhu, kako bi se spriječili, tlu dodaje elektropećna troska [34].

Kako su živo vapno CaO i MgO jedni su od glavnih sastojaka elektropećne troske oni će u reakciji s vodom iz tla dati gašeno vapno i magnezij hidroksid (jed. 1 i 2):



Njihovim otapanjem nastaju ioni Ca^{2+} , Mg^{2+} i OH^- koji uzrokuju povećanje vrijednosti pH te time pozitivno utječu na smanjenje kiselosti tla [35].

- **Smanjuje klorozu**

Nedostatak željeza negativno utječe na mnoge biljke jer uzrokuje manjak klorofila, tj. klorozu (žućenje) listova. Dodatkom troske u tlo pospješit će se dostupnost željeza u tlu te će se istovremeno pospješiti smanjenje kloroze [36].

- **Povećava mobilnost, a time i veću dostupnost fosfora**

Fosfor kao jedan od najvažnijih elemenata za rast biljaka može biti slabo dostupan, a razlog tome je spora difuzija u stanicama i slabo otapanje iz minerala. Kada se primjenjuju kemijska fosfatna gnojiva u poljoprivredi poboljšava se plodnost tla i biljna proizvodnja, ali uz to se mogu uzrokovati različite štete u okolišu [37]. Primijećeno je da se primjenom troske u poljoprivredi proporcionalno povećala količina dostupnog fosfora biljkama kako se povećala i količina dodane troske [38].

- **Stabilizira teške metale u tlu**

Teški metali koji mogu biti prisutni u tlu, a mogu se osloboditi iz različitih industrijskih postrojenja su As, Cr, Cu, Pb, Cd i Zn. Mobilnost bakra u tlu povećava se što je niža pH vrijednost tla te možemo reći da stabilizacija bakra ovisi o pH vrijednosti tla. Bakar se u tlu može stabilizirati dodatkom troske jer se dodatkom troske u tlo povećava njegova pH vrijednost. Također olovo i cink mogu se stabilizirati dodatkom fosfatnih iona [39]. U sastavu troske nalaze se stabilizatori koji ju čine vrlo korisnom za tla koja su onečišćena teškim metalima [40].

- **Štiti od napada patogena i stresa izazvanog promjenama u okolišu**

Troska sadrži 10% silicija te korištenjem troske u poljoprivredi biljke mogu nakupljati silicij u stanicama. Poznato je da je silicij esencijalni element za različite biljne vrste te kako biljke u stanicama nakupljaju silicij to ih čini otpornijim na napade patogena i bolesti [41]. Nakupljanje silicija u stanicama štiti biljke od raznih bolesti te ih čini otpornijim na biotički i abiotički stres, smanjuje toksičnost uzrokovanu aluminijem, manganom i željezom, povećava dostupnost fosfora, povećava otpornost biljaka na smrzavanje, pozitivno utječe na ekonomičniju iskoristivost vode u biljci [42]. Zaključujemo da otpornost biljaka na patogene prestaje ukoliko se prekine opskrba biljaka silicijem [43].

- **Osigurava veći prinos (riža, šećerna trska, kukuruz, suncokret)**

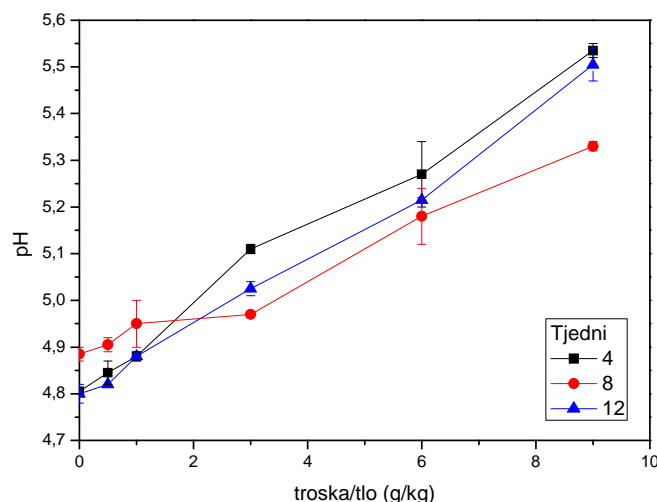
Poznato je kako su potrebni svi esencijalni elementi za normalan rast biljke. Nedostatak samo jednog od njih narušava rast biljke ili nekih njenih dijelova što može rezultirati slabim rastom i smanjenim ili nikakvim prinosom. Također svako prejako prihranjivanje biljaka može dovesti do neželjenog efekta [30]. Korištenjem troske u poljoprivredi otpuštaju se iz nje esencijalni elementi te pridonosi većim količinama željeza, magnezija, fosfora i kalija u tlu.

