

Efikasnost primjene čelične šljake u regulaciji plodnosti kiselih tala

Matošević, Ivona

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:031092>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

**EFIKASNOST PRIMJENE ČELIČNE ŠLJAKE U REGULACIJI
PLODNOSTI KISELIH TALA**

DIPLOMSKI RAD

IVONA MATOŠEVIĆ

Zagreb, 29. rujan, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Agroekologija
Agroekologija

**EFIKASNOST PRIMJENE ČELIČNE ŠLJAKE U REGULACIJI
PLODNOSTI KISELIH TALA**

DIPLOMSKI RAD

IVONA MATOŠEVIĆ

Mentor:

prof.dr.sc. Milan Poljak

Zagreb, 29.rujan, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, IVONA MATOŠEVIĆ JMBAG 0178094376, rođena 04. 02. 1994. u Bjelovaru,

izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

EFIKASNOST PRIMJENE ČELIČNE ŠLJAKEU REGULACIJI PLODNOSTI KISELIH TALA

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studentice **Ivone Matošević**, JMBAG 0178094376, naslova

**EFIKASNOST PRIMJENE ČELIČNE ŠLJAKEU REGULACIJI PLODNOSTI
KISELIH TALA**

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____ , dana _____ .

Povjerenstvo:

potpisi:

1. Prof. dr. sc. Milan Poljak, mentor

2. Prof. dr. sc. Stjepan Husnjak, član

3. Izv. prof. dr. sc. Željka Zgorelec, član

Sadržaj

Sažetak.....	
1 Uvod	1
2 Pregled literature	2
2.1 Čelična troska	2
2.1.1 Primjena čelične troske u poljoprivredi	2
2.1.2 Proces nastanka čelične troske i vrste	4
2.1.3 Kemijske značajke čelične troske	8
2.1.4 Fizikalne značajke čelične troske	9
2.2 Kemijske karakteristike plodnosti tla	10
2.2.1 Utjecaj čelične troske na pH.....	11
2.2.2 CEC (cation exchange capacity) - određivanje kapaciteta izmjenjivih kationa	13
2.2.3 Značaj kalcija u tlu	14
2.2.4 Značaj magnezija u tlu	15
2.2.5 Značaj fosfora u tlu	15
3 Cilj rada	17
4 Materijali i metode	18
4.1 Priprema tla za pokus i karakteristike tla.....	18
4.2 Priprema tretmana s troskom	20
4.3 Statistička obrada podataka	20
5 Rezultati i rasprava.....	21
5.1 Utjecaj doza troske na promjene pH vrijednosti distrično smeđeg tla	22
5.2 Utjecaj primjene troske na mobilni aluminij u tlu	23
5.3 Utjecaj primjene troske na CEC	24
5.4 Utjecaj primjene troske na pristupačnost kalcija i magnezija	25
5.5 Utjecaj primjene troske na biljkama pristupačni fosfor.....	26
6 Zaključci	27
7 Popis literature	28
Životopis.....	32

Sažetak

Diplomskog rada studentice Ivone Matošević, naslova

EFIKASNOST PRIMJENE ČELIČNE ŠLJAKE U REGULACIJI PLODNOSTI KISELIH TALA

Čelična šljaka je nusproizvod iz industrije željeza i čelika koja se do sada primarno zbrinjavala odlaganjem na deponij. Međutim, danas je više nego ikad prije imperativ svakog društva, koje nastoji efikasnije gospodariti prirodnim resursima neškodljivo oporabiti nusproizvode na ekološki prihvatljiv način. Jedna od alternativnih metoda odlaganju na deponij je primjena čelične šljake u poljoprivredi bilo kao poboljšivač tla ili kao gnojivo. Zbog svojih kemijskih karakteristika čelična šljaka potencijalno predstavlja vrijedan izvor hranjiva, a visok udio oksida kalcija i magnezija može biti izvor hranjiva, ali i materijal za neutralizaciju kiselosti tla. Stoga je u istraživanju korištena čelična šljaka visoke pH vrijednosti u kombinaciji sa distrično smeđim kiselim tlom iz Smiljana. Istraživanje je provedeno inkubacijskim testom u kontroliranim uvjetima kroz 16 tjedana. Količina troske određena je na temelju rezultata prethodno provedenih istraživanja, a primijenjena je u dozi 0,0 g kg⁻¹, 0,5 g kg⁻¹, 1,0 g kg⁻¹, 3,0 g kg⁻¹, 6,0 g kg⁻¹ i 9,0 g kg⁻¹ tla. U ovom radu ispitivan je utjecaj čelične šljake na promjene kemijskih karakteristika plodnosti tla. Dobiveni rezultati ukazuju na pozitivan utjecaj troske na pokazatelje plodnosti tla poput regulacije pH, CEC te bio pristupačnosti P₂O₅, Ca i Mg u kiselom tlu. Dobiveni rezultati potvrđuju da se korekcija kiselosti tla može uspješno provesti primjenom čelične šljake u višim dozama nego konvencionalna uporaba prirodnih materijala za kalcizaciju poput dolomita ili vapnenaca. Nadalje, porastom doze troske reducira se koncentracija mobilnog aluminija, povišuje se kapacitet baza za zamjenu u tlu i pH vrijednost tla kao posljedica porasta koncentracije Ca²⁺ i Mg²⁺ iona u tekućoj fazi tla.

Ključne riječi: čelična šljaka, kiselo tlo, plodnost tla, kalcizacija

Summary

Of the master's thesis - student **Ivona Matošević**, entitled

EFFICIENCY OF STEEL SLAG APPLICATION IN REGULATING THE FERTILITY OF ACID SOILS

Steel slag is a product of the iron and steel industry, which has been primarily disposed of by landfill. However, today, more than ever before, the imperative of every society that strives to manage more effectively natural resources is to harmlessly recover products in an environmentally friendly way. One of the alternative methods of disposal to the dump is the application of steel slag in agriculture either as a soil improver or as a fertilizer. Because of its chemical characteristics, steel slags potentially represent a valuable nutrient source, and high levels of calcium and magnesium oxide can be a source of nutrients but also a material for acid neutralization of soil. Therefore, a high-pH steel slag in combination with distric brown acid soil from Smiljan was used in the study. The study was conducted by incubation test in controlled conditions for 16 weeks. The amount of EAF slag was determined on the basis of the results of the previously conducted investigations and was applied at doses of 0,0 g kg⁻¹, 0.5 g kg⁻¹, 1.0 g kg⁻¹, 3.0 g kg⁻¹, 6.0 g kg⁻¹ and 9.0 g kg⁻¹ soil. This paper investigated the influence of steel slag on changes in chemical properties of soil fertility. The obtained results indicate a positive impact on soil fertility indicators such as pH regulation, CEC and the availability of P₂O₅, Ca and Mg in acidic soil. The obtained results confirm that soil acidity correction can be successfully carried out using steel slag in higher doses than conventional use of natural calcium materials such as dolomite or limestone. Furthermore, by increasing the slag dose, the concentration of mobile aluminum is reduced, the soil base replacement capacity and soil pH are increased as a consequence of the Ca²⁺ and Mg²⁺ ion concentration rise in the liquid phase of the soil.

Keywords: steel slag, acid soil, soil fertility, liming

1 Uvod

Čelična šljaka ili troska je nusproizvod koji nastaje tijekom procesa proizvodnje čelika i željeza. Jedan od problema prilikom proizvodnje čelika i željeza je količina nastalog otpada (nusproizvoda) koji se u cijelosti ne može odložiti na deponije zbog njihova ograničena kapaciteta. Alternativna metoda odlaganju na deponij je primjena u poljoprivredi kao gnojivo ili poboljšivač tla. U ovom radu proučavat će se primjena čelične šljake ili troske u poljoprivredi. Zbog kemijskih karakteristika troske pretpostavlja se da bi njena primjena na kiselim tlima bila moguća uslijed mogućeg pozitivnog djelovanja na kemijska svojstva plodnosti tla preko regulacije pH vrijednosti. Čelična troska jedna je od najznačajnijih po količini dobivenoj u proizvodnji čelika i željeza. Odlika ove vrste troske je visoka pH vrijednost uslijed tehnološkog procesa elektrolučne proizvodnje čelika koju odlikuje visok udio poželjnih oksida kalcija, magnezija i silicija (Rastovčan-Mioč, A. 1996) s relativno niskim udjelom štetnih teških metala (Pb, Cd, Mn, Cu i Zn). Na temelju brojnih istraživanja utvrđena je promjena statusa troske koja se više ne smatra otpadom, nego nusproizvodom koji se može upotrijebiti u različitim područjima ljudske djelatnosti kao što je sama metalurška proizvodnja, cestogradnja te poljoprivreda. U ovom radu istraživana je efikasnost primjene različitih doza čelične troske na dinamiku pH, CEC, sadržaj Ca, Mg i P_2O_5 na kiselom tlu.

2 Pregled literature

2.1 Čelična troska

2.1.1 Primjena čelične troske u poljoprivredi

Čelična troska nastaje kao nusproizvod u procesu proizvodnje čelika. Troska nalazi svoju primjenu u poljoprivredi kao zamjena za vapnenac i kao takva utječe na povećanje pH smanjujući zakiseljenost tla. White et al. (1937) donose studiju u kojoj je utvrđeno da je nakon primjene čelične šljake na tlu u Pennsylvania-i došlo do povećanja prinosa kukuruza, pšenice, zobi, heljde i soje te su prinosi od usjeva bili jednako dobri ili čak i bolji u odnosu na istu količinu primijenjenog vapnenca. Čelična troska sadrži različite koncentracije biljnih hranjiva kao što su: P, S, Mn, Fe i Mo. Također, troska sadrži značajnije količine kalcijevog silikata koji je prema studiji pokazao pozitivan utjecaj na rast pšenice, riže i šećerne trske. Primjenom kalcijeve silikatne troske smanjuje se kiselost tla i povećava pristupačnost P, Si i zamjenjivog kalcija (Barbosa Filho et al., 2004).

