

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

LUKA HRBOKA

ELEKTRANE NA BIOMASU

DIPLOMSKI RAD

RIJEKA, 2014.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

**ELEKTRANE NA BIOMASU
BIOMASS POWER PLANTS**

DIPLOMSKI RAD

Predmet: Prijenos topline i mase
Mentor: Prof. dr. sc. Enco Tireli
Student: Luka Hrboka
Studijski smjer: Brodostrojarstvo
JMBAG: 0081053816

Rijeka, rujan 2014.

Student: Luka Hrboka

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0081053816

IZJAVA

Kojom izjavljujem da sam diplomski rad s naslovom ELEKRANE NA BIOMASU izradio samostalno pod mentorstvom prof. dr. sc. Enco Tireli.

U radu sam primijenio metodologiju znanstvenoistraživačkog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju diplomskog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u diplomskom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezo s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Suglasan sam s objavom diplomskog rada na službenim stranicama.

Student

Luka Hrboka

SAŽETAK

U radu se, uz teorijske odrednice obnovljivih izvora energije i biomase kao obnovljivog izvora energije, istražuju značajke elektrana na biomasu te njihov značaj u strukturiranju efikasnog elektroenergetskog sustava. Biomasa je, poslije velikih hidroelektrana, najznačajniji obnovljivi izvor energije. Predstavlja kompleksan pojam različitih proizvoda kojim su obuhvaćeni biorazgradivi dijelovi proizvoda, otpada ili ostataka iz poljoprivrede, šumskog otpada i otpada srodnih industrija, kao i biorazgradivi dijelovi industrijskog i gradskog otpada. U prošlosti se uglavnom koristila za dobivanje toplinske energije, a u novije vrijeme je sve zastupljenija izgradnja postrojenja na biomasu za dobivanje električne energije. Električna energije iz biomase komercijalno se proizvodi jedino izgaranjem (na rešetki ili različitim izvedbama u fluidiziranom sloju) čime se proizvodi para za pogon motora ili turbina. Kogeneracijska postrojenje za istovremenu proizvodnju toplinske i električne energije predstavljaju najznačajniji način proizvodnje električne energije iz biomase.

Ključne riječi: biomasa, elektrane na biomasu, obnovljivi izvori energije, održivi razvoj.

SUMMARY

Keywords:

SADRŽAJ

SAŽETAK	I
SUMMARY	I
SADRŽAJ	II
1. UVOD	1
1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKT ISTRAŽIVANJA	1
1.2. RADNA HIPOTEZA I POMOĆNE HIPOTEZE	2
1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA	2
1.4. ZNANSTVENE METODE	2
1.5. STRUKTURA RADA	3
2. TEMELJNA OBILJEŽJA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE	4
2.1. ENERGIJA I NJEZINI OBLICI	4
2.2. ENERGIJA I ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA	7
2.3. PODJELA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE	12
2.4. TRENDOVI KORIŠTENJA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE	18
3. BIOMASA KAO OBNOVLJIV IZVOR ENERGIJE	27
3.1. TEMELJNE ODREDNICE BIOMASE	27
3.2. OSNOVNA SVOJSTVA BIOMASE	28
3.2.1. Drvna biomasa	29
3.2.2. Nedrvna biomasa	30
3.2.3. Biogoriva	31
3.3. EKOLOŠKI ASPEKT PRIMJENE BIOMASE	37
4. ELEKTRANE NA BIOMASU	40
4.1. TEHNOLOGIJA ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ BIOMASE	40
4.1.1. Tehnologija izgaranja na rešetci	41
4.1.2. Tehnologija izgaranja u fluidiziranom sloju	41
4.2. KOGENERACIJSKA POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ BIOMASE	44
4.3. ELEKTRANE NA BIOPLIN	49
4.4. ELEKTRANE NA DEPONIJSKI PLIN	51
4.5. STANJE I TRENDOVI KAPACITETA ELEKTRANA NA BIOMASU	52
5. ZAKLJUČAK	58
POPIS LITERATURE	60
POPIS TABLICA	63
POPIS GRAFIKONA	64
POPIS SHEMA	64

1. UVOD

U ovom dijelu diplomskog rada obrađuju se sljedeće tematske jedinice: 1) problem, predmet i objekt istraživanja, 2) radna hipoteza i pomoćne hipoteze, 3) svrha i ciljevi istraživanja, 4) znanstvene metode i 5) struktura rada.

1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKT ISTRAŽIVANJA

Opskrba dovoljnim količinama energije jedan je od ključnih uvjeta opstanka i razvoja civilizacije, pa je i razumljivo da su u energetskej krizi prisutnoj posljednjih godina nastojanja usmjerena ka oblikovanju efikasnog energetskeg sustava, koji će smanjiti potrošnju konvencionalnih i poticati korištenje obnovljivih izvora energije. Jedan od oblika obnovljivih izvora energije je biomasa, odnosno gorivo koje se dobiva od biljaka ili dijelova biljaka kao što su drvo, slama, stabljike žitarica, ljuštore itd. Primjena biomase za proizvodnju energije potiče se uvažavajući načelo održivog razvoja. U ukupno proizvedenoj energiji iz neobnovljivih izvora biomasa sudjeluje s više od 50% u Europskoj uniji.