- Nije toksična za tlo i biljke

Mnoga istraživanja su pokazala da korištenje troske u poljoprivredi ima pozitivni učinak na rast biljaka te se povećava dostupnost mineralnih tvari u biljci. Taj postupak otpuštanja minerala je postupan i polagan te ne utječe na onečišćenje okoliša. Malo je istraživanja provedeno koja pokazuju je li troska toksična za tlo i biljke [30]. Radić i suradnici istraživali su fitotoksični učinak elektropećne troske na kukuruzu koji je uzgajan s ili bez dodatka troske tijekom šest tjedana. Rezultati koje su dobili pokazali su da je troska poboljšala mineralni sastav tla, povećala biomasu biljaka i opskrbila biljke većom količinom esencijalnih elemenata Fe, Mn, Mg, K i P te je pozitivno utjecala na fotosintetsku učinkovitost. Mjerenjem pokazatelja oksidacijskog stresa, nije utvrđen fitotoksični učinak troske [44].

4.2. UTJECAJ ELEKTROPEĆNE TROSKE NA KISELO TLO I KUKURUZ (*ZEAMAYS L.*)

Kako prilikom obrade elektropećne troske nastaju frakcije krupnoće zrna koje su manje od 2 mm i kao takva nisu pogodna za graditeljstvo, Sofilić i suradnici su 2015. godine proveli istraživanje pod nazivom „Čeličanska troska kao poboljšivač tla i sredstvo za popravak kiselosti poljoprivrednog tla“ te su ispitali mogućnost korištenja elektropećne troske u poljoprivredi. Utvrdili su njene fizikalno-kemijske karakteristike i s obzirom na rezultate provedenih ispitivanja svrstali ju u neopasni otpad te ispitali radioaktivnost. Rezultati ispitivanja pokazala su da bi ispitivana elektropećna troska bila pogodna za korištenje na poljoprivrednim tlima te bi doprinijela poboljšanju fizikalno-kemijskim karakteristikama tla [2]. U nastavku istraživanja u 2016. godini su u radu pod nazivom „Istraživanje mogućnosti popravka kiselog poljoprivrednog tla čeličanskom troskom“ ispitali utjecaj elektropećne troske na kiselost tla u smislu poboljšavanja pH vrijednosti tla te nadomještanja Ca i Mg eksploatacijom u osiromašenim tlima. Ispitivanjima su došli do zaključka da se s porastom količine elektropećne troske u tlu povećava i pH tla (slika 11.) te također dolazi i do povećanja Ca i Mg u tlu koji su potrebni za rast i razvoj biljaka [1]. Na slici 11. prikazan je utjecaj količine troske od 0, 0,5, 1, 3, 6 i 9 g/kg na pH u tlu u vremenskom razdoblju od 4, 8 i 12 tjedana.



Slika 11. Promjena pH tla u odnosu na udio troske u tlu nakon 4, 8 i 12 tjedana [1].

Nadalje su u 2017. godini proveli ispitivanje te objavili rezultate u radu „Uporaba čeličanske elektropećne troske kao dodatak u ishrani bilja“ gdje su ispitivali utjecaj čeličanske troske (crna troska) na rast kukuruza (*Zea mays* L.) i usvajanje hranjiva. Na slici 12. je prikazan rast kukuruza u komorama.



Slika 12. Kukuruz u komorama [45].

Došli su do zaključka da se primjenom troske u tlu, u kukuruзу povećava udjel usvajanja P_2O_5 i K_2O , dolazi do rasta udjela Mg i Ca te do boljeg rasta i broja listova kukuruza zbog porasta količine hranjivih tvari koje se nalaze u troski [45].

5. ZAKLJUČAK

U današnje vrijeme cilj održivog razvoja je iskorištenje svakog proizvodnog otpada/ostatka. Kao najznačajniji proizvodni otpad koji nastaje prilikom procesa proizvodnje čelika elektropečnim postupkom je troska. Elektropečna troska prema svojim fizikalno-kemijskim karakteristikama svrstana je u neopasni otpad te se može odlagati na predviđena odlagališta što se pokušava izbjeći s obzirom na visoku cijenu odlaganja troske. Nadalje, odlaganjem može uzrokovati onečišćenje tla, te gubitka obradivih zemljišnih površina i vrijednih sastojaka troske. Znajući fizikalno-kemijske karakteristike elektropečne troske, njene vrijedne sastojke i količine u kojima se pojavljuje tijekom procesa proizvodnje čelika elektropečnim postupkom, postupak odlaganja može se zamijeniti uporabom u različitim granama. Tako se elektropečna troska može koristiti u građevini, cestogradnji, poljoprivredi i dr.

