



## Mogućnosti primene biougla u sistemima održive poljoprivrede

Nenad Prekop<sup>a\*</sup>, Srđan Šeremešić<sup>a</sup>, Vladimir Ćirić<sup>a</sup>,  
Bojan Vojnov<sup>a</sup>, Dragan Radovanović<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Srbija

<sup>b</sup>Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, Srbija

\*Autor za kontakt: [nenad.prekop@yahoo.com](mailto:nenad.prekop@yahoo.com)

### SAŽETAK

Jedan od najznačajnih problema sadašnjice u poljoprivrednoj proizvodnji je smanjenje sadržaja organske materije u zemljištu, kao i ubrzavanje klimatskih promena, podpomognutim gasovima sa efektom staklene bašte, nastalih u procesima poljoprivrede. Iz ovog razloga je bilo neophodno pronaći rešenje koje će uticati na povećanje sadržaja organske materije u zemljištu i povećanje prinosa, a smanjiti otpuštanje gasova sa efektom staklene bašte u atmosferu. Proučavanjem i unapređenjem starih tehnologija iz Amazonije nastao je materijal koji nije đubrivo, ali ima značajan uticaj na osobine zemljišta, poznat pod nazivom biougalj (biochar). Biougalj nastaje u procesima pirolize organske materije pri niskim koncentracijama kiseonika, u kojima se složene organske forme ugljenika vezuju u prostije, pritom redukujući otpuštanje CO<sub>2</sub> u atmosferu. Biougalj kao komponenta sa visokim sadržajem ugljenika i visokim apsorpcionim kapacitetom povoljno utiče na fizičke i hemijske osobine zemljišta kao što su: pH, gustina, poroznost, vlažnost i temperatura, ali i na pristupačnost mikro i makroelemenata za biljke, kao i na povećanje aktivnosti i prisutnost mikroorganizama u zemljištu. Pored navedenih karakteristika biougalj se može koristiti kao remedijacioni materijal u zemljištima zagađenim organskim i neorganskim polutantima i teškim metalima. Osobine biougla su dobro proučene u zemljištima tropskih predela, ali slabo proučene u zemljištima umerenog i hladnog klimata, stoga je neophodno vršiti dalja istraživanja na ovim tipovima zemljišta.

**KLJUČNE REČI:** biougalj, organska poljoprivreda, zemljište, organski ugljenik, organska materija

### Uvod

Biougalj je sintetička vrsta drvenog uglja koja nastaje takozvanom pirolizom biomase, gde se ona podvrgava velikoj temperaturi radi razbijanja kompleksnog hemijskog sastava na jednostavnije supstrate činioce (Luo et al. 2016). Materijal koji dobijemo na ovaj način je sličan drvenom uglju i predstavlja formu ekstrakcije i prerade ugljenika (C), a upravo zbog toga biougalj izaziva veliku pažnju stručnjaka usled sve jasnijeg problema klimatskih promena uzrokovanih emisijama ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>) i gasova koji stvaraju takozvani efekat staklene bašte (Brassard et al. 2016). Sagorevanje i prirodno truljenje drveta i poljoprivredne biomase doprinosi velikim količinama CO<sub>2</sub> oslobođenim u atmosferu, s obzirom da biougalj može da C drži izolovan u zemlji stotinama i hiljadama godina, postao je veoma interesantan kao način usporavanja globalnog zagrevanja. Biougalj zadržava C u zemlji umanjujući nivo atmosferskog zagađenja gasovima koji izazivaju efekat staklene bašte, a takođe, istovremeno njegovo prisustvo u zemljištu unapređuje kvalitet zemlje, utiče na pH, aeraciju zemljišta, dostupnost nutrijenata, uvećava plodnost zemljišta i prinose gajenih biljaka (Lehman et al. 2011). Sprovedena istraživanja (Ka Yan Man et al. 2020) su dokazala da biougalj, pored primene u poljoprivredi, takođe ima primenu kao suplement u stočnoj ishrani, gde se iz biougla koji se dodaje kao suplement u hranu dobija dodatan izvor minerala, a time i zdrav sistem za varenje, manju stomačnu nadutost i manje prisustvo amonijaka u mokraći. Amazonska plemena iz pre-Kolumbovog perioda koristila su biougalj radi povećanja plodnosti obradivog zemljišta, a španski doseljenici su ga zvali Terra Preta de Indio, to jest, Indijska tamna zemlja. Dobijali su ga postupkom identičnim onom za dobijanje čumura, dakle pokrivanjem zemljom predhodno zapaljene biomase koja ispod nje i dalje sagoreva, čime je nastajala tamna zemlja u vidu finog crnog taloga bogatog ugljenikom (Sombroek et al. 2003; Kern et al. 2003).

