Strategije ublažavanja klimatskih promjena primjenom biougljena u tlo

Meštrović, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of agriculture / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:110959

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Josip Meštrović

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Bilinogojstvo

Strategija ublažavanja klimatskih promjena primjenom biougljena u tlo

Završni rad

Osijek, 2017.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Josip Meštrović

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Bilinogojstvo

Strategija ublažavanja klimatskih promjena primjenom biougljena u tlo

Završni rad

Osijek, 2017.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Josip Meštrović

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Bilinogojstvo

Strategija ublažavanja klimatskih promjena primjenom biougljena u tlo

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. doc. dr. sc. Boris Đurđević, mentor
2. izv. prof. dr. sc. Irena Jug, član
3. red. prof. dr. sc. Danijel Jug, član

Osijek, 2017.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Poljoprivredni fakultet u Osijeku
Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda, smjer Bilinogojstvo
Josip Meštrović

Završni rad

Strategije ublažavanja klimatskih promjena primjenom biougljena u tlo

Sažetak: Klimatske promjene su prirodan proces koji se može znatno ubrzati antropogenim utjecajima. Trenutno, glavni uzročnik naglih klimatskih promjena je visoka emisija stakleнички plinovi te tako dolazi do globalnog zagrijavanja Zemlje. Takvi procesi dodatno opterećuju poljoprivrednu proizvodu te može doći do degradacije poljoprivrednih tala uz pad prinosa uzgajanih kultura. Jedno od mogućih rješenja je primjena biougljena u tlo, karbonatnog sporo razgradivog materijala koji se proizvodi procesom pirolize otpadne biomase. Zbog toga je cilj ovog rada opisati pozitivan utjecaj biougljena na tlo i njegov utjecaj na ublažavanja negativnih efekata klimatskih promjena. Porastom broja istraživanja vezanih uz biougljen sve više se ističe njegova sposobnost sekvestriranja ugljika uz direktno smanjenje koncentracije ostalih stakleničkih plinova. Osim što će umanjiti emisiju stakleničkih plinova, biougljen će povoljno djelovati na niz kemijskih, bioloških i fizikalnih svojstava tla. Unatoč velikom broju istraživanja, dosta aspekata aplikacije biougljena još uvijek ostaje nepoznato, čime se otvara prostor za nova istraživanja koja bi potakla njegovu masovnu primjenu.

Ključne riječi: klimatske promjene, stakleнички plinovi, biougljen, globalno zagrijavanje, efekt staklenika

28 stranica, 3 tablice, 16 slika, 60 literaturnih navoda

Završni rad je pohranjen: u Knjižnici Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agriculture in Osijek
Undergraduate university study Agriculture, course Plant production
Josip Meštrović

BSc Thesis

Strategies for mitigating climate change by applying biochar to soil

Summary: Climate change is a natural process that can be significantly accelerated by anthropogenic influences. Currently, the major cause of severe climate change is high emissions of greenhouse gases, which is directly related with global warming of Earth. Such processes further burden the agricultural product and can resulted with degradation of agricultural soils, with lower yield of cultivated crops. One of the possible solutions is the application of biochar to the soil, which is carbonate slowly degradable material produced by the process of pyrolysis of waste biomass. For this reason, the aim of this paper is to describe the positive impact of biochar on soil and its impact on the negative effects of climate change. With increased number of biochar researches his ability is increasingly emphasized to sequester carbon and directly reducing the concentration of other greenhouse gases. In addition, biochar can favourably affect a variety of chemical, biological and physical soil properties. Despite a large number of research, many aspects of biochar applications still remain unknown, thus it is important to opening up space for new research which would lead to more massive application of biochar.

Key words:climate change, greenhouse gases, biochar, global warming, greenhouse effect

28 pages, 3 tables, 16 figures, 60 references

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

Sadržaj

1. UVOD 1
2. OPĆENITO O BIOUGLJENU 2
3. PROIZVODNJA BIOUGLJENA 5
3.1. Sirovine za proizvodnju biougljena 8
4. KLIMATSKE PROMJENE I BIOUGLJEN 10
4.1. Utjecaj biougljena na plodnost tla - temelj prilagodbe na klimatske promjene 11
4.1.1. Utjecaj biougljena na kemijska, fizikalna i biološka svojstva tla 12
4.2. Utjecaj biougljena na smanjenje emisije stakleničkih plinova 17
4.2.1. Sekvestracija ugljikovog dioksida 19
4.2.2. Smanjenje emisije dušikovog oksida 19
4.2.3. Metan i interakcija biougljena s putevima sinteze metana 20
5. ZAKLJUČAK 22
6. LITERATURA 23

1. UVOD

Ljudska populacije postaje sve brojnija čime se povećavaju i potrebe za hranom. Trenutno na Zemlji obitava 7,5 milijardi ljudi, a za 2050. godinu se predviđa da će ta brojka dosegnuti 9 milijardi. Iako se modernom tehnologijom i novim znanstvenim spoznajama proizvodnja hrane povećava, ljudska populacija ipak raste prebrzo. Dodatne izazove pri proizvodnji hrane predstavljaju i klimatske promjene. Iako su klimatske promjene prirodan proces, antropogeni utjecaj ih znatno ubrzava i to najviše emitiranjem stakleničkih plinova iz različitih sektora ljudskih djelatnosti. Staklenički plinovi ne dopuštaju povratak sunčevog zračenja (unutar infracrvenog spektra) natrag u svemir čime zagrijavaju atmosferu i direktno djeluju na globalno zagrijavanje Zemlje. Posljedice klimatskih promjena su već očite u vidu topljenja ledenih kapa, ekstremnih suša, poplava, promjena razine mora, a sve to direktno utječe na proizvodnju hrane. Za projekt ublažavanja klimatskih promjena, ljudska će populacija morati ostvariti globalnu suradnju. Ukoliko se ništa ne poduzme, moglo bi doći do katastrofalnih posljedica. Trenutno, znanstvenici pokušavaju pronaći rješenja za ublažavanje navedenih negativnih efekata klimatskih promjena, a jedno od mogućih rješenja je i primjena biougljena kao kondicionera tla koji inkorporacijom u tlo može utjecati pozitivno na niz kemijskih, fizikalnih i bioloških svojstava tla. Također, njegovom primjenom moguće je utjecati na smanjenje odnosno sekvestraciju ugljika, ali i ujedno djelovati na umanjenje emisije ostalih stakleničkih plinova. Biougljen je karbonatni materijal koji nastaje pirolizom isključivo otpadne biomase. Takvim pristupom možemo direktno utjecati na povećanje plodnosti tla, ali i ublažavanje negativnih utjecaja klimatskih promjena. Zbog svega navedenog cilj ovoga rada je utvrditi mogućnosti primjene biougljena u tlo te njegov utjecaj na ublažavanje negativnih efekata klimatskih promjena.

2. OPĆENITO O BIOUGLJENU

Biougljen je karbonatni materijal proizveden procesom pirolize te sadrži 60 – 95% ugljika. Polazna sirovina za proizvodnju biougljena je isključivo otpadna biomasa. Radi se o stabilnom materijalu koji posjeduje kondenziranu aromatsku strukturu (Lehmann i Joseph, 2009.). Biougljen ima sposobnost stupiti u interakciju s mineralnim česticama tla, čime mu se stabilnost dodatno povećava. (Brodowski i sur., 2006.) (Slika 1. i 2.). Sevilla i Fuertes (2009.) biougljen opisuju kao materijal visoke poroznosti i velike aktivne površine koji posjeduje odličnu fizikalno - kemijsku stabilnost i dobru površinsku reaktivnost. Na razvoj ideje o primjeni biougljena kao kondicionera tla dolazi se preko spoznaje da karbonizirana organska tvar predstavlja vrlo bitnu komponentu mnogih tala.



Slika 1. Dodavanjem biougljena u tlo poboljšavamo retenciju tla, dodajemo biljna hraniva i smanjujemo emisiju stakleničkih plinova

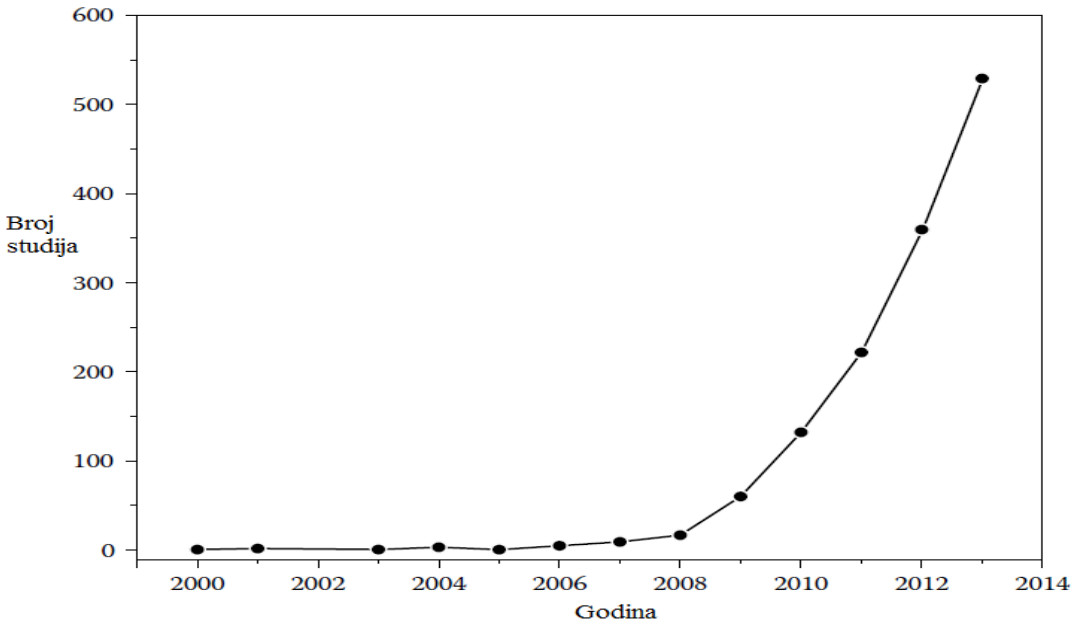
(Izvor: http://hgtvhome.sndimg.com)



