

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
ŠUMARSKI FAKULTET  
ŠUMARSKI ODSJEK**

**PREDDIPLOMSKI STUDIJ  
ŠUMARSTVO**

**FILIP VUJANIĆ**

**BIOUGLJEN IZ ŠUMSKE BIOMASE, EKOLOŠKE POGODNOSTI  
PRIMJENE I OPIS PROIZVODNOGA CIKLUSA**

**BIO-COAL FROM FOREST BIOMASS – ECOLOGICAL BENEFITS OF  
APPLICATION AND DESCRIPTION OF THE PRODUCTION CYCLE**

**ZAVRŠNI RAD**

**MENTOR: Prof. dr. sc. IVICA TIKVIĆ**

**ZAGREB, RUJAN 2019.**

## ZAHVALA

Veliku zahvalnost u prvome redu dugujem **Prof. dr. sc. Ivici Tikvić** na iznimnom strpljenu i posvećenosti kojom je pristupao svakom mom upitu, na primjeru pogleda na struku kojime me zainteresirao za područje ekologije u šumarstvu te izrazitoj stručnosti i profesionalizmu pri radu. Zaključno se zahvaljujem na prenesenom znanju i stečenim vještinama.

Također, izrazite zahvale **Dipl. Ing. Mba. Raoulu Cvečić Bole** na poticanju same ideje za izbor teme ovoga završnoga rada te na prenošenju izrazito vrijednih znanja, informacija i iskustava iz prakse kojima sam dobio novi uvid u područje poslovanja i shvatio važnost povezivanja teoretskih znanja s praktičnim vještinama i iskustvom.

Posebnu zahvalnost također želim izraziti svim djelatnicima fakulteta i suradnicima čiji rad mi je omogućio dostizanje ove razine obrazovanja.

U konačnici želim zahvaliti svojoj obitelji poglavito roditeljima na besprijekornoj podršci, predanosti i trudu kojima su mi omogućili stjecanje znanja i vještina preddiplomskoga studija. Također se želim zahvaliti na tome što su imali strpljenja za mene i pomogli mi u rješavanju akademskih ali i životnih obaveza.

## PODACI O ZAVRŠNOM RADU

Zavod:	Zavod za Ekologiju i uzgajanje šuma
Predmet:	Ekologija šuma
Mentor:	Prof. dr. sc. Ivica Tikvić
Asistent – znanstveni novak:	Izv. prof. dr. sc. Damir Ugarković
Student:	Filip Vujanić
JMBAG:	0068228047
Akad. godina	2018./2019.
Mjesto, datum obrane:	Zagreb, 27. rujna 2019.godine
Sadržaj rada:	Slika: 18 Tablica: 0  Grafikona: 3 Navoda literature: 19
Sažetak:	<p>U završnom radu opisane su najnovije tehnologije proizvodnje biougljena iz šumske biomase s naglaskom na korištenje šumskoga ostatka. Prikazane su ekološke pogodnosti biougljena u odnosu na asimilaciju ugljikovoga dioksida iz zraka i u odnosu na veće korištenje obnovljivih izvora energije. Također je opisana primjena biougljena u različitim područjima i dobivanje energije koja nastaje kao nusproizvod pri proizvodnji biougljena. U radu je prikazan konkretan primjer proizvodnje biougljena s opisom proizvodnoga ciklusa.</p>

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OBRADA TEME .....	2
2. 1. Pogodnosti korištenja obnovljivih izvora energije.....	2
2. 2. Šumska drvena biomasa i šumski ostatak .....	5
2. 3. Općenito o biogljenu i područjima primjene .....	10
2. 3. 1. Biogljen općenito .....	10
2. 3. 2. Biogljen kao dodatak tlu .....	13
2. 3. 3. Utjecaj korištenja biogljena na kruženje stakleničkih plinova i njegova primjena u stočarstvu .....	15
2. 3. 4. Raznolika primjena biogljena .....	17
2. 3. 5. Primjena biogljena u šumarstvu.....	18
2. 3. 6. Pogodnosti korištenja biogljena u svrhu smanjenja potrošnje fosilnih goriva ....	18
2. 4. Proces proizvodnje biogljena .....	19
2. 4. 1. Primjer postrojenja za proizvodnju biogljena.....	22
3. ZAKLJUČAK .....	27
4. LITERATURA.....	28

# 1. UVOD

U razdoblju u kojem svjedočimo porastu broja globalnih prijetnji kao što su klimatske promjene, siromaštvo, pad proizvodnje u poljoprivredi, nedostatak pitke vode, nedostatak gnojiva te socijalni i politički nemiri koji su tim pojavama izazvani, stvara se potreba za pronalaskom rješenja koja mogu biti implementirana odmah ili u skorijoj budućnosti. Ta rješenja moraju biti uvedena lokalno preko pojedinaca, ali i kroz velike programe kako bi se postigao učinak na globalnoj razini. Pronalazak takvih rješenja zahtjeva mnogo različitih pristupa.

Jedan od takvih pristupa je primjena biougljena. Biougljen ima jedinstvena svojstva koja ga čine ne samo vrijednim obogaćivačem tla koji tlo čini zdravijim i povećava mu proizvodnost, nego i veoma praktičnim i pogodnim alatom za vezanje atmosferskoga ugljika i njegovu pohranu u tlo na dulje razdoblje kako bi se izbjeglo globalno zatopljenje. U posljednje vrijeme povećana zainteresiranost za primjenu biougljena rezultat je otkrića kako je biougljen glavni razlog održivih i visoko plodnih, tamnih tla u Amazonskoj dolini, Terra preta. Iako je biougljen kroz prošlost korišten i ponešto istraživani, svaki takav pothvat bio je izoliran i regionalno fokusiran. Kroz posljednjih petnaestak godina ovoga stoljeća dokazano je kako biougljen posjeduje svojstva koja ga ističu ispred ostalih organskih tvari u okolišu. Od 2007. godine kada je u Terrigalu, Australia, osnovana Svjetska Inicijativa Biougljena (IBI) na prvoj svjetskoj konferenciji posvećenoj isključivo biougljenu, znanstvena i tehnološka dostignuća na području biougljena u neprekidnom su porastu. Ovaj završni rad inspiriran je idejom raznolike mogućnosti primjene okolišno prihvatljivoga i za ruralni razvoj pogodnoga proizvoda kao što je biougljen. U radu je opisan pojam biougljena od toga kako je i gdje otkriven te na koji način ga se može proizvoditi iz šumske biomase odnosno šumskoga ostatka kao obnovljivoga izvora energije. Također su opisane njegove ekološke pogodnosti primjene s obzirom na kruženje stakleničkih plinova kao što su, u prvom redu, ugljikov dioksid, a zatim metan i dušikov oksid. U radu su također nabrojana i objašnjena područja primjene biougljena te zaključno na konkretnom primjeru opisan sam proces proizvodnje i okvirno objašnjen cjelokupni proizvodni ciklus.

## **2. OBRADA TEME**

### **2. 1. Pogodnosti korištenja obnovljivih izvora energije**

Općenito pri pretvorbi energije možemo definirati sljedeće oblike energije (Šljivac i Šimić, 2009):

1. Primarna (prirodna) energija (u prirodnom stanju)
2. Sekundarna (pretvorbena) energija (pripremljena za transport i korisnik kroz tehničke procese)
3. Krajnja energija (korisniku predana energija)
4. Korisna energija (primijenjena energija – mehanička, toplinska, kemijska, svjetlosna)

Primarne (prirodne) oblike energije s obzirom na vremensku mogućnost njihovog iscrpljivanja dijelimo na (Šljivac i Šimić, 2009):

1. Neobnovljivi oblici energije
  - Fosilna goriva (ugljen, nafta, zemni plin, uljni škriljevci)
  - Nuklearna goriva
  - Unutarnja toplina zemlje (geotermalna energija)
2. Obnovljivi oblici energije
  - Vodne snage (vodotoci, morske struje i valovi, plime i oseke)
  - Biomasa
  - Energija sunčeva zračenja
  - Energija vjetra

Obnovljiva energija dobivena je iz prirodnih procesa koji se konstantno obnavljaju te se za razliku od neobnovljive energije ne mogu vremenski iscrpiti, ali je moguće u potpunosti iskoristiti njihove potencijale. Kod većine obnovljivih izvora energije nema utroška energije prilikom pridobivanja izvornoga oblika kao što je primjer eksploatacija ugljenokopa, niti utroška energije za transport izvornoga oblika. Jedino kod biomase i otpada se javljaju ti gubici koji mogu biti toliko značajni da premaše razinu isplativosti na što u najvećoj mjeri utječe energija potrošena na transport izvornoga oblika te je transportnu udaljenost potrebno što više smanjiti.

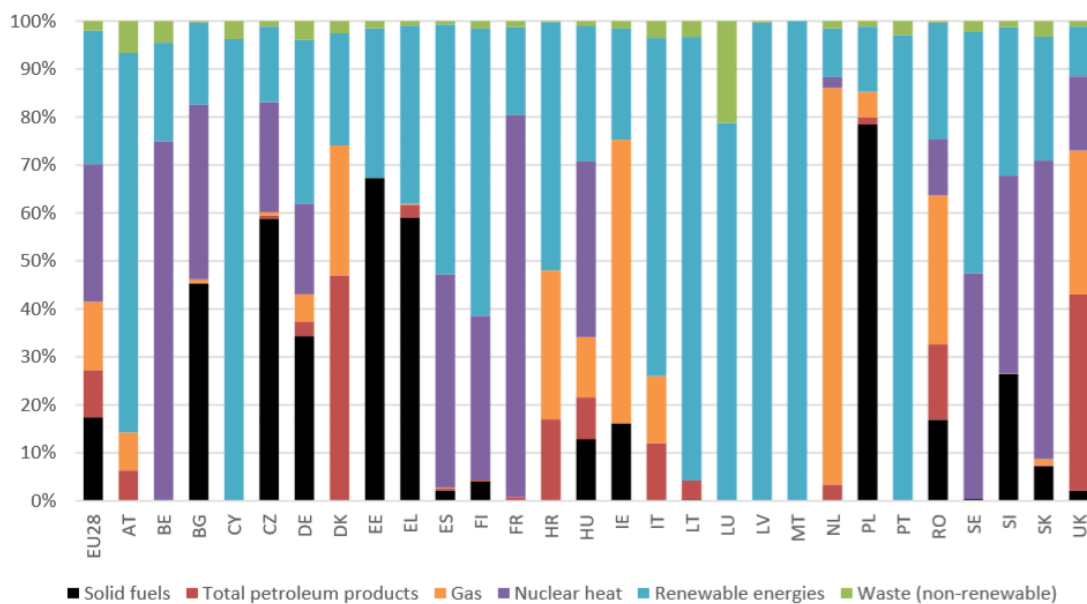
Prilikom pretvorbe izvornoga oblika energije u iskoristljiviji oblik javlja se problem opterećenja okoline emisijom štetnih tvari i bukom što je kod gotovo svih obnovljivih oblika

energije malo ili ga uopće nema. Korištenje vjetra izaziva buku dok sagorijevanje biomase izaziva emisiju plinova, ali i dalje manje štetnih od plinova nastalih sagorijevanjem ugljena ili nafte zbog nedostatka sumpora u sastavu biomase.

