Kemijske promjene u tlu i prinos rotkvice uslijed primjene pepela iz biomase

Vujec, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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:204:143168

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-26**

Repository / Repozitorij:

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

KEMIJSKE PROMJENE U TLU I PRINOS ROTKVICE USLIJED PRIMJENE PEPELA IZ BIOMASE

DIPLOMSKI RAD

Luka Vujec

Zagreb, rujan 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Diplomski studij:
Ekološka poljoprivreda i agroturizam

KEMIJSKE PROMJENE U TLU I PRINOS ROTKVICE USLIJED PRIMJENE PEPELA IZ BIOMASE

DIPLOMSKI RAD

Luka Vujec

Mentor: prof. dr.sc. Gabrijel Ondrašek

Neposredna voditeljica: dr.sc. Marina Bubalo Kovačić

Zagreb, rujan 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA STUDENTA

O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Luka Vujec**, JMBAG 0178088148, rođen dana 13.05.1993. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom:

KEMIJSKE PROMJENE U TLU I PRINOS ROTKVICE USLIJED PRIMJENE PEPELA IZ BIOMASE

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedini autor 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 upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____ _____

Potpis studenta

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta **Luke Vujeca**, JMBAG 0178088148, naslova

KEMIJSKE PROMJENE U TLU I PRINOS ROTKVICE USLIJED PRIMJENE PEPELA IZ BIOMASE

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____ , dana _____ .

Povjerenstvo:			potpisi:
1.	Prof. dr. sc. Gabrijel Ondrašek	mentor	_____
	Dr. sc. Marina Bubalo Kovačić	neposredna voditeljica	_____
2.	Doc. dr. sc. Monika Zovko	član	_____
3.	Izv. prof. dr. sc. Željka Zgorelec	član	_____

Zahvala

Najljepše zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Gabrijelu Ondrašeku, za sve savjete i pomoć tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem neposrednoj voditeljici dr. sc. Marini Kovačić Bubalo, na svoj podršci koju mi je pružila tijekom izrade rada.

Zahvaljujem svojim dragim kolegama iz Plastenika AF koji su sudjelovali u provedbi pokusa.

Zahvaljujem svim zaposlenicima Laboratorija na dobro odrađenom poslu u fazi provedbe laboratorijske obrade prikupljenih uzoraka.

Zahvaljujem svojoj obitelji, posebno majci koja je uz moralnu bila i svakojaka podrška za vrijeme studija i u realizaciji ovog istraživanja i rada.

Zahvaljujem svim svojim kolegama i prijateljima, ponajviše prijateljici Ani, koji su me podupirali tijekom studija.

Sadržaj

Sažetak .....

Summary .....

1. Uvod 1

1.1. Svrha i cilj rada 2

2. Teorijski dio 3

2.1. Biomasa kao izvor pepela 3

2.2. Postrojenja na biomasu i nastanak pepela kao nusproizvoda 4

3. Materijali i metode 6

3.1. Opis istraživanja 6

3.2. Uvjeti i eksperimentalni dizajn istraživanja 8

3.3. Vegetacijska mjerenja i uzorkovanja 10

3.4. Laboratorijske analize pH i EC 13

3.5. Statistička obrada podataka 15

4. Rezultati i rasprava 16

4.1. Kemijske promjene tla uslijed primjene pepela iz biomase 16

4.2. Utjecaj pepela na vegetacijska svojstva i prinos test kulture rotkvice 18

5. Zaključci 22

6. Popis literature 23

7. Prilog 25

7.1. Kategorije pH-vrijednosti tla u H_2O (Vukadinović, 2011). 25

7.2. Granične vrijednosti AL-P_2O_5 i AL-K_2O za ratarske usjeve na području istočne Hrvatske (Vukadinović, 2011.) 25

7.3. Ocjena humoznosti tla po Gračaninu (Vukadinović, 2012.) 25

7.4. Teksturni trokut prema FAO 2006 (Pernar, 2013.) 26

Životopis 27

Sažetak

Diplomskog rada studenta: **Luka Vujec**, naslova

KEMIJSKE PROMJENE U TLU I PRINOS ROTKVICE USLIJED PRIMJENE PEPELA IZ BIOMASE

Pepeo se koristi u poljoprivredi od davnina, međutim uslijed modernizacije poljoprivredne proizvodnje i razvoja petrokemijske industrije u posljednjih nekoliko desetljeća još uvijek nije našao širu primjenu u praksi. Povećanjem broja bioelektrana, koje su poticane u svrhu proizvodnje energije iz obnovljivih izvora energije, generiraju se kao nusproizvod i velike količine pepela iz biomase koje je potrebno zbrinuti, odnosno uspostaviti održivo gospodarenje pepelom iz biomase. Kao moguće rješenje se nudi upotreba pepela iz biomase na poljoprivrednim površinama u svrhu kondicioniranja kiselih i fitohranivima osiromašenih tala. U radu je prikazana mogućnost korištenja pepela u svrhu poboljšanja kvalitete tla s fokusom na povećanja prinosa test kulture rotkvice. Istraživanjem se utvrdilo da primjena pepela u masenom udjelu do 1 % u tlu podiže vrijednost pH na optimalnu razinu za potrebe bilinogojstva, te da povećava sadržaj fiziološki aktivnog fosfora i kalija bez negativnih utjecaja na test kulturu.

Ključne riječi: pepeo iz biomase, pH tla, P, K, rotkvica

Summary

Of the master's thesis - student LUKA VUJEC, entitled

CHEMICAL CHANGES IN THE SOIL AND RADISH YIELD DUE TO THE APPLICATION OF BIOMASS ASH

Ash has been used in agriculture since ancient times, however, due to the modernization of agricultural production and development of the petrochemical industry in recent decades has not found wider application in practice. With the increasing number of biofuel power plants that are stimulated for the production of renewable energy, large amounts of biomass ash are generated as a byproduct. The ash needs to be disposed of safely, i.e. a sustainable management of biomass ash needs to be established. A possible solution is the use of ash from biomass on agricultural fields for the purpose of conditioning the acidic and phytonutrient impoverished soils. The paper presents the possibility of using ash for the purpose of improving the soil quality with the focus on increasing the yield of radish. Research has shown that the application of ash of up to 1 % of the soil share raises the soil pH value to the optimum level for the majority of crops, and the application of 1 % ash gives the biggest increase in the physiologically active phosphorus and potassium content without negative chemical changes in the soil.

Keywords: the ash from biomass, soil pH, P, K, radish

1. Uvod

Održivi razvoj čovječanstva pod pritiskom klimatskih promjena temelji se na implementiranju energetsko–klimatskog paketa mjera koji koristi prirodne resurse s minimalnim utjecajem na okoliš svima poznat pod nazivom obnovljivi izvori energije (OIE). U skladu sa Direktivom 2009/28/EZ, Europska unija je postavila svim državama članicama određene srednjoročne ciljeve za udio proizvodnje energije iz obnovljivih izvora u konačnoj bruto potrošnji do 2020. Direktiva Vijeća 2013/18/EU od 13. svibnja 2013. nadopuna je Direktive 2009/28/EZ zbog pristupanja Republike Hrvatske Europskoj uniji sa ciljem koji mora ispuniti RH a koji iznosi 20% proizvodnje energije iz OIE u ukupnoj bruto potrošnji 2020. godine. Sukladno Direktivi 2013. donesen je novi Nacionalni akcijski plan za obnovljive izvore energije u kojem se određuje sektorski cilj za obnovljive izvore energije s 35 % udjela u proizvodnji električne energije, 20 % udjela za grijanje i hlađenje i 10 % udjela u transportu.

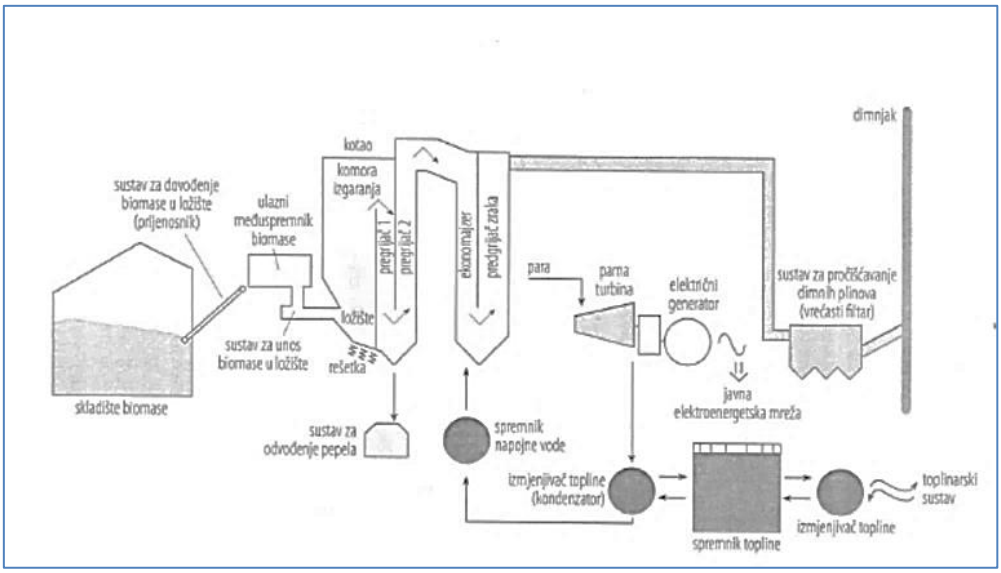
Također, u cilju smanjenja emisije stakleničkih plinova plan Europske komisije u proizvodnji električne energije je potpuna dekarbonizacija do 2050. Drugim riječima, proizvodnja električne energije sve više je usmjerena ka OIE na način da se održivo zamjenjuju konvencionalna postrojenja (npr. termoelektrane na fosilna goriva) s OIE koji nemaju ili imaju znatno manju emisiju stakleničkih plinova. Razvoj energetskog sektora RH temelji se na upotrebi OIE od kojih su u najznačajniji sunce, vjetar, voda, geotermalna energija i biomasa. U ovom radu posebni je naglasak na biomasu budući je jedan od glavnih nusproizvoda mineralni ostatak ili pepeo koji se može koristiti i u poljoprivredne svrhe.

