



# REDGREENPLANT

SMANJENJE EMISIJA STAKLENIČKIH PLINOVA UPOTREBOM GRADSKOG  
I POLJOPRIVREDNOG OTPADA U PROIZVODNJI BILJA



# **Smanjenje emisija stakleničkih plinova upotrebom gradskog i poljoprivrednog otpada u proizvodnji bilja – REDGREENPLANT**

PKP-2016-06-9041

*„Projekt se financira u sklopu Programa Vlade Republike Hrvatske za poticanje istraživačkih i razvojnih aktivnosti u području klimatskih promjena za razdoblje od 2015. do 2016. godine.“*

## **VODITELJ PROJEKTA**

dr.sc. Dean Ban, Institut za poljoprivredu i turizam, Poreč

## **SURADNICI NA PROJEKTU**

dr.sc. Marko Černe, Institut za poljoprivredu i turizam, Poreč

dr.sc. Milan Oplanić, Institut za poljoprivredu i turizam, Poreč

dr.sc. Nikola Major, Institut za poljoprivredu i turizam, Poreč

dr.sc. Igor Palčić, Institut za poljoprivredu i turizam, Poreč

dr.sc. Igor Pasković, Institut za poljoprivredu i turizam, Poreč

dr.sc. Josipa Perković, Institut za poljoprivredu i turizam, Poreč

dr.sc. Marija Romić, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet

dr.sc. Vilim Filipović, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet

dr.sc. Aleksandra Perčin, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet

dr.sc. Barbara Soldo Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet

dr.sc. Ljudmila Benedik, Institut Jožef Stefan, Slovenija

dr.sc. Radojko Jaćimović, Institut Jožef Stefan, Slovenija

dr.sc. Guido Fellet, Sveučilište u Udinama, Italija

dr.sc. Filip Pošćić, Sveučilište u Udinama, Italija

dr.sc. Josip Gugić, Veleučilište Marko Marulić, Knin

dr.sc. Sandi Orlić, Institut Ruđer Bošković, Zagreb

Tea Zubin Ferri, dipl.ing.chem., Metris, Pula

Marina Diana Igrc, mag.ing.chem., Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet

Zoran Užila, dipl.ing.agr., Institut za poljoprivredu i turizam, Poreč

Danko Cvitan, bacc.ing.agr., Institut za poljoprivredu i turizam, Poreč

## **TRAJANJE PROJEKTA**

1/4/2017 - 31/3/2019

*Sadržaj publikacije isključiva je odgovornost Instituta za poljoprivredu i turizam*

## IMPRESSUM

### **Priručnik projekta „ Smanjenje emisija stakleničkih plinova upotrebom gradskog i poljoprivrednog otpada u proizvodnji bilja – REDGREENPLANT “**

#### **Izdavač**

Institut za poljoprivredu i turizam, Karla Huguesa 8, 52440 Poreč  
Za izdavača: dr.sc. Dean Ban

#### **Autori**

dr.sc. Dean Ban  
dr.sc. Marko Černe  
dr.sc. Nikola Major  
dr.sc. Milan Oplanić  
dr.sc. Igor Palčić  
dr.sc. Josipa Perković

#### **Fotografije**

dr.sc. Marko Černe  
dr.sc. Nikola Major  
dr.sc. Milan Oplanić  
dr.sc. Igor Palčić  
dr.sc. Josipa Perković  
Tea Zubin Ferri, dipl.ing.chem.

#### **Dizajn**

dr.sc. Igor Palčić

#### **Recenzent**

dr.sc. Dragan Žnidarčič, Sveučilište u Ljubljani, Biotehnički fakultet

#### **Tisak**

Nelograf

#### **Naklada**

350 kom.

#### **Tiskano**

Ožujak, 2019.

ISBN 978-953-7296-24-7

## Sadržaj

1.	UVOD .....	1
2.	CILJEVI PROJEKTA.....	5
3.	TIJEK RADOVA NA PROJEKTU.....	6
3.1.	KARAKTERIZACIJA KOMUNALNOG MULJA I KOMINE MASLINA .....	6
3.1.1.	Kemijska karakterizacija komunalnog mulja .....	6
3.1.2.	Biološka karakterizacija komunalnog mulja .....	7
3.1.3.	Kemijska karakterizacija komine maslina .....	9
3.2.	PROIZVODNJA I KARAKTERIZACIJA KOMPOSTA I BIOUGLJENA OD KOMUNALNOG MULJA I KOMINE MASLINA.....	10
3.2.1.	Proizvodnja komposta i biougljena od komunalnog mulja i komine maslina .....	10
3.2.2.	Kemijska karakterizacija komposta i biougljena od komunalnog mulja .....	18
3.2.3.	Kemijska karakterizacija komposta i biougljena od komine maslina .....	19
3.3.	POSTAVLJANJE POKUSA I REZULTATI .....	21
3.3.1.	Postavljanje pokusa, vegetativna mjerenja i mjerenja u berbi .....	21
3.3.2.	Određen kemijski sastav istraživanog biljnog materijala .....	26
3.3.3.	Fotosintetska aktivnost istraživanog biljnog materijala .....	28
3.3.4.	Indikatori stresa u listu kupusa .....	31
3.3.5.	Kemijska karakterizacija tla s dodatkom komposta i biougljena od komunalnog mulja i komine masline.....	33
3.3.6.	Biološka karakterizacija tla s dodatkom biougljena i komposta od komunalnog mulja i komine .....	36
3.3.7.	Vrijednosti i usporedba različitih GHG emisija .....	39
4.	MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA KOMUNALNOG MULJA I KOMINE MASLINA U POLJOPRIVREDI .....	41
5.	ZAKLJUČAK .....	44



*Detalji iz provedenog pokusa tijekom projekta REDGREENPLANT (foto: I. Palčić)*

## 1. UVOD

Emisije stakleničkih plinova globalni su problem te se međunarodna zajednica usuglasila oko potrebe njihova reduciranja kroz Okvirnu konvenciju UN-a o promjeni klime (UNFCCC), usvojenu u New Yorku, a potpisanu na samitu u Rio de Janeiru u lipnju 1992. godine. Temeljni cilj Konvencije je u postizanju stabilizacije koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi na razinu koja će spriječiti opasno antropogeno djelovanje na klimatski sistem. Republika Hrvatska postaje stranka Okvirne konvencije UN-a o promjeni klime 1996. godine, nakon donošenja Zakona o potvrđivanju Konvencije u Hrvatskom saboru (NN-Međunarodni ugovori, broj 2/96). Protokolom iz Kyota (2005), zemlje članice EU i druge zemlje povezale su se u cilju smanjenje emisija ugljičnog dioksida CO<sub>2</sub>. EU poduzima mjere za smanjenje od 40% vlastite emisije stakleničkih plinova do 2030. godine

Intenzivna poljoprivredna proizvodnja sudjeluje u procesu stvaranja i direktne ili indirektno emisije stakleničkih plinova. Većina stakleničkih plinova su metan (CH<sub>4</sub>) i dušikov oksid (N<sub>2</sub>O), te emisije CO<sub>2</sub>. Tijekom redovitih poljoprivrednih djelatnosti (npr. obrada tla, žetva, berba itd.) dolazi do izravne emisije navedenih plinova. Dok do neizravne emisije dolazi tijekom proizvodnje i prijevoza sirovina potrebnih za intenzivnu poljoprivrednu proizvodnju kao što su herbicidi, pesticidi i mineralna gnojiva.

Intenzivna poljoprivredna biljna proizvodnja u svijetu, oslanja se na primjenu velikih količina gnojiva, a proces njihove proizvodnje podrazumijeva upotrebu velike količine energije i stvara značajne količine stakleničkih plinova. Kod proizvodnje dušičnih gnojiva, većina emisija otpada na CO<sub>2</sub> koji se emitira prilikom sagorijevanja prirodnog plina za sintezu amonijaka, te na N<sub>2</sub>O koji se emitira tijekom proizvodnje dušične kiseline. Pri proizvodnji fosfatnih gnojiva, stakleničke plinove uglavnom čini CO<sub>2</sub> emitiran tijekom potrošnje fosilnih goriva za različite faze proizvodnje. Kako bi proizvodnja bilja imala udjela u smanjenju emisija stakleničkih plinova, potrebno je usmjeriti se k smanjenoj upotrebi mineralnih gnojiva, primjerice češćom uporabom organskih gnojiva. Jedan od mogućih izvora organskih gnojiva je otpad iz urbanih sredina te iz poljoprivrede.

Kao rezultat rada pročištača otpadnih voda ili kao nusprodukt tehnologije prerade poljoprivrednih proizvoda nastaju značajne količine organskog otpada: komunalnog mulja, žetvenih ostataka, komine masline u procesu dobivanja maslinovog ulja i dr. Takav otpad predstavlja problem za okoliš, što zbog konstantne proizvodnje, što zbog problema odlaganja u urbana i ruralna područja. Obrada navedenog otpada i ponovno korištenje kao gnojiva ili poboljšivača tla u poljoprivredi mogući su načini njegova ekološki prihvatljivog zbrinjavanja i korištenja, a zatim i kvalitetna alternativa spaljivanju, te posredno doprinose smanjenju emisije stakleničkih plinova.

Za postizanje sanitarne ispravnosti i neškodljivosti za tlo i biljku, mulj iz pročištača komunalnih otpadnih voda kao i komina masline moraju biti obrađeni prije primjene na poljoprivrednim površinama. Postoji cijeli niz metoda obrade organskih otpada i one se konstantno unapređuju. Posljednjih godina se nametnula primjena pirolize za razgradnju organske tvari u biougljen. Biougljen je heterogeni proizvod bogat ugljikom i mineralima, a proizvodi se pirolizom organske tvari u kontroliranim uvjetima, te se koristi za sve oblike primjene koji ne podrazumijevaju brzu mineralizaciju biougljena do CO<sub>2</sub>. Pirolitička razgradnja komunalnog mulja i njegova pretvorba u biougljen predstavlja održiv način gospodarenja otpadom, zbog brige o gospodarenju gorivima, ponovnom iskorištavanju hraniva i kontroli unosa teških metala. Premda se radi o tehnologiji koja se može primijeniti i na kominu masline, informacije o proizvodnji biougljena iz komine su vrlo rijetke.

Jedan od najstarijih načina obrade organskog otpada je i proces kompostiranja, a predstavlja biooksidacijski proces mineralizacije i djelomične humifikacije organske tvari, pri kojem se stvara stabilizirani konačni proizvod. Kompostiranje komine masline, potencijalno rješava problem velikih količina poljoprivrednih ostataka, umanjuje troškove primjene mineralnih gnojiva, a istovremeno doprinosi obogaćivanju siromašnih i hranivima erodiranih tala. Komina je bogata lako razgradivom organskom tvari, polifenolima, neekstrahiranim maslinovim uljem i organskim kiselinama, te zbog toga njena učestala izravna primjena u tlo predstavlja rizik. Tijekom kompostiranja, pretpostavlja se kako će se potencijalno rizični spojevi biološki razgraditi, pa bi nakon procesa kompostiranja bila omogućena sigurna upotreba dobivenog komposta na

poljoprivrednim površinama. Pokusi na travnatim kulturama ukazuju na to da primjena komine može pozitivno utjecati na prinos vrlo slično djelovanju mineralnih gnojiva, s dodatnom prednošću povećanja ukupnog organskog ugljika u tlu, kao i poboljšanje nekih drugih svojstava tla.

Kompostiranje mulja iz pročištača komunalnih otpadnih voda sve se češće smatra kvalitetnim rješenjem zbog niza prednosti koje ovaj način zbrinjavanja ima u odnosu na odlaganje spomenutog mulja. Upotreba organskih otpadnih materijala kao poboljšivača tla, poput kompostiranog mulja iz pročištača otpadnih voda ili komine masline, mogla bi pozitivno djelovati na strukturu i plodnost tla, kao i na prinos. Komunalni mulj primjenjivan u poljoprivredi, vrijedan je izvor organske tvari, dušika, fosfora i drugih biljnih hraniva. Zbog navedenih svojstava, komunalni mulj iz uređaja za pročišćavanje komunalnih voda mogao bi smanjiti te i isključiti potrebu za komercijalno proizvedenim gnojivima. Osim toga, primjena komunalnih muljeva u poljoprivredi, predstavlja trenutno najpristupačniju opciju za njihovu obradu i zbrinjavanje u EU.

U tipovima tala koji su najzastupljeniji na sredozemnom području, poput crvenice (terra rossa) koja dominira istarskim poluotokom i česta je i u ostatku Hrvatske, fosfor je slabo dostupan zbog stvaranja slabo topivih kalcijevih fosfata te niskog postotka humusa. Crvenici je stoga potrebna intenzivna gnojidba mineralnim gnojivima, posebice dušičnim i fosfornim. Rendzina je, uz crvenicu najzastupljenije tlo u Istri te se često pojavljuje i u ostatku Hrvatske. Sadrži dostatnu količinu humusa i hraniva, ali nedostatnu količinu fosfora. Stoga organska gnojiva bogata fosforom mogu biti dobra alternativa mineralnim gnojivima na tlima loše opskrbljenima fosforom.

Osim kompostiranja, primjena biougljena u problematična poljoprivredna tla smatra se obećavajućom strategijom očuvanja plodnosti tla. Biougljen dodan u tlo povećava pH vrijednost i kapacitet tla za vodu, dovodi do poboljšanja strukture tla, smanjuje otjecanje vodotopivih hraniva, smanjuje emisiju stekleničkih plinova te poboljšava efikasnost korištenja gnojiva. Više je autora potvrdilo kako biougljen može predstavljati kvalitetan izvor fosfora za poljoprivredna tla te da je određena količina tog elementa dostupna biljkama koje rastu na tim supstratima. Biougljen se može smatrati izvorom, ali i



sorbentom fosfora pa može spriječiti ispiranje fosfora i povećati iskorištenje gnojiva.