Anderson (1991) je utvrdio povećanje prinosa šećerne trske nakon primjene kalcijeve silikatne šljake. Munn (1998) je dokazao da su tri čelične troske jednako učinkovite kao vapnenac u neutraliziranju deponija iz rudnika ugljena u istočnom Ohio-u. Ti deponiji su jako kisele površine ($\text{pH} < 4$) te je dostupni Al (aluminij) jako toksičan. Njegova studija je pokazala da na površinama koje nisu bile tretirane s troskom nije bilo klijanja sjemenki. Klijanje je bilo uspješno na svim površinama koje su bile tretirane s vapnencem i troskom. Gnojiva od prirodnog vapnenca su konkurencija upotrebi troske. Dakle, da bi se osiguralo iskorištavanje čelične troske u budućnosti, potreban je razvoj novih tržišta za trosku. U tom pogledu, industrija proizvodnje čelika nastoji minimizirati količinu troske koja se mora deponirati, na način da poboljša njezinu upotrebu kroz poboljšanje njezinih svojstava (Drissen et al., 2009). Čelična troska uspješno zamjenjuje vapnenac u neutraliziranju kiselosti tla već dugi niz godina, a prema istraživanjima troska je u nekim slučajevima i učinkovitija od primjene vapnenca. Čelična troska se može koristiti kao kondicioner tla ili gnojivo u poljoprivredi zbog svojih kemijskih karakteristika. Korištenje troske u kombinaciji sa NPK gnojivima doprinosi značajnom povećanju prinosa žitarica i pristupačnosti biljnih hranjiva (Lopez et al., 1995). Šljaka u poljoprivredi se koristi već od 1878. godine (Nippon Technical Report 109 July,

2015). Svake godine se više od 40 milijuna tona čelične i željezne troske proizvede u Europi. (Euroslag, 2006). Kina je najveći proizvođač čelika na svijetu. Velike količine čelika se u Kini proizvedu svaki dan ali se samo 10 % iskoristi za recikliranje (Zhu, GL. 2010). Porastom proizvodnje čelika sredinom 1970-ih, deponiji nastali metalurškom proizvodnjom su došli do krajnjih granica. Pritisak na korištenje prirodnih izvora i energetska učinkovitost prisilili su industriju čelika na sve veće recikliranje materijala. Zbog toga se industrija čelika susrela s nekim drugim važnim izazovima (razvoj tehnologije, održavanje proizvodnih pogona i certificiranje proizvoda od željezne troske) s ciljem poboljšanja njihove primjene u različitim sektorima. (The Japan Iron and Steel Federation – Nippon Slag Association, 2006). U prošlosti proces proizvodnje čelika je bio prilagođen isključivo proizvodnji željeza i čelika specifičnih karakteristika. Jedan od današnjih ciljeva u proizvodnji čelika je prilagoditi proces proizvodnje čelika tako da bi se mogla proizvesti visokokvalitetna čelična troska koja odgovara zahtjevima tržišta i ispunjava sve ekološke i tehničke zahtjeve nacionalnih i međunarodnih normi.

U jednu ruku prodaja čelične troske kao nusproizvoda u industriji čelika povećava prihode industriji i na taj način doprinosi razvoju ekonomije i svjetskom gospodarskom rastu. S druge strane primjena čelične troske doprinosi očuvanju okoliša, zaštiti prirodnih resursa, smanjenju emisije CO₂, povećanju učinkovitosti energije te formiranju društva koje će sve više prakticirati recikliranje otpada i na taj način smanjiti površine odlagališta otpada.

The Waste Framework Directive (WFD) (2006/12/EC) je najvažniji europski dokument koji uređuje i propisuje upotrebu čelične troske. Također, zakonska regulativa o korištenju troske uključuje i neke druge zakone kao što su: Kyoto protokol, Reference Document of Best Available Techniques (Referentni dokument najbolje dostupne tehnike), Harmonisation Commitees TC 351 Dangerous Substances and TC 154 Aggregates (Odbori za usklađivanje opasnih tvari TC 351 i agregata TC154), REACH direktiva. Do nedavno, šljake su se smatrale otpadom. Međutim, nakon dugo godina raspravljanja WFD (2008/98/EC) je počeo za trosku upotrebljavati pojam „nusproizvod“ koji se do tad označavao kao „otpad“.

Budući da je posljednjih godina došlo do povećanja i razvoja industrije čelika potrebno je pronaći što učinkovitiji način iskorištavanja čelične šljake kako bi se postigla održiva proizvodnja željeza. Iako se troske mogu reciklirati i ponovo koristiti postoje i neki ograničavajući faktori za njenu upotrebu. Male količine troske se mogu iskorištavati kao gnojiva u poljoprivredi, a ta uporaba ovisi o situaciji na tržištu. S obzirom da je niska tržišna

vrijednost gnojiva, problem transporta na velike udaljenosti je ograničavajući faktor kod upotrebe troske. Pitanje korištenja troske je značajno sa aspekta zaštite okoliša. Glavni problem prilikom korištenja troske u poljoprivredi je mogućnost ispiranja teških metala. Čelična troska najveću učinkovitost pokazuje upravo u reduciranju pH tj. smanjenju kiselosti nekog tla. Jedna je od jeftinijih metoda oporavka tla, a i omogućava recikliranje otpada. Sadrži brojne spojeve odnosno biljna hranjiva koji utječu pozitivno na rast i razvoj kulture, a o kojima ćemo detaljnije u nastavku ovog rada.

2.1.2 Proces nastanka čelične troske i vrste

U osnovi sav čelik se proizvodi u postrojenjima koja koriste čisti kisik ili u elektrolučnim pećima EAF (Electric arc furnace). Jedan od načina proizvodnje čelika je postupak s čistim kisikom $w(O_2) = 99,99 \%$. Kisik se upuhava kroz vodom hlađenu cijev pod visokim tlakom što dovodi do snažnog miješanja taljevine. U burnoj reakciji oksidiraju se primjese. Plinoviti CO_2 i sumporov IV oksid izlaze iz taljevine, a teško hlapljivi fosfor V oksid i silicijev dioksid se dodatkom kalcijeva oksida izdvoje u obliku troske. Sirovo željezo je u stvari legura željeza s ugljikom i proizvodi se različitim postupcima, od kojih je najstariji i do sada najčešće primjenjivan, postupak u visokim pećima (Glavaš, Z., Dolić, N. 2014.)

Elektrolučna peć je električna peć u kojoj se sirovo željezo tali električnim lukom.



Slika 2.1. Proces proizvodnje elektropećne troske

Izvor: <https://indolinkenglish.files.wordpress.com/2011/07/0022190fd2dc0bb3a6da07.jpg?w=1400>

Peć se može podijeliti na bazičnu i kiselu elektrolučnu peć. Osnovna sirovina za proizvodnju čelika u elektrolučnoj peći je čelični otpad čija kvaliteta ima vrlo veliki značaj za uspješnu i ekonomičnu proizvodnju čelika.

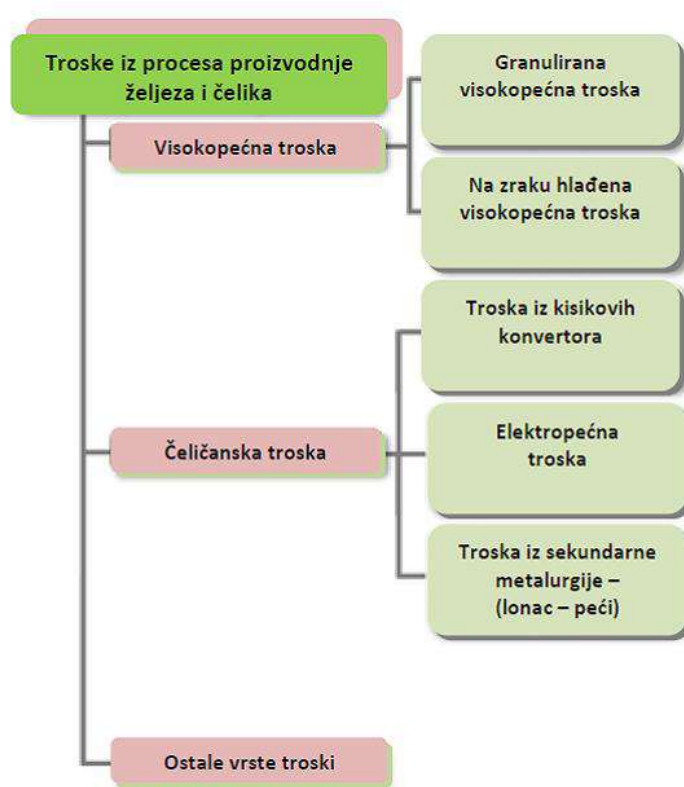


Slika 2.2. Elektrolučna peć

Izvor: <http://media.gettyimages.com/photos/giant-pan-empties-its-contents-into-a-blast-furnace-converting-molten-picture-id2751423?s=612x612>

Kiseli elektrolučni postupak se metalurški razlikuje od bazičnog zbog toga što stari čelik s otpada mora imati nizak sadržaj fosfora i sumpora. Zbog odsutnosti fosfora i sumpora, u kiseloj peći oksidacija i rafinacija je kraća te se radi samo s jednom troskom pa su i gubici željeza u kiseloj peći manji nego u bazičnoj. Elektrolučnim postupkom se može dobiti čelik s nižim sadržajem fosfora ali i drugih nečistoća kao što su sumpor i oksidi. U metalurškim procesima troska nastaje u određenoj fazi procesa rafinacije taline dodavanjem nemetalnih dodataka i talitelja (smjese različitih oksida) kao i međudjelovanjem taline i vatrostalnog materijala kojim je obzidana unutrašnja strana peći (Sofilić, U. 2010). Ugljik ima presudnu ulogu pri izradi čelika jer između ostalog utječe na kvalitetu čelika, a kao talitelj se najviše dodaje vapno. Za taljenje se koriste električna energija (dovodi se putem grafitnih elektroda) i kemijska energija u obliku upuhivanja kisika ili drugog goriva (mješavina plinova) čime se ubrzava taljenje. Nastali metalni oksidi prelaze u trosku, a dobiveni plinoviti ugljikov (II) oksid (CO_2) izlazi iz taline u prazan prostor peći, gdje može dalje izgarati uz dodatno dovođenje kisika. Elektrolučna peć se nakon postizanja željenog sastava i temperature taline nagne i čelik se kroz otvor ili žlijeb izlije u lonac tj. lonac-peć i odlazi na daljnju obradu. Pri izlivanju čelika u lonac-peć, potrebno je spriječiti izlivanje i troske, jer bi to tijekom naknadnih faza proizvodnje otežalo obradu čelika (Gojić, M.2005) Kada se metalurške troske razvrstavaju

prema procesima u kojima nastaju, onda se obično razvrstavaju na: željezne troske, uključujući visokopećnu trosku i čeličanske troske, neželjezne troske nastale pri proizvodnji neželjeznih (lakih i obojenih) metala (Cu, Zn, Pb, Ni, ...), troske koje nastaju u termoenergetskim postrojenjima, kao i troske nastale u spalionicama krutog otpada. U tzv. željezne troske se, s obzirom na mjesto nastanka, uz visokopećne i čeličanske troske, ubrajaju i tzv. ostale troske koje u stvari čine troske nastale u najsuvremenijim postupcima sekundarne metalurgije (slika 2.3)



Slika 2.3. Razvrstavanje željeznih troski po mjestu nastanka

Izvor: http://www.euroslag.com/uploads/pics/Grafik_products.png

Kao i u svim drugim metalurškim procesima, tako i u procesu proizvodnje sirovog željeza visokopećnim postupkom, uz željeni proizvod – sirovo željezo, nastaju i proizvodni ostaci u obliku visokopećnog plina, visokopećne prašine i troske, koja je po količini, koja nastaje po toni proizvedenog sirovog željeza najznačajnija i iznosi od (150 – 347) kg/t sirovog željeza (Remus, R. 2013).