Elektrane na biomasu obično se dijele na: (1) elektrane koje proizvode toplinsku energiju koja se može koristiti u različite svrhe, kao na primjer zagrijavanje prostora, sušare za drva u drvnoj industriji i druge proizvode i (2) elektrane koje istodobno proizvode električnu i toplinsku energiju, a u pravilu se radi o kogeneracijskim postrojenjima. Pojednostavljena shema kogeneracijske elektrane prikazana je na Slici 1.

Kogeneracijska postrojenja imaju daleko veću učinkovitost od običnih termoelektrana i takva postrojenja se danas uglavnom grade kroz različite mjere u svrhu poticanja OIE. Postrojenje se sastoji od parnog kotla za proizvodnju pregrijane pare i parne turbine s generatorom koja se pokreće korištenjem pare u svrhu proizvodnje električne energije.

Izgaranjem šumske ili agrobiomase, ispod ložišta se generira određeni udio mineralnog ostatka, odnosno pepela (Slika 1.). Da pepeo ne bi bio nusproizvod i problem onečišćenja okoliša jer ga je potrebno adekvatno zbrinuti, može se koristiti u raznim industrijskim granama kao što su građevinarstvo u proizvodnji cementa, ali i u poljoprivredi (Ondrašek i sur., 2018). Naime, pepeo se u poljoprivredi može potencijalno koristiti kao poboljšivač tla. Manjak fosfora i kalija te povećana kiselost tla istaknuti su problemi u mnogim tlima na nacionalnoj razini ali isto tako regionalnoj i globalnoj (Znaor, 2014). Po svom kemijskom sastavu pepeo iz biomase izuzetno je alkalan (pH>12) te bogat biljnim hranjivima (Ca, P, K i Mg) (Ondrašek i sur., 2018), zbog čega je pretpostavka da bi se mogao koristiti za kondicioniranje kiselih tala i onih siromašnih fosforom i kalijem. Primjenom pepela moguće

je postići višegodišnji efekt povećanja plodnosti tla poboljšanjem strukture i povećanjem raspoloživosti fitohraniva.



Slika 1. Pojednostavljena shema kogeneracijske elektrane na biomasu
Izvor: Labudović i sur. (2012).

1.1. Svrha i cilj rada

Svrha istraživanja je istražiti mogućnosti korištenja pepela nastalog kao nusproizvod pri proizvodnji toplinske i električne energije iz OIE odnosno šumske biomase u konkretnom primjeru. Naime, osnovna baza i sirovina za proizvodnju energije iz biomase su:
a) šumska biomasa, tj. otpadna šumska sječka i razne vrste otpadnog drveta iz drvne industrije i b) agrobiomasa ili drvna masa koja se uzgaja na oranicama kao kultura kratke ophodnje (Labudović i sur., 2012). Izgaranjem biomase u elektranama za proizvodnju električne i toplinske energije kao nusproizvod se generira pepeo, odnosno praškasti anorganski ostatak koji je izuzetno alkalan (pH > 12) te obogaćen fosforom (P), kalijem (K), kalcijem, (Ca) i drugih fitonutrijentima (Ondrašek i sur., 2018).

Veliki udio nacionalnih tala R. Hrvatske je prilično kiseo (pH_{KCl} < 6.5) te zauzima > 30 % ukupnog poljoprivrednog zemljišta (Mesić i sur., 2009). Također, određeni udio kiselih tala pripada kategoriji tzv. lesiviranih tala koja su slabije opskrbljena makro i mikro elementima (P, K, Ca, Zn). Iz tog razloga pretpostavka je da bi se primjena pepela u određenim omjerima mogla vrlo uspješno iskoristiti pri kondicioniranju optimalnog pH i opskrbljenosti tla fitonutrijentima na poljoprivrednim površinama, a time u konačnici doprinijeti povećanom prinosu poljoprivrednih kultura.

Stoga je cilj rada ispitati da li je moguće i u kojim točno udjelima koristiti pepeo iz biomase za kondicioniranje optimalne plodnosti tla na poljoprivrednim kiselim površinama i slabije opskrbljenim određenim hranivima (P, K), a da se izbjegne negativni utjecaj pepela na prinos rotkvice kao test kulture.

2. Teorijski dio

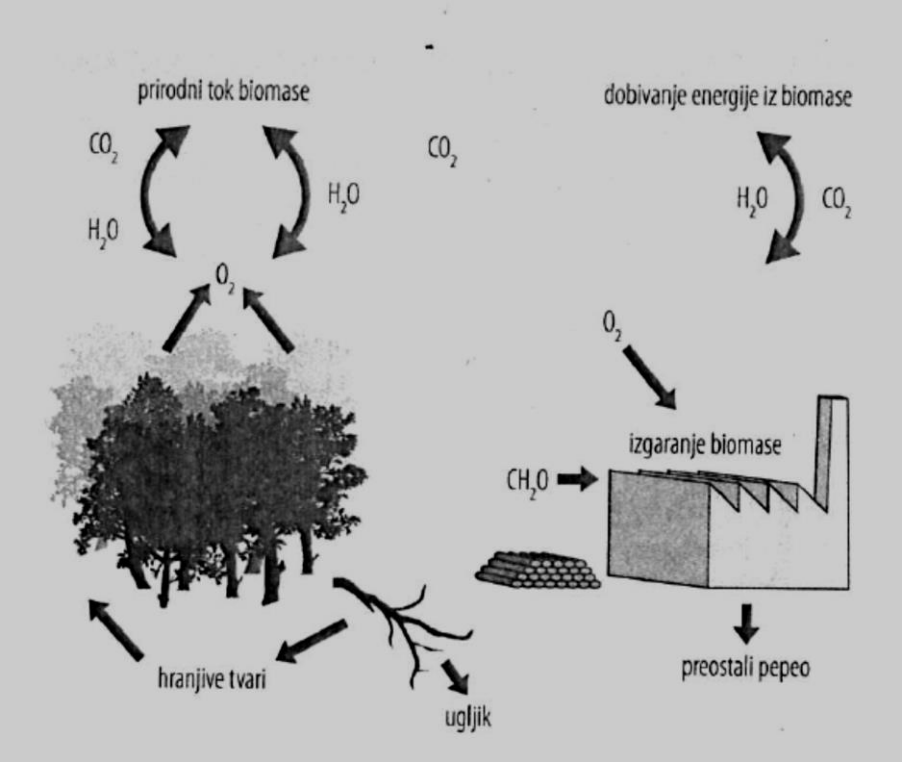
2.1. Biomasa kao izvor pepela

Biomasa je prirodni obnovljivi izvor energije organskog podrijetla, i dijeli se u 4 glavne vrste (Labudović i sur., 2012):

- šumska biomasa,
- ostaci od poljoprivredne djelatnosti,
- organski ostaci od komunalnog i industrijskog otpada i
- uzgoj drvne biomase u kulturama kratke ophodnje.

Šumska biomasa predstavlja ostatke od drvne industrije što uključuje sve ostatke drvne mase koja ostaje nakon sječe šuma (drvna sječka, granjevina), zatim ostatke nakon prorjeđivanja i čišćenja šuma, i ostatke od drvne industrije. Šumska biomasa ima najveću kalorijsku vrijednost od ostalih skupina, a ujedno Hrvatska raspolaže velikim prirodnim šumskim potencijalom čijim se kvalitetnim gospodarenjem može osigurati velika količina biomase za uporabu u energetske svrhe. Ostaci od poljoprivredne djelatnosti uključuju ostatke od ratarske, stočarske, voćarske proizvodnji i ribarstva. Ova vrsta biomase je različitog sastava sa puno primjesa i uglavnom niske ogrjevne vrijednosti zbog visokog sadržaja vlage.