Kroz projekt „Smanjenje emisija stakleničkih plinova upotrebom gradskog i poljoprivrednog otpada u proizvodnji bilja“, unutar Programa poticanja istraživačkih i razvojnih aktivnosti u području klimatskih promjena (PKP-06-2016) Hrvatske zaklade za znanost, fokus je stavljen na učinkovitost primjene komunalnog mulja i komine masline u obliku biougljena i komposta kao dodataka tlu s ciljem povećanja fosfora dostupnog biljkama te smanjenje emisije stakleničkih plinova, posredno, manjom primjenom mineralnih gnojiva. Projektom se željelo također istražiti ulogu biougljena i komposta na fosforom deficitarnim tlima, mikrobiološka svojstva obogaćenih tala, kao i fiziološki odgovor, kakvoća i prinos odabrane poljoprivredne kulture. Odabrana je brzorastuća povrćarska vrsta koja se konzumira u Hrvatskoj i svijetu, kineski kupusa (*Brassica rapa* L. subsp. *pekinensis* (Lour.) Hanelt. Kineski kupus je odabran radi svoje kratke vegetacije i afiniteta za akumulaciju toksičnih metala iz kontaminiranih tala. Biljka translocirane i nakupljene teške metale drži pod kontrolom pomoću raznih antioksidacijskih mehanizama pa se oni najčešće gomilaju u vakuolama.

## 2. CILJEVI PROJEKTA

Projekt je zadovoljio zahtjeve plana Vlade RH (NN 140/44) te je vezan uz prioritetno tematsko područje koje za cilj ima smanjenje stakleničkih plinova u sektoru poljoprivrede. Kroz ovaj projekt, različite obrazovne, istraživačke i razvojne institucije u Hrvatskoj i šire povezuju se međusobnom suradnjom, a također surađuju i s poljoprivrednicima, uljarama te postrojenjima za pročišćavanje otpadnih voda.

Nadalje, kroz projekt su ostvareni zadani ciljevi. Prikupljeni su uzorci i podaci o količinama proizvedenog komunalnog mulja iz pročištača otpadnih voda te tehnologijama obrade istog, kao i podaci i uzorci komine masline iz uljara s različitim tehnologijama prerade maslina diljem Hrvatske. Utvrđen je utjecaj različitih oblika obrade (piroliza i kompostiranje) istraživanih organskih materijala, pretvorbom u poboljšivače tla (kompost i biogljjen), na fizikalna i kemijska svojstva te mikrobiološku aktivnost tla. Utvrđen je i utjecaj navedenih materijala na fiziološki odgovor, iskoristivost hraniva, akumulaciju toksičnih metala, prinos i kvalitetu uzgajane kulture. Procijenjena je mobilnost fosfora kao procjena rizika potencijalne eutrofikacije vodenih sustava te i njegovo procjeđivanje. Procijenjen je rizik konzumacije kultura uzgojenih na tlu s dodatkom istraživanih poboljšivača. Pripremljena je studija izvodljivosti metoda obrade i uporabe komunalnog mulja i komine masline u poljoprivredi. Osim toga, razvijene su i preporuke za jedinice lokalne i državne uprave vezane uz korištenje navedenih materijala u poljoprivredi, te preporuke dorade i izrade propisa iz područja primjene komunalnog mulja i komine masline u poljoprivredi.

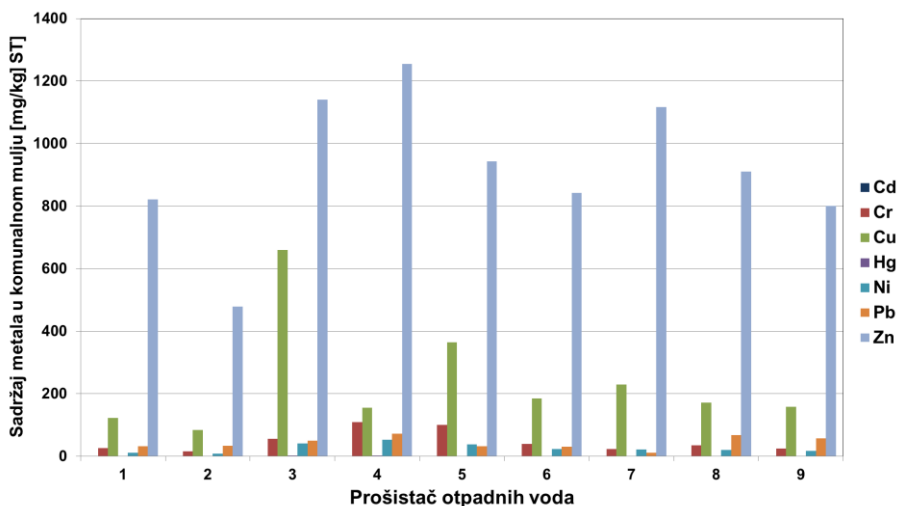
### 3. TIJEK RADOVA NA PROJEKTU

#### 3.1. KARAKTERIZACIJA KOMUNALNOG MULJA I KOMINE MASLINA

##### 3.1.1. Kemijska karakterizacija komunalnog mulja

U prvoj fazi provedbe projekta prikupljeni su uzorci komunalnog mulja s 10 različitih pročištača otpadnih voda kao i 13 uljara različite tehnologije proizvodnje maslinovog ulja na području Republike Hrvatske kako bi se stekao uvid u raznolikost sastava ulaznog materijala koji je potrebno zbrinuti te kako bi se definirali ulazni parametri za daljnju obradu otpada i njihovo recikliranje u poljoprivrednoj proizvodnji.

Određen je bio ukupni sadržaj potencijalno toksičnih metala u dehidriranom otpadnom mulju s različitih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u Hrvatskoj (graf 1). Rezultati pokazuju da su obzirom na Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08) ukupne koncentracije metala u osam uzoraka otpadnih muljeva od ukupno devet ispitanih muljeva ispod dopuštenog sadržaja teških metala u obrađenom mulju koji se koristi u poljoprivredi.

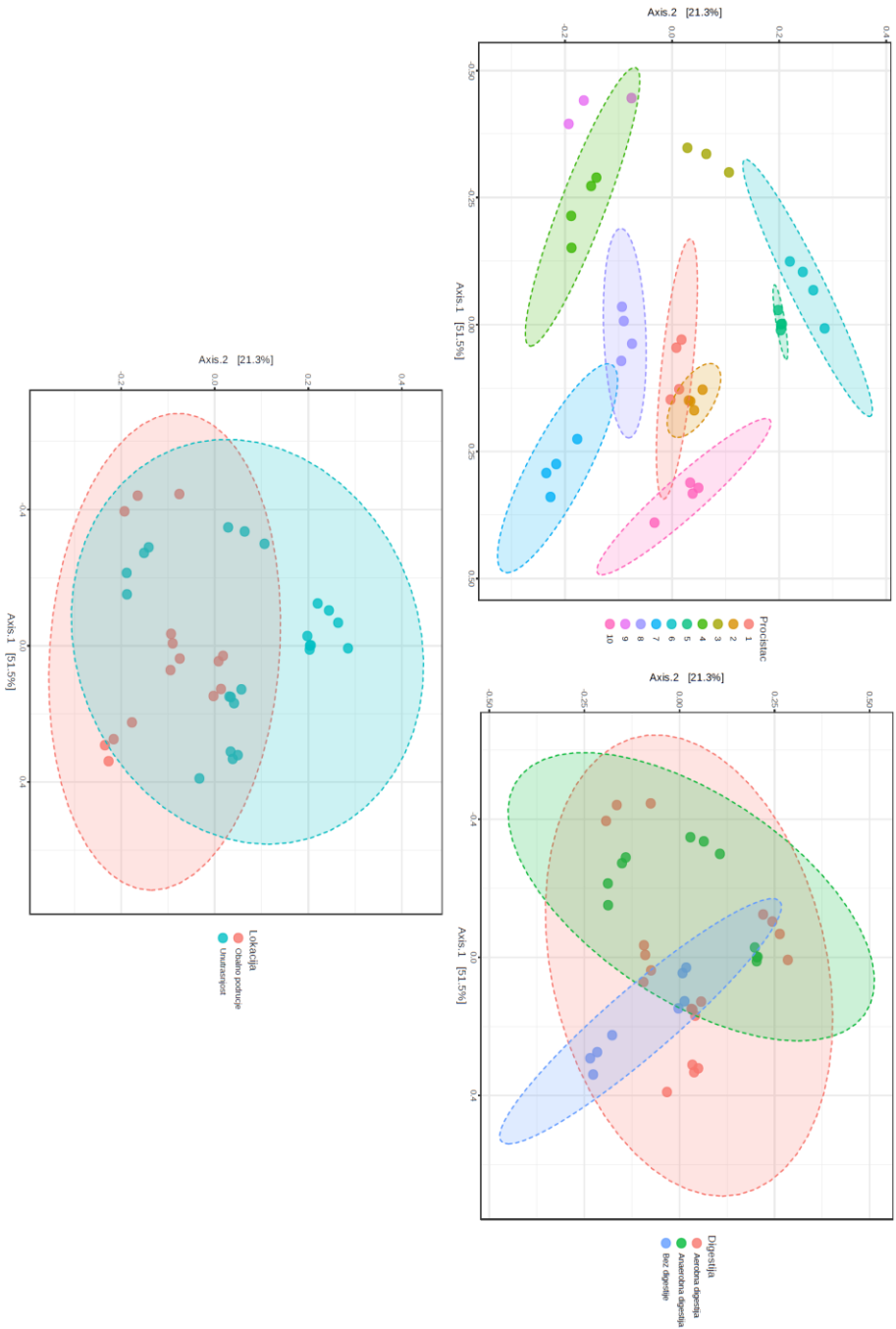


Graf 1. Ukupni sadržaj potencijalno toksičnih metala u dehidriranom komunalnom mulju sa 9 različitih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u Hrvatskoj

### *3.1.2. Biološka karakterizacija komunalnog mulja*

U svrhu karakterizacije bakterijskih populacija iz uzoraka koji su prikupljeni s deset različitih pročištača otpadnih voda provedena je ekstrakcija ukupne DNA te amplifikacija dijela 16S rRNA fragmenta gena.

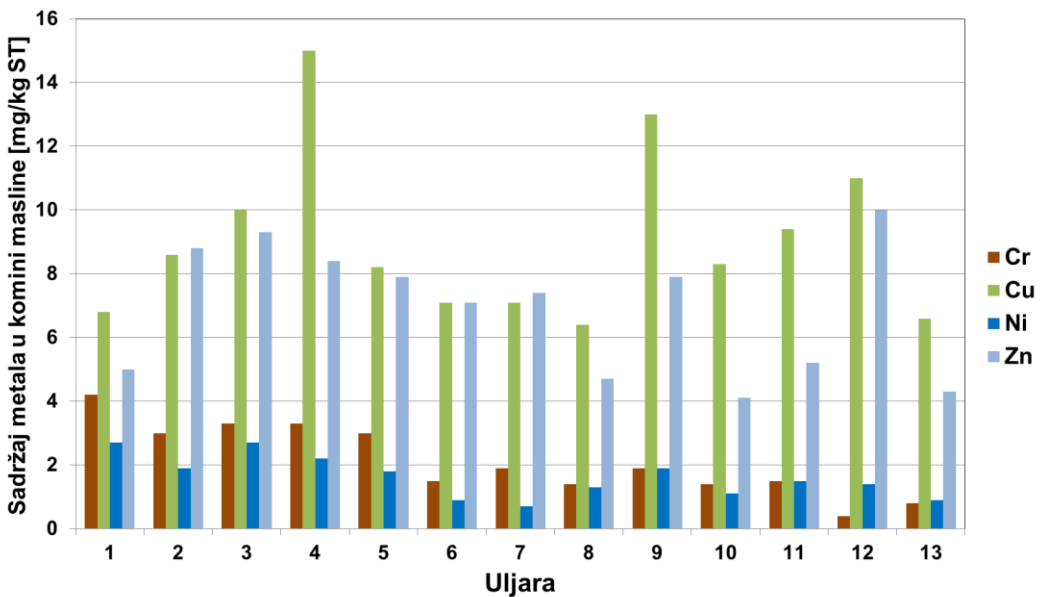
Rezultati su analizirani u odnosu na pojedine pročištače otpadnih voda (10 pročištača), zemljopisni položaj gdje se pročištač nalazi (priobalno područje ili unutrašnjost) i s obzirom na tehnologiju proizvodnje mulja (bez digestije, aerobna ili anaerobna digestija). Rezultati analize su pokazali da je profil bakterijskih populacija karakterističan za svaki pojedini pročištač otpadnih voda, dok tehnologija pročištača kao i zemljopisni položaj nemaju utjecaja (graf 2).



Graf 2. Razlika između bakterijskih populacija ovisno o pročistačima otpadnih voda, tehnologiji i zemljopisnom položaju

### 3.1.3. Kemijska karakterizacija komine maslina

Određen je bio ukupni sadržaj potencijalno toksičnih metala u komini maslina iz 13 različitih uljara u Hrvatskoj (graf 3). Prema EU izvješću "Good Practices for the Agronomic Use of Olive Mill Wastes" utvrđene koncentracije Zn i Cu u ispitanim uzorcima komine bile su ispod graničnih vrijednosti navedenih metala za kominu masline koja se može koristiti u poljoprivredi kao poboljšivač tla.