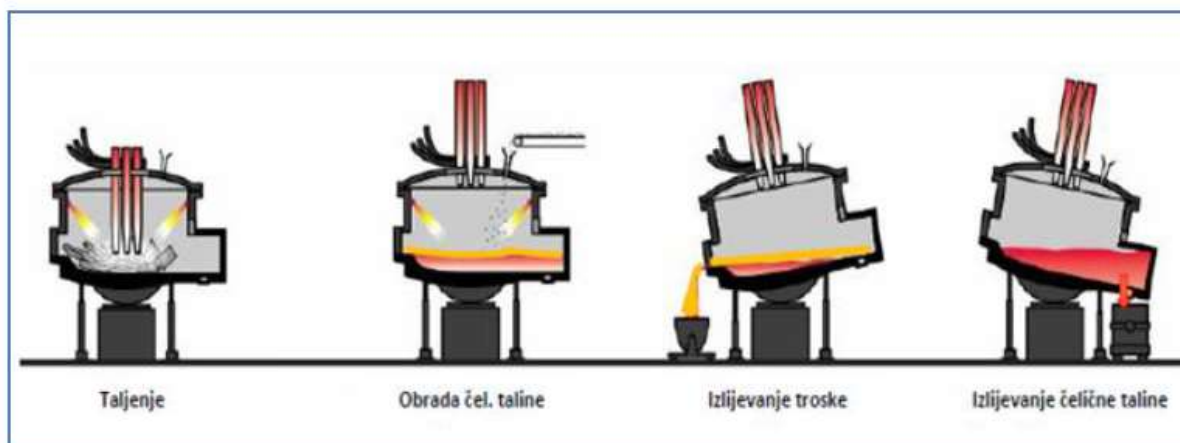
Tijekom 50 – ih godina 20. stoljeća u svijetu se oko 80 % čelika proizvodilo u tzv. Siemens – Martinovim pećima, a ostatak uglavnom u kisikovim ili Thomasovim konvertorima

i nešto malo u elektrolučnim pećima. Danas je situacija bitno drugačija. U svijetu udio proizvodnje čelika u kisikovim konvertorima iznosi oko 72 % (2013.), dok se u nekim zemljama, koje slove kao veliki svjetski proizvođači čelika, udio konvertorskog postupka u ukupnoj proizvodnji raste, kao npr. u Kini, sa 85 % (2003.) taj udio se povećao na 91 % (2013.) (Steel Statistic Yearbook, 2004) . Tijekom 2013. učešće elektropečnog postupka u ukupnoj proizvodnji sirovog čelika u svijetu iznosilo je gotovo 27,4 %, u Europskoj uniji oko 39,9 % (EU-27), ostalim europskim zemljama oko 72 % -100 %, zemljama Sjeverne Amerike 61 %, zemljama Južne Amerike 36 %, Afrike 67 %, Bliskog Istoka 92 % itd. (Steel Statistic Yearbook, 2014).

Primarna troska nastaje već pri temperaturama od 950 °C do 1100 °C. Složenim postupkom ona se transformira u konačnu trosku na temperaturama od 1500 °C do 1551 °C i to nakon završenog niza reakcija u procesu nastajanja sirovog željeza, tj. taljenja svih talitelja, rude, jalovine iz rude i koksa.

Glavne komponente koje čine trosku iz visoke peći su CaO , MgO , SiO_2 i Al_2O_3 . Te komponente čine više od 93 % sastava troske. Preostale komponente su FeO , MnO , TiO_2 , P_2O_5 .

Postupak proizvodnje čelika elektropečnim postupkom sastoji se od nekoliko osnovnih faza: ulaganje metalnog uloška, taljenja, oksidacija i rafinacija, izlivanje u lonac.



Slika 2.4. Prikaz pojedinih faza proizvodnje čelika u elektrolučnoj peći

Izvor: <https://www.steelconstruction.info/images/thumb/d/d1/EAF-dia.PNG/400px-EAF-dia.PNG>

Sirovina za elektropeč je čelični otpad tzv. staro željezo i različiti nemetalni dodaci. Za formiranje troske u fazi topljenja uložka koristi se vapno, a kao talitelj, radi sniženja tališta troske, mogu se upotrebljavati različiti nemetalni dodaci (vapno, dolomit, kalcijev fluorit ili sl.). Tijekom proizvodnje čelika u elektrolučnim pećima nastaje nekoliko tipova troske koje imaju vrlo kompleksnu osnovu, primarno sastavljenu od oksida kalcija, željeza, silicija, aluminija, magnezija, mangana itd., povezanih u složene spojeve kalcijevih silikata, aluminosilikata i aluminoferita.

2.1.3 Kemijske značajke čelične troske

Čelična troska u svom sastavu sadrži različite koncentracije kemijskih komponenti i spojeva.

Tablica 2.1. Prosječne vrijednosti kemijskog sastava elektropečne troske
(Rastovčan-Mioč, A. 1996)

Kemijski sastav	%
FeO	10-35
CaO	25-45
SiO ₂	10-18
Al ₂ O ₃	3-8
MgO	4-13
Cr ₂ O ₃	1-5
TiO ₂ , P ₂ O ₅ , Na ₂ O, K ₂ O, V ₂ O ₅ , ZnO, CuO, S i C	≤1

Kemijski sastav čelične troske odlikuje značajnije koncentracije Ca i Mg. Ti elementi dolaze u obliku silikata, ferita, aluminata i oksida. Glavni spojevi koji izgrađuju trosku su CaO, MgO, SiO₂ i Al₂O₃. Ti spojevi čine više od 93 % sastava troske. Troska sadrži i elemente koje biljke mogu iskorištavati za svoj rast i razvoj kao što su: P, S, Mn, Fe i Mo. Osim toga sadrži i silicij koji predstavlja glavni mineralni sastojak biljaka te se može pronaći u svakom korijenu, listu, plodu u obliku silicijeve kiseline. Silikat je jedan od spojeve posebne važnosti jer ga biljka može uspješno iskorištavati kao biljno hranjivo, a i poboljšava kvalitetu tla. U osnovi, silikat djeluje pozitivno na razvoj i rast biljaka te strukturu tla, povećavajući mobilnost fosfora

u tlu i učinkovitost gnojidbe fosfatom (Rex, M. 2002). Također, neke troske mogu sadržavati povećane koncentracije elemenata kao što su željezo, kadmij, krom, bakar, olovo, molibden, nikal i cink. Svi ti metali nastaju prirodno u tlu i veći dio njih biljka može iskorištavati iz tla. Iako metalurške šljake sadrže različite koncentracije elemenata u tragovima, bio pristupačnost tih metala je dosta niska (National Slag Association, 2011).

Mineraloški sastav elektropećne troske ovisi o samom procesu proizvodnje čelika, a osnovni parametri koji izravno utječu na sastav troske su: kvaliteta proizvedenog čelika odnosno kvaliteta i sastav čeličnog otpada upotrijebljenog kao sirovinska osnova, nemetalni dodaci i njihov maseni udio u šarži elektropeći (vapno, dolomit, boksit, fluorit), upotrijebljene vrste i količine ferolegura (Fe – Mn, Si – Mn, Fe – Si, Fe – Cr,...) kao i ostali tehnološki parametri poput količine dodanog kisika, temperaturni režim peći, načini dinamika odvajanja troske (Sofilić, T.2011). Rastovčan – Mioč (1996) navodi da crne troske predstavljaju mješavinu oksida složenog kemijskog sastava. Nastaju procesom proizvodnje nelegiranih čelika. Sadrže okside kalcija i željeza te okside magnezija, silicija, aluminija.

Prema Munn (1998) u blizini tala koja postižu neutralni pH primjenom čelične troske, očekivane razine kationa kao što su: Al, Cr(III), Pb, Cd, Ni, Co, Be, Ba i Sr su niske. Čelična troska je alkalna te joj pH varira u rasponu 8-10. Reakcijom CaO sa vodom nastaje Ca(OH)_2 koji omogućava i maksimalni pH do 12,5. Također, kalcijev silikat je alkalni i djeluje dugoročno u tlu kao pufer s kiselinom tla i omogućit će dugoročnije puferiranje pH tla.

Ukupni sadržaj topivih soli je jako visok (konduktometrijski ostatak = 717 mg / 100 g troske). Vrlo visoki potencijal neutralizacije (ANP) zbog sadržaja kalcijeva i magnezijeva oksida izraženih u obliku kalcijeva oksida (25%) (Treatwell W.D., Zurcher M. 1939). Troska se može smatrati izvorom kalcija i magnezija, te poboljšivač pH vrijednosti kiselih tala.

2.1.4 Fizikalne značajke čelične troske

Najvažnija fizikalna karakteristika troske za korištenje u poljoprivredi je veličina čestica. Što je čestica finija, odnosno finije granulacije, troska će bolje reagirati i brže neutralizirati kiselo tlo. Finija struktura troske poboljšava strukturu tla i donosi nekoliko pozitivnih učinaka kao što su: smanjenje nastajanja pokorice, bolje stanje biljaka i manje

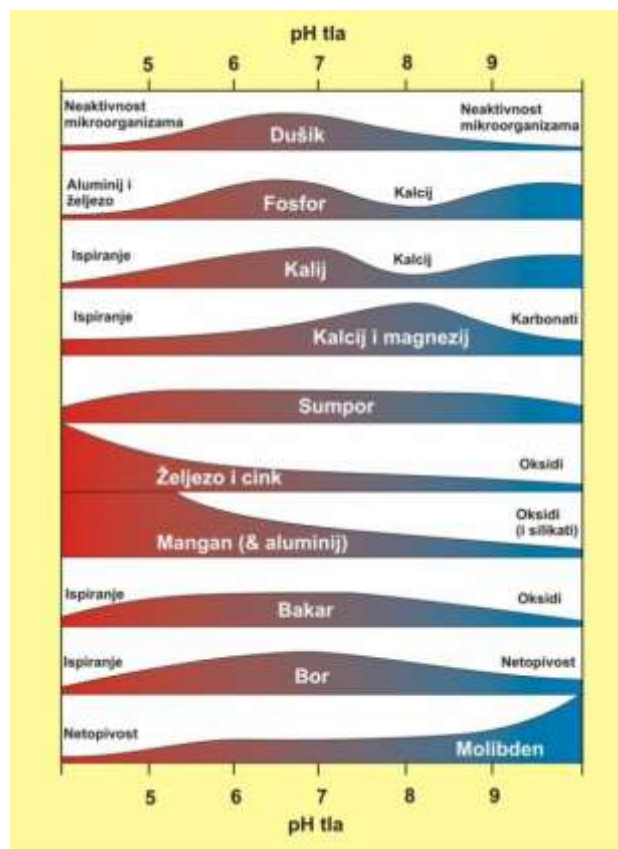
zahtjeva u pogledu obrade tla (Beegle D.B., Lingenfelter D.D. 1995). Potrebna količina troske ovisi o: površini koja je zakiseljena, teksturi tla, željenom pH, sastavu troske. Gustoća, poroznost i krupnoća zrna, određene su vrstom rude korištene u procesu, načinom naknadne obrade i uvjeta hlađenja. Čelična troska ima specifičnu težinu (3,2-3,6) g/cm³, gustoću mase (1,6- 1,9) g/cm³ u odnosu na vapnenac koji ima specifičnu težinu (2,7-2,9) g/cm³ i gustoću mase (1,4-1,5) g/cm³. To je posljedica zaostalih metala tijekom proizvodnje u troski.

