

# Procjena potencijala sirovina za biogoriva u Hrvatskoj

---

El-Sayed, Iman

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:274247>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-02**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE**

**SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ**

**Iman El-Sayed**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, srpanj 2018 g.**

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE

SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ

Iman El-Sayed

PROCJENA POTENCIJALA SIROVINA ZA BIOGORIVA U HRVATSKOJ

Voditelj rada: prof.dr.sc. Igor Sutlović

Članovi povjerenstva: prof.dr.sc. Igor Sutlović

prof.dr.sc. Veljko Filipan

izv.prof.dr.sc. Vladimir Dananić

Zagreb, srpanj 2018 g.

## **ZAHVALA**

*Zahvaljujem se mentoru prof.dr.sc. Igoru Sutloviću na savjetima i strpljenju pri izradi ovog rada. Također veliko hvala i svim ostalim profesorima i djelatnicima Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije koji su mi olakšali studij i pomogli pri usvajanju novih vještina i znanja koja su me obogatila za daljnji osobni i profesionalni razvoj.*

*Zahvaljujem se roditeljima, sestrama te cijeloj obitelji a posebno baki na konstantnoj podršci, razumijevanju i pomoći tijekom studija.*

*Također hvala svim kolegama i prijateljima koji su mi svojim prisustvom uljepšali studentske dane i učinili ih pamtljivima.*

## SAŽETAK

Biomasa se smatra obnovljivim i nekonvencionalnim izvorom energije koji u posljednje vrijeme sve više zamjenjuje fosilna goriva i ostale konvencionalne izvore energije. Cilj smanjenja emisija CO<sub>2</sub> sve veću važnost poprima diljem svijeta, uzimajući u obzir trenutno klimatsko stanje te sve prisutnije globalno zatopljenje. Biomasa se dijeli na biomasu uzgajanu za dobivanje energije te na organske ostatke. Biogoriva dobivena iz biomase mogu se razvrstati u tri kategorije, biogoriva prve, druge i treće generacije. Dva najprisutnija oblika biomase u Hrvatskoj su poljoprivredne kulture i ostaci te šumska biomasa koja uključuje i drvodjelnu industriju. Međutim, i dalje je velik broj obradivih poljoprivrednih površina i šumskog zemljišta zapušten ili nedovoljno dobro iskorišten. Strateškim upravljanjem postojećim resursima biomase u Hrvatskoj otvaraju se brojne mogućnosti u sklopu energetske razvoja. Stoga, otvaranje novih radnih mjesta i doprinos domaćoj industriji koji biomasa može pridonjeti su posebno značajna za Republiku Hrvatsku.

Ključne riječi: biomasa, biogorivo, obnovljivi izvori energije, emisije ugljičnog dioksida

## **SUMMARY**

Biomass is a renewable and an unconventional source of energy that is lately increasingly replacing fossil fuels and other conventional energy sources. Reducing CO<sub>2</sub> emissions has become of great importance worldwide, considering the ongoing climate change and global warming that are happening on Earth. Biomass is divided into two main categories; biomass grown intentionally for generating energy and organic residues. Biofuels obtained from biomass can be classified into three categories: first, second and third generation biofuels. Biofuel production in Croatia is very scarce and relies mainly on the first and second generation of biofuels. Croatia's diverse vegetation and its abundance in natural resources makes its biomass potential very high. Two of the most prominent forms of biomass in Croatia are agricultural crops and residues as well as forest biomass. If biomass resources in Croatia were used in an optimal way, it will undoubtedly affect the development of most regions, especially agricultural regions that have recently been severely abandoned due to the current economic crisis. Therefore, exploring the potential that can be provided by a strategic use of Croatia's biomass resources could lead up to new job openings and great contribution to the domestic industry which is particularly important considering the current state the nation is in.

**Keywords:** biomass, biofuel, renewable energy resources, carbon dioxide emissions

## SADRŽAJ

I.UVOD.....	1
II.OPĆI DIO.....	2
2.Biomasa: porijeklo i podjele.....	2
2.1.Općenito o biomasi.....	2
2.2.Podjela biomase.....	3
2.2.1. Biomasa uzgajana za dobivanje energije.....	4
2.2.2. Organski ostaci.....	6
2.3. Biogoriva: dobivanje i generacije.....	7
2.3.1.Dobivanje biogoriva.....	8
2.3.2.Generacije biogoriva.....	9
III.PREGLEDNI DIO.....	10
3.Biomasa korištena u Hrvatskoj.....	10
3.1.Poljoprivredna biomasa.....	11
3.3.1.Energetski potencijal poljoprivredne biomase.....	12
3.2.Šumska biomasa.....	15
3.2.1. Energetski potencijal šumske biomase.....	16
IV.RASPRAVA.....	19
4.Dodatne mogućnosti iskorištavanja biomase u Hrvatskoj.....	19
4.1.Kulture kratkih ophodnji.....	19
4.2.Energetski i ekonomski potencijal KKO.....	21
4.3. Mogućnosti na tržištu CO <sub>2</sub> emisija.....	24
5. Izgaranje biomase.....	25
5.1. Usporedba emisija nastalih izgaranjem biomase i fosilnih goriva.....	25
5.2. Smanjenje emisija nastalih izgaranjem biomase.....	27

V. Zaključak.....	29
VI. Literatura.....	30
VII. Životopis.....	32



## 1.Uvod

Ljudska potreba za energijom datira još iz razdoblja pleistocena, kada su se prvi *Homo erectusi* iz praktičnih razloga naučili služiti vatrom kao izvorom topline ili pak za pripremu hrane. Takvo korištenje energije neusporedivo je s njezinom današnjom svakodnevnom potrošnjom, ali je vrlo čvrst dokaz ovisnosti čovječanstva o energiji. Iako se danas i dalje u najvećem postotku upotrebljavaju fosilna goriva kao glavni izvor energije, njihova visoka cijena, negativan utjecaj na okoliš kao i sve manja dostupnost otvara mogućnost istraživanju i razvoju biogoriva kao moguće rješenje.

Pojavom prvog naftnog šoka 70-ih godina prvi puta se razmišlja o alternativnim rješenjima koja će zamjeniti fosilna goriva. Osim toga, zbog straha od klimatskih promjena te negativnih posljedica globalnog zatopljenja, na scenu dolaze i važni svjetski događaji poput prihvaćanja i ratificiranja Kyotskog protokola gdje su se države potpisnice obvezale na smanjenje emisije stakleničkih plinova u udjelu od 5%.<sup>1</sup>

Biomasa je obnovljivi izvor energije koji je dostupan u različitim oblicima. Prema zakonu o energiji, biomasa je određena kao "biorazgradivi dio proizvoda, ostataka i otpadaka od poljoprivrede (uključivo s biljnim i životinjskim tvarima), šumarstva i drvne industrije kao i biorazgradivi dijelovi komunalnog i industrijskog otpada čije je energetske korištenje dopušteno."<sup>2</sup> Ugrubo, biomasa se dijeli na biomasu uzgajanu za dobivanje energije te na organske ostatke. Iz biomase koja se uzgaja za dobivanje energije uglavnom se proizvode goriva prve generacije, koja su u zadnje vrijeme sve češće kritizirana jer zauzimaju poljoprivredne površine koje bi trebale služiti prehrambenoj svrsi te za njihov uzgoj su potrebne velike količine gnojiva i pesticide čime se onečišćuje tlo i potencijalno podzemne vode. Takav način dobivanja biomase gubi smisao jer je primarni cilj njene uporabe smanjenje negativnog utjecaja na okoliš. Stoga su se razvila biogoriva druge generacije koja se dobivaju iz organskih ostataka (poljoprivredni ostaci, šumski ostaci, ostaci komunalnog i industrijskog otpada itd.) koji ne zauzimaju velike površine ali imaju niži energetske potencijal i potrebni su mnogi procesi predobrade kako bi se kvalificirali kao dobra sirovina za proizvodnju biogoriva. Biogoriva treće generacije, proizvedena su iz algi, i trenutno pokazuju obećavajući potencijal jer ne zauzimaju poljoprivredne površine a opet imaju dosta veliki energetske potencijal.

U Hrvatskoj najzastupljeniji oblici izvora biomase su poljoprivredna i šumska biomasa. Međutim, rascjepkanost terena pogotovo kod poljoprivrednih područja, smanjuje mogućnost maksimalnog iskorištavanja takve biomase. Pametno upravljanje prirodnim resursima koji su u velikoj mjeri zastupljeni u R.H., biomasa može poslužiti za proizvodnju toplinske i električne energije diljem Hrvatske te na taj način smanjiti troškove uvoza energenata koji se koriste za proizvodnju energije kao i smanjiti emisije CO<sub>2</sub> u atmosferu što rezultira manjim penalima prema EU kao i kvalitetnijim zrakom na području Hrvatske. Osim toga, iskorištavanje napuštenih poljoprivrednih polja na istočnom dijelu zemlje može smanjiti emigraciju stanovništva stvoriti nova radna mjesta i stvoriti bolje prilike za kvalitetniju budućnost.

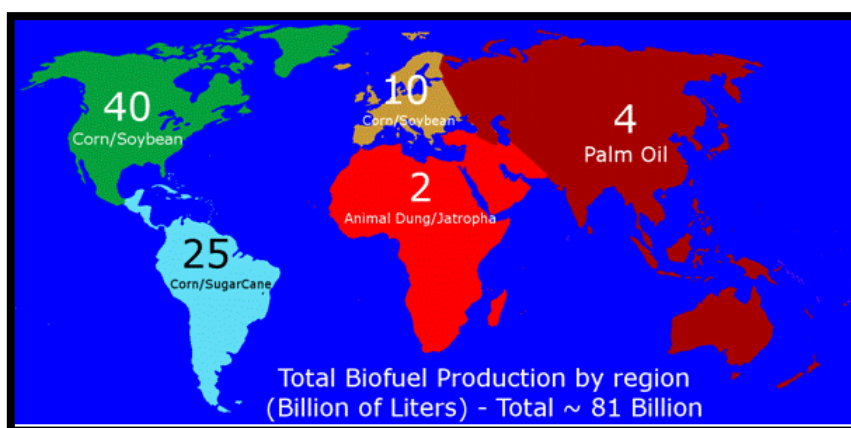
## **2. Biomasa: Porijeklo i podjele:**

### **2.1. Općenito o biomasi**

Pojam biološke mase obuhvaća materijal tj. sirovinu donedavno živućeg podrijetla (biljke, životinje i njihovi produkti). Za razliku od konvencionalnih goriva poput nafte, ugljena i zemnog plina, biomasa je obnovljivi izvor energije temeljen na ugljikovom ciklusu. Hrvatski sabor definirao je biomasu kao "biorazgradivi dio proizvoda, otpada i ostataka proizvedenih u poljoprivredi (uključujući tvari biljnoga i životinjskoga podrijetla), u šumarstvu i srodnim industrijama, kao i biorazgradivi dio industrijskoga i komunalnoga otpada".