Graf 3. Ukupni sadržaj potencijalno toksičnih metala u maslinovoj komini sa 13 različitih uljara u Hrvatskoj

## 3.2. PROIZVODNJA I KARAKTERIZACIJA KOMPOSTA I BIOUGLJENA OD KOMUNALNOG MULJA I KOMINE MASLINA

### 3.2.1. *Proizvodnja komposta i biougljena od komunalnog mulja i komine maslina*

#### ***Kompostiranje komunalnog mulja***

U okviru projekta Redgreenplant provedena su istraživanja u sklopu kojih koristio se sustav statičnih hrpa bez primjene difuznih cijevi unutar. Stoga je bilo potrebno redovito prevrtanje i obraćanje supstrata svaka 3 do 4 tjedna kako bi postigli dovoljnu prozračnost komposta. Budući da je C/N omjer otpadnog mulja nizak što onemogućuje mikrobnu razgradnju organske tvari, u pripremi kompostne biomase je upotrijebljena slama pšenice kao dodatni organski materijal koji ima visok C/N omjer. Kompostiranje komunalnog mulja je započelo 1.6. 2017. godine na način da je 1 m<sup>3</sup> dehidriranog mulja pomiješan sa 40 kilograma pšenične slame (slika 1, 2). Navedena mješavina otpada postavljena je u komposter izgrađen od betonskih cigla (slika 3). Time je osigurana adekvatna toplinska izolacija kompostne hrpe u svrhu bolje retencije temperature unutar komposta. Hrpa komposta je pokrivena s folijom kao bi se kompost dodatno zaštitio od gubitka temperature i vlage. Tijekom miješanja komposta dodavanjem vode osigurana je odgovarajuća vlažnost komposta. Uz navedeni pokusni tretman praćena je i kontrola koja je obuhvaćala dehidrirani mulj u komposteru bez dodatka organskog strukturnog materijala.



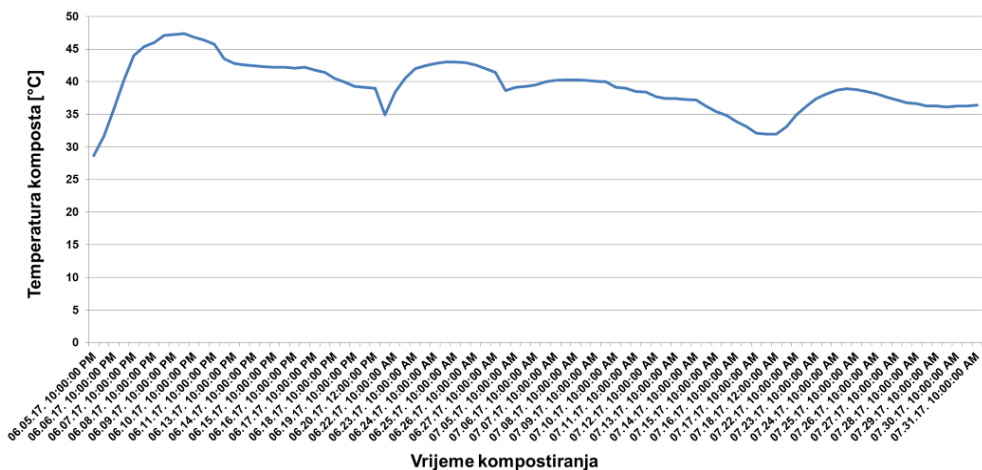
*Slika 1. (lijevo) i 2. (desno). Miješanje komunalnog mulja i slame pšenice  
(foto: M.Černe)*



*Slika 3. Komposter za komunalni mulj (foto: M. Černe)*

Temperatura, kao jedan od najvažnijih indikatora mikrobne aktivnosti unutar komposta, je kontinuirano praćena putem senzora za temperaturu (HOBO) postavljenih u sredini hrpe. Navedeni senzori su bili spojeni na uređaj za prikupljanje podataka (HOBO Data Logger) koji su se očitavali svakih 14 dana pomoću programa HOBOWare. Temperatura se s početnih 29 °C kao indikatora mezofilne faze tijekom 3 dana povećala na 45 °C i ostala iznad 40 °C oko 10 dana (graf 4). Visoka temperatura je bila dobar pokazatelj termofilne faze te time i intenzivne mikrobne razgradnje. Kako se visoka temperatura komposta postepeno smanjila na 30 do 35 °C uslijedila je faza hlađenja komposta. Daljnja konstantna temperatura u visini od 30 do 35 °C je poslužila kao pokazatelj faze sazrijevanja komposta kada je na temelju pedoloških i kemijskih analiza određena i kvaliteta dobivenog supstrata pomoću parametara poput pH, EC (električna vodljivost), udjela suhe tvari, ukupne koncentracije fosfora i kalija, ukupnog sadržaja ugljika i dušika te ukupnih koncentracija metala.





Graf 4. Kretanje temperature komposta tijekom procesa aerobne razgradnje

Razgradnja organske tvari pokusnog tretmana bila je značajna što je rezultiralo vidljivo smanjenim volumenom kompostne hrpe pri kraju ciklusa kompostiranja (slika 4).



Slika 4. Kompost od komunalnog mulja nakon 2 mjeseca kompostiranja (foto: M. Černe)

Proces kompostiranja komunalnog mulja završio je nakon 2 mjeseca kada je proizveden kompost koji je upotrijebljen kao supstrat u proizvodnji kineskog kupusa u svrhu daljnjih projektnih istraživanja kompostiranog mulja kao poboljšivača tla i njegovog učinaka na biljku.

### ***Kompostiranje komine maslina***

U sklopu projekta Redgreenplant, komina masline se kompostirala korištenjem sustava statičnih hrpa u zatvorenom prostoru s nadstrešnicom na pokusnom poljoprivrednom imanju Instituta za poljoprivredu i turizam. S obzirom da smo laboratorijskim analizama utvrdili da je C/N omjer nabavljene komine (slika 5) iznosio 29,6, kod kompostiranja nije bilo potrebno miješanje komine sa dodatnim organskim materijalom.



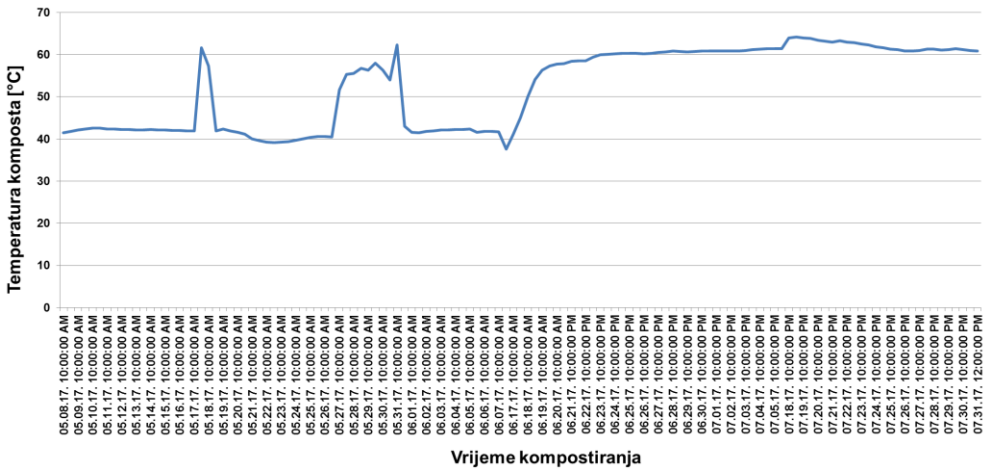
*Slika 5. Komina masline iz dvofazne uljare (foto: M. Černe)*

Proizvodnja komposta od komine maslina je započela 1.5.2017. na način da je za kompostiranje korišten komposter volumena 1 m<sup>3</sup> (slika 6). Komposter je izgrađen od betonskih cigla koje su osigurale dovoljnu toplinsku izolaciju što je bilo važno zbog manjeg gubitka temperature i vlage iz komposta. Hrpa je bila zaštićena sa folijom čime je smanjena dehidracija komposta. U namjeri dobre prozračnosti komposta, hrpa je bila ručno pomiješana svaka 3 do 4 tjedna. Tijekom miješanja dodavana je voda čime je osigurana odgovarajuća vlažnost komposta.



*Slika 6. Komposter za kominu masline foto: (M. Černe)*

Temperatura, kao jednog od najvažnijih indikatora mikrobne aktivnosti komposta, je kontinuirano praćena s temperaturnim senzorima (HOBO) u sredini hrpe komposta. Navedeni senzori su bili spojeni na uređaj za prikupljanje podataka (HOBO Data Logger) koji je očitavan pomoću programa HOBOWare svakih 14 dana. Temperatura u sredini komposta se je sa početne mezofilne faze brzo povećala na razinu termofilne faze kada se kretala između 40 i 60 °C (graf 5). Visoka temperatura je bila prisutna u kompostu više od 3 mjeseca sve do njegove primjene kao supstrata. Putem pedoloških i kemijskih analiza određena je kvaliteta dobivenog komposta pomoću sljedećih parametara: pH, EC (električna vodljivost), udio suhe tvari, ukupna koncentracija fosfora i kalija, ukupni sadržaj ugljika i dušika te ukupna koncentracija metala.



Graf 5. Kretanje temperature komposta tijekom procesa aerobne razgradnje

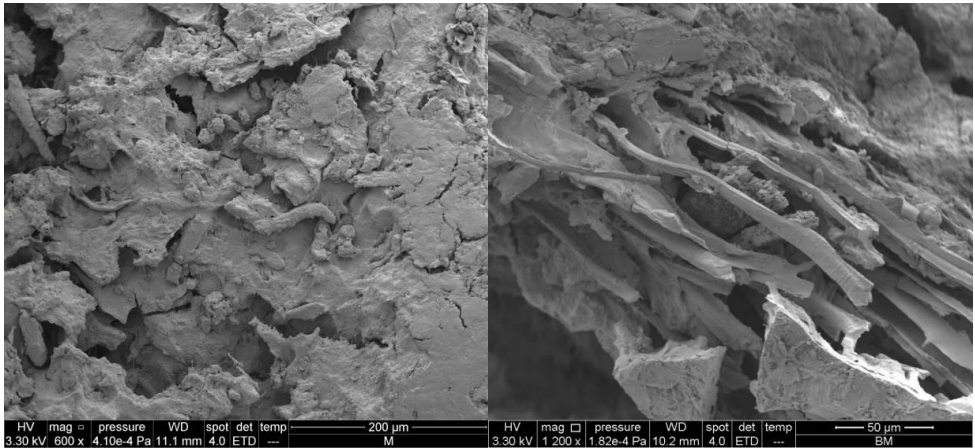
Činjenica da je zbog ograničenog vremena trajanja projekta Redgreenplant kompostiranje komine masline bilo prekratko, sustav statičnih hrpa se na temelju praćenja temperature i analize komposta pokazao kao kvalitetan način za obradu komine masline koji može biti u uvjetima cjelovitog procesa kompostiranja primjenjiv za zbrinjavanje manjih kao i većih količina navedenog otpada. Na jednom tretmanu bio je korišten i *Bio-algeen* proizvod (Ecoland d. o.o.), poznat kao komercijalni ubrzivač kompostiranja komine koji nije pokazao značajan efekt na proces kompostiranja te je bio stoga isključen iz daljnje studije. Svježa komina je ligno-celulozni materijal bogat ostacima ulja i fenolima koji su fitotoksični te se potencijalno mogu ispirati i u podzemne vode. Proces kompostiranja komine se teško može ubrzati te je potrebno duže vrijeme kako bi se toksični spojevi razgradili te kako dobiveni supstrat nebi bio štetan za okoliš i mogao se koristiti u poljoprivredi.

## ***Proizvodnja biougljena od komunalnog mulja i komine maslina***

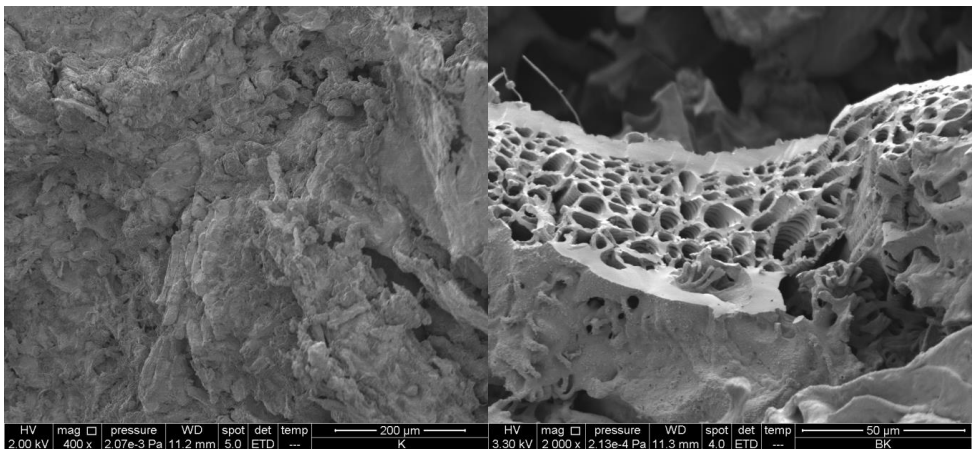
Biougljen od komunalnog mulja i komine masline proizveden je na jednak način. Proces proizvodnje biougljena korištenjem metalnog uređaja tipa 'Kon-tiki' zasniva se na principu piroliziranja sloja po sloja biomase u konusnom metalnom uređaju (slika 7). Na dnu kon-tiki uređaja pali se vatra, koja pokreće pirolizu prvog sloja organskog materijala. Kada tanki sloj pougljeni (slika 7), dodaje se homogeno sljedeći tanki sloj biomase. Temperatura pirolize tijekom proizvodnje biougljena kretala se od 410 do 470°C, a mjerena je pomoću termoelementa – NiCrNi spojenog na digitalni pokazivač. Kada se dobila željena količina biougljena, proces se zaustavio punjenjem uređaja vodom, čime su se ujedno ispirale nečistoće s proizvedenog biougljena (slika 7). Biougljen mijenja svoju strukturu u odnosu na ishodišni materijal, što je vidljivo na SEM snimci komunalnog mulja (slika 8) te komine maslina (slika 9) i iz njih proizvedenih biougljena.