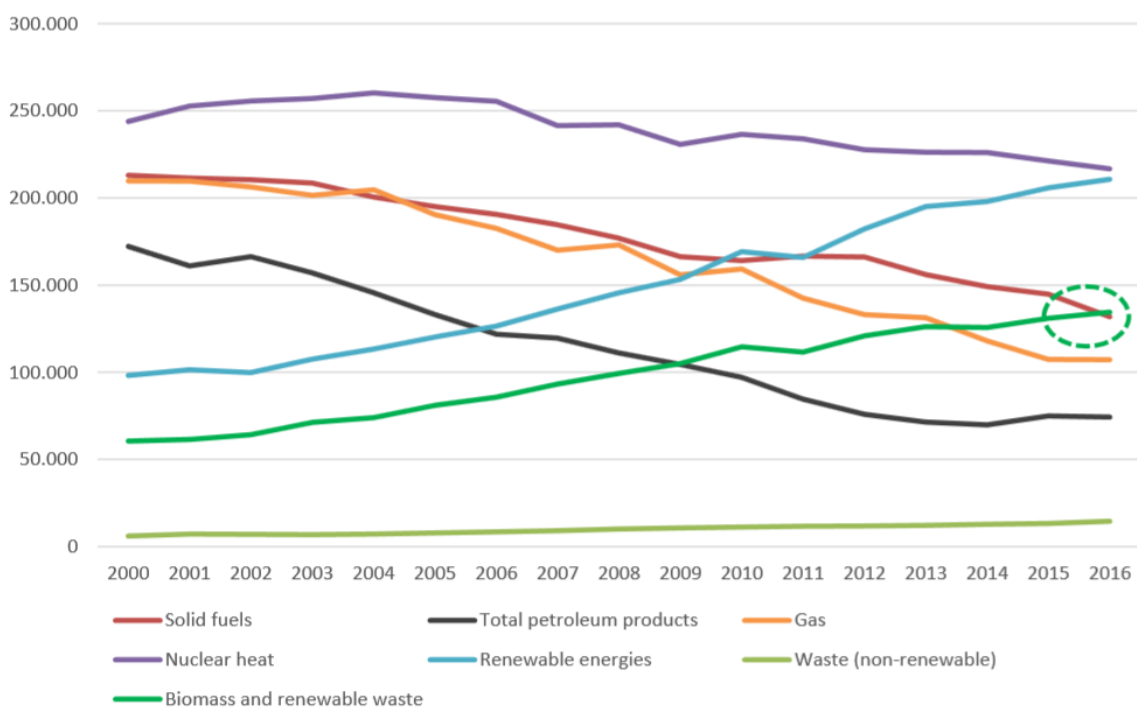
Pod poželjnim svojstvima primjene obnovljive energije također je bitno naglasiti mogućnost diversificirane primjene odnosno primjene u „malome“, vlastitoj režiji, djelomice ili potpuno u samogradnji čime se izbjegava trošak održavanja i instaliranja pogona.

Kada se govori o općenitoj kumulativnoj CO<sub>2</sub> neutralnosti obnovljivih izvora energije misli se na cjelokupni lanac od pridobivanja do korištenja i zbrinjavanja energije. Možemo reći kako je sam proces pretvorbe energije u iskoristljiviji oblik neutralan. Za biomasu to je ispunjeno samo kada je potrošnja biomase manja od prirasta nove mase u promatranom razdoblju. Dio CO<sub>2</sub> se emitira prilikom proizvodnje materijala za izgradnju postrojenja za korištenje obnovljivih izvora energije što utječe na neutralnost CO<sub>2</sub> emisije.

Posljednjih godina na razini Europe udio korištenja obnovljivih izvora energije raste, no ovisnost o fosilnom gorivima i dalje je velika (grafikon 2.). Bioenergija je 2016. godine prvi puta premašila ugljen u smislu primarne proizvodnje energije (Bioenergy Europe, 2018). Prebacivanje na obnovljive izvore energije, uključujući bioenergiju, put je za Europu ka energetske neovisnosti. U EU se 95,9 % potrošene bioenergije proizvodi lokalno (Bioenergy Europe, 2018). Upravo iz toga razloga bitno je podržavati bioenergiju i njen lokalni aspekt kao i ostale obnovljive izvore energije, što u konačnici dovodi do stabilnijega i sigurnijega eneretskoga lanca te smanjuje ovisnost Europe prema ostalim zemljama, a sami principi su primjenjivi za svaku državu zasebno.



Grafikon 1. Udjeli goriva u primarnoj energetskej potrošnji po zemljama članicama EU za 2016. g. u postotku (Bioenergy Europe, 2018)



Grafikon 2. Razvojna krivulja primarne energetske proizvodnje po godinama za zemlje članice Europske Unije u kilotonama protuvrijednosti nafte (Bioenergy Europe, 2018)



## 2. 2. Šumska drvena biomasa i šumski ostatak

Biomasa potječe od grčke riječi *bios* što znači život i latinske riječi *massa* što znači tijelo. Prema tome pojam biomasa se odnosi na živu tvar dijela, cijelog ili više živih organizama koja je izražena masom suhe tvari u kilogramima. Šumska drvena biomasa je obnovljivi izvor energije nastao u procesu fotosinteze uz pomoć Sunčeve svjetlosti i anorganskih tvari. Biomasa može biti različitog podrijetla i pojavnih oblika. Izgaranjem biomase dolazi do emisija različitih plinova i čestica. Najčešći oblici šumske drvene biomase (cjepanica, sječka, briket i pelet) nastaju različitim postupcima te se suše i prevoze do mjesta primjene. Šumska se drvena biomasa primjenjuje u kućanstvima u manjim kotlovima i pećima, a također i u velikim energetske postrojenjima za proizvodnju električne i toplinske energije.

Biomasa se može podijeliti na dvije osnovne kategorije (Labudović i sur., 2012):

### 1. Prema porijeklu:

#### a) šumska drvena biomasa

- ostaci ili otpaci iz šumarstva i drvoprerađivačke industrije
- proizvodi ciljanog uzgoja (brzorastuće drveće, tzv. energetske nasadi)

#### b) nedrvna biomasa

- proizvodi ciljanog uzgoja (brzorastuće alge i trave)
- ostaci i otpaci iz poljoprivrede

#### c) biomasa životinjskog porijekla:

- životinjski otpaci i ostaci

### 2. Prema konačnom pojavnom obliku:

- kruta biomasa
- tekuća biogoriva
- bioplin

Drvena sječka predstavlja usitnjenu drvenu masu različitih dimenzija i oblika koji ovise o sistemu usitnjavanja (slika 1). Proizvodi se usitnjavanjem kore, grana, grančica, panjeva i drugih ostataka iz procesa u šumarstvu i drvoprerađivačkoj industriji. Važno je naglasiti kako

proces dobivanja drvene sječke, odnosno samog usitnjavanja zahtjeva malu količinu energije u odnosu na energiju koja se dobije izgaranjem iste količine drvene sječke. Drvnu sječku možemo podijeliti u tri kategorije:

- Fina sječka do 3 cm
- Srednja sječka do 5 cm
- Krupna sječka do 10 cm.



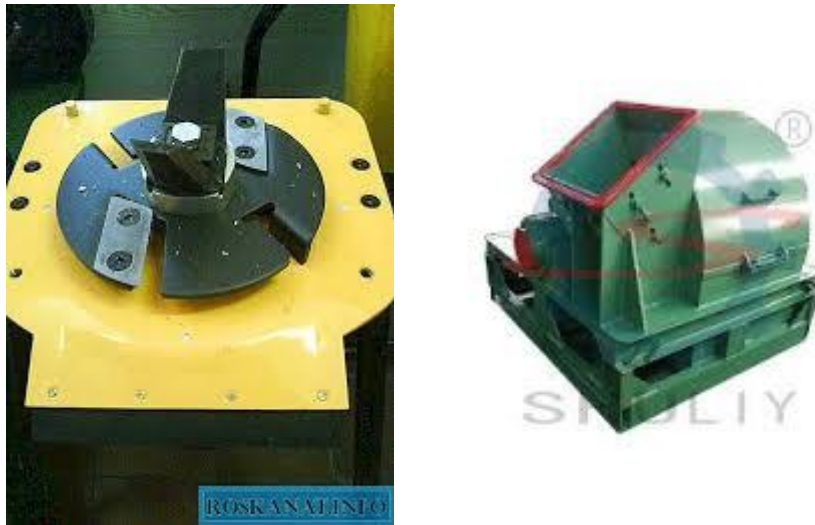
Slika 1. Drvna sječka

Proizvodnja šumske biomase je integrirana u redovno gospodarenje šumama, odnosno sakupljanje i usitnjavanje šumskih ostataka i granjevine. Najbolje je obavljati proizvodnju šumske biomase usporedno sa sječom stabala za dobivanje tehničke i pilanske oblovinne jer time dobivamo jednoličnu šumsku drvenu biomasu po prihvatljivoj cijeni. Šumska drvena biomasa se pojavljuje u različitim oblicima i veličinama. Razlikujemo 5 osnovnih načina dobivanja šumske drvene biomase:

- Sjeckanje
- Komadanje
- Mljevenje
- Baliranje
- Peletiranje i briketiranje.

Sjeckanje biomase je postupak za koji se upotrebljavaju sjeckalice s diskom ili bubnjem (slika 2). Sjeckalice s diskom načinjene su od rotirajućeg diska i noževa pomoću kojih se dobiva sječka različitih veličina ovisno o postavljanju noževa i nakovnja. Takvom sjeckalicom dobiva

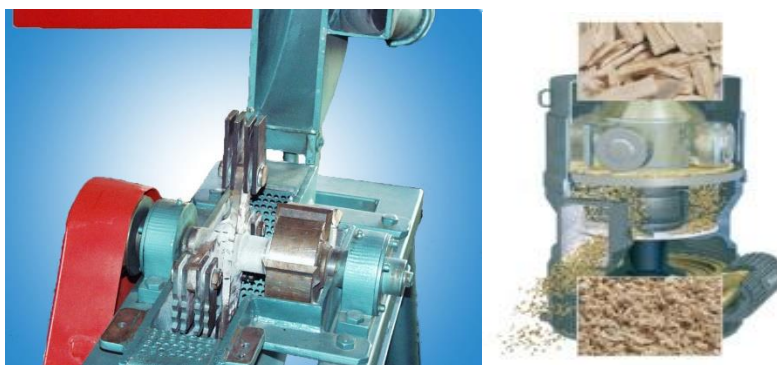
se sječka jednake veličine bez obzira na debljinu drveta. Sjeckalice s bubnjem izrađene su od noževa postavljenih u žljebove na zakrivljenoj površini te se takvom sjeckalicom dobivaju komadi drvene sječke različitih dimenzija.