Biomasa se smatra relativno jeftinom sirovinom čija dostupnost ne predstavlja nikakav problem, upravo iz razloga što se dobiva iz obnovljivih izvora. Međutim, ona se za razliku od solarne energije ne može svrstati u "zeleni" izvor tj. oblik energije. Osim što se velike poljoprivredne površine kontaminiraju gnojivima i različitim pesticidima za uzgoj biomase poput šećerne trske, uljane repice itd. , izgaranjem biogoriva nastalog iz biomase ispuštaju se staklenički plinovi koji pridonose globalnom zatopljenju.

Što se tiče situacije u Europi, za proizvodnju biogoriva najčešće se koristi uljana repica, pšenica i šećerna repa jer su klimatski uvjeti za uzgoj takve biomase vrlo povoljni. U SAD-u, vegetacija i uvjeti pogoduju uzgoju kukuruza, koji je u posljednje vrijeme sve više zastupljen, kao i soja te visoka prerijska trava. Južna Amerika poznata je po plantažama šećerne trske koji čine glavninu sirovine za proizvodnju biodizela. Palmino ulje ima prednost u jugoistočnoj Aziji a sirak i manioka u Kini (Slika 1).<sup>3</sup>



Slika 1. Ukupna proizvodnja biogoriva po regijama

Tablica 1 prikazuje ukupnu proizvodnju biodizela (u litrama) po kontinentima kao i sirovinu koja se koristi prilikom proizvodnje. Iz podataka prikazanih tablicom može se zaključiti da je najveća proizvodnja biodizela upravo u Europi dok je najmanja u Africi te na Bliskom Istoku. Takva raspodjela je očekivana obzirom na to da su na Bliskom Istoku najveća nalazišta fosilnih goriva te se još nije stvorila velika potreba na tržištu za biogorivima. Osim toga, na tom području je, zbog insolacije, pustinjske klime te siromašne vegetacije, puno isplativije koristiti solarnu energiju kao alternativu konvencionalnim gorivima.

Tablica 1. Proizvodnja biodizela (u litrama) po regijama te korištena sirovina za proizvodnju <sup>4</sup>

Područje	Proizvodnja biodizela (litre)	Sirovina
Europa	$7 \cdot 10^9$	Uljana repica/soja/ječam
Sjeverna Amerika	$3 \cdot 10^9$	Soja
Južna Amerika	$4 \cdot 10^9$	Zelene klice/suncokret
Afrika i Bliski Istok	Ograničena proizvodnja	Ograničena količina
Australija i Azija	$1 \cdot 10^9$	Soja/kokos/palma/otpadno ulje
<b>Ukupno</b>	<b><math>15 \cdot 10^9</math></b>	

## 2.2. Podjela biomase

Za razliku od drugih sirovina, biomasa može poslužiti kao rješenje kod zbrinjavanja biološkog otpada. To se konkretno odnosi na poljoprivredni otpad, otpad iz drvo-prerađivačke industrije, životinjski ostaci itd. S druge strane, pojam biomasa se također odnosi na namjerno uzgajanje određenih vrsta biljaka odnosno biljnih kultura koje će kasnije

poslužiti kao početna sirovina za dobivanje biogoriva. Dakle iz navedenog se može izvesti zaključak o gruboj podjeli biomase;<sup>5</sup>

- a) biomasa uzgajana za dobivanje energije
- b) organski ostaci

### **2.2.1. Biomasa uzgajana za dobivanje energije**

U biomasu koja se uzgaja za dobivanje energije ubrajamo:

- a) brzorastuće drveće
- b) šećerne vrste
- c) škrobne vrste
- d) uljne vrste
- e) alge

Svaka od navedenih vrsta mora imati ispunjene određene klimatske uvjete za svoj rast i razvoj kako bi energetska potencijal krajnje sirovine bio što veći.

#### **a) Brzorastuće drveće**

Eukaliptus, vrba i topola ubrajaju se u brzorastuće drveće koje staništa nalazi uglavnom na području Europe. Kasnije u radu, bit će govora o kulturama kratkih ophodnji koje se također ubrajaju u brzorastuće drveće i imaju veliki biomaseni potencijal. U posljednje vrijeme sve više se spominje stablo Pavlonije, autohtona vrsta u Kini koja postaje sve popularnija širom svijeta. Nakon svoje osme godine, Pavlonija daje visokokvalitetno drvo koje se lako obrađuje te koristi za izradu namještaja i glazbenih instrumenata kao i za proizvodnju peleta i bioetanola. U Hrvatskoj se danas nalazi više od 80.000 sadnica Paulovnije koje primarnu namjenu nalaze u proizvodnji biomase.<sup>6</sup>

#### **b) Šećerne vrste**

Šećerne vrste podrazumijevaju šećernu repicu, trsku, proso i slatki sirak. Šećerna trska glavna je sirovina za proizvodnju bioetanola, pogotovo u Latinskoj Americi, odnosno u Brazilu. Bioetanol se kao i alkohol proizvodi alkoholnom fermentacijom šećera uz pomoć kvasca, zatim slijedi proces pročišćavanja. Ukoliko je sirovina žitarica, škrob se putem enzima pretvara u šećer. Slatki sirak, pomalo zaboravljena kultura, uzgajana je prije 5000. g. u Africi, odakle se dalje proširila na ostale kontinente. Sirak je pogodan za uzgoj u

uvjetima gdje kukuruz slabije uspijeva te zbog toga polovica njegove svjetske proizvodnje otpada na Indiju i Kinu. Plod sirka je zrno sa sadržajem 70 – 80 % ugljikohidrata, 10 – 13 % bjelančevina, 3- 3,5 % masti , 1,5 % celuloze i 1,5 % mineralnih tvari što ga čini vrlo pogodnom sirovinom za dobivanje biomase.<sup>7</sup>

#### **c) Škrobne vrste**

Žitarice poput pšenice ili ječma, uz kukuruz, smatraju se škrobnim vrstama. Trenutno se najveća polja kukuruza nalaze u SAD-u a kukuruzovina kao takva, odnosno, njezini ostaci nakon poljoprivrednih obrada koriste se za proizvodnju konvencionalnog bioetanola. Poljoprivredna kultura kukuruza u najvećem je omjeru zastupljena u sjevernom dijelu Hrvatske, stoga je na tom području i najveći potencijal biomase iz kukuruza.

#### **d) Uljne vrste**

Ovdje ulaze poljoprivredne kulture poput uljane repice i suncokreta. U Hrvatskoj se uzgoj uljane repice odvija na oko 15.000 ha dok se prosječni prinosi njezinog sjemena kreću između vrijednosti od 2,2 do 2,5 t/ha. Takva proizvodnja uglavnom zadovoljava potrebe domaće prerađivačke industrije koja se tiče prehrambene namjene, a zbog dobre cijene i potražnje za repicom na europskom tržištu, dio sjemena se izvozi.<sup>8</sup>

#### **e) Alge**

Alge rastu 50 do 100 puta brže od tradicionalnih kultura za proizvodnju biogoriva što im daje veliku prednost nad ostalim vrstama koje se uzgajaju radi dobivanja biomase. Osim toga, velika prednost algi jest činjenica da se radi o jednostaničnim organizmima koji ne zahtijevaju svježiu pitku i zemljište za svoj rast i razvoj, što olakšava postupak proizvodnje. Alge se između ostalog mogu uzgajati na vodenim površinama, čak iako voda nije dovoljno kvalitetna za piće. One se također uzgajaju u slanoj vodi. Takvim uzgojem, na površinama koje nisu namjenjene za proizvodnju hrane ili dobivanja kvalitetne vode za piće, ostavlja ta područja nekontaminiranima te slobodnim za poljoprivrednu namjenu. Uzimajući u obzir količinu vodenih resursa kojima Hrvatska upravlja, alge imaju veliki potencijal postati konkurentnima na tržištu sirovina za proizvodnju biogoriva u RH.<sup>9</sup>

### 2.2.2. Organski ostaci

Organski ostaci, za razliku od biomase koja se namjerno uzgaja za dobivanje biogoriva, prihvatljivije su ekološko rješenje. Jedan od razloga je to što se njihovim korištenjem osim što se dobiva biogorivo rješava problem organskog otpada. Organski otpad dijelimo na drvni otpad, životinjske ostatke, organski dio javnog krutog otpada, kanalizacijski talog te industrijske ostatke koji su nastali kod prehrambene industrije te industrije papira. Drvni otpad je sav otpad koji je nastao kao rezultat održavanja šuma, obrade drvnih proizvoda ili drvno-prerađivačke industrije. Kao što je ranije spomenuto, ozbiljniji početak korištenja biomase kao energenta u RH usko je povezan uz drvnu industriju. Trenutno postoje dvije toplane na šumsku biomasu, u Ogulinu (1995.) i Gospiću (2002.). Također, u zadnjih nekoliko godina, uz potporu Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, počela je zamjena kotlova na fosilna goriva sa kotlovima na biomasu.

U posljednje vrijeme, biomasa je postala konkurentna na tržištu obnovljivih izvora energije, pa je tako nadišla hidroelektričnu energiju koja se smatrala najvećim izvorom obnovljive energije diljem svijeta. Biomasa se skuplja lokalno te je uvijek dostupna što za posljedicu ima jeftinija goriva pa su se tako u posljednjih nekoliko godina razvili bojleri na biomasu koji su postali vodeći elementi u sustavima grijanja na obnovljivu energiju. Međutim, iako biomasa uzgajana za dobivanje energije ima veći energetske potencijal od organskih ostataka, u posljednjih nekoliko godina stvara značajne ekološke probleme. Većina tih problema vezana je uz razvoj monokulture na poljoprivrednim površinama, povećane upotrebe gnojiva, pesticida i herbicida što za posljedicu ima povećano onečišćenje okoliša. Osim toga, upotreba genetski modificiranih usjeva i mikroorganizama može imati negativni utjecaj na ekosustav iz razloga što su brzorastuće monokulture stabala sklonije bolestima. Također, njihovim uzgajanjem smanjuje se bioraznolikost te se upotrebljava zemlja koja bi se mogla iskoristiti za uzgoj hrane. Stoga, rješenja poput dobivanja biogoriva iz algi i organskih ostataka čine biogoriva ekološki prihvatljivijima, jedino pitanje koje preostaje jest njihova ekonomska isplativost.<sup>10</sup>

### 2.3. Biogoriva: dobivanje i generacije

Biogoriva su kapljevita ili plinovita goriva proizvedena iz biomase, mogu biti proizvedena neposredno iz biljaka ili posredno iz poljoprivrednog otpada, industrijskog otpada ili otpada iz domaćinstva. Energija koju biogoriva nose dobivena je fiksacijom ugljika odnosno njegovom redukcijom iz atmosfere u organske spojeve. Za razliku od fosilnih goriva koja oslobađaju ugljikov dioksid u većim količinama pri tom mijenjajući klimatske uvjete na Zemlji, ugljik koji se nalazi u biogorivima dolazi iz atmosfere te ga biljke fiksiraju tijekom svog rasta. Iako se fosilna goriva dobivaju također fiksacijom ugljika, ona se ne smatraju biogorivima, razlog tome jest činjenica da sadrže ugljik koji se nije izmjenio u prirodi već dulje vrijeme.

