

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Matej Januš

Preddiplomski sveučilišni studij

Smjer Agroekonomika

**MOGUĆNOST PRIMJENE BIOUGLJENA U EKOLOŠKOJ
POLJOPRIVREDNOJ PROIZVODNJI**

Završni rad

Osijek, 2023.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Matej Januš

Preddiplomski sveučilišni studij

Smjer Agroekonomika

**MOGUĆNOST PRIMJENE BIOUGLJENA U EKOLOŠKOJ
POLJOPRIVREDNOJ PROIZVODNJI**

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu završnog rada:

1. Prof. dr.sc. Boris Đurđević, mentor
2. Prof. dr. sc. Danijel Jug, član
3. Izv. prof. dr. sc. Bojana Brozović, član

Osijek, 2023.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda, smjer Agroekonomika
Matej Januš

Završni rad

Mogućnosti primjene biougljena u ekološkoj poljoprivrednoj proizvodnji

Sažetak:

Biougljen je čvrsta tvar koja se dobiva zagrijavanjem organskih materijala u odsutnošću ili s malom koncentracijom kisika procesom koji se zove piroliza. U svome sastavu sadrži veliku količinu ugljika koja može varirati o sirovini od koje je dobiven biougljen. Inkorporacijom biougljena u tlo povećavamo pH tla, smanjujemo nagle promjene u rastu i padu pH, povećavamo KIK i sadržaj organske tvari u tlu, te pružamo stanište raznim mikroorganizmima. Zahvaljujući svojoj poroznosti biougljen poboljšava teksturu tla, pomaže u zadržavanju vode i hranjiva i poboljšava aeraciju tla. Uz sve navedeno i još njegova jeftina i jednostavna proizvodnja koja se može odvijati na vlastitom gospodarstvu ga čini idealni dodatkom u gnojidbi u ekološkoj poljoprivrednoj proizvodnji. Potrebna su još dodatna istraživanja oko pravilnog načina primjene biougljena kako bi se mogla izvući što veća njegova korist u ekološkoj poljoprivrednoj proizvodnji.

Ključne riječi: biougljen, ekološka poljoprivredna proizvodnja, fizikalna svojstva, kemijska svojstva, biološka svojstva, ekonomska isplativost.

25 stranica, 14 slika, 29 literaturnih navoda

Završni rad je pohranjen: u Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek
Undergraduate University Study Agriculture, course Agroecconomics

BSc Thesis

Possibilities of using biochar in ecological agricultural production

Summary:

Biochar is a solid substance obtained by heating organic materials in the absence of oxygen with a low concentration of oxygen through a process called pyrolysis. It contains a large amount of carbon in its composition, which can vary depending on the raw material from which the biochar was obtained. By incorporating biochar into the soil, we increase the pH of the soil, reduce sudden changes in the growth and decline of pH, increase the KIK and the content of organic matter in the soil, and provide a habitat for various microorganisms. Thanks to its porosity, biochar improves soil texture, helps retain water and nourishes and improves soil aeration. In addition to all the above, its cheap and simple production that can be carried out on one's own farm makes it an ideal addition to fertilization in ecological agricultural production. Additional research is needed on the correct way of applying biochar to be able to extract the greatest benefit from it in ecological agricultural production.

Keywords: biochar, ecological agricultural production, physical properties, chemical properties, biological properties, economic profitability.

25 pages, 14 figures, 29 references

BSc Thesis is archived in Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Sadržaj:

1. UVOD	1
2. DEFINICIJA BIOUGLJENA	2
3. PRIMJENA BIOUGLJENA KROZ POVIJEST	3
4. ZNAČAJ BIOUGLJENA U EKOLOŠKOJ POLJOPRIVREDI	5
4.1. Općenito o biougljenu	5
4.2. Utjecaj biougljena na kvalitetu tla	7
4.3. Utjecaj biougljena na fizikalna svojstva tla	8
4.4. Utjecaj biougljena na kemijska svojstva tla	9
4.4.1. Utjecaj biougljena na reakciju tla	9
4.4.2. Utjecaj biougljena na KIK (Kationski izmjenjivački kapacitet)	10
4.4.3. Utjecaj biougljena na organsku tvar u tlu	11
4.5. Utjecaj biougljena na biološka svojstva tla	12
5. APLIKACIJA I INKORPORACIJA BIOUGLJENA U TLO	15
6. PROIZVODNJA BIOUGLJENA	17
7. EKONOMSKA ISPLATIVOST UPOTREBE BIOUGLJENA	20
8. ZAKLJUČAK	22
9. POPIS LITERATURE	23