Slika 2. Sjeckalica s diskom (lijevo) i sjeckalica sa bubnjem (desno)

Komadanje biomase se provodi spiralnim rezačima na vodoravnom vratilu. Nagib spirale jednak je cijelom duljinom stroja, ali je promjenjivoga promjera. Okretanjem vratila spiralni nož komada drvo čime se smanjuje potrošnja energije dok se povećava raspon dimenzija komada.

Mljevenje biomase je proces dobivanja drvnih čestica manjih od 5 mm pomoću mlinova čekićara ili mlinova za fino mljevenje (slika 3). Mlin čekićar je sastavljen od pomično postavljenih alata na brzohodni rotor kojega pokreće sila. Takav mlin je otporan na metalne komadiće zaostale u biomasi (čavli) te znatno čvršći od sjeckalica. Mlin za fino mljevenje se sastoji od mnogobrojnih noževa postavljenih u bubanj dok se sirovina potiskuje djelovanjem centrifugalne sile kroz rešetkasti prsten čijim se veličinama otvora određuju dimenzije čestica.



Slika 3. Mlin čekićar (lijevo) i mlin za fino mljevenje (desno)

Baliranje drvene biomase je postupak prešanja šumskih ostataka u bale u svrhu olakšavanja transporta te smanjenja cijene prijevoza. Cijena prijevoza šumskoga ostatka u balama može biti i do 50 % niža od cijene neizrezanoga šumskoga ostatka. Dimenzija jedne bale valjkastoga oblika iznosi 1.2 m visine i 1.2 m promjera (slika 4). Dok je masa takve bale 600 kg kod udjela vlage u biomasi 45 % (Krhen, 2012).



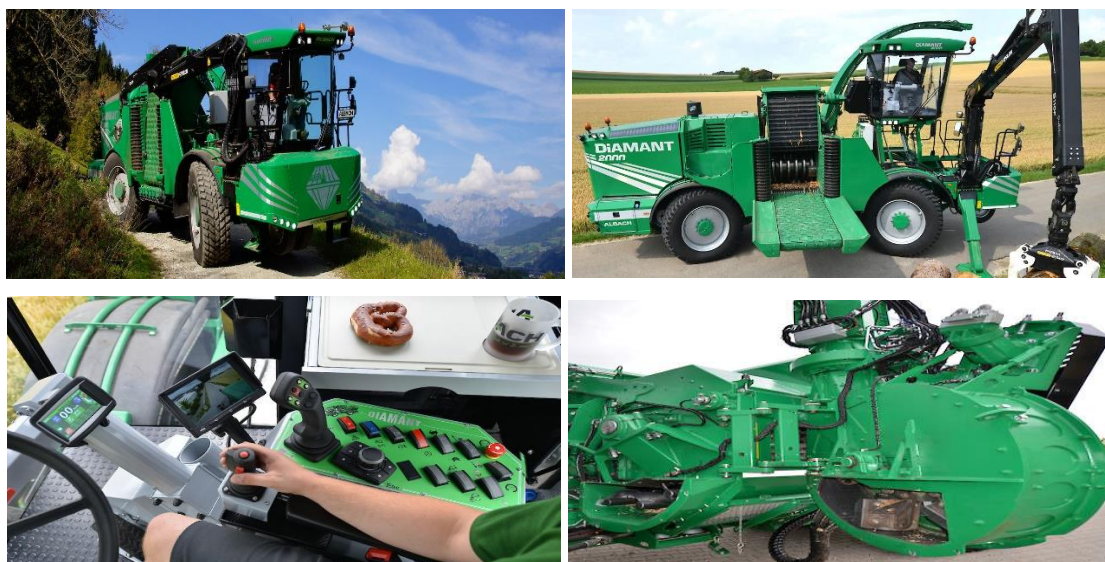
Slika 4. Bala drvene biomase

Peletiranje i briketiranje su postupci prešanja finih drvnih čestica (piljevine i blanjevine) u veće oblike radi dobivanja jednolične biomase sa većom gustoćom i većom energetsom vrijednošću.

Iveranje drva je izrada drvnoga iverja usitnjavanjem drva alatom s reznim oštricama. Stroj za proizvodnju iverja iz drveta se naziva iverač. Postupak iveranja prikazan je na primjeru iverača Albach Diamant 2000 (slika 5).







Slika 5. Iverač Albach Diamant 2000

Albach Diamant 2000 smatra se jednim od najjačih i najfleksibilnijih iverača na svijetu u svojoj klasi. Iverač je moguće prebaciti iz faze transporta u fazu iveranja za samo 20 sekundi. Diamant 2000 posebno je prilagođen za vožnju, te može postići brzinu i od 70 km/h. Karakterizira ga ergonomska, visoko-kvalitetno kabina s mogućnošću podizanja na visinu od 4.8 metara, rotacija sjedala za 180 stupnjeva te rad na dvije kontrolne ploče. Opremljen je stabilizatorima i dodatnim prostorom za skladištenje zamjenskih dijelova i alata. Efektivnost proizvodnje je 420 kubnih metara po satu. Rotor za iveranje se sastoji od šest, osam ili dvanaest oštrica koje osiguravaju ravnomjernu proizvodnju, tihi rad i štede resurse. Albach Diamant 2000 može se univerzalno primjenjivati za proizvodnju iverja različitih dimenzija. Visokootporni materijal u jedinici za iveranje garantira dulji vijek trajanja, a time i niže troškove održavanja. Pomična nadogradnja i fleksibilnost Diamanta 2000 omogućuju njegov rad u kombinaciji sa nekoliko kamiona za transport drvene sječke što povećava učinkovitost cjelokupnoga procesa proizvodnje.

Šumska drvena biomasa transportira se na kraćim udaljenostima do 10 km pomoću traktora, a za srednje i veće udaljenosti koriste se kamioni. Ovisno o tipu šumske drvene biomase koriste se razni tipovi kamionskih skupova. Za prijevoz višemetarskoga drva i balirane granjevine koriste se, kamionski skupovi sa otvorenim prikolicama, dok za prijevoz drvene sječke koristimo skupove sa zatvorenim prikolicama, takozvani kiperi. U primjeni se umjesto kiperu mogu pronaći kamionski skupovi sa zamjenjivim kontejnerima što zbog mobilnosti omogućuje korištenje takvih kontejnera kao međuspremnik na šumskim cestama, no njihova

je manjkavost smanjeni kapacitet. Za prijevoz šumske drvene biomase na izrazito duge udaljenosti veće od 120 km koristi se željeznica te brodski transport.

Skladištenje šumske drvene biomase postupak je uskladištenja biomase na određeno vrijeme zbog vremenske razlike između njene proizvodnje i primjene. Skladištenje se najčešće vrši u blizini mjesta primjene. Mala gustoća šumske drvene biomase uvjetuje poseban način i oblik skladištenja u svrhu smanjenja troškova. Jedan od najbitnijih faktora prilikom skladištenja šumske drvene biomase jest održavanje vlage na željenoj razini ovisno o svrsi korištenja.

## **2. 3. Općenito o biougljenu i područjima primjene**

### **2. 3. 1. Biougljen općenito**

Biougljen je definiran kao ugljikom bogat proizvod dobiven procesom pirolize biomase odnosno zagrijavanjem biomase kao što su drvo, stajski gnoj, listovi itd. na visokoj temperaturi (< 700°C) u zatvorenom kontejneru sa izrazito malo ili bez dostupnoga zraka (Lehmann i Joseph, 2009).



Slika 6. Različiti oblici biougljena

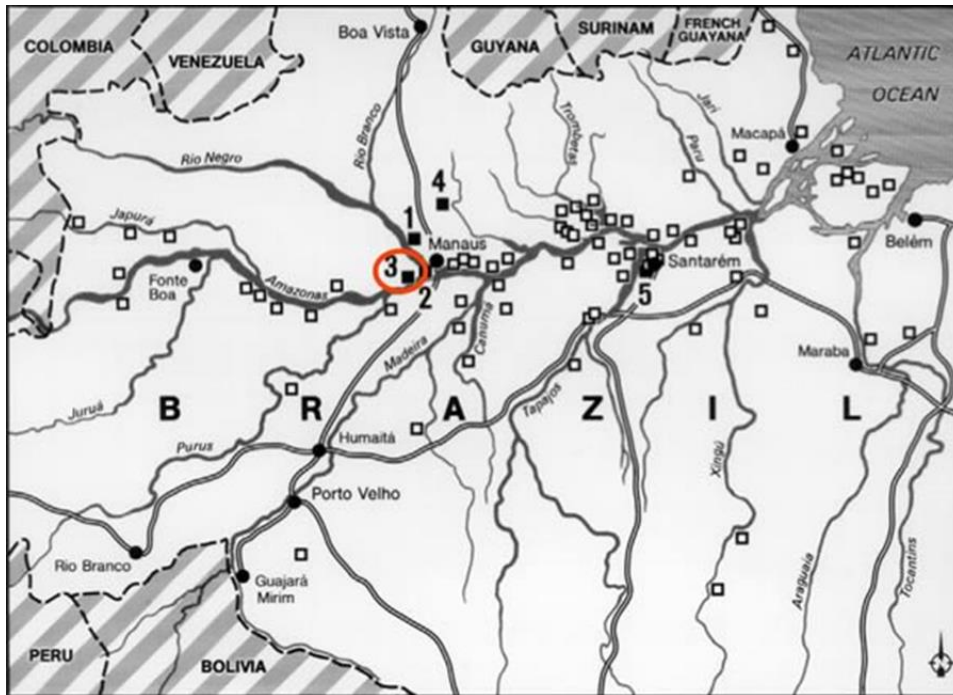
Proizvodnja i korištenje biougljena seže još daleko u prošlost. Prije 2500 godina u amazonskoj dolini uz obale rijeka pronađeni su tragovi korištenja biougljena u svrhu poboljšanja plodnosti tla od strane ondašnjih indijanskih plemena. Tadašnja proizvodnja biougljena se uvelike razlikovala od današnje no princip je ostao isti. Indijanci su razne organske tvari kao što su grane, grančice, listove, stajski gnoj i slično stavljali u iskopane jame u tlu, pokrivali zemljom te palili kako bi stvorili uvjete postupnog izgaranja sa malo kisika.