Biomasa od komunalnog i industrijskog otpada uključuje biomasu iz parkova sa urbanih površina koju je također potrebno negdje adekvatno pohraniti i iskoristiti. Uzgoj drvne mase u kulturama kratke ophodnje planiran je prema Strategiji energetskog razvoja RH na šumskom zemljištu, koja uključuje poticanje pošumljavanja i drvno prerađivačke industrije. Prihvaćanjem direktiva Europske unije o zajedničkoj poljoprivrednoj politici EU danas se u RH potiče i uzgoj kultura kratke ophodnje na oranicama. Kulture kratke ophodnje predstavljaju neke autohtone (crna joha, breza, grab, kesten, jasen, topola, bagrem i vrba) ali i alohtone (npr. paulovnija) drvenaste vrste, kod kojih je ciklus žetve do maksimalno 8 godina. Takav uzgoj pod nazivom kulture kratke ophodnje u svrhu stvaranja biomase potiče se od 2015. godine kada je unesen u Pravilnik o evidenciji uporabe poljoprivrednog zemljišta (NN 35/2015). Da bi se ojačao status proizvođača kultura kratkih ophodnji u veljači ove godine donesen je i Zakon o drvenastim kulturama kratkih ophodnji (NN 15/2018). Novim Zakonom omogućeno je uzgajanje brzorastućih vrsta na šumskom, poljoprivrednom zemljištu i ostalom obradivom zemljištu koje je zakorovljeno i obraslo višegodišnjim raslinjem uz odobrenje Hrvatske poljoprivredno-šumarske savjetodavne službe. Taj zakonodavni okvir doprinosi energetskom i gospodarskom razvoju RH jer se stvaraju novi uvjeti za proizvodnju biomase kao obnovljivog i ekološki prihvatljivog energenta na načelima održivog razvoja. Na Slici 2. prikazan je prirodni ciklus ugljika i energije iz šumske biomase gdje se pojednostavljeno prikazuje da proizvod izgaranja biomase u stvari je ulazna sirovina za rast nove šumske biomase.



Slika 2. Prirodni ciklus ugljika iz šumske biomase
Izvor: Labudović i sur. (2012).

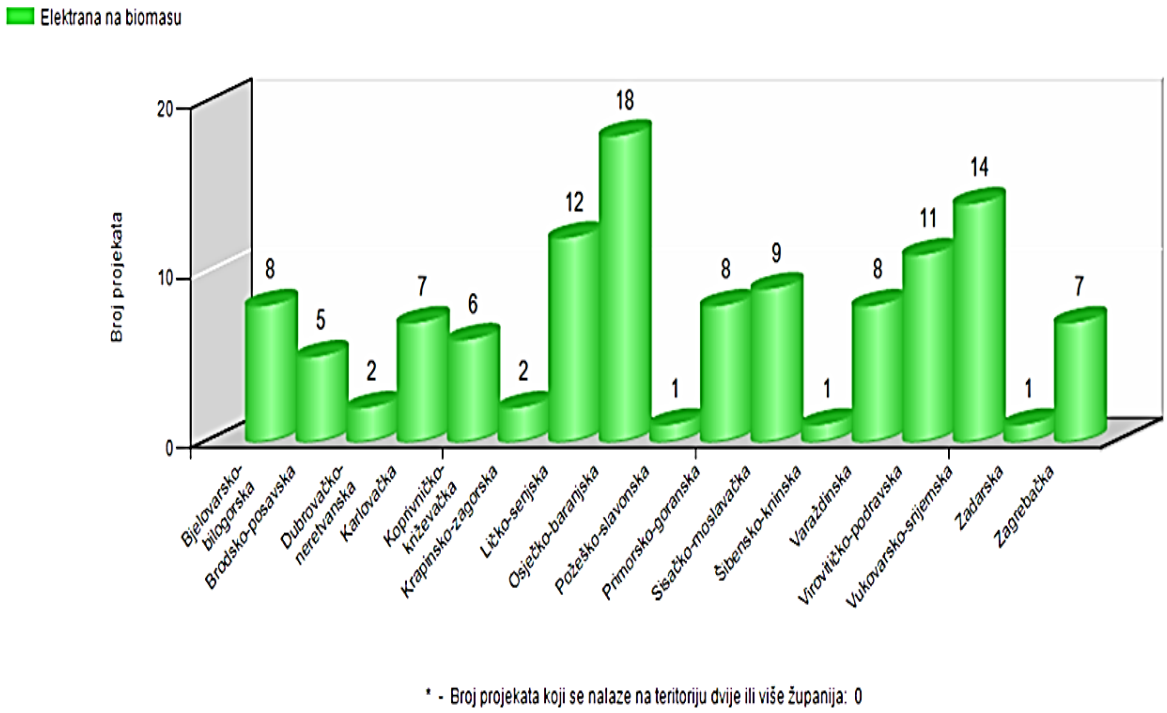
2.2. Postrojenja na biomasu i nastanak pepela kao nusproizvoda

Prema Strategiji energetskog razvitka RH NN 130/2009 Republika Hrvatska je postavila za cilj da u 2020. godini koristi oko 26 PJ energije iz biomase uz planiranu instaliranu snagu termoelektrana na biomasu od oko 85 MW. Radi povećanja energetske učinkovitosti višu povlaštenu poticajnu tarifu će imati postrojenja sa proizvodnjom električne i toplinske energije u zajedničkom procesu, i postrojenja koja rade tijekom čitave godine. Novom promjenom Tarifnog sustava za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 100/2015), omogućeno je poticanje projekata elektrana na biomasu do 120 MW instalirane snage. U tom kontekstu gotovo za 50 % povećana je kvota za poticanje do 2020. godine u odnosu na Strategiju i napravljen dodatan zamah u investiranju u elektrane na biomasu.

U 2018. prema Registru OIE koji se vodi pri Ministarstvu zaštite okoliša i energetike, upisano je ukupno 120 projekata izgradnje elektrana na biomasu od kojih je 61 projekt dobio mogućnost potpisivanja ugovora o otkupu energije do postizanja kvote od 120 MW instalirane snage. Broj izgrađenih elektrana u 2013. godini bio je svega 3, u 2016. 10 elektrana na biomasu, a do danas prema podacima Hrvatskog operatora tržišta energije - HROTE (za ožujak 2018. godine) u rad je u Hrvatskoj pušteno 20 elektrana na biomasu u sustavu poticanja proizvodnje sa ukupnom instaliranom snagom od 42,748 MW. Pored

navedenih koje su puštene u rad trenutno je u gradnji još 41 elektrana za koje su postignuti svi potrebni uvjeti za potpisivanje ugovora o otkupu električne energije. Nositelji tih projekata će nakon dovršetka izgradnje postati povlašteni proizvođači sa ukupnom instaliranom snagom od 78,248 MW.

Na Slici 3. prikazan je broj projekata izgradnje elektrana na biomasu u RH prema županijama. Iz navedene slike vidljivo je da je najveći broj elektrana planiran u županijama koje imaju razvijenu šumarsku industriju što je i logična posljedica budući se tamo i proizvodi najviše otpadnog drveta i šumske sječke. Šumska i drvna industrija su polazne osnove za minimaliziranje troškova logistike i postizanja pune ekonomičnosti proizvodnje električne i toplinske energije iz biomase.



Slika 3. Regionalna raširenost projekata elektrana na biomasu u RH
Izvor: Ministarstvo zaštite okoliša i energetike (2018).

Naime, postrojenja na biomasu snage od oko 5 MW mogu generirati godišnje i više od 1000 tona pepela (Ondrašek i sur., 2018). Iz navedenog proizlazi da bi se s predviđenom ukupnom instaliranom snagom elektrana na biomasu od 120 MW u RH do 2020. moglo očekivati i ukupna proizvodnja pepela na razini od oko 24.000 tona godišnje. Navedena činjenica nameće ozbiljnu potrebu za odgovarajućim načinom zbrinjavanja pepela bez negativnog utjecaja na okoliš, odnosno iskorištavanjem pepela iz biomase u poljoprivredne i/ili druge gospodarske svrhe.

3. Materijali i metode

3.1. Opis istraživanja

U svrhu istraživanja utjecaja različitih doza pepela iz biomase provedeno je istraživanje u kontroliranim uvjetima plastenika na Agronomskom fakultetu u Zagrebu sa test kulturom rotkvicom. Istraživanje je provedeno s 4 varijante; kontrolno tlo bez dodanog pepela i 3 varijante u kojima je omjer kontrolnog tla i pepela prikazan u Tablici 1.

Tablica 1. Varijante omjera tla i pepela u pokusu

Varijanta	Sastav varijante	Količina
1. varijanta	Kontrolno tlo	2000 g tla
2. varijanta	tlo + pepeo (0,25 %)	1995 g tla+ 5 g pepela
3. varijanta	tlo + pepeo (0,50 %)	1990 g tla+ 10 g pepela
4. varijanta	tlo + pepeo (1,00 %)	1980 g tla + 20 g pepela

Uzorkovanje kontrolnog tla za provedbu istraživanja obavljeno je na površinama tvrtke Pinova d.o.o. iz Čakovca. Tlo je uzorkovano iz površinskog Ap horizonta (0-50 cm) te je dopremljeno u plastenik Zavoda za povrćarstvo gdje je pripremljeno za pokus. Priprema tla sastojala se od sušenja i ručnog usitnjavanja tla kako bi se postigao homogeni supstrat. Rezultati analize kontrolnog tla (bez dodatka pepela) su prikazani u Tablici 2. i Tablici 3.

Tablica 2. Kemijske značajke kontrolnog tla (n=3)

Oznaka i dubina horizonta	pH/H_2O	pH/KCl	EC dS/m	P_2O_5 mg/100 g tla	K_2O mg/100 g tla	Humus %
Ap 0-50 cm	6,06	4,78	0,028	19,6	11,9	0,925

Iz provedene analize vidljivo je da je tlo kisele reakcije (Prilog 7.1), dobro opskrbljeno fiziološki aktivnim fosforom, siromašno fiziološki aktivnim kalijem (Prilog 7.2) i vrlo slabo humozno (Prilog 7.3).