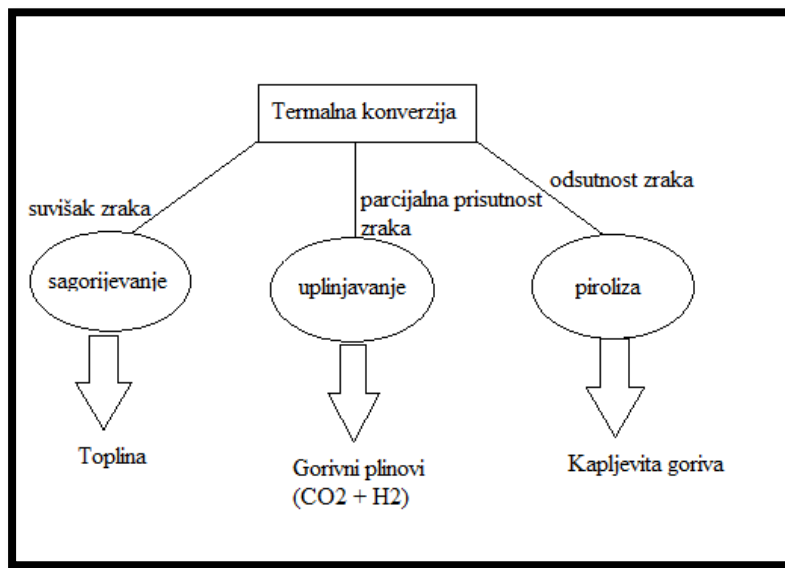
Kao što je spomenuto u uvodu rada, biogoriva su se počela podrobnije istraživati i razvijati kao posljedica nefatnog šoka 70-ih godina prošlog stoljeća. Danas, biogoriva su popularna ne samo zbog pristupačnije cijene, već i zbog smanjenog utjecaja na okoliš. Nakon ratifikacije Kyoto protokola te njegovog stupanja na snagu 2005. godine uslijedio je eksponencijalni rast u proizvodnji biogoriva, pa je tako 2010. godine svjetska proizvodnja biogoriva dosegla čak 105 milijardi litara, što je za 17% više od prethodne, 2009. godine.

Biogoriva u prometu zauzimaju oko 2.7 %, a najčešće korištena su bioetanol i biodizel. Svjetska proizvodnja bioetanola dosegla je 86 milijardi litara od kojih 90% proizvodnje otpada na SAD i Brazil. Što se tiče biodizela, njegovi najveći proizvođači su zemlje EU koje zauzimaju oko 53% udjela u svjetskoj proizvodnji.<sup>5</sup>

U Hrvatskom Nacionalnom planu stavljanja biogoriva na tržište, definiran je udio od 9,18 posto biogoriva u ukupnoj potrošnji energije u prijevozu 2020. godine. Sukladno Nacionalnom planu, u Hrvatskoj su u pogon puštena tri postrojenja za proizvodnju biogoriva, u Vukovaru, Ozlju te Virovatici. Postrojenja su ugašena, jedan od razloga jest da se proizvodnja temeljila na iskoristivosti uvezene sirovine zbog nedostatka domaće sirovine. Osim toga, nakon što se gorivo uspjelo proizvesti, nije bilo konkurentno na tržištu. Naravno, nedostatak sirovine nije posljedica nedostatka biomase već slabog interesa javnosti te poljoprivrednog sektora za proizvodnju sirovine iz biomase. Iako je potencijal proizvodnje hrvatske poljoprivrede puno veći nego što se danas ostvaruje, veliki dio površina je neiskorišten u poljoprivredne svrhe, takvo stanje treba se sagledati kao mogućnost proširenju proizvodnje sirovine za biomasu, a uz napredniju tehnologiju mogu se optimizirati i već postojeće obradive površine.<sup>11</sup>

### 2.3.1. Dobivanje biogoriva

Postoje različiti načini pomoću koji se biogoriva mogu dobiti iz biomase. Biomasa, za razliku od ostalih obnovljivih izvora energije, jedini je obnovljivi izvor energije koji se može koristiti neograničeno te upotrijebiti kako bi se proizvele električna i toplinska energija kao i tekuća goriva za vozila. Konverzija biomase odvija se termalnim ili biokemijskim putem. Termalna konverzija dijeli se na sagorijevanje odnosno izravno izgaranje, te termokemijsku konverziju u koju ubrajamo uplinjavanje i pirolizu (Slika 4). Izravno izgaranje tj. sagorijevanje je proces gdje se proizvodi pregrijana vodena para od koje se dobivaju toplinska i električna energija za kućanske ili industrijske potrebe. Biokemijski procesi podrazumijevaju fermentaciju te alkoholnu ili anaerobnu razgradnju, dok termokemijski procesi pirolizu i uplinjavanje. Biokemijski i termokemijski procesi konvertiraju biomasu u krute, tekuće ili plinovite produkte ili goriva koja se dalje upotrebljavaju za generaciju energije.<sup>12</sup>



Slika 4. Prikaz termalne konverzije



Slika 5. Biokemijska konverzija



### 2.3.2. Generacije biogoriva

Biogoriva prve generacije temelje se na proizvodnji iz šećera dobivenog iz kukuruza, repe ili šećerne trske, biljnih ulja dobivenih iz palmi ili uljanih repica, ili životinjskih masti. Glavna zamjerka biogorivima prve generacije jest što se za njihovu proizvodnju koriste prehrambeni usjevi. Pšenica te šećerna trska su najraširenije sirovine za proizvodnju biogoriva prve generacije.

Preradom šumskog i poljoprivrednog otpada, dobivaju se biogoriva druge generacije. Njihova prednost leži u činjenici da se za njihovu proizvodnju ne koriste izvori hrane odnosno poljoprivredne površine kojima bi prvotna svrha trebala biti prehrambene prirode. Biogoriva druge generacije osiguravaju bolji rad motora te znatno reduciraju emisiju CO<sub>2</sub>. Neka od najpoznatijih predstavnika biogoriva druge generacije uključuju: biometanol, biovodik, dimetilformamid (DMF), dimetileter (bio-DME), Fischer-Tropsch dizel, HTU dizel (eng. HydroThermal Upgrading) i mješavine alkohola.<sup>13</sup>

Za proizvodnju biogoriva druge generacije najčešće su upotrijebljeni lignocelulozni materijali a najčešće korišteni proizvodni procesi uplinjavanje i sinteza. Iako se biogoriva druge generacije smatraju "naprednim gorivima" problem se javlja kod predobrade sirovine. Najčešće lignocelulozni materijal ima veći udio vlage što ima za posljedicu manju energetska vrijednost, odnosno potrebno ga je prethodno sušiti kako bi se mogao dalje obrađivati.

Predobrada sirovine kod biogoriva prve i druge generacije ekonomski je zahtjevan proces, pogotovo kod druge generacije gdje se sirovine moraju odvlažiti zatim različitim procesima prevoditi u jednostavnije šećere koji će kasnije fermentirati. Također, uglavnom svaka uzgajana kultura predviđa se za određenu vrstu biogoriva, međutim, to nije slučaj kod algi. Različite vrste goriva koje se mogu proizvesti iz algi posljedica su određenih karakteristika mikroorganizama. Alge proizvode ulje koje se kasnije lako rafinira u dizel ili u pojedine komponente benzina. Druga činjenica jest da se genetskim manipulacijama algi može proizvesti paleta različitih goriva od etanola, butanola pa sve do benzina ili dizelskih goriva izravnim putem. Zbog velikih sličnosti u gustoći energije butanola i benzina, proizvodnja butanola je od velikog značaja, pogotovo kod motornih vozila. Naime u slučaju zamjene benzina s butanolom, neće doći do oštećenja motora te na njemu nisu potrebne nikakve modifikacije. Uz to, za razliku od benzina, izgaranjem butanola, smanjene su emisije štetnih plinova. Neka od goriva koja se proizvode pomoću algi su: biodizel, butanol, benzin, metan, etanol, biljno ulje itd.

### 3. Biomasa korištena u RH

U Republici Hrvatskoj najzastupljenija je uporaba šumske biomase odnosno ogrjevnog drva i poljoprivrednih ostataka. Zanimljiva činjenica jest da se 60-ih godina prošlog stoljeća iz biomase zadovoljavalo oko 1/4 energetske potrebe RH. Međutim usprkos velikom potencijalu kojim Hrvatska raspolaže za proizvodnju različitih oblika energije (toplinska energija, električna energija i biogoriva), zbog dominiranja konvencionalnih energenata tržištem, zamjene biomase energentima koji se uvoze (plin, nafta-loživo ulje, struja) te nedostatka ekološke svijesti o prednostima obnovljivih izvora energije, korištenje drvene biomase svelo se na svega 4,3 %. Osim ogrjevnog drva, Republika Hrvatska donedavno je raspolagala sa tri postrojenja za proizvodnju biogoriva ukupnog kapaciteta od oko 70.000 tona biodizela godišnje. Jedan od pogona kao osnovu za proizvodnju biodizela koristilo je otpadno jestivo ulje dok su ostala dva pogona koristila ulje uljarica. Ulaskom u Europsku Uniju Hrvatska se obvezala na poštivanje energetske strategije donešene direktivom 2009. godine. Na slici 15. Prikazani su neki od najvažnijih energetskih resursa biomase u Hrvatskoj. Sjeverni i istočni dio Hrvatske energetske resurse biomase mogu dobiti iz poljoprivrednog sektora koji dominira tim područjima. S druge strane, središnja Hrvatska najveće resurse biomase pronalazi u šumarstvu i drvodjelnoj industriji što se podrazumijeva uzimajući u obzir šumsku vegetaciju kojom taj prostor raspolaze. Istra kao i ostatak Hrvatske resurse biomase mogu dobiti kombinacijom drvodjelne industrije i poljoprivrednog sektora.<sup>2</sup>