Tako dobiveno tlo u amazonskom dijelu Brazila, poznato kao „Terra Preta“, ostalo je visoko plodno sve do današnjih dana, za razliku od tala koja ga okružuju, a poznata su kao neplodna tla. Terra Preta bogata je ugljikom i ostalim hranivima kao što su dušik, fosfor, kalcij, cink i magnezij. Osim toga to tlo se odlikuje velikom mikrobiološkom aktivnosti i drugim povoljnim obilježjima koja smanjuju problem ispiranja hraniva iz tla u kišnim šumama (Wayne, 2012).



Slika 7. Usporedba pedoloških profila tla: Terra Preta (lijevo) i tlo koje nije bilo tretirano biougljenom (desno) prema Glaser i sur. (2001).





Slika 8. Nalazišta tla Terra Prete u dolini rijeke Amazone u Brazilu (Glaser, 2007)



Slika 9. Tipično nalazište tla Terra Prete smješteno na brežuljku iznad rijeke Amazone (Glaser, 2007)

Činjenica da je tlo Terra Preta velike plodnosti prepoznata je među lokalnim stanovništvom amazonskog dijela Brazila te ga često iskopavaju i prodaju. Moderni način proizvodnje biogljena u tehnološkim postrojenjima je opisan kasnije u radu.

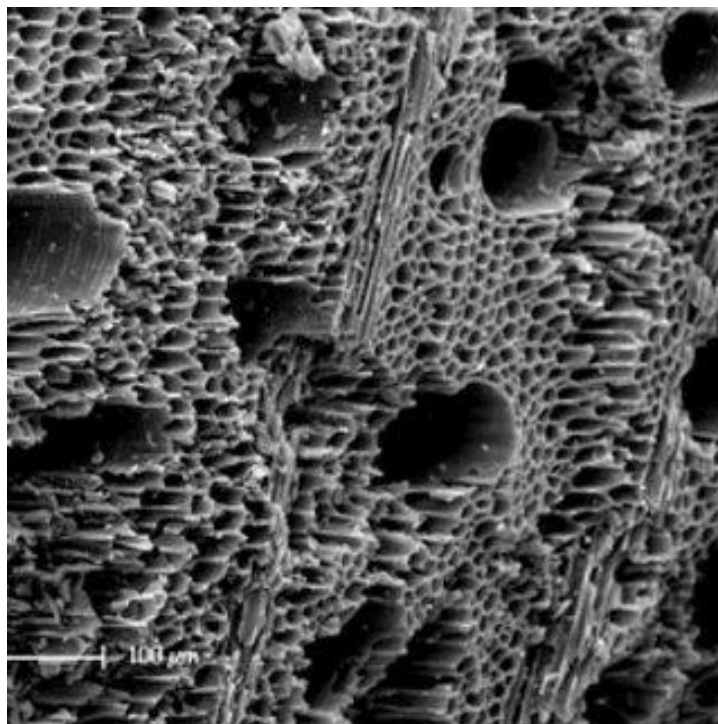




Slika 10. Prodaja Terra Prete u Brazilu

### 2. 3. 2. Biogljen kao dodatak tlu

Biogljen ima najveći značaj za povećanje plodnosti tla. Karakteristična porozna struktura biogljena proizašla iz njegove atomske građe ostaje nenarušena prilikom procesa pirolize i stvaranja biogljena. Upravo takva struktura omogućuje mu veliku sposobnost vezanja vode, hraniva i minerala te time zadržavanje tih tvari i sprječavanje njihovoga ispiranja. Pore biogljena su pogodna mjesta za nastanjivanje mikroorganizama koji su važni za rast biljaka. Biogljen pruža zaštitu tim mikroorganizmima od krupnijih predatora (Schmalenberger i Fox, 2016).



Slika 11. Porozna struktura biougljena

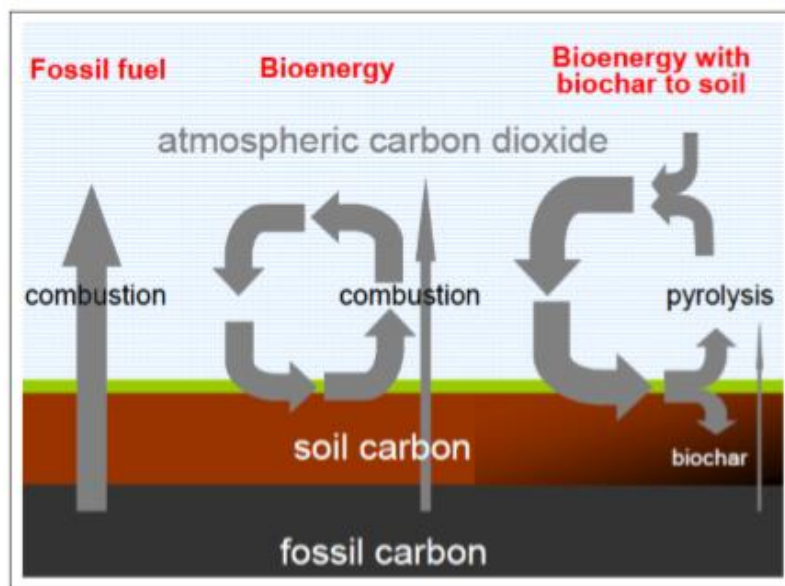
Prema rezultatima istraživanja utvrđen je pozitivan utjecaj primjene biougljena pri proizvodnji usjeva za prosječno 10-39 % (Institut für Bioenergie, 2019). Razlozi za takav pozitivan utjecaj:

- Poboljšavanje pH reakciju tla
- Poboljšavanje teksture i strukture tla
- Povoljni uvjeti života za mikroorganizme u tlu
- Poboljšavanje zadržavanja vode u tlu
- Poboljšavanje vezanja i mobilizacije hraniva (N, P, K, S, Mg)
- Poboljšavanje izmjene kationa u tlu
- Reduciranje onečišćenje tla teškim metalima.

Primjena biougljena poboljšava gotovo svako tlo. To rezultira smanjenom upotrebom gnojiva, smanjenjem potrošnje vode, poboljšavanjem gospodarenja vodom u tlu, povećavanjem proizvodne sposobnosti tla, smanjenjem površina za proizvodnju hrane i smanjenjem onečišćenja poljoprivrednih površina. Primjena biougljena ima najveću učinkovitost u područjima sa malo padalina na tlima siromašnim hranivima.

### 2. 3. 3. Utjecaj korištenja biougljena na kruženje stakleničkih plinova i njegova primjena u stočarstvu

Drugi vrlo važan utjecaj biougljena je na kruženje stakleničkih plinova posebice ugljikovoga dioksida. Tijekom procesa pirolize pri proizvodnji biougljena oko polovica ugljika sadržanoga u biomasi ostaje vezana u novonastalom biougljenu tijekom dužega razdoblja. Iz tog razloga bitno je obratiti pozornost na kvalitetu biougljena. Biougljen nije samo ugljen za roštilj kakav poznajemo. On može biti proizveden iz različitih vrsta biomase. Takav biougljen u sebi ne sadrži kancerogene supstance, a pri njegovoj proizvodnji se zadržavaju tisuće tona ugljikovoga dioksida koje ne odlaze u atmosferu.



Slika 12. Kruženje ugljikova dioksida (Institut fur Bioenergie, 2019)

Najvažniji staklenički plinovi u atmosferi su ugljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ) i dušikov oksid ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Od navedenih plinova najznačajniji je ugljikov dioksid kojeg se godišnje emitira u atmosferu oko 11 gigatona. Od toga 80 posto potječe od izgaranja fosilnih goriva (elektrane, transport, cementare i čeličane), a ostalih 20 posto potječe od pojava kao što su uništavanje šuma (eng. Deforestation), prenamjena travnatih površina u obradive površine i slično. Zbog povećanja broja ljudi na Zemlji predviđa se daljnji porast emisije stakleničkih plinova. Isto tako se očekuje smanjenje prirodnoga ugljikovoga dioksida u oceanima zbog povećanja temperature oceana što će također povećati utjecaj stakleničkih plinova u atmosferi. Iz tog su razloga održiva rješenja za uklanjanje ugljikova dioksida iz atmosfere prijeko potrebna čovječanstvu. Prema proračunima u Europi se godišnja emisija ugljikovoga dioksida može smanjiti za 10 posto ako

se 35 % (140 megatona) godišnjeg organskog otpada koji iznosi otprilike 500 megatona (šumski ostatak, poljoprivredni ostatak i dr.) pretvori u biougljen (Glaser, 2012). Konvencionalne tehnologije za borbu protiv klimatskih promjena kao što su biogoriva i vezanje ugljika u elektranama i njegovo privremeno pohranjivanje u podzemne spremnike (eng. Carbon Capture and Storage (CSS)) su ograničenoga učinka i nisu u mogućnosti smanjiti trenutnu ili buduću količinu ugljikovoga dioksida u atmosferi. Istovremeno, biougljen je otporan na biokemijske transformacije zahvaljujući svojoj molekularnoj stabilnosti. Vezanje ugljikovoga dioksida u stabilnu čvrstu tvar kao što je biougljen i njegova uporaba za poboljšanje ekosustava ili kao građevnoga materijala može doprinijeti smanjenju količine atmosferskoga ugljikovoga dioksida stvarajući pri tome dodatne ekonomske vrijednosti. Dodatne ekonomske vrijednosti očituju se u većoj proizvodnje hrane pri negativnoj emisiji ugljikovoga dioksida (više ugljika je vezano nego otpušteno), većoj proizvodnosti elektrana, uštedi mineralnih gnojiva, povećanju vrijednosti tvrtki zbog održivoga proizvodnoga procesa i posjedovanja CO<sub>2</sub> certifikata (Glaser, 2012).

Primjena biougljena također pozitivno utječe na smanjenje emisije ostalih stakleničkih plinova. Dušikov oksid (N<sub>2</sub>O) staklenički je plin koji je 300 puta štetniji za klimu od ugljikovoga dioksida i 12 puta štetniji od metana (CH<sub>4</sub>; United nations environment programme, 2018). Dušikov oksid u atmosferi reflektira toplinu reflektiranu sa Zemljine površine i sprječava njen odlazak u svemir. On također oštećuje ozonski omotač koji štiti biljke i životinje od Sunčeve radijacije i regulira temperaturu na površini Zemlje. Poljoprivreda je glavni izvor dušikova oksida u atmosferi. Glavni razlog je korištenje dušikovih gnojiva i stočarstvo. Ukoliko je korišteno previše dušičnoga gnojiva ili je ono korišteno u krivo vrijeme, dušik ne može biti u potpunosti apsorbiran od strane usjeva te odlazi u atmosferu. Ukoliko tlo sadrži biougljen ili je biougljen dodan u gnojivo emisija ugljikova dioksida se značajno smanjuje (Kammann, 2012). Taj učinak biougljena je povezan sa njegovim svojstvima vezanja. Biougljen može vezati i do 5 puta veću količinu vode i ostalih tvari od svoje težine (Kammann, 2012). Na taj način dušik više nije dostupan za mikroorganizme koji svojim metabolizmom pretvaraju dušik u dušikov oksid već je on vezan u porama biougljena te se otpušta u okolinu sporije i u malim količinama.