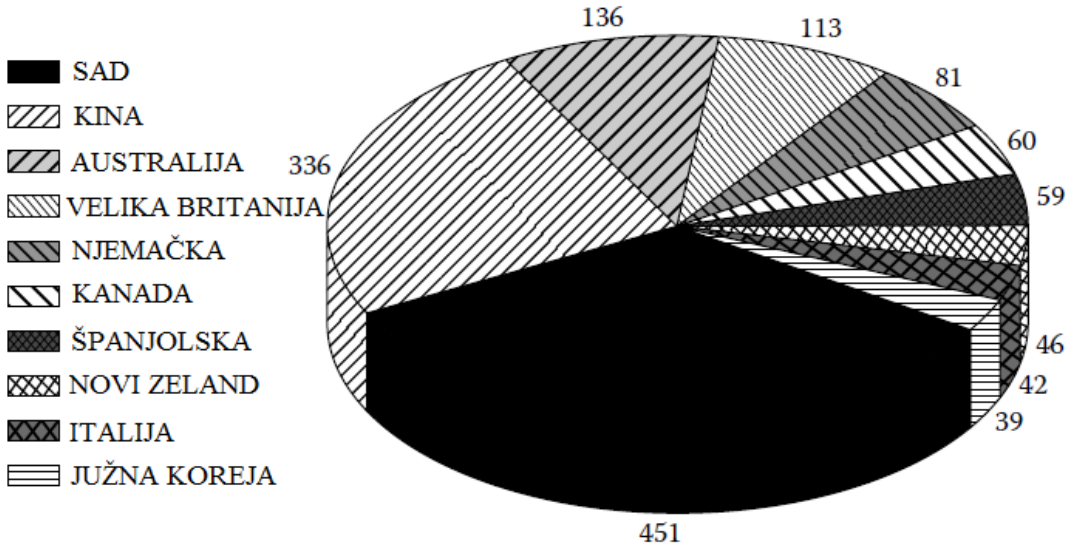
Slika 2. Biougljen proizveden od različitih tipova sirovina

(Izvor: https://www.ethz.ch.)

Osim za kondicioniranje tala, biougljen postaje prepoznat i kao važan produkt korišten za smanjivanje emisije stakleničkih plinova, imobilizaciju polutanata, te filtraciju vode (Ahmad i sur., 2013.; Awad i sur., 2012.; Bolan i sur., 2012.; Lehmann i Joseph, 2009.), a njegova primjena i razvoj istraživanja značajno se povećavaju tek od kraja 2006. godine (Slika 3. i 4.).



Slika 3. Trend istraživanja biougljena od 2000. do 2013. godine, prema bazi podataka Scopus



Slika 4. 10 država koje najviše doprinose istraživanju biougljena, prema bazi podataka Scopus

3. PROIZVODNJA BIOUGLJENA

Lehmann i Joseph (2009.) navode kako je dobivanje biougljena (ugljena) jedna od najstarijih ljudskih industrijskih tehnologija. Biougljen se može proizvoditi jednostavnom „primitivnom“ tehnologijom (Slika 5. i 6.) koja se u Svijetu koristi od davnina.



Slika 5. Proizvodnja biougljena klasičnim spaljivanjem biomase

(Izvor: https://growingfoodandsuch.files.wordpress.com.)



Slika 6. Peć od cigala sagrađena za proizvodnju biougljena

(Izvor: http://www.biochar-international.org)

Trenutno se naviše radi na poboljšanju iskoristivosti procesa pirolize. Kao primjer mogu se navesti mobilne jedinice za pirolizu pogodne za korištenje na manjim gospodarstvima (Brewer i sur., 2009.) (Slika 7.).

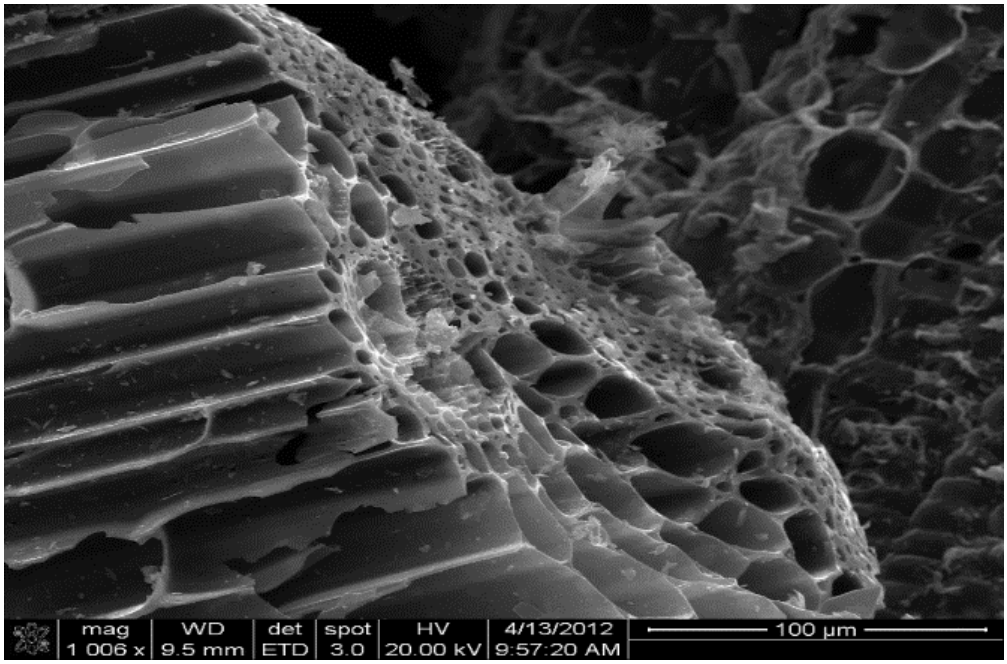


Slika 7. Mobilna jedinica za proizvodnju biougljena

(Izvor: http://www.biochar-international.org)

Na svojstva biougljena se može utjecati preko izbora sirovine te regulacije uvjeta pirolize kao što je promjena maksimalne temperature i brzine zagrijavanja. Ukoliko biomasu izlažemo duži period vremena visokim temperaturama, doći će do potpunog izgaranja i nastanka pepela, što se nastoji izbjeći. Zato se prilikom proizvodnje postavljaju uvjeti tako da dio biomase ne izgori u potpunosti (smanjena količina zraka u pirolitičkom spremniku). Proces proizvodnje biougljena je vrlo sličan kao i kod običnog ugljena. Razlika je ta što kod biougljena trebamo nižu temperaturu, što umanjuje i troškove proizvodnje. Također, različite su i polazne sirovine. Za proizvodnju tradicionalnog ugljena najčešće korišteni materijali su drvo, treset, lignit i dr. Osim u različitim temperaturama pri pirolizi i različitim polaznim sirovinama, bitna razlika između biougljena i ugljena jest i cilj proizvodnje; biougljen se proizvodi sa svrhom inkorporacije u tlo, što nije slučaj kod običnog ugljena. Također, veći udjeli ugljika u biougljenu učiniti će ga stabilnijim, odnosno usporit će biorazgradnju. To se postiže višim temperaturama pri pirolizi, ali se time i dodatno povećavaju troškovi proizvodnje. Stoga je vrlo bitno naći optimalne omjere kvalitete biougljena i troškova u proizvodnji. Temperature pirolize veće od

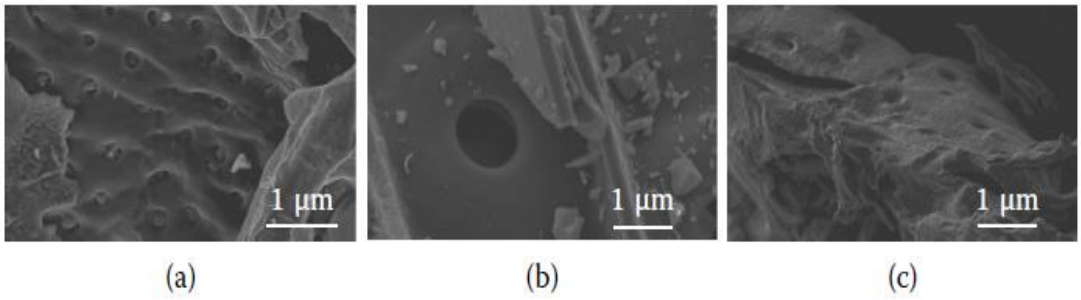
550 °C stvoriti će stabilan i porozan te visokoaromatičan biougljen s aktivnom površinom od preko 400 m^2g^{-1} (Joseph i sur., 2013.; Keiluweit i sur., 2010.) (Slika 8.).