*Slika 7. Proces proizvodnje biougljena (foto: I. Palčić)*



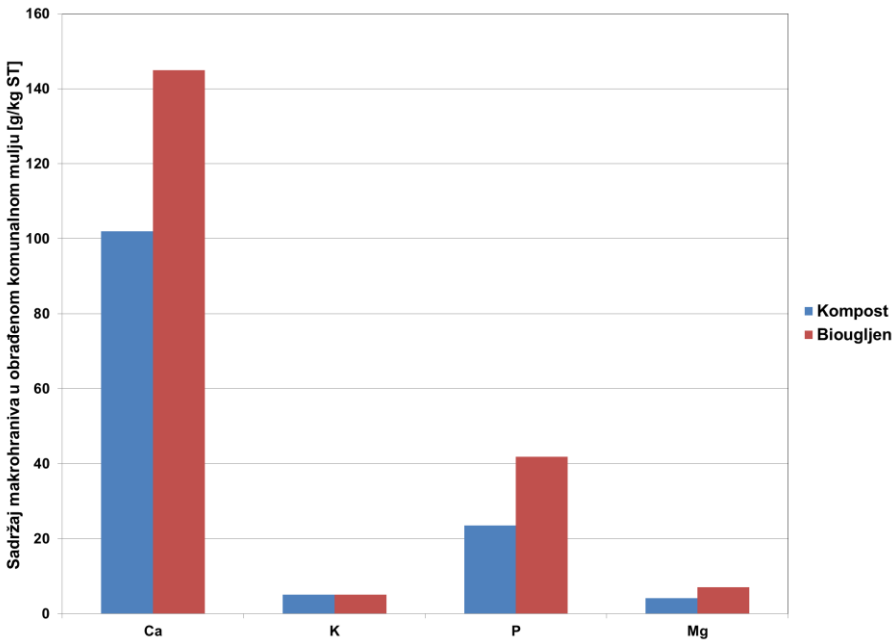
*Slika 8. SEM usporedba čestica komunalnog mulja i biougljena od mulja  
(foto: T. Zubin Ferri)*



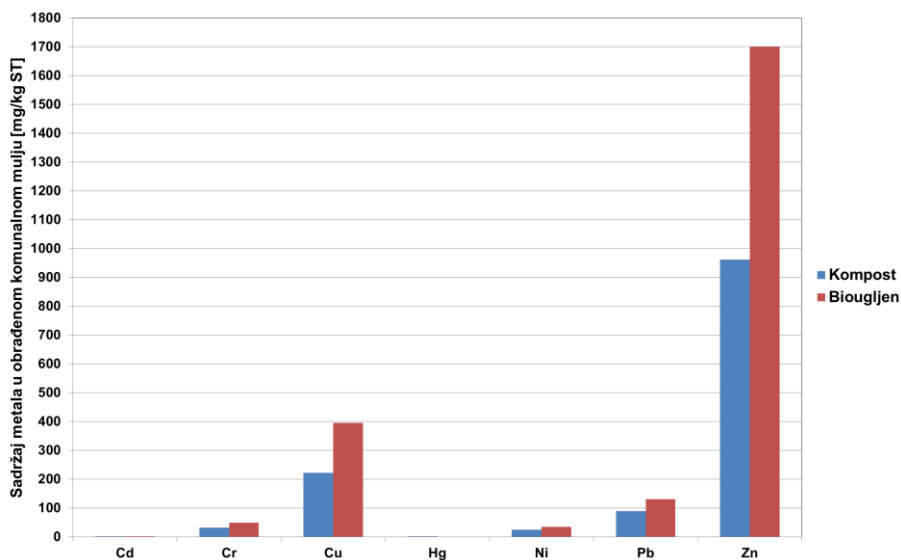
*Slika 9. SEM usporedba čestica komine maslina i biougljena od komine  
(foto: T. Zubin Ferri)*

### 3.2.2. Kemijska karakterizacija komposta i biougljena od komunalnog mulja

Temeljem naših istraživanja rezultati su potvrdili velik sadržaj ukupnog fosfora u kompostu i biougljenu od komunalnog mulja (graf 6) što ukazuje na potencijal dobivenog komposta i biougljena kao zamjene za upotrebu mineralnih gnojiva. Koncentracije potencijalno toksičnih metala u proizvedenom kompostu (graf 7) bile su ispod graničnih vrijednosti metala prema Pravilniku o nusproizvodima i ukidanju statusa otpada (NN 117/14) što potvrđuje ispravnost navedenog komposta s kvalitetom III klase.



Graf 6. Ukupni sadržaj makrohraniva u kompostu i biougljenu od komunalnog mulja

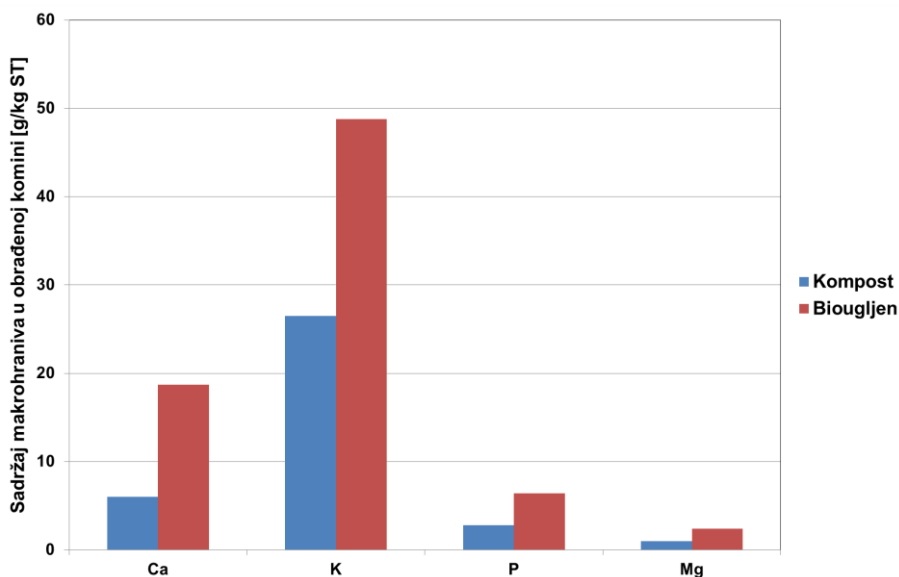


*Graf 7. Ukupni sadržaj potencijalno toksičnih metala u kompostu i biogljenu od komunalnog mulja*

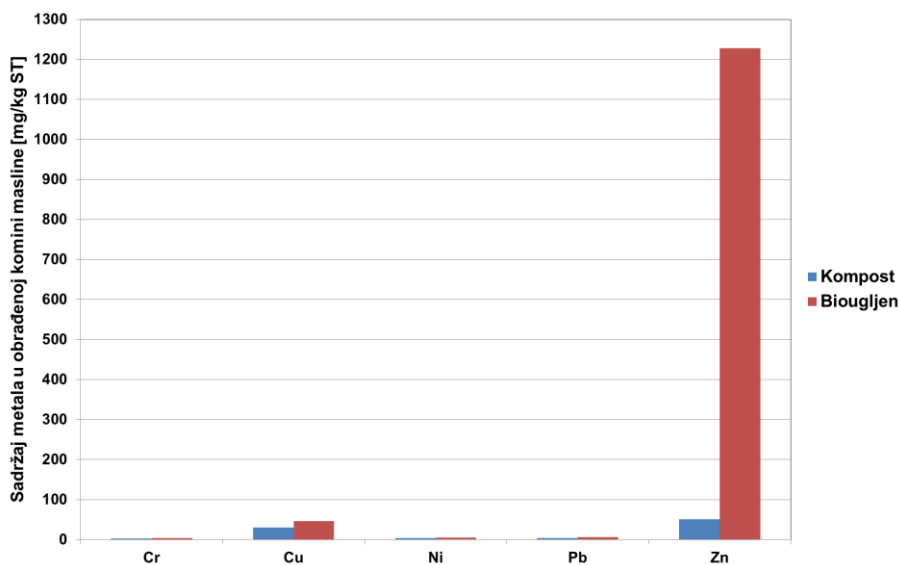
### *3.2.3. Kemijska karakterizacija komposta i biogljena od komine maslina*

Određen je bio ukupni sadržaj makrohraniva (graf 8) i potencijalno toksičnih metala (graf 9) u kompostu i biogljenu od komine masline. Navedeni rezultati su potvrdili veći sadržaj K u dva proizvedena materijala od komine masline (graf 8) što ukazuje na kvalitetu dobivenih gnojiva koja može se mjeriti i uspoređivati sa zrelim i poluzrelim stajskim gnojem. Prema EU izvješću “ Good Practices for the Agronomic Use of Olive Mill Wastes” koncentracije Zn i Cu u proizvedenom kompostu (graf 9) bile su ispod graničnih vrijednosti navedenih metala za kominu masline koja se može koristiti u poljoprivredi kao poboljšivač tla.





Graf 8. Ukupni sadržaj makrohraniva u kompostu i biogljenu od komine masline



Graf 9. Ukupni sadržaj potencijalno toksičnih metala u kompostu i biogljenu od komine masline

### 3.3. POSTAVLJANJE POKUSA I REZULTATI

#### 3.3.1. Postavljanje pokusa, vegetativna mjerenja i mjerenja u berbi

Tlo (terra rossa i rendzina) te biogljen i kompost od komunalnog mulja i komine masline korišteni su za pripremu supstrata u koji se posadio kineski kupus. Supstrati su pripremljeni na slijedeći način: (1) sušenje na zraku kroz 3 tjedna, (2) sijanje kroz sito veličine oka 2 mm i (3) miješanje u masenim omjerima kod različitih razina dodavanja otpada zbog različitih režima gnojenja. Za svaki tretman, primijenjeno je ručno miješanje (oko 20 minuta) tla i istraživanog materijala u plastičnim posudama zbog osiguranja optimalne homogenosti supstrata (slika 10).



*Slika 10. Korišteni materijali za pripremu supstrata (crvenica + biogljen od mulja(a) i od komine (b)); rendzina + kompost od mulja (c) i od komine (d) te miješanje istih (e i f) (foto: M. Černe)*

Homogenizirani supstrati punjeni su u lonce volumena 3,5 L te je u svaki posađena po jedna sadnica kineskog kupusa (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis* (Lour.) Hanelt.) (slika 11). Sjetva presadnica u polistirenske kontejnere obavljena je 17. kolovoza 2017. godine. Korišteno je sjeme hibridnog kultivara PREDURO F1 proizvođača TAKII SEED. Sadnja presadnica u lonce i postavljanje pokusa obavljeno je 15. rujna 2017.

U plateniku je pokus u loncima postavljen prema slučajnom bloknom rasporedu. Svaki je od 20 tretmana (tablica 1) postavljen u četiri ponavljanja, a jedno ponavljanje čini pet lonaca (slika 14). Biljke su redovito zalijevane i provodila se zaštita protiv štetočinja. Provedena je prva prihrana 0,5% otopinom UREA-e te se sakupljao se procjedak. Temperatura platenika se kontrolirala pomoću senzora i bila optimalna za rast i razvoj biljaka.



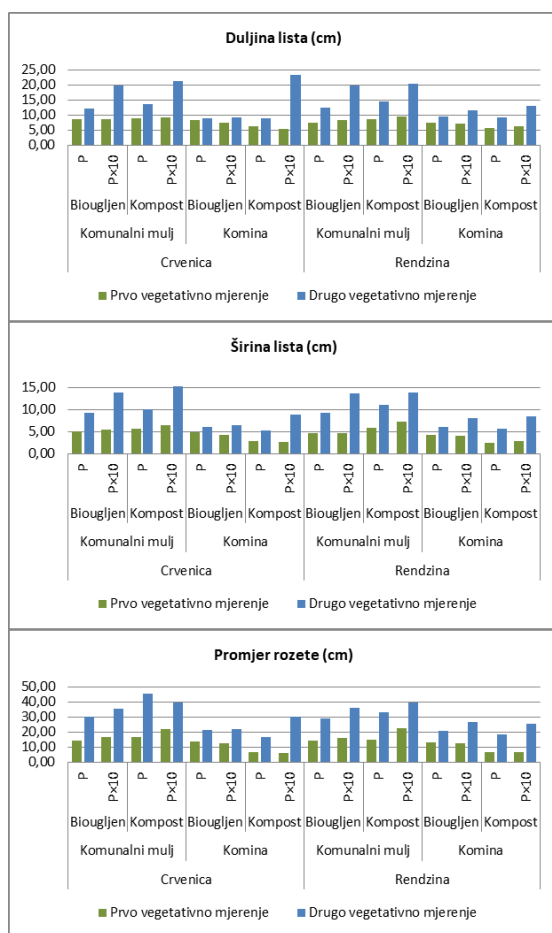
Slika 11. Glavni pokus u loncima (foto: I. Palčić)