Metan (CH<sub>4</sub>) je 25 puta štetniji za klimu od ugljikovog dioksida (United nations environment programme, 2018). Kao i ostali staklenički plinovi on reflektira toplinu koja dolazi sa Zemljine površine i sprječava njen odlazak u svemir. Najvažniji izvor metana na Zemljinoj površini je stočarstvo, odnosno uzgoj stoke (goveda, konja i ovaca). Kao preživači oni

proizvode velike količine metana u svojim želucima te ga otpuštaju u zrak kroz podrigivanje i flatulenciju. Dodatno se metan otpušta kao gnojivo u poljoprivredi te prilikom obrade mulja iz otpadnih voda. Biougljen se koristi kao dodatak hrani kod prehrane stoke kako bi smanjio emisiju metana vezujući ga na sebe (Schmidt i sur., 2017). Biougljen u probavnom sustavu životinja ima vezujući učinak. Vežući na sebe štetne tvari i toksine poznat je u uzgoju stoke kao lijek za trovanje i smetnje u probavi već stoljećima.

Pozitivni utjecaji primjene biougljena u stočarstvu su:

- Pобољшanje zdravlja životinja i redukcija emisije metana – biougljen kao dodatak prehrani
  - Povećanje vitalnosti životinja
  - Povećanje učinkovitosti prehrane stoke
  - Povećanje kilaže životinja
  - Poboљшanje imunološkoga sustava životinja
  - Biougljen kao prirodni lijek za otrovanje i dijareju
  - Općenito podizanje kvalitete svih proizvoda iz stočarstva
- Poboљшanje higijene prostora za uzgoj stoke – biougljen kao pročišćivač otpadnih voda u stočarstvu
- Poboљшanje kvalitete stajnjaka – biougljen kao pročišćivač stajnjaka i umanjivač neugodnih mirisa.

## **2. 3. 4. Raznolika primjena biougljena**

Svojstva biougljena omogućuju njegovu veoma široku i raznoliku uporabu. Prema Schmidtu i Wilsonu (2012) postoji 55 različitih mogućnosti primjene biougljena kao što su:

- Dekontaminacija
- Proizvodnja bioplina
- Tretiranje otpadnih voda
- Tretiranje pitke vode
- Filtracija
- Elektronika
- Metalurgija

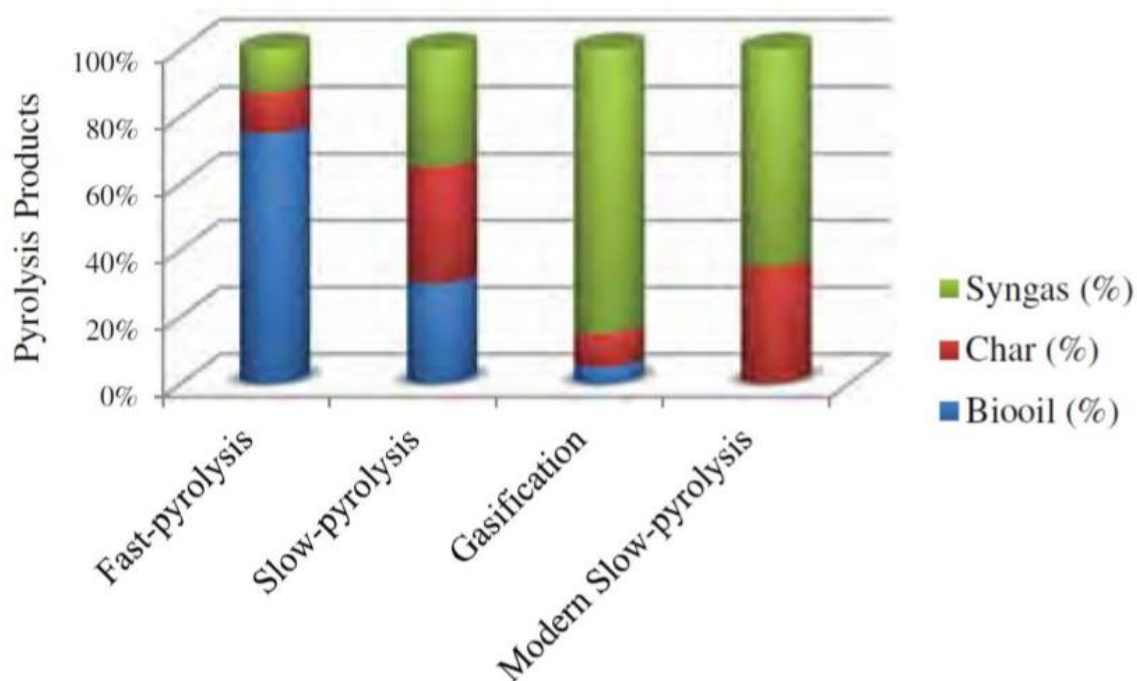
- Medicina
- Tekstilna industrija
- Wellness
- Zaštita od elektromagnetske radijacije
- Skladištenje hrane i dr.

### **2. 3. 5. Primjena biougljena u šumarstvu**

U području šumarstva biougljen se koristi kao zamjena za treset i perlit pri osnivanju i obnovi šuma. To područje primjene je opisano na primjeru istraživanja provedenog u Kanadskoj provinciji Quebec. Razlog korištenja biougljena u tom istraživanju bio je rast cijene konvencionalnih supstrata za uzgoj sadnica te potreba za uvođenjem ekološki prihvatljivijega načina uzgoja sadnica u šumarstvu. Mogućnost primjene biougljena pri uzgoju sadnica kanadske smreke je istraživana kroz više godina. Autori su došli do zaključka kako perlit može biti u potpunosti zamijenjen biougljenom, dok treset može biti zamijenjen u udjelu od 25 posto. Rast sadnica nije bio ubrzan primjenom biougljena ali su troškovi uzgoja bili niži za 25 posto, što bi moglo biti i više zbog pada cijena biougljena na tržištu (niži troškovi transporta i održavanja zbog razvoja industrije biougljena). Istraživanje je također istaknulo ekološku prednost korištenja biougljena, jer kada bi se sav perlit koji se upotrebljava u provinciji Quebec za potrebe vrtlarstva i prostornoga uređenja zamijenio biougljenom, to bi dovelo do pada emisije ugljikovoga dioksida za 4000 tona godišnje (Lange i Allaire, 2018).

### **2. 3. 6. Pogodnosti korištenja biougljena u svrhu smanjenja potrošnje fosilnih goriva**

Kao jedna od prednosti primjene biougljena često se navodi smanjenje korištenja fosilnih goriva. Nusproizvodi nastali u procesu proizvodnje biougljena ovise o primijenjenoj metodi pirolize. Različite metode proizvodnje daju različite udjele i kvalitetu biougljena, bioulja, katrana i sintetičkoga plina (grafikon 3).



Grafikon 3. Proizvodi i nusproizvodi različitih tehnologija proizvodnje biougljena. Sintetički plin eng. Syngas, ugljen eng. Char, bioulje eng. Biooil, brza piroliza eng. Fast-pyrolysis, spora piroliza eng. Slow pyrolysis, uplinjavanje eng. Gasification, moderna spora piroliza eng.

Modern slow-pyrolysis (Institut fur Bioenergie, 2019)

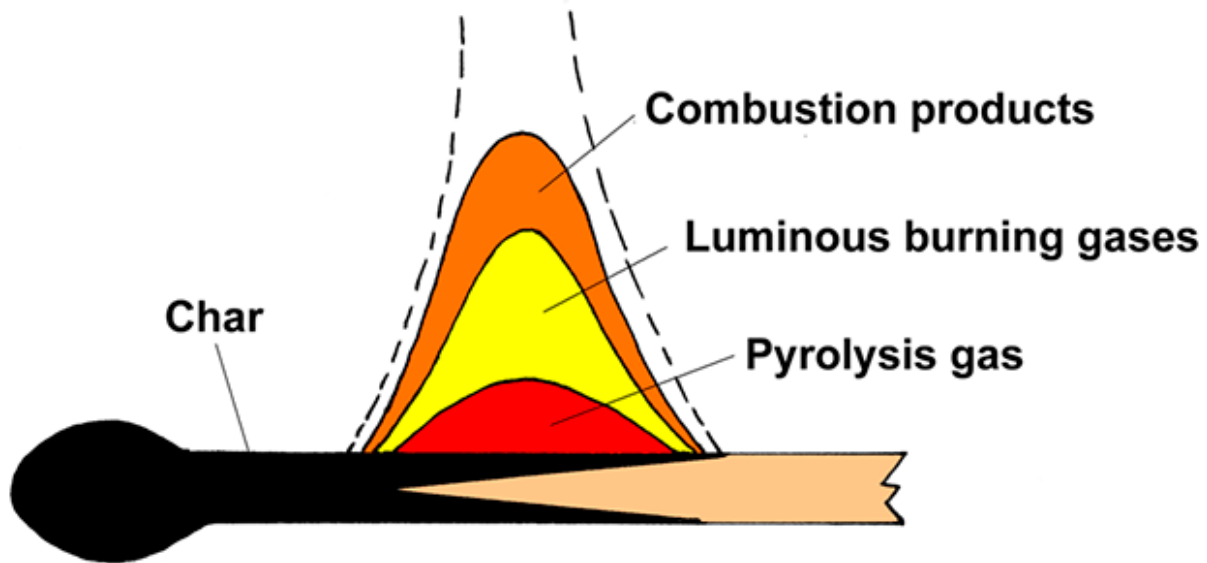
Primjenom tehnologije moderne spore pirolize, biougljen može biti korišten kao dodatak tlu ili gorivo sa visokom energetsom vrijednosti, a sintetički plin za proizvodnju energije umjesto fosilnih goriva. Tako stvoreni tip energije smatra se obnovljivom energijom koja nije „CO<sub>2</sub> pozitivna“. Dodatna pogodnost primjene biougljena je jeftiniji transport u usporedbi sa transportom biomase zbog smanjenoga volumena, mase i udjela vlage, što rezultira manjom potrošnjom fosilnih goriva. Prilikom primjene biougljena kao dodatka tlu smanjuje se potreba za intenzivnom obradom tla što također rezultira smanjenom potrošnjom fosilnih goriva, te su potrebe za navodnjavanjem biougljenom tretiranih tala manje na što se troši manje energije. (Institut fur Bioenergie, 2019).