## Prednosti upotrebe biougolja

Svaka biljka tokom svog života absorbira  $\text{CO}_2$  iz vazduha, ali kada biljka ugine, u postupku razgradnje organske materije ona oslobađa  $\text{CO}_2$ , tako da je ukupan nivo prisustva  $\text{CO}_2$  na približno istom nivou. Umesto da se dozvoli prirodno otpuštanje nakupljenog ugljen-dioksida nakon završene vegetacije biljaka, pirolizom se postiže zadržavanje usvojenog  $\text{CO}_2$  iz vazduha u tim biljkama u znatno stabilnijoj formi i time skladišti izdvojen  $\text{CO}_2$  u biougalj (Mohan et al. 2006; Preston and Schmidt 2006). Takođe, postupak pravljenja biougolja se može kombinovati sa dobijanjem biogoriva uz pomoć termičkog procesa i time dobijanja materijala u čvrstom (biougalj), tečnom (bio-nafta) i gasovitom stanju (singas). Udeo ovih proizvoda zavisi od visine temperature na kojoj se obavlja piroliza (Verheijen et. al. 2009; Karolić, 2008; Lehmann and Joseph, 2009b). Primena ovog postupka razlaganja organske materije takođe je i poželjna varijanta procesiranja gradskog otpada u jeftin vid energije koji bi pored toga potpomogao smanjivanje deponija. Biougalj ima prilično dugo vreme prisustva u zemljištu. Analize rađene na zemljištu u Amazoniji pokazuju velike koncentracije biougolja koji je zakopan tu više hiljada godina. Dužina opstanka biougolja u zemljištu zavisi od više faktora (sastav biomase, proces mineralizacije i sastav zemljišta), a vreme prisustva biougolja u zemljištu se procenjuju od 100 do 6000 godina (Lehmann and Rondon 2005). Pored potencijala izolacije C, biougalj ostvaruje dodatne koristi kada dospe u zemljište jer je utvrđeno da smanjuje iscrpljivanje hranjivih materija iz zemljišta, uvećava dostupnost hranjivih materija biljkama kao i zadržavanje vode u zemlji, a smanjuje i potrebne količine đubriva, unapređuje rastresitost zemljišta i njenu plodnost (Amonette and Joseph, 2009). Pored ovoga, dokazano je da smanjuje emisije azotnih oksida i metana iz zemljišta (Van Zwieten et al. 2009) čime se dodatno smanjuje prisustvo uzročnika efekta staklene bašte. Biougalj takođe podiže i pH vrednost zemljišta, što je naročito pogodno za primenu na kiselim zemljištima kod nas. Na određenom nivou pH vrednosti ispod 6 pH jedinica, biljkama je mnogo teže da usvoje hranjive materije iz zemljišta, iako su hranjive materije u zemljištu, biljke teško ili nikako ne dolaze do njih (Liang et al. 2006; Gundale and DeLuca 2007; Warnock et al. 2007; Amonette and Joseph 2009). Pored korišćenja u poljoprivredi, biougalj može još da se koristi kao dodatak stočnoj ishrani gde pospešuje varenje i higijenu, povećava imunitet, smanjuje hronični botulizam i proizvodnju metana. U koliko se koristi kao gorivo za zagrevanje u toplanama, pruža visoku kalorijsku toplotnu vrednost ili se upotrebljava kao građevinski material obezbeđuje odličnu izolaciju, reguliše vlažnost i apsorbira mirise i toksine, poboljšava karakteristike i čvrstoću mešavini betona. Upotrebljava se i u industriji kao adsorbent u sistemima za kontrolu emisija gasova koji izazivaju efekat staklene bašte, zatim za oplemenjivanje C u metalurgiji i proizvodnji karbida, služi kao izvor C u proizvodnji automobilskih guma, gume i plastike. Biougalj je takođe glavni izvor za proizvodnju čistog C (na primer za ugljenična vlakna), natrijum-cijanida, ugljenik-disulfida ili silicijuma, kao obloga za kalupe u livnicama metala i kaljenje čelika, kao cementni granulati, za proizvodnju pirotehničkih sredstava, kao i za proizvodnju elektroda i baterija. (Kaltschmitt et al. 2009.)

## Nedostaci korišćenja biougolja

Kako bi se poboljšale poljoprivredne i ekološke koristi kod korišćenja biougolja, potrebno je prevazići potencijalne nepoželjne efekte. Još uvek nije jasno na koji način dolazi do karbonizacije biomase i zbog toga se ne može sa sigurnošću reći da li biougalj može da pomogne u ublažavanju emisije gasova  $\text{CO}_2$  (Grau-Andres et al., 2021). Desetogodišnje istraživanje sprovedeno u Švedskim šumama je pokazalo da zakopan ugalj dovodi do povećanja raspadanja humusa, biljnog materijala na šumskom tlu, čime se u potpunosti remeti C odvojen u uglju. To znači da dolazi do degradacije šumskog tla i povećavanja aktivnosti mikroba koji prouzrokuju oslobađanje  $\text{CO}_2$ . Dodavanjem biougolja dovodi do zatamnjenja zemljišta čime se smanjuje reflektivnost zemljišta, što znači da zemljište više nema mogućnost da odbije sunčevo zračenje čime se pogoršava globalno zagrevanje. Prema istraživanjima (Kheres, Mother Earth News, 2012.) tvrdnje o dugovečnosti biougolja su takođe diskutabilne. Isti autor smatra da tvrdnje da biougalj može u zemljištu da opstane hiljadama godina, može da se smanji na 10 do 100 godina, zapravo isto koliko vremena treba i kompostu da se razgradi. U zavisnosti od tipa zemljišta i tipa biljne vrste koja se gaji na tom zemljištu, možemo videti da li ćemo koristiti biougalj ili ne. Sprovedena terenska istraživanja na iskrčenoj sekundarnoj šumi sa 15 različitih kombinacija kokošijeg izmeta, komposta, šumskih otpadaka, mineralnih đubriva i biougolja koji su nanešeni na pirinač i sirak su praćena tokom četiri žetvena ciklusa. Primena kokošijeg stajnjaka je uticala na najveće povećanje prinosa kukuruza ( $12,4 \text{ t ha}^{-1}$ ), dok je primena komposta na drugom mestu i njegova primena je doprinela povećanju prinosa za polovinu manju od prinosa koji je ostvaren primenom kokošijeg stajnjaka, ali opet četiri puta više nego mineralna đubriva (Ye et al., 2020)

Lišće i biouglj je nisu doprineli povećanju prinosa posle druge žetve. Šta više, u kombinaciji sa kompostom, biouglj je smanjio prinose za 40% u odnosu na korišćenje samo komposta (Agegnehu et al. 2017). Prema istraživanjima (Liang et al. 2006; Downie et al. 2009), primena biougla u sušnim regionima najveće koristi prikazuje na veoma peskovitom zemljištu zbog svoje mogućnosti da poboljša sposobnost zemljišta da zadrži vodu, takođe je primena biougla naročito poželjna na kiselim i teškim zemljištima gde utiče na poboljšanje fizičko-hemijskih osobina, dok se na plodnim zemljištima njegova primena ne smatra neophodnom, ali za pravljenje biougla potrebno je mnogo biomase, a fabrike za preradu biomase u biouglj moraju biti blizu izvora biomase da bi se smanjilo vreme raspadanja biljaka. Logično je da u ovom slučaju fabrike za proizvodnju budu daleko od suvih i peskovitih zemljišta kako bi imale pristup biomasi čime se povećavaju troškovi transporta biougla do ovakvih zemljišta i time se dovodi u pitanje sama ekonomska isplativost primene biougla na ovakvim zemljištima (Huang & Hartemink, 2020). Dugoročno uklanjanje ostataka useva kao što su stabljike, lišće i mahune, koje će se koristiti u proizvodnji biougla može da dovede do degradacije zemljišta tako što će se uklanjanjem biomase sa njiva smanjiti količina žetvenih ostataka, a samim tim i nivo organske materije u zemljištu, što će dalje rezultirati smanjenjem broja i vrsta mikroorganizama u zemljištu i poremetiti sam ciklus hranjivih materija. Neke vrste biougla mogu da budu i izvori zagađivanja zemljišta sa teškim metalima, agresivnim organskim jedinjenjima, rastvorenim organskim ugljenikom i policikličnim aromatičnim ugljovodonikom (Cayuela et al., 2014).

