

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski Fakultet

Barbara Jelčić

**Energetski potencijal peleta proizvedenih
iz poljoprivredne biomase u Republici
Hrvatskoj**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski Fakultet
Agroekologija-agroekologija

Barbara Jelčić

**Energetski potencijal peleta proizvedenih
iz poljoprivredne biomase u Republici
Hrvatskoj**

DIPLOMSKI RAD

Voditelj diplomskog rada: izv.prof.dr.sc. Neven Voća

Neposredni voditelj: dr.sc. Nikola Bilandžija

Zagreb, 2016

Ovaj diplomski rad ocijenjen je i obranjen dana: _____

s ocjenom _____ pred povjerenstvom u sastavu:

1. Izv. prof. dr. sc. Neven Voća

2. Izv. prof. dr. sc. Stjepan Sito

3. Doc. dr. sc. Ana Matin

Neposredni voditelj: dr.sc. Nikola Bilandžija

SAŽETAK

Usvajanje europskih ciljeva i strategija utječe na rast proizvodnja energije iz obnovljivih izvora u Hrvatskoj, čiji je značajniji porast primjetan od 2011. godine. U ovom radu su prikazani podaci o korištenju biomase i peleta u sustavu obnovljivih izvora energije, s naglaskom na Europsku uniju i Hrvatsku. Glavni cilj rada je prikazati energetske potencijal poljoprivredne biomase važnijih kultura ratarske proizvodnje (posliježetveni ostaci) i ostataka orezane biomase trajnih nasada (voćnjaci, vinogradi i maslinici) te zbrinjavanju te biomase na jedan od najčešće primjenjivanih tehnologija - peletiranje. U razdoblju od 2010-2014, proizvodnja peleta u Hrvatskoj se povećala za više od tri puta. Prema izračunima, ostatak biomasa koji ostaje nakon žetve i rezidbe iznosi 1,977,014.47 t što je za 5.6 puta veća količina od ukupno instaliranih kapaciteta za proizvodnju peleta u 2014. godini. Kod izračuna energetske potencijala za ratarsku biomasu u obzir je uzet postotak biomase koju je potrebno vraćati u tlo radi održavanja plodnosti te su razrađena 2 scenarija temeljena na 30% i 50% raspoložive količine biomase za proizvodnju energije. Ukupno izračunati potencijal posliježetvenih i rezidbenih ostataka je 38.18 PJ. S obzirom na ukupnu proizvodnju primarne energije u Hrvatskoj 2014. godine (243.77 PJ), poljoprivredna biomasa je mogla zauzimati udio od 15.66% od ukupne proizvodnje energije. Od ukupno izračunatog energetske potencijala ratarske kulture zauzimaju udio od 89.5%.

Ključne riječi: obnovljivi izvori energije, bioenergija, peleti, energetske potencijal, posliježetveni ostaci, rezidbeni ostaci

ABSTRACT

In 2013 Croatia became a member of the European Union, a global leader in production and consumption of renewable energy. In 2011 the production of renewable energy in Croatia started to grow significantly. This study provides detailed information about usage of renewables, bioenergy and pellets in European Union and Croatia. The main objective of this study is to demonstrate the energy potential of agriculture residues in Croatia, which remains from the most important field crops, and pruning residues of fruit crops, as well as grapevine and olive tree. For field crop residues, we have considered percentage of biomass that needs to be returned into the soil to maintain soil fertility. The computed total energy potential of crop residues is 38.18 PJ, of which 89.5% are field crops. The total energy consumption in Croatia in 2014 was 243.77 PJ, which leads to conclusion that the agricultural biomass could have part of 15.66% in total energy consumption of the country.

Keywords: renewable energy sources, bioenergy, pellets, energy potential, harvest residues, pruned residues

CILJ RADA

Cilj rada je prikazati teoretski potencijal i energetske iskoristivost poljoprivredne biomase u Hrvatskoj. U tu svrhu izračunati će se energetske potencijal biomase dobivene nakon žetve važnijih ratarskih kultura (kukuruzovina, slama od pšenice, ječma i soje te stabljike suncokreta) te rezidbe trajnih nasada (voćnjaci, vinogradi i maslinici) kao osnovne sirovine za proizvodnju agropelleta. Također, prikazati će se teoretske potencijal poljoprivredne biomase u odnosu na ukupnu proizvodnju energije u Hrvatskoj. Hipoteza rada je da Hrvatska ima izrazito veliki energetske potencijal sadržan u ostacima poljoprivredne biomase, koji mogu značajnije doprinijeti porastu proizvodnje energije iz obnovljivih izvora.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE	3
2.1. Obnovljivi izvori energije u Europskoj uniji.....	4
2.2. Obnovljivi izvori energije u Hrvatskoj	8
3. BIOMASA	17
3.1. Korištenje biomase kao obnovljivog izvora energije u Europskoj uniji	22
3.2. Korištenje biomase kao obnovljivog izvora energije u Hrvatskoj	23
3.3. Poljoprivredna biomasa	25
3.4. Biomasa posliježetvenih ostataka	26
3.5. Biomasa orezanog ostatka	27
4. PROCESI PRETVORBE BIOMASE U ISKORISTIVU ENERGIJU	28
4.1. Proces izgaranja	30
4.2. Proizvodnja toplinske, rashladne i električne energije u jedinstvenom sustavu	32
5. PELETI, ZNAČAJ I KORIŠTENJE	34
5.1. Faktori koji utječu na kvalitetu peleta	35
5.2. Tehnologija prešanja i dobivanja peleta	37
5.3. Proizvodnja peleta u Europskoj uniji i Hrvatskoj	42
5. MATERIJALI I METODE RADA	46
6. REZULTATI I RASPRAVA	48
7. ZAKLJUČAK	54
8. LITERATURA.....	55

1. UVOD

Klimatske promjene, s kojima se suočavamo već desetljećima, povećavaju svoj intenzitet sa sve ekstremnijim prirodnim pojavama, pa nailazimo na možda jedinu pozitivnu posljedicu – povećanje svijesti društva o važnosti očuvanja biosfere i atmosfere. Svijest nas dovodi do sve većih napora i ulaganja u građenje sustava održivog gospodarenja okolišem i smanjenje stakleničkih plinova kao glavnog uzroka klimatskih promjena. Danas je to veliki izazov za budućnost, s obzirom da su najveći zagađivači okoliša ujedno i najvažnije industrije proizvodnje i prerade hrane te proizvodnje energije.

Godine 1975. japanska industrija počinje koristiti prve strojeve za recikliranje miješanog i onečišćenog otpada, i od tada industrija recikliranja neprestano raste. Otpad se danas gleda iz perspektive materijala kojeg možemo oporabiti (reciklirati) i u globalnom pogledu smanjiti. Kako u industrijskoj proizvodnji, tako i u poljoprivredi, nastaju velike količine „otpada“, odnosno biomase koja se u Hrvatskoj danas uglavnom ili zaorava u svrhu održavanja kvalitete tla ili se pak odlaže na odlagališta, zauzimajući prostor i često predstavljajući potencijalnu opasnost za okoliš (požari, zagađenje i degradacija okoliša) i kao potencijalnu opasnost za zdravlje ljudi i životinja (zagađenje tla i voda, razvoj štetočina i širenje bolesti). Ista biomasa sadrži visokoenergetske spojeve i predstavlja vrijedno gorivo koje se danas u tehnološki razvijenijim zemljama smatra vrijednim nusproduktom poljoprivredne proizvodnje ili čak zbog potreba i primarnim proizvodom (energetski usjevi). Šumska biomasa je u Hrvatskoj prije 50-ak godina pokrivala čak $\frac{1}{4}$ ukupnih potreba za energijom (Labudović, 2012), što se u međuvremenu smanjilo uporabom konvencionalnih, fosilnih izvora. Od ukupne proizvodnje bioenergije u Europskoj uniji, oko 13% energije dolazi od obnovljivog otpada (AEBIOM, 2015).

U posljednjih nekoliko godina obnovljivi izvori energije su zaživjeli i u RH, ali svakako ne u onom opsegu koji bi Hrvatska mogla iskoristiti. Hidroenergija se proizvodi već desetljećima, a solarna energija i energija vjetra su u stalnom porastu. Proizvodnja sirove nafte i prirodnog plina u razdoblju od 2009. do 2014. se smanjivala s prosječnim godišnjim stopama od 5.2%, odnosno 8.3%, a najbrže je rasla proizvodnja energije iz obnovljivih izvora energije (OIE) s godišnjom stopom rasta od čak 52.3% (Energija u Hrvatskoj, 2014). Međutim, energija biomase je u Hrvatskoj još uvijek nedovoljno iskorištena i nepravedno smještena na samo dno resursa koje koristimo u proizvodnji energije. Ako i govorimo o biomasi koja se koristi u procesu pretvorbe energije u RH, onda je uglavnom riječ o drvnoj, šumskoj biomasi, koja za svoje

dobivanje i primjenu najčešće zahtijeva dodatnu potrošnju energije i radne snage, a takav način dobivanja energije ne možemo smatrati održivim (izuzev korištenja ostataka iz procesa prerade drva i ostalog šumskog otpada). Poljoprivredna biomasa je pak nusproizvod poljoprivredne proizvodnje koja se može iskoristiti za proizvodnju zelene energije.

U posljednja dva desetljeća raste gospodarska i industrijska potražnja za biomasom (za potrebe grijanja i proizvodnje električne energije) što vodi do porasta globalnog tržišta peleta te se daljnji rast tržišta predviđa i u nadolazećim godinama (Garcia- Maraver i Perez- Jimenez, 2015). Također, prema istom izvoru, porast svjetske populacije i sve intenzivnije korištenje energije, povezanog s razvojem i industrijalizacijom, dovodi do stalnog porasta potreba za energijom. Razvoj znanja o biomasi kao izvoru energije i tehnologijama dobivanja energije iz poljoprivredne biomase danas je vrlo važan predmet istraživanja, naročito zbog otežanog korištenja poljoprivredne biomase u sustavima za dobivanje energije zbog povećanog sadržaja pepela i vlage što utječe na cjelokupan proces. Takvi sustavi moraju zadovoljiti energetske sigurnost i efikasnost, ekonomičnost, obnovljivost i održivost. Sjedinjene Američke Države, kao i većina Europe, razvijaju učinkovite tehnologije proizvodnje energije iz biomase koja je već zauzela svoje mjesto na energetske tržištu te je budućnost njezina razvoja, kao energije, obećavajuća (Garcia- Maraver i Perez- Jimenez, 2015).

Hrvatska je bogata prirodnim resursima, s velikim udjelom šumskih i poljoprivrednih površina (47% i 47.6 % kopnene površine), što otvara velike mogućnosti u proizvodnji vlastite energije iz biomase i konkurentnosti na globalnom tržištu peleta. Prema Bilandzija i sur. (2012) potencijal rezidbenih ostataka najzastupljenijih voćnih vrsta te maslina i vinove loze u Hrvatskoj je 2010. iznosio 4,217.05 TJ. U 2014., prema podacima godišnjeg energetskog pregleda Energija u Hrvatskoj, ukupna proizvodnja toplinske energije iz solarnih elektrana i geotermalnih izvora je iznosila 1,445.91 TJ, što ukazuje na veličinu i važnost procijenjenog potencijala rezidbenih ostataka.

Vinogradi, maslinici i voćnjaci su se u 2014. godini uzgajali na površinama od ukupno 76,970 ha, a ratarske kulture, pšenica, ječam, kukuruz, soja, suncokret i uljana repica su zauzimale površine od 559,961 hektara (Statistički ljetopis Republike Hrvatske, 2015), što zauzima udio od 42.2% od ukupne poljoprivredne proizvodnje.

2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Obnovljivi izvori energije su u Zakonu o energiji (2015) definirani kao „izvori energije koji su sačuvani u prirodi i obnavljaju se u cijelosti ili djelomično“. To su, dakle, svi izvori energije koje nalazimo u prirodi i koji se putem prirodnih procesa rasta i obnavljanja nakon eksploatacije mogu vratiti na prijašnje razine zaliha, ili su dio neiscrpljujućeg izvora.

Osnovni oblici energije koju nalazimo u prirodi su energija Sunca, energije Zemlje (geotermalna energija) i energija gravitacije (plima i oseka). Prema Zakonu o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (2015), u obnovljive ne fosilne izvore energije ubrajamo: „aerotermalna, energija iz biomase, energija iz biotekućine, energija mora, hidroenergija, energija vjetra, geotermalna i hidrotermalna energija, energija plina iz deponija otpada, plina iz postrojenja za obradu otpadnih voda i bioplina, sunčeva energija i biorazgradivi dio certificiranog otpada“. Prema IEA (International Energy Agency) u obnovljive izvore energije svrstavamo: obnovljiva goriva i zapaljivi otpad (što uključuje krutu, tekuću i plinovitu biomasu te biorazgradivi dio gradskog otpada), vodne snage (uključene su sve hidroelektrane, neovisno o veličini), geotermalna energija, solarna energija, energija vjetra te energija valova, plime i oseke. Najjednostavnija podjela obnovljivih izvora energije je na vodne snage, biomasu, energiju Sunčevog zračenja i energiju vjetra.

Prirodna dobra su u Zakonu o zaštiti prirode (2013) definirana kao „sve sastavnice prirode koje čovjek koristi u gospodarske svrhe i mogu biti obnovljiva (biološka dobra, vode, obnovljivo tlo) i neobnovljiva (mineralne sirovine)“.

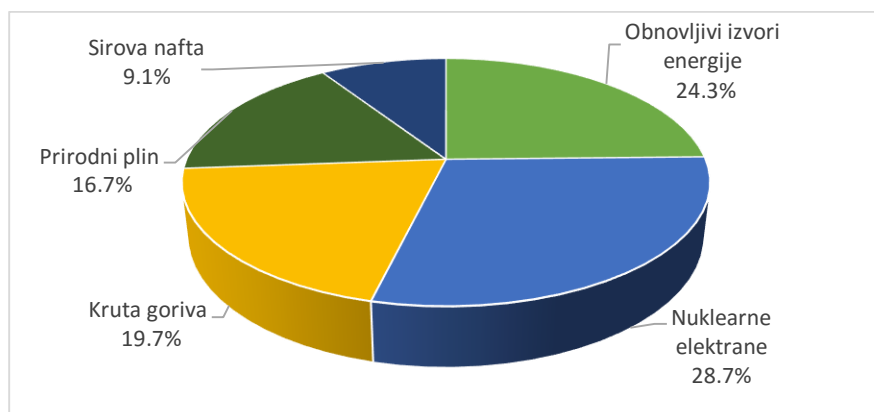
Neobnovljivi prirodni resursi, kao i neobnovljivi izvori energije, su sva prirodna dobra (ili izvori) koja nastaju dugotrajnim prirodnim procesima i nisu se u mogućnosti obnavljati toliko brzo koliko ih mi možemo koristiti, i to su fosilna goriva - ugljen, nafta, zemni plin i uljni škriljevci. Neobnovljive prirodne resurse nije moguće koristiti na održiv način i njihovu eksploataciju je nužno smanjiti ili potpuno obustaviti. Izgaranjem fosilnih goriva koristi se „stara“ biomasa koja se pretvara u „novi“ CO₂, što doprinosi emisiji stakleničkih plinova i iscrpljenju neobnovljivih prirodnih izvora (McKendry, 2002).

„Održivo korištenje prirodnih dobara je korištenje prirodnih dobara na način i u obujmu koji ne vodi do njihova propadanja, nego se održava njihov potencijal kako bi se udovoljilo potrebama i težnjama sadašnjih i budućih naraštaja“ (Zakon o zaštiti prirode, 2013).

Prema Čakija (2007), razvoj uporabe obnovljivih izvora energije je važan iz nekoliko razloga : obnovljivi izvori energije imaju vrlo važnu ulogu u smanjivanju emisije ugljičnog dioksida u atmosferu te se povećanjem udjela obnovljivih izvora energije povećava energetska održivost sustava i pomaže u poboljšavanju sigurnosti dostave energije na način da smanjuje ovisnost o uvozu energetskih sirovina i električne energije.

2.1. Obnovljivi izvori energije u Europskoj uniji

Europska unija je vodeća svjetska sila u poticanju proizvodnje i potrošnje energije iz obnovljivih izvora, čime se nastoji potaknuti održivi razvoj u svrhu podilaženja klimatskim promjenama i smanjenju energetske ovisnosti. U Europi se najviše primarne energije u 2013. proizvodilo iz nuklearnih elektrana (28.7%) i obnovljivih izvora (24.3%) (grafikon 1).



Grafikon 1 Proizvodnja primarne energije u EU, 2013.

Izvor: eurostat (online dana codes: nrg_100a and nrg_107a)

U području tehnologija obnovljive energije Europska unija posjeduje 40% patenata, a gotovo polovica (44%) svjetskih kapaciteta električne energije u 2012. (ne uključujući hidroenergiju) nalazila se u EU-u te je u toj industriji zaposleno 1.2 milijuna ljudi (europarl.europa.eu, 2015). Obnovljive izvore energije danas smatramo jednim od ključnih čimbenika budućeg razvoja, a takav oblik energije bi u skoroj budućnosti trebao preći ugljen i postati dominantan izvor. Zemlje članice EU na to su se i obvezale potpisivanjem Direktive 2009/28/EZ o poticanju uporabe energije iz obnovljivih izvora kojoj je cilj do 2020. godine doseći 20% udjela obnovljivih izvora u energetske bilanci, u odnosu na stanje iz 1990, osigurati 10 % biogoriva u prometu u odnosu na ukupnu potrošnju te smanjenje stakleničkih plinova za 20%. Postavljeni

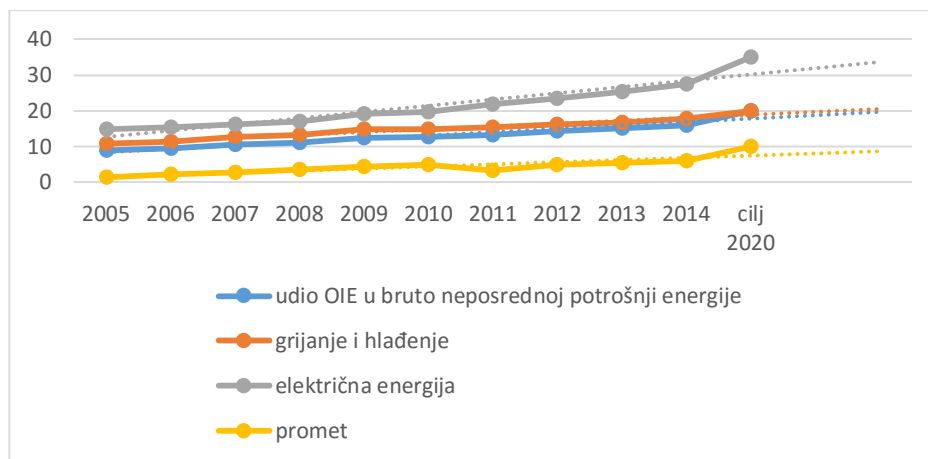
su novi ciljevi i smjernice klimatske i energetske politike i za 2030. i 2050. godinu. Godine 2014. Europska unija donosi nove ciljeve za razdoblje do 2030. godine (AEBIOM, 2015):

- smanjenje emisije stakleničkih plinova za najmanje 40% do 2030. (u odnosu na 1990-u)
- najmanje 27% potrošnje energije iz obnovljivih izvora (za područje EU)
- najmanje 27% poboljšanja u sektoru energetske učinkovitosti do 2030.

Do 2050. godine cilj je smanjenje ukupne emisije stakleničkih plinova od najmanje 80%.