## 2. 4. Proces proizvodnje biougljena

Oprema za proizvodnju biougljena može biti jednostavna kao uobičajena logorska vatra ili kompleksna kao što su moderna visokotehnološka postrojenja za proizvodnju certificiranoga biougljena. U oba slučaja bazični proces pri kojem nastaje biougljen je proces pirolize. Piroliza



je proces razgradnje tvari (eng. lysis) pod utjecajem topline (eng. pyro). Zbog razgradnje tvari nastaje plin, što je prvi korak u procesu zapaljenja i uplinjavanja biomase. Svi procesi uključeni u pirolizu, sagorijevanje i uplinjavanje drvene biomase su vidljivi na primjeru gorenja šibice. Plamen osigurava toplinu za proces pirolize, a oslobođeni plinovi i pare gore u svijetloj zoni u procesu zvanom plameno izgaranje. Iza plamena ostaje biougljen koji se nakon gašenja šibice u procesu hlađenja i dalje pirolizira otpuštajući dim sastavljen od kondenziranih kapljica katrana.



Slika 13. Izgaranje šibice. Ugljen eng. Char, produkti izgaranja eng. Combustion products, gorivi plinovi eng. Luminous burning gases, sintetički plin eng. Pyrolysis gas (Syngas) (Biochar-international. Org)

Općenito pri proizvodnji biougljena razlikujemo dva osnovna procesa: Proces uplinjavanja i proces pirolize.

Pri procesu uplinjavanja proizvodi se velika količina sintetičkoga plina, a manja količina biougljena (vidi grafikon 3). Proces se odvija u direktno zagrijavanim reakcijskim posudama sa dodatkom zraka na temperaturama od 700 do 1400 °C. Budući da biougljen nastaje u uvjetima odsutnosti kisika, vrijedi princip što više kisika proizvodna jedinica može isključiti, to više biougljena se može proizvesti. U procesu uplinjavanja kisik nije odsutan, već je njegova količina ograničena. Sintetički plin nastao uplinjavanjem sastoji se od vodika (H), ugljikovoga monoksida (CO) i metana (CH<sub>4</sub>). Sintetički plin se može koristiti kao gorivo u bojlerima za dobivanje topline ili u motorima sa unutarnjim sagorijevanjem na sličan način kao i prirodni plin. Količina kisika potrebna za uplinjavanje biomase iznosi od 15 do 30 % kisika potrebnoga



za njeno potpuno sagorijevanje. Težina biougljena nastaloga uplinjavanjem iznosi od 10 do 12 % originalne težine biomase, a sadržaj ugljika iznosi od 25 do 30 % originalne količine ugljika (Fuchs i sur., 2014).



Slika 14. Postrojenje za uplinjavanje biomase, Gussing, Austria (Fuchs i sur., 2014)

Pri procesu pirolize se dobije više biougljena a manje sintetičkog plina u odnosu na proces uplinjavanja (vidi grafikon 3). Za proces pirolize biomase se koriste peći, retorte (jedinice valjkastoga oblika namijenjene za destilaciju, isparavanje lako isparljivih tekućina i provođenje reakcija) i ostala specijalizirana oprema pri temperaturama od 350 do 600 °C bez kisika. Reakcijska posuda je ventilirana kako bi se omogućio odvod pirolizom nastalih plinova odnosno sintetičkih plinova. Proces pirolize je samoodrživ kada sintetički plinovi sagore, a oslobođena toplina se dalje upotrebljava. Biougljen proizveden na temperaturama ispod 450 °C i dalje sadrži veliki udio frakcija lignina i katrana iz biomase koji mogu dalje biti pirolizirani. Postoje samo-zagrijavajuće peći koje proizvode biougljen na temperaturama i do 750 °C. Biougljen proizveden na takvim temperaturama ima veću aktivnu površinu (veća sposobnost vezanja tvari) i manji udio hlapljivih komponenti i kisika. Brzina zagrijavanja pri kojoj se dešava proces pirolize od velike je važnosti, te može biti kontrolirana u svrhu maksimalne

proizvodnje ili biougljena i sintetičkog plina za direktno izgaranje (spora piroliza) ili bioulja (brza piroliza) prema Fuchs i sur. (2014).



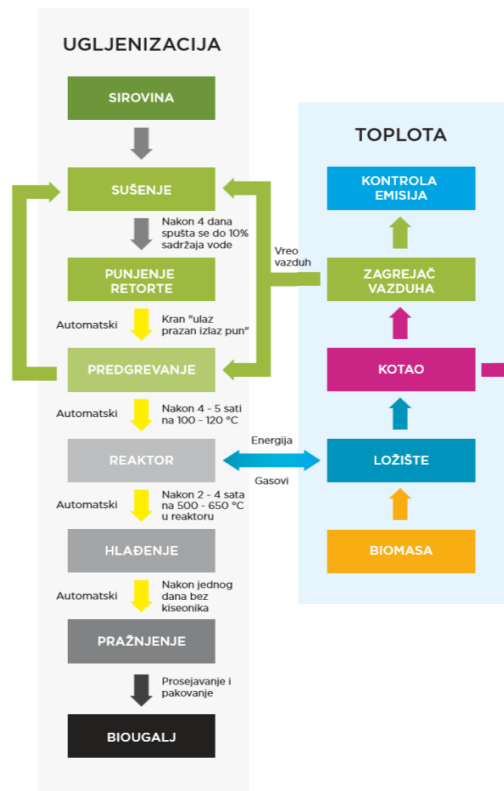
Slika 15. Primjer moderne reakcijske jedinice za proizvodnju biougljena (Fuchs i sur., 2014)

Na lokalnoj i regionalnoj razini, jedinice za proizvodnju biougljena mogu biti vođene od strane zajednica ili većih industrija i procesirati i do 4000 kg biomase po satu. Mala postrojenja za proizvodnju biougljena se mogu koristiti u malim industrijama i farmama. Takva postrojenja procesiraju od 50 do 1000 kg biomase (Biochar-international.org). Mala postrojenja pogodna su za različite male industrije u ruralnim područjima gdje sirovina može biti otpad koji do tada nije imao nikakvu vrijednost.

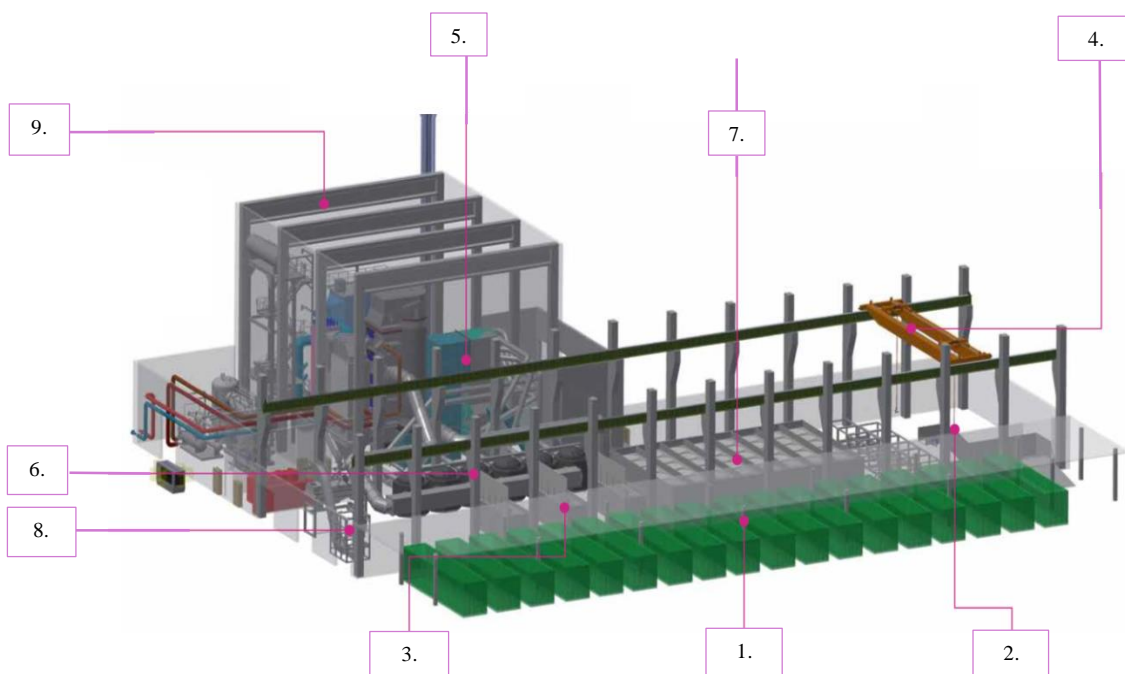
#### **2. 4. 1. Primjer postrojenja za proizvodnju biougljena**

Proces proizvodnje biougljena je prikazan na primjeru Polytechnik postrojenja. Grupa Polytechnik sa sjedištem u Weissenbachu u Austriji, zapošljava oko 240 ljudi. Tvrтка proizvodi četiri proizvodna pogona za proizvodnju biougljena sa certifikatom ISO 9001 i upravlja s više od 15 inženjerskih, prodajnih i servisnih predstavništava diljem Europe i s četiri prekomorska centra. S desetljećima iskustva, tvrtka Polytechnik je izradila više od 3000 takvih postrojenja u svijetu. Trenutno tvrtka izvozi gotovo 100 posto svojih proizvoda. U 2011. godini tvrtka je drugi put nagrađena Neulandovom nagradom. Ta se nagrada dodjeljuje tvrtkama koje uspješno iskorištavaju tržišne mogućnosti u Srednjoj i Istočnoj Europi osiguravajući radna mjesta. Veleučilište u sklopu tvrtke je nagrađeno s nekoliko međunarodnih nagrada. Stvarajući ekološki