U ovom radu prikazana je uporaba elektropečne troske prema njenim fizikalno-kemijskim karakteristikama u poljoprivredi. Na temelju literaturnih podataka o istraživanjima i rezultatima koji su dobiveni može se zaključiti da elektropečna troska može:

- Obogatiti tlo mineralnim tvarima,
- Poboľjšati kvalitetu kiselih tla,
- Smanjiti klorozu,
- Povećati mobilnost, a time i dostupnost fosfora,
- Stabilizirati teške metale u tlu,
- Štititi biljke od napada patogena i stresa izazvanog promjenama u okolišu,
- Osiguravati veći prinos esencijalnih elemenata i
- Nije toksična za tlo i biljke.

6. LITERATURA

1. I. Brnardić, M. Poljak, T. Sofilić, I. Palčić, D. Lučić, A. Rađenović, Istraživanje mogućnosti popravka kiselog poljoprivrednog tla čeličanskom troskom, Zbornik radova, Četvrti naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem, Bihać, 2016.
2. T. Sofilić, M. Poljak, I. Brnardić, B. Lazarević, A. Rađenović, Čeličanska troska kao poboljšivač tla i sredstvo za popravak kiselosti poljoprivrednog tla, Zbornik radova, Treći naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem, Bihać, 2015.
3. R. Remus, M. A. Aguado-Monsonet, S. Roudier, L. Delgado Sancho, JRC Reference Report, Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control), EUR 25521 EN, European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau, Seville, 2013.
4. <https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/global-map.html> (8.8.2017.)
5. <https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook-.html> (8.8.2017.)
6. M. Gojić, Metalurgija čelika, Denona d.o.o., Zagreb, 2005.
7. <https://www.exportersindia.com/remsocontrol/electric-arc-furnace-greater-noida-india-818224.htm> (8.8.2017.)
8. https://www.researchgate.net/figure/281123827_fig1_Fig-1-Schematic-representation-of-an-electric-arc-furnace (8.8.2017.)
9. <http://www.steel.org/making-steel/how-its-made/processes/processes-info/electric-arc-furnace-steelmaking.aspx> (8.8.2017.)
10. <http://tehnologicaland.blogspot.hr/2010/11/steelmaking.html> (8.8.2017.)
11. T. Sofilić, I. Brnardić, Održivo gospodarenje otpadom, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški Fakultet, Sisak, 2015.
12. T. Sofilić, I. Brnardić, Gospodarenje otpadom, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2013.
13. D. Sandev, Utjecaj troske iz elektropeći na rast i fiziološke procese graha, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 2016.
14. <http://www.euroslag.com/products/statistics/2012/> (8.8.2017.)
15. http://www.aeiforos.gr/en/electric_arc_furnace_slag (8.8.2017.)
16. http://www.aeiforos.gr/en/ladle_furnace_slag (8.8.2017.)
17. M. Selanec, Troska iz procesa proizvodnje čelika elektropečnim postupkom kao mineralni agregat u cestogradnji, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2015.
18. A. Rastovčan – Mioč, Efekti aktivacije troske elektropeći, Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 1996.
19. T. Sofilić, V. Merle, A. Rastovčan-Mioč, M. Ćosić, U. Sofilić, Steel slag instead natural aggregate in asphalt mixture, Archives of metallurgy and materials, 55 (2010) 657-668.
20. T. Sofilić, A. Mladenović, U. Sofilić, Characterization of the Eaf steel slag as aggregate for use in road construction, 4th International Conference on Safety & Environment in Process Industry, 2010.
21. T. Sofilić, D. Barišić, A. Rastovčan-Mioč, U. Sofilić, Radionuclides in steel slag intended for road construction, Journal of radioanalytical and nuclear chemistry, 284 (2010) 73-77.
22. A. Rađenović, J. Malina, T. Sofilić, Characterization of ladle furnace slag from carbon steel production as a potential adsorbent, Advances in Materials Science and Engineering, (2013) 198240-1-198240-6.
23. T. Sofilić, A. Mladenović, V. Oreščanin, D. Barišić, Characterization of ladle furnace slag from the carbon steel production, Zbornik radova, 13th International foundrymen conference "Inovative Foundry Process and Materials", Sisak, 2013, 354-369.