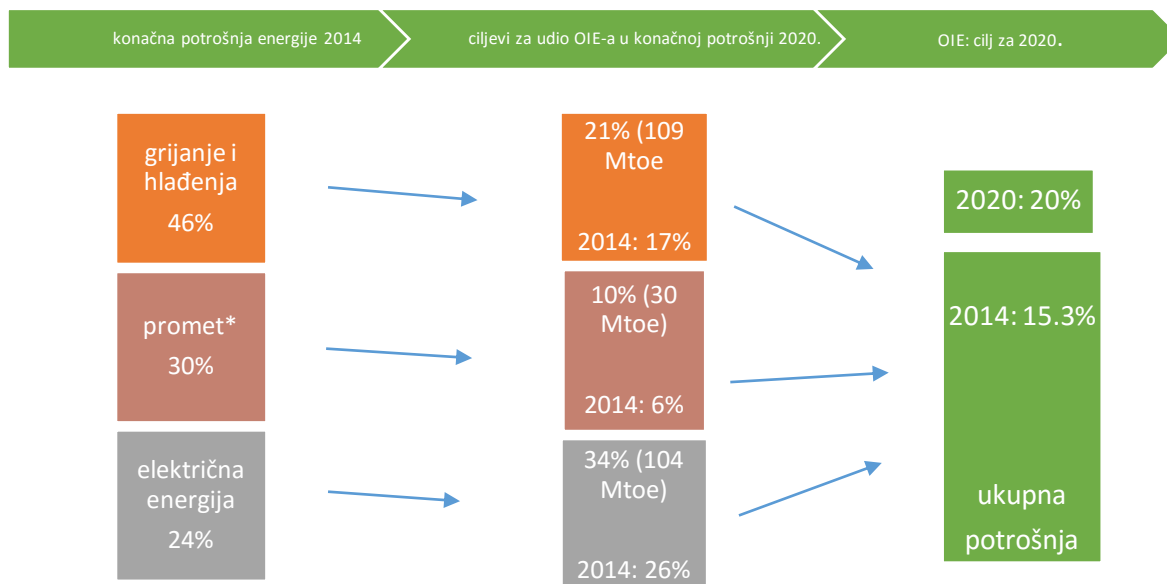
Svoje prve privremene ciljeve za 2011./12. ostvarilo je 26 država članica, a neke od njih su već sada postigle svoje ciljeve za 2020. Ključni pokretač za postizanje i nadmašivanje privremenih ciljeva je bio snažan razvoj sektora grijanja iz obnovljivih izvora, što je bio slučaj u Bugarskoj, Finskoj i Švedskoj, gdje se razvoj temeljio na jeftinoj biomasi. U nekim zemljama je razvoju pridonio sektor električne energije (Estonija, Italija, Portugal). U sektoru grijanja i hlađenja 22 države članice postigle su planirane ciljeve, a samo njih šest (Danska, Irska, Francuska, Nizozemska, Portugal i Slovačka) nije doseglo razinu primjene obnovljive energije planiranu za 2013. u tom sektoru. Korištenje biogoriva u prometu uglavnom zaostaje u većini država, izuzev Švedske, Finske, Austrije, Francuske i Njemačke, a glavni razlog slabljenja razvoja upotrebe obnovljive energije u prometu je bilo kašnjenje razvoja strategije zbog rizika od neizravne prenamjene zemljišta i nedovoljnog napretka u uvođenju alternativnih biogoriva druge generacije (Izvešće o napretku u području obnovljive energije, 2015).

Na grafikonu 2 prikazan je trend udjela obnovljivih izvora energije u bruto neposrednoj potrošnji energije te udio OIE u sektorima grijanja i hlađenja, električne energije i prometu. Podaci su izraženi u postotcima i predstavljaju prosjek Europske unije. Prema linearnom trendu, ostvarenje postavljenih ciljeva na razini EU bi trebalo biti ispunjeno i prije 2020. godine. Na slici 1 prikazana su ukupna dostignuća obnovljivih izvora energije u 2014. godini i ciljevi za 2020. Sveukupno, ostvareno je 15.3% uporabe obnovljivih izvora energije od ukupne potrošnje energije u EU.



Grafikon 2 Trend udjela OIE u bruto neposrednoj potrošnji energije te udjeli OIE u sektorima grijanja i hlađenja, električne energije i prometu. Podaci su izraženi u % i predstavljaju prosjek EU

eurostat (nrg_ind_335a)

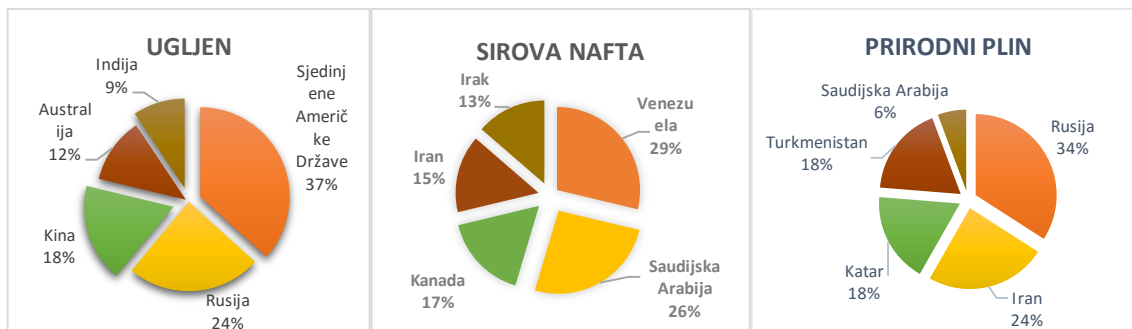


Slika 1 Konačna potrošnja energije u EU, 2014., i usporedba s ciljevima za 2020.

Europska komisija, prema izračunu Eurostata

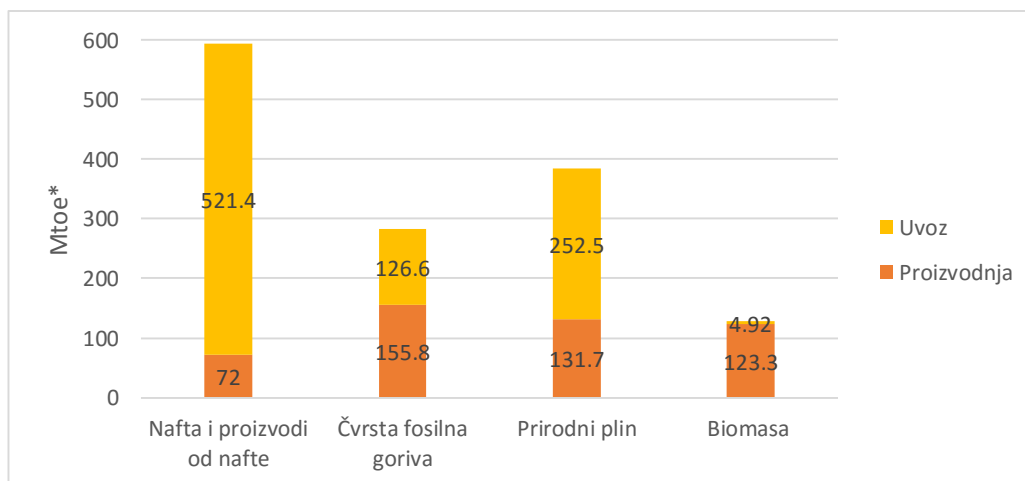
Fosilna goriva još uvijek predstavljaju najveći izvor energije u svijetu i najveći proizvođači ugljena, nafte i prirodnog plina su prikazani na grafikonu 3. EU nema značajnu proizvodnju fosilnih goriva pa je energetska ovisnost velika, i u 2013. je iznosila 53.2 % od ukupne potrošnje energije, od čega je 99.5% obuhvaćao uvoz fosilnih goriva na čiji se uvoz trošilo više od bilijun eura po danu (AEBIOM, 2015). Razlika proizvodnje i uvoza prikazan je grafikonom 4, gdje je uvoz nafte i naftnih proizvoda 2013. iznosio 87.4% od ukupne potrošnje, čvrstih fosilnih goriva 44.2%, a prirodnog plina 65.3%. Porastom uporabe obnovljive energije, godišnja ušteda

troškova uvoza fosilnih goriva iznosi najmanje 30 milijardi eura (Europska strategija energetske sigurnosti, 2014).



Grafikon 3 Zalihe fosilnih goriva (% u odnosu na ukupne svjetske rezerve)

(World energy resources, 2013)

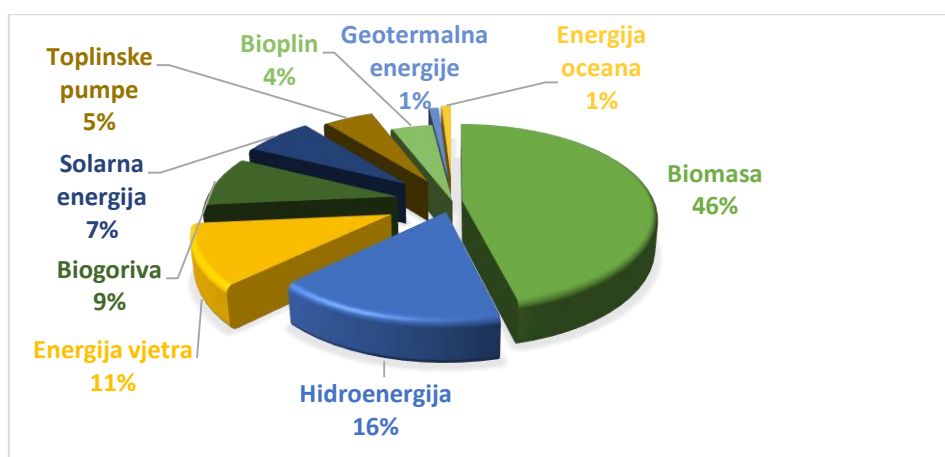


Grafikon 4 Odnos proizvodnje i uvoza energenata u EU

(AEBIOM, 2015)

*Tona ekvivalentne nafte (toe) je konvencionalna mjerne jedinica koja se koristi za statističko-komparativne svrhe, i odgovara količini energije koja se oslobađa sagorijevanjem jedne tone sirove nafte. Mtoe= milijun tona ekvivalentne nafte

Biomasa je najvažniji obnovljivi izvor energije u Europskoj uniji s najvećim udjelom proizvodnje i potrošnje, zauzimajući 46% (41% za grijanje i hlađenje i 5% za električnu energiju) od ukupne proizvodnje obnovljivih izvora energije (Renewable energy progress report, 2015). Drugi najveći izvor je hidroenergija, uz biomasu i drugi najstariji obnovljivi izvor energije, i zauzima 16% od ukupne proizvodnje obnovljivih izvora. Energija vjetera je danas u najvećem porastu i ima potencijal za proizvodnju više od 8% od ukupne opskrbe električnom energijom za Europu do 2030. (Izvešće o napretku u području obnovljive energije, 2016). Udjeli svih obnovljivih izvora energije u ukupnoj proizvodnji 2014. godine su prikazani na grafikonu 5.



Grafikon 5 Obnovljivi izvori energije u EU, 2014.

(Renewable energy progress report, 2015)

Energija vjetra i vode (vjetroelektrane i hidroelektrane) se koriste za dobivanje električne energije, dok se ostali izvori kao što su biomasa, solarni paneli i geotermalni izvori mogu koristiti za dobivanje i električne i toplinske energije. Hidroelektrane proizvode velike količine električne energije, ali s obzirom na promjene toka rijeka i sve popratne pojave koje mogu nepovoljno djelovati na okoliš, hidroenergija je jedan od nepovoljnijih obnovljivih izvora energije, i nije konstantan izvor energije s obzirom da proizvodnja oscilira ovisno o vremenskim uvjetima. Prema Renewable energy progress report (2015) hidroenergija je u 2005. godini imala udio od 70% u proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora, a 2013. je proizvodnja pala na 42%, uz rast proizvodnje električne energije iz vjetroelektrana, solarnih elektrana i krutih (čvrstih) goriva.

U sektoru proizvodnje električne energije kruti obnovljivi izvori (drvo i druga kruta biomasa, osim obnovljivog otpada) su u 2013. imali udio od 9.5 % (Izvješće o napretku u području obnovljive energije, 2015).

2.2. Obnovljivi izvori energije u Hrvatskoj

Smanjenje proizvodnje nafte i plina u Hrvatskoj i stalni porast cijena fosilnih goriva nametnuo je korištenje obnovljivih izvora energije. Također, Hrvatska se kao članica Europske unije obvezala na smanjenje stakleničkih plinova i neposredne potrošnje energije, s povećanjem

udjela obnovljivih izvora, odnosno biogoriva i proizvodnje električne i toplinske energije iz obnovljivih izvora.

U skladu s Direktivom 2001/77/EZ izrađen je Akcijski plan za obnovljive izvore energije do 2020. Zakoni važni za energetske sektor su Zakon o energiji (NN 68/01, 177/04, 76/07, 152/08), i Zakon o tržištu električne energije (NN 177/04, 76/07, 152/08) i iz ta dva glavna zakona proizlaze uredbe, pravilnici i direktive:

- Uredba o naknadama za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 33/07, 133/07, 155/08, 155/09, 8/11)
- Uredba o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije čija se proizvodnja potiče (NN 33/07, 8/11)
- Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 33/07)
- Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 67/07)
- Pravilnik o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije (NN 67/07)
- Direktiva 2001/77/EZ
- Direktive 2009/28/EC

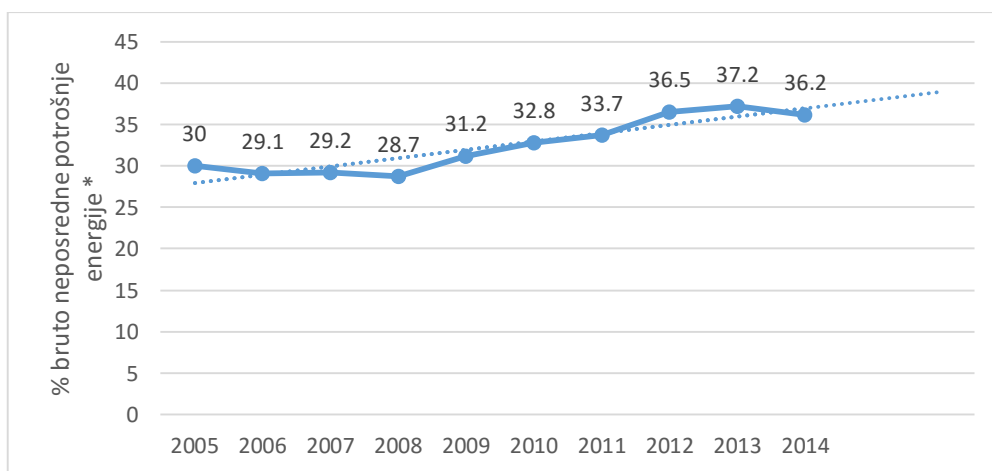
Uredbom o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije čija se proizvodnja potiče (2011), propisan je najmanji udio električne energije iz postrojenja na obnovljive izvore do 31. prosinca 2020. i iznosi 13.6% od ukupne potrošnje. Hrvatski operator tržišta energije (HROTE) prema Uredbi je dužan sklapati ugovore o otkupu električne energije s povlaštenim proizvođačima sve dok ukupna planirana proizvodnja iz obnovljivih izvora ne dosegne taj udio. Također, proizvodnja električne energije iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije se potiče sve dok se tehnološkim razvojem opreme i razvojem tržišta ne stvore uvjeti za isporuku i prodaju električne energije na otvorenom tržištu.

Prema (Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske, 2009) Hrvatska ima sljedeće ciljeve za 2020. godinu:

- 35% udjela obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije (uključujući velike hidroelektrane)
- 10% obnovljivih izvora u transportu
- 20% bruto neposredne potrošnje za grijanje i hlađenje iz obnovljivih izvora

Prvi cilj smanjenja emisije stakleničkih plinova od 5% (također dio Strategije) u razdoblju od 2008. do 2012. godine od strane Hrvatske je ispunjen, dijelom zbog provedenih mjera, dijelom

zbog pada gospodarskih aktivnosti u navedenom razdoblju. Hrvatska je također, kao i većina država članica, ostvarila kvotu povećanja od 20 % obnovljivih izvora energije do 2020. Grafikonom 6 prikazan je trend udjela obnovljivih izvora energije u bruto neposrednoj potrošnji energije u Hrvatskoj za razdoblje od 2005-2014. Udio OIE za sve godine značajno je veći od europskog prosjeka i postavljenih ciljeva.



Grafikon 6 Trend udjela OIE u bruto neposrednoj potrošnji u Hrvatskoj od 2005-2014.

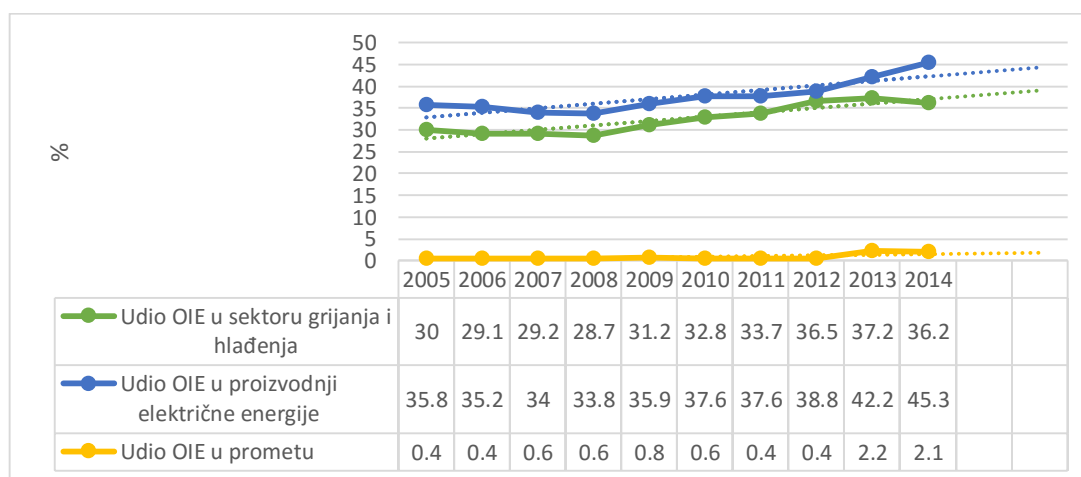
eurostat (nrg_ind_335a)

*bruto neposredna potrošnja energije (engl. Gross final consumption of energy) je u Direktivi 2009/28/EC definirana kao energija dobara isporučena krajnjim potrošačima (industrija, promet, kućanstva, poljoprivreda, šumarstvo i ribarstvo), uključujući gubitke nastale distribucijom, i predstavlja sumu bruto neposredne potrošnje električne energije iz OIE, bruto neposrednu potrošnju energije iz obnovljivih izvora u sektoru grijanja i hlađenja te ukupnu potrošnju obnovljivih izvora u prometu.

Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije u Hrvatskoj 2014. iznosio je 36.1%. U razdoblju od 2009. do 2014. razvoj proizvodnje pojedinih primarnih oblika energije je bio sljedeći: udio prirodnog plina smanjen je s 36.9% na 24.8%, a udio sirove nafte s 13.1% na 10.4%, dok su udjeli ostalih primarnih oblika energije povećani – udio proizvodnje energije iz vodnih snaga je povećan s 28.6 na 36.5 %, udio ogrjevnog drva i krute biomase od 20.7 na 23.7%. Ukupna proizvodnja električne energije u RH je iznosila 13,553.8 GWh, pri čemu je iz obnovljivih izvora proizvedeno oko 74% (uključujući i velike hidroelektrane koje su od toga zauzimale 67.3%). Od ukupne potrošnje električne energije (17,506.7 GWh), OIE je sudjelovala s 57.4% (52.1% udio velikih hidroelektrana) (Energija u Hrvatskoj, 2014).

Na grafikonu 7 prikazan je trend udjela obnovljivih izvora energije u sektorima grijanja i hlađenja, električne energije i udio u prometu. Cilj od 20% obnovljivih izvora u sektoru grijanja

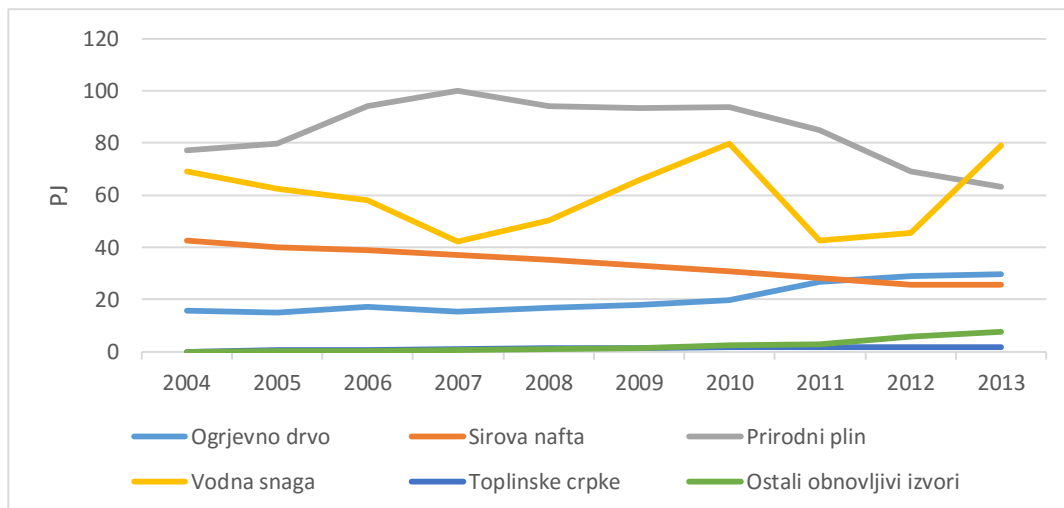
i hlađenja je postignut i znatno je viši od europskog prosjeka koji je u 2014. iznosio 17.7 %. Postavljeni cilj za udio proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora je 35%, što je također ispunjeno od strane Hrvatske. Europski prosjek za sektor proizvodnje električne energije je u 2014. iznosio 27.5%. Hrvatska jedino zaostaje u ostvarivanju udjela OIE u prometu, kao i većina zemalja članica. Europski prosjek udjela OIE u prometu je bio 5.9 % u 2014. dok je Hrvatska postigla tek 2.1% . Razlog slabog razvoja upotrebe obnovljive energije u prometu je bilo kašnjenje razvoja strategije zbog rizika od neizravne prenamjene zemljišta i nedovoljnog napretka u uvođenju alternativnih biogoriva druge generacije (Izvješće o napretku u području obnovljive energije, 2015). Najveći udio OIE otpada na proizvodnju električne energije. Podaci su preuzeti sa eurostata (nrg_ind_335a).