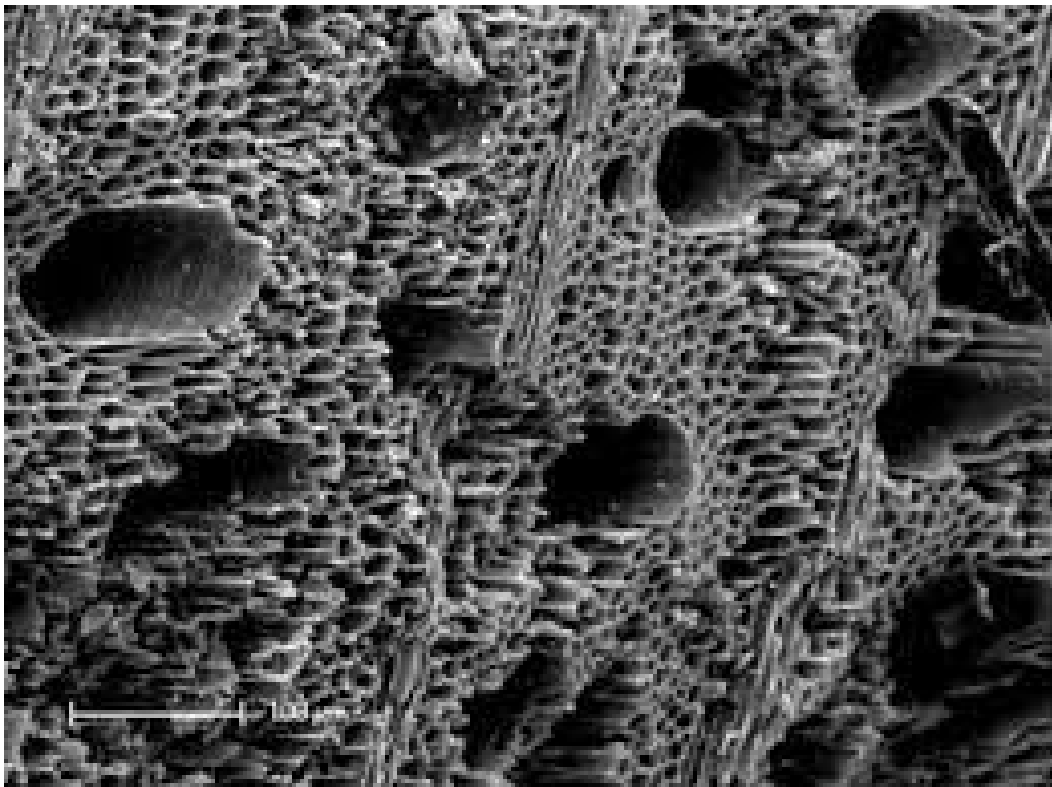
1. UVOD

Suvremena poljoprivreda susreće se sa mnogim izazovima, neki njih su degradacija tala, više cijene mineralnih gnojiva i sjemenskog materijala kao i energenata neophodnih za obavljanje poljoprivrednih zahvata. Uz sve navedeno također, očekuje se dodatno smanjenje uporabe mineralni gnojiva za sedam posto zbog njihove visoke kupovne cijene što može značajno utjecati na prinos usjeva u budućnosti. Kod porasta cijena gnojiva najviše je porasla cijena Uree koja se u rujnu 2022. godine prodavala za 1.025 eura po toni što je za 130 eura više nego u kolovozu iste te godine. Kalcijev amonijev nitrat ili KAN u rujnu je koštao malo više od 880 eura što je za 100 eura viša cijena nego što je bila u kolovozu te godine (Agroklub, 2022.). Kao rješenje problema sve skuplje intenzivne gnojidbe i poljoprivrede predlaže se prijelaz na ekološko poljoprivrednu proizvodnju te uporabu EKO gnojiva. Stajski gnoj, gnojnica, gnojovka, te kompost od biljnih otpadaka, zajedno sa prirodno–organskim dodatcima, čine osnovu gnojidbe u ekološkoj poljoprivrednoj proizvodnji. Kod takve proizvodnje sva organska gnojiva moraju potjecati sa vlastitog gospodarstva, a u slučaju nedostatka takvih gnojiva dopuštena je primjena gnojiva s drugih gospodarstava, ali uz dopuštenje nadzorne stanice (Agroportal.hr, 2023.). Ponekad ta gnojiva sama po sebi ne budu dovoljna da bi smo postigli željene prinose stoga postoje proizvodi koje se koriste kao dodatci u EKO gnojidbi. Jedan od proizvoda koji je zaintrigirao znanstvenu i stručnu zajednicu je biougljen. Biougljen je vrsta ugljena koja je dobiva zagrijavanjem organskih materijala u odsutnošću ili s malom koncentracijom kisika procesom koji se zove piroliza. Biougljen se predstavlja kao potencijalno rješenje za mnoge ekološke, ali i ekonomske izazove s kojima se susreće današnja poljoprivredna proizvodnja. Ekološka poljoprivredna proizvodnja odnosi se na oblik poljoprivredne proizvodnje koji stavlja kao prioritete ljudsko zdravlje i očuvanje ekosustava. Imajući to na umu, primjena biougljena u ekološko poljoprivrednoj proizvodnji postaje logična, jer je jedna od glavnih prednosti korištenja biougljena njegova sposobnost poboljšanja plodnosti tla, ali i njegova relativno jeftina cijena potrebna za proizvodnju. Razlog poboljšanju plodnost tla kod primjene biougljena može se pronaći u njegovoj strukturi. Radi svoje poroznosti izvrsno pomaže tlu u zadržavanju vode i hraniva gdje su sušni uvjeti, povećava aeraciju tla, te pruža stanište za korisne mikroorganizme, poput bakterija i gljiva (Vukadinović, 2019. i Đurđević i sur., 2017.). Ono što možda najviše definira biougljen kao čuvar našeg cijelog ekosustava je njegova sposobnost vezanja ugljika. Biougljen je stabilna forma ugljika koja može ostati u tlu tisućama godina. Vezanjem ugljika u tlu (sekvencijacija) biougljen pomaže u ublažavanju

klimatskih promjena tako što smanjuje količinu ugljičnog dioksida u atmosferi, što je i sama bit ekološke poljoprivredne proizvodnje (Ok i sur., 2016). Cilj ovoga rada je dokazati da se putem ekološke poljoprivredne proizvodnje biougljen može koristiti kao dodatak i poboljšivač u gnojidbi sa gnojivima koja neće imati negativan utjecaj na naš eko sustav, a time su i dozvoljena u ekološko poljoprivrednoj proizvodnji. Cilj ovoga rada je potvrditi hipotezu kako uporaba biougljena u ekološkoj poljoprivrednoj proizvodnji ima budućnost, kao i ekonomske i ekološke benefite.

2. DEFINICIJA BIOUGLJENA

Biougljen može najkraće definirati kao gorivo sastavljeno od elementarnog ugljika s vodikom koje nastaje tijekom pirolize organske tvari (Struna). Dok Shackley i sur. 2012. biougljen definiraju kao porozni materijal koji je bogat ugljikom i energijom koji je proizveden sporom pirolizom biomase, te je kao takav predložen kao način dugoročnog pohranjivanja ugljika u tlo (Slika 1).

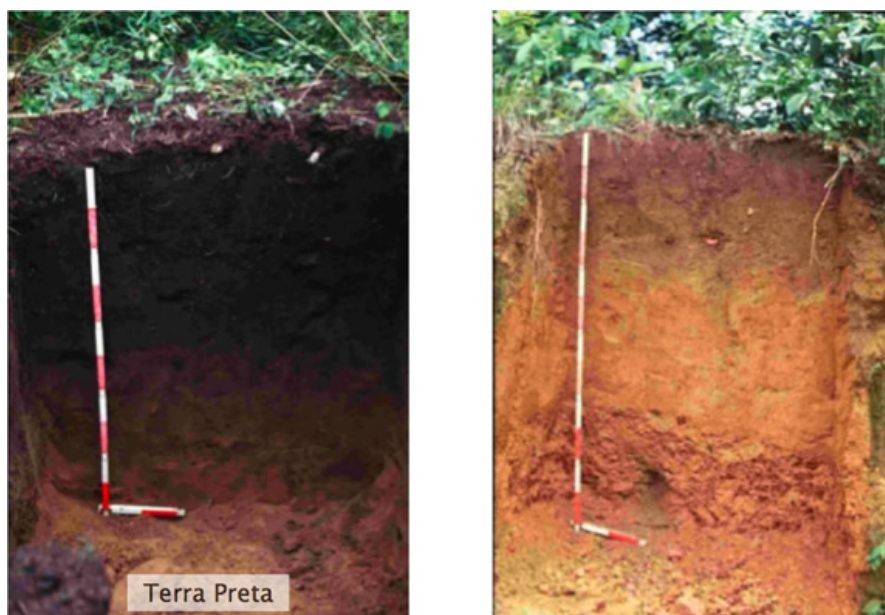


Slika 1. Mikroskopski prikaz poroznost biougljena

(Izvor: Smolčić, 2021.).

3. PRIMJENA BIOUGLJENA KROZ POVIJEST

Primjena biougljena seže u daleku prošlost, toliko daleko da kada govorimo o počecima primjene biougljena moramo se vratiti skroz u doba dok su još Indijanci živjeli u svojim velikim gradovima na području sadašnje Amazonske prašume. Kako bi uspješno prehranili stanovništvo svojih velikih gradova u neplodnome dijelu Amazone, Indijanci su paljenjem drvnih materijala koje su poslije vraćali u tlo su stvorili plodno tlo koju je pustolov Herbert Smith nazvao "terra preta" što u prijevodu znači "crna zemlja" (Slika 2). Znanstvenici raznih profila (agronomi, arheolozi, antropolozi, botaničari) pohrli su istraživati "terra pretu" te su došli do zajedničkog zaključka da "crna zemlja" doista potječe od domorodaca tj. Indijanaca koji su nekoć naseljavali područje Amazonske prašume. Koliko je to područje bilo plodno i pogodno za poljoprivredu govore same riječi Španjolskog istraživača Francisca de Orellana, koji je za vrijeme svoga putovanja kroz Južnu Ameriku 1542. godine rekao "...ovdje se mogu vidjeti veliki gradovi koji se sjaje bijelom bojom, tu su mnoge ceste i osim toga, zemlja je plodna bas kao naša Španjolska." (Lehmann, 2006.). Na nalazištima koja su bila većinom nepravilnog kružnog oblika različitih dimenzija pronađeni su ostaci pougljenih otpadnih organskih tvari raznog podrijetla, a neka nalazišta su stara i više od 7000 godina (Slika 3).



Slika 2. Usporedni prikaz profila tala: "Terra Preta" ili "crna zemlja" lijevo i desno tlo koje nije bilo tretirano biougljenom

(Izvor: Glaser i sur. 2001.).