Analizom mehaničkog sastava utvrđen je sastav tla po veličini čestica, a rezultati su prikazani u Tablici 3. Mehanički sastav tla ili tekstura tla predstavlja kvantitativni odnos

mehaničkih čestica tla kojom se utvrđuje kakva je usitnjenost odnosno disperzivnost krute faze tla. Analizom je utvrđen ukupni udio pijeska od 27 %, dok najveći udio ima prah s ukupno 65 %, a najmanji udio od 8 % je glina. Prema teksturnoj klasifikaciji FAO 2006., tlo pripada u praškaste ilovače (Prilog 7.4).

Tablica 3. Mehanički sastav tla Ap horizonta 0-50 cm

Udio čestica (%)					Teksturna oznaka tla
Krupni pijesak	**Sitni pijesak**	**Krupni prah**	**Sitni prah**	**Glina**	
2 - 0,2 mm	0,2 - 0,063 mm	0,063 - 0,02 mm	0,02 - 0,002 mm	<0,002 mm	
4	23	45	20	8	PrI – Praškasta ilovača

Pepeo iz biomase (šumske sječke) je dopremljen iz postrojenja na biomasu te su u njemu prema standardnim metodama i procedurama utvrđeni određeni fizikalno kemijski parametri (Tablica 4. i Slika 4.) u laboratoriju Zavoda za melioracije na Agronomskom fakultetu u Zagrebu. Po svome kemijskom sastavu, testirani pepeo u najvećem udjelu sadržava kalcij-oksid (17,37 %) te značajni udio čine oksidi fosfora, kalija, magnezija i željeza sa sadržajem većim od 2 %. Uzorkovani pepeo izuzetno je alkalne reakcije budući je pH_{H2O}=13,26 (Tablica 4).

Tablica 4. Kemijski sastav pepela iz biomase

Pepeo iz biomase	
Parametar	**Vrijednost**
Suha tvar pri 105°C (ST)	59,07 %
pH u H_2O	13,26
Specifična električna vodljivost	7,56 mS/cm
Organska tvar	2,23 %
N-ukupni na ST	0,09 %
P_2O_5 -ukupno na ST	2,12 %
K_2O-ukupni na ST	2,65 %
Na-ukupni na ST	1,55 %
CaO-ukupni na ST	17,37 %
MgO-ukupni na ST	2,89 %

Na Slici 4. prikazan je izgled pepela neposredno nakon tehnološkog nastanka u postrojenju, praškasto-grudaste smjese s vrlo malim tragovima (oko 2,2 %) organske tvari (Tablica 4).

Slika 4. Izgled pepela nakon nastanka u postrojenju

3.2. **Uvjeti i eksperimentalni dizajn istraživanja**

Istraživanje sa određenim omjerima kontrolnog tla i pepela (Tablica 1.) provedeno je u PVC posudama volumena 2 litre. Sjeme rotkvice (*Raphanus sativus*, L. cv. Cherry Belle) je najprije stavljeno na naklijavanje (24 h prije sjetve) te su za sjetvu odabrane sjemenke sa ujednačenim proklijavanjem. Sjetva je provedena na dubinu tla/supstrata od 1 cm, pri čemu je u svaku posudu posijano 6 naklijalih sjemenki (Slika 5.). Istraživanje je organizirano prema slučajnom bloknom rasporedu u 9 repeticija.

Slika 5. Sjetva rotkvice u PVC posude volumena 2 L

Neposredno nakon sjetve, u svakoj PVC posudi sa destiliranom vodom je sadržaj vode nadopunjen do poljskog kapaciteta tla za vodu (PKV) kao što je prikazano na Slici 6.

Slika 6. Navodnjavanje do PKV-a

Također, za cijelo vrijeme trajanja pokusa, sadržaj vlage u PVC posudama je održavan na razini 70-80 % PKV svakodnevnom kontrolom mase na analitičkoj vagi (Mettler Toledo, model Viper SW-6) i nadopunom sa destiliranom vodom. Tijekom istraživanja provedena je jedna prihrana svih varijanti mineralnim vodotopivim gnojivom (PolyFeed, HAIFA Chemicals)

formulacije N:P:K20:20:20). Prihrana je provedena pripremljenom 2 %-tnom otopinom mineralnog gnojiva u količini od 100 ml po posudi.

3.3. Vegetacijska mjerenja i uzorkovanja

Tijekom vegetativnog rasta rotkvice provedena su mjerenja biomase i mjerenja sadržaja klorofila u razvijenim listovima pomoću klorofilmetra (CCM-200 plus Chlorophyll Content Meter, ADC BioScientific Ltd., Great Britain) 30 dana nakon sjetve. Kada je postignuta tehnološka zrelost rotkvice, provedeno je uzorkovanje lista, ploda, korijena rotkvice i tla iz svake PVC posude pojedinačno (Slika 7.).

Slika 7. Prikaz 4 varijante tri dana prije završetka pokusa

Uzorkovanje je započeto odvajanjem lista od ploda rotkvice te stavljanjem lista u papirnate vrećice označene jedinstvenim oznakama (Slika 8.). Uzorci lista izvagani su u:

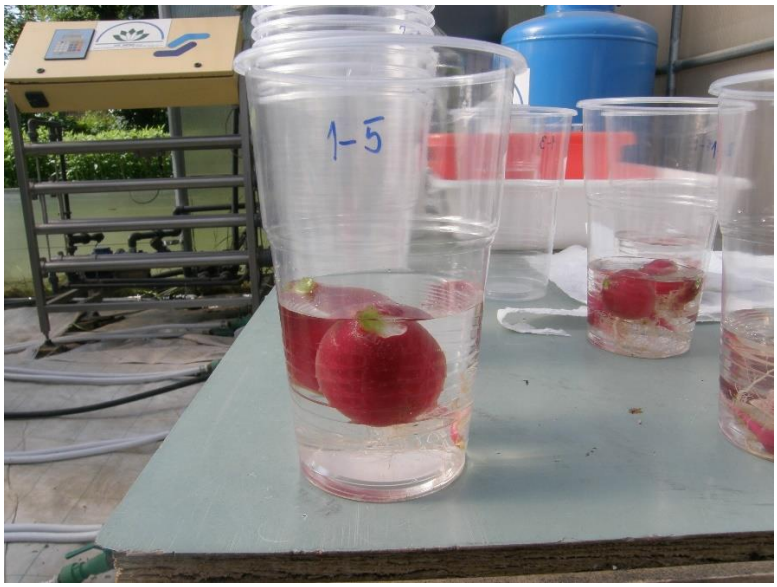
1.) mokrom stanju prije sušenja na 65˚C, i
2.) dehidriranom stanju, samljeveni, homogenizirani i zatim pripremljeni za kemijske analize u laboratoriju.

Slika 8. Odvajanje lista od ploda

Uzorci ploda i korijena su pažljivo odvajani iz uzgojnog supstrata kako bi se sačuvala korjenova mase (Slika 9.).

Slika 9. Odvajanje ploda i korijena od uzgojnog supstrata

Svi uzorci su prvo očišćeni pod mlazom vode od zemlje, zatim potpuno uronjeni namakani u otopini kalcijevog klorida koncentracije c ($CaCl_2$) = 5 mM u trajanju od 20 minuta (Slika 10.) i na kraju ispirani 20 minuta destiliranom vodom. Nakon takve pripreme korijen je odvojen od ploda.



Slika 10. Plod i korijen rotkvice u 5 mM otopini CaCl2

Na Slici 11. prikazani su uzorci korijena pripremljeni za vaganje u mokrom stanju. Nakon mokre odvage, uzorci su stavljeni na sušenje na 65˚C za potrebe suhe odvage i daljnjih kemijski ispitivanja. Isti postupak je proveden s uzorcima ploda rotkvice.

Slika 11. Uzorci korijena pripremljeni za vaganje

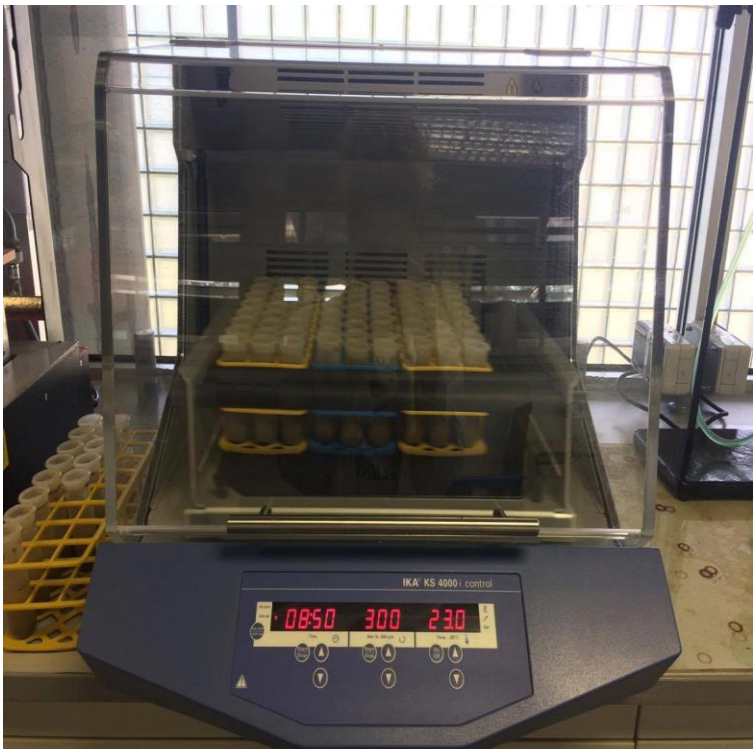
Također, nakon uzorkovanja biljnog materijala iz svake posude je uzorkovano 200 g kontrolnog tla/supstrata za provedbu slijedećih analiza:

- pH tla,
- specifična električna vodljivost (EC),
- sadržaja P_2O_5 i
- K_2O.