Grafikon 7 Trend udjela obnovljivih izvora u sektoru grijanja i hlađenja, električne energije i prometu izražen u postotcima

eurostat (nrg_ind_335a)

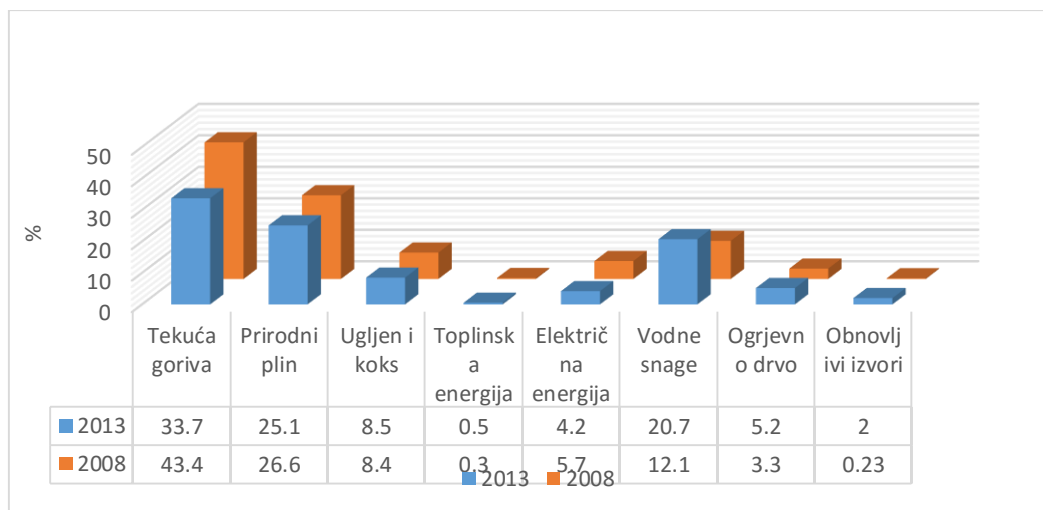
Trend proizvodnje primarne energije u Hrvatskoj u razdoblju od 2004. do 2013. je prikazan grafikonom 8. U 2010. i 2011. dolazi do značajnijeg porasta proizvodnje energije iz ogrjevnog drva i ostalih obnovljivih izvora te toplinskih crpki, dok je pad zabilježen u proizvodnji sirove nafte i prirodnog plina. Vodne snage su ovisne o vremenskim uvjetima pa tako i proizvodnja energije iz hidroelektrana oscilira.



Grafikon 8 Proizvodnja primarne energije u RH od 2004 do 2013. godine

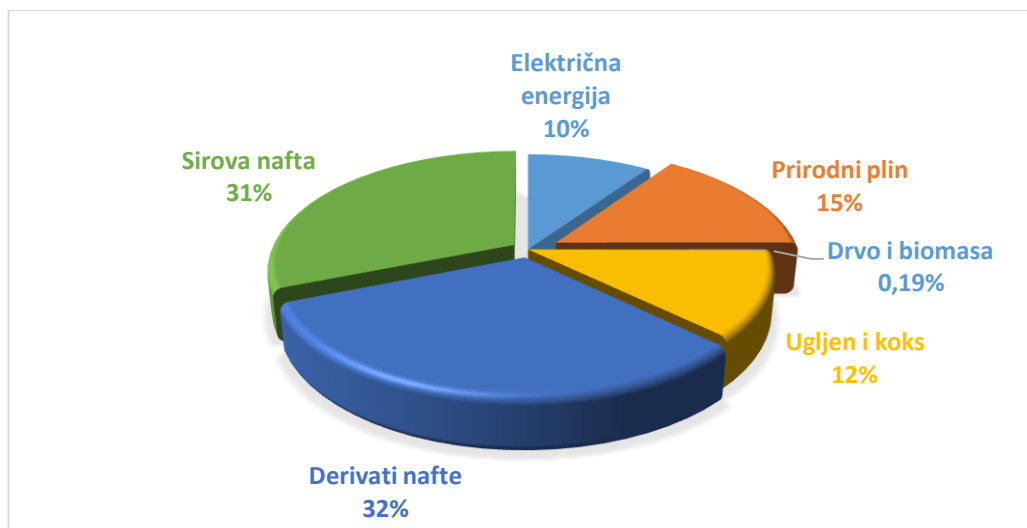
(Statistički ljetopis Republike Hrvatske, 2015)

Prema (Energija u Hrvatskoj, 2015) ukupna proizvodnja primarne energije u 2014. je bila 243.77 PJ, od čega je proizvodnja ogrjevnog drva i biomase iznosila 57.67 PJ, a ostali obnovljivi izvori energije 10.69 PJ. Ukupna potrošnja je iznosila 402.22 PJ od čega je na ogrjevno drvo i biomasu otpadalo 45.82 PJ, i obnovljive izvore energije 10.64 PJ. Grafikonom 9 prikazana je ukupna potrošnja energije 2008. i 2013., gdje se također primjećuje značajan pad potrošnje tekućih goriva i porast potrošnje ogrjevnog drva i obnovljivih izvora energije. Ovakvi trendovi smanjenja tekućih goriva i prirodnog plina uz povećanje obnovljivih izvora energije se očekuju i u narednim godinama (Energija u Hrvatskoj, 2013). U 2004. je proizvodnja iz obnovljivih izvora iznosila nešto više od 650 MW, dok je u 2014. prešla 800 MW (Energija u Hrvatskoj, 2014).



Grafikon 9 Ukupna potrošnja energije u 2008. i 2013. izražena u postotcima
(Energija u Hrvatskoj, 2013)

Prema Krička (2010), Hrvatska je trošila energiju u vrijednosti od 395.94 PJ. Od toga je uvozna energetska ovisnost iznosila 46%, pri čemu je uvozna bilanca sljedeća: 77% nafte, 100% ugljena, 25% prirodnog plina te 20% električne energije, a najveća potrošnja ostvaruje se iz tekućih goriva (49% od ukupne potrošnje energije), prirodnog plina (25%), vodne snage (12%), ugljena (7%), ogrjevnog drva (4%) i električne energije (3%). Prema (Statistički ljetopis Republike Hrvatske, 2015) ukupna bruto proizvodnja u 2014. je iznosila 13,479 GWh, od čega je 9,116 GWh proizvedeno u hidroelektranama, a 3,574 GWh u termoelektranama. Uvezeno je 7,022 GWh energije, a izvezeno 2,866 GWh te je za potrošnju bilo raspoloživo ukupno 17,068 GWh energije. Prema (Energija u Hrvatskoj, 2014) tijekom razdoblja od 2009. do 2014. ostvaren je trend smanjenja uvoza energije u Hrvatsku s prosječnom godišnjom stopom od 3.6%, pri čemu je najveći trend smanjenja zapažen kod uvoza sirove nafte (prosječne godišnje stope od 14.4%) i električne energije (2.2%). Uvoz ogrjevnog drva i biomase bilježi prosječnu godišnju stopu porasta od 5.3%, odnosno udio uvozne biomase u 2014. je iznosio 0.19%, što je za 0.07% više u odnosu na 2009. godinu. Udjeli pojedinih izvora u ukupnoj uvoznoj energiji su prikazani na grafikonu 10.



Grafikon 10 Udjeli u uvoznoj energiji 2014. godine

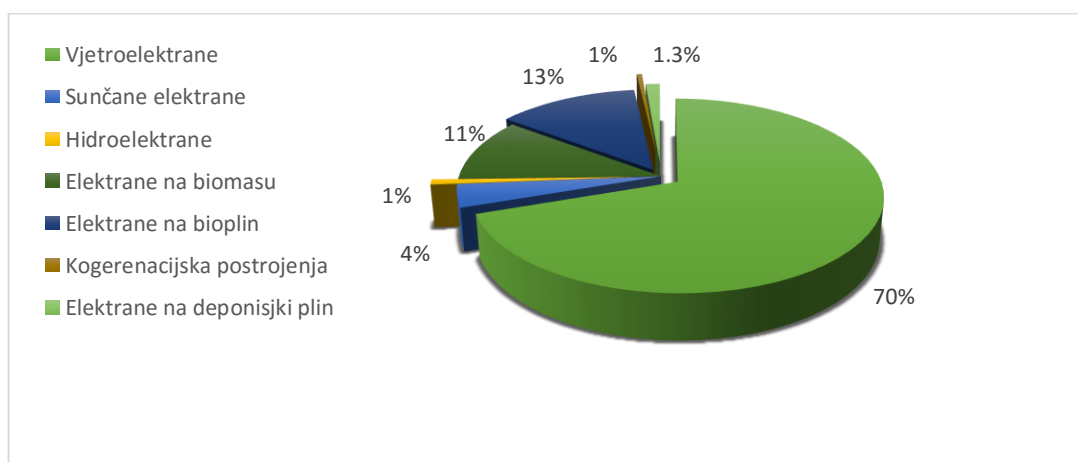
(Energija u Hrvatskoj, 2014)

U Hrvatskoj je 2015. bilo instalirano ukupno 1,207 elektrana na obnovljive izvore energije, s ukupno instaliranom snagom postrojenja od 430.88 MW. Od siječnja do kolovoza primijećen je porast za 137 elektrana (130 solarnih, 1 hidroelektrana, 3 elektrane na biomasu i 3 elektrane na bioplin), ukupne instalirane snage 18.286 MW (croenergo.eu, 2015). Prema najnovijim podacima HROTE-a iz sustava poticanja OIEiK u tablici 1 prikazani su podaci ukupnog broja elektrana, instalirane snage i ukupne proizvodnje u kWh za svibanj 2016. Ukupna proizvodnja elektrana na obnovljive izvore energije u svibnju 2016. je iznosila 126.27 GWh, od čega je najviše energije proizvedeno u vjetroelektranama (65.7%), elektranama na bioplin (13.8%), elektranama na biomasu (12.2%), dok su sunčane elektrane zauzimale udio od 0.5 % od ukupne proizvodnje elektrana na OIE. Također, prema podacima HROTE-a izračunata je ukupna proizvodnja elektrana na OIE za ukupno 8 mjeseci, zbog nedostatka podataka (kolovoz, rujna, listopada, studeni 2015. te siječanj, veljača, travanj, svibanj 2016. godine), i podaci su prikazani po udjelima na grafikonu 11. S obzirom da podaci obuhvaćaju sva godišnja doba, udjele možemo smatrati kao prosjek godišnjih podataka. Ukupna proizvodnja energije iz elektrana na OIE je iznosila 890.42 GWh za navedeno razdoblje. Veće količine energije su proizvedene u periodu od siječnja do svibnja, ukupno 60.2% od ukupne proizvodnje. Energija vjetra, biomase i hidroenergija također pokazuju tendenciju rasta u toplijem dijelu godine. Tablica s podacima za svibanj 2016. pokazuje slične podatke kao i grafikon, gdje najveći udio proizvodnje otpada na vjetroelektrane, zatim na elektrane na bioplin i elektrane na biomasu.

Tablica 1 Ukupan broj elektrana na OIE, instalirana snaga i proizvodnja u kWh u Hrvatskoj za svibanj, 2016.

Tip postrojenja	Broj elektrana		Instalirana snaga (kW)		Proizvodnja (kWh)
	Povlašteni proizvođači	Nositelji projekata	Povlašteni proizvođači	Nositelji projekata	
Vjetroelektrane	19	10	417,950	326,000	83,070,930
Sunčane elektrane	1,214	12	44,983	9,386	6,904,222
Hidroelektrane	8	11	2,987	5,062	1,437,884
Elektrane na biomasu	10	57	24,585	95,342	15,500,075
Elektrane na bioplin	21	32	25,122	32,247	17,426,031
Kogeneracijska postrojenja	5	1	13,293	100,000	642,707
Geotermalne elektrane	0	1	0	10,000	0
Elektrane na deponijski plin	1	0	3,000	0	1,287,988
Elektrane na plin iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda	1	0	2,500	0	4,435
UKUPNO	1,279	124	534,420	578,037	126,274,272

(HROTE, 2016)



Grafikon 11 Udjeli elektrana u ukupnoj proizvodnji energije iz elektrana na OIE

(HROTE, 2016)

U tablici 2 prikazani su procjene podataka instaliranih kapaciteta za proizvodnju toplinske i električne energije iz obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj 2013. i 2014. godine. Ukupna instalirana električna snaga 2013. iznosila je 330.36 MW, dok je toplinska energija iz Sunca i biomase procijenjena na 615.2 MW. U 2014. dolazi do porasta instalirane električne energije za više od 103 MW.

Tablica 2 Instalirani kapaciteti OIE u Hrvatskoj 2013. i 2014. godine

OIE	Instalirana toplinska snaga (MW)		Instalirana električna snaga (MW)	
	2013	2014	2013	2014
Sunce	100.2 *	113.2*	19.5 **	33.5**
Vjetar	0	0	254.3	339.3
Biomasa	515 *	515*	23.6	27.3
Male hidroelektrane	0	0	32.96	34.2
UKUPNO			330.36	434

Energija u Hrvatskoj (2013; 2014)

* procjena

** sustavi priključeni na elektroenergetsku mrežu

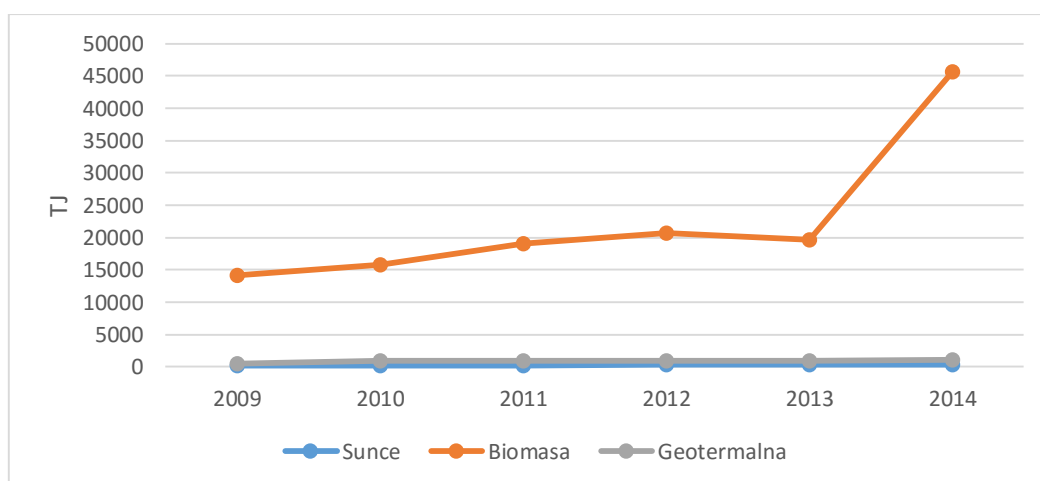
Prema EIHP, HEP i HROTE-u ukupna proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora u 2013. iznosila je 775.9 GWh (tablica 3), što je činilo 5.8% od ukupne proizvodnje električne energije, izuzev velikih hidroelektrana. U 2014. dolazi do ukupnog porasta od 285.6 GWh u odnosu na 2013., što je činilo 7.8% ukupne proizvodnje, uz izuzetak velikih hidroelektrana (Energija u Hrvatskoj 2013.,2014.)

Tablica 3 Proizvodnja električne energije iz OIE u Hrvatskoj 2013. godine

Vrsta izvora	Proizvodnja električne energije (GWh)	
	2013	2014
Sunce	11.3	35.2
Vjetar	517.3	730
Biomasa	125.7	164.7
Male hidroelektrane	121.6	131.6
UKUPNO	775.9	1,061.5

(Energija u Hrvatskoj, 2013)

Na grafikonu 12 prikazan je trend proizvodnje toplinske energije iz obnovljivih izvora u Hrvatskoj u razdoblju od 2009-2014. Biomasa predstavlja najvažniji izvor toplinske energije u Hrvatskoj i proizvodnja toplinske energije iz krute i plinovite biomase (uključujući proizvodnju iz industrijskih kotlovnica, proizvodnju toplinske energije iz ogrjevnog drva za grijanje i pripremu tople vode u kućanstvima) je u 2014. iznosila 45.682 PJ (Energija u Hrvatskoj, 2014).



Grafikon 12 Trend proizvodnje toplinske energije iz OIE u Hrvatskoj, u razdoblju od 2009-2014.

Izvor: Energija u Hrvatskoj

3. BIOMASA

Biomasa se prema Direktivi 2001/77EC definira kao biorazgradivi dio proizvoda, otpada i rezidua iz poljoprivrede (uključujući biljne i životinjske supstance), šumarstva i drvne industrije, kao i biorazgradivi dio industrijskog i komunalnog otpada. Pod pojmom biomasa podrazumijevamo različite vrste organskog materijala, s energetsom vrijednošću koja je podložna pretvorbi u gorivo ili direktno u toplinu. Biomasa je nekada bila primaran i gotovo jedini izvor energije, zbog čega je njezina potrošnja bila iznimno velika, a iskorištavanje vrlo neučinkovito pa su u nekim dijelovima svijeta šume posve uništene (Labudović, 2012). Napretkom tehnologije fosilno gorivo dobiva na važnosti do te mjere da uzrokuje poremećaj u njegovoj opskrbi i podizanje cijena, što je uzrokovalo poremećaje u ukupnim nacionalnim gospodarstvima, pa se početkom 90-ih kao odgovor na probleme koji su zapaženi na cijeloj Zemlji pojavljuje ideja o održivom razvitku (Čakija, 2007). Primjena biomase kao goriva se

smanjila uporabom fosilnih goriva, ali se s vremenom zbog neodrživosti i neobnovljivosti konvencionalnih izvora energije, klimatskih promjena popraćenih emisijama stakleničkih plinova i devastacije okoliša, tehnologije u proizvodnji energije sve više vraćaju izvornim, obnovljivim oblicima uz ostvarivanje što efikasnijeg procesa uz što manje gubitke energije.

Energija iz biomase se dobiva od različitih materijala organskog porijekla, kao što su peleti, ogrjevno drvo, piljevina, kora, granje, drveni otpad iz šuma i otpad industrije drvnih preradevina, ostatke rezidbe trajnih nasada, kukuruzovina i ostali ratarski ostaci, ostaci poljoprivredne proizvodnje (ljuske, koštice), ostaci prehrambene industrije, životinjski izmet i ostaci iz stočarstva te komunalni i industrijski otpad biljnog ili životinjskog porijekla. Prema Ivanović i Glavaš (2013) biomasu možemo podijeliti u tri skupine:

1. šumska biomasa (ogrjevno drvo, drvena sječka, granje, otpad iz drvne industrije i dr.)
2. ostaci iz poljoprivrede (ostaci iz ratarske, voćarske i vinogradarske proizvodnje te ostaci iz stočarstva i ribarstva)
3. organski dio industrijskog i komunalnog otpada (biomasa iz parkova i vrtova s urbanih površina, organski dio trgovačkog, industrijskog i kućanskog otpada i dr.).

Biomasa kao gorivo dolazi u čvrstom (peleti i briketi, ogrjevno drvo i dr.), tekućem (biodizel, bioetanol, biometanol, i dr.) i plinovitom obliku (bioplina, deponijski plin, plin iz rasplinjavanja biomase), te se koristi u postrojenjima za proizvodnju električne i/ili toplinske energije, u proizvodnji biogoriva, preradom u plinovita i tekuća ili se koristi direktno u konačnoj potrošnji energije. (Šljivac, 2008)

Potencijal biomase kao obnovljivog izvora energije proizlazi iz tri sektora: poljoprivrede (21%), šumarstva (41%) i otpada (38%) (AEBIOM, 2015). Najvažnije vrste izvora biomase koje koristimo u proizvodnji energije su brzorastuće drveće (vrba, topol, eukaliptus i dr.), energetske usjeve (višegodišnje trave i šumske kulture, hibridi topole, vrbe i neke trave (*Miscanthus* i *Sorghum*)), šećerne vrste (šećerna trska, šećerna repica, slatki sirak, proso), škrobne vrste (kukuruz i žitarice) i uljane vrste (uljana repica, suncokret, palma). Za energetske potrebe se koriste i ostaci šumske i poljoprivredne proizvodnje (slama, kukuruzovina, oklasak, granje, stabljike, koštice, ljuske i dr.), životinjski otpad i ostatci (izmet, spaljivanje lešina, stelje i dr.) te biomasu iz otpada (zelena frakcija kućnog otpada, biomasa iz parkova i vrtova s urbanih površina te mulj iz kolektora otpadnih voda).