Zbog svoje poroznosti neke vrste biougla mogu da absorbuju pesticide i herbicide i time smanjuju njihovu učinkovitost (Hilber et al. 2009). Većina istraživanja biougla je vršena u laboratorijskim uslovima i ona su bila kratkoročna (manja od 2 godine) i zbog toga dugoročan učinak biougla treba da bude istražen. Uzimajući u obzir da postoji mnogo različitih prednosti i mana kod korišćenja različitih vrsta biougla, potrebna su detaljna ispitivanja, kao što je na primer, na koje zemljište i/ili usev treba da se koristi određena vrsta biougla.

### Primena biougla i njegov efekat na osobine zemljišta

Bitno je naglasiti da biouglj nije đubrivo i iz tog razloga, pre dodavanja u zemljište biouglj treba da se aktivira. Pre mešanja sa zemljištem i hranjivim materijama, biouglj treba da se meša sa kompostom ili nekim drugim supstancama koje sadrže azot. Biouglj ima ulogu nosača i rezervoara za hranjive materije i poželjno je da je malo vlažan da bi smanjio prašinu kod upotrebe i da se smanji usvajanje vode iz zemljišta da ne bi biljke ostavile bez vode. Može se slobodno reći da je biouglj svojevrsan lek za zemljišta koja su uništena prekomernom primenom pesticida, njegova velika apsorpciona moć služi da se iz zemljišta i vode izvuku teški metali, da promeni morfološki sastav zemljišta, omogući korenju da "diše". Zbog toga se ne preporučuje primena biougla na zemljišta koja su dobre plodnosti, jer kao što je prethodno istaknuto biouglj se ne smatra đubrivom već oplemenjivačem zemljišta koji u određenim uslovima može uticati na poboljšanje njegovih fizičkih i hemijskih osobina. Biouglj može povećati prinose useva u peskovitim, kiselim i zemljištima sa niskim sadržajem organske materije, ali u glinovitim zemljištima, sa neutralnom pH vrednošću i visokim sadržajem organske materije, biouglj može imati male efekte, nema efekta ili čak smanjiti prinose gajenih biljaka (Yu et al., 2019).

### Primena biougla na zagađenom zemljištu u cilju poboljšanja zemljišta

Do sada se zagađeno zemljište tretiralo aktivnim ugljem da bi se očistilo, a ta procedura se smatra poprilično skupom tako da je to podstaklo naučnike da potraže ekonomičniji način za tretiranje zemljišta. U poljoprivrednoj proizvodnji postoji dosta otpadnih biomasa koje se mogu koristiti za proizvodnju biougla, tako da ovo možemo posmatrati kao obnovljivi izvor. Sa velikom količinom sirovine i relativno jeftinim načinom proizvodnje, biouglj je jeftinija zamena aktivnog uglja i koristi se u otklanjanju metalnih i organskih zagađujućih materija iz vode, sedimenta i zemljišta (Dong et al., 2011; Regmi et al., 2012; Hadjittofi et al., 2014; Trakal et al., 2014). Primena biougla u tretmanu sedimenta stimuliše aktivnost određenih mikroorganizama, podstiče abiotičke redukcione reakcije, ubrzava redukciju organskih supstrata redoks reakcijama i katališe biogeohemijske i redoks reakcije perzistentnih organskih zagađujućih materija (Gorovtsov et al., 2020). Istraživanja su pokazala da dodatkom više od 25% biougla na zemljišta koja su zagađena oktadekanom ili oktadekanskom kiselinom vrši 100%-nu apsorpciju tih jedinjenja, a druga istraživanja su pokazala smanjenje biodostupnog atrazina za 89,8% i imidokloprida za 89,5% (Ahmad et al., 2014). Biouglj se pokazao kao veoma dobar otklanjivač agrohemijskih materija sa kojima su zemljišta zagađena. Ove hemikalije su se nataložile u zemljištu usled prekomernog korišćenja herbicida, insekticida i drugih toksičnih molekula (Herath et al., 2016). Veoma uspešno se pokazao u otklanjanju atrazina iz

zemljišta biougalj koji je napravljen od stajskog đubriva, ovi ali i drugi povoljni uticaji primene biouglja u bioremedijaciji zagađenih zemljišta prikazani su u Tabeli 1..

Šeremešić i sar. (2014) navode da pored navedenih osobina, proizvodnja i primena biouglja može imati za posledicu:

- (1) smanjenje emisije metana
- (2) smanjenje emisije azot-suboksida (prosečno 50%)
- (3) smanjuje potrebe za đubrenjem (prosečno 10%)
- (4) dugoročno skladišti ugljenik 33
- (5) smanjuje kiselost zemljišta: podiže pH - smanjuje toksičnost aluminijuma
- (6) podiže sadržaj lakopristupačnog Ca, Mg, P i K
- (7) povećava kapacitet adsorpcije katjona (CEC)
- (8) poboljšava sposobnost zemljišta za držanje vode
- (9) poboljšava formiranje strukturnih agregata uz pomoć hifa gljiva
- (10) poboljšava disanje zemljišnih mikroorganizama - povećava broj zemljišnih mikroorganizama
- (11) stimuliše simbioznu azotofiksaciju kod leguminoza
- (12) povećava arbuskularnu mikorizu kod gljiva