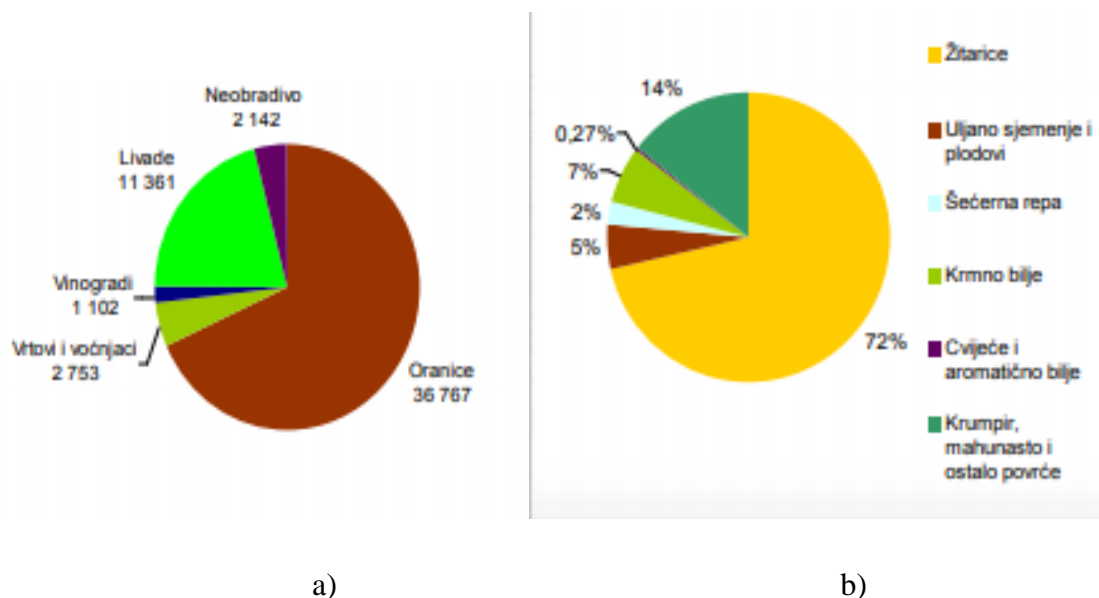


Slika 15. Energetski resursi biomase u Hrvatskoj<sup>2</sup>

### 3.1. Poljoprivredna biomasa

U Hrvatskoj su zbog optimalnih klimatskih uvjeta obradive poljoprivredne površine u obilju. Čak 74% površina odnosno 54,125 ha u Hrvatskoj ima poljoprivrednog potencijala. Od toga je 27 544 ha korištenih oranica dok je ostalih 25 % van funkcije (Slika 16.a). Poljoprivredni sektor u Hrvatskoj, zaostaje u konkurentnosti i razvoju u odnosu na planirane i željene ciljeve. Potreba za stabilizacijom kod voćarske, ratarske i vinogradske proizvodnje očituje se u konstantnom padu cjelokupne proizvodnje koja je započela početkom stoljeća a nastavlja se sve do danas, gotovo za polovicu. Drugačija situacija nije ni u stočarstvu koje pak ovisi o broju grla, prirastu te ukupnoj proizvodnji uzimajući u obzir stalne emigracije stanovništva i negativni prirast.<sup>14</sup>

Više od 140 tisuća proizvođača u RH, prema statističkim podacima, proizvodi isključivo žitarice od kojih 60 % proizvodnju organizira na površinama manjima od 2 ha. Samo 1,6 % proizvođača posjeduje preko 20 ha poljoprivrednih površina, dok se proizvodnjom uljarica bavi preko 12 tisuća proizvođača kojima se proizvodnja odvija na nešto većim posjedima od proizvođača žitarica (slika 16 b).<sup>14</sup>



Slika 16. Podjela poljoprivrednih površina u Hrvatskoj a) prema namjeni b) prema uzgojenoj kulturi

### 3.1.1. Energetski potencijal poljoprivredne biomase

U Hrvatskoj postoji više od 500.000 poljoprivrednih gospodarstava gdje se srednja veličina jednog takvog gospodarstva procjenjuje na oko 2,8 ha. Osim poljoprivrednih gospodarstava, šumarstvo se također smatra jednim od glavnih korisnika tla. Za razliku od šumsko gospodarskog područja, većinu poljoprivrednog zemljišta, oko 70% otpada na privatna gospodarstva. Upravo takva podjela odnosno rascjepkanost predstavlja najveću prepreku kod racionalnijeg iskorištavanja proizvodnih potencijala u Hrvatskoj. U poljoprivrednom sektoru, najviše se proizvode pšenica, ovas, ječam, zob i kukuruz. Od navedenih kultura, što se tiče potencijala za biomasu, više od 90% moguće biomase otpada na kulture pšenice i kukuruza.

15

Kao što je ranije spomenuto, uzevši u obzir klimatske uvjete, vegetaciju i trenutno raspoloživu tehnologiju u Hrvatskoj, dolazi se do zaključka da je zaista najveći potencijal u poljoprivrednim kulturama i šumskoj biomasi. Iako postoji veliki energetski potencijal i kod biomase dobivene iz algi, istraživanja na ovim područjima još su u ranoj fazi, a tehnologija i financijska potpora još nedostupni. Stoga, ekonomski najisplativije je fokusirati se na već postojeću tehnologiju i usmjeriti ju na najefikasniji mogući način. Kako bi se to izvelo, potrebno je napraviti detaljno istraživanje kojim će se izračunati ne samo energetski potencijal postojeće biomase već i ekonomska bilanca koja bi otišla u projektiranje postrojenja koje bi proizvodilo "čistu" energiju. Naravno, uz to je potrebno i praćenje CO<sub>2</sub> emisija te svesti tu količinu na najmanji mogući iznos.

Kako bi se energetski potencijal poljoprivredne i šumske biomase u potpunosti iskoristio, potrebno je poznavati njihovu dinamiku nastajanja. Poljoprivredna biomasa ne nastaje konstantno kroz cijelu godinu, već periodično a prikuplja se sezonski. Primjerice, slama na poljima nastaje od sredine lipnja do sredine srpnja dok kukuruzovina nešto kasnije, od sredine rujna do sredine listopada. Nakon što se obavi žetva, sljedi prikupljanje poljoprivredne biomase te njezino skladištenje i transport do primarnih skladišta koja se nalaze blizu energetskih postrojenja u kojima će se ona dalje obrađivati.

Množenjem donje ogrjevne vrijednosti i tehničkog potencijala za određeni tip biomase, dobiva se njezin energetski potencijal i računa se prema sljedećem izrazu:

$$E_p = T_p \times H_d \quad (1)$$

gdje je:

Ep – Energetski potencijal biomase, GJ

Tp – Tehnički potencijal biomase, t

Hd – donja ogrjevna vrijednost biomase, GJ/t

Kao primjer izračuna energetskog potencijala, može se uzeti kultura kukuruzovine, odnosno ostaci nakon žetve. Međutim kako bi se došlo do vrijednosti tehničkog potencijala kukuruzovine potrebno je uzeti još neke parametre kao što su ukupna količina (ostataka) kukuruzovine, količina kukuruzovine koja mora ostati u tlu radi zaštite od erozije te kukuruzovinu koja ostaje na poljima odnosno gubici koje je nemoguće prikupiti koji nastaju kao rezultat mehanizacije.

Kukuruzovina (t) = proizvodnja kukuruza (t) × žetveni omjer (-) (2)

Kukuruzovina na poljima (t) = kukuruzovina (t) × gubici (%) (3)

Zaštita tla (t) = kukuruzovina (t) × zaštita tla od erozije (%) (4)

**Tehnički potencijal (t) = kukuruzovina (t) – zaštita tla (t) – kukuruzovina na poljima (t)**  
(5)

Iz tablice 7. moguće je izvući vrijednosti za ukupnu količinu proizvedene kukuruzovine u R.H., proizvedenu količinu kukuruza po tvrtkama te po obiteljskim gospodarstvima u razdoblju od 2002. do 2006. godine.

Tablica 7. Proizvodnja kukuruza u Hrvatskoj i na obiteljskim gospodarstvima te u tvrtkama u razdoblju od 2002-2006 <sup>15</sup>

Županije		Ukupna proizvodnja kukuruza			tvrtke	Obiteljska gospodarstva
		Zas. pov., ha	Proizv., t	Prinos, t/ha	Proizv., t	Proizv., t
Republika Hrvatska	Avg.	357.278	2.053.043	5,86	275.349	1.777.694
	Max.	407.455	2.501.774	6,92	369.608	2.132.166
	Min.	296.521	1.569.150	3,86	206.167	1.362.983

U izračunu uzete su prosječne vrijednosti za ukupnu proizvodnju kukuruza u R.H. Prema izrazu (2) slijedi:

**Kukuruzovina (t) = 2,053,043 t x 0.8 = 1,642,434.4 t kukuruzovine**

Vrijednost žetvenog omjera za kukuruzovinu kreće se od 0,66 do 1 i ovisi o vlažnosti zrna prilikom žetve, pretpostavljeni žetveni omjer u ovom izračunu je 0.8.<sup>16</sup>

Prema literaturi, gubici koji nastaju upotrebom mehanizacije prilikom prikupljanja kreću se između 15% i 25%<sup>17</sup>, a ovise o tipu mehanizacije koja se koristi za prikupljanje. Pretpostavljeni gubici u ovom izračunu su 20% sukladno tome slijedi prema izrazu (3):

**Kukuruzovina na poljima (t):  $1,642,434.4 \text{ t} \times 0.20 = 328,486.88 \text{ t}$**

Kako bi se provela adekvatna zaštita poljoprivrednih zemljišta od erozije, 30% do 50% od ukupne količine kukuruzovine koja nastaje na poljima mora ostati u tlu.<sup>17</sup> Pretpostavljeni iznos količine kukuruzovine ostavljene radi zaštite tla u ovom izračunu je 50%. Stoga prema izrazu (4) slijedi:

**Zaštita tla (t):  $1,642,434.4 \text{ t} \times 0.50 = 821,217.2 \text{ t}$**

Nakon dobivenih vrijednosti, konačno se može izračunati prosječna vrijednost tehničkog potencijala za ukupnu proizvodnju kukuruzovine u R.H. u razdoblju od 2002. do 2006. godine prema izrazu (5):