3.4. **Laboratorijske analize pH i EC**

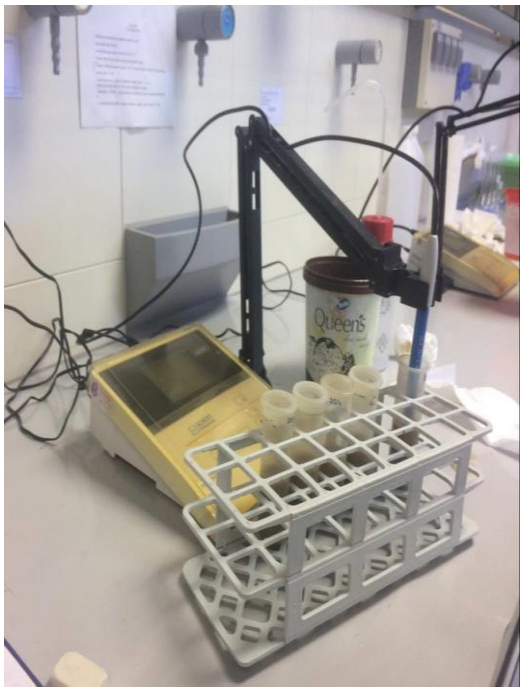
U uzorcima tla pH je određen u dvije točke: 1.) u destiliranoj vodi i 2.) u 1 molarnoj otopini KCl (HRN ISO 10390:2005). Specifična električna vodljivost u uzorcima tla određenja je sukladno HRN ISO 11265:2004. Osušeno i prosijano tlo žličicom od 5 mL stavljeno je u polietilenske kivete s čepom od 50 ml (Slika 12.). Tako pripremljene kivete stavljene su u laboratorijsku mućkalicu u razdoblju od sat vremena (prikazano na Slici 13.) te su nakon mućkanja odstajale sat vremena prije provođenja mjerenja. Za kontrolu kvalitete provedenih analiza korišten je referentni materijal sličnog matriksa iz programa međunarodnog usporednog postupka za analize tla "WEPAL-ISE" (Wageningen University, Nizozemska) u kojima laboratorij sudjeluje i ponavljanje ispitivanja na tri paralelna uzorka.

Slika 12. Postupak punjenja kiveta tlom



Slika 13. Uzorci u laboratorijskoj mućkalici

Nakon što su promućkani uzorci odstajali provedena su mjerenja pH na pH metru „Lab 870 set“ (SCHOTT Instruments, Njemačka) s elektrodom sa integriranim temperaturnim senzorom (Slika 14.) i EC na konduktometru Lab 970 (SCHOTT Instruments, Njemačka). Preostali analizirani parametri u uzorcima tla/supstrata nakon pokusa, kao što su fiziološki aktivni fosfor (P_2O_5) i fiziološki aktivni kalij (K_2O), utvrđeni su prema standardnim metodama i procedurama kao što je detaljnije opisano u Ondrašek (2008).



Slika 14. Mjerenje pH pomoću pH metra

3.5. **Statistička obrada podataka**

Deskriptivna statistika i analiza podataka napravljena je pomoću SAS 9.3 (SAS Institute Inc, 2011.) računalnog paketa. Utjecaj primjene udjela pepela na prinos rotkvice i kemijske promjene u tlu ispitana je analizom varijance (ANOVA).

4. Rezultati i rasprava

4.1. Kemijske promjene tla uslijed primjene pepela iz biomase

Analiza tla nakon pokusa obavljena je u svim varijantama te su rezultati analize tla prikazani su u Tablici 5. i Slikama 15. i 16. U usporedbi s rezultatima analize tla prije pokusa prikazanih u Tablici 2., u kontrolnoj varijanti pH (u H_2O) je porastao tijekom istraživanja sa 6,06 na 6,14. Elektrovodljivost (EC) tla je porasla sa 0,028 na 0,044 dS/m, dok je sadržaj fiziološki aktivnog kalija porastao sa 11,9 na 18,5 mg/100 g tla. Sadržaj fiziološki aktivnog fosfora porastao je sa 19,6 mg/100 g tla na 30,2 mg/100 g tla. Opisane promjene su uzrokovane prihranom tijekom pokusa i samim uzgojem rotkvice.

Povećanje EC vrijednosti u svim varijantama je na minimalnim razinama. Vrijednost elektrovodljivosti je veća sukladno povećanju udjela pepela u tlu. Budući da je i u kontrolnoj varijanti utvrđeno povećanje EC može se zaključiti da nije u potpunosti pod utjecajem tretmana pepelom. Povećanje elektrovodljivosti ukazuje na povišene koncentracije iona u otopini tla. Najviša vrijednost EC 0,1039 dS/m je izmjerena u 4. varijanti. U usporedbi s kontrolnom varijantom, statistički značajna razlika je utvrđena kod 3. i 4. varijante. Te dvije varijante su i međusobno statistički značajno različite.

Statistički značajno povećanje u sadržaja fiziološki aktivnog fosfora je vidljivo kod 3. i 4. varijante, dok se 2. varijanta ne razlikuje značajno od kontrolne. Najveća vrijednost od 43,84 mg/100 g izmjerena je u 4. varijanti.

Po sadržaju fiziološki aktivnog kalija utvrđena je statistički značajna razlika između sve četiri varijante. Sadržaj fosfora je rastao sukladno povećanju udjela pepela u tlu s najvišom vrijednosti od 46,26 mg/100g izmjerenom u 4. varijanti.

Tablica 5. Utjecaj primjene pepela na EC, sadržaj P_2O_5, K_2O
Prosječne vrijednosti unutar stupca sa istim slovima nisu statistički značajno različite (LSD ≤ 0,05)

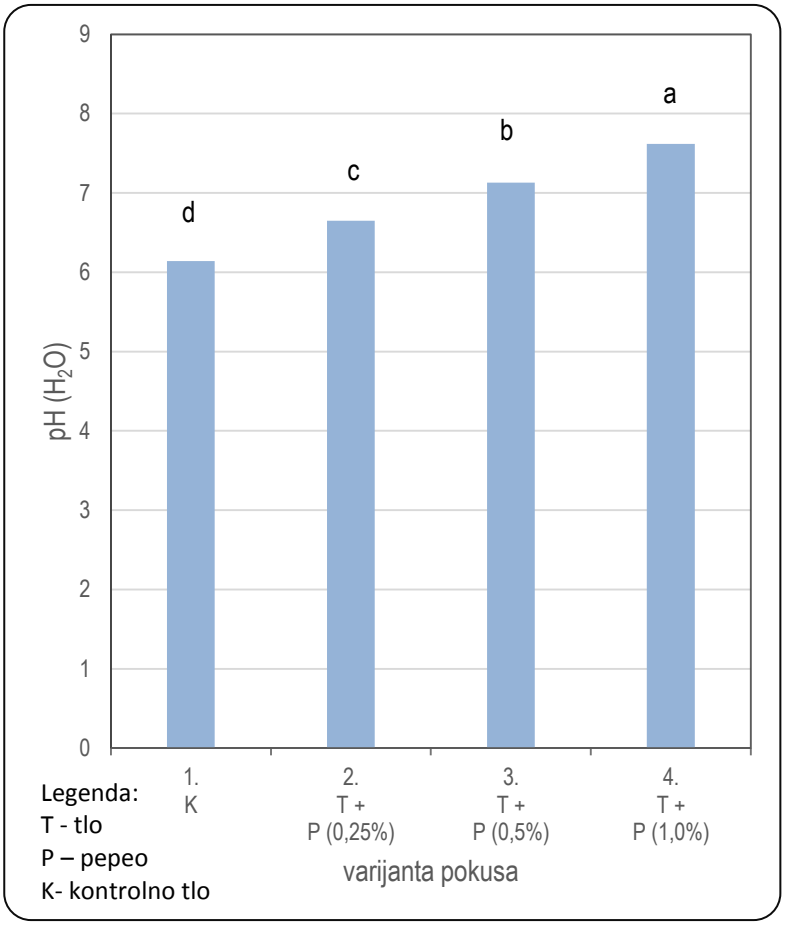
Varijanta	Tretmani	EC (25°C) dS/m	P_2O_5 mg/100g	K_2O mg/100g
1.	Kontrolno tlo	0,0438 c	30,32 b	18,49 d
2.	tlo + pepeo 0,25 %	0,0463 c	31,72 b	27,37 c
3.	tlo + pepeo 0,50 %	0,0686 b	36,74 a	35,91 b
4.	tlo + pepeo 1,00 %	0,1039 a	43,84 a	46,26 a

Kemijske značajke tla su promijenjene te je vidljivo da je varijanta tla s pepelom u udjelu od 1 % dala značajne razlike u rezultatima vezano za povećanje pH, nadalje više od 100 % se povećao sadržaj fiziološki aktivnog fosfora, a čak 400 % se povećao sadržaj fiziološki