Najznačajnija uporaba biomase kao goriva je korištenje u obliku krutog goriva u proizvodnji toplinske energije. Glavni oblici drvnog goriva na tržištu su ogrjevno drvo, cjepanice, sječka,

peleti i briketi. Peleti se, za razliku od briketa, mogu raditi i od ne-drvnog materijala, kao što su posliježetveni ostaci, ljuske, koštice, komina masline i ostali ostaci poljoprivredne proizvodnje. U tablici 4 prikazana su tipična svojstva krutih goriva. Ugljen ima veću ogrjevnju vrijednost od biomase iz obnovljivih izvora, ali i veći sadržaj pepela i vlage što poskupljuje proizvodnju i ostavlja veće količine otpada.

Tablica 4 Tipična svojstva krutih goriva

Svojstva	Ugljen	Drvo bez kore	Kora	Šumski ostaci (crnogorica)	Vrba	Slama	Reed canary (proljetna žetva)	Ostaci maslina
Sadržaj pepela u suhoj tvari	8.5-10.9	0.4-0.5	2-3	1-3	1.1-4.0	5	6.2-7.5	2-7
Vlaga (%)	6-10	5-60	45-65	50-60	50-60	17-25	15-20	60-70
Donja ogrjevnja vrijednost (MJ/kg)	26-28.3	18.5-20	18.5-23	18.5-20	18.4-19.2	17.4	17.1-17.5	17.5-19
C (% suhe tvari)	76-87	48-52	48-52	48-52	47-51	45-47	45.5-46.1	48-50
H	3.5-5	6.2-6.4	5.7-6.8	6-6.2	5.8-6.7	5.8-6.0	5.7-5.8	5.5-6.5
N	0.8-1.5	0.1-0.5	0.3-0.8	0.3-0.5	0.2-0.8	0.4-0.6	0.65-1.04	0.5-1.5
O	2.8-11.3	38-42	24.3-40.2	40-44	40-46	40-46	44	34
S	0.5-3.1	<0.05	<0.05	<0.05	0.02-0.10	0.05-0.2	0.08-0.13	0.07-0.17
Cl	<0.1	0.01-0.03	0.01-0.03	0.01-0.04	0.01-0.05	0.14-0.97	0.09	0.1 (u pepelu)

(Veijonen i sur., 2003)

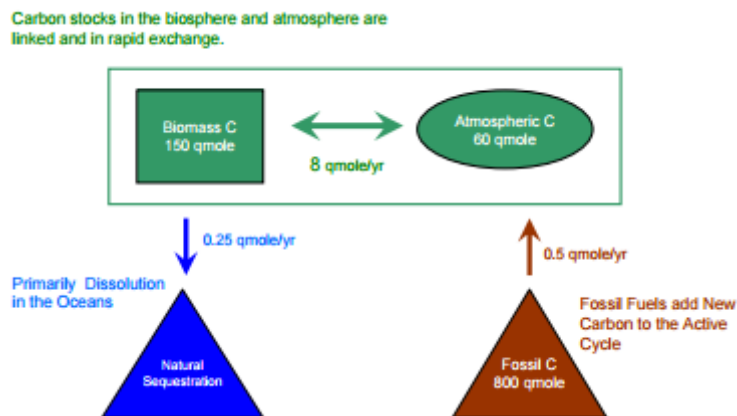
Prednosti korištenja biomase kao izvora energije ovise o namjeni i vrsti goriva ali često uključuju smanjenje štetnih emisija i drugih zagađivača okoliša i atmosfere, smanjenje organskog otpada, energetske uštede i ekonomski razvoj područja, smanjenje ovisnosti o uvozu

energenata i energetska sigurnost. Dodatno, biomasa je fleksibilan izvor energije koji istodobno može generirati i električnu i toplinsku energiju, uz minimalne gubitke energije.

Prema Garcia-Maraver i Perez-Jimenez (2015) prednosti korištenja biomase kao energenta su:

- redukcija emisije onečišćujućih plinova, kao što su CO, HC i NO_x, redukcija emisije CO₂ i SO₂,
- CO₂ neutralnost biomase, bez doprinosa emisiji stakleničkih plinova,
- čuvanje šuma i smanjenje opasnosti od šumskih požara,
- eksploatacija i održivo korištenje poljoprivrednog otpada, koje dobiva tržišnu vrijednost,
- povećanje obradivih površina uzgojem energetskih kultura, uz sprečavanje erozije i degradacije tla i voda,
- smanjenje ovisnosti o uvozu fosilnih energenata,
- socioekonomski razvoj ruralnih krajeva.

Jedna od pozitivnih strana uporabe biomase kao goriva je to što je biomasa kumulativno (promatrano u ukupnom lancu) ugljično neutralno gorivo, i takvim se smatra sve dok se ne narušava ravnoteža u ekosustavu, odnosno dok se koriste one zalihe koje se u istom vremenskom periodu mogu nadomjestiti. Prilikom izgaranja biomase otpušta se jednaka količina CO₂ u atmosferu kao i kod fosilnih goriva, ali biomasa tj. biljke otpuštaju izgaranjem onu količinu koju su i apsorbirale tijekom svog životnog ciklusa. Kod fosilnih goriva se ugljik izdvaja iz dugotrajnih spremnika u kojima bi, bez upotrebe, ostao zarobljen. Na slici 2 prikazano je globalno kruženje ugljika i odnos ugljika koji otpušta biomasa i ugljika koji se ispušta izgaranjem fosilnih goriva. Upravo se iz tih razloga danas sve više potiče upotreba obnovljivih izvora energije i poticanje smanjenja globalnog zatopljenja na koji najveći utjecaj ima emisija CO₂. Održivo gospodarenje se postiže ako se na mjesto odumrle ili spaljene biomase zasadi nova. Iako je biomasa obnovljiv izvor energije, potrebne su dodatne mjere i oprez pri pretvorbi iste u energiju, kako bismo mogli reći da se radi o obnovljivom ali i o održivom obliku energije. (Morris, 2008; Šljivac i Šimić, 2009)



Slika 2 Globalno kruženje ugljika

(Morris, 2008)

Prema Jelavić i sur. (2011), raspoloživa drvena biomasa (drvo, drvni otpaci, kora, ostaci iz drvnoprerađivačke industrije, drvena biomasa iz djelatnosti Hrvatskih voda, Hrvatskih cesta i HEP-a te energetske nasadi) imaju potencijal od 70.56 PJ. Šumske zalihe su trenutno najvažniji izvor biomase za proizvodnju energije, ali se sve više istražuju mogućnosti korištenja otpadne biomase i energetskih usjeva adaptibilnih na različite okolišne uvjete i tla niske kvalitete, kao i potencijal dobivanja energije iz algi. Porast korištenja ovih alternativnih izvora ima brojne pozitivne utjecaje na okoliš, kao što je povećanje biodiverziteta, fotosinteze i produkcije kisika, korištenje nepogodnih i onečišćenih tala, smanjenje štetnih emisija i dr. Za primjer uzmimo istraživanje emisija štetnih plinova u proizvodnji cementa koje pokazuje značajno smanjenje emisije CO₂ korištenjem komine masline kao zamjenskog goriva u odnosu na petrol-koks (Pletikosić, 2014). Korištenjem komine masline dobiva se visokovrijedno gorivo i rješavamo pitanje potencijalno opasnog otpada. Međutim, razlog najšire primjene šumske biomase kao goriva je taj što drvo ima najveću ogrjevnju vrijednost te najniži udio vlage i pepela, što pojednostavljuje primjenu, ali ako promatramo šire, otpadna biomasa i biomasa energetskih kultura imaju manju energetska vrijednost od šumske biomase, ali veću potrebu za iskorištavanjem, a smanjenje sječe šuma podrazumijeva brojne benefite za ekosustav, odnosno čitavu biosferu. Ako gledamo iz perspektive definicije održivog gospodarenja okolišem i održive energije, onda alternative šumskoj biomasi imaju daleko veću prednost za korištenje u proizvodnji energije.

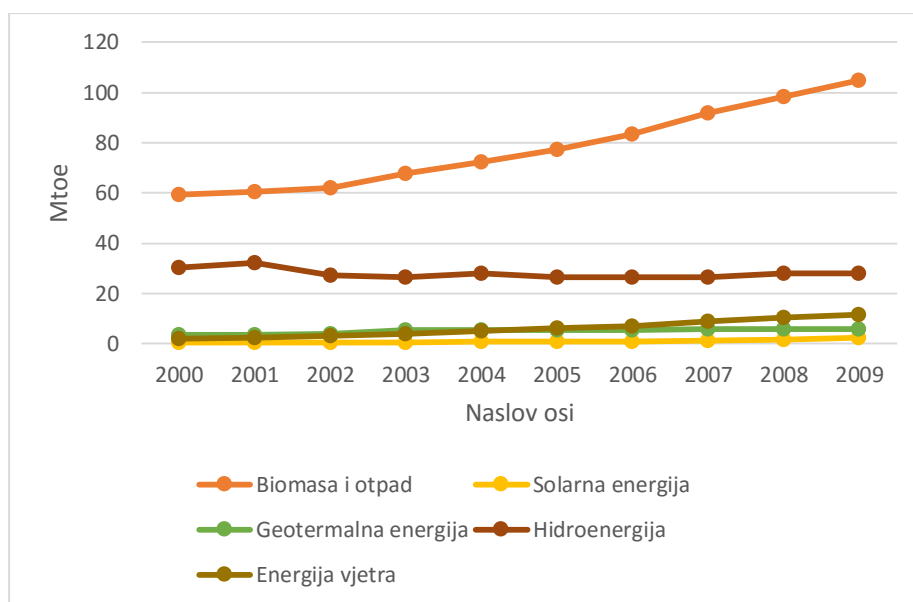
Biomasa je obnovljivi i prema tome dostupni izvor energije koji se obnavlja kroz prirodne procese rasta ili je dostupna kao nusproizvod ljudskih aktivnosti tj. organskog otpada. Svjetski potencijal energije iz biomase dobivene iz šume ili poljoprivrednih ostataka se procjenjuje na

oko 30 EJ/godišnje, dok se godišnja svjetska energetska potražnja procjenjuje na više od 400 EJ (McKendry, 2002).

3.1. Korištenje biomase kao obnovljivog izvora energije u Europskoj uniji

Biomasa je danas najvažniji izvor obnovljive energije, ali i četvrti najveći izvor energije općenito, nakon ugljena, nafte i prirodnog plina (Ladanai i Vinterback, 2009). S obzirom na veliki broj istraživanja biomase kao goriva u posljednjih nekoliko desetljeća, postoji i veliki broj podataka o korištenju biomase u Europskoj uniji. Prema Medarac (2016) u 2012. od ukupnih obnovljivih izvora energije u EU, 54% je dolazilo iz biomase, dok je u sektoru grijanja i hlađenja zauzimala 86%, a prema AEBIOM (2015) 74.6% biomase, od ukupne proizvodnje za potrošnju u energetske svrhe, je namijenjena proizvodnji topline (78.4 Mtoe), bioenergije (13.5 Mtoe) i biogoriva za transport (13.1 Mtoe). Najveći dio biomase koji se koristi u sektoru proizvodnje topline odlazi na stambeno (53.0%) i industrijsko tržište.

Od ukupne potrošnje obnovljivih izvora energije 2013. biomasa, odnosno bioenergija je zauzimala 61.2% potrošnje u EU, čija se potrošnja 2013. (105.1 Mtoe) u odnosu na 2000. gotovo udvostručila (52.8 Mtoe), a predviđanja za 2020. je rast do 138.9 Mtoe (AEBIOM, 2015). Prema istom izvoru najveća potrošnja biomase u ukupnoj potrošnji energije je bila u Latviji (31.9%), Finskoj (31.8%) i Švedskoj (31.6%). Najčešća primjena biomase je u proizvodnji topline, a najveći potrošači toplinske energije iz biomase su Francuska (10.2 Mtoe) i Njemačka (8 Mtoe). Italija se s 2.5 Mtoe ističe kao predvodnik u uporabi dizalica topline, a slijede je Francuska i Švedska s proizvodnjom 1.6 odnosno 1.2 Mtoe (Izvješće o napretku u području obnovljive energije, 2015). Prema Garcia- Maraver i Perez- Jimenez (2015) oko 10% biomase je iskorišteno za proizvodnju biogoriva, a 60% biomase iz kogeneracijskih postrojenja za potrebe grijanja. Prema istom izvoru, tek 30% od ukupne potrošnje biomase se dobiva iz poljoprivredne proizvodnje i otpada, dok je 70% drvena biomasa (industrijski otpad, piljevina, kora, drvena sječka). Trend bruto domaće potrošnje biomase i ostalih obnovljivih izvora energije u razdoblju od 2000-2009 je prikazan grafikonom 13. Podaci su prikazani u Mtoe, i najveće vrijednosti su ostvarene u potrošnji biomase, koja pokazuje i najveći trend rasta potrošnje u navedenom razdoblju.



Grafikon 13 Trend bruto domaće potrošnje OIE u EU, od 2000-2009. godine

Garcia- Maraver i Perez- Jimenez, 2015

3.2. Korištenje biomase kao obnovljivog izvora energije u Hrvatskoj

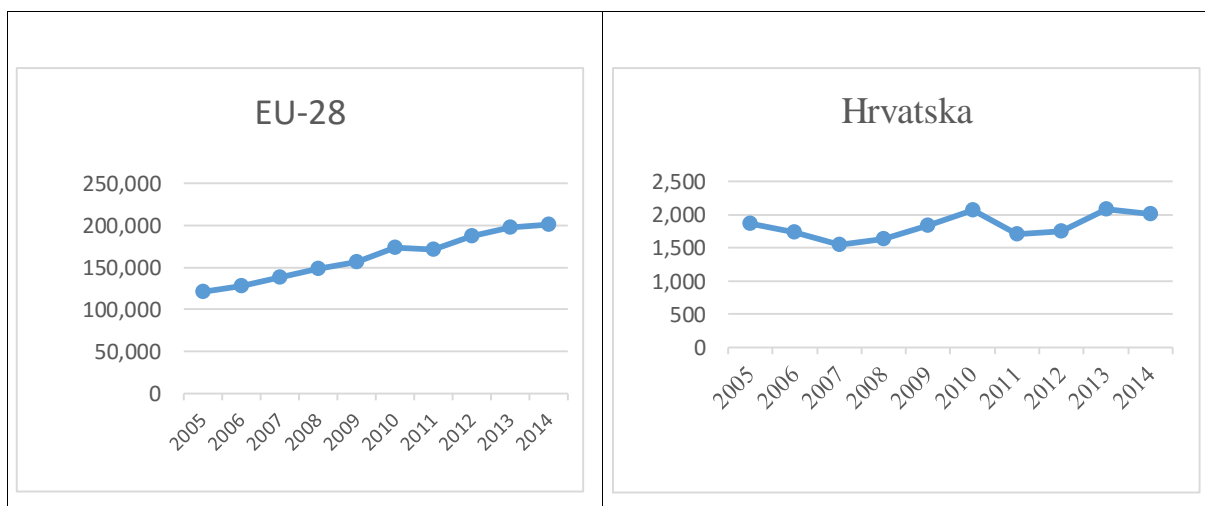
Hrvatska je prema Strategiji održivog razvoja Republike Hrvatske (2009), u usporedbi sa ostalim europskim državama, natprosječno bogata obnovljivim prirodnim resursima kao što su poljoprivredno zemljište, voda, zrak, šume i biološka raznolikost. Zauzima treće mjesto u Europi u raznolikosti biljaka (0.075 vrsta/ km^2 ili 0.094 vrsta/ km^2 uključujući podvrste), treće mjesto prema ukupnim obnovljivim izvorima vode (prema UNESCO-u 35.200 m^3 po stanovniku), natprosječna je u Europi po prekrivenosti teritorija šumama (47% teritorija naspram 44 % što je europski prosjek) i po kvaliteti zraka, ali s 22.3 % teritorija koji se koristi za poljoprivredu je jedva iznad europskog prosjeka (21.5 %). Prema Strategiji ima još otprilike toliko neiskorištenog poljoprivrednog zemljišta. Prema navedenom, zaključujemo da Hrvatska ima brojne mogućnosti razvoja poljoprivredne proizvodnje, a time i iskorištenja biomase u proizvodnji održive energije. Proizvodnja energije iz biomase obuhvaćena je Strategijom energetske razvoja Republike Hrvatske (2009). Plan je do 2020. godine osigurati oko 26 PJ energije iz biomase, kroz stvaranje zakonskih uvjeta za povećano korištenje i proizvodnju energije iz biomase i poticanje istraživanja te razvoja tehnologija.

Na temelju Zakona o energiji (NN 68/2001, 177/2004, 76/2007, 152/2008, 127/2010), donesen je Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 67/2007). Prema

Pravilniku, elektrane na biomasu se dijele na elektrane na krutu biomasu iz šumarstva i poljoprivrede (granjevina, slama, koštice i dr.) te na elektrane na krutu biomasu iz drveno-prerađivačke industrije (kora, piljevina, sječka). Sva postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije za proizvodnju električne energije i isporučuju je u javnu elektroenergetsku mrežu, dijele se u dvije skupine, prema instaliranoj električnoj snazi na manje od 1 MW i veće od 1 MW, a sustavi grijanja i pripreme potrošne tople vode prema toplinskom učinku na manje od 30 kW i veći od 30 kW.

U Registar projekata i postrojenja za korištenje obnovljivih izvora energije i kogeneracije te povlaštenih proizvođača koje vodi Ministarstvo gospodarstva je u 2012. bilo upisano 89 postrojenja za energetska iskorištavanje biomase s ukupnom električnom snagom od 221.386 MW, i tu su ubrojene elektrane na krutu biomasu iz šumarstva i poljoprivrede te elektrane na krutu biomasu iz drveno-prerađivačke industrije. Prema Energija u Hrvatskoj (2013) instalirana toplinska snaga biomase u 2013. je iznosila 515 MW te instalirana električna energije 23.6 MW. Međutim, ne postoje pouzdani statistički podaci o instaliranim snagama za Sunce i biomasu, pa su ti podaci temeljeni na pretpostavkama koje se odnose na industrijske kotlovnice na biomasu te ne sadrže toplinsku snagu malih peći za grijanje i pripremu tople vode u kućanstvima.

Kako je već bilo prikazano u tablici 1 i grafikonu 11, od ukupnih elektrana na OIE u Hrvatskoj, elektrane na biomasu su po proizvodnji energije odmah nakon vjetroelektrana i elektrana na bioplin. Na grafikonu 14 prikazan je trend rasta bruto domaće potrošnje obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj i prosjek za Europsku uniju.



Grafikon 14 Trend bruto domaće potrošnje OIE u EU i Hrvatskoj od 2005-2014., izražena u Mtoe

eurostat [nrg_100a]

Prema prikazanom grafikonu, potrošnja energije iz OIE u razdoblju od 2005-2014. u Europskoj uniji pokazuje rast kroz čitavo razdoblje, dok je u Hrvatskoj primjetan slabiji rast uz smanjenje potrošnje u 2007., 2011., 2014. s obzirom na prethodne godine.

3.3. Poljoprivredna biomasa

Poljoprivreda je jedna od najvažnijih gospodarskih grana u Hrvatskoj, i dobro gospodarenje poljoprivredom, time i poljoprivrednom biomasom od strateške je važnosti. Potencijal poljoprivredne proizvodnje u Hrvatskoj je znatno veći od iskorištenog s obzirom na veliki postotak neobrađivanih površina. Poljoprivreda je veliki potrošač energije, ali korištenjem ostataka proizvodnje može biti i veliki proizvođač s obzirom da svake godine ostanu velike količine neiskorištene biomase koja bi se mogla upotrijebiti u energetske svrhe. Prema Statističkom ljetopisu (2015), ukupno korištene poljoprivredne površine u Hrvatskoj 2014. godine su zauzimale 1,508,885 ha. Vinogradi, maslinici i voćnjaci su se uzgajali na površinama od ukupno 76,970 ha, a ratarske kulture, pšenica, ječam, kukuruz, soja, suncokret i uljana repica su zauzimale površine od 559,961 hektara, što je sveukupno 42.2% od ukupnih poljoprivrednih površina. Prema istom izvoru, od ukupne potrošnje električne energije u Hrvatskoj 2014. godine, na poljoprivredni sektor je otpadalo 62 GWh. Poljoprivredna biomasa koja se može koristiti za proizvodnju energije je vrlo raznolika i uključuje sve organske ostatke koji ostaju nakon primarne poljoprivredne proizvodnje, odnosno lignocelulozni materijal koji se u tehnološkim procesima predvodi do energije. Iskustva iz razvijenih zemalja, u Europi osobito Danske, pokazuju kako je poljoprivredna biomasa vrijedan izvor energije koji se ne bi trebao zanemariti (Šljivac, 2008).