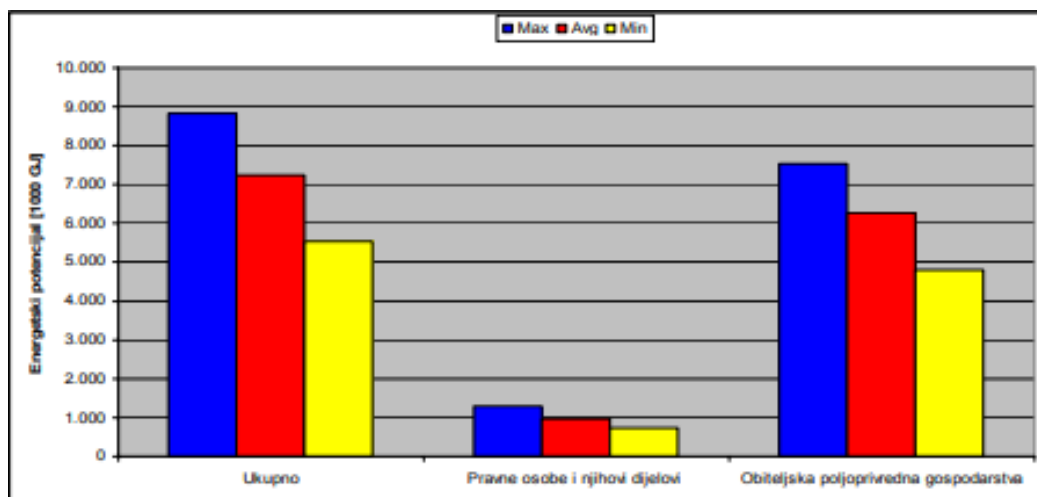
**Tehnički potencijal (t) =  $1,642,434.4 \text{ t} - 328,486.88 \text{ t} - 821,217.2 \text{ t} = 492,730.32 \text{ t}$**

Kako bi se izračunala vrijednost energetskeg potencijala kukuruzovine koja ima vlažnost 20 % korištena je donja ogrjevna vrijednost od 14,7 GJ/t izvučena iz literaturnih podataka.

**Ep (kukuruzovine) =  $492,730.32 \text{ t} \times 14.7 \text{ GJ/t} = 7,243,135.7 \text{ GJ}$**

Detaljnijim istraživanjima i konkrentnijim izračunima mogu se dobiti maksimalne i minimalne kao i prosječne vrijednosti tehničkih potencijala kukuruzovine u Hrvatskoj, na obiteljskim gospodarstvima te gospodarstvima pravnih osoba.

Slika 17.Prikazuje energetskeg potencijal kukuruzovine u Hrvatskoj te na obiteljskim gospodarstvima kao i na gospodarstvima pravnih osoba.Sukladno prethodnim rezultatima, najveći energetskeg potencijal pripada obiteljskim poljoprivrednim gospodarstvima, međutim upravo u tome leži i problem iskorištavanja poljoprivredne biomase, rascjepkanost parcela zbog koje je teško iskoristiti potpuni potencijal takve biomase.<sup>18</sup>



Slika 17. Energetski potencijal kukuruzovine u Hrvatskoj, na obiteljskim gospodarstvima kao i na gospodarstvima pravnih osoba

Na isti način mogu se izračunati tehnički potencijali za ostale poljoprivredne kulture i žetvene ostatke kao i za ostatke iz voćnjaka.

U Hrvatskoj je, prema literaturnim podacima, ukupna proizvodnja električne energije 2013.godine iznosila 13 431,1 GWh, pri čemu je oko 65,2 % proizvedeno iz obnovljivih izvora energije uključujući i velike hidroelektrane. Od toga su velike hidroelektrane sudjelovale sa 60,3 %, a 4,9 % električne energije proizvedeno je iz ostalih obnovljivih izvora (male hidroelektrane, energija vjetra, biomasa, bioplin i fotonaponski sustavi). S druge strane, kada se govori o ukupnoj potrošnji električne energije u RH, električna energije proizvedena iz obnovljivih izvora energije sudjelovala je s 48,2 %. Pri tome je 3,6 % iznosa otpao na obnovljive izvore koji ne uključuju hidroelektrane.<sup>14</sup>

### 3.2. Šumska biomasa

Od ukupne kopnene površine Republike Hrvatske, šumskogospodarsko područje zauzima 47%. Od tog postotka 78% šuma te šumskog zemljišta je u državnom vlasništvu dok ostalih 22% zemljišta otpada na privatno vlasništvo. Državne šume podjeljene su na gospodarske, zaštitne i šume s posebnom namjenom. Od cjelokupne kopnene površine, 42% je obraslo različitim oblicima šumske vegetacije, 3,6 % je neobraslo proizvodno šumsko zemljište, 0,6 % kopnenog područja otpada na neobraslo neproizvodno šumsko zemljište te samo 0,8% šumskog zemljišta smatra se neplodnim.<sup>18</sup>

Uzimajući u obzir raniju podjelu državnih šuma, gospodarske šume najviše se koriste za proizvodnju različitih šumskih proizvoda dok zaštitne šume služe za zaštitu zemljišta, izvora vode, naselja, objekata i drugih imovina. Šume s posebnom namjenom, uglavnom se koriste kod znanstvenih istraživanja ili provođenja nastave kao i za proizvodnju šumskog sjemenja i druge odabrane potrebe RH. Od ukupne površine šumskog zemljišta 90% čine gospodarske šume, 6% zaštitne šume a preostalih 4% zauzimaju šume s posebnom namjenom. Usprkos velikom postotku prekrivenosti Hrvatske šumskim zemljištem, šumarstvo u BDP-u sudjeluje samo sa 1,2% a cjelokupna drvna industrija s 2,5%.

Za razumijevanje šumske biomase, i njenog potencijala važno je poznavati definiciju *etat*. Etat je drvna zaliha ili površina šuma koja je osnovom gospodarenja predviđena za sječu te planira se za jednu godinu, polurazdoblje (10 godišnji etat) ili za razdoblje (20 godišnji etat). Teoretski godišnji etat iznosi oko 11 mil. m<sup>3</sup>, a prosječni godišnji etat 8,39 mil. m<sup>3</sup> od čega 7,33 mil. m<sup>3</sup> je iz državnih šuma. Razlika u etatu od oko 3 mil. m<sup>3</sup> uzrokovana je najviše otvorenosću šuma (omjerom duljine šumskih prometnica i površine šuma), miniranosću jednog dijela (oko 61% ukupnog miniranog područja u Hrvatskoj otpada na šume) te lošom evidencijom, pogotovo kada se radi o privatnim šumama. Osim tehničkih razloga koji spriječavaju šumsku biomasu da igra veću ulogu kod energetskog iskorištavanja postoje i razlozi poput niske ekološke svijesti stanovništva koja daje prednost konvencionalnim energentima bez obzira na mnoge prednosti biomase kao što su smanjenje štetnih emisija, niži troškovi za gorivo, itd.<sup>18</sup>

### **3.2.1. Energetski potencijal šumske biomase**

Šumska biomasa (granjevina, panjevi itd.) nastaje tijekom cijele godine odnosno, dobiva se tijekom cijele godine jer se tako odvija i sječa šuma. Godišnja sječa šuma raspodjeljuje se na tromjesečja gdje se najviše šumskih ostataka dobiva u prvom i zadnjem tromjesečju jer se tada najviše sječe. Bjelogorična drva kao što su hrast, bukva i grab, više se sječu u prvom tromjesečju dok se u drugom i trećem tromjesečju više sječu crnogorična drva poput jele i smreke. U tablici 8. prikazane su površine šuma i šumskog zemljišta, drvna zaliha godišnji tečajni prirast i etat za državne šume kojima gospodare HŠ d.o.o.



Tablica 8. Površine šuma i šumskog zemljišta, drvena zaliha, godišnji tečajni prirast i etat za državne šume kojima gospodare HŠ d.o.o.<sup>19</sup>

	<b>Površina šuma i šum. Zemljišta ha</b>	<b>Drvena zaliha m<sup>3</sup></b>	<b>Godišnji tečajni prirast m<sup>3</sup></b>	<b>Prosječni godišnji etat m<sup>3</sup></b>
<b>Ukupno HŠ d.o.o.</b>	2,018,987.10	302,417,398	7,960,286	5,793,502

Prilikom sječe šuma, sitna granjevina i panjevi su šumski ostatak koji se izvlači iz šuma na šumske puteve ili se pak vozi na glavna šumska skladišta gdje se obradi i usitni u sječku koja kasnije služi kao pogonsko gorivo ili u energetske svrhe. Tehnički potencijal šumskih ostataka računa se na sljedeći način:

$$\text{TEHNIČKI POTENCIJAL (m<sup>3</sup>)} = \text{ETAT (m<sup>3</sup>)} \times \text{ŠUMSKI OSTATAK (\%)}$$

Šumski ostatak nastaje kao rezultat sječe drveta i računa se da zauzima od 12% do 15 % od ukupne mase prosječnog drveta. Količina ostatka koji se smatra korisnim ovisi o vrsti drveta, pri čemu bjelogorično drvo ima manju vrijednost ostataka od crnogoričnog drva.<sup>19</sup>

Dakle, kada bi se računala srednja vrijednost tehničkog potencijala, prema podacima iz tablice 8. šumske biomase u jednoj godini, uz pretpostavku da je šumski ostatak 12 % slijedi prema izrazu:

$$T_p (\text{šumske biomase, m}^3) = \text{prosječni godišnji etat (m}^3) \times 0.12$$

$$T_p (\text{šumske biomase, m}^3) = 5,793,502 \times 0.12 = 695,220.24 \text{ m}^3$$