Problem istraživanja je sljedeći: iako se na stručnim i znanstvenim studijima izučavaju temeljne odrednice biomase kao neobnovljivog izvora energije, još uvijek je premalo znanja o elektranama na biomasu što negativno utječe na oblikovanje efikasnog energetskeg sustava.

Iz problema istraživanja proizlazi **predmet istraživanja** diplomskog rada, a to je: istražiti aktualne probleme vezane uz biomasu kao obnovljivog izvora energije, a posebice uz elektrane na biomasu te predložiti konkretne mjere budućeg razvoja elektrana na biomasu u skladu s održivim razvojem.

Objekt istraživanja su elektrane na biomasu.

1.2. RADNA HIPOTEZA I POMOĆNE HIPOTEZE

Temeljna radna hipoteza je sljedeća: temeljem objektivnih spoznaja o biomasi kao obnovljivom izvoru energije i temeljnih značajkama elektrana na biomasu može se ukazati na važnost koju biomasa ima u strukturiranju efikasnog energetskeg sustava temeljenog na održivom razvoju.

U skladu s navedenom temeljnom hipotezom postavljene su sljedeće **pomoćne hipoteze**:

- 1) Objektivna saznanja o aktualnim problemima vezanim za okoliš ukazuju na nužnost smanjenja udjela konvencionalnih goriva u ukupnoj potrošnji goriva uz povećanje obnovljivih izvora energije.
- 2) Biomasa je prihvatljiv izvor energije za koji postoje različita tehnološka rješenja iskoristivosti primjerena održivom razvoju.
- 3) Primjerenim poznavanjem temeljnih značajki biomase kao izvora energije i elektrana za biomasu dolazi se do saznanja o njenom značaju u oblikovanju efikasnog energetskeg sustava.

1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Svrha istraživanja je istražiti tehnološka obilježja elektrana za biomasu i njihov utjecaj na okoliš.

Ciljevi istraživanja odnose se na sustavno, jednostavno i znanstveno utemeljeno elaboriranje i izlaganje o biomasi kao izvoru energije i tehnološkim značajkama elektrana na biomasu, te njihovom utjecaju na energetske sustav.

1.4. ZNANSTVENE METODE

Pri istraživanju i formuliranju rezultata istraživanja u odgovarajućim kombinacijama korištene su različite znanstvene metode, kao što su metoda analize i sinteze, metoda indukcije i dedukcije, povijesna metoda, metoda komparacije, metoda klasifikacije i metoda kompilacije.

1.5. STRUKTURA RADA

Rezultati istraživanja u ovom diplomskom radu prezentirani su u šest međusobno povezanih dijelova.

U prvom dijelu, **Uvodu**, obrazloženi su problem, predmet i objekt istraživanja, determinirane radna hipoteza i pomoćne hipoteze, prezentirani svrha i ciljevi istraživanja, navedene znanstvene metode korištene tijekom istraživanja i obrazložena struktura rada.

Drugi dio ima naslov **Temeljna obilježja obnovljivih izvora energije**. U njemu je ukazano na obilježja energije i njenih oblika, te je istražen odnos energije i onečišćenja okoliša. Također je prikazana podjela obnovljivih izvora energije. Istraženi su i trendovi iskorištenja obnovljivih izvora energije.

Biomasa kao obnovljiv izvor energije naslov je trećeg dijela. U njemu je dano određenje biomase te njena osnovna svojstva. Pri tome je ukazano na obilježja drvene biomase, nedrvne biomase i biogoriva. Analiziran je i ekološki aspekt primjene biomase.

U četvrtom dijelu, s naslovom **Elektrane na biomasu**, prikazana je tehnologija za proizvodnju električne energije iz biomase: tehnologija izgaranja na rešetci i tehnologija izgaranja na fluidiziranom sloju. Posebno je ukazano na kogeneracijska postrojenja, elektrane na biopljin i plin s deponija otpada. Također je istraženo stanje i trendovi proizvodnje električne energije iz postrojenja na biomasu. Ukazano je i na perspektive elektrana za proizvodnju električne energije iz biomase.

U posljednjem dijelu, **Zaključku**, iznose se spoznaje kojima se dokazuje odnosno opovrgava postavljena radna hipoteza.

2. TEMELJNA OBILJEŽJA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

Aktualiziranje problematike zaštite čovjekove okoline posljednjih godina u fokus stavlja nužnost smanjenje udjela potrošnje konvencionalnih izvora energije u ukupnoj potrošnji uz povećanje obnovljivih izvora energije, kao što su energija sunca, vjetra, biomase, malih hidroelektrana te geotermalnih izvora.