kompatibilne proizvode, tvrtka Polytechnik ne samo da je u skladu s trenutnim trendovima, već omogućava održivi razvoj na tržištima u nastajanju, koristeći najsuvremenije tehnologije, uz značajan doprinos proizvodnji neutralne energije što se tiče emisije ugljikovoga dioksida (Biomass-polytechnik.com, 2019). Postrojenja za proizvodnju biougljena tvrtke Polytechnik kao jednog od vodećih proizvođača takvih postrojenja na tržištu su reprezentativan primjer visokotehnološke proizvodnje certificiranog biougljena. Postrojenje posjeduje certifikate kao što su: GMP B2, DIN i ISO. Navedeni certifikati omogućuju korištenje proizvedenoga biougljena u sljedeće svrhe: medicina, farmaceutska industrija, poljoprivreda, stočarstvo, peradarstvo, energija, plastika, metalna industrija, prehrana, kozmetička industrija, šumarstvo i stanogradnja. Cijena finalnoga biougljena proizvedenoga u postrojenju tvrtke kreće se od 600 do više tisuća eura po toni ovisno o tipu i kvaliteti biougljena. Kvaliteta biougljena se odnosi na njegovu čistoću odnosno postotni udio ugljika u biougljenu (Cfix). Polytechnik postrojenje u mogućnosti je proizvesti biougljen sa 98 postotnim udjelom ugljika. Biougljen sa udjelom ugljika iznad 90 posto koristi se u farmaceutskoj industriji, medicini, poljoprivredi, stočarstvu, metalurgiji i prehrambenoj industriji, dok se biougljen sa udjelom ugljika manjim od 90 posto koristi za grijanje. Specifična težina biougljena ovisi o njegovoj gustoći koja se smanjuje sa povećanjem udjela ugljika u biougljenu. Okvirno se specifična težina kreće od 150 do 250 kilograma po metru kubnom. Jedan kilogram biougljena proizvede se iz 3-5 kilograma sirovine (biomase) ovisno o njenom sastavu. Sastav sirovine može biti raznolik od kore do cijepanoga drva i drugih tipova biomase. Sadržaj vlage ulazne sirovine ne smije biti veći od 60 posto, te veličina mora biti između 5 i 300 milimetara. Kapacitet proizvodnje takvoga postrojenja iznosi 3000 tona godišnje sa potrošnjom energije od 500 kilovata, a postoje i modularna rješenja sa 3 paralelne linije proizvodnje čime se kapacitet povećava na 12000 tona godišnje. Proces proizvodnje ne zahtjeva dodatan izvor energije odnosno proces je samoodrživ. Postrojenje proizvodi tri tipa finalnih proizvoda a to su: biougljen za energetiku, biougljen kao dodatak zemljištu te aktivni biougljen (Biomass-Polytechnik.com, 2019).



Slika 16. Proces proizvodnje biougljena (Biomass-Polytechnik.com, 2019)



Slika 17. Shematski prikaz postrojenja za proizvodnju biougljena (Biomass-Polytechnik.com, 2019)

Sastavni dijelovi postrojenja za proizvodnju biougljena su:

- 1) Dio za sušenje – kontejneri se pune sirovim materijalom koji se suši zagrijanim zrakom (toplina iz procesa pirolize).
- 2) Dio za punjenje retorti – nakon sušenja, materijal iz kontejnera se istresa u prihvatni koš i transportira do stanice za punjenje retorti gdje prazna retorta čeka na punjenje.
- 3) Dio za predgrijavanje – radi pripreme materijala za ugljenifikaciju, napunjene retorte se automatski transportiraju do stanice za predgrijavanje. Tu se materijal zagrijava pomoću vrućega zraka. Tako se smanjuje potrebno vrijeme zadržavanja u fazi pirolize i povećava se kapacitet postrojenja.
- 4) Dio za automatski transport materijala – u prostoriji se nalazi kran, opremljen sa dva nezavisna uređaja za podizanje, pomoću kojega se retorte prenose između radnih stanica. Tokovi materijala su optimizirani omogućavajući stanicama za pirolizu i proizvodnju energije efikasan i kontinuiran rad. Napredna automatizacija pruža fleksibilnost u isporuci.
- 5) Ložište – stanica za pirolizu se snabdijeva energijom iz namjenski izrađenoga sistema za sagorijevanje hlađenog vodom. Ložište ima koso postavljenu i pokretnu rešetku za sagorijevanje automatski doziranog goriva. Sagorijevanje pirolitičkih plinova odvija se u specijalno konstruiranoj komori za sagorijevanje pomoću specijalnih gorionika. Napredne upravljačke jedinice, sistemi primarnoga/sekundarnoga zraka i adijabatskih komora za sagorijevanje osiguravaju kompletnu oksidaciju biomase i sintetičkih plinova nastalih u procesu pirolize. Rezultat su velika učinkovitost i mala emisija.
- 6) Reaktor – nakon predgrijavanja, retorte se hermetički zatvaraju. Čim se u reaktoru završi proces ugljenifikacije (nema više pirolitičkih plinova) reaktor se otvara i kran odnosi retortu. Izdvojeni pirolitički plinovi se odvođe na gorionike u sistemu sagorijevanja. Rezultat je isporuka čiste energije potrebne za proces pirolize.
- 7) Dio za hlađenje – nakon pirolize, zagrijane retorte se postavljaju na stanicu za hlađenje koje traje jedan dan, gdje hladan zrak snižava njihovu temperaturu na temperaturu okoline. Radi sprječavanja dodatne oksidacije proizvedenoga biougljena, otvori na retortama se zabrtve pijeskom.
- 8) Dio za pražnjenje – na kraju procesa, hladne retorte se transportiraju do zatvorene stanice za pražnjene gdje transporter dalje odnosi biougljen do stanice za

prosijavanje i drobljenje. Na taj način korisnik može proizvesti različite veličine biougljena. Nakon toga slijedi stanica za pakiranje.

- 9) Kogeneracija – proizvodnja toplinske i električne energije uključuje potpuno automatsko skladište i transport biomase za doziranje ložišta postrojenja. Pirolitički plinovi i biomasa sagorijevaju u potpunosti a realizirana energija se koristi za sagorijevanje radnoga medija koji prenosi veliku toplinsku energiju na turbinu za proizvodnju električne energije. Napredni sistemi za kontrolu emisija garantiraju najniže vrijednosti emisija (Biomass-Polytechnik.com, 2019).



Slika 18. Poliytechnik ekološko postrojenje za proizvodnju biougljena (Biomass-Polytechnik.com, 2019)

### 3. ZAKLJUČAK

Povijest korištenja biougljena je duga 2500 godina te je već odavno prepoznat njegov potencijal. Razvojem tehnologije u 21. stoljeću omogućena je visokotehnološka proizvodnja certificiranoga biougljena koji u posljednjih petnaestak godina postaje proizvod od sve većega značaja.

Biougljen kao proizvod iz šumske biomase, odnosno šumskoga ostatka kao obnovljivoga resursa, okolišno je pogodno i široko upotrebljivo rješenje u borbi protiv globalnih problema kao što su klimatske promjene, nedostatak pitke vode, pad proizvodnje u poljoprivredi i dr. Uporabom šumske biomase kao sirovine za proizvodnju biougljena povećavamo iskoristivost šuma kao izrazito vrijednih ekosustava. Biougljen kao proizvod svojih specifičnih svojstava, posebno sposobnosti vezanja tvari iz okoline zbog njegove strukture, pronalazi svoju primjenu u širokom spektru ljudskih djelatnosti.

Biougljen se koristi kao energent za pokretanje postrojenja koja spadaju u sam vrh potrošača energije (cementare, čeličane), ali i u ostale svrhe, u prvom redu kao obogaćivač tla jer je ekološki pogodna i održiva zamjena za velike količine fosilnog gnojiva te nudi efikasna rješenja za smanjene troškova u području navodnjavanja i održavanje higijene tla. Dodavanjem biougljena u tlo pozitivno se utječe na emisije stakleničkih plinova ponajprije ugljikovih spojeva te omogućava bolje gospodarenje makro i mikro hranivima tla. Visoko kvalitetni biougljen sa udjelom ugljika većim od 90 posto pronalazi svoju primjenu u područjima kao što su šumarstvo, stočarstvo, peradarstvo, medicina, farmaceutska industrija i proizvodnja visoke tehnologije. Proizvodnja certificiranoga biougljena je grana industrije za koju već postoje konkretni primjeri u Europi i svijetu. Takva postrojenja se grade što bliže izvoru sirovine (biomase) zbog troškova transporta. Gradnja takvih postrojenja je rješenje za probleme propadanja industrije ruralnih područja i nezaposlenosti u tim područjima. Proizvodnju biougljena u manjim postrojenjima je moguće implementirati u mala gospodarstva kao što su farme te poljoprivredna poduzeća manjih razmjera.

Biougljen iz šumske biomase predstavlja rješenje koje na lokalnoj razini te uključeno u velike programe na globalnoj razini može doprinijeti održivom upravljanju resursima koje u 21. stoljeću predstavlja nužnost i potrebu.



## 4. LITERATURA

- Biochar-international.org
- Bioenergy Europe, 2018: Bioenergy Europe, Statistical report 2018 – Full report, Bruxelles.
- Biomass-polytechnik.com - <https://biomass.polytechnik.com/hr/nasa-kompanija/>
- Fuchs, M.R., Garcia-Perez, M., Small, P., Flora, G., 2014: Campfire Lessons - breaking down the combustion process to understand biochar production. the Biochar Journal 2014, Arbaz, Switzerland. ISSN 2297-1114, [www.biochar-journal.org/en/ct/47](http://www.biochar-journal.org/en/ct/47), Version of 31 th December 2014, Accessed: 03.09.2019
- Glaser, B., 2007: Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences 362, 187-196.
- Glaser, B., 2012: Biochar use: a productive alternative to carbon storage. Climate Action 2011-12 edition: pp. 137 – 139.
- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., Zech, W., 2001: The Terra Preta phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. Naturwissenschaften 88, 37-41.
- Institut fur Bioenergie, 2019: Terra Preta and environmental benefits of biochar- report Nr.BEA2018167. Wien.
- Kammann, C., 2012: Biochar and Hydrochar Effects on Greenhouse Gas (Carbon Dioxide, Nitrous Oxide, and Methane) Fluxes from Soils. July 2012, Journal of Environmental Quality 41(4):1052-66.
- Krhen, P., 2012: Energetsko iskorištavanje šumske biomase u Hrvatskoj, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-Geološki-Naftni fakultet, Zagreb
- Labudović, B., 2012: Osnove primjene biomase. Energetika marketing, Zagreb.
- Lange, S.F., Allaire, S.E., 2018: Substrates containing biochar for white spruce production in nursery: Plant growth, economics and carbon sequestration. Centre de Recherche sur les Matériaux Renouvelables, Université Laval and GECA Environment, Quebec, Canada.
- Lehmann, J., Joseph, S., 2009: Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan, London.