Dodatnom analizom utvrđeno je da neke lokacije sadrže tri puta više raspoloživog fosfora i dušika od okolnog nativnog tla (Đurđević i sur., 2017.). Tadašnja se proizvodnja biougljena kojom su se koristili Indijanci Amazonske prašume uvelike razlikovala od one koju mi danas primjenjujemo, ali je sami princip ostao isti. Domoroci su sve dostupne organske tvari koje su mogli naći u svojoj neposrednoj blizini koristili za dobivanje biougljena. Neke od tih organskih tvari kao što su grane, grančice, listovi, stajski gnoj i slično stavljali su u tlu iskopane jame, prekrivali zemljom te palili kako bi stvorili uvjete postupnog izgaranja sa malo kisika (Vujanić, 2019.).



Slika 3. Tipično nalazište tla terra preta uz rijeku Amazonu

(Izvor: Glaser, 2007.).

Zanimljivo je i to da danas na područjima gdje možemo naći terra pretu ili "crnu zemlju", možemo i naći lokalno stanovništvo tih područja kako se bave unosnim poslovima iskopavanja i prodaje terra prete (Slika 4). Danas se terra preta koristi kao plodno tlo za uzgoj bilja odnosno, prodaje se u lokalnim vrtnim trgovinama kao gnojivo (Antal i Gronli, 2003.).



Slika 4. Prodaja terra prete u Brazilu

(Izvor: Vujanić, 2019.).

4. ZNAČAJ BIOUGLJENA U EKOLOŠKOJ POLJOPRIVREDI

4.1. Općenito o biougljenu

Biougljen je proizvod od organskih materijala koji su bili podvrgnuti toplinskoj obradi pod ograničenim dovodom kisika, obično pri temperaturi ispod 700°C (Lehmann i Joseph, 2015.). To je stabilna, teško razloživa kruta tvar bogata ugljikom (Agroklub, 2017.). Obavezno bi se trebao proizvoditi od otpadne bio-mase i biorazgradivog komunalnog otpada putem pirolize, te se, osim u poljoprivredne svrhe, može koristiti i kao izvor energije (biogorivo) (Slika 5). Piroliza ili plinifikacija je kemijska razgradnja organske tvari visokom temperaturom, bez prisutnosti kisika i vode (Vukadinović, 2019.). Biougljen nije u potpunosti jasno odvojen od običnog drvenog ugljena koji se obično proizvodi u sličnim uvjetima kao i biougljen, na nešto višoj temperaturi i s ne tako strogim ograničenjima kisika tijekom procesa piroliza (Antal i Gronli, 2003.). Razina organskog ugljika u biougljenu je u pravilu veća nego u običnom drvenom ugljenu (Lehmann i Joseph, 2015.). Kalorična moć biougljena je vrlo varijabilna, ovisno iz kakvog biootpada je proizveden, a u prosjeku iznosi oko 4000 kcal kg⁻¹ uz prosječno 6% pepela (Vukadinović, 2019.), a primjenjivost je mu je vrlo široka od poljoprivrede do znanosti i prehrane (Agroklub, 2017.).



Slika 5. Prikaz svojstava i izgleda biougljena kroz različite biomase korištene za njegovo dobivanje

(Izvor: Vukadinović, 2017. i Đurđević i sur., 2017.).

Proizvodnjom biougljena iz organskog otpada dobiva se tvar fino zrnate strukture iznimne poroznosti što povećava plodnost, posebice kiselih tala, tako što na sebe veže kisele katione, a uz to i neophodne hranjive elemente iz tla (Vukadinović, 2019.). Aplikacijom biougljena u tlo su primijećene njegove prednosti za smanjenje ili ograničavanje erozije tla i poboljšanje obnove tla (Lal, 2009.). Dodavanjem biougljena u tlo dobit ćemo pozitivan utjecaj na fizikalna svojstva tla, uključujući i na površinu, poroznost i nasipnu gustoću, također i na reakciju tla na zadržavanje vode (Downie i sur., 2009.). Da su benefiti primjene biougljena mnogi govori nam i činjenica da primjena biougljena potpomaže i boljem zagrijavanju tla zbog njegove tamne boje, koja je također uočljiva na samim tlima na kojima se primjenjivao biougljen (Slika 2). Proizvodnjom i korištenjem biougljena u poljoprivredi pozitivno utječemo i na okoliš tako što povećavamo kvalitetu tla, pročišćujemo podzemnu vodu, ali i proizvodnjom biougljena efikasno smanjujemo količinu ugljičnog dioksida u atmosferi (Vukadinović, 2019.) (Slika 6).



Slika 6. Prikaz usjeva na Terra Preti (lijevo) i usjeva na tlu koje nije Terra Preta (desno)
(Izvor: Soil Biogeochemistry Program).

4.2. Utjecaj biougljena na kvalitetu tla

U današnje vrijeme susrećemo se sa raznim izazovima oko problema kako i na koji način sačuvati plodno tlo za buduće generacije. Trenutni oblik poljoprivredne proizvodnje se pokazao ne održivim. Velike količine mineralnih gnojiva, pesticida i drugih kemikalija koje se redovito i u velikoj količini koriste u suvremenoj poljoprivredi su se pokazale pogubne za tlo. Najveći problem je gubitak hranjivih tvari iz tla. Zadržavanje hranjivih tvari u tlu izuzetno je važno u onim područjima gdje veliki gubici hranjivih tvari ograničavaju produktivnost tla. Takvi su slučajevi najčešći na „lakim“ tlima u vlažnim tropskim područjima ili gdje gubici hranjiva imaju učinke kao što je agrokemijska kontaminacija tla i površinskih voda. Biougljenov složen i heterogeni kemijski sastav pruža izvrsnu platformu pri uklanjanju agrokemijskih kontaminacija tla (Ok i sur., 2016.). Kod izuzetno nepovoljnih uvjeta tla, produktivnost usjeva može se povećati za nekoliko puta uz relativno jednostavnu primjenu biougljena. Primjenom biougljena na kiselim tlima, kiselina tla možemo poboljšati tako što ćemo povećati pH tla, tamo gdje bi nam uobičajena primjena vapna bila pretjerano skupa (Lehmann, 2006.). Biougljen će uz povećanje pH na kiselim tlima automatski poboljšati i učinkovitost gnojiva. Primjena biougljena će imati značajne i dugotrajne pozitivne učinke na plodnost tla, a posebno u područjima gdje je relativno niska organska tvar tla i gdje su kiselina tla. Takva tla uglavnom nalazimo u tropskim krajevima, a samom primjenom biougljena kao kondicionera tla u tim krajevima, značajno se poboljšavaju indikatori kvalitete odnosno fizikalna, kemijska i biološka svojstva tla (Lehmann, 2006.). U praksi je uporaba biougljena dvojaka. Biougljen se koristi kao kondicioner tla i kao sredstvo za ublažavanje klimatski promjena (Đurđević i sur., 2017.). Pored svega ovoga navedenog,

biougljen ima još jednu značajnu prednost, a to je da se njegovom samom primjenom u tlu se vrši sekvestracija ugljika, jer je biougljen vrlo otporan na mikrobiološku razgradnju i mineralizaciju te se u tlu može zadržati i više od 1000 godina (Đurđević i sur., 2017.).

4.3. Utjecaj biougljena na fizikalna svojstva tla

Biougljen je poznat po svojoj sposobnosti poboljšanja zdravlja i plodnosti tla te je u posljednjih nekoliko godina postao jedan od najcjenjenijih kondicioner tlu u ekološkoj poljoprivrednoj proizvodnji. Jedna od ključnih prednosti biougljena je njegova sposobnost poboljšanja fizikalnih svojstava tla. Biougljen može značajno utjecati na fizikalna svojstva tla, uključujući njegovu teksturu, kapacitet zadržavanja vode i aeraciju. Ova poboljšanja proizlaze iz jedinstvene strukture biougljena, koja se sastoji od porozne mreže ugljika koja može apsorbirati i zadržati vodu i hranjive tvari (Lehmann i Joseph, 2015.). Jedan od najznačajnijih utjecaja biougljena na fizikalna svojstva tla je njegova sposobnost poboljšavanja strukture tla. Struktura tla odnosi se na način na koji su čestice tla raspoređene i razmaci između njih. Kada je struktura tla loša, tlo se može toliko zbiti da postane korijenu biljke preteško probijati se kroz tlo što automatski dovodi do smanjenog rasta i produktivnosti biljke. Probleme zbijenih tala možemo lako uočiti na našim poljima ukoliko li se nakon padalina voda zadržava na površini tla i ne prolazi u dublje slojeve (Slika 7).