2.1. ENERGIJA I NJEZINI OBLICI

Energija (engl. Energy, njem. Energie) je fizikalna veličina kojom se opisuje međudjelovanje i stanje čestica nekog tijela te njegovo međudjelovanje s drugim česticama ili tijelima, odnosno sposobnost obavljanja rada. Ona ne može ni nastati ni nestati, već samo prelazi iz jednoga u drugi oblik, pa pojmovi kao što su “proizvodnja”, “dobivanje”, “potrošnja”, “štednja” energije u fizikalnom smislu nisu posve točni, iako su nezaobilazni u svakodnevnom govoru.¹

Još u pradavna vremena čovjeku je postalo jasno da njegov život nije moguć bez ovladavanja postupcima primjene i pretvorbe energije. To proizlazi i iz same činjenice da je otkriće vatre jedno od najznačajnijih otkrića u povijesti čovječanstva. Tijekom povijesti, čovjek se naučio koristiti različitim izvorima energije. U početku se za dobivanje topline i svjetlosti koristio gorivom dobivenim izravno iz prirode: drvo, treset, razni drveni i drugi biljni otpaci, životinjski izmet i sl., dakle svim onim što je danas obuhvaćeno pojmom biomase, dok je za dobivanje mehaničkog rada čovjek brzo uočio kako se može poslužiti snagom životinje pa i drugih ljudi. Otkrivena su fosilna goriva, u početku ugljen koji se dobivao vađenjem iz zemlje ili preradom drveta, a mnogo stoljeća kasnije nafta i prirodni plin. Otkrivene su i druge mogućnosti za dobivanje mehaničkog rada i topline, primjerice, energija vode i vjetra za pogon vodenica, vjetrenjača i plovila ili energija Sunca, primjerice u solanama. Industrijska revolucija označila još veći rast značaja energije, njezinih izvora i procesa pretvorbe, a posebice otkriće parnog stroja. Time je ujedno započelo razdoblje sve većih promjena tehničkih procesa, odnosno strojeva koji učinkovito pretvaraju jedne u druge oblike energije, a što je uvelike pojednostavilo i olakšalo čovjekov život te dalo

¹ Labudović, B. et al.: **Obnovljivi izvori energije**, Energetika marketing, Zagreb, 2002., str. 20.

snažan poticaj razvoju civilizacije. U 19. stoljeću pronađena je električna energija, a sredinom 20. stoljeća do tada poznatim izvorima pridružuje se novi izvor, atomska jezgra. Polako se napuštaju izvori energije korišteni tisuća godina, kao što su vjetrenjače i mlinovi, životinjska snaga korištena kao pogon zamijenjena je motorima s unutarnjim sagorijevanjem, a jedini izvor koji se još uvijek značajno koristi je energija vodotokova u hidroelektranama. Tijekom 20. stoljeća bilježi se dinamičan rast prijenosa energije, posebice u njegovoj drugoj polovici. No, s rastom potrošnje energije polako se javlja i svijest o tome da glavni izvori energije, fosilna goriva nisu raspoloživi u neograničenim količinama. Doba je to tzv. energetske krize, čiji se razlozi ponajviše mogu tražiti u političko–gospodarskim odnosima u svijetu.

Početak 21. stoljeća obilježavaju gospodarska i financijska kriza, dogovaraju se novi izvori i pravci transporta energije, a sve ozbiljnije se raspravlja i o nužnosti zaustavljanja globalnog zagrijavanja i klimatskih promjena. Rast potrošnje primarne energije rezultat je rasta potrošnje u brzorastućim ekonomijama izvan OECD-a. Samo Kina bilježi gotovo tri četvrtine globalnog rasta. Potrošnja u zemljama izvan OECD-a nadmašuje potrošnju zemalja OECD-a. Gospodarska kriza u 2009. godini rezultirala je padom potrošnje primarne energije, a promjene su značajno varirale u pojedinim regijama. U OECD-u je potrošnja energije pala brže od BDP-a, te je dosegla najnižu razinu u posljednjem desetljeću, iako je BDP u tom razdoblju porastao za 18%. Suprotno, u zemljama u razvoju izvan Sovjetskog Saveza, rast potrošnje energije brži je od rasta BDP-a.² Međutim, smirivanjem globalne gospodarske krize nastavlja se rast proizvodnje i potrošnje svih goriva, dosegnuvši u 2013. godini svoju rekordnu razinu za sve vrste goriva, izuzev nuklearne energije.³

U uporabi su različiti izvori energije koji se mogu podijeliti na:⁴ konvencionalne i nekonvencionalne. U konvencionalne izvore energije ubrajaju se: drvo, ugljen, nafta, prirodni plin, vodena energija, nuklearna energija i sl. U nekonvencionalne izvore energije

² BS Statistical Review of World Energy 2010., BS, London, 2010., str. 3., online: http://bakerinstitute.org/media/files/event/fb8a8c2c/BP_SR_2011_US_secured.pdf (2.08.2014.)

³ BS Statistical Review of World Energy 2013., BS, London, 2014., str. 2., online: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf> (2.08.2014.)

⁴ Energetika, <http://bs.wikipedia.org/wiki/Energetika> (27.08.2014.)

ubrajaju se: sunčeva energija, energija vjetra, energija morskih valova, geotermalna energija i dr.