2.2 Kemijske karakteristike plodnosti tla

Kemijska svojstva tla su vrlo važni čimbenici plodnosti tla koji sa njegovim fizikalnim, biološkim i mehaničkim svojstvima grade kompleksne odnose. Neke od kemijskih karakteristika koje utječu na plodnost tla su: reakcija tla, sadržaj humusa, kapacitet izmjene kationa, sadržaj makroelemenata i mikroelemenata i sadržaj teških metala. Reakcija tla određena je odnosom koncentracije H⁺ i OH⁻ iona, a izražava se kao pH-vrijednost. Reakcija tla može biti kisela, neutralna ili alkalna i važna je za procese u tlu, posebno za iskoristivost hranjivih kemijskih elemenata. Velik broj važnih kemijskih svojstava tla vezan je uz prisutnost humusa. Humus znatno povećava kapacitet tla za adsorpciju iona i tako poboljšava njegova puferna svojstva regulirajući ravnotežu između iona u tekućoj fazi tla i onih koji su izmjenjivo vezani na koloidnim česticama tla. CEC je suma svih izmjenjivih kationa koje tlo može adsorbirati. Što je veći kapacitet izmjene to je veća sposobnost skladištenja elemenata biljne ishrane. Različite su vrste i količine pojedinih kemijskih elemenata koji izgrađuju trofazni sustav tla. Ukupno 50 elemenata izgrađuju čvrstu, tekuću i plinovitu fazu tla, a od toga su 98 % O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, H dok su samo 2 % ostali od kojih su značajni za ishranu bilja C, N, P i S. Biogeni elementi se dijele na mikroelemente (Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo, Cl i Ni) te na makroelemente: C, O, H, N, P, K, Ca, Mg i S. U nastavku ovog rada proučit ćemo detaljnije uloge navedenih kemijskih karakteristika plodnosti tla, obraćajući pažnju posebno na pH, CEC, te sadržaj i ulogu Ca, Mg i P₂O₅, kako bismo mogli utvrditi i obrazložiti djelovanje čelične troske na promjene navedenih kemijskih značajki.

2.2.1 Utjecaj čelične troske na pH

Zakiseljavanje tla ili smanjenje pH je prirodan proces koji se ubrzava primjenom različitih gnojiva, prije svega uporabom dušika (uree), amonijevog sulfata ili drugih gnojiva koji sadrže amonijev dušik (Anderson et al., 2013). Reakcija tla određena je odnosom koncentracije H^+ i OH^- iona, a izražava se kao pH vrijednost. Vodikovi ioni su nositelji kisele reakcije, a hidroksilni ioni bazične reakcije. Kod jednake zastupljenosti, reakcija otopine je neutralna. Reakcija tla može biti kisela, neutralna ili alkalna i važna je za procese u tlu, posebno za iskoristivost hranjivih kemijskih elemenata. Koncentracija H^+ i OH^- iona u tlu je promjenjiva zbog: količine vode u tlu, aktivnosti organizama tla, dinamike procesa transformacije mineralnih i organskih tvari i agrotehničkih mjera. Reakcija tla ima veliki utjecaj na kemijska, fizikalna i biološka svojstva tla, tj. na kemijsko trošenje minerala, tvorbu sekundarnih minerala, proces humifikacije, pokretljivosti hranjivih tvari kao i na aktiviranje ekološki aktivnih elemenata (Al, Mn, Fe i dr.) odnosno elemenata koji su u normalnim količinama više ili manje prisutni u tlu. Tako na primjer suvišak H^+ iona na adsorpcijskom kompleksu aktivira ione aluminija i željeza koji u većim količinama djeluju toksično na biljke tako što blokiraju opskrbljivanje fosforom i drugim elementima. Nepoželjna je visoka koncentracija H^+ iona te OH^- iona koji smanjuju pristupačnost hranjiva. OH^- ioni imaju veće toksično djelovanje od H^+ iona.



Slika 2.5. Utjecaj reakcije tla na primanje biogenih elemenata

Izvor: <https://www.agroklub.com/agro-hobi/instant-uradi-sam-analiza-tla/12668/>

Zbog kisele reakcije tla javlja se potreba korekcije pH vrijednosti tla do ciljane razine, odnosno kondicioniranja tla radi postizanja slabo kisele do neutralne reakcije kao optimalne vrijednosti za uzgoj većine kultiviranog bilja.

Marschner (1991) ističe da na kiselim mineralnim tlima rast biljaka ograničavaju specifični čimbenici kemijske prirode, kao i interakcijsko djelovanje tih čimbenika. To su na prvom mjestu povećanje koncentracije iona H, Al i Mn do toksičnih granica, smanjenje koncentracije Mg, Ca i K, te smanjenje topljivosti P i Mo. Kao posljedica javlja se inhibicija rasta korijena i pojačano ispiranje hranjiva iz tla.

Barber (1984) navodi kako se suvišna kiselost tla korigira primjenom vapnenih materijala, te se za kalcizaciju mogu koristiti svi materijali koji sadrže kalcijeve i magnezijeve ione. Prema tome, za kalcizaciju je prema Barberu moguće koristiti živo vapno, hidratizirano vapno, mekani i tvrdi vapnenac, lapor, te različite nusprodukte poput troske i sličnih materijala.

Na promjenu pH reakcije tla najviše utječe unos kalcijevog i magnezijevog karbonata čijom disocijacijom u reakciji sa vodom dolazi do snažnije promjene pH reakcije u kiselom tlu. Stoga, čelična troska zbog svog povećanog sadržaja kalcija i magnezija može povoljno utjecati na promjenu pH vrijednosti kiselog tla. Također, Chen et al., 2000 i Gu et al., 2011 navode da se povišenjem pH reakcije tla smanjuje bio pristupačnost Cd, Cu, Pb i Zn za do 60% te se eventualno reducira usvajanje teških metala od strane korijena biljaka.

2.2.2 CEC(cation exchange capacity)- određivanje kapaciteta izmjenjivih kationa

Adsorpcijski kompleks tla predstavlja skup organskih i mineralnih koloida koji mogu na svojoj površini adsorbirati katione, ali na takav način da se ti kationi mogu u jednostavnim kemijskim reakcijama zamjenjivati s drugim kationima iz otopine tla odnosno tvarima s kojima dolazi u dodir. Adsorbirani ioni ili molekule dipolnog karaktera mogu se zamjenjivati na adsorpcijskom kompleksu s drugim ionima po zakonu o djelovanju masa. Kod nekih tipova tla adsorpcijski kompleks je zasićen bazama (Ca, Mg, K) pa to ima veoma povoljan utjecaj i na fizikalna svojstva (npr. struktura i stabilnost agregata). Kod nekih drugih tipova tala prevladavaju H^+ ili Al^{3+} ioni, što nepovoljno utječe na reakciju tla (pH), kao i na niz drugih kemijskih i bioloških svojstava.

Budući da u većini tala prevladava negativan naboj (sekundarni minerali i humusne tvari), uglavnom se zamjenjuju kationi. Zamjena iona (kationa) omogućava zadržavanje hranjivih tvari u pristupačnom obliku, određuje pufersku sposobnost tla te iskoristivost hranjivih tvari unesenih gnojdbom. Prema tome, CEC predstavlja sumu svih izmjenjivih kationa koji se mogu adsorbirati. Ovisi o sadržaju gline i organske tvari te vrsti glinenih minerala. Tla s većom frakcijom gline obično imaju i veći CEC. Vrlo je važno svojstvo tla koje utječe na stabilnost strukture tla, raspoloživost hranjivih tvari, pH tla i reakciju tla na gnojiva i druga svojstva tla (Hazelton, P.A., Murphy, B.W. 2007). Glavni ioni povezani sa CEC-om u tlu su zamjenjivi kationi kalcija, magnezija, natrija i kalija. (Rayment, G.E., Higginson, F.R. 1992). Budući da viši CEC obično ukazuje na veći udio gline i organske tvari prisutne u tlu, ima i veći kapacitet zadržavanja vode od tala koja imaju niski CEC. Tlo s niskim CEC-om ima veću vjerojatnost da će razviti nedostatke kalija (K^+), magnezija (Mg^{2+}) i drugih kationa, dok su tla s visokim CEC manje osjetljiva na ispiranje ovih kationa (CUCE, 2007).

2.2.3 Značaj kalcija u tlu

Kad je adsorpcijski kompleks pretežno zasićen s Ca i Mg tlo ima povoljna fizikalna i kemijska svojstva te povoljan pH. Izvor kalcija u tlu je mineralni dio tla (karbonati, amfiboli, sulfati, kloridi, itd.). Najčešće se javlja u obliku vapnenca, dolomita, gipsa i lapora. U tlu se nalazi u količinama od 0,2 % -1,5 % u karbonatnim tlima i 10 % više. Biljke ga mogu iskorištavati u obliku Ca^{2+} . Kalcij značajno utječe na pH tla, strukturu i pristupačnost Mg, K i Fe. Kalcij u tlu smanjuje toksičnost H^+ iona kod niskog pH. Smanjuje toksičnost iona Al^{3+} i Mn^{2+} kod $\text{pH} < 5,0$. Ispiranje kalcija iz tla dovodi do zakiseljavanja tla te je potrebno provesti mjeru kalcizacije kako bi se povećao pH. Adsorpcijski kompleks većine poljoprivrednih tala sadrži oko 80 % kalcija te su i zamijenjene količine kod njegove zamjene s kalijem ponekad vrlo visoke. Stoga »gnojdba« kalcijem, tzv. kalcizacija, predstavlja sve važniji agrotehnički zahvat. Kalcizacija je agrotehnička mjera dodavanja vapnenih materijala čime se uz povećanje pH vrijednosti tla povećava i njegova produktivnost. Kako često i u kojim količinama tlu treba dodavati vapno, ovisi o vrsti tla, kulturama koje uzgajamo, te stupnju ispiranja kalcija u dublje slojeve tla. Ispiranje kalcija pak ovisi o teksturi tla, oborinama, količini dušika u tlu, te kulturi koju uzgajamo.