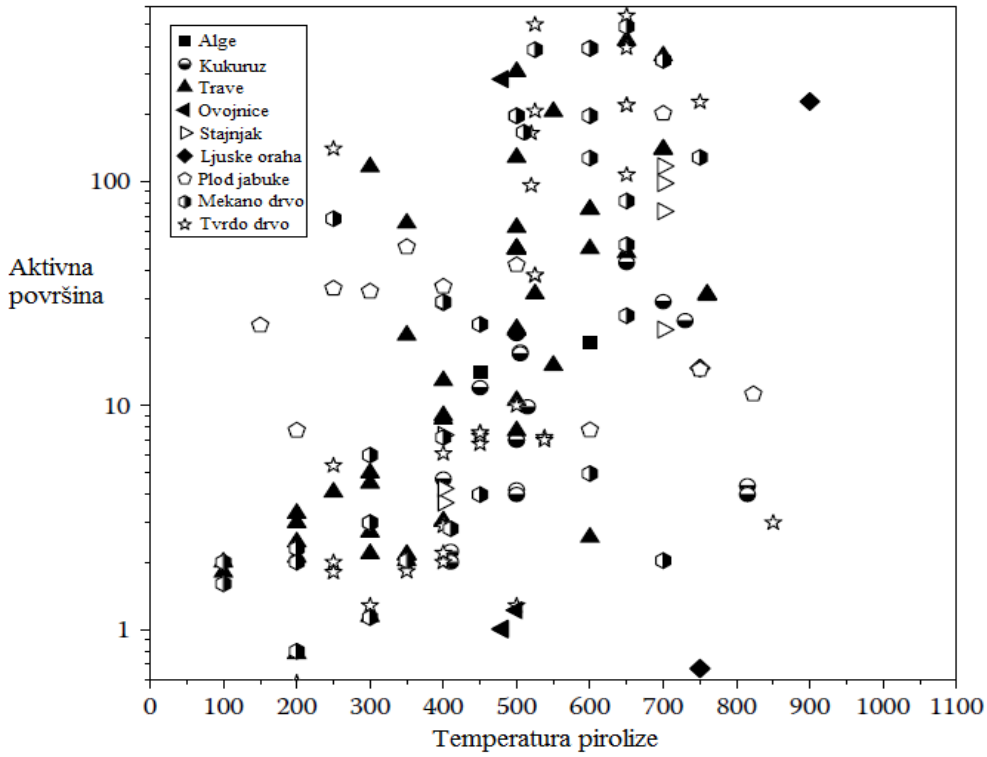
Slika 8. Slika biougljena pod elektronskim mikroskopom na kojoj se dobro uočava porozna struktura biougljena

(Izvor: https://www.researchgate.net)

Više autora navodi kako su niže temperature jeftinija opcija proizvodnje biougljena s manje kondenziranom strukturom koja je više biorazgradiva (Fuertes i sur., 2010.; Joseph i sur., 2013.; Khodadad i sur., 2011.). Također, temperatura ima značajan utjecaj na veličinu aktivne površine biougljena (Slika 9. i 10.). Antal i Gronli (2003.) opazili su kako piroliza biomase postaje egzotermnija kako se povećava tlak, dodaje sirovina i smanjuje strujanje zraka. U zatvorenim reaktorima, bez strujanja zraka, dodavanjem sirovine doći će do većeg prinosa ugljena, kao i do povećanog otpuštanja topline. Mok i sur., (1992.) tvrde da će se time ujedno i sniziti granica minimalne temperature potrebne za početak reakcije odnosno dodatna ušteda energije.



Slika 9. Slike dobivene elektronskim mikroskopom koje pokazuju varijacije u građi površine i teksturi biougljena. Od (a) trupaca bora (300 °C), (b) trupaca bora (900 ºC) i (c) bademove ljuske (900 °C), prema Sik Ok i sur., (2016.)



Slika 10. Promjene u aktivnoj površini (izražene u m^2g^{-1}) u ovisnosti o temperaturi pirolize (izraženo u ºC) kod različitih tipova sirovina, prema UC Davis Biochar Database

3.1.Sirovine za proizvodnju biougljena

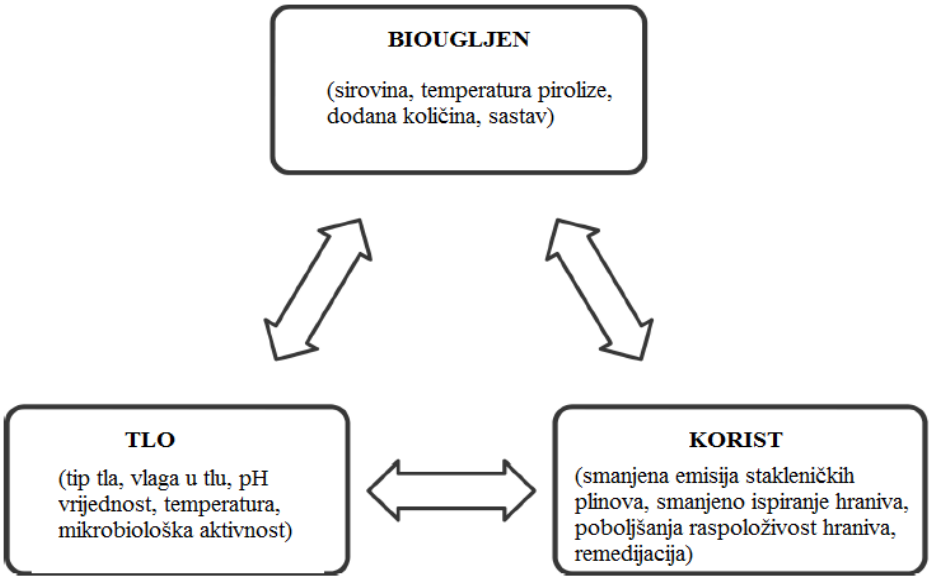
Glavna polazna sirovina za proizvodnju biougljena je biomasa - opći termin koji se odnosi na svaku organsku tvar u živim organizmima ili na njihove ostatke. Autor Demirbas (2004.) navodi kako sirovine za biougljen mogu biti razne biomase od drveta, poljoprivrednih žetvenih ostataka, industrijskog otpadnog mulja pa sve do stajnjaka. Biomasa je kompleksna heterogena

struktura sastavljena od celuloze, lignina i ostalih organskih (primarno spojevi s C, H, N, S i O) te anorganskih komponenata (Vassilev i sur., 2010.) Prema istim autorima, u anorganskim komponentama pronalazimo: silicijev dioksid (SiO_2), aluminijev oksid (Al_2O_3), željezov (III) oksid (Fe_2O_3), titanijev oksid (TiO_2), kalcijev oksid (CaO), kalijev oksid (K_2O), fosforov pentoksid (P_4O_{10}), magnezijev oksid (MgO), sumporov trioksid (SO_3) i natrijev oksid (Na_2O). Spomenute anorganske komponente, prema navodima Song i sur., (2012.), se mogu izvorno nalaziti u biomasi ili pak nastati prilikom procesa proizvodnje. Važno svojstvo biomase je i energija koja je potrebna za proces pirolize. Kloss i sur., (2012.) mjerili su specifičnu energiju potrebnu za proizvodnju biougljena kod 86 različitih tipova biomasa koja je varirala između 11,5 do 24,2 MJ kg^{-1}. Energija potrebna za termokemijsku obradu raste sljedećim redoslijedom ovisno o podrijetlu biomase: stajnjak < mulj < trave < ljuske i ovojnice < drvo (Song i sur., 2012.). O samom materijalu odnosno biomasi ovisi i prinos biougljena. Mok i sur., (1992.) stehiometrijski su izmjerili teoretski prinos ugljika iz celuloze od 44% u odnosu na maseni udio. Za biomasu ne postoje takvi podatci radi njene raznolikosti. Trenutno najveći zabilježeni prinos kvalitetnog biougljena iz biomase iznosi 47% u odnosu na masu sirovine. U pokusima su kao sirovina korišteni vlažni trupci drveta, a piroliza se odvijala u zatvorenim reaktorima. Novak i sur., (2009.) utvrdili su kako će piroliza sirovina s visokim udjelima pepela (trave, rižine ovojnice ili stajnjak) rezultirati povećanim alkalitetom biougljena (pH do 10). Takve sirovine pogodne su za aplikaciju na kiselim tlima, dok se sirovine s manje pepela mogu koristiti kod pH neutralnih tala. Također, biomasa se može koristiti i kao zamjena za fosilna goriva. Field i sur., (2008.) tvrde da to nije dobra opcija jer biomasa sadrži katran, alkalne i zemnoalkalne metale, vodu, organske kiseline, prašinu te razne spojeve s dušikom, sumporom i klorom koji mogu djelovati korozivno na motore i turbine. Zbog toga, puno je bolje i ekološki pravilnije korištenje biomase za proizvodnju biougljena.

4. KLIMATSKE PROMJENE I BIOUGLJEN

Klimatske promjene su dugotrajne promjene (vremenski period od desetak do milijun godina) u statističkoj raspodjeli klimatskih indikatora. Radi se o prirodnom procesu koji se značajno može ubrzati antropogenim utjecajem. Trenutno, Zemlja je u fazi zagrijavanja na što značajan utjecaj ima efekt staklenika koji predstavlja apsorpciju sunčevog zračenja unutar infracrvenog spektra i njegovo zadržavanje u atmosferi.

Biougljen se puno ranije koristio kao kondicioner tla, ali su tek Rondon i sur., (2005.) prvi proučavali potencijal biougljena kao mogućeg rješenja za neutralizaciju negativnih efekata klimatskih promjena. Od tada se broj istraživanja vezanih za biougljen eksponencijalno povećava. Rezultati provedenih studija značajno variraju i trenutno se pokušava provesti ili započeti višegodišnja istraživanja kako bi sa sigurnošću mogli potvrditi pozitivne učinke biougljena. Primjerice, provedene su dvije studije dugotrajnih (>1 god.) poljskih pokusa. Jedna je bila u vinogradu (Verhoeven i Six, 2014.), a druga na travnjacima (Angst i sur., 2014.). Pokusi su se odvijali u sličnim agroekološkim uvjetima te je korišten isti biougljen. Jedna studija dokazala je smanjenje dok je druga dokazala povećanje emisiju dušikovog oksida. Zbog takvih rezultata, znanstvenici su naglasili potrebu za daljnjim istraživanjem temeljnih mehanizama koji utječu na emisiju stakleničkih plinova. Budući da postoje međuovisnosti velikog broja različitih čimbenika prilikom inkorporacije biougljena u tlo, još uvijek nedostaje potpuno znanje i shvaćanje biogeokemijskih ciklusa koji se odvijaju nakon aplikacije. Daljnja proučavanja biougljena mogu nam omogućiti da pomoću izbora prikladne sirovine i određivanja uvjeta tijekom pirolize proizvedemo optimalni biougljen za aplikaciju te da unaprijed predvidimo njegovo buduće ponašanje u okolišu (Slika 11.). Tako na primjer biougljen proizveden iz sirovine s velikim udjelima celuloze će imati veći sadržaj ugljika, dok će biougljen proizveden iz sirovina s visokim udjelima hraniva imati svojstva više kao gnojivo (Cantrell i sur., 2012.). Biougljen iz sirovina s visokim udjelima hraniva će imati manji utjecaj na sekvestraciju stakleničkih plinova, ali je zato pogodniji za korištenje na degradiranim tlima. Svojstva biougljena ponajviše ovise o biomasi od koje je proizveden i procesu proizvodnje te je zbog toga oformljena organizacija *International Biochar Initiative* (IBI) koja se bavi promicanjem dobre industrijske prakse uz pridržavanje ekoloških i etičkih standarda. Spomenuta organizacija je pokrenula program certifikacije biougljena pomoću kojega se lakše može odabrati tražena svojstva biougljena (razlike u smanjenu emisije stakleničkih plinova, gnojidbena vrijednost i dr.). Aplikacijom certificiranog biougljena garantirano se postižu optimalni rezultati te se ispunjavaju kriteriji ekološke sigurnosti.