S obzirom na obnovljivost, izvore energije se može podijeliti na:⁵ obnovljive i neobnovljive. Konvencionalni izvori energije često se poistovjećuju s obnovljivim izvorima energije, što nije ispravno jer velike hidroelektrane (u pravilu snage veće od 10 MW) također, koriste obnovljive izvore energije (vodu) a konvencionalne su. Njihovo se korištenje, također, suženo poima samo kao izvor za preobrazbu u električnu energiju, što je također, neispravno, jer se mogu koristiti i koriste se kao izvor topline, bez prethodne pretvorbe u električnu energiju. Obnovljivost pojedinog izvora energije najlakše se može definirati na sljedeći način: “obnovljiv izvor je onaj čiji se prosječni dotok svake godine ponavlja, uz stanovita odstupanja.”⁶ Dakle, svi nekonvencionalni izvori su obnovljivi.

Obnovljivi izvori energije pružaju znatan potencijal za budućnost, no oni su trenutno vrlo ograničenih mogućnosti i energija koja dolazi iz njih često iziskuje visoke troškove, pa je vjerojatno da će proći još dosta vremena dok postanu dominantni u proizvodnji energije.

U kontekstu ovog rada potrebno je razlučiti i pojmove primarne i sekundarne energije. Primarna energija je računski iskoristivi sadržaj energije svakog onog nositelja energije koji se javlja u prirodi i nije podložan transformaciji. Tu se ubrajaju prije svega fosilni nositelji energije kao smeđi i kameni ugljen, zemni plin, te obnovljivi izvori energije – solarna energija, snaga vjetra, snaga vode, toplina zemlje, energija mjesečevih mijena (plima i oseka).⁷ Sekundarna energija je ona energija koja nastaje pretvorbom primarne energije (npr. koks, briketi, obogaćeno nuklearno gorivo, benzin, loživo ulje, električna struja, toplina itd.). Postupcima pretvorbe mijenjaju se kemijske ili fizikalne pojavnosti primarnih izvora, što je nužno jer se većina izvora, u obliku u kojem je dobivena iz prirode, ne može izravno iskorištavati.⁸

U tablici 1 prikazani su oblici primarne energije prema obnovljivosti i konvencionalnosti primjene.

⁵ Ibidem.

⁶ Kalea, M.: **Prednosti i nedostaci nekonvencionalnih izvora energije**, Ece, Zagreb, 9, 2009., 4, str. 132.

⁷ Primarna energija, <http://www.gradimo.hr/Primarna-energija/hr-HR/12239.aspx> (3.08.2014.)

⁸ Energija, <http://energetika-net.hr/skola/energetika/energija-energetika-opcenito/vrste-energije> (3.08.2014.)

Tablica 1: Oblici primarne energije prema obnovljivosti i konvencionalnosti primjene

Oblik primarne energije	Neobnovljiv	Obnovljiv	Konvencionalan	Nekonvencionalan
Ugljen	×		×	
Sirova nafta	×		×	
Prirodni plin	×		×	
Nuklearno fisijsko gorivo	×		×	
Ogrjevno drvo		×	×	
Vodne snage (velike HE)		×	×	
Vodne snage (male HE)		×		×
Geotermalni izvori		×		×
Biomasa i otpad		×		×
Vjetar		×		×
Sunčeva energija		×		×
Toplina okoline		×		×
Plima i oseka		×		×
Morski valovi		×		×
Nuklearno fuzijsko gorivo		×		×

Izvor: Energija, <http://energetika-net.hr/skola/energetika/energija-energetika-opcenito/vrs-te-energije> (3.08.2014.)

Evidentno je da su svi neobnovljivi izvori energije konvencionalni, dok svi obnovljivi izvori energije nisu ujedno i nekonvencionalni.

2.2. ENERGIJA I ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA

Opravdano se smatra da je velik porast potrošnje energije kao posljedica ubrzanog razvoja civilizacije i svjetskog gospodarstva u posljednja dva stoljeća doveo do velikog onečišćenja okoliša. Drugim riječima, onečišćenje okoliša neposredno je povezano s procesima pretvorbe energije.⁹

Glavni izvori energije na početku 21. stoljeća su neobnovljivi izvori energije (fosilna i nuklearna goriva). U fosilna goriva u užem smislu ubrajaju se izvori energije koji su nastali iz tvari organskog (biljnog i životinjskog) podrijetla dugotrajnim procesima pod

⁹ Labudović, B. et al.: op. cit., str. 32.

visokim tlakovima i temperaturama u dubinama Zemlje. U širem smislu fosilnim gorivom smatraju se i ona dobivana njihovom preradom.¹⁰ To su: ugljen, naftna i naftni derivati te prirodni plin i od njega dobiveni plinovi. Osnovni problemi vezani za fosilna goriva su: da ih ima u ograničenim količinama te da onečišćuju okoliš. Sagorijevanjem fosilnih goriva oslobađa se velika količina ugljičnog dioksida (CO₂), koji je staklenični plin. Vodena para (H₂O), ugljični dioksid (CO₂), metan (CH₄) i didušik oksid (N₂O), su staklenički plinovi nastali prirodnim aktivnostima i oni, izmiješani u cjelokupnom sloju atmosfere, čine zračni toplinski omotač oko Zemlje. Taj omotač sprječava gubitak toplinske energije u svemir i doprinosi da je klima na Zemlji povoljna za život. Bez omotača od stakleničkih plinova, površina Zemlje bi bila 30°C stupnjeva hladnija nego što je danas, nepovoljna za živa bića, hladna i beživotna poput površine Marsa. Međutim, stakleničke plinove proizvodi i sam čovjek. Staklenički plinovi (ugljični dioksid, metan, dušikov oksid, fluorirani ugljikovodik, perfluorirani ugljikovodik i heksafluorid) izazvani ljudskom aktivnošću koncentriraju se u atmosferi i utječu na cijeli sustav dovodeći do globalnog zagrijavanja i klimatskih promjena koje negativno utječu na žive organizme. Pri tome se ponajviše misli na primjenu fosilnih goriva. Prema objavljenim podacima potraj 1994. godine u Njemačkoj fosilna goriva (kameni ugljen, nafta i prirodni plin) u utjecaju na efekt staklenika od ljudskog djelovanja (na njega još utječu biljke i životinje) sudjeluju s 50%, od čega 40% otpada na emisiju ugljičnog dioksida, 3% na emisiju metana pri proizvodnji i preradi sirove nafte i plina te 7% na ozon i ostale plinove.¹¹