Kod tala malog pufernog kapaciteta npr. pjeskovita tla već i male količine vapna mijenjaju pH i mogu naštetiti biljkama, dok su kod glinastijih tala, većeg pufernog kapaciteta, potrebne veće doze vapna. Osim primjene vapna, sve više se upotrebljava i čelična troska s obzirom da sadrži prosječno oko 40 % -52 % CaO i u nekim slučajevima djeluje i učinkovitije u odnosu na vapnenac.

Munn (1998) je dokazao da su tri čelične troske jednako učinkovite kao vapnenac u neutraliziranju deponija iz rudnika ugljena u istočnom Ohio-u. Ti deponiji su jako kisele površine ($\text{pH} < 4$) te je primjenom troske reducirana toksična koncentracija aluminija. Evidentno je stoga da se uporabom troske efikasno može nadomjestiti djelovanje prirodnih materijala za kalcizaciju, a pritom se oporabljuje čelična šljaka.

2.2.4 Značaj magnezija u tlu

Oblik u kojem biljke mogu usvojiti magnezij je Mg^{2+} . Izvor magnezija u tlu je uglavnom mineralni dio tla u koji spada: pirokseni, amfiboli, olivin, augit, karbonati. U tlu se nalazi u koncentraciji 0,05 % -0,5 %. Kao i kalcij, veća koncentracija magnezija je u tlima s više gline dok je nedostatak magnezija u kiselim tlima. Tla bogata magnezijem su prilično suha jer se hidratacijom veže puno vode. Suvišak magnezija uvjetuje nedostatak kalcija i kalija. Pristupačnost Mg ovisi o slijedećima faktorima: matičnom supstratu iz kojeg je tlo nastalo, CEC-u, mikrobiološkoj aktivnosti tla, ispiranju iz zone korijena i iznošenje prinosom, obogaćivanje atmosferskim taloženjem, gnojdbom i melioracijom tala. Gnojidba kalcijem generalno povećava ispiranje Mg u tlu, jer dolazi do zamjene Ca sa Mg na adsorpcijskom kompleksu. Ispiranje magnezija je ubrzano pri procesu zakiseljavanja (acidifikacije) kao rezultata nitrifikacije amonijskog izvora dušika. U tim uvjetima, dolazi do zamjene Mg^{2+} i Ca^{2+} na adsorpcijskom kompleksu sa ionima Al^{3+} i H^+ . Idealna vrijednost zasićenja adsorpcijskog kompleksa za Mg iznosi oko 10 %. Smanjeno usvajanje Mg iz tla, iako u tlu postoje dovoljne količine Mg, može biti uzrokovano: visokom količinom K, niskim temperaturama tla, niskom količinom pristupačnog fosfora i visokom vlagom tla. Ukupna količina Mg u stanici služi i kao regulator pH vrijednosti i za održavanje ravnoteže kation-anion. Magnezij se nalazi i u čeličnoj troski u rasponu od 5 % -10 % te dodavanjem troske u tlo možemo postići povećanje pH. Magnezij dolazi u tlu u obliku silikata, aluminata, oksida i ferita.

2.2.5 Značaj fosfora u tlu

Fosfor je jedno od najvažnijih, a ujedno i najslabije dostupnih hranjiva u tlu (Raghothama, K.G. 1999). Fosfor u tlu nastaje iz mineralnog dijela tla (fosfati Ca- apatit). U tlu se nalazi u količini od 0,02 % -0,2 %. Biljke ga mogu iskorištavati u obliku $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} te ovisi o pH. Čimbenici koji utječu na pristupačnost fosfora u tlu su: pH, sadržaj topivog Fe, Al i Mn, sadržaj Fe, Al i Mn u čvrstoj fazi tla, sadržaj i pristupačnost Ca minerala i Ca, sadržaj organske tvari i aktivnost mikroorganizama. U jako kiselim tlima dolazi do velike fiksacije fosfora. Zbog interakcije fosfata sa drugim elementima u tlu, do 80 % primijenjenih

fosfata može biti fiksirano u tlu (Holford, I.C.R. 1997). Većina poljoprivrednih tala sadrže između 40 % i 80 % anorganski vezanog i 20 % -60 % organski vezanog fosfora. Navedena dva oblika dijele se u više grupa koje sadrže raznolike spojeve fosfora, a podjela se temelji na topljivosti tih spojeva. U neutralnim i lužnatim tlima prevladavaju Ca fosfati koji su lakše topljivi od fosfata seskvioksida u kiselim tlima pa kalcizacija kiselih tala često snažnije utječe na povećanje prinosa različitih poljoprivrednih vrsta. Vukadinović i Lončarić (1997) navode kako kalcizacija kiselih tala često snažnije utječe na povećanje prinosa mnogih poljoprivrednih kultura nego gnojidba fosforom na kiselim tlima. Pretpostavlja se da je 1 % -2 % CaCO_3 u tlu, najpovoljniji sadržaj kalcija u odnosu na topljivost fosfornih spojeva. Raspoloživost fosfora ovisi i o stanju vlažnosti tla i brzine obnavljanja fosforne kiseline u vodenoj fazi tla (Vukadinović, V., Vukadinović, V. 2011). Visoki kapacitet sorpcije fosfora u tlima s niskim pH tla je znatno smanjen uslijed primjene natrijeva silikata, a učinak se pripisuje povećanju pH tla (Owino-Gerroh, C., Gascho, G.J. 2004). Prema istraživanjima O'Reilly i Simsa, (1995) te Matichenkov i Amnosova (1996) dobivena je povećana količina mobilnog fosfora u tlu kao posljedica primjene silikatnih gnojiva. U kiselim tlima, koja zauzimaju oko 40 % od ukupno obradivih površina na svijetu, fosfor je vezan sa aluminijem i željezom u netopive spojeve te je kao takav nepristupačan biljkama (Raghothama, K.G. 1999, Vance i sur., 2003). U drugu ruku na alkalnim tlima, koja zauzimaju oko 25 % od ukupno obradivih površina na svijetu, fosfor je vezan s kalcijem u teško topive kalcijeve fosfate. Za razliku od dušika ioni fosfora snažno se vežu na adsorpcijski kompleks tla ili se kao posljedica vrlo slabe topljivosti talože u tlu pa zbog toga nisu podložni ispiranju u dublje slojeve tla niti u podzemne vode.

3 Cilj rada

Istraživanje je provedeno kako bi se utvrdilo djelovanje čelične šljake na promjene kemijskih karakteristika plodnosti kiselog tla. Zbog svojih kemijskih karakteristika pretpostavlja se da bi čelična šljaka primjenom na kiselim tlima pospješila neke kemijske karakteristike plodnosti tla preko regulacije pH te time djelovala i na bio pristupačnost nekih hranjiva u tlu.

4 Materijali i metode

Ispitivanje učinka šljake na promjene kemijskih karakteristika tla provedeno je inkubacijskim testom u laboratorijskim uvjetima tijekom 2016. godine na Zavodu za ishranu bilja Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Za provedbu pokusa odabrano je tlo sa proizvodne parcele u blizini mjesta Smiljan u Lici. Ukupno je dopremljeno oko 100 kg tla uzetog iz oraničnog sloja dubine 0-25 cm.

4.1 Priprema tla za pokus i karakteristike tla

Tlo je stavljeno na sušenje pri sobnoj temperaturi do zrako suhog stanja. Nakon toga je obavljeno prosijavanje tla kroz sito otvora od 2 mm. Prije postavljanja pokusnih tretmana, od prosijanog, homogeniziranog tla uzet je kompozitni prosječni uzorak mase 1,0 kg za provedbu kemijske i fizikalne analize tla. U tablici 4.1. dat je prikaz fizikalno kemijskih svojstva tla korištenog za istraživanje.

Tablica 4.1. Neka fizikalno kemijska svojstva distrično smeđeg tla u pokusu prije primjene tretmana s analitičkim metodama

Mjerna Jedinica	Analitički parametar	Prosječna vrijednost	Metoda
pH	H ₂ O	5,29	HRN ISO 10390:2005
	1 M KCl	4,30	
%	Humus	5,55	Bikromatna metoda (po Tjurinu)-Škorić,1982.
	N	0,29	HRN ISO 11261:2004
mg/100g tla	P ₂ O ₅	0,57	AL- metoda, (Egner i sur., 1960.)
	K ₂ O	15,0	
	Mg	31,0	Methods of Soil Analysis, 14-3.3.1 (1982.)
	Al ³⁺	37,3	Metoda po A.V.Sokolovu, (JDPZ, 1966.)
mg/kg	Ni	28,2	HRN ISO 11466:2004
	Cr	43,3	AAS - HRN ISO 11047:2004

mg/kg	Cd	<0,1	HRN ISO 11466:2004 AAS – HRN ISO 11047:2004
	Pb	32,5	
	Zn	95,5	
	Mn	1480	
	Cu	28,3	
	Fe	37648	
cmol+/kg	CEC		HRN ISO 11260:2012

Sve analize tla provedene su u laboratoriju Zavoda za ishranu bilja Agronomskog fakulteta uz primjenu standardnih analitičkih postupaka (tablica 4.1.).

Pokus je postavljen po shemi potpune randomizacije (CRD) u tri ponavljanja (repeticije). Osnovni faktor pokusa (tretman) je bila doza čelične elektropećne troske (EAF-slag). Ukupno je u pokusu bilo zastupljeno šest tretmana kiselog tla sa različitim dozama elektropećne čelične troske u količini od 0,0 g kg⁻¹, 0,5 g kg⁻¹, 1,0 g kg⁻¹, 3,0 g kg⁻¹, 6,0 g kg⁻¹ i 9,0 g kg⁻¹ odnosno ekvivalentno 1,75 t ha⁻¹, 3,50 t ha⁻¹, 10,50 t ha⁻¹, 21,00 t ha⁻¹, 31,50 t ha⁻¹ te kontrolna varijanta kiselo tlo bez dodatka čelične troske. U ovom istraživanju korištena je čelična elektrolučna troska dobivena kao nusproizvod iz Željezare Sisak d.d.. Mehanički usitnjeni uzorak čelične troske imao je čestice veličine < 2 mm, a neka fizikalno kemijska svojstva bazične troske navedena su u tablici 4.2.

Tablica 4.2. Prirodni izgled troske prije obrade mljevenjem i neke fizikalno kemijske karakteristike uzorka čelične elektrolučne troske korištene u inkubacijskom istraživanju u 2016. godini

Parametar	%	Parametar	mg kg ⁻¹
CaO	33,2	Cd	1,86
Fe ₂ O ₃	29,64	Cr	280
SiO ₂	10,86	Cu	186
Al ₂ O ₃	1,66	Ni	65
MgO	13,09	Pb	115
MnO	6,18	Zn	57
Na ₂ O	0,02	Hg	< 0,01
K ₂ O	0,3	Fe	20400
P ₂ O ₅	0,6		
pH	11,17		
Granulacija	< 2,0 mm		



Izvor: Sofilić, T. i sur., 2015.