Slika 11. Veza između različitih tipova biougljena, tala i koristi nakon aplikacije biougljena, (prema Sik Ok i sur., 2016.)

4.1.Utjecaj biougljena na plodnost tla - temelj prilagodbe na klimatske promjene

Plodnost tla je stanje tla koje označava njegovu sposobnost da biljkama osigura povoljne vodozračne odnose i kontinuiranu opskrbu biljnim hranivima. Jedan od velikih problema današnje poljoprivredne proizvodne je degradaciju tala u vidu smanjenja organske tvari, erozije, zaslanjivanja, acidifikacije itd. Također, uz klimatske promjene koje se očituju u sve žešćim i nepredvidivim vremenskim prilikama neminovno dolazi do pada plodnosti tla uz pad prinosa. Zbog toga kada govorimo o prilagodbi klimatskim promjenama nikako ne možemo izostaviti tlo kao trenutno jedini (nezamjenjivi) resurs za proizvodnju hrane. Obzirom kako biougljen može djelovati na niz kemijskih, fizikalnih i bioloških svojstava tla, njegova se primjena nameće kao jedno od optimalnih rješenja ublažavanja negativnog utjecaja klimatskih promjena jer u isto vrijeme može smanjivati emisiju stakleničkih plinova i podizati plodnost tla. Aplikacija biougljena u tlo osigurava proizvodnost i štiti prirodne resurse. Radi se o ekonomičnoj i socijalno prihvatljivoj mjeri koja predstavlja dobar temelj ka prilagodbi klimatskim promjenama.

4.1.1. Utjecaj biougljena na kemijska, fizikalna i biološka svojstva tla

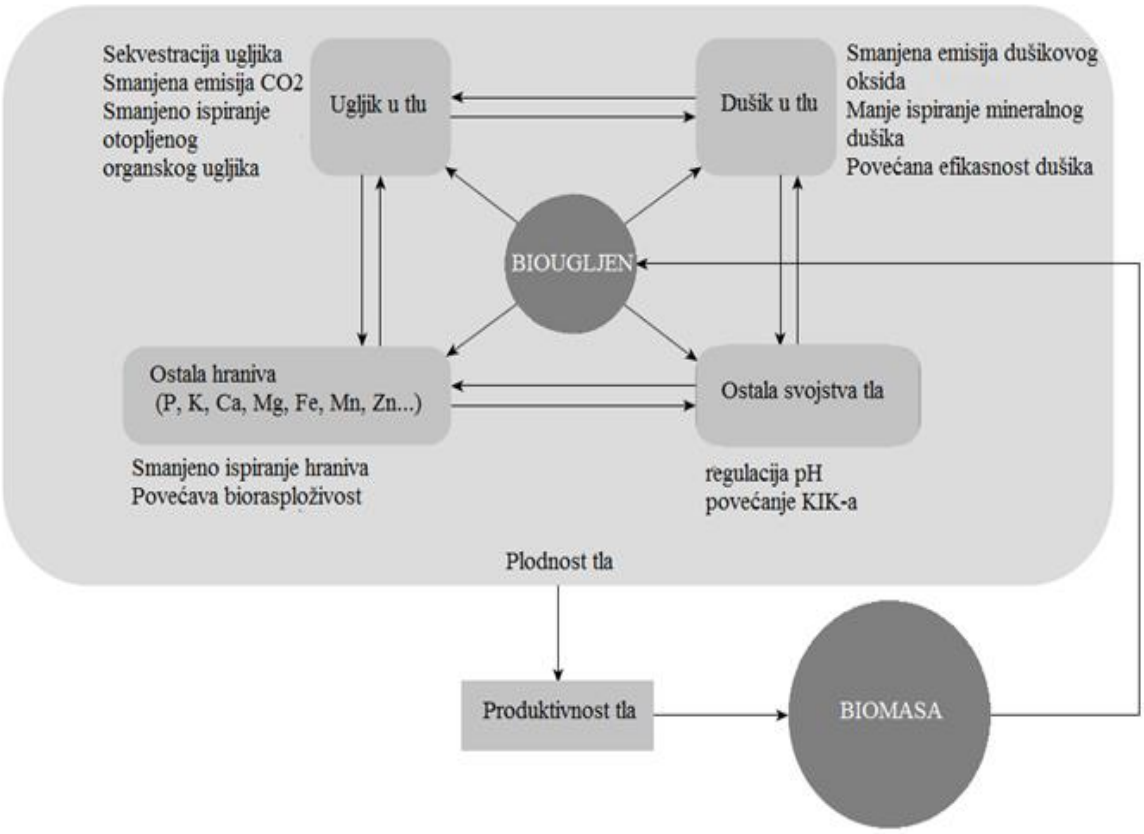
Fizikalna svojstva tla ovise o prirodi minerala i organskoj tvari, te o njihovim udjelima i načinu na koji su povezani (Brady i Weil, 2008.). Aplikacija biougljena pokazala se kao dobar „saveznik“ u poboljšanju fizikalnih svojstava tala. Tlo u kojega se aplicira biougljen pokazuje poboljšanu teksturu, strukturu, porozitet i konzistenciju. Također, dolazi do redistribucije pora i raznih čestica, a zapažaju se i promjene u gustoći tla. Kako se fizikalna svojstva tla mijenjaju uz prisustvo biougljena, tako se i biljkama omogućavaju povoljniji uvjeti za bolji rast i razvoj. Tlo s povoljnim fizikalnim svojstvima je u stanju biljci pružiti lakše prodiranje korijena, te biljci omogućiti dovoljne količine zraka i vode (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Dodavanjem biougljena raste retencijski kapacitet tla, tj. sposobnost tla da zadržava vodu. Aplikacija biougljena može povoljno utjecati i na obradivost tla te na temperaturnu provodljivost. Aplikacijom biougljena ćemo povećati i ukupnu aktivnu površinu tla i kationski izmjenjivački kapacitet (KIK) (Streubel i sur., 2011.). Aktivna površina strukturnih agregata tla također je vrlo važno svojstvo koje utječe na plodnost tla – retenciju voda, udio makropora (zraka), količinu raspoloživih hraniva te mikrobiološku aktivnost. Također, ograničena sposobnost pjeskovitih tala da zadrže vodu i hraniva povezana je s relativno malom aktivnom površinom strukturnih agregata. Throeh i Thompson (2005.) navode kako minerali pijeska imaju nisku aktivnu površinu od 0.01 do 0,02 m^2g^{-1}, dok glina ima puno veću aktivnu površinu od 5 m^2g^{-1} (kaolinit) do čak 750 m^2g^{-1} (montmorilonit). Biougljen može imati aktivnu površinu do 642 m^2g^{-1} (Lehman i sur., 2011.) te zbog toga se može koristiti kao kondicioner lakih tala. Suprotni slučaj od lakih pjeskovitih tala su teška glinasta tla, tj. tla s povećanim udjelima minerala gline koja će imati veliki retencijski kapacitet što se smatra povoljnim, ali će imati neadekvatnu aeraciju te će biljci biti otežano ukorjenjivanje radi velike gustoće tla. U istraživanjima Kolb (2007.), eksperimentalno je dokazano kako biougljen poboljšava strukturu tla i aeraciju u težim glinastim tlima. Promjene u strukturi tla mogu stvoriti pogodno stanište za mikroorganizme, čime se dodatno povoljno utječe na plodnost i „zdravlje“ tla (Brady i Weil, 2008.).

Produktivnost biljaka usko je vezana s dovoljnom količinom pristupačnih hraniva i optimalnim agroekološkim uvjetima za rast određenog usjeva. Za postizanje visokih prinosa biljka mora kontinuirano imati dovoljne količine biljnih hraniva na raspolaganju tijekom vegetacije. Biljna hraniva koja su potrebna biljci nazivaju se biogeni (esencijalni) elementi. Biogeni elementi dijele se na makroelemente (C, H, O, N, P, K, S, Ca i Mg) i mikroelemente (Fe, Mn, Zn, B, Cu, Mo, Cl i Ni) (Vukadinović i Vukadinović, 2011.) (Tablica 1.)

Tablica 1. Biogeni elementi i oblici u kojima se usvajaju (Đurđević, 2014.)

Element	Simbol	Raspoloživi oblik
Ugljik	C	CO_2
Vodik	H	H_2O
Kisik	O	O_2
Dušik	N	NO_3^-, NH_4^+
Fosfor	P	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}
Kalij	K	K^+
Kalcij	Ca	Ca^{2+}
Magnezij	Mg	Mg^{2+}
Sumpor	S	SO_4^{2-}, SO_3^{2-}
Bor	B	BO_3^{3-}, H_3BO_3
Klor	Cl	Cl^-
Bakar	Cu	Cu^{2+}
Željezo	Fe	Fe^{2+}, Fe^{3+}
Mangan	Mn	Mn^{2+}
Molibden	Mo	MoO_4^{2-}
Cink	Zn	Zn^{2+}
Nikal	Ni	Ni^{2+}

Što se tiče biougljena, provedena su brojna istraživanja (Lehmann 2007.; Atkinson i sur., 2010.; Alburquerque i sur., 2013.; Gomez i sur., 2014.) te je dokazano da aplikacija biougljena povoljno održava na kemijska svojstva tla (Slika 12.). Biougljen ovisno o biomasi može sadržavati različite količine hraniva poput Ca, Mg, K i P i ostalih mikroelemenata (Laird i sur., 2010.). Stoga aplikacijom biougljena dodajemo u tlo hraniva koja su prethodno bila sadržana u biomasi. (Glaser i sur., 2002.; Lehmann i sur., 2003.; Chan i sur., 2008.; Kloss i sur., 2012.). Također, zabilježen već prije spomenut utjecaj na kationski izmjenjivački kompleks (KIK) tla (Liang i sur., 2006.; Novak i sur., 2009.; Hass i sur., 2012.; Chintala i sur., 2014.). Razlog za povećanje KIK-a leži u poroznoj građi i velikoj aktivnoj površini biougljena. Istraživanja koja su proveli Cheng i sur., (2012.) i Laird i sur., (2010.) pokazuju kako biougljen povećava sposobnost usvajanja hraniva kod biljaka te smanjuje ispiranje istih (Tablica 2.). Neki autori navode kako biougljen ima potencijal umanjiti korištenje dušičnih gnojiva jer se njegovom aplikacijom u tlo direktno poboljšava efikasnost iskorištenja dušika. Suprotno tomu, postoje istraživanja u kojima se tvrdi kako aplikacija biougljena (visoke biorazgradivosti) može ograničiti bioraspoloživost N u tlima siromašnima N radi remećenja C:N odnosa. (Lehmann i sur., 2003.; Asai i sur., 2009.). Točan utjecaj biougljena na kemijska svojstva tla ovisi o nekoliko faktora: vrsti sirovine, uvjetima pirolize, načinu aplikacije i tipu tla (Alburquerque i sur., 2013.).