Slika 7. Prikaz zbijenoga tla

(Izvor: Agroportal.hr, 2018.).

Studije su pokazale da dodavanje biougljena u tlo može poboljšati strukturu tla povećanjem broja pora i poboljšanjem njihove povezanosti. To rezultira poboljšanom infiltracijom i boljim odvodom vode kroz tlo, što može uvelike pomoći u sprečavanju erozije tla i zaštiti od ispiranja hranjivih tvari iz tla (Lehmann i Joseph, 2015.). Biougljen također može poboljšati kapacitet zadržavanja vode u tlu, što je važno za rast i opstanak biljaka. Budući da je biougljen vrlo porozan, može apsorbirati i zadržati vodu, čineći je dostupnom korijenu biljaka. To može biti posebno korisno u aridnim područjima i polu aridnim područjima, gdje je voda često ograničena (Jeffery i sur. 2011.). Osim poboljšanja strukture tla i zadržavanja vode, biougljen može poboljšati aeraciju tla. Aeracija tla odnosi se na kretanje zraka kroz pore tla, što je važno za održavanje zdravih mikroorganizama tla i poticanje rasta korijena, a zbog same poroznosti biougljena aeracija tla je izrazito učinkovita na mjestima gdje se primjenjuje biougljen (Jeffery i sur. 2011.).

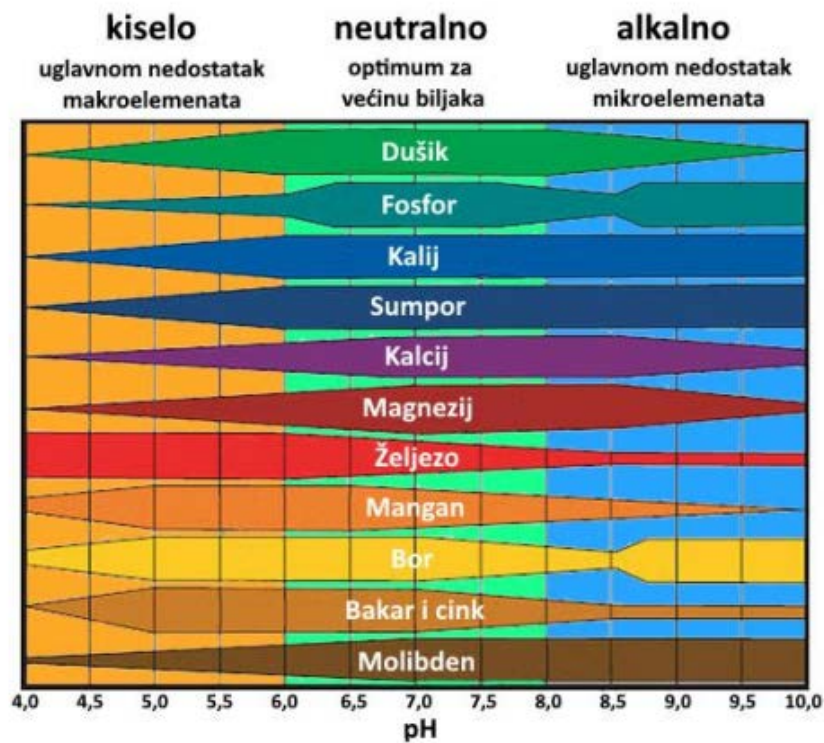
4.4. Utjecaj biougljena na kemijska svojstva tla

Kao što je već prije spomenuto biougljen je vrlo porozan i mrvičaste strukture što iznimno pozitivno utječe na povećanje plodnosti tala, što je jako dobro uočljivo na kiselim tlima i tlima koja imaju problema sa akumulacijom vode kao i aeracijom. (Đurđević i sur., 2017.).

4.4.1. Utjecaj biougljena na reakciju tla

Reakcija tla se mjeri i iskazuje kao pH vrijednost koja je pokazatelj niza važnih agrokemijskih svojstva tla, koja mogu biti fizikalna, kemijska ili biološka svojstva, te su važna za rast i razvoj biljke i visinu prinosa (Vukadinović, 2016.). Trenutno jedan od velikih problema nam predstavljaju kisela tla, tj. tla čija je pH vrijednost ispod granice neutralnosti tla koja iznosi 6,5. Sami proces zakiseljavanja tla je izrazito štetan te je uz eroziju jedan od najvećih uzročnika degradacije tla npr. zbijanje tla, teža obrada, ispiranje hranjiva itd. Kod kiselih tala zbog niskog pH tla može doći do smanjenja mogućnosti biljaka da usvajaju elemente biljne ishrane iz tla (Slika 8). Kako bi neutralizirali kiselu reakciju tla najčešće se primjenjuje mjera kalciziranja površina, ali također u novije vrijeme moguće ju je kombinirati s biougljenom. Biougljen je pokazao pozitivne rezultate na pH vrijednost tla, posebno na tlima koja su prirodno kisela (Đurđević i sur., 2017.). Njegovom primjenom u tlo, biougljen može pomoći u neutralizaciji kiselosti tla i stvaranju povoljnog okruženja za rast biljke. Prije same primjene biougljena moramo znati od točno kojeg materijala je napravljen biougljen koji namjeravamo inkorporirati u tlo jer određeni materijali više ili manje mogu utjecati na neutralizaciju kiselih tala. U istraživanju koje su proveli Streuble i

sur., (2011.) došli su do spoznaje kako biougljen dobiven iz travnatih ostataka ima veću pH vrijednost (9,4), nego što je to slučaj kod biougljena dobivenog iz drvnih ostataka (7,4). Biougljen na dva načina utječe na pH tla, prvo ga snizi tako što se njegovom razgradnjom u tlo oslobađa određena količina CO₂, organske kiseline i manja količina amonijaka. Drugi način je da se poveća pH vrijednost tla, a to je uvjetovano mikroorganizmima tla i to o bakterijskoj hidrolizi organskog dušika pri čemu se u potpunosti oslobađa amonijačni dušik (Đurđević i sur., 2017.). Inkorporacijom biougljena u tlo ne samo da ćemo povećati pH već ćemo smanjiti i nagle poraste i smanjenja u pH vrijednosti tla (Đurđević i sur., 2017. To može biti posebno korisno za usjeve koji zahtijevaju višu pH vrijednost tla, kao što su leguminoze.



Slika 8. Utjecaj pH reakcije tla na usvajanje biljnih elemenata ishrane
(Izvor: Vukadinović 2016.).