Tablica 1. Primijenjeni tretmani u glavnom pokusu projekta

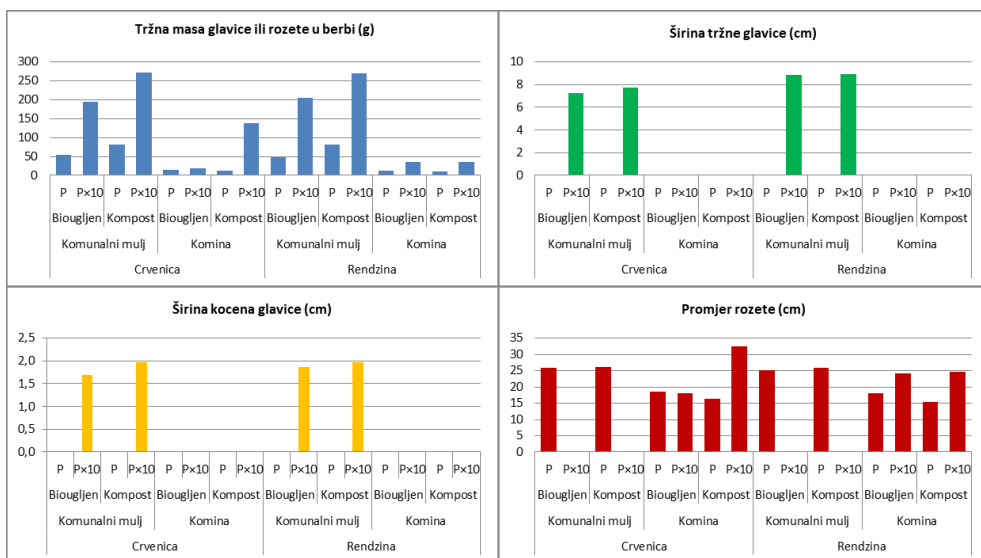
	Tlo	Organski materijal	Metoda obrade	P-nivo
<b>1</b>	Crvenica	Komunalni mulj	Biougljen	P-pravilnik
<b>F2</b>	Crvenica	Komunalni mulj	Biougljen	P-10X veći
<b>3</b>	Crvenica	Komunalni mulj	Kompost	P-pravilnik
<b>4</b>	Crvenica	Komunalni mulj	Kompost	P-10X veći
<b>5</b>	Crvenica	Komina	Biougljen	P-pravilnik
<b>6</b>	Crvenica	Komina	Biougljen	P-10X veći
<b>7</b>	Crvenica	Komina	Kompost	P-pravilnik
<b>8</b>	Crvenica	Komina	Kompost	P-10X veći
<b>9</b>	Rendzina	Komunalni mulj	Biougljen	P-pravilnik
<b>10</b>	Rendzina	Komunalni mulj	Biougljen	P-10X veći
<b>11</b>	Rendzina	Komunalni mulj	Kompost	P-pravilnik
<b>12</b>	Rendzina	Komunalni mulj	Kompost	P-10X veći
<b>13</b>	Rendzina	Komina	Biougljen	P-pravilnik
<b>14</b>	Rendzina	Komina	Biougljen	P-10X veći
<b>15</b>	Rendzina	Komina	Kompost	P-pravilnik
<b>16</b>	Rendzina	Komina	Kompost	P-10X veći
<b>17</b>	Crvenica	0	0	P-preporuka
<b>18</b>	Rendzina	0	0	P-preporuka
<b>19</b>	Crvenica	0	0	0
<b>20</b>	Rendzina	0	0	0

Na biljkama kineskog kupusa praćeni su parametri vegetativnog rasta u dva navrata u vegetaciji. Prvo vegetativno mjerenje obavljeno je dvadeset dana nakon sadnje presadnica u lonce, 4. listopada, a drugo 6. studenog 2017. godine. Mjerena su sljedeća svojstva: broj listova, duljina i promjer najmlađeg potpuno razvijenog lista 2. ili 3. reda rozete, veći i manji promjer rozete te broj listova. Putem ručnog mjerača (N-tester, Yara, UK) praćena je količina relativnog sadržaja klorofila lista (HNT vrijednost). Ručnim senzorom za usjev (Greenseeker, Trimble, USA) zabilježen je vegetacijski indeks usjeva (NDVI, „Normalized Difference Vegnakon sadnje presadnica etation Indeks“).

Berba kineskog kupusa obavljena je između 21. i 28. studenog 2017. godine. Ovisno o fenofazi i stupnju razvoja do kojeg su biljke pojedinih tretmana došle u trenutku berbe, mjerena je ukupna masa glavice, masa tržne glavice bez vanjskih i oštećenih listova, broj listova treće i druge vanjske etaže, visina i širina tržne glavice, te visina i širina kocena na presjeku tržne glavice. Biljkama onih tretmana pri kojima nisu postignute glavice do berbe, mjereni su ukupna masa rozete, masa tržne rozete, broj listova treće i druge vanjske etaže te visina i širina rozete. U berbi je također mjerena količina relativnog sadržaja klorofila lista. Rezultati provedenih mjerenja biljnog materijala prikazani su u grafovima 10 i 11.



Graf 10. Srednje vrijednosti mjerenih vegetativnih parametara kineskog kupusa



Graf 11. Srednje vrijednosti parametara prinosa glavice ili rozete kupusa u berbi

Pri korištenju komunalnog mulja, bez obzira na tip tla u koje je dodavano ili metodu obrade, promjeri rozete u prvom i drugom vegetativnom mjerenju te i širina lista u prvom mjerenju, zatim i masa tržne glavice u berbi, bili su veći nego kod korištenja maslinove komine. Tretmani u kojima se materijal dodavao u deset puta većoj koncentraciji od one propisane pravilnikom također su imali veće vrijednosti promjera rozete i mase tržne glavice od tretmana sa sadržajem fosfata propisano pravilnikom. Metoda obrade utjecala je na masu tržne glavice kupusa, pa su tako veću masu glavice imale biljke uzgajane na kompostiranom otpadnom materijalu u usporedbi sa biougļjen obradom. Tretmani koje su koristili kominu masline u koncentracijama fosfata propisanim pravilnikom, nisu u berbi postigli punu glavicu već su u vrijeme berbe još uvijek tvorili rozetu. Tretmani s komunalnim muljem u deset puta većim koncentracijama fosfata od onih propisanih pravilnikom imali su veći promjer glavice i promjer kocena od drugih tretmana.

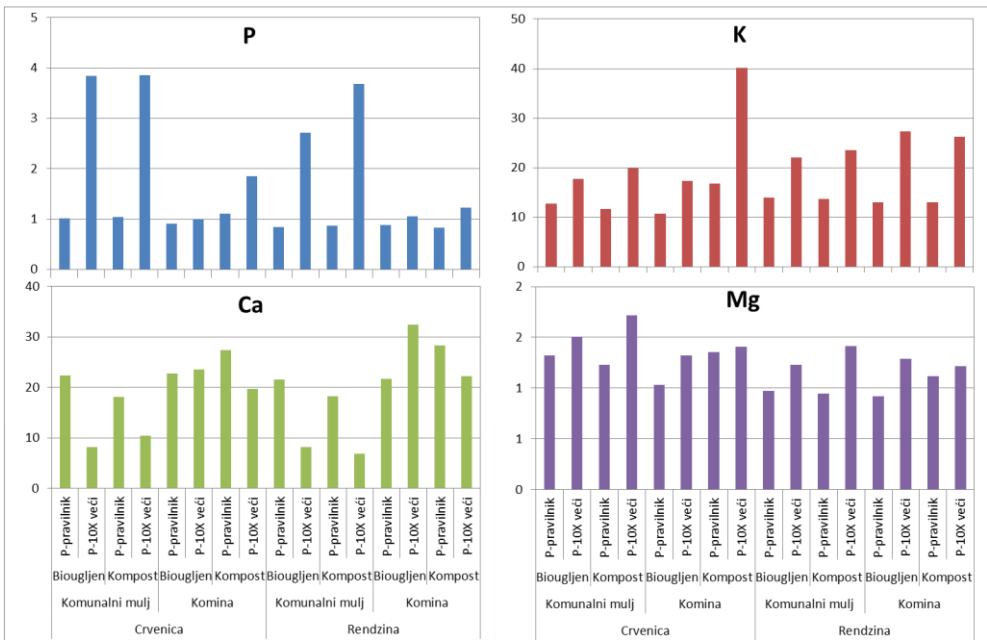
### 3.3.2. Određen kemijski sastav istraživanog biljnog materijala

U nadzemnom dijelu kineskog kupusa određen je i mineralni sastav (slika 12). Količine najznačajnijih makro i mikroelemenata su određene korištenjem ICP-OES tehnike, nakon mikrovalne digestije uzoraka.



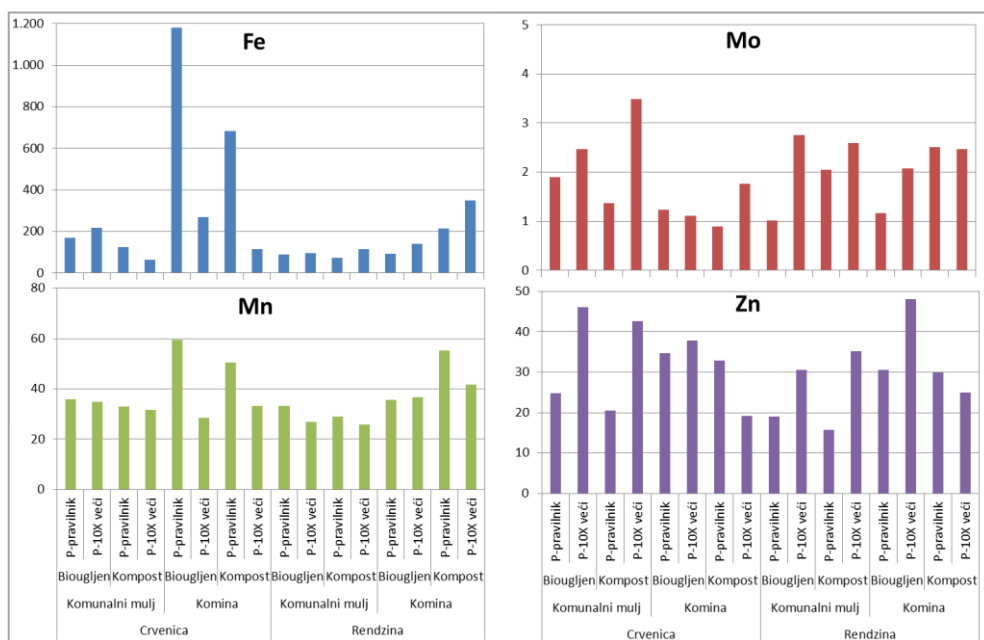
Slika 12. Nadzemni dio kineskog kupusa iz glavnog pokusa (foto: I. Palčić)

U grafovima 12 i 13 su prikazani rezultati provedenih analiza.



Graf 12. Količina makroelemenata u nadzemnom dijelu kineskog kupusa pri ispitivanim tretmanima (g/kg)

Iz grafa 12 vidljivo je da su pri primjeni istraživanih materijala u količini 10 puta većoj od one propisane pravilnikom (P-10X veći), povećane količine svih istraživanih makroelemenata u odnosu na preporuku prema pravilniku (P-pravilnik), s iznimkom kalcija, gdje je vidljiv obrnuti efekt. Najveća količina kalija je utvrđena pri primjeni komposta od komine (P-10X veći) na crvenici, dok je na rendzini najveća količina utvrđena pri primjeni biougljena od komine (P-10X veći). Najveća količina fosfora utvrđena je podjednako na crvenici i na rendzini pri primjeni biougljena ili komposta od komunalnog mulja (P-10X veći). Količina kalcija je bila najveća pri primjeni komposta od komine (P-pravilnik) na crvenici te pri primjeni biougljena od komine (P-10X veći). Najveća količina magnezija, i na crvenici i na rendzini, utvrđena je pri primjeni komposta od mulja (P-10X veći).



Graf 13. Količina mikroelemenata u nadzemnom dijelu kineskog kupusa pri ispitivanim tretmanima na crvenici (mg/kg)

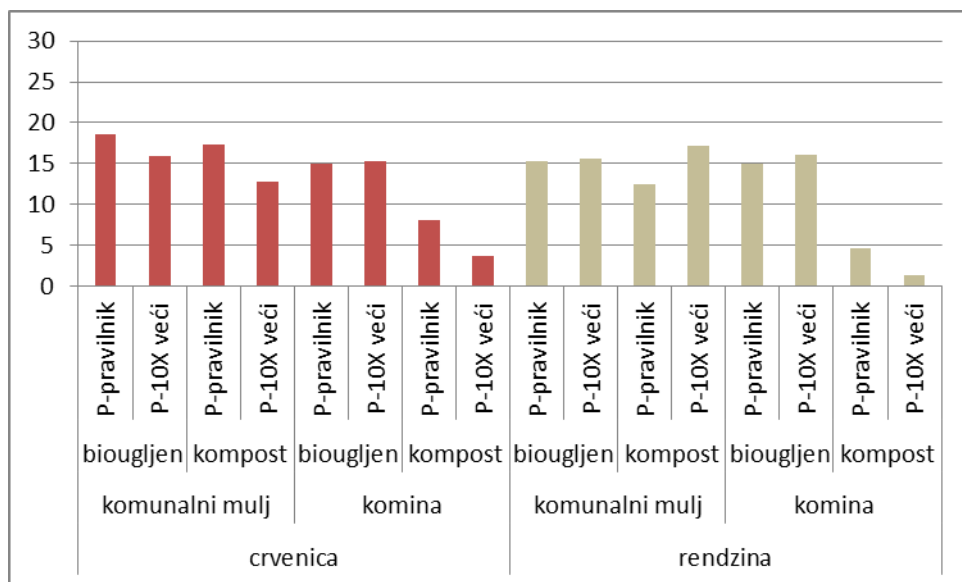


Graf 13 pokazuje utjecaj provedenih tretmana na količine mikroelemenata u nadzemnom dijelu kineskog kupusa uzgojenog. Najveća količina željeza na crvenici je utvrđena pri primjeni biougljena od komine (P-pravilnik), dok na rendzini pri primjeni komposta od komine (P-10X veći). Najveća količina molibdena utvrđena je pri primjeni komposta od mulja (P-10X veći) na crvenici te pri primjeni biougljena od mulja na rendzini (P-10X veći). Na crvenici je najviša količina mangana utvrđena pri primjeni biougljena od komine (P-pravilnik), dok na rendzini pri primjeni komposta od komine (P-pravilnik). Najveća količina cinka je na oba tipa tla utvrđena pri primjeni biougljena od mulja (P-10X veći).