**Tabela 1.** Bioremedijacioni efekti primene biouglja na zemljištu (Alefsi et al., 2020)

**Table 1.** Bioremediation effects of applying biochar on soil

| Upotreba                                   | Supstanca   | Tip biouglja                | Uticaj   | Reference               |
|--|-------------|-----------------------------|--|-------------------------|
| <b>Bioremedijacija teških metala</b>       | Bakar       | Pirinčana slama             | Prisustvo funkcionalne grupe sa visokim afinitetom apsorpcije Cu u biougalj        | Jiang et al., (2012)    |
|  | Kadmijum    | Otpad orezivanja u voćnjaku | Značajno smanjenje biodostupnosti  | Fellet at al., (2011)   |
|  | Arsen       | Drvo                        | Značajno smanjenje As  | Hartley et al., (2009)  |
|  | Olovo       | Hrast                       | Smanjenje biodostupnosti za 75%  | Ahmad et al., (2012)    |
|  | Hrom        | Kokošiji stajnjak           | Smanjenje valentnosti Cr (IV) na Cr (III)  | Choppala et al., (2012) |
|  | Cink        | Kanalizacioni mulj          | Značajno smanjenje prisustva metala u biljkama                                     | Mendez et al., (2012)   |
|  | Nikl        | Ljuske semena pamuka        | Površne funkcionalne grupe biouglja kontrolišu sekvestraciju metala                | Uchimiya et al., (2011) |
| <b>Bioremedijacija organskih supstanci</b> | Atrazin     | Stočni stajnjak             | Sorpcija molekula i particija atrazina pozitivno povezana sa ugljenikom u biouglju | Cao et al., (2011)      |
|  |             | Piljevina                   | Adsorpcija molekula  | Spokas et al., (2009)   |
|  |             | Seno                        | Povećava apsorpciju herbicida  | Zheng et al., (2010)    |
|  | Diuron      | Drvo eukaliptusa            | Jača adsorpcija i slabija desorpcija agrohemikalije                                | Yu et al., (2011)       |
|  | Hlorpirifos | Eucalyptus                  | Adsorpcija površinom   | Yu et al., (2009)       |
|  | Karbonfuran | camaldulensis               | biouglja   |                         |

**Efekat primene biougolja na fizičko-hemijske osobine i mikrobiološka svojstva zemljišta**

Zbog velike poroznosti i specifične površine, primena biougolja na zemljište može da promeni mogućnost zadržavanje vode jer primenom biougolja se smanjuje gustina zemljišta. Takođe, istraživanje je pokazalo da primena biougolja napravljenog od ljuske oraha i trave može da poveća temperaturu zemljišta zbog svoje izrazito crne boje koji će onda da zadržava sunčevu energiju (Rajapaksha et al., 2016).

Ovo povećanje temperature zemljišta može da pogoduje kolonijama mikroba i klijanje semena u zemljištima koja imaju nisku temperaturu. Takođe, korišćenje biougolja napravljenog od orezivanja maslinjaka na zemljištima koja su dosta sabijena omogućava rastresivanje zemljišta i pomaže pri širenju korenja (Olmo et al., 2014). Upotrebom biougolja na kiselim, lakim i peskovitim zemljištima poredred fizičkih osobina zemljišta kao što su povećanje sadržaja organskog C, povećanja poroznosti, vlažnosti i temperature dolazi i do hemijskih promena u zemljištu kao što su smanjenje kiselosti, povećanje biodostupnost mikro i makroelemenata, veće razmene katjona što dovodi do poboljšanja plodnosti zemljišta, a na ovaj način biljke lakše dolaze do neophodnih nutrienata. (Sierra et al. 2003; Steiner 2007; Steiner et al. 2008a). Analize koje je sproveo i objavio (Van Zwieten et al. 2010) pokazala su da primena biougolja povećava plodnost zemljišta tako što povećavaju pH vrednost i mogućnost razmene kationa u zemljištu, pogotovo na primeni količine od 10 t ha<sup>-1</sup>. Tabela 2, prikazuje najvažnije uticaje primene biougolja na fizičko-hemijske i mikrobiološke osobine zemljišta.

**Tabela 2.** Glavni uticaji primene biougolja na fizičke i hemijske osobine zemljišta (Alefsi et al., 2020)

**Table 2.** The main effects of biochar application on the physical and chemical properties of the soil

|                 | <b>Ciljana osobina</b>       | <b>Efekat</b>   | <b>Reference</b>           |
|-----------------|------------------------------|---|----------------------------|
| <b>Fizičke</b>  | Gustina                      | Smanjenje gustine zbog poroznosti biougolja                                   | Kuzyakov (2009)            |
|                 | Boja                         | Promene u boji površine zemljišta   | Vacari et al., (2011)      |
|                 | Zadržavanje vode             | Omogućava zadržavanje vode zbog svoje velike poroznosti i specifične površine | Kuzyakov (2009)            |
|                 | Rastresitost zemljišta       | Smanjuje rastresitost zemljišta   | Busscher et al., (2010)    |
|                 | Kompaktnost zemljišta        | Smanjuje kompaktnost zemljišta  | Olmo et al., (2014)        |
|                 | Otpornost prodiranja         | Smanjuje otpornost prodiranja sa primenom biougolja                           | Busscher et al., (2010)    |
|                 | Temperatura                  | Povećava temperaturu zemljišta u ranim fazama klijanja i rasta pšenice        | Vacari et al., (2011)      |
| <b>Hemijska</b> | pH                           | Alkalizacija zemljišta povećanjem pH  | Sorrenti et al., (2016)    |
|                 | Električna provodljivost     | Povećava električnu provodljivost u zemljištu sa prisustvom biougolja         | Oguntunde et al., (2004)   |
|                 | CEC                          | Povećava kapacitet razmene kationa  | Liang et al., (2006)       |
|                 | Ukupni organski C            | Povećava sadržaj ugljenika  | Van Zwieten et al., (2010) |
|                 | Rastvoreni organski ugljenik | Povećava količinu rastvorenog organskog ugljenika u zemljištu                 | Rajapaksha et al., (2016)  |
|                 | NO <sub>3</sub>              | Smanjenje ispiranja NO <sub>3</sub> za 75% u drugoj godini                    | Ventura et al., (2013)     |