- Schmalenberger, A., Fox, A., 2016: Bacterial Mobilization of Nutrients From Biochar-Amended Soils; Advances in Applied Microbiology.
- Schmidt H.P., i sur. 2017: Biochar as a tool to reduce the agricultural greenhouse-gas burden – knowns, unknowns and future research needs.
- Schmidt, H.P., Wilson, K., 2012: 55 Uses of Biochar. Delinat Institute for Ecology and Climate-farming. Ithaca Journal 1 | 2012: 286–289.
- Šljivac, D., Šimić, Z., 2009: Obnovljivi izvori energije, najvažnije vrste, potencijal i tehnologija. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb.
- United nations environment programme, 2018 - <https://www.unenvironment.org/>
- Wayne, E., 2012: Conquistadors, cannibals and climate change A brief history of biochar; Oxford University, ProNatura International, Oxford.

## POPIS I IZVORI SLIKA

- Slika 1. Drvna sječka

[https://www.google.com/search?q=drvna+sje%C4%8Dka&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiGso6t26fkAhUqxosKHcXTC2wQ\\_AUIESgB&biw=1366&bih=625#imgrc=it9oLXVEq509KM:](https://www.google.com/search?q=drvna+sje%C4%8Dka&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiGso6t26fkAhUqxosKHcXTC2wQ_AUIESgB&biw=1366&bih=625#imgrc=it9oLXVEq509KM:)

- Slika 2. Sjeckalica s diskom (lijevo), Sjeckalica sa bubnjem (desno)

[https://www.google.com/search?biw=1366&bih=625&tbm=isch&sa=1&ei=kilqXerMDMr4wALp1LPQAg&q=sjeckalice+za+drvnu+sje%C4%8Dku+rotiraju%C4%87i+disk+i+no%C5%BEevi&oq=sjeckalice+za+drvnu+sje%C4%8Dku+rotiraju%C4%87i+disk+i+no%C5%BEevi&gs\\_l=img.3...54941.64141..65310...0.0..0.227.2256.22j2j1.....0....1..gws-wiz-img.yRE4iSLcnNo&ved=0ahUKEwj3czG0qzkAhVKPFAKHWNqDCoQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=AOrq5dK9PVME4M:](https://www.google.com/search?biw=1366&bih=625&tbm=isch&sa=1&ei=kilqXerMDMr4wALp1LPQAg&q=sjeckalice+za+drvnu+sje%C4%8Dku+rotiraju%C4%87i+disk+i+no%C5%BEevi&oq=sjeckalice+za+drvnu+sje%C4%8Dku+rotiraju%C4%87i+disk+i+no%C5%BEevi&gs_l=img.3...54941.64141..65310...0.0..0.227.2256.22j2j1.....0....1..gws-wiz-img.yRE4iSLcnNo&ved=0ahUKEwj3czG0qzkAhVKPFAKHWNqDCoQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=AOrq5dK9PVME4M:)

[https://www.google.com/search?biw=1366&bih=576&tbm=isch&sa=1&ei=1SlqXbXMFIPiWAKZ45zQDg&q=sjeckalice+za+drvnu+sje%C4%8Dku+rotiraju%C4%87i+bubanj&oq=sjeckalice+za+drvnu+sje%C4%8Dku+rotiraju%C4%87i+bubanj&gs\\_l=img.3...64469.68820..69484...0.0..0.183.1768.11j6.....0....1..gws-wiz-img.....35i39.gRKGf2ZxwKY&ved=0ahUKEwj1is7m0qzkAhUDJFAKHZkxB-oQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=5weGgrKQdOGm9M:](https://www.google.com/search?biw=1366&bih=576&tbm=isch&sa=1&ei=1SlqXbXMFIPiWAKZ45zQDg&q=sjeckalice+za+drvnu+sje%C4%8Dku+rotiraju%C4%87i+bubanj&oq=sjeckalice+za+drvnu+sje%C4%8Dku+rotiraju%C4%87i+bubanj&gs_l=img.3...64469.68820..69484...0.0..0.183.1768.11j6.....0....1..gws-wiz-img.....35i39.gRKGf2ZxwKY&ved=0ahUKEwj1is7m0qzkAhUDJFAKHZkxB-oQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=5weGgrKQdOGm9M:)

- Slika 3. Mlin čekičar (lijevo), Mlin za fino mljevenje (desno)

[https://www.google.com/search?biw=1366&bih=576&tbm=isch&sa=1&ei=li1qXZT9A4\\_KwQLzz4HYCQ&q=mlin+čekičar&oq=mlin+čekičar&gs\\_l=img.3..0l2j0i30j0i5i30l2j0i24l4.478571.478571..479300...0.0..0.90.90.1.....0....1..gws-wiz-img.cxlaWyMPoWA&ved=0ahUKEwiUoNyw1qzkAhUPZVAKHfNnAJsQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=hoL5\\_HCjytbECM:](https://www.google.com/search?biw=1366&bih=576&tbm=isch&sa=1&ei=li1qXZT9A4_KwQLzz4HYCQ&q=mlin+čekičar&oq=mlin+čekičar&gs_l=img.3..0l2j0i30j0i5i30l2j0i24l4.478571.478571..479300...0.0..0.90.90.1.....0....1..gws-wiz-img.cxlaWyMPoWA&ved=0ahUKEwiUoNyw1qzkAhUPZVAKHfNnAJsQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=hoL5_HCjytbECM:)

[https://www.google.com/search?biw=1366&bih=576&tbm=isch&sa=1&ei=4jVqXbbvNMzHwQK4ybL4Bw&q=mlin+za+fino+mljevenje+drvne+sječke&oq=mlin+za+fino+mljevenje+drvne+sječke&gs\\_l=img.3..35i39.43877.49432..49616...1.0..0.134.1332.11j3.....0....1..gws-wiz-img.Yb0rIdXgfw8&ved=0ahUKEwi26POI3qzkAhXMY1AKHbikDH8Q4dUDCAY&uact=5#imgrc=f4S4we-SbmdHsM:](https://www.google.com/search?biw=1366&bih=576&tbm=isch&sa=1&ei=4jVqXbbvNMzHwQK4ybL4Bw&q=mlin+za+fino+mljevenje+drvne+sječke&oq=mlin+za+fino+mljevenje+drvne+sječke&gs_l=img.3..35i39.43877.49432..49616...1.0..0.134.1332.11j3.....0....1..gws-wiz-img.Yb0rIdXgfw8&ved=0ahUKEwi26POI3qzkAhXMY1AKHbikDH8Q4dUDCAY&uact=5#imgrc=f4S4we-SbmdHsM:)

- Slika 4. Bala drvene biomase ( bala šumskoga ostatka)

[https://www.google.com/search?q=baliranje+grana&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiirp\\_z3KzkAhUQKFAKHwUqANIQ\\_AUIESgB&biw=1366&bih=576#imgrc=qhgtNWcfCJ3prM:](https://www.google.com/search?q=baliranje+grana&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiirp_z3KzkAhUQKFAKHwUqANIQ_AUIESgB&biw=1366&bih=576#imgrc=qhgtNWcfCJ3prM:)

- Slika 5. Iverač Albach Diamant 2000

[http://www.albach-maschinenbau.de/en\\_GB/](http://www.albach-maschinenbau.de/en_GB/)

- Slika 6. Različiti oblici biougljena

[https://www.google.com/search?q=biochar&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEWjj\\_4Xrnq\\_kAhXHwqYKHVjiAKMQ\\_AUIESgB&biw=1366&bih=625#imgrc=T3x3EoFsAWa5ZM:](https://www.google.com/search?q=biochar&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEWjj_4Xrnq_kAhXHwqYKHVjiAKMQ_AUIESgB&biw=1366&bih=625#imgrc=T3x3EoFsAWa5ZM:)

- Slika 7. Usporedba pedoloških profila tla: Terra Preta (lijevo) i tlo koje nije bilo tretirano biougljenom (desno) (Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., Zech, W., 2001: The Terra Preta phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften* 88, 37-41.)

- Slika 8. Nalazišta tla Terra Prete u dolini rijeke Amazone u Brazilu (Glaser, B., 2007: Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences 362, 187-196.)
- Slika 9. Tipično nalazište tla Terra Prete smješteno na brežuljku iznad rijeke Amazone (Glaser, B., 2007: Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences 362, 187-196.)
- Slika 10. Prodaja Terra Prete u Brazilu
- Slika 11. Porozna struktura biougljena  
[https://www.google.com/search?biw=1366&bih=576&tbm=isch&sa=1&ei=AoZrXdy8GMP6wAKLrI2gCQ&q=biochar+structure&oq=biochar+structure&gs\\_l=img..0i19j0i8i30i19.6064638.6067696..6067837...0.0..0.127.898.9j1.....0....1..gws-wiz-img.....0i5i30i19.oyZSYOBN878&ved=0ahUKEwjxcjsnq\\_kAhVDPVAKHQtWA5QQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=e3V\\_e80DCc7BwM:](https://www.google.com/search?biw=1366&bih=576&tbm=isch&sa=1&ei=AoZrXdy8GMP6wAKLrI2gCQ&q=biochar+structure&oq=biochar+structure&gs_l=img..0i19j0i8i30i19.6064638.6067696..6067837...0.0..0.127.898.9j1.....0....1..gws-wiz-img.....0i5i30i19.oyZSYOBN878&ved=0ahUKEwjxcjsnq_kAhVDPVAKHQtWA5QQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=e3V_e80DCc7BwM:)
- Slika 12. Kruženje ugljikova dioksida (Institut für Bioenergie, 2019: Terra Preta and environmental benefits of biochar- report nr.BEA2018167.)
- Slika 13. Izgaranje šibice (Biochar-international.org)
- Slika 14. Postrojenje za uplinjavanje biomase, Gussing, Austria (Fuchs, M.R., sur., 2019)
- Slika 15. Primjer moderne reakcijske jedinice za proizvodnju biougljena - The Pyreg reactor one of the most successful commercial installations in Europe. (Fuchs, M.R., sur., 2014)
- Slika 16. Proces proizvodnje biougljena (Biomass-Polytechnik.com, 2019)
- Slika 17. Shematski prikaz postrojenja za proizvodnju biougljena (Biomass-Polytechnik.com, 2019)
- Slika 18. Poliytechnik ekološko postrojenje za proizvodnju biougljena (Biomass-Polytechnik.com, 2019)

## POPIS I IZVORI GRAFIKONA

- Grafikon 1. Udjeli goriva u primarnoj energetskej potrošnji po zemljama članicama EU za 2016.g. u postotku - Bioenergy Europe, 2018: Bioenergy Europe, Statistical report 2018 – Full report
- Grafikon 2. Razvojna krivulja primarne energetske proizvodnje po godinama za zemlje članice Europske Unije u kilotonama protuvrijednosti nafte - Bioenergy Europe, 2018: Bioenergy Europe, Statistical report 2018 – Full report
- Grafikon 3. Proizvodi i nusproizvodi različitih tehnologija proizvodnje biougljena - Institut für Bioenergie, 2019: Terra Preta and environmental benefits of biochar-report nr.BEA2018167.