### *3.3.3. Fotosintetska aktivnost istraživnog biljnog materijala*

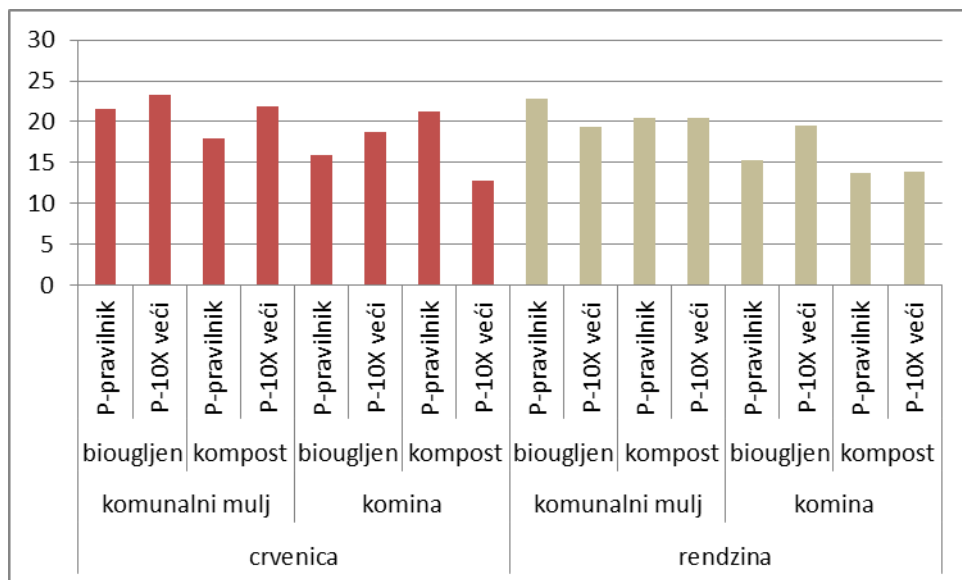
Izmjere fotosinteze obavljene su tijekom vegetacijskog perioda na kineskom kupusu pomoću Li-Cor LI-6400 prenosivog sustava. Za svako ponavljanje svakog tretmana, izmjeren je potpuno razvijen list sa srednje biljke u redu. Sustav izmjera temelji se na razlikama  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$  unutar zraka koji prolazi kroz mjernu komoru. Upotrijebljena je miješalicu s izvorom  $\text{CO}_2$  za održavanje točne koncentracije. Sustav kontrolira svjetlost, temperaturu, koncentraciju  $\text{H}_2\text{O}$  i  $\text{CO}_2$  te protok plinova iz čega izračunava asimilaciju.

Grafovi 14 – 16 prikazuju utjecaj kombinacije tretmana na fotosintetsku aktivnost kineskog kupusa kroz tri provedena mjerenja tijekom vegetacije kineskog kupusa.



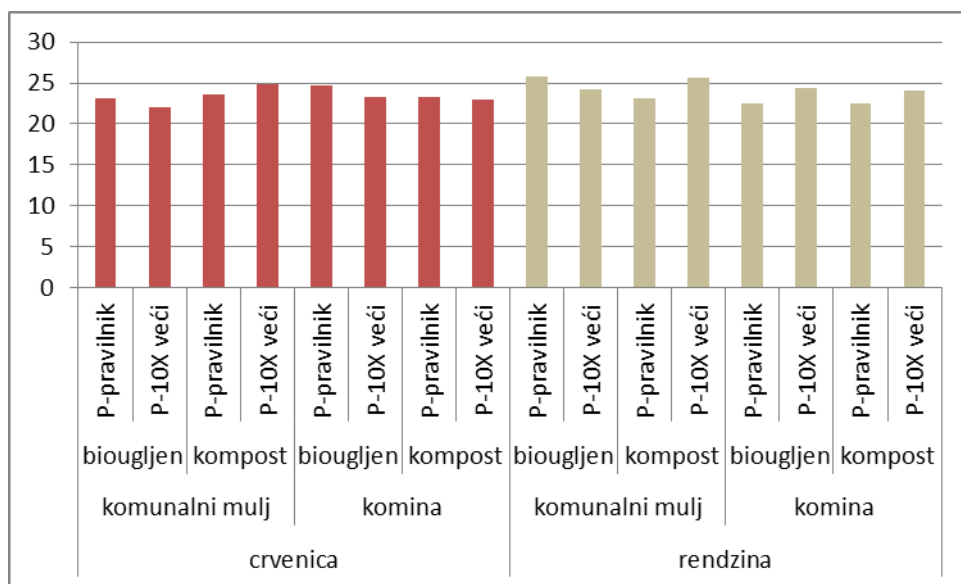
Graf 14. Fotosintetska aktivnost ovisno o tretmanima – prvo mjerenje

Pri prvom mjerenju (graf 14) najveća je aktivnost utvrđena pri primjeni biougljena od komunalnog mulja na crvenici (P-pravilnik), dok je najniža utvrđena pri primjeni komposta od komine na rendzini (P-10X veći).



Graf 15. Fotosintetska aktivnost ovisno o tretmanima – drugo mjerenje

U drugom mjeranju (graf 15) najveća je aktivnost utvrđena pri primjeni biougljena od komunalnog mulja na crvenici (P-10X veći) te biougljena od komunalnog mulja P na rendzini u (P-pravilnik), dok je najniža utvrđena pri primjeni komposta od komine na crvenici (P-pravilnik).



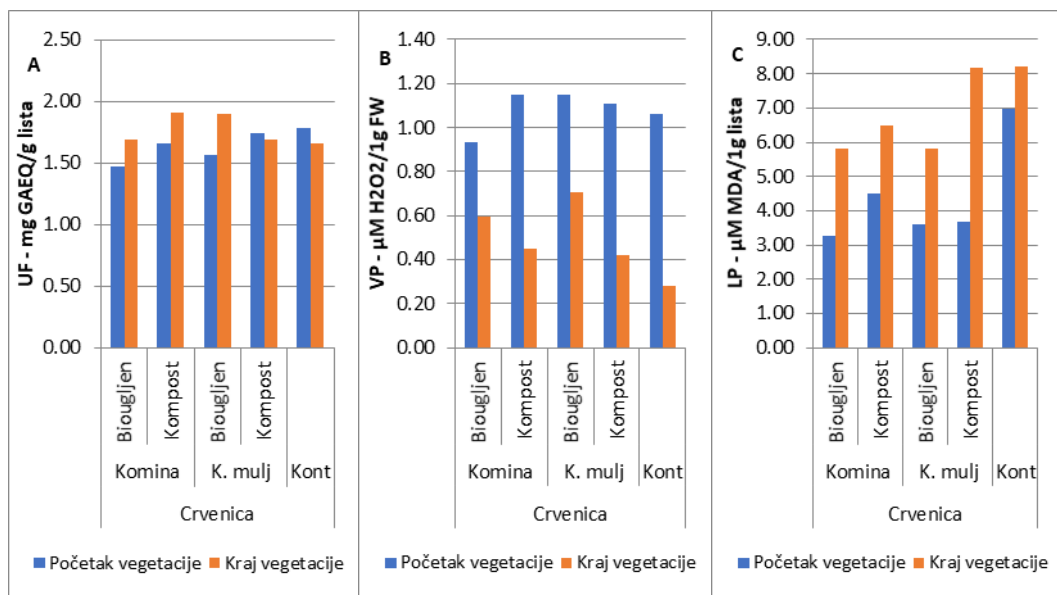
Graf 16. Fotosintetska aktivnost ovisno o tretmanima – treće mjerjenje

U trećem mjeranju (graf 16) najveća je aktivnost utvrđena pri primjeni biougljena od komunalnog mulja na rendzini (P-pravilnik), dok je najniža utvrđena pri primjeni biougljena od komunalnog mulja na crvenici (P-10X veći).

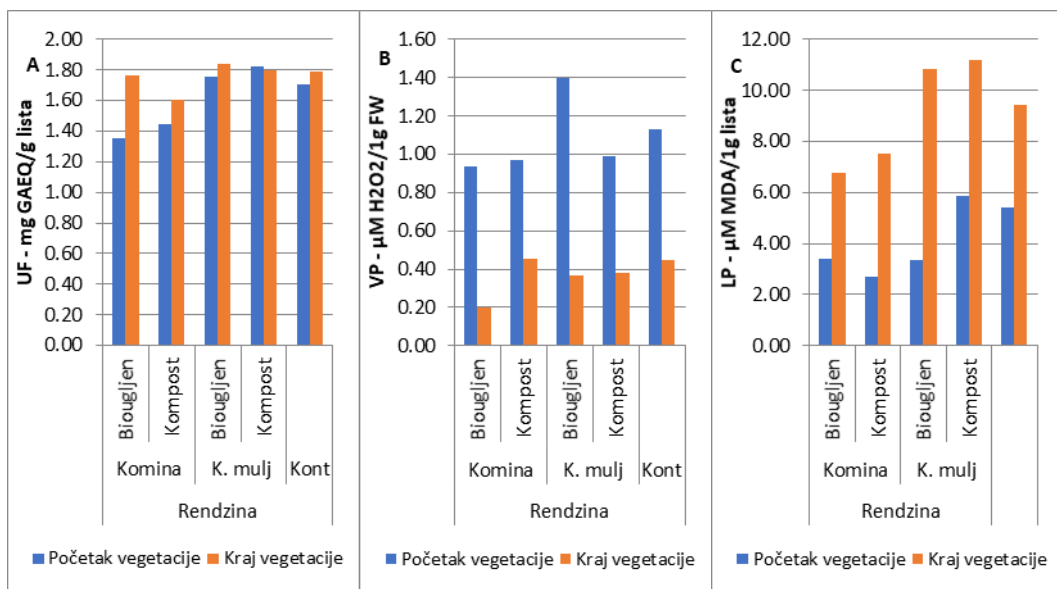
### 3.3.4. Indikatori stresa u listu kupusa

Kako bi se utvrdio odgovor biljke na uvjete rasta u biougljenu i kompostu od komine ili komunalnog mulja provedena su laboratorijska ispitivanja razine ukupnih fenola, vodikovog peroksida te lipidne peroksidacije u listu kineskog kupusa kupusa (*Brassica rapa* L. subsp. *pekinensis* (Lour.) na početku te pri kraju vegetacije.

Utjecaj glavnih faktora na razinu indikatora stresa u listu kupusa prikazani su na grafovima 17 i 18. Utvrđeno je da se razina vodikovog peroksida u listu kineskog kupusa smanjuje prema kraju vegetacije dok se razina lipidne peroksidacije povećava. Iako su istraživani parametri u razini ili niži od kontrole, utvrđeno je da je dodatak komposta od komine u crvenicu pridonio višim razinama lipidne peroksidacije u listu kineskog kupusa u odnosu na dodatak biougljena od istog materijala (graf 17C).



Graf 17. Indikatori stresa kod biljaka na tlu crvenici s dodatkom biougljena i komposta od komunalnog mulja i komine; A) UF – ukupni fenoli; B) VP - Vodikov peroksid; C) LP – Lipidna peroksidacija; K. mulj – komunalni mulj; Kont - kontrola

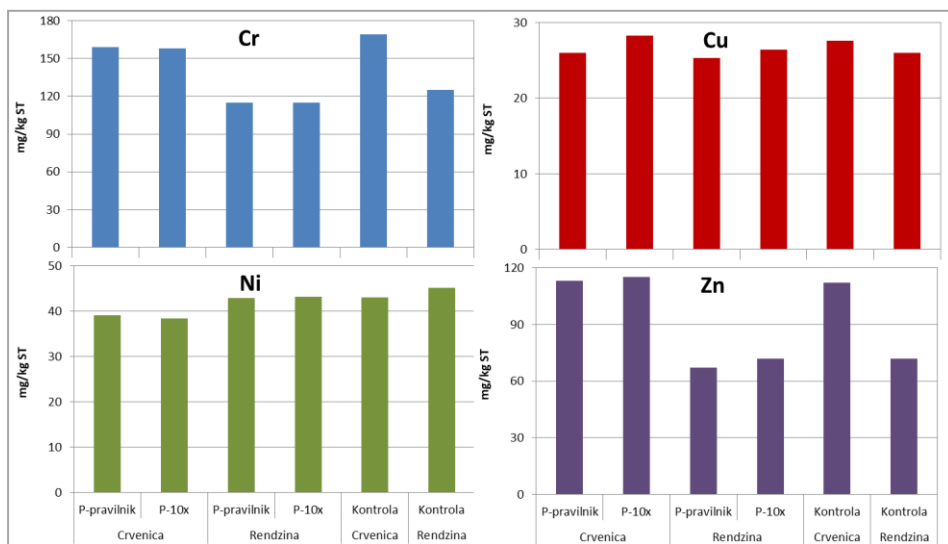


*Graf 18. Indikatori stresa kod biljaka na tlu crvenici s dodatkom biogljjena i komposta od komunalnog mulja i komine; A) UF – ukupni fenoli; B) VP - Vodikov peroksid; C) LP – Lipidna peroksidacija; K. mulj – komunalni mulj; Kont - kontrola*

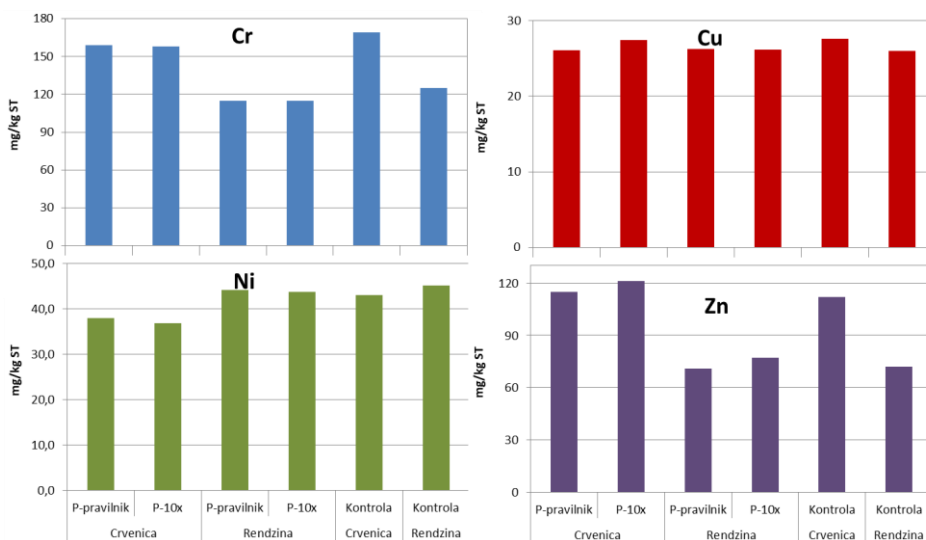
Također je utvrđena i veća razina lipidne peroksidacije u listu kupusa pri kraju vegetacije kod dodatka komposta i biogljjena od komunalnog mulja u tlo rendzinu u odnosu na oba materijala proizvedena od komine (graf 18C).