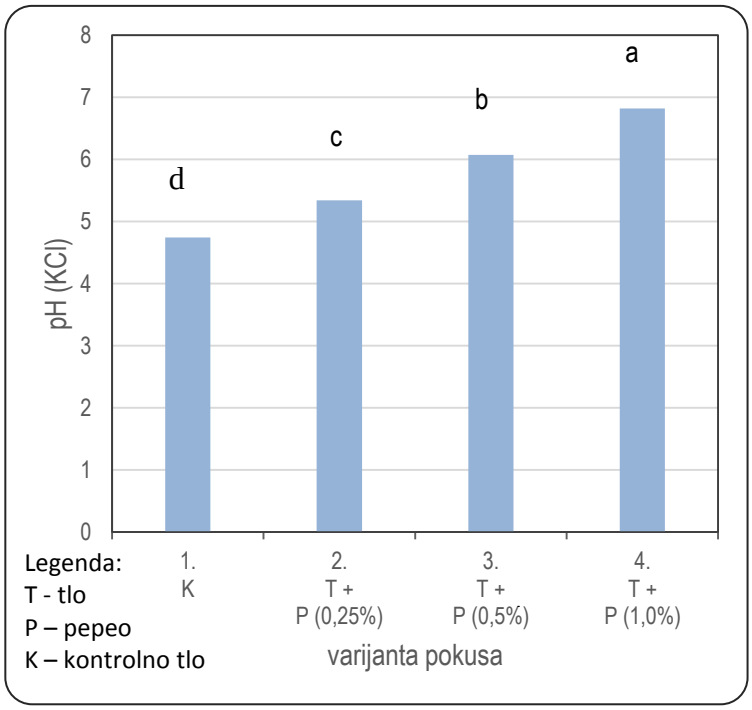
aktivnog kalija u odnosu na sastav tla prije izvođenja pokusa. Ukoliko usporedimo rezultate kemijske analiza tla kontrolne i 4. varijante, nakon pokusa sadržaj fiziološki aktivnog fosfora je veći 44,5 %, a fiziološki aktivnog kalija 150 % kod varijante 4.

U usporedbi s kontrolnom varijantom, sve varijante s pepelom imaju statistički značajno povećanu pH reakciju tla. Rezultati mjerenje pH nakon pokusa ukazuju na činjenicu da tretman pepelom djeluje na poboljšanje svojstava tla jer povećava vrijednost pH u svim varijantama tretmana pepelom. Najbolje rezultate za bilinogojstvo daje tlo u kojem je pH na razini od pH 6,0 do 7,8 za većinu usjeva (Vukadinović i Vukadinović, 2016). Za ispitivano tlo čak i najmanji udio pepela povećava vrijednost pH do optimalne za većinu biljaka. Veći udjel pepela od 0,50 % i 1,00 % je podigao vrijednost pH tla iznad 7. Najviša vrijednost pH (u H_2O) od 7,62 izmjerena je u varijanti 4., tlo s udjelom pepela 1,00 %.

ANOVA testom utvrđena je statistički značajna razlika (LSD≥0,05) između svih varijanti temeljem čega se može zaključiti da je svako korišteno povećanje udjela pepela značajno utjecalo na povećanje pH u tlu. Rezultati različitih varijanti tla i pepela u pokusu s vrijednostima pH dobivenim analizom prikazani su na Slici 15. za pH (u H_2O), a na Slici 16. za pH (u KCl).



Slika 15. Utjecaj pepela na pH (H_2O) tla
Prosječne vrijednosti unutar stupca sa istim slovima nisu statistički značajno različite (LSD ≤ 0,05)



Slika 16. Utjecaj pepela pH (KCl) tla
Prosječne vrijednosti unutar stupca sa istim slovima nisu statistički značajno različite (LSD ≤ 0,05)

4.2. Utjecaj pepela na vegetacijska svojstva i prinos test kulture rotkvice

Rast rotkvice praćen je mjerenjem visine biljke u 3 navrata tijekom razdoblja od 15 dana. Prvo mjerenje bilo je 2 tjedna nakon sijanja, drugo mjerenje 3 tjedna nakon sijanja, a treće i ujedno zadnje mjerenje 4 tjedna nakon sijanja odnosno 3 dana prije berbe. U Tablici 6. su prikazani prosječne vrijednosti i rezultati analize varijance broja biljaka, vegetacijskih mjerenja visine biljke i sadržaja klorofila u razvijenim listovima rotkvice. Najveći broj razvijenih biljaka je postignut s varijantom 2 (tlo s 0,25 % udjelom pepela) što iznosi prosječno 5,4 biljaka po teglici, iako nema statistički značajne razlike u broju biljaka između 4 varijante.

Interesantno je zaključiti iz dobivenih rezultata da je tijekom prvog mjerenja vidljiva bitne razlika u rastu biljke u tretmanu tla i pepela sa udjelom od 0,25 %, budući su biljke te varijante bile najviše i statistički značajno različite u odnosu na 1. i 4. varijantu. Taj trend je zadržan i kod drugog mjerenja, te je utvrđena statistički značajna razlika 2. varijante sa 1. i 4. varijantom. Zanimljivi obrat u visini biljke vidljiv je u 3. mjerenju kada su biljke 4. varijante sa udjelom pepela 1,00 % izmjerene prosječno najviše (17,1 cm). Statistički značajna razlika je utvrđena između te varijante i kontrole. S druge strane u 3. mjerenju nema statistički značaje razlike između 3 varijante tretmana tla s pepelom.

Tablica 6. Utjecaj primjene pepela na visine biljke rotkvice i koncentracije klorofila
Prosječne vrijednosti unutar stupca sa istim slovima nisu statistički značajno različite (LSD ≤ 0,05)

Varijanta	**Rotkvica**					
	Broj biljaka	Visina biljaka (cm)			Klorofil	
		1. mjerenje datum 11.05.2017.	2. mjerenje datum 19.05.2017.	3. mjerenje datum 26.05.2017.	1. mjerenje datum 19.05.2017.	2. mjerenje datum 26.05.2017.
1.	4,8 a	5,9bc	10,6 b	15,5 b	28,6 a	30,4 b
2.	5,4 a	6,4 a	13,2 a	15,7 ba	25,6 a	35,0 a
3.	5,1 a	6,1 ba	11,5 ba	16,9 ba	28,5 a	35,1 a
4.	5,0 a	5,6 c	10,8 b	17,1 a	25,7 a	36,6 a

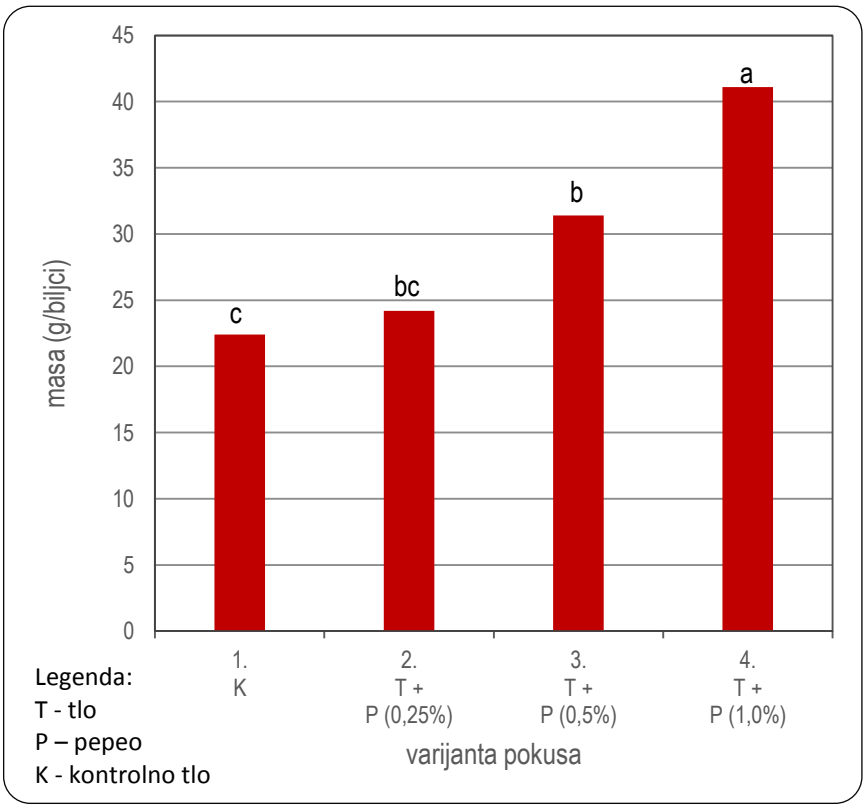
Prema rezultatima prvog mjerenja sadržaja klorofila, najveća koncentracija izmjerena je u kontrolnoj varijanti, međutim nije bilo statistički značajne razlike između 4 varijante. Tek pri drugom mjerenju, koncentracija klorofila u biljkama koje su rasle u tlu s tretmanom pepela je statistički značajno različita te ujedno i viša od kontrolne varijante. Međusobno, tretmani tla s pepelom nisu statistički značajno različiti po koncentraciji klorofila. Najveća koncentracija od 36,6 klorofila je pri drugom mjerenju izmjerena kod 4. varijante.