Poljoprivredna biomasa za energetske svrhe najčešće uključuje slamu od pšenice i ječma te kukuruzovinu, odnosno kulture koje su najrasprostranjenije pa daju i najveću količinu rezidua. Za energetske svrhe se koriste i ostale žitarice, ostaci uljarica i zrnatih leguminoza, kao i sekundarni produkti i ostaci voćarske i vinogradarske proizvodnje. Unutar poljoprivredne grupe najveći doprinos će vjerojatno dati slama i ostaci nakon žetve i rezidbe (Garcia- Maraver i Perez- Jimenez, 2015).

Prema europskom standardu za pelete EN 14961-1 (2011) kruta biomasa se dijeli na pod – kategorije:

- drvena biomasa: drveće, grmlje i žbunje,

- travnata/zeljasta biomasa: jednogodišnje i dvogodišnja kulture,
- voćarska biomasa,
- mješavine drvene, zeljaste i voćarske biomase.

Osnovno obilježje poljoprivredne biomase je heterogenost sastava zbog različitog udjela vlage i pepela, što utječe na ogrjevnu vrijednost. Količina pepela u nedrvenim biljnim ostacima je obično veća od drvene biomase, što je negativna strana s obzirom da supstance koje čine pepeo nemaju energetska vrijednost. Ogrjevna vrijednost suhe tvari varira od 16.5 do 19 MJ/kg, dok je kod drvene biomase u prosjeku za 9% viša od vrijednosti travnatih biljaka. Energetska vrijednost drva iznosi od 8.2-18.7 MJ/kg, biodizela oko 37.2 MJ/kg, etanola 26.8 MJ/l, bioplin 26 MJ/Nm³. (Energetska efikasnost i analiza potencijala biomase, 2012)

3.4. Biomasa posliježetvenih ostataka

Ratarstvo čini većinu moderne široko rasprostranjene poljoprivrede i najznačajnije kulture su kukuruz, pšenica, ječam, raž, zob, proso, soja, uljanu repicu i dr. Sjeme, korijen i stablo travnatih biljaka (monokotiledona) je obično dobar izvor škroba koji se može koristiti u tehnološkim procesima za proizvodnju biogoriva ili energije. Te ratarske kulture su najrasprostranjenije pa daju i najveću količinu rezidua, a slama, koja u širem smislu predstavlja suhe stabljike svih ratarskih kultura, kao i kukuruzovina, su iznimno svestrani materijali jednostavni za rukovanje i transport i pogodni kao energetska sirovina.

Nakon žetve žitarica i kukuruza ostaje velika količina biomase dostupna za korištenje. Primjerice, nakon berbe kukuruza na požnjevenom zemljištu ostaje kukuruzovina, stabljika s lišćem, oklasak i komušina, s prosječnim odnosom zrna i mase (tzv. žetveni omjer) 53 : 47 (%). Nakon žetve kukuruza ostaje nam biomase približno koliko i zrna. Odnos kukuruzovine i oklaska je prosječno 82%:18% (Šljivac, 2008). Iako je neosporno kako se nastala biomasa mora prvenstveno vraćati u zemlju, preporučuje se zaoravanje između 30 i 50% te mase (Šljivac i Šimić, 2009), što znači da za energetske potrebe ostaje najmanje 50% .

3.5. Biomasa orezanog ostatka

Porastom potražnje voća, maslinovog ulja i vina, rastu i proizvodne površine, a time i količina orezane biomase. Nakon rezidbe, u međuprostorima vinograda, voćnjaka i maslinika, ostaje velika količina biomase koja najčešće ostaje neiskorištena i poljoprivrednici nailaze na problem njena zbrinjavanja. Zbrinjavanje orezanog ostatka je uglavnom na tradicionalan način direktnim spaljivanjem na poljoprivrednim površinama ili korištenjem za zagrijavanje kućanstava, no problem predstavlja nasipna gustoća koja je velika i zbrinjavanje u obliku peleta bi donijelo brojne pogodnosti kao što su energetske uštede i smanjenje zagađenja kroz suvremene tehnološke procese.

Rezidba u voćnjacima, maslinicima i vinogradima je osnovni agrotehnički zahvat kojim se vrši prorjeđivanje i prikraćivanje u svrhu ostvarivanja dobrog rasta i rodnosti. Razlikujemo zimsku rezidbu koja se obavlja u vrijeme mirovanja vegetacije te ljetnu rezidbu, u vrijeme vegetacije, i obje su obavezne mjere, pa se rezidba obavlja najmanje dva puta kroz godinu. Prema Bilandzija i sur. (2012) orezana hortikultura biomasa u intenzivnoj proizvodnji u Hrvatskoj je prema podacima iz 2010. godine iznosila nešto više od 4.5 milijuna tona godišnje, s ukupnim energetske potencijalom od 4.21 PJ, od čega je najveći potencijal imala vinova loza s 2.46 PJ. S obzirom na količinu orezane biomase po stablu, najveći potencijal ima maslina (9.08 kg), a s obzirom na površinu, najviše ukupne biomase ostaje nakon rezidbe kruške (5,818.7 kg/ha) i jabuke (5,557.5 kg/ha). U tablici 5 prikazane su važnije energetske karakteristike orezane poljoprivredne biomase. Postotak vlage, pepela, kisika i gorivih tvari utječu na konačnu toplinsku vrijednost goriva.

Tablica 5 Prosječni kemijski sastav suhe tvari orezane biomase

Vrsta	Vlaga (%)	Pepeo (%)	Kemijska analiza (%)					Donja ogrjevna vrijednost (MJ/kg ⁻¹)
			C	H	N	O	S	
Jabuke	6.73	1.52	47.36	6.42	0.74	45.3	0.18	17.06
Šljive	5.94	3.89	48.15	6.52	0.81	44.34	0.18	17.12
Vinova loza	8.01	2.12	47.46	6.81	0.62	44.91	0.20	17.05
Masline	6.37	4.44	46.54	6.45	0.77	46.04	0.20	16.91
Smokve	8.83	5.19	45.55	6.35	1.05	46.86	0.19	15.60

(Bilandzija i sur., 2012)

4. PROCESI PRETVORBE BIOMASE U ISKORISTIVU ENERGIJU

Energetski potencijal biomase podrazumijeva organsku tvar u kojoj se energija sunčeve svjetlosti pohranjuje u kemijskim spojevima unutar biljaka, i kada se kemijske veze koje povezuju ugljik, vodik i kisik razlože kao posljedica raspadanja ili spaljivanja, otpušta se kemijska energije (McKendry, 2002).

Kemijska struktura biomase se sastoji od tri polimera: celuloze, hemiceluloze i lignina, koji čine sastavni dio stanične stjenke i u njima je pohranjena kemijska energija biljaka. Njihov omjer varira ovisno o biljnoj vrsti. Celuloza ima veću biorazgradivost od lignina, ali manju ogrjevnju vrijednost. Meko drvo i zeljaste biljke sadrže manje lignina, dok tvrdo ima veći sadržaj lignina i čvrsto vezana vlakna, i relativni omjer celuloze i lignina jedan je od odlučujućih faktora u prepoznavanju prikladnosti biljne vrste za daljnju obradu kao energetskog usjeva (McKendry, 2002). Lignin, koji je najmanje zastupljen (20-35%) ima najveću ogrjevnju vrijednost, dok je celuloza najzastupljenija komponenta (40-50%) ali i najniže ogrjevnje vrijednosti (Pettersen, 1984). Veliki utjecaj na ogrjevnju vrijednost ima i udio vlage u biomasi kao i udio pepela, ukupni kemijski sastav i gustoća. Glavne karakteristike biomase kao goriva su sadržaj vlage, ogrjevnja ili toplinska vrijednost, proporcije fiksiranog ugljika i hlapivih tvari, sadržaj pepela, sadržaj alkalnih metala te omjer celuloze i lignina (McKendry, 2002).

Biomasa se može pretvarati u korisne oblike energije putem različitih procesa, a na izbor procesa utječu vrsta i kvantiteta sirovine, željeni oblik energije, zahtjevi krajnjih potrošača,

okolišni standardi i ekonomski uvjeti (McKendry, 2002). Konverzijom biomase u energiju, tzv. bioenergija, se mogu dobiti dva glavna proizvoda – električna/toplinska energija i transportna goriva. Dobivanje energije iz biomase je omogućeno putem dvije skupine procesa: biokemijski i termokemijski procesi. Biokemijskim procesima (fermentacija i anaerobna razgradnja) se dobivaju biogoriva, (etanol, bioplin i biodizel), a termokemijskim procesom (piroliza, rasplinjavanje ili gasifikacija) se izravno proizvodi energija. Termičkom obradom biomase otpušta se energija čija količina ovisi o ogrjevnoj vrijednosti organske mase.

Sva biomasa se može spaljivati u termičkim pretvorbama za proizvodnju pare koja se koristi u turbinama za proizvodnju električne energije, dok su neke biljne vrste prikladnije za biokemijske procese proizvodnje plinovitih ili tekućih goriva. Također, sva biomasa se može koristiti u procesu izgaranja, ali se u praksi koristi samo biomasa čiji je sadržaj vlage <50%. Biomasa sa većim sadržajem vlage je prikladnija za biokemijske procese konverzije. Točna količina energije koja će se dobiti u procesima pretvorbe će ovisiti o tehnologiji koja se upotrebljava, ali i formi konačnog produkta kao i o vrsti i kemijskom sastavu biomase. (McKendry, 2002)

Prema Šljivac (2008) primarne tehnologije pretvorbe biomase obuhvaćaju sagorijevanje (izgaranje), rasplinjavanje, pirolizu i biokemijske pretvorbe (anaerobna i alkoholna fermentacija i esterifikacija). Sagorijevanje se može vršiti na ložištu s rešetkom, ložištu s donjim dovodom goriva te fluidiziranom sloju. Dobiva se toplina i para koja se sekundarnim tehnologijama pretvorbe predvode do konačnog proizvoda – topline i/ili električne energija ili tekućeg goriva. Vodena para je nosilac toplinske energije kod parnih turbina, koja omogućuje pretvaranje u mehaničku, a potom i u električnu energiju.

Biomasu možemo pretvarati u korisnu energiju putem sljedećih procesa:

- izravno izgaranje – najčešći način korištenja poljoprivrednog otpada i šumske biomase za dobivanje energije
- rasplinjavanje (gasifikacija) - oblik nepotpunog izgaranja krutog goriva kojim nastaje sintetski ili drveni plin koji se koristi kao pogonsko gorivo ili za proizvodnju električne energije pomoću agregata. Sintetski plin je niske ili srednje ogrjevnosti, sadrži CO i H₂, i može se spaljivati odmah ili koristiti kao gorivo za plinske motore i plinske turbine
- piroliza – termokemijski proces brzog zagrijavanja biomase bez prisustva kisika, gdje se velike molekule razgrađuju na čiste elemente (metan se raspada na C i H) i konačan

proizvod je tekućina koja je po svojim ogrjevnim svojstvima najbližnja ulju mineralnog porijekla

- anaerobna razgradnja (digestija) – bakterijskom razgradnjom organskog materijala proizvodi se obnovljivi prirodni plin uz odsustvo kisika. McKendry (2002); Garcia-Maraver i Perez-Jimenez (2015)

Odabir metode ovisi o tipu biomase. Šumska biomasa, poput drvene sječke, peleta i piljevine se putem procesa izgaranja ili rasplinjavanja predvodi do električne energije. Stočni kukuruz i pšenična slama se također koriste u procesu izgaranja ili se u procesu anaerobne razgradnje predvode do plina. Od većine ostale biomase se može putem pirolize proizvoditi bio-ulje (Federal Energy Management Program, 2011).

4.1. Proces izgaranja

Biomasa se može izravno pretvarati u energiju jednostavnim izgaranjem gdje se proizvodi pregrijana vodena para za grijanje u industriji i kućanstvima ili za dobivanje električne energije u malim termoelektranama (Šljivac, 2008). Izgaranje biomase se koristi za dobivanje toplinske energije više od tisuću godina i danas predstavlja najveći izvor toplinske energije u svijetu (Garcia-Maraver i Perez-Jimenez, 2015). Izgaranje biomase predstavlja oksidaciju gorivih sastojaka, odnosno njihovo spajanje s kisikom iz zraka, pri čemu se kemijska energija pohranjena u biomasi oslobađa u obliku topline, mehaničke snage ili električne energije, u različitim postupcima, tj. s različitim tehnologijama - izgaranje u peći, u kotlu, parnim turbinama, turbo generatorima i dr. Za proizvodnju električne energije procesom izgaranja, parne turbine se smatraju najboljom tehnologijom (Milas, 2009).

U procesu oksidacije (izgaranja) sudjeluje goriva tvar (C, H i S) i kisik, a kao nusprodukti nastaju dimni plinovi i pepeo koji sadrži negorive tvari (N, O, vlaga te primjese koje čine pepeo). Proces izgaranja se odvija u ložištu, postrojenju za transformaciju kemijske u unutrašnju energiju, a kemijska reakcija je obično između ugljikovodika i kisika te kao nusproizvod nastaje ugljikov dioksid, voda i topline. Takva toplinska energija se dalje može transformirati u mehaničku energiju (primjer je energija pare u parnim turbinama, produkti izgaranja u SUI motorima i plinskim turbinama Izgaranje može biti potpuno i nepotpuno. U potpunom izgaranju svi gorivi sastojci potpuno oksidiraju do CO₂, H₂O i SO₂, a nepotpuno izgaranje dovodi samo do djelomične oksidacije u CO₂, H₂O i SO₂, pri čemu se dobiva manje toplinske energije, a nastaje zbog nedovoljne količine kisika u ložištu ili je zbog loše cirkulacije

onemogućen dotok kisika u sve dijelove ložišta. Potrebna količina kisika za potpuno izgaranje C, H i S se utvrđuje prema stehiometrijskoj jednadžbi (tzv. Stehiometrijska količina zraka), koja određuje točno potrebnu količina zraka uz koju gorivo potpuno izgori tako da u produktima izgaranja nema slobodnog kisika. Emisije štetnih plinova su izraženije u procesima nepotpunog izgaranja, a sastoje se od ugljikovog monoksida, čađe, spojeva katrana i nesagorivih čestica i raznih plinovitih viših ugljikovodika, koje su vrlo štetne za okoliš i za zdravlje ljudi i živih organizama. Pri potpunom izgaranju nastaju emisije ugljikovog dioksida i dušičnih oksida te manjim djelom i ugljikov monoksid. Oni su u pravilu manje štetne te se njihov intezitet može smanjiti odgovarajućim konstrukcijskim rješenjima ložišta i vođenjem procesa izgaranja. (McKendry, 2002; Labudović, 2012; Garcia- Maraver i Perez- Jimenez, 2015)

Izgaranje dijelimo na 6 osnovnih procesa (Labudović, 2012):

1. Zagrijavanje – zagrijavanje mase do temperature potrebne za odvijanje daljnjih procesa (do 100 °C).
2. Sušenje – uklanjanje zaostale vlage pri temperaturama od 100-150°C.
3. Pirolitička razgradnja drva – proces razlaganja složenih ugljikovih spojeva na jednostavnije, pri čemu nastaju štetni spojevi katrana te ugljičnog monoksida i viši ugljikovodici. Odvija se na temperaturama 150 – 130°C.
4. Rasplinjavanje odvlaženih gorivih tvari – proces termičke razgradnja gorivih tvari u kojima više nema vlage, uz prisutnost kisika te se oslobađa toplina koja istodobno služi za paljenje čvrstih i kapljevutih produkata pirolize (katrana i ugljena). Odvija se na temperaturama od 230 do 500°C.
5. Rasplinjavanje čvrstih ugljikovih spojeva - u prisutnosti CO₂, vodene pare i kisika nastaje zapaljivi ugljikov monoksid i u ovoj fazi se oslobađa svijetlost, odnosno nastaje plamen. Temperature se kreću od 500 – 700°C.
6. Oksidacija zapaljivih plinova nastalih rasplinjavanjem - obuhvaća oksidaciju zapaljivih plinova nastalih rasplinjavanjem u prethodnim fazama, uz dovođenje sekundarnog kisika kako bi se ostvarilo čisto i potpuno izgaranje. Odvija se u reakcijskoj zoni ložišta, pri temperaturama od 700 – 1400°C.

Vrijeme trajanja procesa zagrijavanja i sušenja ovise ponajviše o zaostaloj vlazi, pa što je masa suša i manjih dimenzija potrebno je kraće vrijeme, i uz manju potrošnju energije. Prve tri faze

su entotermne, odnosno za njihovo odvijanje je potreban dovod topline izvana. Ostale faze su egzotermne, odvijaju se na temperaturama iznad 230°C i u tim fazama se oslobađa toplota. Za zapaljenje biomase potrebno je postići temperaturu od 300°C, a za samozapaljenje 400°C. U svim fazama izgaranja potrebno je osigurati optimalne uvjete za odvijanje procesa, osobito dovođenje primarnog i sekundarnog zraka, kako bi se omogućilo potpuno i učinkovito čisto izgaranje sa što manjim emisijama štetnih plinova. Važnu ulogu na proces izgaranja ima i veličina čestica. Što su čestice biomase veće izgaranje je sporije jer se izgaranje odvija od površine prema unutrašnjosti i ne može se istodobno zahvatiti cijela čestica. Primjerice, kod izgaranja cjepanica središnji dio do određenog vremena uopće ne bude zahvaćen procesima izgaranja, dok se u ostalim slojevima, promatrajući od površine prema unutrašnjosti, više faza procesa izgaranja odvija gotovo istodobno. Stoga veličina čestica igra važnu ulogu u procesima izgaranja te manje čestice doprinose boljem i pravilnijem procesu, uz veće energetske učinke i manju emisiju plinova (Labudović, 2012). Na osnovu ovog primjera možemo vidjeti i prednost korištenja peleta u procesima izgaranja, jer se sastoje od manjih čestica povezanih u masu velike gustoće, pa je proces izgaranja većeg učinka.

Kotlovi na biomasu su osnovni izvor topline koji dobivamo od biomase kao goriva. Razlikujemo kotlove na pelet i ogrjevno drvo i kotlove na ogrjevno drvo s pirolitičkim izgaranjem (drvni plin). Porastom korištenja obnovljivih izvora energije tehnologija proizvodnje topline je uznapredovala, pa su tako provedena brojna poboljšanja izvedbi kotlova s ciljem povećanja učinkovitosti i smanjenja štetnih emisija čvrstih čestica i ugljičnog monoksida. Razvijene su učinkovite konstrukcije komora izgaranja, sustava za dovod zraka i regulacije. S obzirom na dimenzije, odnosno toplinske učinke dijelimo ih na male (učin od 3 kW), srednje (100 kW) i velike (100 kW – 10 MW), a s obzirom na način punjenja mogu biti s ručnim punjenjem i automatskim. (Labudović, 2012)

4.2. Proizvodnja toplinske, rashladne i električne energije u jedinstvenom sustavu

Biomasa se kao izvor energije danas sve češće koristi u velikim energetske postrojenjima, elektranama na biomasu, namijenjenima za proizvodnju toplinske i za istodobnu proizvodnju električne energije. Takve sustave nazivamo kogeneracijskim sustavima (eng. Combined Heat and Power - CHP). Prema Zakonu o obnovljivim izvorima energije i učinkovitoj kogeneraciji, kogeneracijsko postrojenje je „proizvodno postrojenje u kojem se istodobno proizvodi električna i toplotna energija u jedinstvenom procesu, pri čemu se kogeneracijska postrojenja

koja obnovljive izvore energije koriste kao primarni izvor energije smatraju proizvodnim postrojenjima koja koriste obnovljive izvore energije“. Dokazano komercijalno isplativ i daleko najznačajniji način proizvodnje električne energije iz biomase je pretvorba u kogeneracijskim postrojenjima za što postoji veliki broj primjera u raznim zemljama (Šegon i Domac, 2003). Kogeneracijski sustavi predstavljaju racionalno korištenje energije s minimalnim energetske gubicima, što je cilj održivog gospodarenja. Za istu količinu primarne energije (fosilnog goriva, vodika, biomase, industrijskog ili poljoprivrednog otpada) kogeneracijsko postrojenje isporučit će u nekim slučajevima i do 40% više električne i toplinske energije nego sustav s odvojenom opskrbom (Lončar i sur., 2009). Toplina proizvedena kogeneracijom se predaje izravno u objektu ili u obližnju toplinsku mrežu, a električna energija se također koristi u objektu dok se viškovi isporučuju u postojeću lokalnu mrežu (Šljivac, 2008).