Slika 12. Utjecaj aplikacije biougljena na kemijska svojstva tla (Sik Ok i sur., 2016.)

Također, biougljen može utjecati na povećanje organske tvari tla. Biougljen sadrži organski oblik C otporan na biorazgradnju i tako direktno povećava količinu organske tvari u tlu. Glaser i sur., (2002.) kao najbolji primjer utjecaja biougljena na organsku tvar u tlu navode tlo Terra Preta što doslovno prevedeno s portugalskog znači crna zemlja. (Slika 13.). Aplikacija biougljena može povećati stabilnost strukturnih agregata u tlu te djevoti slično kao humus (Cheng i sur., 2012.; Hua i sur., 2014.). Biougljen zadržava organski C u strukturnim agregatima jer umanjuje dekompoziciju organske tvari. U istraživanjima Hua i sur., (2014.), utvrđeno je da aplikacija biougljena ima snažan pozitivan utjecaj na količinu organske tvari.



Slika 13. Pedološki profil dva različita tipa tla: Latosol (lijevo) i Terra Preta (desno), (Izvor: https://www.intechopen.com)

Tablica 2. Utjecaj aplikacije biougljena na dušik fosfor i kalij

Vrsta sirovine	TP[a]	Količina biougljena	UN[b] (% promjene)	RP[c] (% promjene)	RK[d] (% promjene)	Autori
Stajsko gnojivo od peradi	450 °C	10 t / ha^{-1}	+13	+343	+96	Chan i sur., (2008.)
		25 t / ha^{-1}	+22	+700	+221	
		50 t / ha^{-1}	+43	+1129	+500	
	550 °C	10 t / ha^{-1}	-	+63	+48	
		25 t / ha^{-1}	-	+71	+113	
		50 t / ha^{-1}	+14	+113	+263	
Ljuske kikirikija	400°C	11 t / ha^{-1}	-	+39	+88	Gaskin i sur., (2010.)
		22 t / ha^{-1}	+24	+76	+162	
Trupci bora	400°C	11 t / ha^{-1}	+20	-	-	Gaskin i sur., (2010.)
		22 t / ha^{-1}	+17	-	-	
Mješavina drveta	450°C	50 t / ha^{-1}	-	-	Nije proučavano	Jones i sur., (2011.)

[a] TP – temperatura pirolize
[b] UN – ukupni dušik
[c] RP – raspoloživi fosfor
[d] RK – raspoloživi kalija

Utjecaj biougljena je značajan i na jedno od najvažnijih kemijskih svojstava tla pH vrijednost tla. Različite biljne vrste mogu se razvijati u tlima različite reakcije, a za većinu biljaka je optimalna slabo alkalna ili slabo kisela reakcija tla. Utjecaj aplikacije biougljena na pH tla je

usko povezan s vrstom sirovine i uvjetima pirolize (Tablica 3.). Vrijednost pH biougljena varira od 5,2 do 10,3. Streubel i sur., (2011.) su utvrdili kako je prosječan pH biougljena dobivenog iz biljne biomase 9,4 a iz drvenih trupaca je nešto niži i iznosi 7,4. Biougljen proizveden pri većim temperaturama (≥500°C) ujedno ima i nešto veći pH u usporedi s biougljenom proizvedenim pri nižim temperaturama (≤400°C). Mnoga su istraživanja potvrdila kako aplikacija biougljena s većim pH vrijednosti dovodi i do povećanja pH u tlu, tj. utvrđeno je da postoji pozitivna linearna korelacija između pH tla i pH biougljena. (Chan i sur., 2008.; Abit i sur., 2012.; Chintala i sur., 2014.; Uzoma i sur., 2011.; Jien i Wang 2013.) Znanstvenici Yuan i sur., (2014.) navode da alkalnost biougljena može biti ključni faktor u borbi protiv acidifikacije tala.

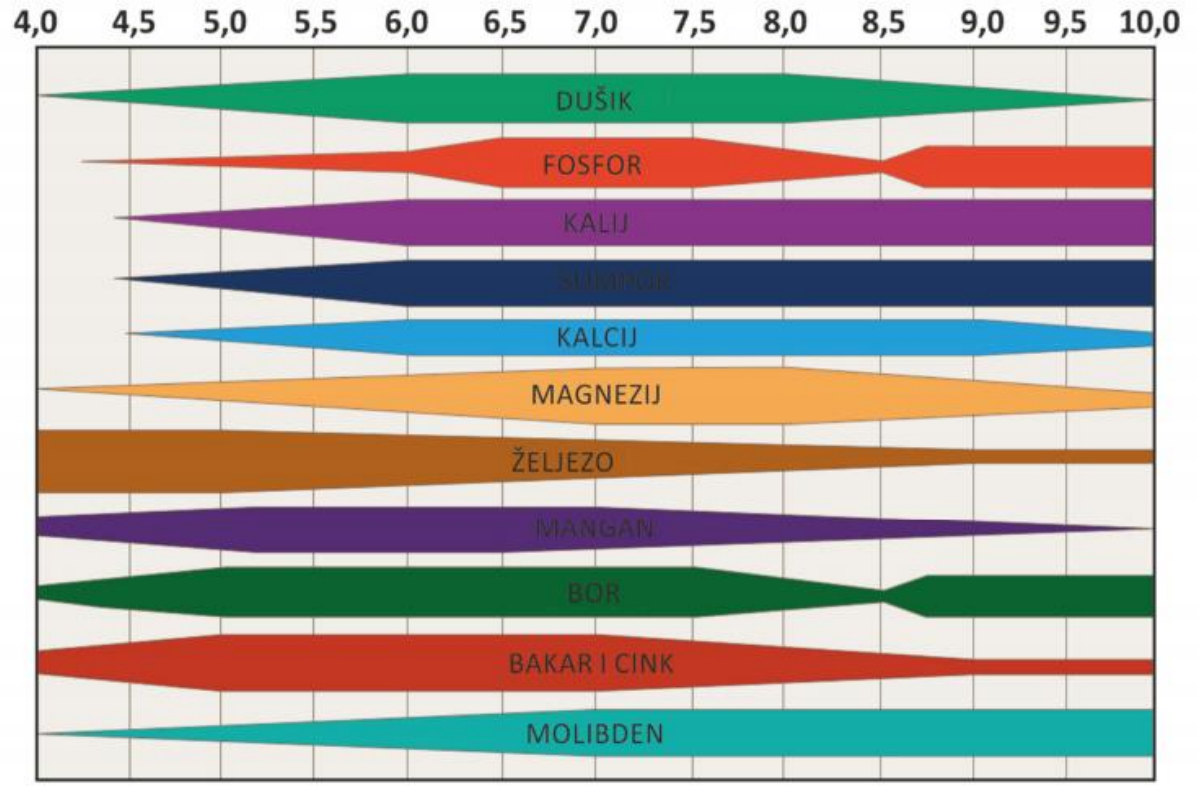
Tablica 3. Utjecaj aplikacije biougljena na pH i kationski izmjenjivački kapacitet (KIK) u tlu

Tip tla ili teksturna oznaka	Sirovina	TP[a]	Količina	Utjecaj na pH (% promjene)	Utjecaj na KIK (% promjene)	Autori
Alfisol (Kromosol)	Stajski gnoj od peradi	450 ºC	10 t / ha^{-1}	+21	+19	Chan i sur., (2008.)
			25 t / ha^{-1}	+32	+35	
			50 t / ha^{-1}	+41	+65	
		550 ºC	10 t / ha^{-1}	+38	+19	
			25 t / ha^{-1}	+51	+56	
			50 t / ha^{-1}	+61	+76	
Pjeskovita ilovača	Ljuske kikirija	400 ºC	11 t / ha^{-1}	Nije proučavano	-	Gaskin i sur., (2010.)
			22 t / ha^{-1}		-	
	Trupci od bora	400 ºC	11 t / ha^{-1}	+1,6	-	
			22 t / ha^{-1}	-1,1	-	
Pjeskovito glinasta ilovača	Mješavina drveta	450º C	50 t / ha^{-1}	+ 4.7	-	Jones i sur., (2011.)

[a] TP – temperatura pirolize

Naravno dodajući prevelike količine možemo previše podignuti pH tla, te utjecati na raspoloživost većina esencijalnih elemenata odnosno na rast i razvoj biljke (Slika 14.). Prilikom promjena u pH vrijednosti tla dolazi i do promjene u pristupačnosti hraniva biljkama. (Artiola i sur., 2012.).

Biougljen će pozitivno djelovati i na mikroorganizme tla čime će se dodatno povećati plodnost tla. Njegova porozna struktura će mikroorganizmima pružiti životni prostor te će im osiguravati dovoljne količine zraka na raspolaganju. Populacije mikroorganizama moraju posjedovati određene prilagodbe da bih mogle živjeti na biougljenu kao supstratu. Tu se prvenstveno misli na posjedovanje sposobnosti stvaranja enzima potrebnih za metabolizam prisutnih spojeva. Što je supstrat kompleksniji, to će privući više specijaliziranih skupinu mikroorganizama. (Hamer i sur., 2004.)