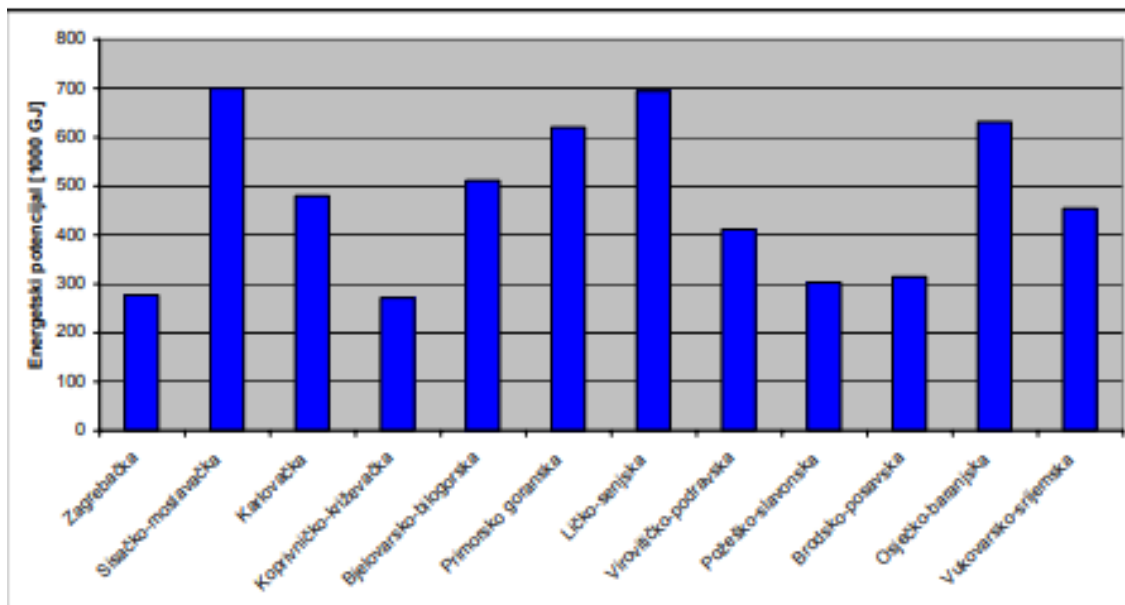
Kao što se vidi iz izračuna tehničkog potencijala za šumsku biomasu množi se vrijednost etata (m<sup>3</sup>) sa vrijednostima šumskih ostataka, a prilikom računanja energetskeg potencijala, donja ogrijevna vrijednost se preračuna iz GJ/t u GJ/m<sup>3</sup> pomoću izraza za gustoću koja ovisi o vrsti i vlažnosti pojedine vrste drveća. U ovom slučaju, iz literature su izvučeni podaci srednjih vrijednosti pomoću kojih će se dobiti okvirna vrijednost energetskeg potencijala

šumske biomase. Tako je za šumsku biomasu vlažnosti 50 %, pretpostavljena donja ogrijevna vrijednost 8,5 GJ/t a za gustoću je uzeta vrijednost srednje gustoće drveta 1 t/m<sup>3</sup>.

$$E_p (\text{šumske biomase}) = T_p (\text{šumske biomase, m}^3) \times H_d \times \rho$$

$$E_p (\text{šumske biomase}) = 695,220.24 \text{ m}^3 \times 8,5 \text{ GJ/t} \times 1 \text{ t/m}^3 = 5,909,372.04 \text{ GJ}$$

Dakle, prema gornjem izračunu, srednji energetska potencijal šumske biomase iznosi skoro 6 milijuna GJ što je ekvivalentno 1,641,492.23 MWh korisne energije. Iz rezultata je vidljivo da je energetska potencijal šumske biomase znatno veći od energetska potencijala poljoprivrednih ostataka. Na slici 18. prikazan je energetska potencijal šumskih ostataka po županijama u Hrvatskoj. Na slici nisu prikazane sve županije jer je njihov energetska potencijal šumskih ostataka zanemariv, stoga se te županije mogu zanemariti. Najveći potencijal imaju Sisačko-moslavačka, Primorsko-goranska, Ličko-senjska te Osječko-baranjska županija.



Slika 18. Energetska potencijal šumskih ostataka po županijama<sup>18</sup>

## 4. Dodatne mogućnosti iskorištavanja biomase u Hrvatskoj

### 4.1. Kulture kratkih ophodnji

Kulture kratkih ophodnji (KKO) su energetske nasadi, najčešće topole ili vrbe koji se koriste za proizvodnju toplinske ili električne energije. Takva vrsta izdanačke kulture ili panjača pomlađuje izdancima iz panja ili korijena. Ovakvi nasadi koriste se kao panjače u vrlo kratkim ciklusima te se sijeku svake druge do pete godine a gustoća sadnje im je vrlo velika (od 1,000 do 30,000 biljaka/ha).<sup>20</sup> Nakon sječe, potjeraju novi izbojci koji se ponovno sijeku za dvije do pet godina, šest do osam ophodnji će se sukcesivno sjeći, međutim nakon toga se kultura mora iskrčiti i zamjeniti novom kulturom sadnica.

Kulture kratkih ophodnji idealno su rješenje za iskorištavanje potencijala napuštenih tla na kojima poljoprivredna proizvodnja nije rentabilna ili jednostavno ne odgovara za uzgoj vrijednijih šumskih vrsta. Glavna funkcija KKO jest da posluži kao izvor biomase koji je obnovljiv i ekološki prihvatljiv. Ostale prednosti takve kulture uključuju njihovu funkciju diversifikacije poljoprivrednog zemljišta, mogućnost da posluže kao alternativna poljoprivredna kultura na lošijim staništima, mogućnost ekološki naprednijeg načina pročišćavanja otpadnih voda i tla te vezivanje povećane količine atmosferskog ugljika.

Osnivanjem kultura kratkih ophodnji ili uzgajanjem brzorastućih drveća na 180.000 ha neobraslog šumskog zemljišta moguće je povećati godišnji etat a time i tehnički pa i energetske potencijal šumske biomase. Povećanje je moguće dobiti i u poljoprivrednom sektoru kroz proizvodnju biogoriva na neobrađenim dijelovima površina (947.000 ha) dok bi se ono područje s privremenim nepogodnim tlama (611.324 ha) i područje s trajnim nepogodnim tlama (806.648 ha) moglo iskoristiti za osnivanje kultura kratkih ophodnji sa šumskim vrstama u razdoblju od najviše 15 godina.<sup>20</sup>

Mogućnost vezivanja CO<sub>2</sub> iz atmosfere, glavna je prednost korištenja biomase, utvrđeno je da se prosječno godišnje poniranje kod KKO-a kreće između 11,2 i 27,5 t CO<sub>2</sub> po hektaru. Prema podacima iz literature, kroz deset godina uzgajanja kod kulture kratkih ophodnji rezultiralo bi ponorom od 134 do 235 t CO<sub>2</sub> po hektaru što je značajno veća vrijednost u usporedbi s pr. klasičnim kulturama topola.<sup>20</sup>

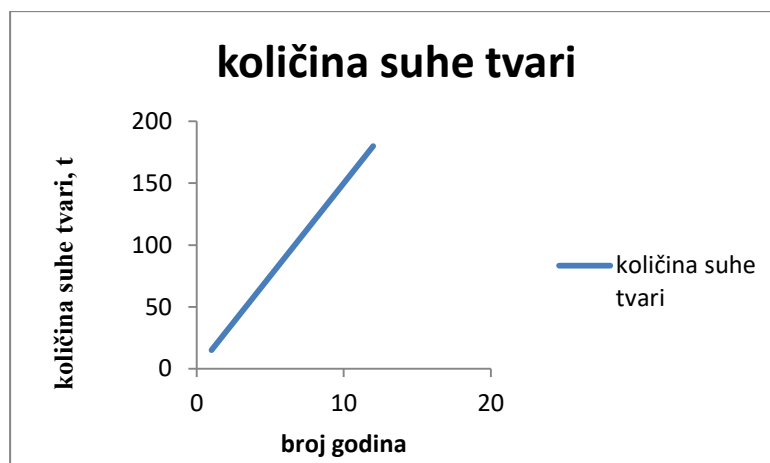
Za osnivanje jednog hektara KKO vrba, vrsta drveća koja se u istraživanjima dokazala najisplativija s obzirom na proizvodnju i na uzgajanje na težim tipovima hidromorfne tala, pri čemu jedan hektar sadrži oko 9000 komada, potrebno je izdvojiti oko 30.000 kn. Tu sumu

čine troškovi pripreme zemljišta, cijena sadnica te dvije njege tijekom prve godine od osnivanja kulture. Dodatni troškovi održavanja iznose oko 18.000 kn čime se ukupni troškovi osnivanja i održavanja jednog hektara KKO procjenjuju na 48.000 kn. Ako bi se uzeo ciklus od 6 ophodnji, odnosno šest sječa od po dvije godine s prosječnom produkcijom od 15 t suhe tvari godišnje, kroz 12 godina bi ukupna proizvodnja dosegla 180 tona suhe tvari.<sup>20</sup> Također, računa se da bi prosječno vezivanje od 15 t/CO<sub>2</sub> po hektaru godišnje rezultiralo sa ukupno 180 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> u navedenih 12 godina (tablica 9)

Tablica 9. Proizvodnja suhe tvari i količina vezanog CO<sub>2</sub> u 12 godina pomoću KKO

Godina	Suha tvar/t	Vezivanje CO <sub>2</sub> t/ha
1	15	15
2	30	30
3	45	45
4	60	60
5	75	75
6	90	90
7	105	105
8	120	120
9	135	135
10	150	150
11	165	165
12	180	180

Slika 19. Prikaz promjene količine suhe tvari kroz period od 12 godina



## 4.2. Energetski i ekonomski potencijal KKO

Dakle, ukupni troškovi osnivanja i održavanja hektara KKO iznosi oko 48,000 kn pri čemu je kroz 12 godina ukupno proizvedeno 180 t suhe drvne tvari. Ako bi podijelili ukupni trošak proizvodnje sa količinom proizvedene suhe tvari dobili bi da je cijena po toni drvne biomase oko 267 kuna odnosno 35,6 eura/t što odgovara tržišnoj cijeni biomase.<sup>20</sup> Ako se na tu cijenu dodaju poticaji od strane Ministarstva koji iznose od 110 do 220 eura po hektaru godišnje to dodatno smanjuje troškove investicije, također, za razdoblje od 15 godina dobivaju se povlastice oslobođenja od plaćanja poreza na zemljište.

Ako se uzmu raniji podaci o površinama s privremenim nepogodnim tlima (611,324 ha) te površinama s trajnim nepogodnim tlima (806,648 ha) te se na njima primjeni gornji izračun, uz pretpostavku da se koriste klonovi vrbe kao kultura kratkih ophodnji, onda slijedi:

Za površine s privremeno nepogodnim tlima, ako se iskoristi samo 50 % takvih površina tj. 305,662 ha slijedi:

1 ha = 48,000 kn troškovi osnivanja i održavanja

305.662 ha = 14,671,776,000 kn troškovi osnivanja i održavanja

**Ako 1 ha klonova vrbe daje 15 t suhe tvari godišnje, onda 305.662 ha:**

15 t x 305,662 ha = 4,584,930 t suhe tvari godišnje

**(Količina suhe tvari, 12 godina) = Količina suhe tvari / t god<sup>-1</sup> x 12 godina =**

**(Količina suhe tvari, 12 godina) = 4,584,930 t x 12 = 55,019,160 t suhe tvari**

Uz poticaje od 110 eura po hektaru godišnje

**Poticaj = 110 eura x broj godina x nasadna površina (ha)**

**Poticaj = 110 eura x 12 x 305,662 ha = 403,473,840 eura x 7,407 = 2,988,530,732.88 HRK**

Dakle, ako bi se nadodali poticaji, ukupni trošak se smanjuje za oko 20% od početnog iznosa

Ista računica primjenjiva je i za površine s trajno nepogodnim tlima, također uz pretpostavku da je 50 % te površine zasađen klonom vrbe kultura kratkih ophodnji.