Kogeneracijski sustavi se sastoje od kotlovskog i turbinsko-generatorskog dijela. U kotlovskom dijelu se proizvodi para izgaranjem biomase u ložištu, zatim para pogoni parnu turbinu u turbinsko-generatorskom dijelu, parna turbina okreće električni generator i proizvodi električnu energiju, a sva otpadna toplina (pare i plinovi) se koristi za proizvodnju toplinske energije. U kogeneracijskim sustavima omjer proizvodnje toplinske i električne energije je 2:1, i učinkovitost procesa pretvorbe kemijske energije biomase u električnu je mnogo manja nego kod pretvorbe samo u toplinsku energiju. U odvojenoj proizvodnji električne i toplinske energije gubitci mogu biti i do 75%, a kod istodobna proizvodnje u kogeneracijskim sustavima gubitci energije iznose do 30%. (Labudović, 2012)

Prednosti kogeneracijskog sustava su: učinkovitije korištenje energije goriva, snižavanje troškova proizvodnje električne energije i topline, smanjenje emisija ugljičnog dioksida po jedinici proizvedene energije, proizvodnja električne energije na mjestu potrošnje, izbjegavanje gubitaka u prijenosu i distribuciji i veća sigurnost i fleksibilnost opskrbe. Kogeneracija se može primjenjivati u bilo kojem području gdje postoji istovremena potreba za električnom i toplinskom energijom. Kao minimalni preduvjet isplativosti je postojanje kontinuirane potrebe za toplinskom energijom u trajanju od najmanje 4,500 sati godišnje (Lončar i sur., 2009)

Uz proizvodnju toplinske i električne energije može se proizvoditi i rashladna energija i taj istodobni proces nazivamo trigeneracija (eng. Combined Heat, Cooling and Power production). Toplina CHP elektrane se u tom slučaju koristi za hlađenje preko apsorpcijskog ciklusa, odnosno dodaje se apsorpcijski hladnjak koji koristi „odbačenu“ toplinu. U usporedbi s kogeneracijom, u trigeneraciji se učinkovitost povećava za čak 50. Ovakav sustav omogućava

korištenje toplinske energije kao rashladne što je povoljno u ljetnim mjesecima gdje se potrebna toplinska energija za zimu zamjeni rashladnom. (HROTE)

5. PELETI, ZNAČAJ I KORIŠTENJE

Upotreba peleta za grijanje kućanstava je prilično novija pojava. Sustavi za izgaranje peleta su se razvili 1980., ali značajnije korištenje i razvoj tržišta peleta je u posljednjih 15- ak godina (Perez-Jimenez, 2015).

Energetski peleti se definiraju kao komprimirano gorivo proizvedeno od usitnjene biomase, s ili bez veziva, i koriste se za grijanje stambenih objekata kao i za industrijsku proizvodnju toplinske i električne energije. Proces peletiranja je osmišljen za potrebe hranidbe životinja, a naknadno se usvojio i za peletiranje biomase. Karakterizira ih niska vlažnost, velika gustoća i ogrjevna vrijednost te smanjenje emisija štetnih plinova. Smanjenje volumena biomase olakšava rukovanje, transport i skladištenje te snižava troškove istih, a visoka ogrjevna vrijednost omogućava veću efikasnost u procesu izgaranja, s dobivanjem više toplinske energije. Smanjeni su biološki procesi kvarenja biomase te je bolje izgaranje u odnosu na ogrjevno drvo i druge veće oblike drvene biomase. Osnovna prednost peleta su, osim velike ogrjevnosti, njihov oblik i dimenzije koje omogućuju jednostavno prevoženje i skladištenje te posve automatizirano dovode do ložišta, pomoću pružnih ili pneumatskih prijenosnika čime se omogućava jednaka udobnost primjene kao kod plina ili loživog ulja (Labudović, 2012). S obzirom na relativno visoki sadržaj energije, u masi velike gustoće, zahtjevi za skladišnim prostorom su mali.

Pelet je proizvod cilindričnog oblika, sa odlomljenim krajevima, duljine od 5-45 mm i promjera 6-8 mm (za sustave grijanja kućanstava i manjih objekata), odnosno 10-12 mm (za sustave grijanja većih objekata, energetska postrojenja), dok gustoća uobičajeno iznosi više od 650 kg/m³. Udio vlage u peletima iznosi najviše 8%, a udio vezivnih sredstava najviše do 2% (Labudović, 2012). Peleti se proizvode iz različitih vrsta lignoceluloznog materijala, a pepeo koji ostaje nakon sagorijevanja mase najčešće sadrži Ca, Mg i K (izvor), pa je pepeo poželjno vraćati na poljoprivredne površine kao gnojivo. Nedostaci peleta su heterogenost sastava i varijabilnost ogrjevnosti te periodičnost nastanka biomase. Prednost je povećanje mase

po jedinici zapremnine, odnosno veća gustoća što smanjuje troškove manipulacije i transporta te je veća efikasnost u procesu izgaranja.

Peletiranje je trenutno ekonomsko i energetska najisplativiji način pretvorbe biomase u energiju, i zbog toga je danas najbrže rastući obnovljivi izvor energije. Peleti zbog velike gustoće imaju najveću donju ogrjevnu vrijednost u usporedbi s ostalom otpadnom šumskom biomasom (tablica 8). Energija koja se utroši za proizvodnju peleta iznosi 1,5-2% energije sadržane u peletima te 7 do 10% ako se u obzir uzme utrošak energije za sušenje sirovine, a proizvodnja 1 tone peleta s energetska vrijednošću od 5 000 kWh jednaka je energiji 500 L loživog ulja (Krička, 2010).

5.1. Faktori koji utječu na kvalitetu peleta

Kvaliteta peleta ovisi o velikom broju čimbenika i njihovih međudnosa, a u prvom redu o vrsti biomase, sadržaju vlage, veličini čestica, ali i cjelokupnom procesu proizvodnje uključujući proizvodne uvjete, tipu peletirke i vezivu koje se koristi, i svaki od ovih parametara je osjetljiv na promjene sirovine. Možemo reći da kvaliteta peleta ovisi o dva glavna faktora, a to su karakteristike sirovine, direktno povezane s kemijskim sastavom, i o postupcima procesa peletiranja koji utječu na fizička i mehanička svojstva proizvedenih peleta. Odgovarajuća kombinacija ova dva faktora je ključna za dobivanje kvalitetnog energetska proizvoda. Kemijski sastav biomase varira ovisno o vrsti, i unutar iste vrste ovisno o staništu, starosti i dijelu biljne vrste (deblo/stabljika, granje, lišće, korijen). Ugljik, kisik, dušik i vodik su glavne komponente biomase i one određuju ogrjevnu vrijednost biomase kao goriva. C, H i S su gorive tvari a O, N, vlaga i primjese čine negorivi dio biomase. Ugljik je najvažniji gorivi element i porastom koncentracije ugljika u biomasi raste i ogrjevna vrijednost. Vodik je drugi najvažniji sastojak koji oslobađa toplinu i na taj način također povećava ogrjevnu vrijednost goriva. Sumpor nije poželjan u gorivoj tvari, kao ni kisik jer na sebe veže ugljik i vodik te smanjuje ogrjevnu vrijednost goriva. Dušik također smanjuje vrijednost goriva jer ne razvija toplinu i ne sudjeluje u procesu izgaranja. Lignin, celuloza i hemiceluloza su sastavni dio biomase i o njihovi udjelima ovisi gubitak mase tokom isplinjavanja jer se raspadaju pri različitim temperaturama. Sumpor, klor i kalij mogu uzrokovati probleme tijekom procesa sagorijevanja, kao na primjer formacije šljake u pećima i bojlerima. Visoka koncentracija kalija povećava količinu aerosoli koja se formira tijekom sagorijevanja, što može prouzročiti oštećenja u

bojlerima i onečišćenje emisijom sitnih čestica. (Labudović, 2012; Garcia-Maraver i Carpio, 2015; Krajnc, 2015)

Ogrjevna vrijednost predstavlja toplinu oslobođenu pri izgaranju goriva s kisikom pod standardnim uvjetima i temeljna je veličina za proračun energije iz određenog materijala. Ovisi o vrsti i kemijskom sastavu biomase. Razlikujemo gornju i donju ogrjevnju vrijednost. Gornja ogrjevna vrijednost (H_g) predstavlja toplinu koja nastaje pri potpunom izgaranju goriva, nakon čega se dodatno iskorištava toplina kondenzacije vodene pare iz dimnih plinova. To je najveća moguća energija koja se može dobiti izgaranjem nekog goriva. Donja ogrjevna (H_d) vrijednost je toplina koja nastaje pri potpunom izgaranju goriva bez dodatnog iskorištavanja topline kondenzacije vodene pare. Za opisivanje efikasnosti sustava u obzir se uzima donja ogrjevna vrijednost jer uzima u obzir gubitke, realna je, pa se gornja ogrjevna vrijednost koristi samo teorijski. Energetska vrijednost biomase se izražava po jedinici mase, odnosno MJ/kg. (Lavudović, 2012)

Sadržaj vlage ima ključnu ulogu u procesu peletiranja, i jedan je od važnijih faktora koji utječu na kvalitetu peleta. Udio vlage u biomasi predstavlja omjer udjela mase vode i mase suhe tvari. Vrlo je bitan čimbenik s obzirom da utječe na ogrjevnju vrijednost biomase, odnosno učinkovitost izgaranja se povećava sa smanjenjem udjela vlage i obratno. Više o sadržaju vlage ćemo pisati u idućem podpoglavlju.

Sadržaj pepela – kvantiteta i kvaliteta pepela proizvedenog prilikom izgaranja biomase je određena kemijskim sastavom biomase i tehnologijom izgaranja, uključujući karakteristike peći, temperature procesa i sustav za ekstrakciju pepela. Sadržaj pepela utječe na kvalitetu goriva, i što je više pepela, odnosno nesagorivih mineralnih čestica, gorivo je lošije. Stvaranje pepela može biti ograničavajući faktor u proizvodnji energije. Količina pepela utječe na troškove proizvodnje s obzirom da povećanjem količine pepela proporcionalno pada energetska vrijednost goriva. Biomasa sa manje od 1% pepela najčešće ima toplinsku vrijednost od 20 MJ/kg. Sa svakim povećanjem sadržaja pepela za 1%, toplinska vrijednost se smanjuje za otprilike 0,2 MJ/kg (Milas, 2009 prema Jenkins, 1989). Uz navedene elemente, za kakvoću goriva bitan je i sadržaj koksa, hlapivih tvari, fiksiranog ugljik. Anorganske tvari u biomasi kao što su alkalni oksidi i soli mogu izazvati taloženje i koroziju u kotlovima i ostalim dijelovima sustava za izgaranje te veći sadržaj pepela utječe na smanjenje ogrjevnje vrijednosti (Milas, 2009; Garcia-Maraver i Carpio, 2015).

Mehaničke i fizikalne karakteristike peleta su povezane s proizvodnim procesom, pa promjene u procesu peletiranja mogu utjecati na sljedeće parametre:

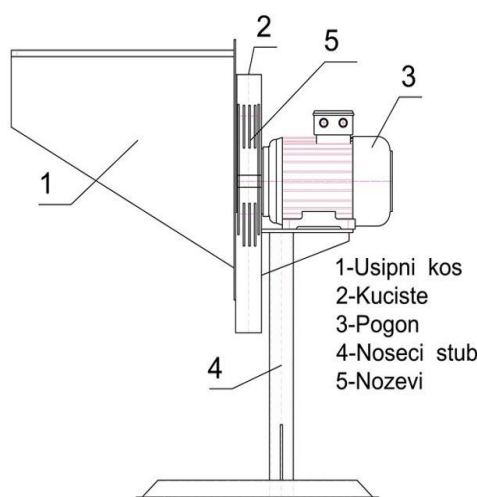
- trajnost – mehanička trajnost ili otpornost na abraziju je parametar koji se može definirati kao sposobnost krutih goriva da ostanu netaknuti nakon rukovanja, skladištenja i transporta, a mjeri se prema sadržaju prašine koja ostaje nakon rukovanja.
- čvrstoća – odnosi se na količinu peleta bez prašine, dok abrazija predstavlja količinu prašine koja ostaje nakon podvrgavanja peleta mehaničkim silama, stoga je poželjna manja abrazija i veća čvrstoća peleta. Pelete s većim postotkom abrazije pri izgaranju stvaraju više prašine, što je važno iz ekološkog aspekta.
- nasipna gustoća - parametar koji se koristi kod hrpa drvnih goriva i odnosi se na šupljine među naslaganim dijelovima koje mogu biti veće ili manje, ovisno o obliku i veličini peleta (ili ostalih drvnih goriva). Nasipna gustoća je važan parametar kojim se mogu reducirati troškovi transporta i skladištenja. Prema nasipnoj gustoći peleti su daleko ispred ogrjevnog drva, sječke, kore i piljevine što ih čini pogodnijim i ekonomičnijim za rukovanje, transport i skladištenje. Nasipna gustoća peleta je oko 600 kg/m^3 , piljevine 170, a ogrjevnog drva 460 kg/m^3 (bukva).
- veličina peleta – dužina i promjer peleta ima vrlo važan utjecaj na fizikalne karakteristike. Krajevi peleta su razlomljeni i svako upijanje vlage kreće upravo od krajeva peleta, što utječe na trajnost .
- gustoća čestica – predstavlja omjer mase i volumena, uključujući i volumen pora. Na gustoću utječe veličina čestica, tlačna čvrstoća te sadržaj proteina i vlage. Gustoća utječe na nasipnu gustoću i svojstva izgaranja (toplinsku vodljivost, vrijeme izgaranja i stopu otplinjavanja). (McKendry, 2002; Brlek, 2013; Garcia-Maraver i Carpio, 2015; Krajnc, 2015)

5.2. Tehnologija prešanja i dobivanja peleta

Prešanjem peleta dobiva se masa manjeg volumena i veće gustoće što smanjuje troškove transporta i skladištenja, i stvara se proizvod veće energetske vrijednosti i učinkovitosti. Peletirke su strojevi koji prethodno usitnjeni materijal, u obliku smjese ili kao pojedinačnu sirovinu, procesom prešanja predvode do čvrstog oblika. Na kvalitetu peleta utječe kombinacija različitih čimbenika - kemijski sastav biomase, sadržaj vlage, veličina i oblik čestice te cjelokupni proces proizvodnje. Proces proizvodnje peleta prema Brlek (2013) uključuje nekoliko koraka:

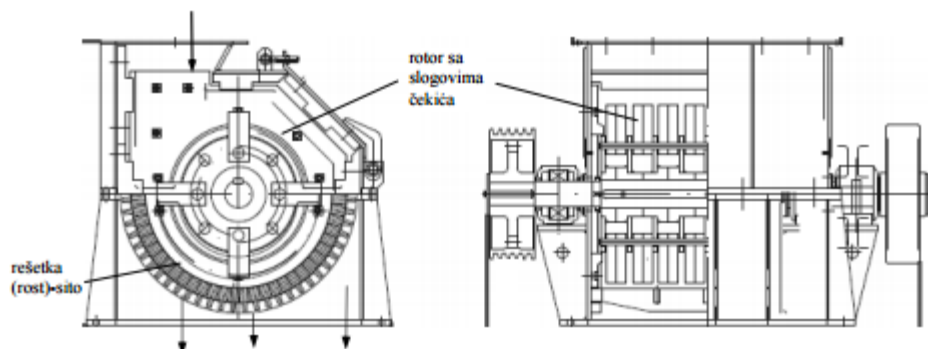
- pripremu materijala - ovisno o karakteristikama materijala, proces peletiranja može uključivati i pripremu sirovine (mljevenje, dodatak veziva, kondicioniranje).
- peletiranje - istiskivanje sirovine kroz matricu peletirke.
- hlađenje - nakon peletiranja pelete se moraju ohladiti kako bi postigle ravnotežnu temperaturu i vlagu.

Mljevenje je vrlo važan proces o kojem u konačnici ovisi proces formiranja, kao i svojstva proizvedenih peleta. Mljevenje je postupak usitnjavanja biomase na čestice manje od 5 mm. Finije mljevene čestice su povoljnije zbog manje abrazije peleta i boljeg povezivanja mase, veće tvrdoće, gustoće, boljeg usvajanja vode i lakšeg zagrijavanja (Brlek, 2013). Krupnije čestice dovode do pojave tzv. „slabe točke“ u peleti što uzrokuje lomljenje (Nalladurai Kaliyan i Vance Morey, 2009), a presitno mljevenje povećava troškove proizvodnje. Stoga je potrebno pronaći optimalnu veličinu mljevenja kako bi se zadovoljila kvaliteta i ekonomičnost proizvodnje. Za mljevenje biomase najčešće se koriste mlin za fino mljevenje i mlin čekićar koji je pogodan za usitnjavanje raznovrsnih materijala. Mlin čekićar je najčešće korišteni mlin u poljoprivrednoj proizvodnji, a radi na principu udarne sile, razbijanja čekićem i međusobnim sudaranjem i trenjem (slika 3 i 4), a odlikuje ga veliki kapacitet mljevenja. Negativna strana mlina čekićara je ta što je ovaj mlin najveći potrošač energije. Mlin za fino mljevenje se sastoji od brojnih noževa postavljenih u bubanj, i sirovina se centrifugalno potiskuje kroz rešetkasti prsten.



Slika 3 Radna tijela mlina čekićara

Izvor: <http://www.pomak.rs/proizvodni-program/mlinovi>



Slika 4 Mlin čekićar sa presjekom drobilišne komore i zone drobljenja

Izvor: (I. Šišić, N. Alić, F. Suljić, 2010)

Vezivo koje se dodaje peletima u svrhu postizanja kompaktnosti je vrlo važan čimbenik u proizvodnji s obzirom da utječe na kvalitetu peleta. Peletiranje poljoprivredne biomase je otežan proces upravo zbog slabijih vezivnih svojstava i voluminoznosti mase. Vezivo može biti u obliku praška ili tekućine, koje povezuju čestice ili uzrokuju kemijske reakcije koje pospješuju vezivanje čestica (Nalladurai Kaliyan i Vance Morey, 2009). Lignin djeluje kao prirodno vezivo jer termički omekšan djeluje na povezivanje strukture peletirane biomase. Dodatak pare također djeluje na povezivanje mase. Dodatkom veziva se poboljšavaju energetske i uporabne značajke gotovog proizvoda (Labudović, 2012), odnosno povećava se gustoća i čvrstoća, a smanjuje abrazija peleta, što se pak odražava na izgaranje i na konačan proizvod - količinu energije. Dodatak veziva ovisi o fizikalnim karakteristikama biomase i stupnju vlažnosti.

Kondicioniranje predstavlja proces pripreme sirovine gdje se ona dovodi u fizikalno stanje koje olakšava njezino zbijanje, odnosno kompresiju sirovine u pelete. Izvodi se laganim dodavanjem pare pri čemu se čestice biomase pokrivaju tankim slojem tekućine kako bi se postigla što bolja adhezija. Pravilnim kondicioniranjem se poboljšava kvaliteta peleta odnosno povećava se čvrstoća ili smanjuje abrazija. Kondicioniranje mase utječe na vlagu koja je glavni pokretač procesa koji utječu na kvalitetu peleta, a veća vlaga utječe na manju potrošnju energije tijekom peletiranja, smanjuje gustoću peleta i povećava čvrstoću (Brlek, 2013).

Peletiranje je termoplastični proces usitnjavanja sirovine koja se uslijed djelovanja tlaka i temperature povezuje i uz pomoć valjka istiskuje kroz matricu peletirke. Krajnji proizvod su pelete cilindričnog oblika i različitog promjera, ovisno o otvorima na matrici. Peletiranje je ključni proces u proizvodnji peleta kojim se nastoji postići što veća gustoća peleta, odnosno što veća ogrjevna vrijednost proizvoda. Postoje više mehanizama povezivanja čestica tijekom

peletiranja (interakcije, djelovanje kapilarnih sila, korištenjem jako viskoznih materijala tj veziva, međusobno preplitanje i omotavanje čestica ili molekulske, elektrostatične i magnetne sile), a način povezivanja ovisi o vrsti materijala i o procesnim parametrima peletiranja (Brlek, 2013). Peletiranje se vrši prešama na osnovi rotirajućih ili vodoravnih matrica s kapacitetima 100 kg/h do 10 t/h.

Hlađenje je vrlo bitan proces nakon peletiranja i završni je korak u proizvodnji. Temperatura peleta se povisuje tijekom zgušćivanja pa se pravilnim smanjenjem temperature i vlage peleta osigurava njihova čvrstoća i omogućuje pravilno skladištenje. Nedovoljno ohlađene pelete sklone su kvarenju što dovodi do pada kvalitete. Pelete izlaze iz peletirke na temperaturama od 60 °C do 95 °C s vlagom od 12 do 17% (Brlek, 2013), a ohlađene pelete izlaze iz hladnjaka s temperaturom nižom za 12-15 °C (Krička, 2010). U slučaju prebrzog hlađenja iz peleta se uklanja veći dio vode i topline što uzrokuje krhki površinski sloj s fizičkim svojstvima koja se razlikuju od onih u unutarnjem dijelu (Brlek, 2013).