4.4.2. Utjecaj biougljena na KIK (Kationski izmjenjivački kapacitet)

KIK (Kationski izmjenjivački kapacitet) mjeri sposobnost tla za zadržavanje i otpuštanje hranjivih tvari. Što je veći sadržaj gline i humusa u tlu, to je veći KIK i tlo može pohraniti više hranjivih tvari (Baumit agrar). KIK i specifična površina indirektno mjere kapacitet tla za zadržavanje vode, hranjivih tvari i toksične tvari (Laird i sur., 2010.). Kationski izmjenjivački kapacitet (KIK) je u suštini mjera sposobnosti tla da zadržava i izmjenjuje

pozitivno nabijene ione kao što su kalcij, magnezij i kalij, koji su sami po sebi neophodni hranjivi sastojci biljaka (Baumit agrar). Kationsko izmjenjivački kapacitet određuje se količinom i vrstom minerala gline i organske tvari u tlu, a organska tvar je primarni izvor KIK-a u tlu (Laird i sur., 2010). Provedena istraživanja su pokazala kako se dodavanjem biougljena može značajno povećati KIK. Istraživanje koje su proveli Lehmann i sur. (2011.) pokazalo je da se dodavanjem biougljena u tlo, KIK može povećati do 45%, a drugo istraživanje koje je provedeno od strane Major i sur. (2010.) dokazalo je da se primjenom biougljena na pjeskovitim tlima KIK povećava za nevjerojatnih 60%. Sama učinkovitost biougljena u povećanju KIK-a može ovisiti o velikome broju čimbenika, kao npr. vrsta i količina biougljena koja se koristi na određenome tlu, svojstva tla i općenito okolišni uvjeti na tome određenome području (Zhang i sur., 2015.). Sa povećanjem KIK-a automatski se smanjuje rizik od ispiranja hranjiva iz zone korijena što pozitivno utječe na rast i razvoj biljke (Đurđević i sur., 2017.). Inkorporirani biougljen ima veliku površinu, a njegova struktura omogućuje mu da zadrži hranjive tvari i druge ione u tlu kroz proces koji se zove adsorpcija (Zhang i sur., 2015.). Adsorpcija je proces kojim se privlače ioni i molekule iz plina, tekućina i otopljenih čvrstih tvari (Adsorpcija, Hrvatska enciklopedija). Time dolazimo do zaključka kako biougljen može zadržati hranjive tvari kao što su kalcij, magnezij i kalij, čineći ih da budu dostupni biljkama tijekom duljeg vremenskog razdoblja. Također, jedna od bitnih stvari koje moramo imati na umu kod govora o učinkovitosti biougljena je i sami način njegove primjene. Mnoga su istraživanja pokazala kako su puno bolji rezultati na tlu kod primjene biougljena, ako je prethodno biougljen bio unesen u tlo nego da je njegova primjena bila na površinu tla (Major i sur., 2009.). Prilikom primjene biougljena po površini postoji veliki rizik od odnošenja vjetrom, dok se kod primjene biougljena u tlo taj rizik uvelike smanjuje.

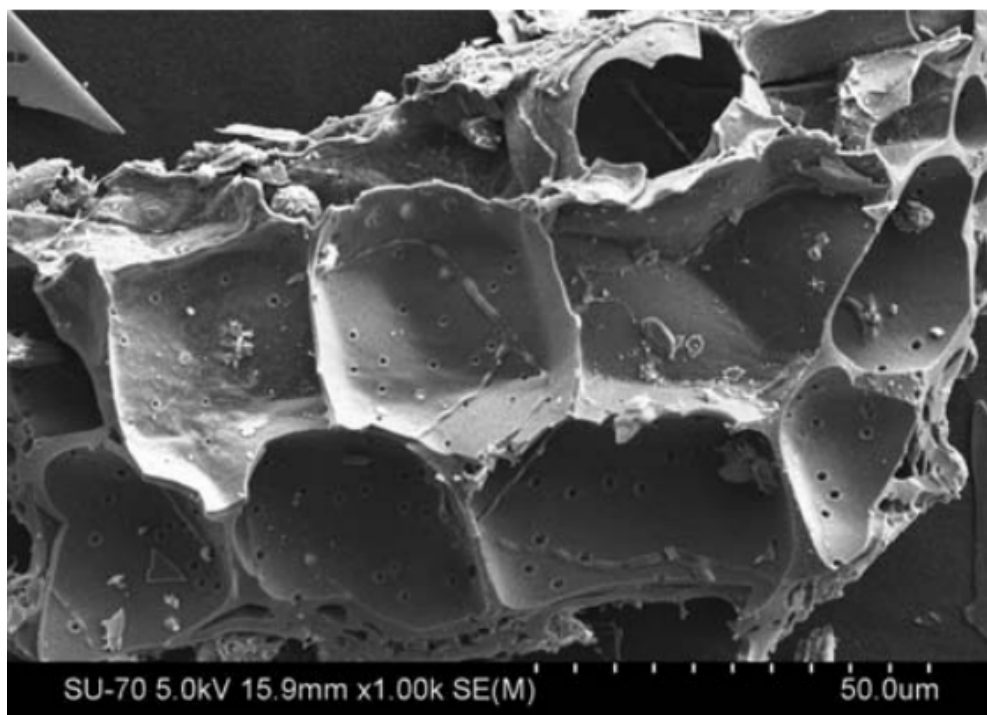
4.4.3. Utjecaj biougljena na organsku tvar u tlu

Organska tvar tla je jedan od brojnih pokazatelja (indikatora) kvalitete tla, a ubraja se među najvažnije (Jug, 2019.). Organska tvar je frakcija tla koju čine sve organske komponente koje su nekada bile žive, odnosno one koje su manje ili više sada raspadnute (Jug, 2019.). Ona potječe od ostataka više ili manje razloženih živih organizama koji onda ponovno iznova grade organske spojeve tla, ali bitno različite u odnosu na živu tvar. Organska tvar pruža bitne hranjive tvari, poboljšava strukturu tla i pomaže zadržavati vlagu u tlu, a uz to i podupire rast korisnih mikroorganizama u tu koji su ključni za zdravlje biljaka (Major i sur., 2009.). Organska tvar u tlu također djeluje kao spremište ugljika, pomažući u skladištenju

ugljika u tlu umjesto da ga oslobađa u atmosferu kao ugljikovo dioksid (Lehmann, J. i Joseph, 2015.). Dokazano je da biougljen pozitivno utječe na sadržaj organske tvari u tlu. Dodavanje biougljena u tlo, dolazi do stvaranja stabilnih oblika ugljika koji su otporni na raspadanje. Sa pretvorbom nestabilnih organskih materijala u stabilnije oblike ugljika kao što je to biougljen čini organski ugljik otpornijim na proces biorazgradnje nakon šta se inkorporira u tlo (Lehmann, 2007.). To znači da se ugljik sekvstrira i ne oslobađa nazad u atmosferu, već se umjesto toga skladišti u tlu na dugi niz godina (Lehmann i Joseph, 2015.). To skladištenje ugljika može trajati i tisućama godina, na primjer, kod nalazištima na području Južne Amerike pronađeni su ostaci pougljenih otpadnih organskih tvari raznog podrijetla starih oko 7000 godina (Đurđević i sur., 2017.). Takvim djelovanjem biougljen ima značajno pozitivno djelovanje na ublažavanje klimatskih promjena. (Major i sur., 2009.).

4.5. Utjecaj biougljena na biološka svojstva tla

Općenito gledajući biološko svojstvo tla je sposobnost tla da osigura pogodno stanište mnogobrojnim biljkama i životinjama. Taj mnogobrojni živi svijet koji nastanjuje tlo možemo podijeliti u dvije velike skupine: makroorganizmi i mikroorganizmi (Lehmann i sur. 2006.). Kad se govori o biološkim karakteristikama tla, zbog velikog broja organizama koji nastanjuju tlo koristi se još i pojam živo tlo. Živo tlo je struktura tla, količina organske tvari u tlu te biološka aktivnost tla u kojoj obitavaju živi organizmi tla (Agroklub, 2018.). Više od 80% svih živih organizama koji žive u tlu su bakterije, a samo u jednome gramu tla se nalazi oko 2,5 milijardi bakterija, dok na jednome hektaru tla možemo pronaći i tonu gljiva (Agroklub, 2018.). Na jednome hektaru poljoprivrednog zemljišta možemo pronaći između tisuću i milijun gujavica koje su od izrazito velike važnosti u činjenju tla rahlim i plodnim (Agroklub, 2018.). Jedan od glavnih načina na koji biougljen pozitivno utječe na biološka svojstva tla je to što mikroorganizmima pruža stanište. Zahvaljujući svojoj strukturi, koja također pokriva izrazito veliku površinu, biougljen može pružiti stanište velikom broju mikroorganizama, među kojima su gljive, bakterije i protozoe (Slika 9) (Warnock i sur. 2007.).