**Površine s trajno nepogodnim tlima: ukupna površina x udio prekrivenosti KKO**

**Površine s trajno nepogodnim tlama:**  $806,648 \text{ ha} \times 0.50 = 403,324 \text{ ha}$

**Ako 1 ha klonova vrbe daje 15 t suhe tvari godišnje, onda 403,324 ha daje:**

$15 \text{ t} \times 403,324 \text{ ha} = 6,049,860 \text{ t}$  suhe tvari godišnje

Ukupna količina suhe tvari koja bi se dobila zbrajanjem suhe tvari dobivene na površinama s trajno nepogodnim tlama te privremeno nepogodnim tlama iznosila bi oko 10,634,790 tona godišnje. Za rad elektrane na biomasu, snage 20 MWe koja radi 8,000 sati godišnje, prosječne vlažnosti sječke 35% te prosječne iskoristivosti električne energije 32% potrebno je osigurati oko 170,000 t drvene biomase godišnje.<sup>21</sup> Neto dobivena električna energija takve elektrane iznosila bi:

$E \text{ (MWh/god)} = P \text{ (elektrane, 20 MWe)} \times t \text{ (elektrane, h)} \times i \text{ (elektrane)}$

$E \text{ (MWh/god)} = 20 \text{ MWe} \times 8,000 \text{ h} \times 0,32$

$E \text{ (elektrane)} = 51,200 \text{ MWh/god}$

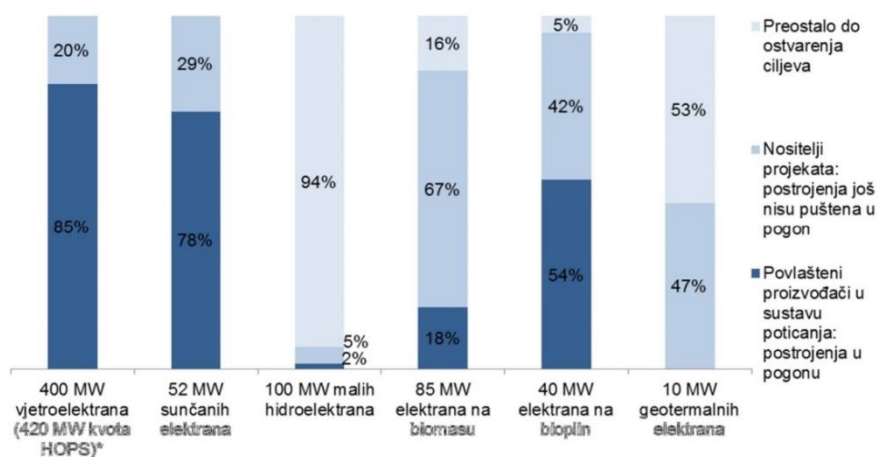
Prodajna cijena električne energije, prema literaturnim podacima iznosi 1,04 HRK/kWh odnosno 0,142 €/kWh.<sup>22</sup> Ta cijena odnosi se na period od 12 godina. Osim toga, visina poticajne električne energije proizvedene iz postrojenja koje koristi obnovljive izvore energije korigira se svake godine za indeks cijena na malo tako što se poticajna cijena iz prethodne godine pomnoži s godišnjim indeksom cijena na malo za prethodnu kalendarsku godinu. Godišnji indeks cijena na malo za prodaju električne iznosi 102,5 odnosno otkupna cijena se korigira za 2,5 %. Dobiveni prihodi od električne energije elektrane kroz 12 godina, prikazani su u tablici 10.

Tablica 10. Godišnji prihodi od prodaje električne energije

Godina	Ukupni godišnji novčani primitci od prodaje električne energije (€)
1	7,452,160
2	7,638,464
3	7,829,425
4	8,025,160

5	8,225,789
6	8,431,433.7
7	8,642,219.56
8	8,858,275.05
9	9,079,731.93
10	9,306,725.23
11	9,539,393.36
12	9,777,878.19

Naravno u ovaj račun nisu uzeti troškovi investicija izgradnje postrojenja, koji se moraju oduzeti od prihoda kako bi se dobila realna slika o tome kakav je povrat investicija i ukupna isplativost projekta. Izračun je izrađen kako bi se dobila okvirna slika energetskog i financijskog potencijala neiskorištenih šumskih područja koja su trenutno napuštena jer su trajno ili privremeno neprikladna za uzgoj. Ako je za rad jedne takve elektrane potrebno 170,000 tona godišnje onda s godišnjom količinom suhe tvari dobivene uzgojem KKO na 50 % površina trajno i privremeno neprikladnih tla za uzgoj koja iznosi 6,049,860 t može se potencijalno pokrenuti oko 35 elektrana snage 20 MWe. Prema strategiji energetskog razvoja RH (NN 130/09) postavljen je cilj da će se do 2020 godine koristiti 26 PJ energije iz biomase, dio te biomase upotrebljavat će se u elektranama. Iako je Hrvatski operator tržišta energije sklopio ugovor o otkupu električne energije, postrojenja još nisu puštena u pogon, a njihova ukupna predviđena snaga je oko 85,823 MW te uključuje ukupno 53 postrojenja (slika 20).<sup>23</sup>



Slika 20. Očekivani ciljevi iz Nacionalnog akcijskog plana za obnovljive izvore energije do 2020.

### 4.3. Mogućnosti na tržištu CO<sub>2</sub> emisija

Osim velikog biomasenog potencijala, kulture kratkih ophodnji također vežu velike količine CO<sub>2</sub> te kada bi se ponovno vodili gornjim primjerom, gdje je samo 50 % površina s privremenim i trajnim nepogodnim tlima iskorištena, količina ukupno vezanog CO<sub>2</sub> kroz 12 godina bila bi:

	Količina apsorbiranog CO <sub>2</sub> na površinama s privremenim nepogodnim tlom, t CO <sub>2</sub>	Količina apsorbiranog CO <sub>2</sub> na površinama s trajnim nepogodnim tlom t CO <sub>2</sub>
Nakon 12 godina	55,019,160	72,598,320
Ukupno nakon 12 godina	127,617,480	

U travnju 2007.godine Hrvatska je ratificirala Kyoto Protokol čime je preuzela obvezu smanjenja emisija stakleničkih plinova iz antropogenih izvora za 5 % u razdoblju od 2008.godine do 2012.godine u odnosu na 1990.godinu koja se smatra referentnom godinom. Obveze preuzete Kyoto Protokolom ispunjene su većinom zbog pada gospodarstva te ekonomske krize, a manjim dijelom i zbog provođenja mjera smanjenja emisija

Bez obzira na to da li će se te površine koristiti za proizvodnju biomase ili ne, uzgajanjem kultura kratkih ophodnji diže se vrijednost tih zemljišta, upravo zbog njihove sposobnosti vezivanja CO<sub>2</sub>. Iako Hrvatska nije premašila dopuštenu razinu CO<sub>2</sub> smanjenje emisija i dalje igra veliku ulogu, ne samo iz ekoloških razloga već i iz ekonomskih. U sklopu toga, definirana je Europska shema trgovanja emisijama a to je shema sa zadanim apsolutnim ograničenjem emisija gdje je svakom postrojenju dodjeljen određen broj emisijskih kvota. Na taj način, omogućuje se trgovanje među postrojenjima tako da se osim smanjena vlastitih emisija, kvota može zadovoljiti i kupovinom emisijskih prava na tržištu. Trgovanje CO<sub>2</sub> emisijama danas vrlo je profitabilna grana koja ide uz obnovljive izvore energije. Vrijednost svjetskih tržišta emisija 2006.godine iznosila je oko 22,5 milijardi eura, a trgovalo se sa 1,6 milijardi tona CO<sub>2</sub>. U ukupnoj svjetskoj trgovini emisijama na EU ETS shemu otpalo je 62 % ukupnog volumena i preko 80 % ukupne vrijednosti svih tržišnih emisija.<sup>20</sup>



## 5. Izgaranje biomase

### 5.1. Usporedba emisija nastalih izgaranjem biomase i fosilnih goriva

Smisao korištenja biomase leži u tome da nema negativan utjecaj na okoliš, odnosno da je taj utjecaj neznatan u usporedbi s fosilnim gorivima. Međutim, strogo promatrajući, biomasa (pogotovo šumska i poljoprivredna) i fosilna goriva s obzirom na emisije pri izgaranju uopće se ne razlikuju jer u oba slučaja nastaju velike količine ugljičnog dioksida kao i brojni drugi štetni spojevi. No, razlika pri korištenju biomase je u tome što preostala biomasa (biljke, drveće, itd.) ili primjerice novozasađeno drveće ponovno koriste ugljični dioksid za svoj rast i razvoj što se smatra glavnim razlogom zbog kojeg se biomasa smatra CO<sub>2</sub> neutralnim izvorom energije. Primjenom biomase umjesto fosilnih goriva, ugljik koji je pohranjen u fosilnim gorivima se vraća nazad na zemlju i ne odlazi nazad u atmosferu gdje kao CO<sub>2</sub> stvara efekt staklenika i utječe na klimatske promjene.

Oporaba ugljika jedna je od glavnih prednosti korištenja biomase, ipak, pri njenom izgaranju emitiraju se još neki štetni plinovi poput dušičnih i sumpornih oksida te različitih čestica koje se ne mogu smatrati neutralnima. Do emisija također dolazi i u većini procesa pripreme odnosno predobrade biomase te u koracima njezinog iskorištavanja (primjerice u uzgoju, preradi, transportu, rukovanju, skladištenju itd.) gdje se najčešće koristi energija dobivena iz fosilnih goriva. Dakle veća efikasnost cjelokupnog procesa je temeljna pretpostavka za smanjivanje emisija. Važno je imati na umu da CO<sub>2</sub> neutralnost pri korištenju biomase vrijedi samo uz uvjet ponovnog uzgoja iste količine koja je iskorištena za njezino dobivanje. Pri tome je potrebno naglasiti da zrele šume koje se ne sijeku više, ne mogu se smatrati CO<sub>2</sub> „ponorima“ odnosno ne doprinose vezivanju CO<sub>2</sub> iz atmosfere jer biljke i drveće, nakon određene zrelosti vežu otprilike isto toliko ugljika koliko ga ispuštaju procesom fotorespiracije i oksidacije mrtvih organskih tvari. Ovdje veliku prednost od svih vrsta biomase imaju alge, upravo iz razloga što za njihov uzgoj i obradu koristi se puno manje energije i prostora a izgaranjem su emisije štetnih plinova manje nego kod emisija nastalih od biogoriva prve i druge generacije.<sup>2</sup>

U tablici 11. prikazana je usporedba prosječne emisije tijekom cjelokupnog procesa energetskog iskorištavanja šumske biomase i nekih fosilnih goriva. Može se zaključiti da je ugljen u termoelektranama najveći izvor ugljičnog dioksida dok je šumska biomasa koja se koristi u kogeneracijskim postrojenjima najmanje štetna za okoliš po pitanju emisija u atmosferu.