4.2 Priprema tretmana s troskom

Napravljeno je 6 tretmana po tri posude zapremnine od 1,0 kg prosijanog tla. Svaka je grupa predstavljala budući tretman troskom u tri repeticije. Nakon toga je istreseno tlo iz tri posude na jednu hrpu te je dodana predviđena količina kompozitnog uzorka za svaki tretman. Nakon jednoličnog, ravnomjernog dodavanja predviđene količine troske provedena je homogenizacija miješanjem tla sa troskom. Nakon miješanja napravljen je identičan broj odvaga po svakom tretmanu pokusa te su napunjene eksperimentalne posude. Ukupno je u pokusu bilo zastupljeno 18 varijanti, a pokus je proveden dva puta kako bi se dobili pouzdaniji rezultati.

Nakon postavljanja tretmana svaka je posuda potom navlažena s adekvatnom unaprijed utvrđenom količinom vode kako bi se postigao i održavao poljski kapacitet tla (PKV) tijekom perioda istraživanja. Obzirom da prilikom zalijevanja može doći do procjeđivanja vode, ukupna je količina vode dodavana dnevno u dva obroka na početku pokusa odnosno kasnije tijekom trajanja pokusa svaki drugi dan. Period promatranja učinka čelične troske na promjene kemijskog sastava tla bio je 4, 8 i 16 tjedana pri sobnoj temperaturi i standardnom vlaženju do poljskog kapaciteta tla za vodu. Djelovanja šljake na dinamiku promjene pH, CEC, Ca, Mg i P_2O_5 tla utvrđena je u uzorcima koji su uzimani nakon 4, 8 i 16 tjedana inkubacije tijekom 2016. godine. U ovom radu prikazat ćemo promjene u kemijskim svojstvima tla nakon 16 tjedana inkubacije.

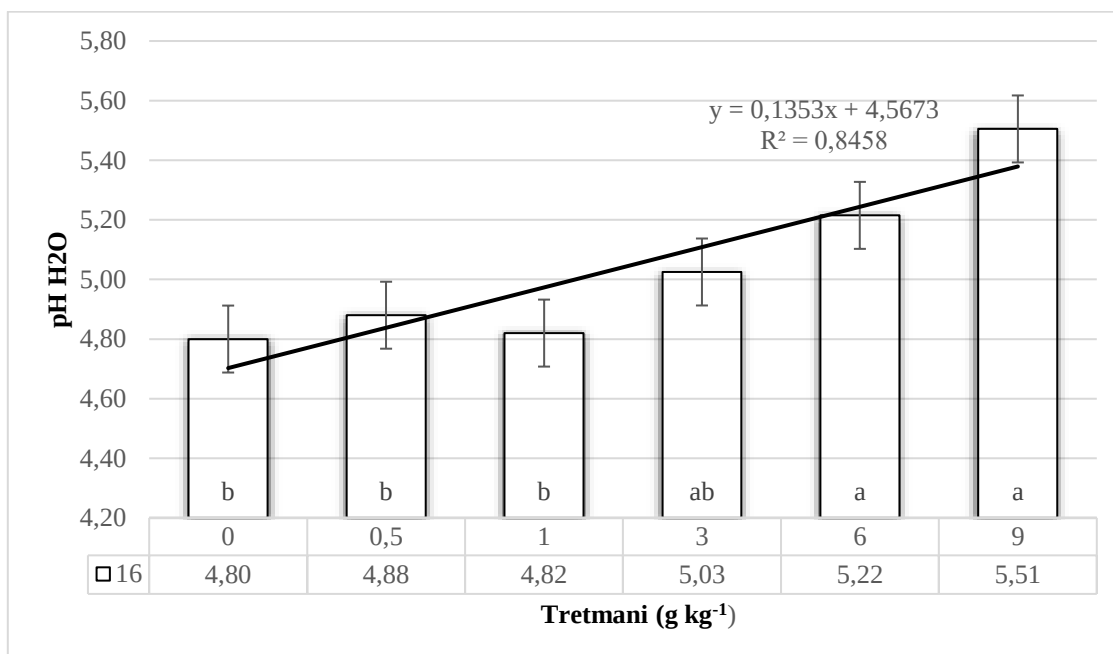
4.3 Statistička obrada podataka

Svi podaci su prosječna vrijednost od tri ponavljanja. Statističke analize podataka obavljene su u statističkom paketu SAS System for Win ver. 9.1.3 (Copyright 2002-2003 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.). Podaci su analizirani analizom varijance (ANOVA), prema linearnom modelu (GLM). Srednje vrijednosti su uspoređivane Tukey's HSD testom, kada je F test bio signifikantan na razini $p \leq 0,05$.

5 Rezultati i rasprava

Prema rezultatima analize uzorka troske (tablica 4.1.) fino mljevena troska promjera čestica ispod 2,0 mm imala je izrazito lužnatu reakciju pH 11,17. Visoki pH troske posljedično je vezan za elektrolučnu tehnologiju proizvodnje čelika pri kojoj ostane velik udio oksida kalcija i magnezija visokog stupnja topljivosti (Rastovčan-Mioč, A.1996; Sofilić, U. 2010). Oksidi kalcija u kontaktu s vodom daju hidrokside ($\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$) koji potom lako disociraju na ione Ca^{2+} i OH^- ione koji doprinose povećanju koncentracije Ca. Istovjetnu reakciju imaju i oksidi magnezija koji su bolje topiviji u vodi nego npr. prirodni dolomitni materijali. Porast koncentracije OH^- iona povisuje pH reakciju tla te se povećava koncentracija Ca^{2+} i Mg^{2+} iona u tlu. Linearno povećanje pH reakcije u kiselom tlu uslijed primjene rastućih doza troski bazične reakcije zabilježili su Besga et al., (1996), Khun et al., (2006) te Ali, M.T. i Shahram, S.H. (2007). Povećanjem koncentracije baza kalcija i magnezija dolazi i do povećanja kapaciteta za zamjenu sa kationima K^+ , NH_4^+ i H^+ . Sukladno navedenom povećava se ukupna kemijska plodnost kiselih tala i povisuje pH reakcija tla koja može povoljno utjecati na pristupačnost i mobilnost iona uslijed adsorpcijsko desorpcijske zamjene. Nadalje, u uzorku troske još su prisutni složeni spojevi poput di i trikalcijevog silikata koji dodatno pospješuju promjenu pH reakcije u tlu i medijator su adsorpcijsko desorpcijskih procesa.

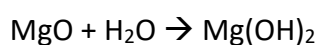
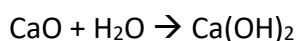
5.1 Utjecaj doza troske na promjene pH vrijednosti distrično smeđeg tla



Grafikon 5.1. Utjecaj doze čelične troske na promjenu trenutne kiselosti tla nakon 16 tjedana inkubacije.

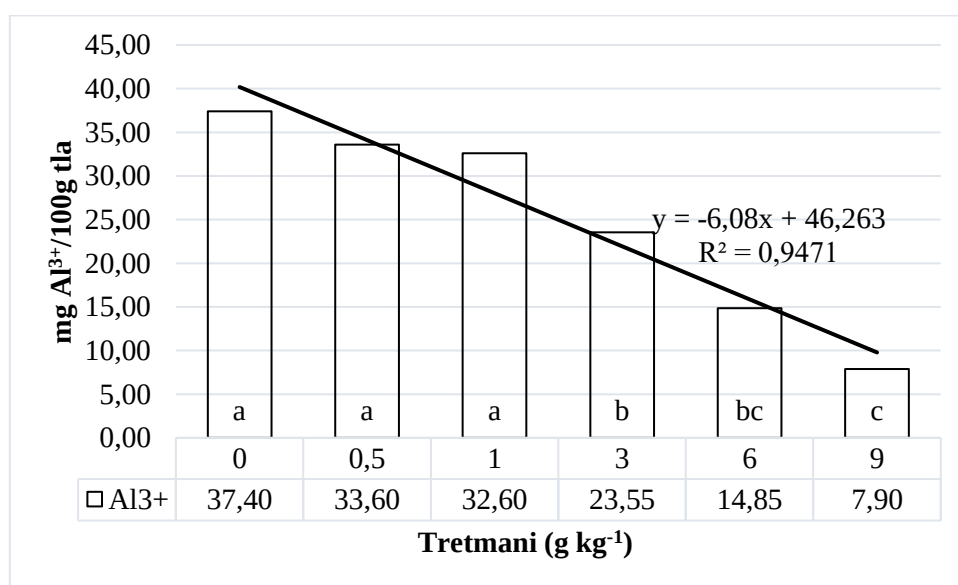
Kao što je vidljivo na grafikonu 5.1. primijenjene doze čelične troske pozitivno su utjecale na povećanje pH. U uzorku u kojem je dodano 9,0 g troske kg⁻¹ uočen je povećan pH (5,51) u odnosu na kontrolni uzorak čiji je pH iznosio 4,80. Uočeno je da dodatak troske u tlo uzrokuje povećanje pH vrijednosti tla i to sukladno količini troske dodane u tlo. Torkashvand i Shahram (2007) te Torkashvand i sur. (2012) su u svojim istraživanjima dobili iste rezultate, odnosno porast pH vrijednosti je bio proporcionalan količini troske dodane u tlo. Utjecaj različitih doza troske najčešće se povezuje sa promjenom pH reakcije tla, na koju najznačajnije djeluje unos kalcija i magnezija. U ovom radu promjene u reakciji tala s povećanjem doze čelične troske rezultirale su značajnijim porastom pH reakcije kiselog tla uzetog iz mjesta Smiljan.

CaO i MgO jedni su od najzastupljenijih spojeva elektropećne troske, a u reakciji sa vodom iz tla oni tvore kalcijev i magnezijev hidroksid.



Otapanjem tih spojeva nastaju ioni Ca^{2+} , Mg^{2+} i OH^- koji uzrokuju povećanje vrijednosti pH te na taj način pozitivno utječu na smanjenje kiselosti tla, a prema Khan i sur. (2007) navedeni ioni se polagano otpuštaju tijekom nekoliko godina. Povoljni sadržaj kalcija u troski i finoća čestica ($<2,0$ mm) poboljšava miješanje sa tlom, a to rezultira bržom promjenom pH vrijednosti kao i difuzijom Ca iona s površine materijala zbog povećanja dodirne površine s česticama tla.