Slika 9. Prikaz čestice biougljena

(Izvor: Warnock i sur. 2007.).

Mikroorganizmi imaju značajnu ulogu u zdravlju tla tako što razgrađuju organsku tvar i oslobađaju hranjive tvari koje su neophodne za rast i razvoj biljaka. Mikroorganizmi su aktivno uključeni u dinamiku organske tvari i procese mineralizacije (Đurđević i sur., 2017.). Nakon inkorporacije biougljena u tlo povećava se dekompozicija organske tvari uz pojačanu aktivnost mikroorganizama (Đurđević i sur., 2017.). Osim pružanja staništa mikroorganizmima, biougljen također može pomoći u povećanju raznovrsnosti mikroorganizama. Razlog tomu je taj šta biougljen podržava jako širok raspon raznih mikroorganizama koji se inače baš i ne nalaze u tlu. Istraživanja su pokazala kako biougljen može podržati rast mikorize gljivica, koje su poznate po poboljšanju apsorpcije hranjiva u biljkama (Slika 10) (Jeffery i sur. 2011.). Biougljen stimulira razvoj za poljoprivredu važnih mikroorganizama tla i pozitivno utječe na njihovu enzimatsku aktivnost (Lehmann i sur. 2006.). Povećanjem raznolikosti mikroorganizama u tlu, biougljen može pomoći u poboljšanju zdravlja i produktivnosti tla, tako što ćemo imati manje potrebe za gnojivom, čime se automatski smanjuje štetno djelovanje poljoprivredne proizvodnje na okoliš, što je jedan od glavnih ciljeva ekološke poljoprivrede.



Slika 10. Prikaz gujavica

(Izvor: OPG Pereglin).

5. APLIKACIJA I INKORPORACIJA BIOUGLJENA U TLO

Obrada tla je i dalje najvažniji i neizostavni poljoprivredni zahvat. Promatrajući s današnjeg aspekta, svaka poljoprivredna proizvodnja za svoj krajnji cilj ima ostvarivanje poljoprivrednih prinosa (Jug, 2014.). Sa razvojem tehnologije i znanosti polagano se napuštaju tradicionalne metode obrade, te se počinju primjenjivati nove tehnike (Đurđević i sur., 2017.). Primjenom novih tehnika imamo manje potrebnih prohoda sa strojevima po površini tla, manje se degradira tlo, manja je potrebna uporaba gnojiva, te se pozitivno utječe na okoliš jer ga se manje zagađuje. Procesi aplikacije i inkorporacije biougljena u tlo ključni su za postizanje optimalni uvjeta odnosno inkubacije biougljena u tlu. Postoji više vrsta biougljena koja za različita vrsta tla imaju različita djelovanja. Time dolazimo do spoznaje kako nema jedinstvene metode niti jedinstvenog sustava obrade tla u aplikaciji biougljena, već je potrebno da se aplikacija biougljena prilagodi samim uvjetima na agroekološkome području, kao i na ulozu koja je namijenjena biougljenu na tome području (Đurđević i sur., 2017.). Prije same aplikacije biougljena potrebno je pravilno pripremiti tlo. Kao metoda pripreme tla za aplikaciju biougljena se predlaže osnovna obrada tla kako bi se osiguralo ravnomjerno raspoređivanje biougljena (Jeffery i sur. 2011.). Prilikom aplikacije biougljena moramo voditi računa o kvaliteti biougljena, materijalu od kojega je napravljen, te i o samoj veličini čestica biougljena koji se primjenjuje (Lehmann i sur. 2006.). Ukoliko su čestice presitne tj. ako više liče na prah, izrazito je velika opasnost od gubitka biougljena vjetrom. U ovisnosti o intenzitetu vjetra i udjelu sitnih čestica, gubici biougljena uzrokovani vjetrom mogu iznositi i preko 30 % (Đurđević i sur., 2017.). Ti se gubici događaju najviše prilikom površinske primjene biougljena. Kako bismo spriječili te gubitke predlaže se da se površinska primjena biougljena odvija za vrijeme lagane kiše ili se navlaži biougljen, kako bi postao teži za prenošenje vjetrom. Također predlaže se i njegovo navlaživanje odmah nakon procesa pirolize, ali je onda potrebno jako voditi računa o količini vode koja će se nanijeti na biougljen. Kako bi učinak biougljena bio što bolji osim o kvaliteti trebamo voditi računa i o njegovoj namjeni i razlozima njegove primjene u tlu (Jeffery i sur. 2011.). Ukoliko se biougljen primjenjuje radi popravljanja plodnosti tla, potrebno ga je inkorporirati plitko, odnosno u zoni ukorjenjivanja (Đurđević i sur., 2017.). Razlog plitkome inkorporiranju biougljena je taj što taj dio tla najplodniji i u njemu biljke najviše usvajaju hranjiva. Ukoliko li izvodimo inkorporaciju biougljena u dublje slojeve tla radi sekvenciranja ugljika, onda se inkorporacija izvodi oranjem (Đurđević i sur., 2017.). U slučaju inkorporacije biougljena sa svrhom popravka tla, te njegovog ponovnog korištenja za obavljanje poljoprivrednih

djelatnosti, nakon višegodišnje eksploatacije površinskog kopova ili izgradnje autocesta, inkorporacija se obavlja po cijelome aktivnome sloju (Đurđević i sur., 2017.). Cilj takve inkorporacije je taj da se aktivira mikrobiološka aktivnost tla. Što se tiče samoga načina aplikacije biougljena u tlo, zbog samih naših agroekoloških uvjeta, ali i ne dovoljne informiranosti poljoprivrednika i dalje vrlo zastupljenog konvencionalnog načina poljoprivrede, aplikacija i inkorporacija biougljena često se obavlja zaoravanjem. To znači da se ona najčešće obavlja pri redovnim agrotehničkim zahvatima. U novije doba počele su se pojavljivati druge metode aplikacije i inkorporacije. Kao metode aplikacije biougljena predlaže se njegovo površinsko raspođeljivanje, miješanje s gornjim slojevima tla ili primjena kontejnera prilikom sadnje (Slika 11) (Jeffery i sur. 2011.). Aplikacija biougljena ovisno o veličini tretirane poljoprivredne površine može se obaviti ručno ili pomoću raspođeljivača (Đurđević i sur., 2017.). Zahvaljujući svojoj kemijskoj ne agresivnosti, biougljen se može bez problema miješati i inkorporirati sa bilo kojim drugim materijalom npr. organskim gnojivom, mineralnim gnojivom, sideracijom, prašenjem strništa, osnovnom i dopunskom obradom, kalcizacijom i drugo (Đurđević i sur., 2017.).



Slika 11. Prikaz aplikacije biougljena proizvedenog od ostataka rezidbe vinove loze

(Izvor: BIONUTRIVINE 2021.).

6. PROIZVODNJA BIOUGLJENA

Biougljen je drvena vrsta fosilnog goriva koje se koristi kao poboljšavač tla (Agroklub, 2017.). Prema autorima Lehmann i Joseph (2015.) biougljen je definiran kao ugljikom bogat proizvod koji je dobiven procesom pirolize biomase odnosno zagrijavanjem biomase kao što su drvo, stajski gnoj, lišće, razne suhe trave, ljuske orašastih plodova, ostaci pri rezidbi vinograda i drugo (Slika 12). Na temelju toga biougljen je idealan materijal za primjenu u ekološkoj poljoprivrednoj proizvodnji. Proizvodnja biougljena predstavlja proces pretvaranja biomase, kao što su ostaci iz drven industrije, piljevina, kore, grančice, žetveni ostaci i drugi organski materijali u ugljen, koji se poslije može koristiti kao organsko gnojivo (Slika 13). U suštini za proizvodnju biougljena se može koristiti bilo koji dio biljke koji u sebi sadrži dovoljno celuloze (Jeffery i sur. 2011.). Proces kojim dobivamo biougljen poznat je tisućama godina, koristili su ga Indijanci koji su živjeli u svojim velikim gradovima na području današnje Amazonske prašume, ali se nestankom Indijanaca s toga područja izgubilo se i znanje o korisnome djelovanju biougljena na poljoprivredna tla. Dobivanje biougljena temelji se na procesu grijanja biomase sa smanjenim dotokom kisika ili bez prisutnosti zraka, taj se proces naziva piroliza tj. kemijska razgradnja organskih tvari (Đurđević i sur., 2017.).