24. L. Havliček, Primjena elektropećne troske za vezivanje CO₂ nastalog pri proizvodnji čelika, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2011.
25. D.M. Proctor, K.A. Fehling, E.C. Shay, J.L. Wittenborn, J.J. Green, C. Avent, R.D. Bigham, M. Connolly, B. Lee, B., T.O. Shepker, M.A. Zak, Physical and chemical characteristics of blast furnace, basic oxygen furnace and electric arc furnace steel industry slags, *Environmental Science and Technology*, 34 (2000) 1576-1582.
26. M. Regelja, Određivanje metala u eluatima troske, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2002.
27. A. Rastovčan-Mioč, T. Sofilić, B. Mioč, Ispitivanje mogućnosti primjene elektropećne troske, Zbornik radova, 7th International Foundrymen Conference Advanced Foundry Materials and Technology, Sisak, 2006, 1-9.
28. European Slag Association, Legal status of slags, Position paper, 2006.
29. Narodne novine (NN 14/2014)
30. X. Wang, Q-S. Cai, Steel slag as an iron fertilizer for corn growth and soil improvement in a pot experiment, *Pedosphere*, 16 (2006) 519-524.
31. N. Karimian, M. Kalbasi, S. Hajrasouliha, Effect of converter sludge, and its mixtures with organic matter, elemental sulfur and sulfuric acid on availability of iron, phosphorus and manganese of 3 calcareous soils from central Iran, *African Journal of Agricultural Research*, 7 (2012) 568-576.
32. M. Abou Seeda, H.I. El-Aila, S. El-Ashry, Assessment of basic slag as soil amelioration and their effects on the uptake of some nutrient elements by radish plants, *Bulletin of the National Research Centre (Egypt)*, 27 (2002) 491-506.
33. Md. H.R. Khan, A.B. Mukaddas, M.K. Syed, H-P. Blume, O. Yoko, A. Tadashi, Consequences of basic slag on soil pH, calcium and magnesium status in acid sulfate soils under various water contents, *Journal of Biological Sciences*, 7 (2007) 896-903.
34. M.A. Torkashvand, M. Kalbasi, H. Shariatmadari, Effects of converter slag on some chemical characteristics of acid soils, *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 8 (2005) 55-62.
35. A.H. Shamim, H.R. Khan, T. Akae, Neutralizing capacity of basic slag in acid sulfate soils and its impacts on the solubility of basic cations under various moisture regimes, *Journal of the Faculty of Environmental Science and Technology Okayama University*, 13 (2008) 67-74.
36. W.B. Anderson, P. Parkpian, Plant availability of an iron waste product utilized as an agricultural fertilizer on calcareous soil, *Journal of Plant Nutrition*, 7 (1984) 223-233.
37. D. Sandev, Utjecaj troske iz elektropeći na rast i fiziološke procese graha (*Phaseolus Vulgaris L.*), Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Zagreb, 2016.
38. M.A. Torkashvand, S.H. Shahram, Converter slag as a liming agent in the amelioration of acidic soils, *International Journal of Agriculture and Biology*, 9 (2007) 715-720.
39. J. Kumpiene, A. Lagerkvist, C. Maurice, Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments - a review, *Waste Management*, 28 (2008) 215-225.
40. O. Negim, B. Eloifi, M. Mench, C. Bes, H. Gaste, M. Montelica-Heino, P. Le Coustumer, Effect of basic slag addition on soil properties, growth and leaf mineral composition of beans in a Cu-contaminated soil, *Journal Soil and Sediment Contamination*, 19 (2010) 174-187.
41. S. Inanaga, A. Okasaka, S. Tanaka, Does silicon exist in association with organic compounds in rice plant? *Soil Science and Plant Nutrition*, 41 (1995) 111-117.
42. N.K. Savant, G.H. Korndörfer, L.E. Datnoff, G.H. Snyder, Silicon nutrition and sugarcane production: a review, *Journal of Plant Nutrition*, 22 (1999) 1853-1903.
43. F. Fauteux, W. Rémus-Borel, J.G. Menzies, R.R. Bélanger, Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi, *FEMS Microbiology Letters*, 249 (2005) 1-6.

44. S. Radić, H. Crnojević, D. Sandev, S. Jelić, Z. Sedlar, K. Glavaš, B. Pevalek-Kozlina, Effect of electric arc furnace slag on growth and physiology of maize (*Zea mays* L.), *Acta Biologica Hungarica* 64 (2013) 490-499.
45. I. Brnardić, M. Poljak, B. Lazarević, T. Sofilić, T. Čavrak, Upotreba čeličanske troske kao dodatak u ishrani bilja, *Zbornik radova, Peti naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem, Bihać 2017.* (u postupku objavljivanja)

ŽIVOTOPIS

OSOBNI PODACI:

Ime i prezime: Tea Čavrak

Datum i mjesto rođenja: 12.04.1995, Sisak

Adresa: I. B. Mažuranić 1, Sisak

Telefon: 098/ 19-74-705

E-mail: 1204tea@gmail.com

OBRAZOVANJE:

Osnovna škola: Viktorovac Sisak

Srednja škola: Tehnička škola Sisak

Sveučilište: Metalurški fakultet Sisak, preddiplomski sveučilišni studij Metalurgija, smjer Industrijska ekologija

VJEŠTINE:

Rad na računalu

Strani jezik: Engleski

Licencirani plivački sudac HPS-a