Tablica 11. usporedba prosječne emisije tijekom cjelokupnog procesa energetskog iskorištavanja šumske biomase i nekih fosilnih goriva.<sup>2</sup>

Energetsko postrojenje	Prosječni učin, kW	Gorivo			
		Šumska biomasa	Fosilna goriva		
		sječka	Prirodni plin	ugljen	Lako loživo ulje
		Emisija, t/TJ (t ekvivalenta CO <sub>2</sub> po TJ korisne energije)			
Kamini, peći na drva	5-20	8	-	-	-
Kotlovi za centralno grijanje	10-350	7	90	175	-
Kotlovi za toplinarske sustave	350-100 000	8	95	150	-
Kogeneracijska postrojenja	500-300 000	5	85	145	110
Termoelektrane	10 000- 150 000	12	140	275	-

Emisije koje nastaju izgaranjem biomase mogu se podijeliti u dvije kategorije; emisije pri potpunom izgaranju i emisije pri nepotpunom izgaranju. Kada se procjenjuje utjecaj proizvodnje energije iz različitih goriva, prate se emisije ugljičnog dioksida, dušićnih i sumpornih oksida te čestica.<sup>2</sup>

Emisije pri potpunom izgaranju najčešće obuhvaćaju sljedeće tvari:

- ugljični dioksid
- dušićne okside
- sumporne okside
- klorovodike
- čestice

Emisije pri nepotpunom izgaranju obuhvaćaju:

- ugljični monoksid
- čestice
- dioksine i furane i različite druge plinove (metan, hlapivi organski spojevi itd.)

## **5.2.Mogućnosti za smanjivanje emisija nastalih izgaranjem biomase**

Obzirom na to da se biogoriva dobivena iz biomase smatraju „zelenim“ gorivima a biomasa obnovljivi tj. „čisti“ izvor energije iako to nije u potpunosti slučaj, potrebno je pokušati što je više moguće regulirati emisije koje iz nje proizlaze te svesti ih na najmanju moguću razinu. Stoga, postoje razne tehničke mjere koje imaju za cilj upravo smanjivanje emisija nastalih izgaranjem biomase. Te mjere, ugrubo se dijele na primarne i sekundarne. Primarnim mjerama se utječe na odvijanje procesa izgaranja, dok se sekundarnim mjerama utječe na izvedbu ložišta ili sustava za odvod dimnih plinova.<sup>2</sup>

Kao što je ranije spomenuto, primarne mjere uključuju korake kojima se izravno utječe na odvijanje procesa izgaranja kako bi se smanjilo odnosno, izbjeglo nastajanje pojedinih štetnih tvari. Takvi postupci najčešće obuhvaćaju:

- promjenu sastava goriva
- smanjenje udjela vlage u gorivu
- izgaranje sa stupnjevitim dovođenjem zraka ili goriva
- recirkulacija dimnih plinova

S druge strane, sekundarnim mjerama za smanjivanje emisija koriste se metode kojima se utječe na izvedbu ložišta i/ili sustava za odvod dimnih plinova kako bi se iz njih na prikladan način izdvojile te zbrinule štetne tvari. Takvi postupci najčešće podrazumijevaju:

- smanjivanje emisije NO<sub>x</sub>
  - selektivnom katalitičkom redukcijom
  - selektivnom nekatalitičkom redukcijom
- smanjivanje emisija sumpornih oksida
  - mokrim odsumporavanjem
  - suhim odsumporavanjem
- smanjivanje emisija čestica
  - gravitacijski taložnici

- ciklonski i multiciklonski odvajači
- elektrostatski filtri
- vrećasti filtri
- mokri odvajači s ispiranjem
- filtri u sloju (granularni filtri)

## 6. Zaključak

Proizvodnja energije u svijetu sve više ide u korist obnovljivih izvora, gdje se biomasa smatra jednim od glavnih predstavnika. Činjenica jest da fosilnih goriva ima sve manje, odnosno tehnologija nije dovoljno napredna da bi se prodrlo dublje u zemlju na naftnim nalazištima. Sve veća ekološka osvještenost stanovništva također ima utjecaj na veću uporabu biomase, potreba za kvalitetnijim životom te za izbjegavanjem negativnih posljedica koje može imati daljnje korištenje konvencionalna goriva isto je jedan od razloga njenog korištenja. Stoga se sve češće uvode zakonske direktive koje nalažu povećanje proizvodnje primarnih energenata iz obnovljivih izvora energije.

Potrebe za energijom veće su iz dana u dan, nove, pametne tehnologije uvode se sve više u svakodnevni život te popraćene su većom potrošnjom energije. Iz tog razloga, potrebna je regulacija načina dobivanja energije te težnja čistijim metodama koje neće imati štetan utjecaj na okoliš. Biomasa može biti odlično rješenje u takvim situacijama, međutim potrebno je poznavati sve uvjete koji su potrebni za njezin uzgoj i uzeti u obzir sve posljedice koje ona nosi sa sobom. Također, potrebno je odrediti najisplativiju vrstu biomase za svako područje, besmisleno je uzgajati jednu vrstu biomase za dobivanje energije na jednom području koje obiluje nekom autohtonom kulturom koja isto može poslužiti kao sirovina za proizvodnju energije. Prednosti biomase su mnogobrojne, moguće je uskladištiti izvore energije pri čemu nisu potrebne nikakve rezerve, smatra se CO<sub>2</sub> neutralnim izvorom energije, biorazgradiva je itd.

U Hrvatskoj se biomasa ne koristi toliko često ali se primjećuje lagani trend rasta u posljednjih nekoliko godina. Trenutno se najviše koristi ogrijevno drvo, uglavnom za potrebe grijanja u domaćinstvima iako u R.H. postoje znatne količine šumske i poljoprivredne biomase koje bi se mogle koristiti za proizvodnju različitih oblika energije, od električne, topline pa sve do tekućih i plinovitih biogoriva. Strateškim korištenjem biomase, doprinosi se razvoju državnih regija kao i otvaranju novih radnih mjesta u šumarstvu, poljoprivredi i domaćoj industriji što bi za posljedicu imalo smanjenu emigraciju stanovništva te potencijalnim rastom BDP-a što bi itekako doprinjelo boljoj kvaliteti života u Hrvatskoj.

## 7. Literatura

- [1] Hyvarinen, J., in defence of the Kyoto Protocol, IEEP, London (2000)
- [2] Labudović, B., Osnove primjene biomase, ENERGETIKA MARKETING, Zagreb, 2012.
- [3] <http://www.izvorienergije.com/biogoriva.html> (pristup 3. travnja 2018. godine)
- [4] <http://biofuel.org.uk/major-producers-by-region.html> (pristup 3. travnja 2018. godine)
- [5] Future energy: Improved, Sustainable and clean options For our planet, Trevor M. Letcher (Ed), Elsevier Ltd., Amsterdam, 2008
- [6] [www.agroklub.com](http://www.agroklub.com) (pristup 5. travnja 2018. godine)
- [7] <http://www.agroportal.hr/ratarstvo/17237> (pristup 5. travnja 2018. godine)
- [8] Uzgoj uljane repice za biodizel, Glasnik zaštite bilja, Pospišil M 5/2004
- [9] [http://www.izvorienergije.com/proizvodnja\\_biogoriva\\_iz\\_algi.html](http://www.izvorienergije.com/proizvodnja_biogoriva_iz_algi.html) (pristup 5. travnja 2018. godine)
- [10] <http://www.biofuelstp.eu/index.html> (pristup 7. travnja 2018. godine)
- [11] <http://www.eko.zagreb.hr> (pristup 7. travnja 2018. godine)
- [12] <http://www.biofuelstp.eu/index.html> (pristup 7. travnja 2018. godine)
- [13] <http://biofuel.org.uk/second-generation-biofuels.html> (pristup 20. travnja 2018)
- [14] <https://www.enu.hr/ee-u-hrvatskoj/20-20-20-i-dalje/rezultati/energija-hr/>
- [15] Državni zavod za statistiku. <http://www.dzs.hr/> (pristup 7. travnja 2018. godine)
- [16] Pordesimo, L., O., Edens, W., C., Sokhansanj, S., Distribution of aboveground biomass in corn stover, Biomass and Bioenergy, Volume 26, Issue 4, 2004, pp. 337-343. doi:10.1016/S0961-9534(03)00124-7
- [17] Julije, D., Program korištenja energije biomase i otpada. Prethodni rezultati i

buduće aktivnosti, Energetski institut „Hrvoje Požar“, Zagreb, travanj 1998.

[18] Analiza potencijala izgradnje energetskih postrojenja loženih različitim tipovima biomase u Hrvatskoj i odabir lokacija, Boris Čosić, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2008.godine

[19] Molc, J., Slunjski, M., Sučić, Ž., Iskorak Hrvatskih šuma d.o.o., 2. Hrvatski dani biomase, 2007, Golubinjak, Gospić

[20] Konkurentnost šumske biomase u Hrvatskoj u uvjetima tržišta CO<sub>2</sub> emisija, R.Pašićko, D.Kajba, J.Domac, Šumarski list br. 7-8, CXXXIII (2009), 425-438

[21] Vrste i količine dostupnog pepela iz drvene biomase, Bojan Milovanović, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, 20.listopada 2017

[22] Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije, Narodne novine, 2007, Zagreb

[23] <https://www.hrote.hr/> (pristup 20.lipnja 2018)

## 8. Životopis

Iman El-Sayed [REDACTED] Vrlo rano odlazi u Libanon gdje pohađa osnovnu školu Al-Abrar Educational Center, Jib Janeen. Po povratku u Zagreb (2008. godina) nastavlja školovanje u Prvoj gimnaziji u Zagrebu nakon čega upisuje Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, smjer Ekoinženjerstvo. Na trećoj godini fakulteta (2014/2015) razvija interes za obnovljive izvore energije te pohađa različite seminare te projekte Europske Unije za mlade aktiviste. U lipnju 2013. godine, dodjeljena joj je diploma sa UN Akademije koju je uz fakultet pohađala od veljače do lipnja 2013. godine. Slobodno vrijeme najčešće provodi pišući tekstove te izražavajući se kroz različita glazbeno-scenska djela.