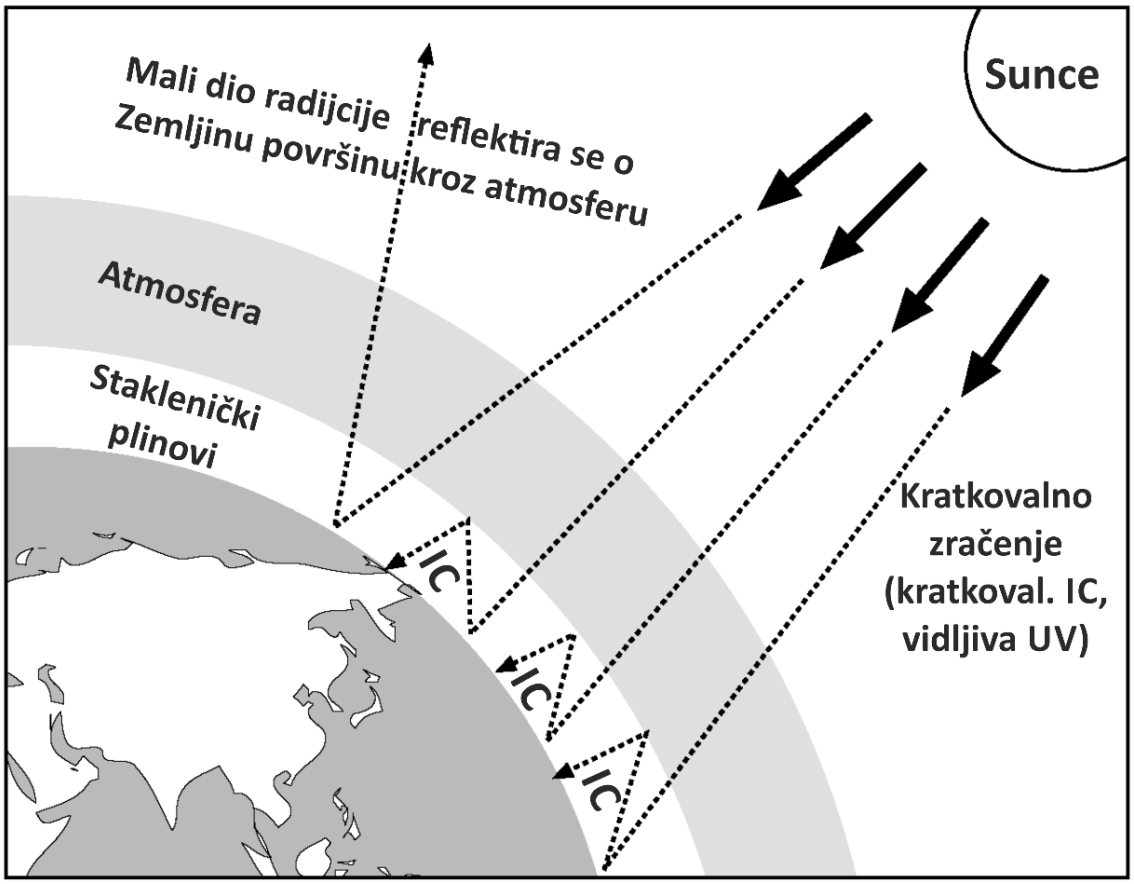


Slika 14. Utjecaj pH reakcije na raspoloživost biogenih elemenata (Đurđević, 2014.)

4.2.Utjecaj biougljena na smanjenje emisije stakleničkih plinova

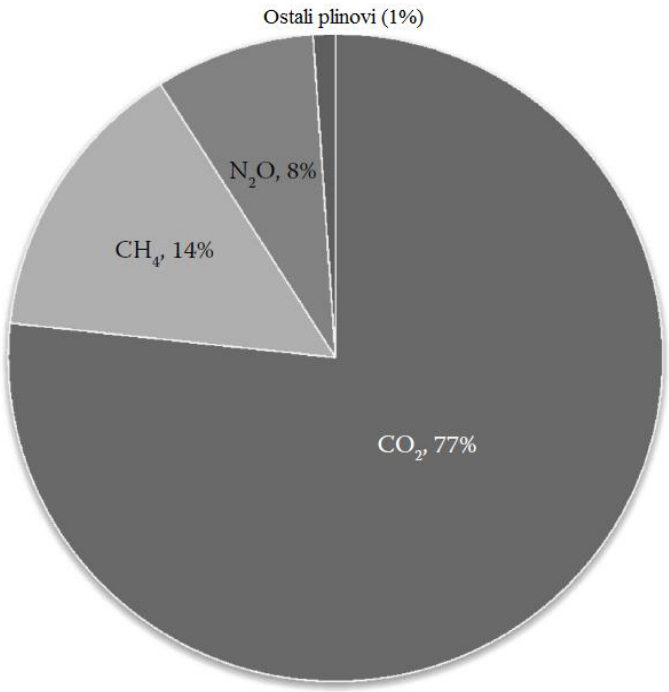
Staklenički plinovi u Zemljinoj atmosferi apsorbiraju te potom emitiraju sunčevo zračenje unutar infracrvenog spektra čime uzrokuju pojavu koja se naziva efekt staklenika. Efekt staklenika čini Zemlju povoljnom za život održavajući temperaturu atmosfere. Ipak, antropogene aktivnosti su drastično povećale koncentraciju stakleničkih plinova u atmosferi čime su uzrokovale neravnotežu istih (Slika 15.). Neravnoteža u koncentracijama stakleničkih plinova rezultira štetnim posljedicama koje se ogledaju kao porast razine mora, topljenje polarnih kapa, poplave, suše i varijacije godišnjih doba. Zbog navedenih posljedica mjere smanjenja koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi su hitno potrebne. Najučestaliji

staklenički plinovi u atmosferi su (prema njihovim koncentracijama) ugljikov dioksid, metan, dušikov oksid te ostali (Slika 16.).



Slika 15. Efekt staklenika (Vukadinović i Vukadinović, 2011.)

Ovisno o njihovim sposobnostima da apsorbiraju sunčevu energiju, svaki stakleнički plin ima različiti potencijal za globalnog zagrijavanje. Izračunati potencijal za globalno zagrijavanje je kod ugljikovog dioksida 1, dok je dok metana već 25. Puno „opasniji“ stakleнički plin, tj. plin koji ima veći potencijal za globalno zagrijavanje je dušikov oksid čiji potencijal iznosi 298. Tlo se može ponašati kao izvor (source) i uporište (sink) stakleničkih plinova. Prema podatcima iz Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) antropogene aktivnosti u poljoprivredi jedne su glavnih uzročnika emisije metana i dušikovog oksida. Između 1970. i 2010. porast emisije metana iznosio je 20%, dok je za dušikov oksid bio 45 – 75%, navode Sik Ok i sur., (2016.).



Slika 16. Globalna emisija stakleničkih plinova, prema Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2007.)

4.2.1. Sekvestracija ugljikovog dioksida

Ugljikov dioksid se uglavnom emitira kroz primjenu fosilnih goriva. Sektori koji ga najviše emitiraju su: industrija, transport i elektroenergetika. Poljoprivreda sudjeluje s tek 7% ukupne emisije ugljikovog dioksida (IPCC. 2007.). Neposredno nakon inkorporacije biougljena u tlo može doći do malog kratkoročnog povećanja inicijalne emisije ugljikovog dioksida (povećana mikrobiološka aktivnost i dekompozicije nestabilnih frakcija ugljika). Nakon toga dolazi do stabilizacije odnosno sekvestracije ugljika emitirajući pri tome zanemarive količine ugljikovog dioksida (Sik Ok i sur., 2016.). Također, Kuzyakov i sur., (2014.) navode da je samo 6% inicijalno dodanog biougljena mineraliziralo do ugljikovog dioksida u 8,5 godina.

4.2.2. Smanjenje emisije dušikovog oksida

Zemaljska emisija dušikovog oksida je porasla s 10 na 12 Tg , a procjenjuje se da će do 2050. iznositi 16 Tg , navode Bouwman i sur., (2013.). Koncentracije dušikovog oksida u atmosferi rastu 0,2 – 0,3% godišnje što je posljedica koja je primarno uzrokovana antropogenim aktivnostima. Smatra se da je 90% ukupne poljoprivredne emisije dušikovog oksida uzrokovano intenzivnom primjenom dušičnih gnojiva. Zato je neophodno precizno računanje potrebe za hranivima te praćenje utjecaja gnojidbe na visinu prinosa da bih se greške u gnojidbi

svele na minimum. Dušik je, uz fosfor i kalij, primarni makroelement biljne ishrane, usvaja se u velikim količina i ima bitan utjecaj na konačni prinos. Osim intenzivne primjene dušičnih gnojiva, za povećane emisije dušikovog oksida je zaslužna i stočarska proizvodnja jer i životinjske izlučevine emitiraju dušikov oksid (Dalal i sur., 2008.). Ciklus kruženja dušika u tlu se odvija kroz nekoliko međusobno povezanih procesa: nitrifikacija, denitrifikacija i amonifikacija. Da bih shvatili međuovisnosti biougljena i dušikovog oksida u tlu, neophodno je prvo shvatiti same procese koji sudjeluju u ciklusu dušika. Nitrifikacija je biološka oksidacija amonijaka do nitrata koju provode autotrofni aerobni mikroorganizmi. Prvi korak nitrifikacije je oksidacija amonijaka do nitrita. To uglavnom čine nitrificirajuće bakterije, ali poneke arheobakterije i gljive također imaju tu sposobnost. Drugi korak je prevođenje nitrita u nitrate prilikom čega se oslobađaju vodikovi ioni. Nitrifikacija ovisi o pH vrijednosti tla, aeraciji, temperaturi (opt. 25 – 35 °C), i sadržaju vlage u tlu. (opt. 40 – 65% poljskog vodnog kapaciteta). Denitrifikacija predstavlja enzimsku disimilaciju nitrata do nitrita te dalje do dušikovog oksida što predstavlja najveći problem. (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Aplikacija biougljena ima utjecaj na denitrifikaciju na više različitih načina koji do danas nisu do kraja rasvijetljeni. Tako, biougljen može sadržavati mikroorganizmima otrovne supstance koje inhibiraju razvoj bakterija u procesu denitrifikacije, što umanjuje emisiju dušikovog oksida. Također, jedno od osnovnih svojstava biougljena je adsorpcija te na taj način adsorbirajući nitrate te tako direktno smanjuje njihovu raspoloživost denitrifikatorima čime također dodatno umanjuje emisiju dušikovog oksida (Lehmann i Joseph, 2009.).