Emisija CO₂ uzrokovana izgaranjem fosilnih goriva izravno je povezana s udjelom ugljika u njima. U 2013. godini ugljen kao izvor energije bilježi rast od 3%, što je ispod desetogodišnjeg prosjeka (3,9%), ali je još uvijek najbrže rastuće fosilno gorivo. Udio ugljena u globalnoj potrošnji dosegao je razinu od 30,1%, najviše od 1970. godine¹², s očitim implikacijama na globalne emisije CO₂. Veliki broj znanstvenih istraživanja pokazuje da ispuštanje CO₂ u atmosferu dovodi do globalnog porasta temperature na Zemlji i uništavanja ozonskog omotača.

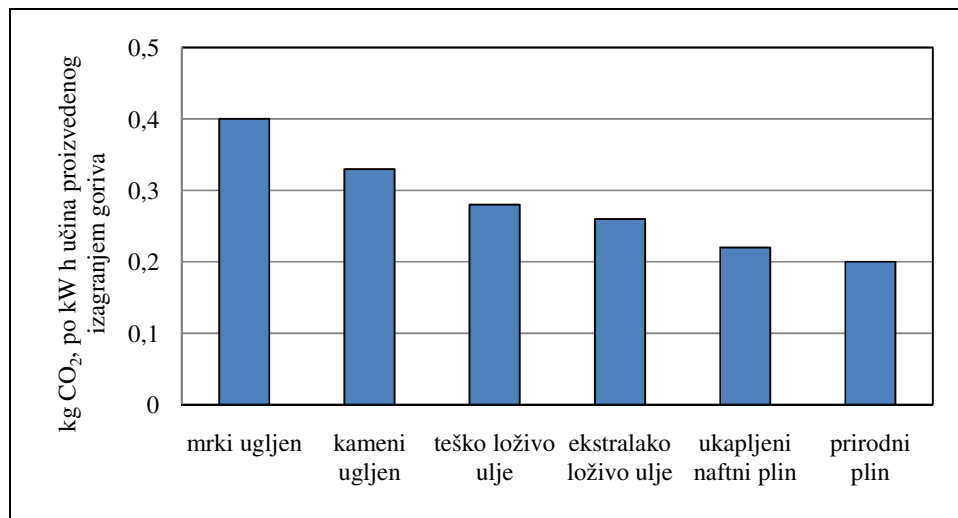
¹⁰ Ibidem, str. 36.

¹¹ Ibidem, str. 32.

¹² BS Statistical Review of World Energy 2013., op. cit., str. 5.

Emisija CO₂ može se jednostavno odrediti jednadžbama izgaranja, odnosno dobiti iz energetske vrijednosti goriva, primjerice gornje i donje ogrjevne vrijednosti. No, za cjelovito procjenjivanje emisije CO₂ i njezinog utjecaja na okoliš u obzir se ne smiju uzeti samo procesi kojima se dobiva korisna energija (npr. Izgaranje benzina kojim se dobiva mehanički rad ili izgaranje loživog ulja kojim se dobiva toplina), već sveukupni procesi od primarne do korisne energije, kao što su dobivanje, pretvorba, prijenos itd. Zbog toga se specifična emisija CO₂ u pravilu iskazuje kumulativno, odnosno kao ekvivalent CO₂ i izražava se u kg/(kW h), odnosno u kg emitiranog CO₂ po kW h (ogrjevne vrijednosti) goriva. Na taj način se mogu uspoređivati razne vrste goriva, odnosno emisije koje nastaju njihovim izgaranjem. Analiziranjem specifične emisije fosilnih goriva može se uočiti da je uz primjenu prirodnog plina opterećenje okoliša emisijom CO₂ najmanje (i kumulativno i samo zbog izgaranja), a primjenom mrkog ugljena najveće (grafikon 1).