Slika 12. Prikaz rezidbenih ostatak i ostataka iz poljoprivredne proizvodnje

(Izvor: Bojezemlje.hr 2019.).

Postoje dva najčešće primjenjivana načina pirolize, brza piroliza i spora piroliza. Kod brze pirolize proizvodnja biougljena iz biomase (kao npr. vinove loze, žetvenih ostatak i drugo)

treba samo nekoliko sekundi, ali se pri toj pirolizi proizvede znato manje količine biougljena nego što bi to bio slučaj kod spore pirolize. Pozitivna stvar brze pirolize jer se kao nusproizvod uz biougljen proizvodi i velika količina energije koja može biti u obliku biouglja, biogoriva, toplinska energija i električna energija (Đurđević i sur., 2017.). Za razliku od brze pirolize, spora piroliza može trajati od nekoliko sati pa do nekoliko dana. Prednost takve proizvodnje biougljena je ta što se na kraju proizvede puno veća količina biougljena nego što bi se proizvela kod brze pirolize. Za primjer od 100 kg biomase može proizvesti 46 kg ugljika od čega bi polovica bila u obliku biougljena (Đurđević i sur., 2017.). Prilikom obavljanja procesa pirolize bitno je voditi računa o maksimalnoj i minimalnoj dozvoljenoj temperaturi. Proces pirolize se uobičajeno obavlja na temperaturi između 400 i 700 °C (Lehmann i Joseph, 2015.). Kod proizvodnje biougljena pirolizom gdje je temperatura veća od 550 °C proizvodi se biougljen dobrih sorpcijskih svojstava, dok se kod temperature koja je niža od 550 °C proizvodi više biougljena koji uz to još ima bolji utjecaj na plodnost tla (Đurđević i sur., 2017.).



Slika 13. Prikaz biougljena proizvedenog od komadića vinove loze

(Izvor: Bionutrivne 2023.).

Pri samome izboru materijala tj. biomase koja će se koristiti za proizvodnju biougljena, bitno je da to isključivo i samo bude otpad u poljoprivrednoj proizvodnji koji nema više nikakve koristi za ljudsku prehranu ili prehranu stoke (Đurđević i sur., 2017.), odnosno kod proizvodnje biougljena važno je da se ne radi dodatna šteta na poljoprivrednim usjevima niti da se radi nepotrebno krčenje šuma. Iz toga se razloga koristi samo i isključivo otpadni materijal koji bi se inače odložio na odlagalištu (Lehmann i Joseph, S. 2015.). Samim

njegovim korištenjem za proizvodnju biogljena pozitivno utječemo na okoliš jer time pridonosimo smanjenu broja i veličine odlagališta, a i samo djelovanje biogljena na okoliš je blagotvorno. Jedna od bitnih stavki koje je potrebno obaviti prije same proizvodnje biogljena je utvrditi podrijetlo korištenog materijala za proizvodnju biogljena, odnosno od čega se proizvodi biogljen jer biomasa može sadržavati toksične tvari koje se nakon aplikacije u tlo mogu usvojiti od strane uzgajane biljke i onda tako završiti u ljudskoj prehrani (Đurđević i sur., 2017.). U ekološkoj poljoprivrednoj proizvodnji je strogo zabranjena bilo kakva uporaba kemikalija, stoga je važno da je biogljen, koji bi se primjenjivao u ekološkoj poljoprivrednoj proizvodnji, da je proizveden od ekološki prihvatljive biomase (Slika 5).

7. EKONOMSKA ISPLATIVOST UPOTREBE BIOUGLJENA

U današnjoj poljoprivrednoj proizvodnji koliko god se okrenuli prema održivoj i ekološki prihvatljivoj proizvodnji na prvome mjestu će i dalje biti i uvijek će biti njezina ekonomska isplativost. Iz tih razloga se traži alternativa u poljoprivrednoj proizvodnji kako bi se postigli zadovoljavajući prinosi uz što niže moguće troškove, ali i dalje s naglaskom da ta proizvodnja bude ekološki prihvatljiva. Primjenom biougljena ne samo da ćemo imati koristi u obliku zdravijeg i kvalitetnijeg tla, ili da ćemo imati koristi samo od zdravijeg okoliša već ćemo na kraju imati i popriličnu ekonomsku korist. Ogromna ekonomska prednost biougljena je ta šta ga možemo sami proizvoditi kod kuće, od biootpada, tj. grančica, piljevine, žetvenih ostatak i drugo. Ukoliko li se odlučimo za kupovinu biougljena, prema trenutnom stanju cijena, cijena jedne tone biougljena iznosi oko 66,66 eura s tendencijom pada ako se pojavi značajna potražnja za biougljenom (Đurđević i sur., 2017.). Što se tiče proizvodnje biougljena kod kuće za vlastite potrebne dovoljno je da se iskopa jama u kojoj će se onda odvijati proces pirolize ili se mogu koristiti peći kuće izrade, peći s "retorkom" (čeličnim cilindrom velikog volumena) (Agroklub, 2017.). Od potrebnih materijala za izradu kuće peći za proizvodnju biougljena su: metalna bačva od 200L, dvije metalne bačve od 60L i dvije dimovodne cijevi F16cm visine 85 cm (perforum.info, 2022.) (Slika 14). Takav je oblik proizvodnje biougljena najjeftiniji jer su onda svi troškovi svedeni na minimum. Također, tu je i samo pozitivno djelovanje biougljena na tlo gdje popravljiva vodozračne odnose u tlu, popravljiva strukturu tla, podiže pH tla, poboljšava biološka svojstva tla i drugo. Zahvaljujući svemu tom poljoprivredni proizvođači imaju smanjen intenzitet zahvata odnosno prohoda mehanizacijom, čime se smanjuje potrošnja dizela, smanjuje se biljkama potrebna količina gnojiva čime se smanjuju i troškovi za kupovinu gnojiva. Također ogromna je prednost biougljena to što se može bez miješati s drugim smjesama npr. ekološkim gnojivima. Provedenom ekonomskom analizom utvrđeno je kako se troškovi primjene biougljena u koje su uključeni i dovoz i aplikacija materijala kreću oko 1,500 eura (Đurđević i sur., 2017.). Ti troškovi mogu varirati jer ima dosta faktora koji utječu na njih npr. udaljenost od postrojenja za proizvodnju biougljena do polja na kojem se aplicira, vrsta sirovine od koje se biougljen proizvodi, samome procesu pirolize i drugo. Ako bi se primjenjivalo u nekom prosjeku 12,5 t ha⁻¹ biougljena dobit u prve četiri godine s uračunatim prosječnim povećanjem prinosa od 40% iznosila bi od 266,66 do 666,66 eura po hektaru godišnje (Đurđević i sur., 2017.). Treba imati na umu da se biougljen aplicira jedino u prvoj godini tako da su troškovi njegove primjene prisutni samo tada. Imajući sve ove podatke na

umu sa lakom računicom možemo doći do brzoga zaključka kako biogljjen kroz duže razdoblje pridonosi popriličnu ekonomsku korist poljoprivrednome gospodarstvu na koje se on primjenjuje.



Slika 14. Prikaz peći kućne izrade za proizvodnju biogljjena
(Izvor: perforum.info, 2022.).