4.2.3. Metan i interakcija biougljena s putevima sinteze metana

Najvažniji izvori metana su prirodne močvare (27%), fosilna goriva (18%), preživači (18%), polja riže (11%), spaljivanje biomase (10%), odlagališta smeća (9%), termiti (4%) te mora i oceani (3%) (Dalal i sur., 2008.). U močvarama i poljima riže, metan nastaje u anoksičnim zonama tla preko anaerobne dekompozicije biomase. Biljke djeluju kao putevi preko kojih se metan iz tla prenosi u atmosferu. Emisije metana na travnjacima uglavnom potječu od preživača, gdje se metan oslobađa iz biljne mase putem crijevne fermentacije. Glavno uporište metana je fotokemijska oksidacija (od strane hidroksilnih radikala) u atmosferi (~550 Tg), Oksidacija atmosferskog metana u aerobnim uvjetima tla također pruža značajno uporište (10 – 44 Tg). Strujanje metana između tla i atmosfere proizlazi iz ravnoteže između dva mikrobiološka procesa: metanogeneze i metanotrofije. Emisija metana ovisi o redoks potencijalu tla, zalihama ugljika u supstratu, temperaturi, difuziji, pH vrijednosti tla, raspoloživosti hraniva, kompetitivnoj inhibiciji u prisutnosti akceptora elektrona i o prisutnosti

biljnog pokrova. Metanogene aktivnosti se inhibiraju u prisutnosti akceptora elektrona poput željeza i mangana, te dušikovih oksida (Dalal i sur., 2008.). Oksidacija metana je reakcija koja se kontrolirala enzimom metan monooksigenaza koji se nalazi u bakterijama koje asimiliraju metan. Oksidacija metana uglavnom ovisi o koncentraciji kisika u tlu, što je usko povezano sa sadržajem vlage i teksturom tla. Primjerice, oksidacija metana će se umanjiti u zbijenim tlima radi otežane difuzije plinova. Metanotrofna aktivnosti se smanjuje s povećavanjem vlage u tlu. Iako metanomorfne bakterije mogu preživjeti ekstremno kisele i zaslanjene uvjete, njihov optimalni pH se kreće između 5,0-7,5. Treba uzeti u obzir kako će amonijak, koji se sam proizvede u tlu ili se doda kao gnojivo, imati kompetitivnu inhibiciju oksidacije metana, barem tijekom kraćeg perioda. Povišene koncentracije metana, inhibitori (inhibitori nitrifikacije, inhibitori ureaze) i pesticidi mogu značajno smanjiti oksidaciju metana, navode Dalal i sur., (2008.). Studije pokazuju kako bioguljen može omesti puteve sinteze metana te stimulirati oksidaciju metana tako što poboljšava teksturu tla čime se omogućuje bolja difuzija plinova. Više autora je potvrdilo da će aplikacija biougljena poboljšati aeraciju tla čime se ukloniti anoksične zone, što će rezultati smanjenom sintezom i povećanom oksidacijom metana (Rondon i sur., 2005., 2006.; Van Zwieten i sur., 2009.; Liu i sur., 2012.). Smanjenje oksidacije metana može također biti uzrokovana inhibicijom rasta mikroorganizama primjenom specifičnog tipa biougljena koji je toksičan za mikroorganizme (Spokas i sur., 2009.). Karhu i sur., (2011.) su uočili smanjenje emisije metana za 96% prilikom aplikacija 9 t/ha^{-1} biougljena od brezinih trupaca proizvedenog pri 400 ºC. Autori navode kako je za to zaslužna poboljšana aeracija tla i poboljšala difuzija metana iz atmosfere.

5. ZAKLJUČAK

Biougljen ima potencijal poslužiti kao moćan alat za ublažavanje klimatskih promjena, posebice kada se radi o certificiranom biougljenu primijenjenom u specifično tlo pri standardiziranim dozama. Naravno, njegova sposobnost da sekvestracije ugljika i smanjenja emisije stakleničkih plinova ovisi o svojstvima tla u kojega se aplicira, kao i svojstvima samoga biougljena. Osim ublažavanja klimatskih promjena, biougljen može pružiti i mnoge dodatne pogodnosti za okoliš, što je dokazano brojnim studijama. Trenutno raspolažemo sveobuhvatnim znanjem o prednostima i nedostatcima aplikacije biougljena. Imamo i sve veće znanje potrebno za razumijevanje temeljnih mehanizama emisije stakleničkih plinova i utjecaja aplikacije biougljena na njih. Postalo je moguće specifično proizvesti biougljen sa željenim svojstvima pomoću izbora prikladne sirovine i određivanja uvjeta tijekom pirolize. Također, proizvodnjom biougljena direktno smanjujemo količinu otpadne biomase iz poljoprivrednih i drugih sustava i samim time rješavamo problematiku odlaganja istih. Postoje ograničene informacije o tome kako će biougljen dugoročno utjecati na emisiju stakleničkih plinova. Zbog toga treba bolje istražiti mehanizme djelovanja biougljena te utjecaj biotskih i abiotskih faktora na iste. Aplikacija biougljena može i negativno utjecati na produktivnost usjeva, povećati emisiju stakleničkih plinova ili loše djelovati na svojstva tla. Da bih se mogao točno procijeniti utjecaj aplikacije biougljena na ublažavanje klimatskih promjena treba napraviti analize svih čimbenika – emisije stakleničkih plinova, sekvestracije ugljika i prinosa usjeva. Ukoliko se pažljivo koristi, aplikacija biougljena ima potencijal postati standardan mjera za ublažavanje nepovoljnih klimatskih uvjeta. Budući da puno toga ostaje neistraženo, primjena biougljen pruža brojne implikacije za buduća istraživanja.

6. LITERATURA

1. Abit, S.M., C.H. Bolster, P. Cai, and S.L. Walker. (2012.): Influence of feedstock and pyrolysis temperature of biochar amendments on transport of Escherichia coli in saturated and unsaturated soil. Environ. Sci. Technol. 46: 8097–8105

2. Ahmad, M., Lee, S. S., Rajapaksha, A. U., Vithanage, M., Zhang, M., Cho, J. S., Lee, S. E. and Ok, Y. S. (2013.): Trichloroethylene adsorption by pine needle biochars produced at various pyrolysis temperatures. Bioresource Technology 143: 615–622.

3. Alburquerque, J.A., P. Salazar, V. Barron, J. Torrent, M.D. del Campillo, A. Gallardo, and R. Villar. (2013.): Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. Agron. Sustain. Dev. 33: 475–484.

4. Angst T, Six J, Reay DS, Sohi SP. (2014.): Impact of pine chip biochar on trace greenhouse gas emissions and soil nutrient dynamics in an annual ryegrass system in California. Agriculture, Ecosystems and Environment 191: 17–26.

5. Antal, M.J., Gronli, M. (2003.): The art, science, and technology of charcoal production. Ind. Eng. Chem. Res. 42: 1619–1640.

6. Artiola, J.F., C. Rasmussen, and R. Freitas. (2012.): Effects of a biochar- amended alkaline soil on the growth of romaine lettuce and bermudagrass. Soil Sci. 177: 561–570.

7. Asai, H., B.K. Samson, H.M. Stephan, K. Songyikhangsuthor,K. Homma, Y. Kiyono, Y. Inoue, T. Shiraiwa, and T. Horie. (2009.): Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. Field Crop. Res. 111: 81–84.

8. Atkinson C.J., Fitzgerald J.D., Hipps N.A. (2010.): Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. Plant and Soil 337: 1–18.

9. Awad, Y.M., Blagodatskaya, E., Ok, Y.S., et al. (2012.): Effects of polyacrylamide, biopolymer, and biochar on decomposition of soil organic matter and plant residues as determined by 14C and enzyme activities. European Journal of Soil Biology 48: 1–10.

10. Bolan, N.S., Kunhikrishnan, A., Choppala, G.K., et al. (2012.): Stabilization of carbon in composts and biochars in relation to carbon sequestration and soil fertility. Science of The Total Environment 424: 264–270.

11. Bouwman AF, Beusen AHW, Griffioen J, Van Groenigen JW, Hefting MM, Oenema O, Van Puijenbroek PJTM, Seitzinger S, Slomp CP, Stehfest E. (2013.): Global trends and uncertainties in terrestrial denitrification and N2O emissions. Philosophical Transactions of the Royal Society B 368: 1621.

12. Brady,N. C. and Weil, R. R. (2008.): An Introduction to the Nature and Properties of Soils, 14th edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, 2008.

13. Brodowski S, John B, Flessa H, Amelung W. (2006.): Aggregateoccluded black carbon in soil. European Journal of Soil Science 57: 539–546.

14. Brewer C.E., Schmidt-Rohr K., Satrio J.A., Brown R.C. (2009.): Characterization of biochar from fast pyrolysis and gasification systems. Environmental Progress & Sustainable Energy 28: 386–396.

15. Cantrell KB, Hunt PG, Uchimiya M, Novak JM, Ro KS. (2012.): Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. Bioresource Technology 107: 419–428.

16. Chan, K.Y., L. Van Zwieten, I. Meszaros, A. Downie, and S. Joseph. (2008.): Using poultry +litter biochars as soil amendments. Soil Res. 46: 437–444.

17. Cheng Y, Cai ZC, Chang SX, Wang J, Zhang JB. (2012.): Wheat straw and its biochar have contrasting effects on inorganic N retention and N2O production in a cultivated Black Chernozemlogy and Fertility of Soils 48: 941–946.