Stupanj vlažnosti i sušenje biomase je jedan od najvažnijih čimbenika u proizvodnji. Sva biomasa sadrži određeni postotak vlage i određena količina vode mora ispariti za vrijeme izgaranja, a energija (toplina) potrebna za taj postupak smanjuje neto energetske prinos. Isparavanje vode podrazumijeva potrošnju 2,44 MJ po kilogramu vode (Krajnc, 2015). Kod biomase kao goriva razlikujemo dvije vrste vlažnosti: unutrašnja vlaga (bez utjecaja klime i oborina) i vanjska vlaga (utjecaj vremenskih uvjeta tijekom žetve na cjelokupnu vlažnost biomase). U praktičnim uvjetima u obzir se uzima vanjska vlaga dok je unutarnja primjenjiva u laboratorijskim uvjetima (McKendry, 2002). Najveći razlog zašto se materijal prije peletiranja suši je činjenica da se ogrjevna vrijednost biomase povećava za 50% ukoliko se udio vode u materijalu smanji sušenjem s 50% na 10% (Krička, 2010). Tijekom sušenja drveta, smanjenje vlage od 10% povlači povećanje količine energije za otprilike 0,6 kWh/kg ili 2,16 MJ/kg (Krajnc, 2015). Iz tog razloga bi sadržaj vlage trebao biti konstantan pri procesu izgaranja, a ako odstupa potrebna su složenija i skuplja ložišta. Također, masa sa većim sadržajem vlage predstavlja problem prilikom skladištenja jer dolazi do gubitka suhe mase i ubrzanog stvaranja gljivica zbog biološkog raspadanja. Udio vlage u biomasi namijenjenoj za korištenje u sustavima grijanja kućanstva ne smije prelaziti 25%. Ako je postotak vode viši, temperatura pada ispod idealnog raspona, što dovodi do stvaranja veće količine dima, većih emisija i oštećenja dimnjaka (Krajnc, 2015). Također, sadržaj vlage ne smije biti nizak s obzirom da vlaga olakšava prijenos topline i trenja što je važno u procesu zbijanja i prešanja. Ukoliko je sadržaj vlage prenizak, trenje između sirovine i matrice će biti visoko, što rezultira povećanjem

potrošnje energije i začepljenjem rupa na matrici (Garcia-Maraver, Perez-Jimenez, 2015). Stupanj vlažnosti je bitan i za termičko omekšavanje i vezivanje individualnih čestica u pelete. Sušenje biomase se može obavljati na otvorenom, u skladištu ili kontinuirano sušenje u tračnim sušarama, sušarama s bubnjem, cijevne sušare ili sušare s pregrijanom parom. Za proces peletiranja je najpovoljnija smjesa koja sadrži 15-18% vlage (Krička, 2010). Također, prema istom autoru, zbog bolje ekonomičnosti proizvodnje bolje je sušiti sirovinu prije samog peletiranja nego naknadno. Dodana vlaga u obliku pare utječe na bolje vezivanje smjese zbog aktivacije vezivnih elemenata i podmazivanje smjese te smanjuje utrošak energije prilikom peletiranja.

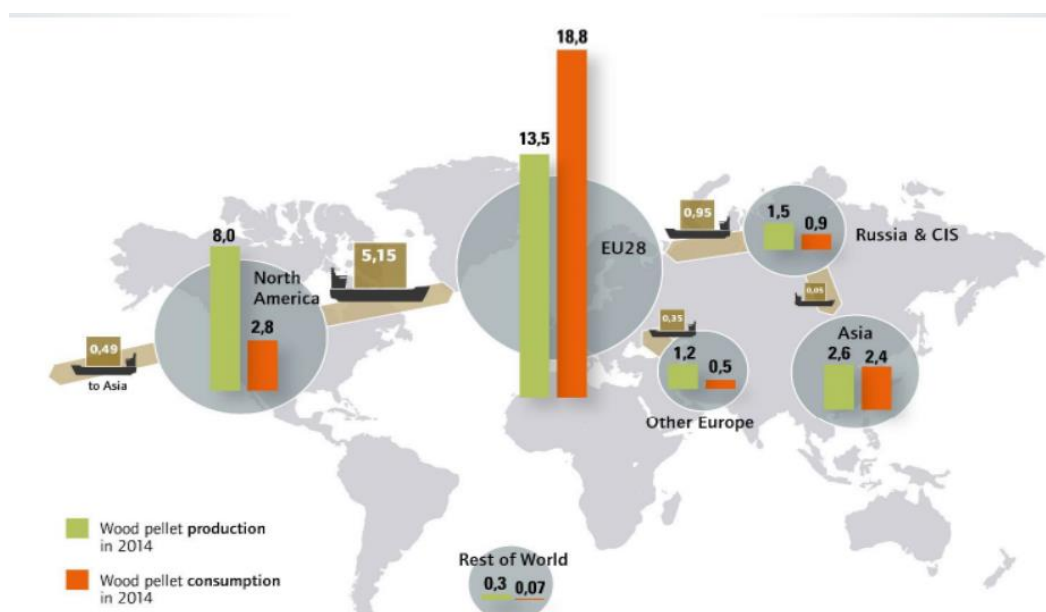
U prethodnom tekstu su ukratko objašnjeni važniji procesi proizvodnje peleta. Možemo zaključiti da je cjelokupni proces zahtijevan i svaki postupak ovisi o velikom broju čimbenika među kojima su najvažniji sastav sirovine, stupanj vlažnosti, dodatak veziva i procesni čimbenici (temperatura, tlak, matrica i sl.) koji pak utječu na fizičke karakteristike (gustoća, čvrstoća, abrazija) i konačno, utjecaj na kvalitetu peleta, proces izgaranja i količinu dobivene energije. Trajnost peleta ovisi o veličini čestica u smjesi, kondicioniranju, homogenosti smjese, obliku i kvaliteti matrice, o hlađenju peleta i dr.

Analizom gorivih svojstava najčešće se određuju udjeli suhe tvari i udio pepela, udio ukupnog i fiksiranog ugljika, udio dušika, vodika, sumpora i klora, udio gorivih i hlapivih tvari te gornja i donja energetska vrijednost. Ogrjevna vrijednost peleta nasipne gustoće 650 kg/m³ iznosi 4,9–5,4 kWh/kg, a energija koja se dobije izgaranjem 2 kg peleta je ekvivalentna 1L loživog ulja (Labudović, 2012).

Postoje različite kombinacije i dizajni proizvodnje topline putem izgaranja peleta: kotao na drvene pelete u kombinaciji s kotlom na prirodni plin, peći na pelete, peći na pelete sa dodatnim kotlom za centralno grijanje, peći na peleta u kombinaciji sa solarnim grijanjem za grijanje vode i prostora te dr. izvedbe. Kotlovi na pelete omogućuju kontinuirano automatsko izgaranje pa je udobnost primjene peleta prednost naspram uporabe drugih krutih goriva u proizvodnji topline. Kotao na pelete se sastoji od prostora za skladištenje peleta, spremnika peleta, ložišta, kotla, izlaz i spremnik za pepeo, sustavi za kontroliranje dotoka goriva i zraka te sustavi za izlaz dimnih plinova i dimnjak (Perez-Jimenez, 2015).

5.3. Proizvodnja peleta u Europskoj uniji i Hrvatskoj

Europska unija je najveći proizvođač i potrošač peleta u svijetu s godišnjom proizvodnjom od 13,5 milijuna tona i potrošnjom od 18,8 milijuna tona (slika 5), što čini 50 % svjetske proizvodnje i oko 74% svjetske potrošnje. Najveći europski proizvođači su Njemačka (2.1 mil.t), Švedska (1.6 mil.t), Latvija (1.3 mil.t), Francuska (1.0 mil.t) i Portugal (1.0 mil.t) (AEBIOM, 2015), a najveći potrošači Ujedinjeno Kraljevstvo, Italija, Danska, Švedska, Belgija, Francuska i Austrija (grafikon 15).

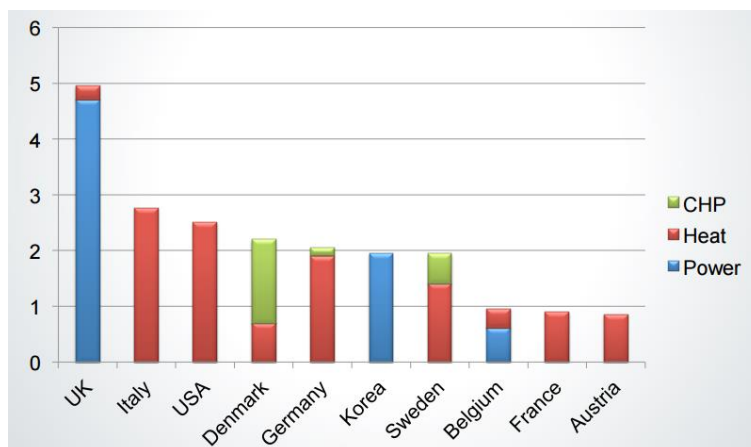


Slika 5 Pregled svjetskog tržišta peleta u 2014. (u milijunima tona)

(Production and Consumption of Wood Pelets in the European Union, 2015)

Ujedinjeno Kraljevstvo je najveći europski potrošač drvnih peleta i koristi 48% (4.7 mil.t) od ukupne svjetske potrošnje drvnih peleta za proizvodnju električne energije. Italija je drugi najveći svjetski potrošač peleta i sva proizvodnja se koristi za dobivanje toplinske energije. Slijedi Danska sa 15% (1.5 mil.t), i najvećim udjelom proizvodnje u kogeneracijskom sustavu (Production and Consumption of Wood Pelets in the European Union, 2015). Korištenje peleta u svrhu proizvodnje topline je rijetko ovisno o drugim sektorima, kao što je to slučaj u korištenju električne energije. Stoga, proizvodnja peleta za dobivanje toplinske energije predstavlja vrlo jak i pouzdan energetskektor koji konstantno pokazuje ekspanziju, s porastom od 25% od 2011 do 2014. godine i značajno je prešla korištenje peleta u industrijske svrhe (proizvodnja peleta za dobivanje toplinske energije u 2014. je 18.8 mil.tona, a za industrijske svrhe 7.8 mil.tona) (AEBIOM, 2015). Prema istom izvoru, najveća tržišta peleta za proizvodnju toplinske

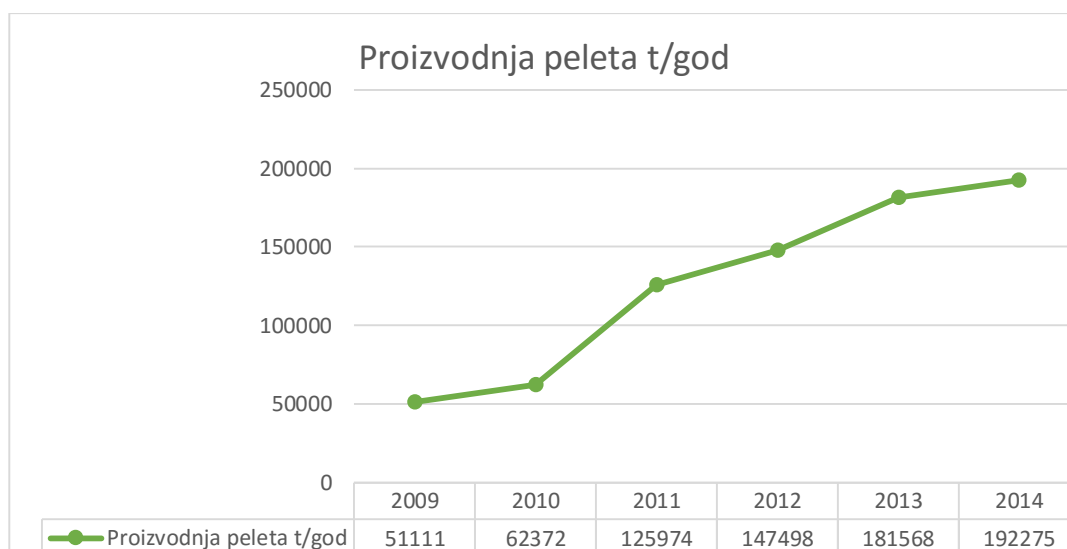
energije su Italija (2.9 mil.tona), Njemačka (2.0 mil.t), Švedska (1.4 mil.t), Francuska (0.9 mil.t) i Austrija (0.8 mil t). Porast od 1% u odnosu 2013. na 2014. godinu pokazuje kako je ovaj sektor ovisan o vremenskim uvjetima, odnosno hladnim ili toplim zimama. Na većim tržištima peleta za potrebe grijanja (toplinske energije) je 2014. došlo do pada potrošnje zbog vrlo blage zime.



Grafikon 15 Najveći potrošači drvnih peleta, i udjeli njihove potrošnje po različitim sektorima: električna energija, proizvodnja topline i primjena u kogeneracijskim sustavima

(Production and Consumption of Wood Pelets in the European Union, 2015)

Tijekom 2013. godine u Hrvatskoj su se drvni peleti proizvodili u 11 pogona, s ukupnim kapacitetom proizvodnje peleta od 279,500 t/god, od čega je proizvedeno 181,568 t (65%). Od ukupne proizvodnje, oko 88% je plasirano na strana tržišta dok je ostalih 12% je iskorišteno na domaćem tržištu (Energija u Hrvatskoj, 2013). U 2014. peleti su se proizvodili u 14 pogona s ukupnim kapacitetom proizvodnje od 350,400 t/godišnje, od čega je iskorišteno oko 55% (192,275 t proizvedenih peleta). Od ukupne proizvedene količine 72% je plasirano na strana tržišta (Energija u Hrvatskoj, 2014). Proizvodnja peleta je u 2014. u odnosu na 2013. porasla za 10,707 t. Na grafikonu 17 prikazana je proizvodnja peleta u RH u razdoblju od 2009-2014. Uvoz drva i biomase u ukupnom udjelu uvozne energije u Hrvatskoj 2009. je iznosio 0,12%, a u 2014. 0,19%. Izvoz drva i biomase u 2009. od ukupne izvozne energije je iznosio 3,2%, a 2014. udio od 11,6%. Ovi podaci nam ukazuju na porast domaće potražnje, i potrošnje, ali i porast potražnje na europskom tržištu peleta. Također, prema instaliranim kapacitetima, očekuje se daljnji rast proizvodnje.



Grafikon 17 Proizvodnja peleta u RH u razdoblju od 2009-2014.

(Energija u Hrvatskoj, 2014)

Unutar EU mnoge zemlje članice su razvile vlastite standarde za kvalitetu, skladištenje, transport i izgaranje krutih goriva. Parametri i smjernice su usredotočeni na gustoću i nasipnu gustoću, sadržaj vlage, tvrdoću ili otpornost na drobljenje, veličinu čestica, dužinu i promjer peleta, kemijski sastav, sadržaj pepela, sadržaj vlage i toplinsku vrijednost. Budući da je praksa trgovanja krutim gorivima između zemalja sve učestalija, javila se i potreba za internacionalnim standardima. Europski odbor za standarde CEN/TC 335 je izradio standarde za kruta biogoriva, uključujući drvenu sječku, pelete, brikete, drvo, piljevinu i bale slame te uključuje posebnu klasifikaciju za pelete u 3 kategorije: drvena biomasa, travnata biomasa i biomasa voćnih vrsta ili kombinacije biomase različitih kategorija. Svaka kategorija uključuje potkategorije, a preporuke se razlikuju ovisno o načinu primjene. Proizvodni standard za ne-drvenastu biomasu uključuje dvije tablice, jednake tablici za drvene pelete koje opisuju klase kvalitete za pelete proizvedene od travnate biomase i pelete proizvedene iz biomase voćnih vrsta ili kombinacija biomase različitih kategorija. Svaka tablica sadržava specifikacije za tri kategorije kvalitete (A1, A2 i B). Glavne razlike u vrijednostima su povezane uz razlike karakteristika materijala, pa tako kategorija travnate i biomase iz voćnih vrsta dopušta veći sadržaj pepela (3-7%), dušika (0.5-2%), sumpora (0.1-0.3%) i klora (0.1-0.4%) (Garcia-Maraver i Carpio, 2015).

Internacionalna organizacija za standarde je izradila ISO/TC 238 za kruta biogoriva, 2007., i za razliku od CEN standarda ISO pokriva akvatičnu biomasu kao sirovinu za goriva.

Europsko udruženje za biomasu (AEBIOM) uvelo je jedinstveni međunarodni standard za utvrđivanje kvalitete peleta, tzv. ENplus certifikat, izrađen prema međunarodnom europskom

sustavu certificiranja. ENplus certifikatom se potvrđuje visoka sigurnost kvalitete, praćena u svim koracima proizvodnje, od sirovine pa do potrošača, pa certifikat osim kvalitete garantira i kriterij održivosti te sigurnost opskrbe koje su ključne za budući razvoj tržišta peleta. Kao i kod CEN standarda utvrđene su tri kategorije kvalitete (ENplus-A1, ENplus-A2, EN-B) s jednom razlikom: kod ENplus certifikata korištenje kemijski tretiranog materijala nije dozvoljeno ni u jednoj od kategorija. Peleti sa oznakom ENplus certifikata A1 kategorije imaju sljedeće značajke: sadržaj pepela < 7 %, sadržaj vode < 10 %, mehanička izdržljivost > 97.5 % i nasipna gustoća > 600 kg/m³.

5. MATERIJALI I METODE RADA

Energetski potencijal posliježetvene i orezane biomase izračunat je na osnovi literaturnih podataka o količinama raspoložive biomase, ukupnih površina i prinosa. Podaci o ukupnim površinama i prinosima su preuzeti od Statističkog ljetopisa Republike Hrvatske iz 2015. godine, prema podacima za 2014. godinu. Količina energije je prikazana donjom ogrjevnom vrijednošću (H_d) za pojedinu kulturu, a energetski potencijal je izražen u TJ (terajoule – 10^{12} joula) i PJ (peta joule – 10^{15} joula).

Ratarske kulture koje smo uzeli u obzir pri izračunavanju energetskog potencijala su najrasprostranjenije kulture: kukuruz, pšenica, soja, ječam, suncokret i uljana repica. Kod energetskog potencijala ratarske biomase izračunate su ukupne količine žetvenog ostatka i uzeta je u obzir biomasa koju je potrebno vraćati u tlo radi održavanja plodnosti. Da bi dobili što bolji uvid u energetski potencijal, pri izračunavanju ratarske biomase smo uzeli u obzir 2 scenarija:

S 1 - energetski potencijal žetvenog ostatka umanjen za 30% (rb_{30}),

S 2 - energetski potencijal žetvenog ostatka umanjen za 50% (rb_{50})

Izračun energetskog potencijala ratarske biomase je izveden prema sljedećoj formuli:

$$E_{pr} = P_{RH} \cdot rb \cdot H_d$$

E_{pr} - energetski potencijal ratarske biomase [MJ]

P_{RH} - ukupne obradive površine za pojedinu kulturu [ha]

rb - raspoloživa biomasa [t/ha]

rb_{30} - biomasa raspoloživa za energetske potrebe, na osnovi scenarija 1

$$rb_{30} = zo \cdot 0.7$$

rb_{50} - biomasa raspoloživa za energetske potrebe, na osnovi scenarija 2

$$rb_{50} = zo \cdot 0.5$$

zo - ukupni žetveni ostatak [t/ha] dobiven množenjem prinosa i žetvenog omjera

H_d - donja ogrjevna vrijednost [MJ/t]

Za izračunavanje energetskog potencijala orezane biomase, u obzir su uzete najznačajnije voćarske vrste trajnih nasada (jabuke, šljive, kruške, breskve i nektarine, mandarinke, naranče, višnje, trešnje, marelice, smokve, orah i lješnjak) te orezana biomasa vinograda i maslinika. Energetski potencijal je izračunat na osnovi literaturnih podataka o ukupnim količinama biomase (kg/ha), donjoj ogrjevnoj vrijednosti te podataka o ukupnim površinama za pojedinu kulturu u 2014. godini.

Izračun energetskog potencijala orezane biomase je izveden prema sljedećoj formuli:

$$E_{po} = P_{RH} \cdot ro \cdot dov$$

E_{po} - energetski potencijal orezane biomase [MJ]

P_{RH} - ukupne površine u Hrvatskoj za pojedinu kulturu [ha]

ro – ostatak nakon rezidbe [t/ha]

H_d - donja ogrjevna [MJ/t]

6. REZULTATI I RASPRAVA

U tablici 6 prikazan je ukupni ostatak biomase (t) te ukupni žetveni ostatak prema scenarijima 1 i 2, izračunati na temelju literaturnih podataka o ukupnim površinama, prinosu i žetvenom omjeru. Prikazane su i donje ogrjevne vrijednosti (MJ/kg) za pojedinu kulturu.

Tablica 6 Površine i prinosi, žetveni omjer, ukupni ostatak biomase i donje ogrjevne vrijednosti najvažnijih ratarskih kultura u 2014. godini

Kultura	Površine (ha)*	Prinos (t/ha)*	Žetveni omjer**	Donja ogrjevna vrijednost (MJ/kg)**	Ukupni žetveni ostatak (t)
Pšenica	156,139	4.2	1:1	14	655,783.8
Kukuruz	252,567	8.1	1:1	13.5	2,045,792.7
Ječam	46,160	3.8	1:1	14.2	175,408.0
Soja	47,104	2.8	1:2	15.7	263,782.4
Suncokret	34,869	2.9	1:2	14.5	202,240.2
Uljana repica***	23,122	3.1	1:2	17.4	143,356.4
UKUPNO	559,961				3,486,363.5

* (Statistički ljetopis Republike Hrvatske, 2015);

** (Ivanović i Glavaš, 2013)

*** nije uključena proizvodnja za biodizel

U tablici 7 prikazani su konačni rezultati energetske vrijednosti za pojedinu kulturu, i ukupni energetski potencijal važnijih ratarskih kultura u Hrvatskoj.