|                 |  |   |                            |
|-----------------|--|---|----------------------------|
|                 | Međusobno razmenjivi Na                  | Povećava razmenjivi natrijum                      | Chan et al., (2008)        |
|                 | Međusobno razmenjivi K                   | Povećava međusobno razmenjivi kalijum             | Van Zwieten et al., (2010) |
|                 | Rastvorljivi K                           | Povećava rastvorljivi kalijum u zemljištu         | Asai et al., (2009)        |
| <b>Hemijska</b> | Dostupni P                               | Povećava količinu pristupačnog fosfora            | Ch'ng et al., (2015)       |
|                 | Međusobno razmenjivi Ca                  | Povećava količinu razmenjivog kalcijuma           | Van Zwieten et al., (2010) |
|                 | Međusobno razmenjivi Mg                  | Povećava količinu razmenjivog magnezijuma         | Chan et al., (2008)        |
|                 | Međusobno razmenjivi Al                  | Smanjuje pristupačni aluminijum                   | Van Zwieten et al., (2010) |
|                 | Međusobno razmenjivi H <sup>+</sup> joni | Smanjuje međusobno razmenjive H <sup>+</sup> jone | Ch'ng et al., (2015)       |

Nažalost, u odnosu na fizičke i hemijske uticaje, jako je malo istraživanja sprovedeno u vezi uticaja bioglja na mikroorganizme. Ono što se sa sigurnošću može reći jeste da, uticaj bioglja na aktivnost mikroorganizama u zemljištu zavisi od tipa zemljišta, useva i vrste bioglja koji se koristi. Istraživanja sprovedena od strane (Aderson et al. 2011), pokazuju da primena bioglja promovira bakterije koje rastvaraju fosfate, menjajući fluks ugljenika u zemljištu da bi se povećala brojnost vrsta iz rodova: *Streptosporangineae* (~6%), *Thermomonosporaceae* (~8%), *Bradyrhizobiaceae* (~8%) i *Hyphomicrobiaceae* (~14%), (Lehman et al., 2011). Poslednje dve familije bakterija su važni učesnici u kruženju azota u procesu denitrifikacije NO<sub>3</sub> u N<sub>2</sub>. Ovo ukazuje da primena bioglja pospešuje rast bakterija koje rastvaraju fosfate koji menjaju tok ugljenika u zemljištu i povećavaju količinu mikroorganizama koje mogu razgraditi jedinjenja ugljenika i smanjuje patogene bakterije kod biljaka (Elad et al., 2011).

### Uticaj primene bioglja na prinos useva

Kada znamo koje sve vrste bioglja postoje i kakve te vrste imaju uticaj na određenim zemljištima, jedino što nam preostaje jeste da svo to naše znanje primenimo na istraživanja o tome kakav će uticaj imati koji biogalj na kom zemljištu i za koje useve. Mnoga istraživanja koja su sprovedena na raznim kontinentima, različitim zemljištima i uslovima gajenja (u staklenicima ili na otvorenom polju) su se fokusirala na fizičko-hemijske osobine bioglja i njegov uticaj na hranjive materije u zemljištu i prinos useva (Jha et al., 2010). Istraživači (Raboin et al. 2016) su došli do saznanja da se prinos kukuruza povećao sa 46% na 58% posle primene bioglja na 50 Mg ha<sup>-1</sup> zajedno sa stajnjakom na kiselom zemljištu. Do povećanja prinosa je došlo usled kalcifikacijskog efekta bioglja, koji je povećao dostupnost hranjivih materija i poboljšao kapacitet razmene katjona u zemljištu. U poređenju sa đubrenjem sa veštačkim đubrivom (Agegnehu et al. 2015) je primetio povećanje prinosa kikirikija 22% i 24% kada se primenio biogalj od drveta količine od 25 Mg ha<sup>-1</sup>. Biogalj napravljen od drveta poboljšava mogućnost zemljišta da zadrži vodu i smanji ispiranje N i P (Wang et al. 2020).

### Mogućnost upotrebe bioglja u organskoj poljoprivredi

Od 2020. godine je u Evropskoj Uniji definisan i regulisan biogalj, a sa time se dobila definicija šta je i čemu služi, što je zapravo bio i jedan od preduslova da bi se biogalj mogao koristiti u organskoj poljoprivredi. S obzirom da se pod organskom poljoprivredom podrazumeva uzgajanje useva bez dodavanja rastvorljivih minerala i veštačkih pesticida, minimalnom štetom po ekosistem i kritika da ovaj vid proizvodnje donosi manje prinose, bilo je potrebno istražiti uticaj bioglja na ovaj vid poljoprivredne proizvodnje. Najveći broj naučnih istraživanja o primeni bioglja u poljoprivredi, odnosio se na konvencionalan tip proizvodnje, a samo nekolicina naučnika je uradilo istraživanja primene bioglja u

organskoj poljoprivrednoj proizvodnji. U zavisnosti od tipova useva, zemljišta, biougolja i vremena koje je biougolj proveo u zemljištu i kombinacijom ovih faktora dobijali su se različiti rezultati.

Ispitivanja su pokazala da povećanja prinosa su bila manja kod biougolja koji su bazirani na drvetu ili biomasi nego kod biougolja napravljenog od stajskog đubriva (Wang et al. 2022).

Pored toga, utvrđeno je da usevi koji rastu na kiselim i teškim zemljištima imaju tendenciju da odreaguju brže i efektivnije na dodavanje biougolja u njihovu proizvodnju (Smider et al. 2014).

Tokom kratkog ispitivanja gde se merilo usvajanje hranjivih materija od strane biljke pasulja u sistemu organske proizvodnje, pronađene su veće količine fosfora, gvožđa, magnezijuma i cinka u celoj biljci pasulja posle dodavanja biougolja tokom jedne vegetacione sezone (Gao et al. 2016). Dobijeni rezultati su se podudarali sa smanjenjem apsorpcije smola koje se nakuplja ispod zone korenja pasulja, što sugerise promenu u interakciji biougolj-zemlja-biljka kroz efekte biougolja na ispiranje hranjivih sastojaka u zemljištu (Saxena et al. 2013).