18. Chintala, R., T.E. Schumacher, L.M. McDonald, D.E. Clay, D.D. Malo, S.K. Papiernik, S.A. Clay, and J.L. Julson. (2014.): Phosphorus sorption and availability from biochars and soil/biochar mixtures. Clean-Soil Air Water. 42: 626–634.

19. Dalal RC, Allen DE, Livesley SJ, Richards G. (2008.): Magnitude and biophysical regulators of methane emission and consumption in the Australian agricultural, forest, and submerged landscapes: A review. Plant and Soil 309: 43–76.

20. Demirbas, A. (2004.): Effects of temperature and particle size on biochar yield from pyrolysis of agricultural residues. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 72: 243–248.

21. Đurđević, B. (2014.): Praktikum iz ishrane bilja. Sveučilište J.J. Strossmayera, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.

22. Field, C.B., Campbell, J.E., Lobell, D.B. (2008.): Biomass energy: The scale of the potential resource. Trends Ecol. Evol. 23: 65–72.

23. Firestone MK. (1982.): Biological denitrification. In: Stevenson FJ, ed. Nitrogen in Agricultural Soils. Crop Science Society of America, Madison, WI, 55: 289–326.

24. Fuertes, A.B., Arbestain, M.C., Sevilla, M., Macia-Agullo, J.A., Fiol, S., Lopez, R., Smernik, R.J., Aitkenhead, W.P., Arce, F., Macias, F. (2010.): Chemical and structural properties of carbonaceous products obtained by pyrolysis and hydrothermal carbonisation of corn stover. Aust. J. Soil Res. 48: 618–626.

25. Gaskin, J.W., R.A. Speir, K. Harris, K.C. Das, R.D. Lee, L.A. Morris, and D.S. Fisher. (2010.): Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. Agron. J. 102: 623–633.

26. Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W. (2002.): Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: A review. Springer, Berlin 2002.

27. Gomez, J.D., K. Denef, C.E. Stewart, J. Zheng, and M.F. Cotrufo. (2014.): Biochar addition rate influences soil microbial abundance and activity in temperate soils. Eur. J. Soil Sci. 65: 28–39.

28. Hamer, U., Marschner, B., Brodowski, S. and Amelung,W. (2004): Interactive priming of black carbon and glucose mineralisation, Organic Geochemistry, 35: 823–830

29. Hass, A., J.M. Gonzalez, I.M. Lima, H.W. Godwin, J.J. Halvorson, and D.G. Boyer. (2012.): Chicken manure biochar as liming and nutrient source for acid Appalachian soil. J. Environ. Qual. 41: 1096–1106.

30. Hua, L., Z. Lu, H. Ma, and S. Jin. (2014.): Effect of biochar on carbon dioxide release, organic carbon accumulation, and aggregation of soil. Environ. Prog. Sustain. Energy. 33: 941–946.

31. IPCC. 2007. Climate Change (2007.): Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. pp. 35–42.

32. Jien, S.H., and C.S. Wang. (2013.): Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. Catena. 110: 225–233.

33. Joseph, S., Graber, E.R., Chia, C., Munroe, P., Donne, S., Thomas, T., Nielsen, S., et al. (2013.): Shifting paradigms: Development of high-efficiency biochar fertilizers based on nano-structures and soluble components. Carbon Manag. 4: 323–343

34. Karhu K, Mattila T, Bergström I, Regina K. (2011.): Biochar addition to agricultural soil increased CH4 uptake and water holding capacity—Results from a short-term pilot field study. Agriculture, Ecosystems & Environment 140: 309–313.

35. Keiluweit M, Nico PS, Johnson MG, Kleber M. (2010.): Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). Environmental Science & Technology 44: 1247–1253.

36. Khodadad, C.L.M., Zimmerman, A.R., Green, S.J., Uthandi, S., Foster, J.S. (2011.): Taxa-specific changes in soil microbial community composition induced by pyrogenic carbon amendments. Soil Biol. Biochem. 43: 385–392.

37. Kloss S, Zehetner F, Dellantonio A, et al. (2012.): Characterization of slow pyrolysis biochars: Effects of feedstocks and pyrolysis temperature on biochar properties. Journal of Environmental Quality 41: 990–1000.

38. Kolb, S. (2007.): Understanding the Mechanisms by which a Manure-Based Charcoal Product Affects Microbial Biomass and Activity, PhD thesis, University of Wisconsin, Green Bay, 2007.

39. Kuzyakov Y, Bogomolova I, Glaser B. (2014.): Biochar stability in soil: Decomposition during eight years and transformation as assessed by compound-specific 14C analysis. Soil Biology and Biochemistry 70: 229–236.

40. Laird, D., Fleming, P., Wang, B., et al. (2010.): Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. Geoderma 158: 436–442.

41. Lehmann, J. (2007.): A Handful of Carbon. Nature 447 (7141): 143–144.

42. Lehmann, J., Joseph, S. (2009.): Biochar for environmental management: Science and technology. Sterling, VA: Earthscan.

43. Lehmann J, Pereira da Silva J, Steiner C, Nehls T, Zech W, Glaser B. (2003.): Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the central amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant and Soil 249: 343–357.

44. Liang B., Lehmann J., Solomon D., Kinyangi J., Grossman J., O'Neill B., Skjemstad J.O., et al. (2006.): Black carbon increases cation exchange capacity in soils. Soil Science Society of America Journal 70: 1719–1730.

45. Liu, P., Liu, W. J., Jiang, H., Chen, J. J., Li, W. W. and Yu, H. Q. (2012.): Modification of bio-char derived from fast pyrolysis of biomass and its application in removal of tetracycline from aqueous solution. Bioresource Technology 121: 235–240.

46. Mok, W.S.L., Antal, M.J., Szabo, P., Varhegyi, G., Zelei, B. (1992.): Formation of charcoal from biomass in a sealed reactor. Ind. Eng. Chem. Res. 31: 1162–1166.

47. Novak, J.M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J.W., Steiner, C., Das, K.C., Ahmedna, M., et al. (2009.): Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. Ann. Environ. Sci. 3: 195–206.

48. Rondon M, Ramirez JA, Lehmann J. (2005.): Charcoal additions reduce net emissions of greenhouse gases to the atmosphere. Proceedings of the 3rd USDA Symposium on Greenhouse Gases & Carbon Sequestration in Agriculture and Forestry, 21–24 March 2005; Baltimore, MD, pp. 208.

49. Rondon M, Molina D, Hurtado M, Ramirez J, Lehmann J, Major J, Amezquita E. (2006.): Enhancing the productivity of crops and grasses while reducing greenhouse gas emissions through biochar amendments to unfertile tropical soils. Proceedings of the 18th World Congress of Soil Science, Philadelphia, PA, USA, 9–15 July 2006.

50. Sevilla, M., i Fuertes, A.B. (2009.): The production of carbon materials by hydrothermal carbonization of cellulose. Carbon. 47: 2281–2289.

51. Song, Y., Wang, F., Bian, Y., Kengara, F.O., Jia, M., Xie, Z., Jiang, X. (2012.) Bioavailability assessment of hexachlorobenzene in soil as affected by wheat straw biochar. Journal of Hazardous Materials 217: 391–397.

52. Spokas KA, Koskinen WC, Baker JM, Reicosky DC. (2009.): Impacts of woodchip biochar additions on greenhouse gas production and sorption/degradation of two herbicides in a Minnesota soil. Chemosphere 77: 574–581.

53. Streubel, J.D., H.P. Collins, M. Garcia-Perez, J. Tarara, D. Granatstein, and C.E. Kruger. (2011.): Influence of contrasting biochar types on five soils at increasing rates of application. Soil Sci. Soc. Am. J. 75: 1402–1413.

54. Uzoma, K.C., M. Inoue, H. Andry, H. Fujimaki, A. Zahoor, and E. Nishihara. (2011.): Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. Soil Use Manag. 27: 205–212.

55. Van Zwieten L, Singh B, Joseph S, Kimber S, Cowie A, Chan KY. (2009.): Biochar and emissions of non-CO2 greenhouse gases from soil. In: Lehmann J, Joseph S, eds. Biochar for Environmental Management—Science and Technology. Earthscan. London, 85: 227–249.

56. Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., Vassileva, C. G. (2010.): An overview of the chemical composition of biomass. Fuel, 89: 913–933.

57. Verhoeven EC, Six J. (2014.): Biochar does not mitigate fieldscale N2O emissions in a Northern California vineyard: An assessment across two years. Agriculture, Ecosystems and Environment 191: 27–38.

58. Vukadinović, V., Vukadinović, V. (2011.): Ishrana bilja. Sveučilište J.J. Strossmayera. Poljoprivredni fakultet, Osijek.

59. Yong Sik Ok, Sophie M. Uchimiya Scott X. Chang, Nanthi Bolan (2016.): Biochar: Production, Characterization, and Applications. CRC Press, Boca Ranton.

60. Yuan Q, Pump J, Conrad R. (2014.): Straw application in paddy soil enhances methane production also from other carbon sources. Biogeosciences 11: 237–246.

Internet izvori:

https://www.intechopen.com/source/html/49186/media/fig1.png (7. 6. 2017)

http://hgtvhome.sndimg.com/content/dam/images/grdn/fullset/2013/3/31/0/biochar.jpg.rend.hgtvcom.1280.853.suffix/1452646822536.jpeg (11. 7. 2017)

https://www.ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2014/04/biochar-is-there-a-dark-

https://growingfoodandsuch.files.wordpress.com/2012/04/char-burn-018.jpg (21. 6. 2017)

http://www.biochar-international.org/sites/default/files/corn_cob_char_Zambia.JPG (21. 6. 2017)

https://www.researchgate.net/profile/Pushpak_Bhandari/publication/266010731/figure/fig1/AS:392196617457673@1470518368927/Fig1-Scanning-electron-microscopy-image-of-gasifier-derived-biochar-showing-pore.ppm (7. 7. 2017)

http://www.biochar-international.org/sites/default/files/U3%20running%20crop.jpg (7. 7. 2017)

https://www.intechopen.com/source/html/49186/media/fig1.png (15. 7. 2017)