Tablica 7 Ukupni energetski potencijal odabranih ratarskih kultura u 2014. godini

Kultura	<i>P_{RH}</i> ha	<i>z₀</i> t/ha	<i>H_d</i> MJ/t	<i>rb₃₀</i> t/ha	<i>rb₅₀</i> t/ha	<i>epr₃₀</i> TJ	<i>epr₅₀</i> TJ
Pšenica	156,139	4.2	14,000	2.94	2.10	6,426.68	4,590.49
Kukuruz	252,567	8.1	13,500	5.67	4.05	19,332.74	13,809.10
Ječam	46,160	3.8	14,200	2.66	1.90	1,743.56	1,245.40
Soja	47,104	5.6	15,700	3.92	2.8	2,898.97	2,070.69

Suncokret	34,869	5.8	14,500	4.06	2.9	2,052.74	1,466.24
Uljana repica	23,122	6.2	17,400	4.34	3.1	1,746.08	1,247.20
UKUPNO						34,200.77	24,429.12

*H_d se odnosi na pšeničnu i ječmenu slamu, slamu od soje i slamu od uljane repice, stabljiku suncokreta te kukuruzovinu

Proizvodnja najrasprostranjenijih ratarskih kultura u 2014. godini je zauzimala 559,961 ha, što je činilo 37.1% od ukupne poljoprivredne proizvodnje. Ukupni žetveni ostatak u 2014. je bio 3,486,363.5 tona. Prema scenariju 1, ukupno raspoloživa biomasa za energetske potrebe je 2,440,454.45, a od toga ukupna izračunata energetska vrijednost iznosi 34.2 PJ. U scenariju 2 ukupni ostatak biomase je 1,743,181.75, s ukupnom energetsom vrijednošću od 24.4 PJ. Najveći energetski potencijal ima kukuruzovina s potencijalom od 19.3 PJ/godišnje pri zaoravanju 30% od ukupnog žetvenog ostatka, zatim pšenica sa 6.4 PJ te soja s 2.89 PJ.

U tablici 8 prikazan je ukupni ostatak biomase koja ostaje nakon orezivanja važnijih voćnih vrsta te vinograda i maslinika. Prikazane su i donje ogrjevne vrijednosti (MJ/kg) za pojedinu kulturu.

Tablica 8 Ukupni ostatak biomase s obzirom na ukupne površine i broj stabala pojedine kulture

Kultura	Površine (ha) *	Ukupna biomasa (t/ha) **	Ukupni ostatak orezane biomase (t)	Donja ogrjevna vrijednost (MJ/kg) **
Jabuka	5,944	5.557	33,030.81	17.06
Šljiva	4,848	2.055	9,962.64	17.12
Vinova loza	26,000	4.255	110,632.34	17.05
Maslina	19,082	2.524	48,167.54	16.91
Orah	4,364	0.539	2,350.06	16.31
Višnja	2,762	2.169	5,992.10	17.13
Lješnjak	2,888	1.848	5,337.89	17.47
Breskve i nektarine	1,231	2.870	3,533.35	17.73
Kruške	1,043	5.819	6,068.96	16.76

Trešnje	790	1.988	1,570.76	16.76
Marelice	302	1.621	489.60	17.19
Smokve	277	1.282	355.22	15.60
Naranče***	31	3.434	106.45	17.40
Mandarinke***	2,150	2.9	6,235.00	17.40

*Statistički ljetopis Republike Hrvatske (2015)

** Bilandzija i sur. (2012);

***Velazquez-Marti i sur. (2013)

Konačni rezultati izračuna energetske vrijednosti orezane biomase u Hrvatskoj su prikazani u tablici 9.

Tablica 9 Ukupni energetski potencijal orezane biomase u 2014.

Kultura	<i>P_{RH}</i> ha	<i>ro</i> t/ha	<i>dov</i> MJ/t	<i>epo</i> TJ
Jabuka	5,944	5.557	17,060	563.51
Šljiva	4,848	2.055	17,120	170.56
Vinova loza	26,000	4.255	17,050	1,886.24
Maslina	19,082	2.524	16,910	814.44
Orah	4,364	0.539	16,310	38.36
Višnja	2,762	2.169	17,130	102.62
Lješnjak	2,888	1.848	17,470	93.24
Breskve i nektarine	1,231	2.870	17,730	62.64
Kruške	1,043	5.819	16,760	101.72
Trešnje	790	1.988	16,760	26.32
Marelice	302	1.621	17,190	8.41
Smokve	277	1.282	15,600	5.54
Naranče	31	3.434	17,400	1.85
Mandarinke	2,150	2.9	17,400	108.49
UKUPNO				3,983.94

Vinogradi, maslinici i voćnjaci su u 2014. zauzimali ukupno 71,712 ha, od čega je ukupni ostatak orezane biomase, raspoložive za energetske potrebe, iznosio 233,832.72 tone. Ukupno izračunati energetski potencijal tog ostatka je iznosio 3.98 PJ. Najviše biomase nakon rezidbe ostaje kod jabuke i kruške, a najveću donju ogrjevnu vrijednost imaju ostaci breskvi i nektarina. Obzirom da je vinova loza daleko najzastupljenija vrsta, ima i daleko najveći energetski potencijal, koji je u 2014. iznosio 1.88 PJ. Nakon vinove loze najveći potencijal ima maslina s 0,81 PJ.

Prema Bilandzija i sur. (2012) ukupni energetski potencijal orezane biomase prema podacima o ukupnim površinama iz 2010. godine, i bez podataka za mandarinke i naranče, je iznosio 4,217.05 TJ. Proizvodnja grožđa, jabuka, šljiva, marelica, smokvi breskvi i nektarina je smanjena u 2014. u odnosu na 2010. godinu, dok je porast u proizvodnji primijećen kod uzgoja oraha, lješnjaka i badema te mandarinki i maslina.

Ukupni potencijal poljoprivredne biomase dobivene žetvom važnijih ratarskih i rezidbom važnijih voćnih kultura te maslina i vinove loze je prema podacima iz 2014. godine iznosio 38.18 PJ (tablica 10). Ratarstvo zauzima 88.6% od ukupnih površina uračunate biomase te 89.5% od ukupnog energetskog potencijala. Ukupna proizvodnja primarne energije u 2014. godini, prema podacima godišnjeg energetskog preglednika Energija u Hrvatskoj, bila je 243.77 PJ, što znači da je poljoprivredna biomasa mogla imati udio od 15.66% od ukupne proizvodnje primarne energije, odnosno za iste postotke se moglo utjecati na smanjenje potrošnje i uvoza fosilnih energenata.

Ukupne količine biomase dostupne za korištenje u energetske svrhe su prema izračunima iznosile 2,674,287.17 tona u scenariju 1, odnosno 1,977,014.47 t kod scenarija 2 (tablica 10). Ukupno instalirani kapaciteti za proizvodnju peleta u 2014. godini su iznosili 350,400 t/godišnje, od čega je iskorišteno svega 55%. Prema tome, ukupno izračunata biomasa, prema scenariju 1 je veća za 7.6 puta, odnosno za 5.6 (scenarij 2) od ukupno instaliranih kapaciteta za proizvodnju peleta u Hrvatskoj.

Tablica 10 Energetska vrijednost (TJ) i ukupni ostatak biomase posliježetvenih ostataka najvažnijih ratarskih kultura, i rezidbenih ostataka najznačajnijih voćnih vrsta, masline i vinove loze u Hrvatskoj 2014. godine

Poljoprivredna biomasa	Ukupni ostatak biomase (t)	Energetska vrijednost (TJ)
POSILIJEŽETVENI OSTACI	3,486,363.5	
Scenarij 1	2,440,454.45	34,200.77
Scenarij 2	1,743,181.75	24,429.12
REZIDBENI OSTACI	233,832.72	3,983.94
VOĆARSTVO	75,032.84	1,283.26
VINOGRADARSTVO	110,632.34	1,886.24
MASLINARSTVO	48,167.54	814.44
UKUPNO Scenarij 1	2,674,287.17	38,184.71
UKUPNO Scenarij 2	1,977,014.47	28,413.06

Prema pregledu literature, Hrvatska je ispunila svoje privremene ciljeve o povećanju udjela obnovljivih izvora energije do 2020. godine u sektorima grijanja i hlađenja, i u sektoru proizvodnje električne energije. Značajniji rast obnovljivih izvora energije je primjetan od 2011. godine, praćen smanjenjem uvoza i potrošnje sirove nafte i prirodnog plina. U 2015. je ukupno 1,207 instaliranih elektrana na obnovljive izvore energije bilo u pogonu, s najvećim udjelom vjetroelektrana u proizvodnji energije, zatim elektrana na bioplin i elektrana na biomasu. U proizvodnji električne energije, najveći udio u proizvodnji ostvaruju velike hidroelektrane, vjetroelektrane, biomasa, male hidroelektrane i solarne elektrane. U proizvodnji toplinske energije biomasa je najvažniji izvor goriva, i u 2014. je energija biomase iznosila 45.68 PJ, a u sveukupnoj proizvodnji primarne energije 57.67 PJ. Najveća proizvodnja je ostvarena iz ogrjevnog drva, drvne sječke, a potom peleta, koji su se u 2014. proizvodili u 14 pogona s ukupnim kapacitetom proizvodnje 350,400 t godišnje (Energija u Hrvatskoj, 2014). Peletiranje je trenutno ekonomsko i energetska najisplativiji način pretvorbe biomase u energiju, i zbog toga je danas najbrže rastući obnovljivi izvor energije. Europska unija zauzima 74% svjetske potrošnje peleta, i 50% ukupne proizvodnje, s najvećim udjelom u proizvodnji

toplinske energije. Hrvatska od 2010. godine doživljava ekspanziju rasta u proizvodnji peleta, utjecajem potražnje na europskom i domaćem tržištu, i uvidom u stanje i kretanje proizvodnje u Europskoj uniji, daljnji rast se očekuje i u narednim godinama.

7. ZAKLJUČAK

Uključivanje poljoprivrednih organskih ostataka u proces oporabe od velikog je značenja, ne samo iz aspekta korištenja u proizvodnji obnovljivih izvora energije, već i iz aspekta njihovog zbrinjavanja i održivog načina gospodarenja. Korištenjem žetvenih i rezidbenih ostataka u procesu proizvodnje energije značajno bi se utjecalo na povećanje udjela obnovljivih izvora energije, smanjenje uvoza i korištenja fosilnih izvora, razvoj ruralnih krajeva, razvoj poljoprivrede i suvremenizacija poljoprivrednih gospodarstava uz ekonomske dobiti od proizvodnje peleta i energije.

Prema prikazanim rezultatima, u Hrvatskoj svake godine ostaju velike količine poljoprivredne biomase, i taj iznos je u 2014. bio za 5.6 – 7.6 puta veći od ukupno instaliranih kapaciteta za proizvodnju peleta. Peletiranje predstavlja najučinkovitiji način korištenja biomase u proizvodnji toplinske, električne i rashladne energije, a tržište peleta Europske unije raste, što otvara velike mogućnosti za konkurentnost Hrvatske na globalnom tržištu peleta. Također, energetske potencijal dobivene biomase je velik, i proizvodnja peleta od iste bi donijela brojne benefite za Hrvatsku. Od ukupnog ostatka posliježetvene i rezidbene biomase, izračunati energetske potencijal je 38.18 PJ u scenariju 1, odnosno 28.41 PJ u scenariju 2, što ukazuje na značajan potencijal iz poljoprivredne biomase.

Potrebna su daljnja istraživanja o mogućnostima korištenja poljoprivredne biomase u Hrvatskoj na što učinkovitiji način, uz razvoj nacionalne strategije za korištenje peleta od poljoprivrednih ostataka, suradnju poljoprivrednih proizvođača i poticanja od strane države. Korištenje poljoprivredne biomase u energetske svrhe ne smije biti primarna proizvodnja, odnosno ne smiju se zanemarivati žetveni ostaci tj. organska tvar koju je potrebno vraćati u tlo.

8. LITERATURA

1. AEBIOM Statistical report - European Bioenergy Outlook. (2015). European Biomass Association
<<http://www.aebiom.org/wp-content/uploads/2016/02/AEBIOM-Annual-Report-2015.pdf>> .
2. Bilandija N., Voca N., Kricka; A. Matin; V. Jurisic. (2012). Energy potential of fruit tree pruned biomass in Croatia. Spanish Journal of Agriculture Research 10(2), ISSN: 1695-971-X, pp. 292-298
3. Brlek, T. (2013). Utjecaj čimbenika peletiranja na goriva svojstva komine masline. Zagreb: Agronomski fakultet
4. croenergo.eu
<<http://www.croenergo.eu/U-Hrvatskoj-je-u-pogonu-1207-elektrana-na-OIE-27337.aspx>>. Pristupljeno 13.kolovoza 2016.
5. Čakija A. (2007). Značaj poljoprivrede u korištenju obnovljivih izvora energije. Zbornik radova, II stručni skup s međunarodnim sudjelovanjem: Obnovljivi izvori energije u Republici Hrvatskoj (energija biomase, bioplina i biogoriva). Hrvatska gospodarska komora, Zagreb
6. Energetska efikasnost i analiza potencijala biomase. (2012).
<http://biomasa.undp.org.rs/download/5_UNDP_STUDIJA_GOLUBAC_SRB.pdf>.
7. Energija u Hrvatskoj. (2013). Godišnji energetske pregled. Republika Hrvatska, Ministarstvo gospodarstva
8. Energija u Hrvatskoj. (2014). Godišnji energetske pregled. Republika Hrvatska, Ministarstvo gospodarstva
9. europa.europa.eu. Obnovljiva energija (2015).
<http://www.europa.europa.eu/atyourservice/hr/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.7.4.html>.
10. eurostat (European statistics)
<<http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>>. Pristupljeno 27. Srpnja 2016

11. Europska strategija energetske sigurnosti (2014). Bruxelles: Europska komisija.
[<www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/documents/com/com_com\(2014\)0330_/com_com\(2014\)0330_hr.pdf>.](http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/documents/com/com_com(2014)0330_/com_com(2014)0330_hr.pdf)
12. Federal Energy Management Program, U. D. (2011, April 11). Biomass for Electricity Generation. WBDG a program of the National Institute of Building Sciences:
[<https://www.wbdg.org/resources/biomasselectric.php>.](https://www.wbdg.org/resources/biomasselectric.php)
13. Garcia-Maraver A., Carpio M. (2015). Factors Affecting Pellet Quality. U Garcia-Maraver A., Perez- Jimenez J.A. (2015). Biomass Pelletization: Standards and Production (pp. 21-33). Southampton, Boston: WIT Press
14. Garcia- Maraver A., Perez- Jimenez J.A. (2015). Biomass Pelletization : Standars and Production. Southampton, Boston: WIT Press
15. HROTE (Hrvatski operater tržišta energije). OIE i kogeneracija - Izvještaji:
[<http://www.hrote.hr/default.aspx?id=354>.](http://www.hrote.hr/default.aspx?id=354)
 HROTE (Hrvatski operater tržišta energije). Trigeneracija
[<http://www.hrote.hr/default.aspx?id=122>.](http://www.hrote.hr/default.aspx?id=122)
16. Ivanović M; Glavaš H. (2013). Potencijal i mogućnosti korištenja biomase iz ratarske, voćarske i vinogradarske proizvodnje u energetske svrhe na području regije Slavonije i Baranje. Osijek: Sveučilište J. J. Strossmayera
17. Izvješće o napretku u području obnovljive energije (2016/2041(INI).
[<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A8-2016-0196+0+DOC+XML+V0//HR>.](http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A8-2016-0196+0+DOC+XML+V0//HR)
18. Izvješće o napretku u području obnovljive energije. (2015). Bruxelles: Europska Komisija
19. Jelavić B., Kulišić B., Vorkapić V., Kojaković A. (2011). Energy from biomass - potentials and current situation in Croatia. Predavanje Njemačko-hrvatski simpozij Energija iz biomase - kruta biomasa, bioplin i biogoriva. Njemačko-hrvatska industrijska i trgovinska komora, Zagreb
20. Krajnc, N. (2015). Wood Fuels Handbook. Priština: Food and Agriculture Organisation of the United Nations

21. Krička, T. (2010). Potencijal proizvodnje energije iz biljnih ostataka u poljoprivredi i šumarstvu. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet
22. Labudović, B. (2012). Osnove primjene biomase. Zagreb: Energetika marketing.
23. Ladanai S., Vinterback J. (2009). Global potential of sustainable biomass for energy. Uppsala: SLU Report. ISSN 1654-9406
24. Lončar D., Krajačić G., Vujanović M. (2009). Obnovljivi izvori energije: Kogeneracija na biomasu - primjeri najbolje prakse
<http://oie.mingo.hr/UserDocsImages/BIOCHP_HR.pdf>.
25. McKendry P. (2002). Energy production from biomass (part1): overview of biomass. Bioresource Technology 83, pp. 37-46
26. McKendry P. (2002). Energy production from biomass (part 3): gasification technologies. Bioresource Technology 83, pp. 55-63
27. Medarac, H. (2016, June). The biomass approach to heating and cooling.
<<https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-magazine/low-carbon-heating-cooling/biomass-approach-heating-and-cooling>>.
28. Milas P. (2009). Termički procesi pretvorbe biomase za dobivanje električne energije. Završni rad, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
29. Morris G. (2008). Bioenergy and greenhouse gases. Pacific Institute, Berkeley, California
<http://pacinst.org/app/uploads/2015/12/Bioenergy_and_Greenhouse_Gases.pdf>.
30. Nalladurai Kaliyan; R. Vance Morey. (2009, March). Factors affecting strength and durability of densified biomass products. Biomass and Bioenergy, Vol.33, pp. 337-359
31. Pettersen, R. C. (1984). The Chemical Composition of Wood. American Chemical Society
32. Perez-Jimenez J.A. (2015). Biomass Pellet-Fired Boilers. U Garcia-Maraver J.A, Perez-Jimenez J.A. (2015). Biomass Pelletization - Standards and Production (pp. 67-82). Southampton, Boston: WIT Press
33. Pletikosić, M. (2014). Doprinos korištenja komine u smanjenju emisije stakleničkih plinova. XIII. Međunarodni simpozij gospodarenje otpadom , (pp. 65-71). Zagreb

34. Production and Consumption of Wood Pelets in the European Union. (2015). WPAC conference. Nova Scotia, Canada: Wood Pellet Association of Canada
35. Renewable energy progress report. (2015, June 16). Preuzeto s European commission: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-5181_en.htm.
36. Statistički ljetopis Republike Hrvatske (2015). Poljoprivreda, šumarstvo i ribarstvo (268-284) ISSN 1333-3305. Statistički ljetopis, Državni zavod za statistiku
37. Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske. (2009). Hrvatski sabor. NN, 130/09
38. Šegon V., Domac J. (2003). Biomasa na današnjem tržištu električne energije: prikaz stanja i mogućnosti. Energija - časopis Hrvatske Elektroprivrede (0013-7448) 52 (2003), 4, pp. 275-283
39. Šljivac D., Šimić Z. (2009). Obnovljivi izvori energije: Najvažnije vrste, potencijal i tehnologija. Preuzeto s [mingorp.hr](http://oie.mingorp.hr/UserDocsImages/OIE%20Tekst.pdf): <http://oie.mingorp.hr/UserDocsImages/OIE%20Tekst.pdf>.
40. Šljivac, D. (2008). Osijek. Obnovljivi izvori energije: Energija biomase: <http://www.tfb.uklo.edu.mk/materials/download/70dbe36eb04e3c3f9e17cc4159f5184> >.
41. Šišić I., Alić N., Suljić F. (2010). Funkcionalna pogodnost radnih tijela kod usitnjavanja sirovina i materijala. I. Konferencija "Održavanje". Bihać <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2015/HR/1-2015-293-HR-F1-1.PDF>.
42. Velazquez-Marti B., Fernandez-Gonzalez E., Lopez- Cortes I., Callejon-Ferre A.L. (2013). Prediction and evaluation of biomass obtained from citrus trees pruning. Journal of Food, Agriculture & Environment Vol. 11 (3&4): 1485-1491
43. Veijonen K., Vainikka P., Jarvinen T., Alakangas E. (2003). Biomass co-firing - an efficient way to reduce greenhouse gas emissions. Jyväskylä, Finland: European Bioenergy Networks (EUBIONET)
44. Zakon o energiji NN (68/01), NN (177/04), NN (76/07), NN (152/08), NN 116/10
45. Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 67/2007)
46. Zakon o zaštiti prirode (NN 80/13)

47. World energy resources. (2013). Preuzeto s World energy council:
<<https://www.worldenergy.org/>>.