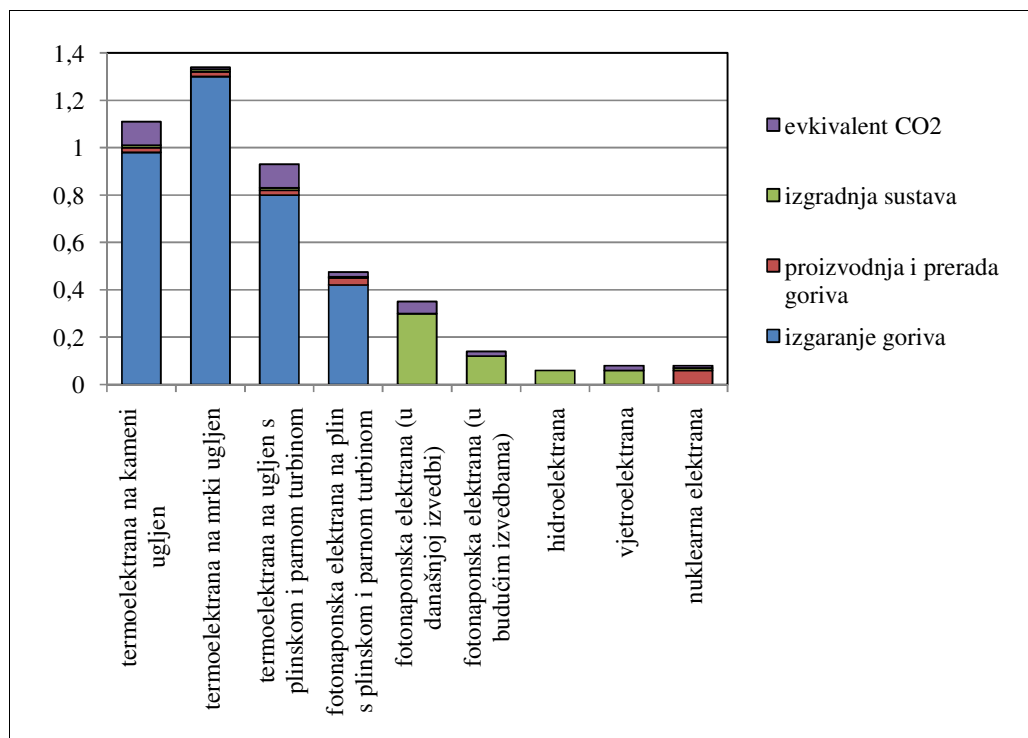
Grafikon 1: Specifičnosti emisija fosilnih goriva



Izvor: Labudović, B. et al.: **Obnovljivi izvori energije**, Energetika marketing, Zagreb, 2002., str. 33.

Usporedbom kumulativnih emisija CO₂ može se vidjeti da je opterećenje okoliša ugljičnim dioksidom najmanje uz primjenu obnovljivih izvora (grafikon 2).

Grafikon 2: Specifična emisija pri proizvodnji struje iz pojedinih elektrana



Izvor: Labudović, B. et al.: **Obnovljivi izvori energije**, Energetika marketing, Zagreb, 2002., str. 34.

Stakleničkim plinovima se pripisuje odgovornost za klimatske promjene. Dvije su osnovne klimatske promjene:

- efekt staklenika,
- promjene udjela ozona.

Efekt staklenika je pojava koja se očituje u zagrijavanju atmosfere, što za posljedicu ima zagrijavanje cijele Zemlje. Staklenički plinovi se zadržavaju u atmosferi i apsorbiraju toplinu reflektiranu od tla i time uzrokuju globalno zagrijavanje. No, određene su količine stakleničkih plinova u atmosferi nužnost jer smanjuju odavanje topline sa Zemlje u svemir i tako odražavaju toplinsku ravnotežu. Temeljem izmjerenih vrijednosti udjela CO₂ u mjehurićima zraka zarobljenih u ledenjacima čak prije 160.000 godina došlo se do spoznaja o povezanosti njegovog udjela i temperature atmosfere. Pokazano je kako se od tada do

početka industrijske revolucije (potkraj 18. stoljeća) taj udio povećao sa 180 na 280 ppm¹³, a 1990. godine na 351 ppm, uz istovremeno povećanje udjela drugih stakleničkih plinova, primjerice metana s 0,8 na 1,7 ppm (ili 1,11). Usporedo s tim povećala se temperatura atmosfere u posljednjem stoljeću za 0,3 do 0,6°C.¹⁴ Čak i tako malen porast ima veliki utjecaj na topljenje ledenjaka, što uzrokuje porast razine mora te promjene zračnih i vodenih struja koje dovode do velikih klimatskih nepogoda.

Promjena udjela ozona podrazumijeva njegovo povećanje u nižim, prizemnim slojevima i njegovo smanjenje u višim slojevima atmosfere. Pri tome na globalne klimatske promjene utjecaj ima samo smanjenje njegovog udjela u višim slojevima, gdje je njegova osnovna uloga sprječavanje prodora ultraljubičastog zračenja koje može izazvati oboljenja ljudi, biljaka i životinja na površini Zemlje. Pojava velikog smanjenja udjela ozona u određenim dijelovima atmosfere naziva se ozonskom rupom. Doduše, smatra se kako uzroke smanjenja udjela ozona u atmosferi ne treba tražiti u procesima pretvorbe energije (barem u užem smislu), već ponajviše u emisiji halogeniranih ugljikovodika, posebice onih koji sadržavaju klor.