### 3.3.5. Kemijska karakterizacija tla s dodatkom komposta i biougljena od komunalnog mulja i komine masline

Određen je ukupni sadržaj potencijalno toksičnih metala u tlu s dodatkom komposta (graf 19) i biougljena (graf 20) od komunalnog mulja. Primjena komposta od komunalnog mulja kao dodatka tlima prema Pravilniku (NN 38/08) kada se mulj koristi u poljoprivredi (1,66 t ST mulja/ha/godišnje) na osnovi gnojidbe sa P nije imala učinka na povećanje koncentracija metala u navedenim tlima u odnosu na kontrolu (graf 19). Također i primjena deset puta veće količine kompostiranog mulja (graf 20) od one propisane Pravilnikom (NN 38/08) na osnovi gnojidbe sa P nije rezultirala negativnim učincima na tlo poput kontaminacije tla metalima.

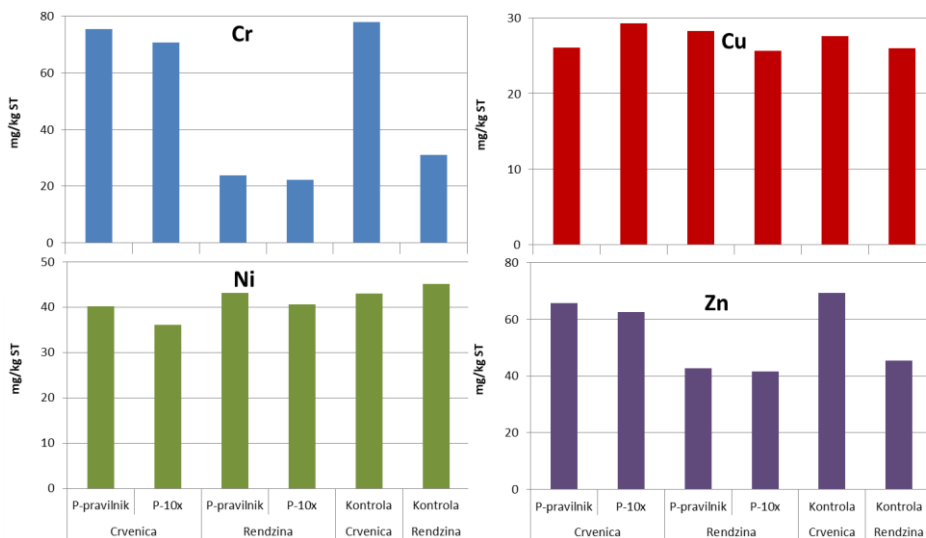


Graf 19. Ukupni sadržaj potencijalno toksičnih metala u tlu s dodatkom komposta od komunalnog mulja

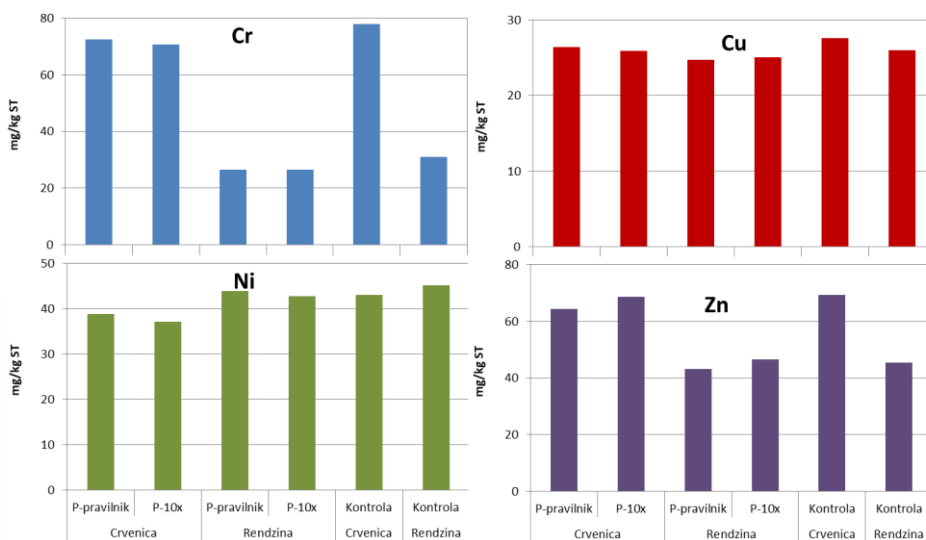


*Graf 20. Ukupni sadržaj potencijalno toksičnih metala u tlu s dodatkom bioglajena od komunalnog mulja*

Određen je i ukupni sadržaj potencijalno toksičnih metala u tlu s dodatkom komposta (graf 21) i bioglajena (graf 22) od komine masline. Rezultati pokazuju da koncentracije Cr, Cu, Ni, Pb i Zn i navedenim tlima nisu veće u odnosu na koncentracije navedenih metala u kontrolnim tlima što ukazuje na činjenicu da se kompost i bioglajen od komine masline mogu sigurno koristiti kao gnojiva u poljoprivrednoj proizvodnji.



Graf 21. Ukupni sadržaj potencijalno toksičnih metala u tlu s dodatkom komposta od komine masline



Graf 22. Ukupni sadržaj potencijalno toksičnih metala u tlu s dodatkom biogljena od komine masline



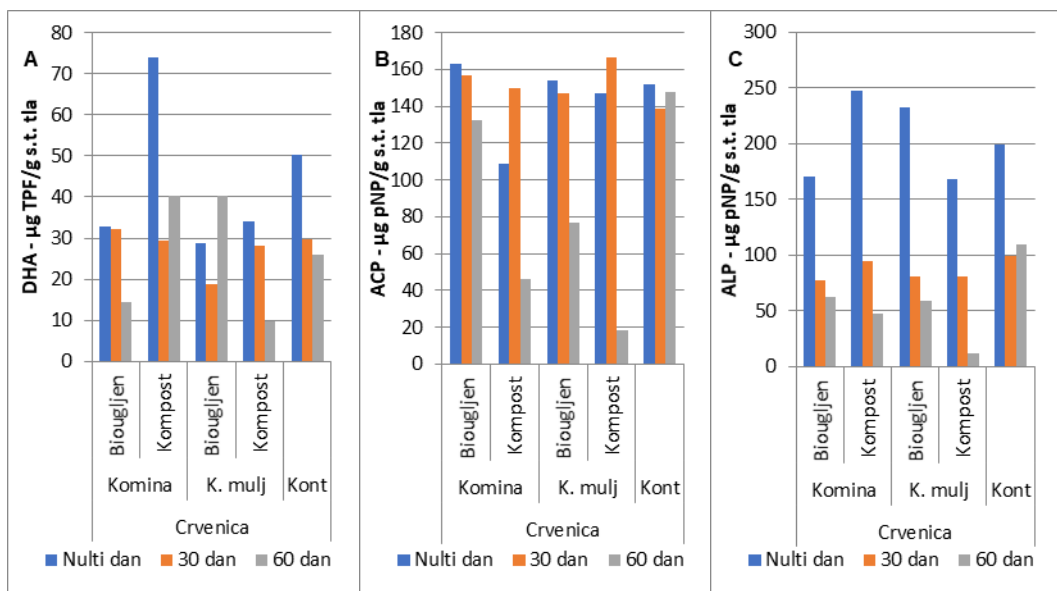
### *3.3.6. Biološka karakterizacija tla s dodatkom biougljena i komposta od komunalnog mulja i komine*

Enzimi u tlu imaju važnu ulogu u očuvanju ekologije, fizikalno-kemijskih svojstava i plodnosti tla. Izvor enzima u tlu su prirodno prisutan mikrobiom, biljke te ostali oblici života prisutni u tlu. Analiza mikrobiološke aktivnosti tla provedena je u tri vremenske točke: na početku vegetacije kineskog kupusa, nakon 30 dana vegetacije te nakon 60 dana vegetacije, odnosno pri kraju pokusa u plasteniku. Kako bi se odredila mikrobiološka aktivnost tla s obzirom na dodatke komposta i biougljena od komunalnog mulja i komine analizirani su uzorci tla na tri enzima: dehidrogenazu, te kiselu i alkalnu fosfatazu.

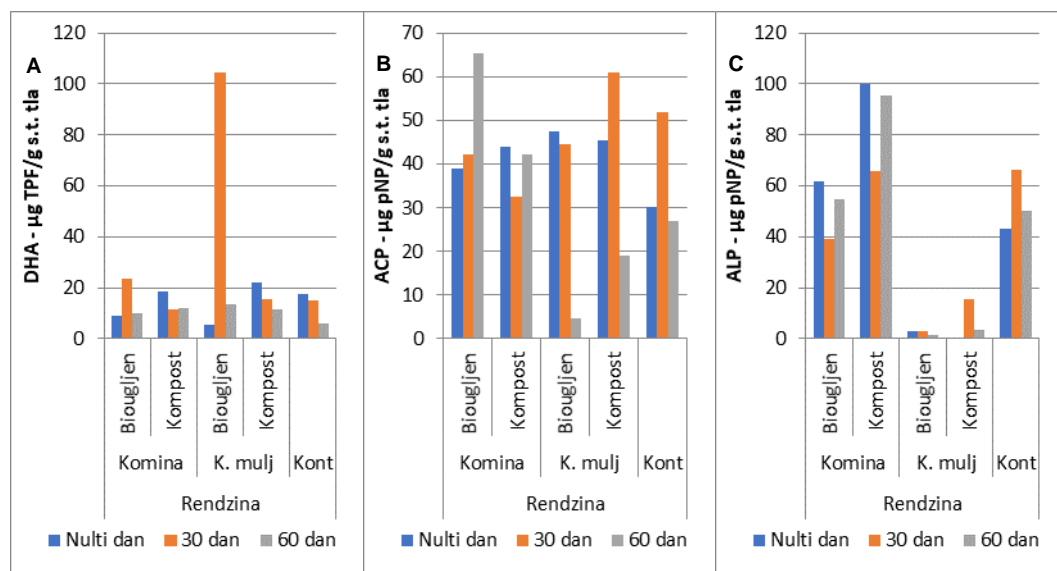
Aktivnost enzima dehidrogenaze vezana je uz procese oksidacije organskih spojeva kod živih mikroorganizama te je odraz mikrobne biomase u trenutku uzorkovanja. Enzimi fosfataze sudjeluju u prirodnom ciklusu kruženja fosfora te kataliziraju reakciju izdvajanja fosfora vezanog u organske spojeve.

Nakon provedene analize podaci mikrobiološke analize tla prosječne vrijednosti po glavnim faktorima prikazane su u grafovima 23 i 24. Rezultati enzimske aktivnosti tla s dodatkom komposta i biougljena od komunalnog mulja i komine podudarali su se s enzimskom aktivnosti tla bez dodataka te su u pojedinim slučajevima bili i niži. Iznimka je dodatak komposta od komine koji je u početku znatno povisio aktivnost dehidrogenaze i alkalne fosfataze na crvenici te dodatak komposta i biougljena od komine na aktivnost kisele i alkalne fosfataze u početku eksperimenta. Nakon 30 dana aktivnost enzima vratila se na razinu tla bez dodataka.

Nakon 60 dana vegetacije kineskog kupusa aktivnost enzima je niža u svim tretmanima osim u biougljenu i kompostu od komine dodanih u tlo rendzinu.