Istraživanja sprovedena u staklenicima koja se odnose na primenu biougolja na zemljištu u organskom sistemu korišćenja utvrđeno je značajno smanjenje količine kadmijuma u zemljištu kao i nakupljanje istog u svim delovima pšenice (koren, izdanak, zrno ili ljuski) zbog adsorpcije kadmijuma na površinu biougolja. Sposobnost biougolja da otkloni teške metale i druge zagađivače je veoma važna za organsku poljoprivredu, jer se na taj način mogu ukloniti zagađivači, koji bi se primenom materijala za kompostiranje iz domaćinstava i industrije uklonili bez primene štetnih hemikalija. Takođe, poznato je da dodatkom organskog đubriva ili komposta biougolju, značajno se poboljšava dostupnost hranjivih materija u zemljištu i sadržaj C, što poboljšava unos hranjivih materija usevima i povećava prinos u zemljištu koje je tretirano sa biougoljem. Sa obzirom da sistem organske proizvodnje donosi od 5% do 34% manji prinos za razliku od konvencionalnog načina poljoprivrede, uvođenje biougolja u sistem proizvodnje organske hrane može da pomogne pri smanjenju gubitka hranjivih materija i da pomogne u smanjenju jaza u prinosu između organske i tradicionalne poljoprivrede tako što će povećati količinu C i plodnost zemljišta (Seufert et al. 2012).

## Zaključak

Agroekosistemi su veoma važni da bi se obezbedila sigurnost hrane i smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte. Mere da se smanji korišćenje mineralnih đubriva i smanje emisije gasova sa efektom staklene bašte podrazumevaju povećanje unošenja ugljenika u zemljište putem biougolja, što bi rezultiralo povećanjem sadržaja organske materije u zemljištu i drugih benefita koji se ostvaruju na taj način, a sve to na kraju bi za posledicu imalo i povećanje prinosa useva. Korišćenjem biougolja se usporava otpuštanje hranjivih materija i time štiti okolina bez smanjenja prinosa useva. Dobra strana korišćenja biougolja je u tome što može da poboljša kvalitet zemljišta i poveća otpornost agroekosistema. Biougolj ima pogodan uticaj na pH vrednost zemljišta, gustinu, aerobnost, poroznost, kapacitet razmene katjona, mogućnost zadržavanja vode, balans hranjivih materija i druge parametre kvaliteta zemljišta zbog svog specifičnog fizičko-hemijskog sastava. Preporuka je da se pre svakog unošenja biougolja u zemljište izvrši detaljna analiza zemljišta kako bi se utvrdilo da li će primena biougolja pomoći ili u nekim slučajevima i odmoći kako samom zemljištu tako i usevima. Pored toga, takođe treba uzeti u obzir i ekonomsku stranu primene biougolja. Ako je zemljište zadovoljavajuće plodnosti i usevi obezbeđuju dobre prinose, nije potrebno unositi biougolj u zemljište, jer može doći i do kontra efekta. Takođe, sama interakcija biougolja i zemljišta nije dovoljno ispitana, a ono što sada znamo o tome jeste da ima mnogo pozitivnih, ali i negativnih uticaja od primene biougolja. Sva spomenuta naučna istraživanja koja su sprovedena su trajala kratko da bi imali uvid u njegovo dugoročno delovanje na zemljište. S toga bi neophodno bilo dalja istraživanja o biougolju usmeriti na dugogodišnji plan istraživanja kako bi se došlo do relevantnijih podataka koji će naći primenu u održivoj poljoprivrednoj praksi.