8. ZAKLJUČAK

Primjena biogljenjena u ekološkoj poljoprivrednoj proizvodnji sadrži dosta izazova, ali uz to mnogo više koristi. Kao proizvod biogljen je vrlo zanimljiv, koristan i relativno jeftin za proizvesti. Njegova povijest proizvodnje i uporabe seže još iz doba kada su Indijanci naseljavali područje današnje Amazonske prašume pa sve do danas kada se ponovno istražuju koristi od njegove uporabe. Kao dodatak u gnojidbi kod ekološke poljoprivredne proizvodnje biogljen ima jako puno benefita:

- Popravlja teksturu tla, zadržava vodu i hranjiva u tlu i poboljšava aeraciju tla.
- Svojom inkorporacijom regulira reakciju tla, te povećava KIK i sadržaje organske tvari u tlu.
- Omogućuje stanište mnogim mikroorganizmima u tlu i povećava njihovu raznovrsnost .
- Sekvestrira ugljik u tlu
- Poboljšava vodo-zračne odnose u tlu
- Jeftin je i jednostavan za proizvesti na vlastitom poljoprivrednom gospodarstvu

Imajući na umu sve ove činjenice o pozitivnome djelovanju biogljenjena na tlo i ekosustav može se vrlo jednostavno zaključiti kako se u ekološkoj poljoprivrednoj proizvodnji biogljen može koristiti kao idealan dodatak i poboljšivač tla te kao gnojivo koje neće imati negativan utjecaj na okoliš. Upotreba biogljenjena u ekološkoj poljoprivrednoj proizvodnji zasigurno ima budućnost, kao i ekonomske i ekološke koristi. Postoji još mnogo nepoznanica oko biogljenjena, ali kroz buduća istraživanja i sve veći interes za biogljen u skoroj budućnosti mogli bismo očekivati sve veću primjenu i nove spoznaje o biogljenju.

9. POPIS LITERATURE

1. Agroklub, Jednostavna proizvodnja biougljena kod kuće. (2017.). Dostupno na: <https://www.agroklub.com/agro-hobi/jednostavna-proizvodnja-biougljena-kod-kuce/35694/> (06. studeni 2022.)
2. Agroklub, Rastu cijene: Od gnojiva najviše poskupjela urea. (2022.). Dostupno na: <https://www.agroklub.com/poljoprivredne-vijesti/rastu-cijene-od-gnojiva-najvise-poskupjela-urea/80053/> (01. studeni 2022.)
3. Agroklub, Živo je tlo osnova poljoprivredne proizvodnje. (29.11.2018.). Dostupno na: <https://www.agroklub.com/eko-proizvodnja/zivo-je-tlo-osnova-poljoprivredne-proizvodnje/46919/> (07. srpanj 2023.)
4. Agroportal.hr: Gnojidba u ekološkoj poljoprivredi. 23.10.2021. Dostupno na: <https://www.agroportal.hr/ekoloska-poljoprivreda/17805> (20. kolovoz 2023.)
5. Antal, M. J., & Gronli, M. (2003). The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 42, 1619 – 1640.
6. Baunit agrar, Kationski izmjenjivački kapacitet KIK: Opskrba hranjivim tvarima i struktura tla. Dostupno na: <https://baunit-agrar.hr/plodna-tla/cation-exchange-capacity-cec/> (23. lipanj 2023.)
7. Downie, A., Crosky, A., & Munroe, P. (2009). Physical properties of biochar. In J. Lehmann, & S. Joseph (Eds.), *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation* (pp. 13 – 32). London, UK: Earthscan.
8. Đurđević, B., Jug, I., Jug, D., Vukadinović, V., Stipetić, B., Brozović, B. (2017.): VIP PRIRUČNIK: Primjena biougljena kao kondicionera tla - korak ka održivoj biljnoj proizvodnji. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek, 55.
9. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslava Krlež: Adsorpcija. (2021.). Dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=566> (01. srpanj 2023.)
10. Jeffery, S., Verheijen, F. G. A., van der Velde, M., Bastos, A.C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144 (2011), 175-187.
11. Jug, D.. Obrada tla. Odabrani nastavni materijal za studente diplomskog studija. Fakultet agrobioehničkih znanosti Osijek, Osijek, 2014. Datum pristupa: 22. kolovoz 2023.

12. Jug, D.. Organska tvar tla, pokazatelj kvalitete tla. Odabrani nastavni materijal za studente diplomskog studija. Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Osijek, 2019. Datum pristupa: 03. studeni 2022.
13. Laird, D., Fleming, P., Wang, B.Q., Horton, R., Karlen, D. (2010.): Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*. 158: 436–442.
14. Lal, R., (2009). Soil and food sufficiency. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 113 – 133.
15. Lehmann, J., Gaunt, J., & Rondon, M. (2006). Bio-Char sequestration in terrestrial ecosystems-a review. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 11(2), 403-427.
16. Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*. Routledge. New York, 943.
17. Lehmann, J., (2006.). *Terra Preta: Soil Improvement and Carbon Sequestration*. Dostupno na:
<https://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/research/terra%20preta/Flyer%20terra%20preta%20landuse%20strategy.pdf> (01. studeni 2022.)
18. Lehmann, J. (2007.): Bio-Energy in the black. *Frontiers in Ecology and Environment* 5. The Ecological Society of America, 381 – 387.
19. Major, J., Steiner, C., Downie, A., i Lehmann, J. (2009.). Biochar effects on nutrient leaching. In *Proceedings of the Internacional Conference on Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*, Lehmann, J., i Stephen, J. (ur.), earthscan, London, 237-240.
20. Ok, Y.S., M.Uchimiya, S., X.Chang, S., Bolan, N. (2016.): *Biochar: Production, Characterization, and Applications*. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, New York, London. 407.
21. Perforum, razvoj održivih zajednica: Izrada jednostavne peći za biougljen. (24.08.2022.). Dostupno na:
<https://www.perforum.info/izrada-jednostavne-peci-za-biougljen/> (10. srpanj 2023.)
22. Shackley S., Carter S., Knowles T., Middelink E., Haefele S., Sohi S., Križ A., Haszeldine S., (2012). Sustainable gasification-biochar systems? A case-study of rice-husk gasification in cambodia, Part 1: Context , chemical propeties, environmental and health and safety issues. *Elsevier*, (2011), 1-10.
23. Streubel, J.D., Collins, H.P., Garcia-Perez, M., Tarara, J., Granatstein, D., Kruger, C.E. (2011.): Influence of contrasting biochar types on five soils at increasing ratse of

- application. *Soil Biology and Biochemistry*. Collins, H. P. (ur.), Soil Sci. Soc. Am. Madison, 1402-1413.
24. Struna, Hrvatsko strukovno nazivlje: Biougljen. Dostupno na: <http://struna.ihjj.hr/naziv/biougljen/39401/> (3. studeni 2022.)
 25. Vujanić, F.: Biougljen iz šumske biomase, ekološke pogodnosti primjene i opis proizvodnog ciklusa. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 2019.
 26. Vukadinović V., Vukadinović V.. pH vrijednost tla. Lipanj 2016. Dostupno na: https://tlo-i-biljka.eu/Tekstovi/pH_tla.pdf (14. veljača 2023.)
 27. Vukadinović V., Primjena biougljena u poljoprivredi. 5. svibanj 2017. Dostupno na: https://tlo-i-biljka.eu/Gnojidba/Zanimljivosti/Zanimljivosti_07-2017.pdf (2. studeni 2022.)
 28. Warnock, D.D., Lehamnn, J., Kuyper, T.W., & Rilling, M.C. (2007). Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms. *Plant and Soil*, 300, 9 – 20.
 29. Zhang, H., Voroney, R. P., & Price, G. W. (2015.): Effects of temperature and processing conditions on biochar chemical properties and their influence on soil C and N transformations. *Soil Biology and Biochemistry*, 83, 19-28.