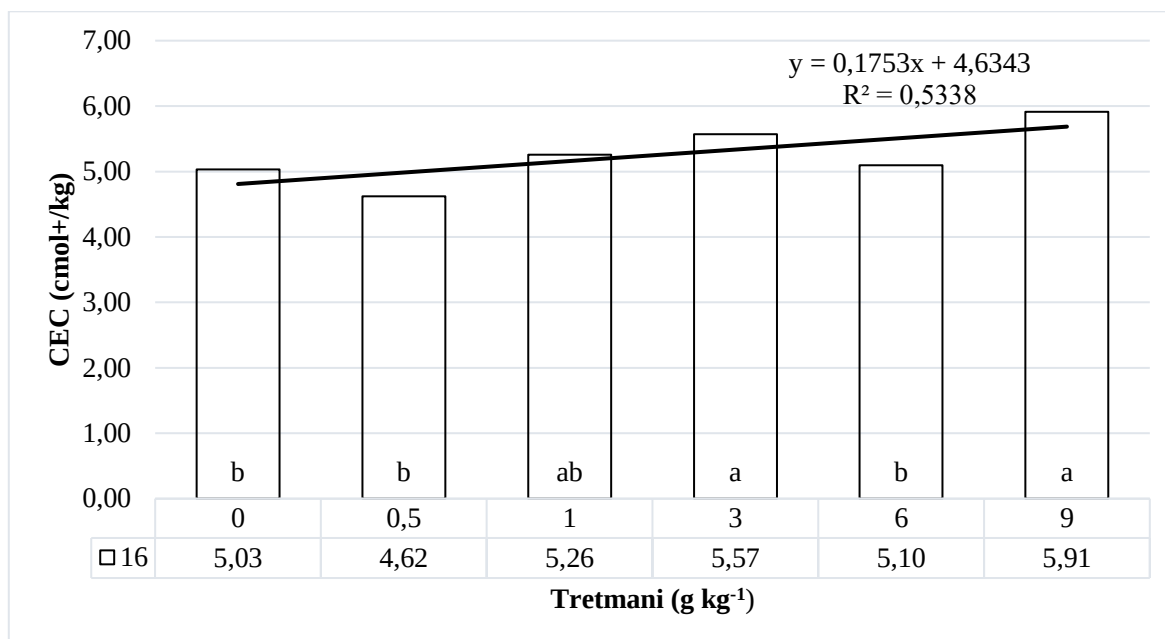
5.2 Utjecaj primjene troske na mobilni aluminij u tlu



Grafikon 5.2. Utjecaj primjene troske na mobilni aluminij

U procesu zakiseljavanja tla, suvišak H^+ iona na adsorpcijskom kompleksu aktivira ione aluminija koji u većim količinama djeluje fitotoksično te onemogućuje opskrbu fosforom i drugim elementima. Budući da su u kiselom tlu aktivni Al^{3+} i H^+ ioni, dodavanjem troske povećava se pH, odnosno sadržaj Ca^{2+} , Mg^{2+} i K^+ , a reduciraju Al^{3+} i H^+ ioni. Kao što možemo vidjeti i na grafikonu 5.2 u kontrolnom uzorku u kojem nije dodana doza troske količina toksičnog aluminija je najviša iz razloga što je u tom uzorku i najniži pH. Dakle, dodavanjem rastućih doza troske koncentracija fitotoksičnog aluminija opada. Tako je u uzorku gdje je dodano $9 \text{ g troske kg}^{-1}$ sadržaj aluminija $7,90 \text{ mg Al}^{3+}/100 \text{ g tla}$, dok u čistom tlu on iznosi $37,40 \text{ mg Al}^{3+}/100 \text{ g tla}$.

5.3 Utjecaj primjene troske na CEC



Grafikon 5.3. Utjecaj doze čelične troske na promjenu kapaciteta baza za zamjenu nakon 16 tjedana inkubacije

CEC je važno svojstvo tla koje utječe na pH, pristupačnost hranjivih tvari, stabilnost strukture tla. Povećanjem koncentracije određenog iona povećava se njegova adsorpcija na adsorpcijskom kompleksu. Dakle, primjenom troske na kiselo tlo istiskuju se H^+ ioni, a povećava se sadržaj Ca^{2+} . U ovom eksperimentu vidljivo je da je do povećanja CEC došlo uslijed primjene rastuće količine troske, što povećava zadržavanje hranjiva u tlu, a između ostalog se podudara s porastom količine pristupačnog fosfora. Tako u kontrolnom uzorku CEC iznosi 5,03 cmol+/kg, a u uzorku gdje je primijenjeno 9 g troske kg⁻¹ došlo je do povećanja CEC na 5,91cmol+/kg.

5.4 Utjecaj primjene troske na pristupačnost kalcija i magnezija

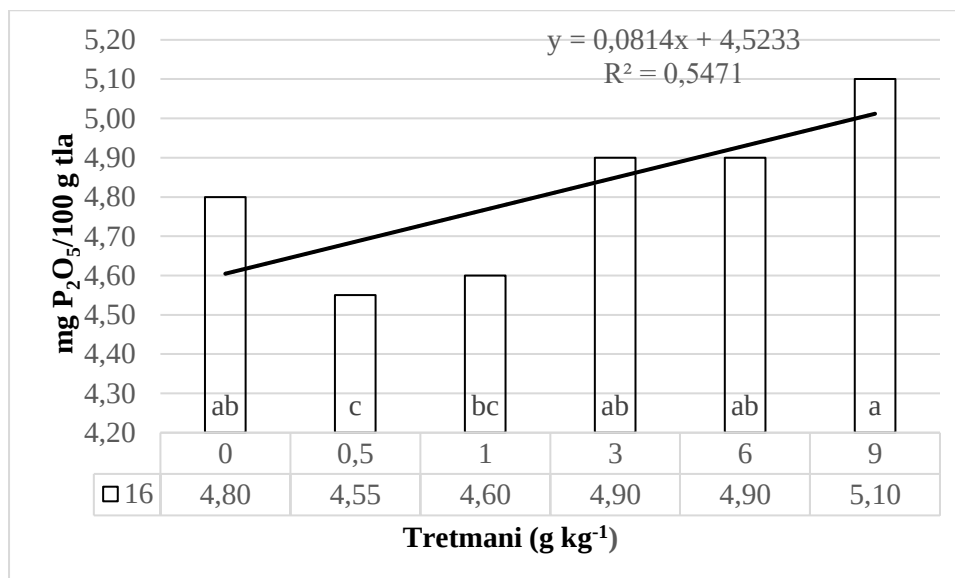
Tablica 5.1. Utjecaj doza čelične troske na ukupni kapacitet baza za zamjenu i % kationa u ukupnom CEC-u nakon 16 tjedana inkubacije

g kg⁻¹	cmol+/kg	% od CEC			
Tretman	CEC	Ca²⁺	Mg²⁺	K⁺	Na⁺
0,0	5,03	18,46	4,43	7,42	1,03
0,5	4,62	24,17	6,41	10,85	1,52
1,0	5,26	27,45	7,93	9,54	1,27
3,0	5,57	37,06	12,38	8,68	1,26
6,0	5,10	76,09	26,25	9,29	2,47
9,0	5,91	81,51	25,79	8,05	2,25
F-test	*	**	**	ns	ns

*- signifikantno $p < 0,05$; **-signifikantno $p < 0,01$; ns-nije signifikantno

U navedenoj tablici 5.1. uočava se signifikantna razlika u koncentracijama kalcija i magnezija u odnosu na čisto tlo. Kao što je vidljivo u tablici 5.1., kontrolni uzorak za kalcij je sadržavao 18,46 % od CEC, a povećanjem doze troske taj sadržaj značajno se povećao. Tako je primjerice, dodavanjem 9,0 g troske kg⁻¹ sadržaj kalcija porastao na 81,51 %. Razlog povećanju kalcija je naravno troska koja se odlikuje visokim udjelom CaO koji je u našem eksperimentu iznosio 33,2 %. Sadržaj kalcija u troskama može varirati ovisno o kvaliteti proizvedenog čelika. Ioni Ca²⁺ otapanjem uzrokuju povećanje pH koji se smatra jednim od glavnih faktora plodnosti tla. Također, prisutnost Ca²⁺ iona upućuje na povoljan pH te povoljna fizikalna i kemijska svojstva tla te pristupačnost Mg, K i Fe. Tako prema Marschner-u (2012) potreba za kalcijevim ionima brzo raste porastom koncentracije H⁺ iona. Osim navedenog kalcija, magnezij je jedan od značajnijih spojeva u troski koji također u reakciji sa vodom stvara magnezijev hidroksid. Otapanjem nastaju ioni Mg²⁺ koji uzrokuju povećanje pH. U tablici 5.1. je vidljivo da postoji značajna razlika u sadržaju magnezija nakon prve primjene doze troske u količini od 0,5 g troske kg⁻¹ te nakon primjene 9,0 g troske kg⁻¹. Dodatkom 0,5 g troske kg⁻¹ sadržaj magnezija je iznosio 6,41 % dok je nakon primjene 9,0 g troske kg⁻¹ došlo do povećanja sadržaja magnezija na 25,79 %. Kako je vidljivo u tablici 5.1., vrijednosti kalija i natrija nisu se značajno mijenjale primjenom različitih doza troske.

5.5 Utjecaj primjene troske na biljkama pristupačni fosfor



Grafikon 5.4. Utjecaj doze čelične troske na promjenu sadržaja biljkama pristupačnog fosfora u tlu nakon 16 tjedana inkubacije

Prema grafikonu 5.4 uočava se porast sadržaja biljkama pristupačnog fosfora. U uzorku gdje je dodano 0,5 g troske kg⁻¹ sadržaj P₂O₅ je iznosio 4,55 mg P₂O₅/100g tla, dok je primjenom 9,0 g troske kg⁻¹ sadržaj P₂O₅ porastao na 5,19 mg P₂O₅/100g tla. Slaba pristupačnost fosfata je posebno izražena u kiselim tlima u kojima ima puno aluminijevih i željeznih oksida koji s fosforom stvaraju spojeve nepristupačne biljkama (Yani sur., 2006; Schachtmani i sur. 1998).

Troska dakle, pozitivno utječe na pristupačnost fosfora. Kisela tla su slabo opskrbljena fosforom te dodatkom troske, odnosno povećanjem pH, sadržaj fosfora se povećava, što je i u našem slučaju. Velike količine silicija iz troske zamjenjuju mjesta sa fosforom (Kristen, M., Erstad, KJ. (1996). Tako se fosfor otpušta u otopinu tla na način da postaje biljci pristupačan. Također, Kristen i Erstad (1996) su utvrdili da se povećanjem silicija u troski povećava i pristupačnost fosfora. Torkashvand i Shahram(2007) u svojim istraživanjima navode da primjenom troske kao poboljšivača tla, količina fosfora raste proporcionalno sa količinom dodane troske, što možemo povezati sa rezultatom ovog rada gdje je također utvrđeno povećanje fosfora, primjenom rastućih doza elektropećne troske.