U tablici 7. prikazane su prosječne vrijednosti biomase ploda rotkvice u suhom stanju i sadržaj suhe tvari u postotku. Vidljivo je povećanje biomase usporedno s povećanjem udjela pepela. Najveće prosječne izmjerene vrijednosti biomase rotkvice postignute su kod varijante 4. tla s udjelom pepela od 1,00 %, dok je najviša vrijednost suhe tvari 7,97 % postignuta kod varijante 2. tla s udjelom pepela 0,25 %.

Tablica 6. Utjecaj primjene pepela na prosječne vrijednosti biomase i suhe tvari ploda rotkvice
(Podebljane predstavlja najviše izmjerene vrijednosti)

Varijanta	**Plod**	
	Biomasa -suho na 65°C [g]	Suha tvar [%]
1.	1,508	6,87
2.	1,838	**7,97**
3.	2,389	7,70
4.	**2,759**	7,44

Analiza varijance biomase ploda rotkvice u mokrom stanju prikazana je na Slici 17. Najveća prosječna masa je utvrđena kod biljaka koje su rasle u tlu s udjelom pepela 1,00 % (41,1 g) te je taj rezultat statistički značajno različit od drugih varijanti. Biljke koje su rasle u tlu s udjelom pepela 0,50 % ostvarile su prosječan prinos od 31,4 g koji je statistički značajno različit od kontrolne varijante, ali ne i od 2. varijante. Biljke koje su rasle u varijanti 2 s udjelom pepela od 0,25 % postigle su prosječan prinos od 24,189 g. Taj rezultat nije statistički značajno različit od kontrolne varijante. Navedeni rezultati dovode do zaključka da je u obavljenom istraživanju najveći prirast biomase ploda rotkvice dobiven kod najvećeg udjela pepela u tlu. Prosječna izmjerena biomasa ploda u varijanti 4. je bila 83 % veća od mase ploda biljke koja je rasla u kontrolnoj varijanti.



Slika 17. Utjecaj primjene pepela na prinos biomase ploda rotkvice po biljci (mokro)
Prosječne vrijednosti unutar stupca sa istim slovima nisu statistički značajno različite (LSD≤0,05)

U istraživanju sa rotkvicom, Loborec (2016) je uspoređujući 5 varijanti omjera stajskog i mineralnog gnojiva ostvarila mase ploda rotkvice od 19,9 do 21,7 g. U radu je utvrđeno da supstitucija mineralnih gnojiva organskim nema statistički značajan utjecaj na prirast ploda rotkvice. Takav rezultat približno odgovara rezultatima kontrolne varijante u ovom istraživanju gdje je prosječna masa ploda iznosila 22,4 g. U odnosu na istraživanje Laborec (2016), u ovome istraživanju prirast ploda rotkvice u tlu s udjelom pepela od 1,00 %

je bio čak 89 % viši, što opravdava mogućnost korištenja pepela iz biomase kao potencijalnog kondicionera tla i gnojiva.

Nadalje, u istraživanju Ondrašeka i sur. (2017) utvrđen je negativni utjecaj pepela sa udjelom od 2,5% na test kulturu kukuruz, dok statistički značajne razlike između kontrole i kombinacije tla i pepela s udjelom od 1,25 % nije bilo. Između svih varijanti utvrđena je statistički značajna razlika u pH reakciji tla; dodatkom pepela s udjelom od 1,25 % pH (u KCl) je povišen sa 4,99 na 7,52, dok je pri najvišoj koncentraciji s udjelom od 10,00 % utvrđen pH (u KCl) 8,92.

Tlo korišteno u istraživanju Ondrašeka i sur. (2017) imalo je približno sličan pH (u KCl) tla od 5,0 što je usporedivo s tlom korištenim u ovom istraživanju. Temeljem rezultata ova dva istraživanja vidljivo je da na tlima pH (u KCl) reakcije približno 5,0, pozitivni efekt na prinos kulture postiže se primjenom pepela s udjelom do 1,25 %, dok veće koncentracije postižu negativni efekt.

5. Zaključci

Istraživanje primjene pepela na kemijske promjene u tlu pokazalo je značajna poboljšanja u istraživanim kemijskim svojstvima tla i prinosu rotkvice uslijed primjene određenih doza pepela. Na temelju ostvarenih rezultata istraživanja utjecaja pepela iz biomase na kemijske promjene u tlu i prinos rotkvice mogu se donijeti slijedeći zaključci:

- Statistički značajna razlika u pH je utvrđena u sve tri varijante primjene pepela, pH je proporcionalno rastao s povećanjem udjela pepela.
- Na tlu pH reakcije 6,0, primjena pepela s udjelom od 0,50 % povećala je pH tla iznad 7,0.
- Primjenom pepela u količini od 0,25 % postigao se je najveći udio suhe tvari u plodu rotkvice.
- Rast rotkvice je bio statistički značajno veći pri primjeni pepela u udjelu od 1,00 %, ali nije utvrđena značajna razlika kod udjela pepela 0,25 % i 0,50 % u usporedbi s kontrolnom varijantom.
- Primjena pepela u varijantama s 0,50 % i 1,00 % statistički značajno je povećala prinos rotkvice.
- Najveći prinos mase ploda rotkvice postignut je s udjelom pepela od 1,00 % s povećanjem od 83 % u usporedbi s kontrolnom varijantom.
- Tretman tla s pepelom u udjelu 1,00 % dao je najbolje rezultate vezano za povećanje sadržaja fiziološki aktivnog fosfora i fiziološki aktivnog kalija u odnosu na sastav tla prije izvođenja pokusa i u odnosu na kontrolnu varijantu tla.

U poljskim uvjetima testirane varijante bi odgovarale primjeni pepela od 2,5 do 10 t/ha te bi u nastavku bilo zanimljivo provesti poljski pokus kako bi se potvrdili rezultati dobiveni u kontroliranim uvjetima. Zbog svojih alkalnih svojstava i relativno visokog sadržaja P, K, Ca, Na, pepeo ima veliki potencijal za primjenu u ekološkoj i konvencionalnoj poljoprivredi, pogotovo na kiselim tlima.

6. Popis literature

1. Bralić Z. i sur. (2017). Elaborat zaštite okoliša u postupku ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš povećanja vodozahvatnog kapaciteta društva Uni Viridas d.o.o. Viaplan d.o.o., Varaždin
2. Carević I., Banjad Pečur I. i sur. (2016). Potencijal biopepela i stanje u Republici Hrvatskoj, Zbornik radova s Konferencije Sabor hrvatskih graditelja , 17-18. listopad 2016, Cavtat.
3. Carević I., Stirmer N. i sur. (2017). Potencijal upotrebe pepela od drvne biomase u cementnim kompozitima, Proceedings of the 1st International Conference on Construction Materials for Sustainable Future. 19 - 21 April 2017, Zadar.
4. DIREKTIVA 2009/28/EZ EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 23. travnja 2009. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora te o izmjeni i kasnijem stavljanju izvan snage direktiva 2001/77/EZ i 2003/30/EZ, Službeni list Europske unije. < https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=celex%3A32009L0028>, pristupljeno: 30.03.2018.
5. DIREKTIVA VIJEĆA 2013/18/EU od 13. svibnja 2013. o prilagodbi Direktive 2009/28/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora zbog pristupanja Republike Hrvatske, Službeni list Europske unije, < https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=celex%3A32013L0018>, pristupljeno: 30.03.2018.
6. Europska komisija. (2017). Izvješće o napretku u području obnovljive energije. http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2017/HR/COM-2017-57-F1-HR-MAIN-PART-1.PDF, pristupljeno: 05.04.2018
7. HROTE, (2018). Nositelji projekata s kojima je HROTE sklopio ugovor o otkupu električne energije, a čija postrojenja još nisu puštena u pogon (stanje na dan 20.07.2018.). <http://files.hrote.hr/files/PDF/Sklopljeni%20ugovori/ARHIVA/Nositelji_projekata_HR_2018.pdf>, pristupljeno: 20.04.2018.
8. Labudović B. i sur. (2012). Osnove primjene biomase. EGE, Zagreb.
9. Lešić R. i sur. (2002). Povrćarstvo. Zrinski, Čakovec.
10. Loborec T. (2016). Utjecaj dehidriranih organskih gnojiva na količinu makroelemenata i morfološka svojstva rotkvice. Diplomski rad. Agronomski fakultet sveučilišta u Zagrebu.
11. Majdandžić LJ.(2008). Obnovljivi izvori energije. Graphis, Zagreb
12. Mijat V. (2014). Pepeo – izvor plodnosti tla, ali i zaštite. Agroklub. <https://www.agroklub.com/povrcarstvo/pepeo-izvor-plodnosti-tla-ali-i-zastite/12548/ >, pristupljeno: 20.03.2018.
13. Ministarstvo gospodarstva (2013). Nacionalni akcijski plan za obnovljive izvore energije do 2020. godine. <https://www.mingo.hr/userdocsimages/energetika/NAP_OIE.pdf>, pristupljeno: 28.03.2018.
14. Ministarstvo zaštite okoliša i energetike (2018). Registar obnovljivih izvora energije i kogeneracije te povlaštenih proizvođača. <https://oie-aplikacije.mzoe.hr/Pregledi/>, pristupljeno: 22.03.2018.