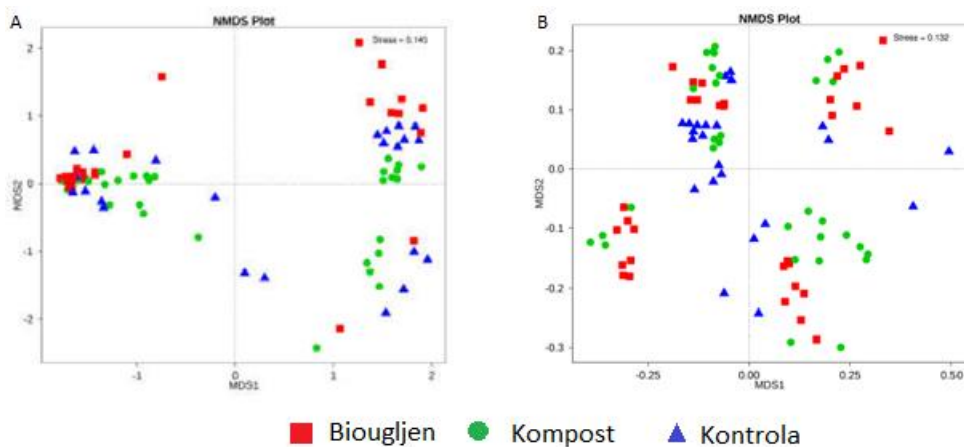
Graf 23. Aktivnost A) dehidrogenaze (DHA), B) kisele fosfataze (ACP) i C) alkalne fosfataze (ALP) u tlu crvenici s dodatkom biougļjena i komposta od komunalnog mulja i komine. K. mulj – komunalni mulj; Kont - kontrola



Graf 24. Aktivnost A) dehidrogenaze (DHA), B) kisele fosfataze (ACP) i C) alkalne fosfataze (ALP) u tlu rendzini s dodatkom biougļjena i komposta od komunalnog mulja i komine. K. mulj – komunalni mulj; Kont - kontrola

Nakon uzorkovanja tla s dodatkom biougljena i komposta od komunalnog mulja i komine ekstrahirana je DNA uz pomoć komercijalnih kitova te su amplificirane 16S i ITS regije DNA pomoću kojih možemo steći uvid u raznolikost bakterijske i fungalne populaciju u tlu. Nakon amplifikacije pomoću PCR reakcije uzorci su sekvencirani na Illumina platformi te obrađeni multivarijantnim statističkim analizama.

Rezultati multivarijantne analize (graf 25) pokazali su da postoje razlike u profilima bakterijskih i fungalnih vrsta u tlu nakon dodatka biougljena i komposta u odnosu na tlo bez dodataka.



Graf 25. NMDS prikaz utjecaja dodatka biougljena i komposta od komunalnog mulja i komine na promjene u A) fungalnoj i B) bakterijskoj populaciji u tlu

### 3.3.7. Vrijednosti i usporedba različitih GHG emisija

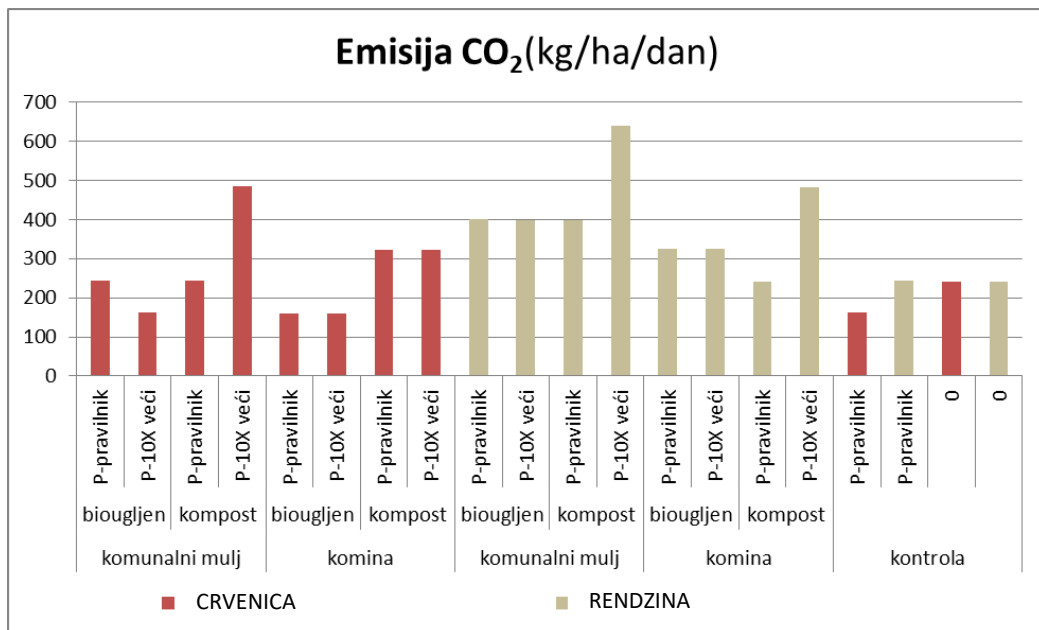
U sklopu glavnog pokusa na kineskom kupusu, provedena je aktivnost mjerenja razina emisija stakleničkih plinova (GHG – *greenhouse gasses*).

Emisija stakleničkih plinova izmjerena je u svim postavljenim tretmanima. Za ovu namjeru korištena je modificirana metoda s komorama. Komore su tamne i ne dozvoljavaju interakciju svjetla s postupkom mjerenja. Opremljene su okruglim okvirima koji su stavljeni 5 cm u supstrat. Početna koncentracija CO<sub>2</sub> na površini supstrata (tretmana) izmjerena je prije zatvaranja komore. Inkubacija je trajala 30 minuta od trenutka zatvaranja te je nakon toga izmjerena koncentracija CO<sub>2</sub>. Emisije stakleničkih plinova izmjerene su uz pomoć prijenosnog infra-crvenog CO<sub>2</sub> detektora Gfg Microtector II te izražene su u kg/ha/dan i ocjenjene sa sljedećom jednadžbom prema Widen i Lindroth (2003):

$$F_{CO_2} = [M * p * V * (c_2 - c_1)] / [R * T * A * (t_2 - t_1)]$$

*Legenda: CO<sub>2</sub> - CO<sub>2</sub> flux iz tla/materijal (kg/ha/dan); M – molarna masa CO<sub>2</sub> (kg/mol); p – zračni tlak (Pa); V – volumen komore (m<sup>3</sup>); c<sub>1</sub> - CO<sub>2</sub> koncentracija na početku mjerenja (μmol/mol); c<sub>2</sub> - CO<sub>2</sub> koncentracija na kraju mjerenja (μmol/mol); R – plinska konstanta (Jmol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>); T – temperatura zraka (K); A – površina komore (m<sup>2</sup>); t<sub>2</sub>–t<sub>1</sub> – vrijeme mjerenja /vrijeme inkubacije (dan)*

Rezultati mjerenja (prosjeck tri provedena mjerenja po tretmanu) i usporedba između tretmana su prikazani u grafu 26.



Graf 26. Razina GHG emisija pri provedenim tretmanima glavnog pokusa

Vidljivo je da su generalno emisije nešto niže na crvenici, te isto tako su generalno niže pri primjeni biougljena u odnosu na kompost, što potkrepljuje hipotezu da će primjena biougljena sekvestrirati ugljik i time dovesti do smanjenja GHG emisija i na taj način pozitivno utjecati na klimatske promjene. Usporede li se komunalni mulj i komina, vrijednosti su nešto više na kompostima i biougljenima od mulja.

#### **4. MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA KOMUNALNOG MULJA I KOMINE MASLINA U POLJOPRIVREDI**

Na temelju znanja prikupljenih tijekom realizacije projekta može se zaključiti da postoji više načina korištenja kanalizacijskog mulja i komine maslina u poljoprivredi.

Pirolizom komunalnog mulja nastaje biougljen koji predstavlja vrijedno mineralno gnojivo s povećanom količinom ugljika i fosfora, pogodno za primjenu na poljoprivrednim tlima jer, osim gnojidbenog učinka, pozitivno utječe na strukturu tla i vodozračne odnose. Po pitanju korištenja biougljena, bilo bi potrebno korigirati Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi jer su pirolizom anulirane negativne komponente zbog kojih u navedenom Pravilniku postoje ograničenja u područjima primjene obrađenog mulja.

Proučavanjem postojeće zakonske regulative vezane uz korištenje komunalnog mulja na poljoprivrednim i ostalim površinama utvrđeno je da se veće restrikcije odnose na primjenu kompostiranog mulja (Pravilnik NN 117/14), nego na primjenu aerobno ili anaerobno obrađenog komunalnog mulja (Pravilnik NN 38/08). Takav odnos bi trebalo dodatno razmotriti jer je kompost, zbog nižih koncentracija metala i organskih zagađivača, manje rizičan za okoliš. U cilju dorade i usklađivanja zakonskih propisa s realnim pokazateljima preporuča se nastaviti s istraživanjima usmjerenima na definiranje optimalnog načina zbrinjavanja komunalnog mulja, bolje iskoristivosti vrijednih hraniva u njima i utvrđivanja rizika za okoliš prilikom dugotrajnog nanošenja određenih količina komposta na poljoprivrednim površinama.

Kompostiranje je adekvatno rješenje za smanjenje broja patogenih mikroorganizama potencijalno prisutnih u komunalnom mulju, no biougljen pruža bolju zaštitu u pogledu novih opasnosti kao što je recikliranje gena odgovornih za rezistentnost na antibiotike u prehrambeni lanac.

Pregledom literature i primjera dobre prakse u Italiji, te analizom rezultata dobivenih u vlastitom istraživanju, utvrđeno je da je najprihvatljiviji način uporabe komunalnog mulja kompostiranjem u zatvorenim tunelima. Pritom se preporuča da kompostna masa bude mješavina komunalnog mulja i organskog strukturnog otpada u omjeru 30:70.

S obzirom da u Hrvatskoj ne postoji zakonska regulativa vezana uz zbrinjavanje komine maslina preporučuje se izrada propisa kojom bi se definiralo njezino gospodarenje i korištenje u poljoprivredi. Budući da svježna komina sadrži određene količine fenola i neekstrahiranih ostataka ulja, njezino učestalo izravno unošenje u tlo predstavlja rizik za tlo i poljoprivrednu proizvodnju. Piroliza komine pretvorbom u biogljjen predstavlja adekvatno rješenje za neutralizaciju fitotoksičnih komponenti komine, čime se dobiva poboljšivač tla/gnojivo bogato kalijem.

Temeljem istraživanja, kompost od komine masline zbog svojih dobrih karakteristika predstavlja vrijedan potencijal kao gnojivo za ekološku poljoprivredu, supstrat za presadnice, poboljšivač tla ili kao alternativa za zamjenu kalijevih mineralnih gnojiva. Temeljem pregleda literature i dobivenih rezultata vlastitih istraživanja, kod kompostiranja većih količina komine maslina preporučuje se otvoreni sustav, poput tehnologije 'windrows', međutim se kod manjih količina komine više preporučuje tehnologija kompostiranja pomoću statičkih hrpa. Budući da kompostirana komina sadrži iznimno velik udio organske tvari, preporučuje se primjena navedenog komposta u maslinicima kao mjera očuvanja organske tvari i plodnosti tla općenito.

Studijom je s tehničko-tehnološkog i ekonomskog aspekta obrađena izgradnja pogona kompostane kapaciteta obrade 7.000 tona miješanog organskog otpada: komunalnog mulja, organskog otpada iz kućanstava i zelenog biljnog otpada. Tržno-ekonomskom analizu utvrđeno je da procijenjena vrijednost investicijskih ulaganja u infrastrukturu opremanje lokacije, izgradnju i opremanje objekata te nabavu strojeva i mehanizacije iznosi ukupno 13.320.000 kn ili 1.776.000 EUR. Račun dobiti, financijski i ekonomski tijek kroz 20 godina poslovanja pokazuju da će projekt biti solventan, te da će ostvariti akumulaciju od 2,89% godišnje. Potpuno vraćanje investicijskih ulaganja je

tijekom 12. godine vijeka projekta što je prihvatljivo. Neto sadašnja vrijednost projekta iznosi 4,65 milijuna kn uz diskontni faktor 4% što je u usporedbi s ulaganjima prihvatljivo. Interna stopa rentabilnosti iznosi 7,55 % što je osjetno više od realne kamatne stope od 4% po kojoj se planiraju dobiti kreditna sredstva.



## 5. ZAKLJUČAK

Provedba projekta „Smanjenje emisija stakleničkih plinova upotrebom gradskog i poljoprivrednog otpada u proizvodnji bilja – REDGREENPLANT“ ostvarila je zacrtane ciljeve. Tijekom projekta su okarakterizirani organski materijali koji predstavljaju prijetnju okolišu, a njihovo odlaganje potencira emisije stakleničkih plinova te negativno djeluje na klimatske promjene. Analize elementnog sastava su pokazale kako i komunalni mulj i komina maslina sadrže količine potencijalno toksičnih metala u razinama koje ispod maksimalno propisanih za primjenu u poljoprivredne svrhe. Biološka karakterizacija komunalnog mulja je ukazala da postoji značajna razlika u bakterijskim populacijama između istraživanih muljeva, te je stoga nužno nastaviti istraživanja mikrobiologije istih.

Istraženi su procesi proizvodnje komposta i biougljena od komunalnog mulja i komine maslina te je utvrđeno koji su ključni čimbenici u tim procesima te kako istima upravljati. Dobiveni su materijali i strukturno okarakterizirani, čime je dokazana uspješnost postupka. Kemijska karakterizacija dobivenog komposta i biougljena je pokazala da je riječ o dva vrlo vrijedna izvora hraniva, odnosno poboljšivača tla pogodna za primjenu u poljoprivredne svrhe. To je svakako potvrdio proveden vegetacijski pokus na kineskom kupusu, gdje je primjena navedenih poboljšivača pozitivno utjecala na vegetativne parametri, količinu hraniva u biljci te fotosintetsku aktivnost biljke. Također, analiza tla s dodatkom komposta ili biougljena na kraju pokusa je potvrdila da ne postoji rizik od kontaminacije tla čak pri primjeni 10 puta veće dozacije od one propisane trenutno važećom legislativom.

Iz rezultata mjerenja emisija stakleničkih plinova, utvrđeno je da je biougljen izravan način sekvenciranja ugljika, a samim time i smanjenih emisija stakleničkih plinova. Provedba projekta je ukazala potencijal zbrinjavanja komunalnog mulja i komine maslina pretvorbom u poboljšivače tla za primjenu u poljoprivredne svrhe, čime se nadomještaju mineralna gnojiva i na taj način neizravno smanjuju emisije stakleničkih plinova, a svakako i zbrinjavaju navedeni gore navedeni organski materijali.

REDGREENPLANT