6 Zaključci

Poboljšivačima tla smatraju se tvari ili spojevi koji ne utječu na ishranu bilja, nego poboljšavaju fizikalna i kemijska svojstva tla. Elektropečna troska se zbog svojih kemijskih svojstava i pozitivnih utjecaja na plodnost tla, svrstava u anorganske poboljšivače tla.

Troska obogaćuje tlo mineralnim tvarima. Dobar je izvor važnih spojeva kao što su željezo, fosfor, kalcij, kalij, magnezij, a jedni od najvažnijih spojeva troske su kalcijev i magnezijev oksid koji u reakciji s vodom utječu na povećanje pH.

Istraživanja sugeriraju da se primjenom rastućih doza čelične elektropečne troske povećava pH tla uslijed povećanja razine topljivog Ca i Mg u tlu.

Istraživanjima je utvrđeno da se povećava CEC. Primjenom troske na kiselo tlo istiskuju se H^+ ioni, a povećava se sadržaj Ca^{2+} . Tlo posjeduje kapacitet za absorpciju.

Primjenom elektropečne troske povećava se pristupačnost P_2O_5 . Uporabom troske se smanjuje uporaba fosfora iz mineralnih gnojiva jer posjeduje kapacitet za sorpciju fosfora u biljci pristupačnom obliku. Poboljšava plodnost tla te njegova fizikalno-kemijska svojstva preko održavanja topljivih hranjiva u tlu.

Primjena troske reducira koncentraciju mobilnog aluminija Al^{3+} . Dodavanjem rastućih doza troske koncentracija fitotoksičnog aluminija opada.

7 Popis literature

1. Ali, M.T. & Shahram, S.H. (2007). Converter slag as a liming agent in the amelioration of acidic soils. *International Journal of Agriculture and Biology*, Vol. 9, No. 5, (2007), pp. (715-720), ISSN 1560-8530
2. Anderson, D.L. 1991. Soil and leaf nutrient interactions following application of calcium silicate slag to sugarcane. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 30:9-18
3. Anderson N.P., Hart J.M., Sullivan D.M., Christensen N.W., Horneck D.A., Pirelli G.J., 2013. Applying Lime to Raise Soil pH for Crop Production (Western Oregon), Archival copy, dostupno na: <https://catalog.extension.oregonstate.edu/em9057>, p. 21. pristupljeno: 15.09.2017.
4. Barber, S. A. 1984. *Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach*. John Wiley and Sons, New York, 398 p.
5. Barbosa Filho, M.P., Zimmermann F.J.P., and Da Silva, O.F. 2004. Influence of calcium
6. Beegle D.B., Lingenfelter D.D., 1995. *Soil Acidity and Aglime*, College of Agricultural Sciences, Cooperative Extension, Agronomy Facts 3, Pennsylvania State University.
7. Besga, G., Pinto, M., Rodríguez, M., López, F. & Balcázar, N. (1996). Agronomic and nutritional effects of Linz-Donawitz slag application to two pastures in Northern Spain. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 46, No. 3, (1996), pp. (157-167), ISSN 1385-1314
8. Chen, X., Chen, G., Yue, P.L. 2000. Electrocoagulation and electroflotation of restaurant converter slag by use as a liming agent on pasture land. *Waste Management and Research* 13, 6, 555-568
9. Cornell University Cooperative Extension (CUCE). 2007. Cation Exchange Capacity (CEC). *Agronomy Fact Sheet Series #22*. Department of Crop and Soil Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University.
10. Directive 2006/12/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on waste
11. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives
12. Drissen, P., Ehrenberg, A., Kühn, M. & Mudersbach, D. (2009) Recent Development in Slag Treatment and Dust Recycling. *steel research international*, Vol. 80, No. 10, (October 2009), pp. (737-745), ISSN 1869-344X
13. Euroslag (2006) *Legal Status of Slags*. Position Paper. January 2006. The European Slag Association - EUROSLAG. Duisburg, Germany
14. Glavaš, Z., Dolić, N., *Metalurgija željeza*, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, 2014
15. Gojić, M., *Metalurgija čelika*, Denona d.o.o., Zagreb, 2005
16. Gu, H.H., Qiu, H., Tian, T., Zhan, S.S., Deng, T.H.B., Chaney, R.L., Wang, S.Z., Tang, Y.T., Morel, J.L., Qiu, R.L. 2011. Mitigation effects of silicon rich amendments on

- heavy metal accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) planted on multi-metal contaminated acidic soil. *Chemosphere* 83, 1234–1240.
17. Hazelton, P.A., Murphy, B.W. 2007. Interpreting Soil Test Results: What Do All The Numbers Mean?. CSIRO Publishing: Melbourne.
 18. Holford, I.C.R. 1997. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. *Australian Journal of Soil Research* 35(2):227–239.
 19. Khan Md. HR, Mukaddas AB, Syed MK, Blume H-P, Yoko O, Tadashi A (2007) Consequences of basic slag on soil pH, calcium and magnesium status in acid sulfate soils under various water contents. *Journal of Biological Sciences* 7: 896-903
 20. Kristen M, Erstad KJ (1996) Converter slag as a liming material on organic soils. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 10: 83-93
 21. Kühn, M., Spiegel, H., Lopez, A. F, Rex, M. & Erdmann, R. (2006). Sustainable agriculture using blast furnace and steel slags as liming agents, European Commission, ISBN 92-79-01702-0, Luxembourg, INTERNATIONAL
 22. Lopez, F.A., Balcazar, N., and Formoso, A. 1995. The recycling of Linz-Donwitz (LD)
 23. Marschner, H. 1991. Mechanisms of Adaptation of Plants to Acid Soils. In: Wright, R.J., Baligar, V.C. and Murrmann, R.P., Eds., *Plant Soil Interactions at Low pH*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 683-702.
 24. Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd edn, Academic Press, New York
 25. Marschner H (2012) *Mineral nutrition of higher plants*. 3rd edition. Academic Press, London
 26. Matichenkov, V.V., Ammosova Y.M. 1996. Effect of amorphous silica on soil properties of asodpodzolic soil. *Eurasian Soil Sci* 28, 87–99.
 27. Munn, D. A. 1998. Comparison of steel industry slags with traditional ag limestone on corn and turf crops. The Ohio State University Agricultural Technical Institute, Wooster, OH. (Unpublished report).
 28. National Slag Association, http://www.nationalslag.org/tech/ag_guide909.pdf, 2011., pristupljeno: 15.09.2017.
 29. Nippon steel & Sumitomo Metal Technical Report No. 109 July 2015.
 30. O'Reilly, S. E., and Sims, J.T. 1995. Phosphorus adsorption and desorption in a sandy soil amended with high rates of coal fly ash. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26:2983–2993.
 31. Owino-Gerroh, C., Gascho, G.J. 2004. Effect of Silicon on Low pH Soil Phosphorus Sorption and on Uptake and Growth of Maize. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15-16, 2369-2378.
 32. Raghothama, K.G. 1999, Phosphate acquisition. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.*, 50:665-693.
 33. Rastovčan–Mioč, A. 1996. Efekti aktivacije troske elektropeći, Disertacija, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu,

34. Rayment, G.E., Higginson, F.R. 1992. Electrical Conductivity. In 'Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods, Inkata Press: Melbourne.
35. Remus, R., Aguado-Monsonet, M. A., Roudier, S., Delgado Sancho, L., 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, Spain, 2013., dostupno na: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/IS_Adopted_03_2012.pdf, pristupljeno: 15.09.2017.
36. Rex, M. (2002). Environmental aspects of the use of iron and steel slags as agricultural lime, Proceeding of The Third European Slag Conference, Keyworth, Nottingham, UK, October 2002.
37. Schachtman DP, Reid RJ, Ayling SM (1998) Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. Plant Physiology 116: 447-453 silicate slag on soil acidity and upland rice grain yield. Cienciae Agrotecnologia 28, 2, 323-331
38. Sofilić, U. 2010. Komparativna istraživanja procesa usitnjavanja elektropećne troske i dolomita, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije.
39. Sofilić. T., Mladenović, A., Sofilić, U. 2011. Defining of EAF steel slag application possibilities in asphalt mixture production. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 19, 2, 148-157.
40. Steel Statistic Yearbook 2004, International Iron and Steel Institute, Committee on Economic Studies, Bruxelles, 2004, Belgium
41. Steel Statistic Yearbook 2014, International Iron and Steel Institute, Committee on Economic Studies, Bruxelles, 2014, Belgium
42. The Japan Iron and Steel Federation – Nippon Slag Association (July 2006). The Slag Sector in the Steel Industry, dostupno na: <http://www.slg.jp/e/index.htm>, pristupljeno: 15.09.2017.
43. Torkashvand MA, Shahram SH (2007) Converter slag as a liming agent in the amelioration of acidic soils. International Journal of Agriculture and Biology 9(5): 715-720.
44. Torkashvand MA, Shadparvar S, Haghighat N (2012) The effect of two industrial by-products as liming factor on chemical properties of an acid soil. Asian Journal of Experimental Biological Sciences 3(3): 654-659
45. Treatwell W.D., Zurcher M., 1939. Helv. Chim. Acta, 22: 1371-80.
46. Vance, C.P., Uhde-Stone, C., Deborah L. A. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. New Phytologist, 157, 423-447.
47. Vukadinović, V. Lončarić, Z. 1997. Ishrana bilja. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet, Osijek.

48. Vukadinović, V., Vukadinović, V. 2011. Ishrana bilja, III izmijenjeno i dopunjeno izdanje. Poljoprivredni fakultet Osijek, 442 str. Osijek.
49. wastewater, J. Environ. Eng. 126, 858–863.
50. White, J.W., F. J. Holben and C.D. Jeffries. 1937. The agricultural value of specially prepared blast-furnace slag. Penn. State Coll., School Agr. And Exp. Sta. Bull. 341
51. Yan X, Wu P, Ling H, Xu G, Xu F, Zhang Q (2006) Plant nutriomics in China: an overview. *Annals of Botany* 98:473-482
52. Zhu GL. The current state and developing of comprehensive disposal of steel and iron slag. *Iron Steel Scrap*. 2010; 1:12–16.

Životopis

OSOBNİ PODACI:

Ime i prezime: Ivona Matošević

Datum i mjesto rođenja: 04. veljača 1994., Bjelovar

OBRAZOVANJE:

2008. - 2012. Gimnazija Daruvar

2012. – 2015. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet Zagreb, Preddiplomski studij: Agroekologija

2015. – 2017. Diplomski studij: Agronomski fakultet Zagreb, smjer: Agroekologija

VJEŠTINE:

Rad na računalu

Strani jezik: Engleski

Vozački ispit – B kategorija

Završena osnovna glazbena škola Brune Bjelinskog u Daruvaru

Sviram klavir