15. Ondrašek G., Zovko M. i sur. (2017). Mogućnost primjene pepela iz biomase na kiselim i hranivima osiromašenim poljoprivrednim tlima, 7th International Scientific and Professional Conference Water for all. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek.
16. Papnews (2016). Valmet's first full scope operation and maintenance agreement at Uni Viridas. <https://www.papnews.com/valmets-agreement-uni-viridas/>, pristupljeno: 10.05.2018.
17. Pernar N., Bakšić D. i Perković I. (2013). Terenska i laboratorijska istraživanja tla. Denona d.o.o., Zagreb.
18. Pravilnik o evidenciji uporabe poljoprivrednog zemljišta, (NN 17/2018). <https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_02_17_357.html>, pristupljeno: 18.03.2018.
19. SAS Institute Inc, 2011. SAS/STAT User's guide, version 9.3.
20. Strategija energetskog razvoja RH, (NN 130/2009). <https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2009_10_130_3192.html>, pristupljeno: 22.03.2018.
21. Švedek I. i sur. (2017). Izvješće o inventaru stakleničkih plinova na području republike hrvatske za razdoblje 1990. – 2015. (NIR 2017). Ekonerg, Zagreb. <http://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/012_klima/dostava_podataka/Izvjesca/HRV_NIR_2017.pdf>, pristupljeno: 22.03.2018.
22. Trumbić I. i sur. (2017). Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta strategije prilagodbe klimatskim promjenama (Zelena knjiga). Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Zagreb. <http://prilagodba-klimi.hr/wp-content/uploads/2017/11/ZELENA-KNJIGA.pdf> , pristupljeno: 18.03.2018.
23. Udovičić B. (2009). Čovjek i okoliš, Kigen Zagreb.
24. Vuk B. i sur. (2016). Energija u Hrvatskoj. EIHP, Zagreb
25. Vukadinović V. (2012). Određivanje sadržaja humusa u tlu. <http://pedologija.com.hr/literatura/Pedologija/vjezbe/Humus.pdf>, pristupljeno: 20.03.2018.
26. Vukadinović V., Vukadinović V. (2011). Ishrana bilja. Zebra, Vinkovci. <http://tlo-i-biljka.eu/gnojidba/Ishrana_bilja_2011.pdf>, pristupljeno: 09.05.2018.
27. Vukadinović V., Vukadinović V. (2016). Tlo, gnojidba i prinos. Osijek. <http://ishranabilja.com.hr/literatura/eKnjiga_Tlo-gnojidba-prinos.pdf>, pristupljeno: 10.05.2018.
28. Zakon o drvenastim kulturama kratkih ophodnji, (NN 15/2018). <https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_02_15_313.html>, pristupljeno: 18.03.2018.
29. Znaor D. (1996). Ekološka poljoprivreda. Nakladni zavod Globus, Zagreb
30. Znaor D. (2014). Zameci promjene: održiva poljoprivreda kao put prosperiteta za Zapadni Balkan. Heinrich Böll Stiftung, Zagreb. <https://ba.boell.org/sites/default/files/zameci-promjene.pdf>, pristupljeno: 26.03.2018.

7. Prilog

7.1. Kategorije pH-vrijednosti tla u H_2O (Vukadinović, 2011).

Kategorija pH-reakcije tla	pH-vrijednost
Ekstremno kiselo	3,50-4,50
Vrlo jako kiselo	4,51-5,00
Jako kiselo	5,01-5,50
Umjereno kiselo	5,51-6,00
Slabo kiselo	6,01-6,50
Neutralno	6,51-7,30
Slabo alkalno	7,31-7,80
Jako alkalno	7,81-8,50
Ekstremno alkalno	8,51-9,00

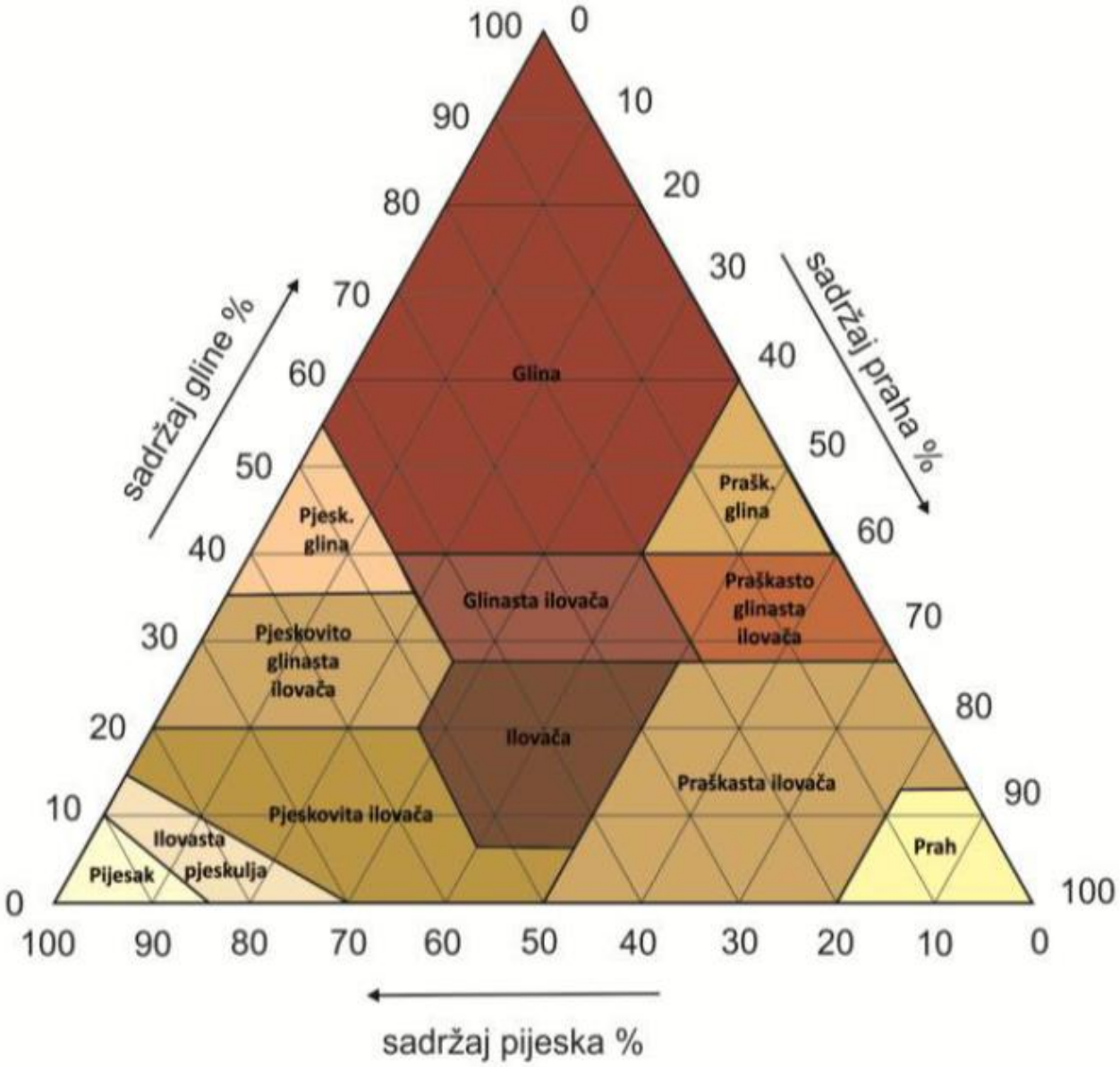
7.2. Granične vrijednosti AL-P_2O_5 i AL-K_2O za ratarske usjeve na području istočne Hrvatske (Vukadinović, 2011.)

Razred raspoloživosti	*AL-P_2O_5 mg 100 g^{-1}*		*AL-K_2O mg 100 g^{-1} tla*		
	pH < 6	*pH > 6*	*lako*	*srednje*	*teško*
(A) jako siromašno	*< 5*	*< 8*	*< 8*	*< 12*	*< 15*
(B) siromašno	*5 - 12*	*8 - 16*	*9 - 15*	*13 - 19*	*16 - 24*
(C) dobro	*13 - 20*	*17 - 25*	*16 - 25*	*20 - 30*	*25 - 35*
(D) visoko	*21 - 30*	*26 - 45*	*26 - 35*	*30 - 45*	*36 - 60*
(E) ekstremno visoko	*> 30*	*> 45*	*> 35*	*> 45*	*> 60*

7.3. Ocjena humoznosti tla po Gračaninu (Vukadinović, 2012.)

Humus, %	Ocjena humoznosti
< 1	Vrlo slabo humozno
1-3	Slabo humozno
3-5	Dosta humozno
5-10	Jako humozno
> 10	Vrlo jako humozno

7.4. **Teksturni trokut prema FAO 2006 (Pernar, 2013.)**



Životopis

Luka Vujec rođen je u Zagrebu 13. svibnja 1993. godine. Tijekom osnovnog i srednjoškolskog obrazovanja pohađao je nekoliko internacionalnih škola: American School of Milan u Milanu, zatim Matija Gubec International School u Zagrebu, Luanda International School u Luandi a završio je srednjoškolsko obrazovanje i maturirao 2011. godine u Zagrebu u American International School of Zagreb. Iste godine upisao je na Agronomskom fakultetu u Zagrebu smjer Poljoprivredna tehnika i obranio završni rad 2014. godine. Nakon toga upisuje smjer Ekološka poljoprivreda i agroturizam.

Aktivno se služi engleskim jezikom, a govori španjolski, talijanski i portugalski.
Svira gitaru i u slobodno vrijeme se bavi jahanjem.