## Literatura

- Ahmad M., Lee SS., Dou X., Mohan D., Sung JK., Yang JE., et al. Effects of pyrolysis temperature on soybean stover- and peanut shell-derived biochar properties and TCE adsorption in water. *Bioresour Technol.* 2012;118:536–544.
- Amonette Je., Joseph S., (2009) Characteristics of biochar: Microchemical properties. Chapter 3. In: Lehmann J, Joseph S., (EDS) *Biochar for environmental management science and technology.* Earthscan, London, PP 33–52
- Asai H., Samson BK., Stephan HM., Songyikhangsuthor K., Homma K., Kiyono Y., et al. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Res.* 2009;111(1-2):81-84.
- Biochar-based slow-release of fertilizers for sustainable agriculture: A mini review, *Environmental Science and Ecotechnology*, Volume 10, 2022, 100167, ISSN 2666-4984
- Brassard P., Godbout S., Raghavan V. (2016) Soil biochar amendment as a climate change mitigation: Key parameters and mechanisms involved. *Journal of environmental management* 181, 484–497.
- Busscher WJ., Novak JM., Evans DE., Watts DW., Niandou MAA., Ahmedna M. Influence of biochar on physical properties of a Norfolk loamy sand. *Soil Sci.* 2010;175(1):10–14.
- Cao X., Ma L., Liang Y., Gao B., Harris W. Simultaneous immobilization of lead and atrazine in contaminated soils using dairy-manure biochar. *Environ. Sci Technol.* 2011;45(11):4884–4889.
- Cayuela, M. L., Zwieten, L. V., Singh, B. P., Jeffery, S., Roig, A., & Sánchez-Monedero, M. A. (2014). Biochar's role in mitigating soil nitrous oxide emissions: A review and meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 191, 5–16.
- Chan KY., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., Joseph S. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Soil Res.* 2008;45(8):629-634.
- Chongqing Wang, Dan Luo, Xue Zhang, Rong Huang, Yijun Cao, Gonggang Liu, Yingshuang Zhang, Hui Wang, Choppala GK., Bolan NS., Megharaj M., Chen Z., Naidu R. The influence of biochar and black carbon on reduction and bioavailability of chromate in soils. *J Environ Qual.* 2012;41:1175–1184.
- Craig R., Andersona Leo M., Condonab Tim J., Cloughb MarkFierse AlisonStewarta Robert A., Hilla Robert R., Sherlockb, Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus, *Pedobiologia* Volume 54, Issues 5–6, 2011, Pages 309-320.
- Current and future applications for biochar. In: Shackley S, Ruyschaert G, Zwart K, Glaser B, Downie A, Crosky A, Munroe P (2009) Physical properties of biochar. Chapter 2. In: Lehmann J, Joseph S (eds) *Biochar for environmental management science and technology.* Earthscan, London, pp 13–32
- eds. *Biochar in European Soils and Agriculture: Science and Practice.* Abington: Taylor & Francis
- Fellet G., Marchiol L., Delle Vedove G, Peressotti A. Application of biochar on mine tailings: effects and perspectives for land reclamation. *Chemosphere.* 2011;83:1262–1297.
- Gao, S., Hoffman-Krull, K., Bidwell, A. L., & DeLuca, TH. (2016). Locally produced wood biochar increases nutrient retention and availability in agricultural soils of the San Juan Islands,
- Getachew Agegnehu, Adrian M. Bassb, Paul N., Nelsona, Brian Muirheadc, GraemeWrightd, Michael I., Birda. Biochar and biochar-compost as soil amendments: Effects on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland, Australia, *Agriculture, Ecosystems & Environment*
- Gorovtsov, A.V., Minkina, T.M., Mandzhieva, S.S. et al. The mechanisms of biochar interactions with microorganisms in soil. *Environ Geochem Health* 42, 2495–2518 (2020)
- Group, 253–280
- Hartley W., Dickinson NM., Riby P., Lepp NW. Arsenic mobility in brownfield soils amended with green waste compost or biochar and planted with *Miscanthus*. *Environ Pollut.* 2009;157:2654–2662
- Hilber I., Wyss GS., Mäder P., Bucheli TD., Meier I., Vogt L., Schulin R., (2009) Influence of activated charcoal amendment to contaminated soil on dieldrin and nutrient uptake by cucumbers. *Environ Pollut* 157:224–2230
- Huang, J., & Hartemink, A. E. (2020). Soil and environmental issues in sandy soils. *Earth-Science Reviews*, 208,
- Jha P., Biswas AK., Lakaria BL., Rao AS. Biochar in agriculture-prospects and related implications. *Curr Sci.* 2010;99(9):1218-1225.
- Jiang J., Xu R., Jiang T., Li Z. Immobilization of Cu (II), Pb (II) and Cd (II) by the addition of rice straw derived biochar to a simulated polluted Ultisol. *J Hazard Mater.* 2012;229:145–150.
- Ka Yan Man, Ka Lai Chow, Yu Bon Man, Wing Yin Mo, Ming Hung Wong. Use of biochar as feed supplements for animal farming pages 187-217 2020.
- Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. *Energie Aus Biomasse-Grundlagen, Techniken und Verfahren;* Kheres, Mother Earth News, 2012.
- Kuzyakov Y., Subbotina I., Chen H., Bogomolova I., Xu X. Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by <sup>14</sup>C labeling. *Soil Biology & Biochemistry.* 2009;41:210–219.
- Lehmann J., Czimczik C., Laird D., Sohi S., (2009) Stability of biochar in the soil. Chapter 11. In: Lehmann J, Joseph S (EDS) *Biochar for environmental management science and technology.* Earthscan, London, PP 183–205
- Lehmann J., Rondon Ma., (2005) Bio-Char Soil Management on highly weathered soil in the humid tropics. Chapter 36. In: Uphoff n (ED) *Biological approaches to sustainable soil systems.* Crc, Boca Raton, PP 517–530