Kao jedno od mogućih rješenja za zamjenu fosilnih goriva sredinom 20. stoljeća pojavila se nuklearna energija. Nuklearna goriva nisu opasna za atmosferu, ali tvari koje nastaju kod nuklearne reakcije ostaju radioaktivne još godinama, te se trebaju skladištiti u posebnim prostorijama. Osim toga nuklearno gorivo nosi sa sobom i rizik za sigurnost, posebice opasnost u slučaju terorizma.

Obnovljivi izvori energije, za razliku od neobnovljivih ne zagađuju okoliš u tolikoj mjeri, ali nisu ni svi obnovljivi izvori energije potpuno čisti. To se posebice odnosi na energiju dobivenu iz biomase koja kao i fosilna goriva (ugljen, nafta, prirodni plin) prilikom sagorijevanja ispušta CO₂.

¹³ Skraćenica ppm (engl. parts per million) upotrebljava se za izražavanje koncentracije u relativnim proporcijama. Jedan ppm predstavlja jedan dio na 1.000.000 dijelova ili 1 dio na 10⁶ dijelova.

¹⁴ Labudović, B. et al.: op. cit., str. 43.

2.3. PODJELA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

Sedamdesetih godina 20. stoljeća, u doba energetske krize, u većini razvijenih zemalja započinju opsežni programi za povećanje energetske učinkovitosti, primjerice za poboljšanje energetskih postrojenja (elektrana, toplana, kotlova i sl.) ili za poboljšanje građevinsko–fizikalnih svojstava građevina. Usporedo se pojavljuju i zamisli o ponovnoj primjeni izvora energije korištenih od davnina, a koja su s pojavom industrijske revolucije potisnuta, pa i zaboravljena. Biomasa (drvo, treset, sušeni ostaci biljaka, životinjski izmet itd.) bila je energent za ogrjev tijekom cijele povijesti, u Kini je još 1280. godine u pogonu za drobljenje željezne rude korištena energija morskih valova, u Londonu je 1580. godine proradila crpka s pogonom na plinu i oseku, u Južnoj Americi se 1872. godine Sunčevom energijom pokretalo desalinizacijsko postrojenje, dok se 1878. godine u Indiji pojavilo prvo solarno kuhalo. Od 70-ih godina 20. stoljeća do 2014. godine mnogo je učinjeno na promicanju ekološke svijesti i primjeni novih, energetski učinkovitih i za okoliš manje štetnih tehnologija, koje se često nazivaju održivim. Obnovljivi, neiscrpivi ili alternativni izvori energije na Zemlji potječu iz tri glavna primarna izvora, i to od:¹⁵

- raspadanja izotopa u dubini Zemlje (npr. geotermalna energija i sl.),
- gravitacijskog djelovanja planeta (npr. energija morskih mijena i sl.),
- termonuklearnih pretvorba na Suncu (npr. Sunčeva energija, energija biološkog podrijetla, energija vjetra itd.).

Osnovni oblici energije koji se, dakle, nalaze u prirodi su energija Sunca, energija Zemlje i energija gravitacije. Obnovljivi izvori energije mogu se podijeliti u nekoliko osnovnih skupina ovisno o njihovoj srodnosti, ne uzimajući pri tome njihovo podrijetlo:¹⁶

- Sunčeva energija,
- energija vjetra,
- energija vodenih tokova,
- energija vodika,
- energija iz biomase,
- energija iz okoliša.

¹⁵ Ibidem, str. 48.

¹⁶ Ibidem, str. 49.

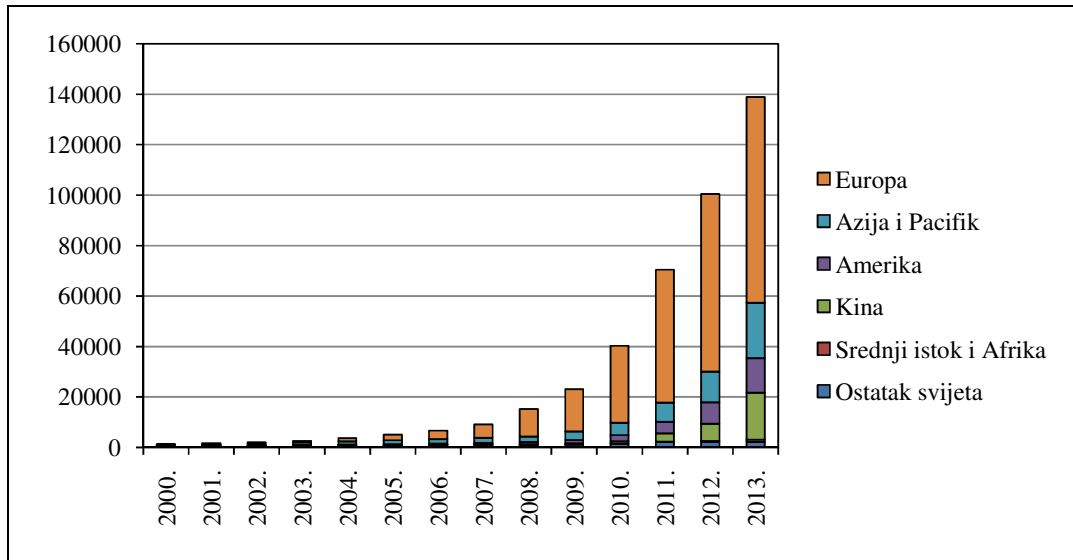
Pod pojmom iskorištavanja **Sunčeve energije** u užem se smislu misli samo na njezino neposredno iskorištavanje, u izvornom obliku, odnosno ne kao, primjerice, energija vjetra ili fosilnih goriva. Toplina koja zračenjem sa Sunca dolazi na Zemlju općenito je najveći izvor energije i njezin godišnji teorijski potencijal iznosi $5,6 \times 10^6$ EJ, pri čemu čovjek putem fosilnih goriva raspolaže samo vrlo malim dijelom te energije (1,13). Interesantno je kako je Sunčeva energija ona od koje potječe većina drugih izvora, primjerice energija fosilnih goriva, vodenih tokova, vjetra itd. Sunčeva se energija može iskoristiti aktivno ili pasivno. Aktivna primjena Sunčeve energije podrazumijeva njezinu izravnu pretvorbu u toplinsku ili električnu energiju. Pri tom se toplinska energija od Sunčeve dobiva pomoću solarnih kolektora ili solarnih kuhala, a električna pomoću fotonaponskih (solarnih) ćelija. Pasivna primjena Sunčeve energije znači izravno iskorištavanje dozračene Sunčeve topline odgovarajućom izvedbom građevina (smještajem u prostoru, primjenom odgovarajućih materijala, prikladnim rasporedom prostorija i ostakljenih ploha itd.