- Liang B., Lehmann J., Solomon D., Kinyangi J., Grossman J., O'Neill B., Skjemstad JO., Thies J., Luizao FJ., Peterson J., Neves EG., (2006) Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Sci Soc Am J* 70:1719–1730
- Louis-Marie Raboin, Andrianantenaina Hilaire Damase Razafimahafaly, Mandaheriniaina Berthin Rabenjarisoa, Bodovololona Rabary, Julie Dusserre, Thierry Becque, Improving the fertility of tropical acid soils: Liming versus biochar application? A long term comparison in the highlands of Madagascar, *Field Crops Research*
- Luo X., Wang L., Liu G., Wang X., Wang Z., Zheng H. (2016). Effects of biochar on carbon mineralization of coastal wetland soils in the yellow river delta, China. *Ecological engineering* 94, 329–336.
- Méndez A., Gómez A., Paz-Ferreiro J., Gascó G. Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil. *Chemosphere*. 2012;89:1354–1359.
- Monah D., Pittman Cu., Steele Ph. (2006) Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. *Energy fuels* 20:848–889
- O'Toole A., Andersson D., Gerlach A., Glaser B., Kammann Cl., Kern J., Kuoppamäki K., Oguntunde PG., Fosu M., Ajayi AE., Van de Giesen N. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. *Biol Fert Soils*. 2004;39(4):295-299.
- Olmo M., Albuquerque JA., Barrón B., Del Campillo MC., Gallardo A., Fuentes M., et al. Wheat growth and yield responses to biochar addition under Mediterranean climate conditions. *Biol Fert Soils*. 2014;50(8):1177-1187.
- Rajapaksha AU., Chen SS., Tsang DC., Zhang M., Vithanage M., Mandal S., et al. Engineered/designer biochar for contaminant removal/immobilization from soil and water: potential and implication of biochar modification. *Chemosphere*. 2016;148(27):6e291. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.043>
- Roger Grau-Andrés, Melissa R. A. Pingree, M. Öquist, D. Wardle, M. Nilsson, M. Gundale. Biochar increases tree biomass in a managed boreal forest, but does not alter N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, and CO<sub>2</sub> emissions (2021.).
- Sánchez-Reinoso AD., Ávila-Pedraza E.A., Restrepo-Díaz H. Use of Biochar in Agriculture. *Acta biol. Colomb.* 2020;25(2):327-338. 1-22.
- Saxena J., Rana G., Pandey M. Impact of addition of biochar along with *Bacillus* sp. on growth and yield of French beans, *Scientia Horticulturae*, Volume 162, 2013, Pages 351-356, ISSN 0304-4238.
- Šeremešić S., Vasin J., Živanov M., Milić S., Milošev D., Vasiljević M 2014: Biochar application: The prospects of soil property improvement, XVIII International Eco-Conference 2014, 24-27 September 2014.
- Seufert V., Ramankutty N., Foley J., Comparing the yields of organic and conventional agriculture 2012. 10.1038/nature11069.
- Sierra J., Noel C., Dufour L., Ozier-Lafontaine H., Welcker C., Desfontaines L., (2003) Mineral nutrition and growth of tropical maize as affected by soil acidity. *Plant Soil* 252:215–226
- Smider, B.; Singh, B. Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2014, 191, 99–107.
- Sombroek W., De Lourdes Ruivo M., Fearnside PM., Glaser B., Lehmann J., (2003) Amazonian dark earths as carbon stores and sinks. Chapter 7. IN: Lehmann J., Kerc DC., Glaser B., Woods WI. (EDS) Amazonian dark earths origin properties management. Kluwer Academic, Dordrecht, PP 125–139
- Sorrenti G., Masiello CA., Toselli M. Biochar interferes with kiwifruit Fe-nutrition in calcareous soil. *Geoderma*. 2016;272:10-19.
- Steiner C., de Arruda MR., Teixeira WG., Zech W., (2008a) Soil respiration curves as soil fertility indicators in perennial central Amazonian plantations treated with charcoal, and mineral or organic fertilisers. *Trop Sci*. doi:10.1002/ts.216
- Spokas KA., Koskinen WC., Baker JM., Reicosky DC. Impacts of woodchip biochar additions on greenhouse gas production and sorption/degradation of two herbicides in a Minnesota soil. *Chemosphere*. 2009;77(4):574–581.
- Steiner C., Teixeira WG., Lehmann J., Nehls T., de Macedo JLV., Blum Weh., Zech W., (2007) Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant Soil* 291:275–290 USA. *Agriculture, Ecosystems and environment*, 233, 43–54
- Uchimiya M., Chang S., Klasson KT. Screening biochars for heavy metal retention in soil: role of oxygen functional groups. *J Hazard Mater*. 2011;190:432–441.
- Vaccari, F. P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, et al. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *Euro J Agron*. 2011;34(4):231-238.
- Van Zwieten L., Singh B., Joseph S., Kimber S., Cowie A., Chan KY., (2009) Biochar and emission of non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases from soil. Chapter 13. IN: Lehmann J, Joseph S (EDS) Biochar for environmental management science and technology, Earthscan, London, PP 227–249
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K.Y., Downie, A., Rust, J. and Cowie, A. (2010) Effects of Biochar from Slow Pyrolysis of Papermill Waste on Agronomic Performance and Soil Fertility. *Plant and Soil*, 327, 235-246.
- Verheijen F., Jeffery S., Diafas I., 2009: Biochar application to soils, soil action - Lmnh Unit - IES, Ispra Volume 199, December 2016, Pages 99-108. Volume 213, 2015, Pages 72-85.
- Wang, K.; Peng, N.; Lu, G.; Dang, Z. Effects of pyrolysis temperature and holding time on physicochemical properties of swine-manure-derived biochar. *Waste Biomass Valoriz*. 2020, 11, 613–624.
- Ye, L, Camps-Arbestain, M, Shen, Q, Lehmann, J, Singh, B, Sabir, M. Biochar effects on crop yields with and without fertilizer: A meta-analysis of field studies using separate controls. *Soil Use Manage*. 2020; 36: 2– 18
- Yu XY., Wang DL., Mu CL., Liu XJ. Role of biochar in slow sorption and desorption of diuron in soil. *Jiangsu J Agr Sci*. 2011;27:1011–1015.

- Yu XY., Ying GG., Kookana RS. Reduced plant uptake of pesticides with biochar additions to soil. *Chemosphere*. 2009;76(5):665–671.
- Zhang YJ., Xing ZJ., Duan ZK., Li M., Wang Y. Effects of steam activation on the pore structure and surface chemistry of activated carbon derived from bamboo waste. *Appl Surf. Sci.* 2013;315:279–286.
- Zheng W., Guo MX., Chow T., Bennett DN, Rajagopalan N. Sorption properties of greenwaste biochar for two triazine pesticides. *J Hazard Mater.* 2010;181:121–126.

## Possibilities of applying biochar in sustainable agriculture systems

Nenad Prekop<sup>a\*</sup>, Srđan Šeremešić<sup>a</sup>, Vladimir Ćirić<sup>a</sup>,  
Bojan Vojnov<sup>a</sup>, Dragan Radovanović<sup>a</sup>

<sup>a</sup>University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Novi Sad, Serbia

<sup>b</sup>Institute of Field and Vegetable Crops, Novi Sad, Serbia

\*Corresponding author: [nenad.prekop@yahoo.com](mailto:nenad.prekop@yahoo.com)

### ABSTRACT

One of the most significant problems of the present in agricultural production is the reduction of the content of organic matter in the soil, as well as the acceleration of climate changes, supported by gases with the greenhouse effect, created in the processes of agriculture. For this reason, it was necessary to find a solution that would increase the content of organic matter in the soil and increase yields, while reducing the release of greenhouse gases into the atmosphere. By studying and improving old technologies from the Amazon, a material was created that is not a fertilizer, but has a significant impact on soil properties, known as biochar. Biochar is produced in the processes of pyrolysis of organic matter at low oxygen concentrations, in which complex organic forms of carbon are bound into simpler ones, thereby reducing the release of CO<sub>2</sub> into the atmosphere. Biochar as a component with high carbon content and high absorption capacity has a favourable effect on the physical and chemical properties of the soil such as pH, density, porosity, humidity and temperature, but also on the availability of micro and macro elements for plants, as well as on increasing the activity and presence microorganisms in the soil. In addition to the above characteristics, biochar can be used as a remediation material in soils contaminated with organic and inorganic pollutants and heavy metals. The properties of biochar are well studied in soils of tropical regions, but poorly studied in soils of temperate and cold climates, therefore it is necessary to carry out further research on these types of soils.

**KEY WORDS:** biochar, organic agriculture, soil, organic carbon, organic matter

PRIMLJEN: 22.11.2022.

PRIHVAĆEN: 22.12.2022.