Sam razvoj tehnologije iskorištavanja Sunčeve energije započeo je još 1860-ih godina, ali je značajna upotreba i ubrzani razvoj započeo tek 1997. godina. Godine 1809. Charles Fritts konstruirao je prvu solarnu ćeliju, a 1931. godine dr. Bruno Lange razvio je prvu fotonaponsku ćeliju koristeći srebro i selen. Godine 1954. Gerald Pearson, Calvin Fuller i Daryl Chapin razvili su prvu silicijsku ćeliju. Prva koncentrirana solarna elektrana razvijena je 1980-ih godina. Osnovni problemi iskorištavanja Sunčeve energije su mala gustoća energetskog toka, velike oscilacije intenziteta zračenja i veliki investicijski troškovi. Unatoč tome, instalirani kapaciteti fotonaponskih elektrana imaju tendenciju rasta te zauzimaju važno mjesto u ukupnoj elektroenergetskoj potrošnji.¹⁷ Na svjetskoj razini, kapaciteti fotonaponskih sustava spojenih na mrežu bili su u 2009. godini veći od 23 GW, a godina dana kasnije porasli su na 40,3 GW i krajem 2011. godine na 70,5 GW. U 2012. godini instalirani kapaciteti dosegli su 100 GW, a do 2013. godine gotovo 138,9 GW. Takvim kapacitetom može se proizvesti 160 TWh električne energije godišnje. Ta količina energije dovoljna ja za pokrivanje potreba napajanja za više od 45 milijuna europskih kućanstava. To je, također, ekvivalent električne energije proizvedene u 32 velike

¹⁷ Zelenko, I.: **Iskorištavanje energije Sunca u energetici**, online: <http://www.obnovljivi.com/energija-sunca/51-iskoristavanje-energije-sunca-u-energetici> (4.08.2014.)

termoelektrane na ugljen. Europa je vodeća svjetska regija po kumulativnoj instaliranoj snazi, s 81,5 GW u 2013. godini, te sudjeluje s oko 59% u ukupno instaliranim fotonaponskim sustavima u svijetu, što je smanjenje u odnosu na 2011. i 2012. godinu kada je sudjelovala sa 75, odnosno 70%. Zemlje Azije i Pacifika imaju vrlo brz rast, na 40 GW u 2013. godini (grafikon 3).

Grafikon 3: Instalirani kapaciteti fotonaponskih sustava po regijama svijeta u 2013. godini



Izvor: Masson, G. (ur.): Global market outlook, For Photovoltaics 2014–2018, European Photovoltaic Industry Association, GeoModel Solar, 2014, str. 16, online: http://www.epia.org/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=/uploads/tx_epiapublications/EPIA_Global_Market_Outlook_for_Photovoltaics_2014-2018_-_Medium_Res.pdf & t=1410811306&hash=8b3a6574c84d6ebf5325eccf61e3fcd669678323 (19.08.2014.)

Iskorištavanje **energije vjetra** je najbrže rastući segment proizvodnje energije iz obnovljivih izvora. U posljednjih nekoliko godina turbine na vjetar znatno su poboljšane, što je utjecalo i na veće iskorištenje ovog izvora energije. Električnom energijom iz vjetra vjetroelektrane snabdijevaju elektro energetska mrežu kao što i pojedinačni vjeroagregati napajaju izolirana mjesta. Vjetar je bogat, obnovljiv, lako dostupan i čisti izvor energije. Nedostatak vjetra rijetko uzrokuje nesavladive probleme kada u malom udjelu sudjeluje u opskrbi električnom energijom, ali pri većem oslanjanju na vjetar dovodi do većih gubitaka.

Krajem 2013. godine instalirana snaga vjetroelektrana u svijetu iznosila je 318,1 GW. U 2013. godini instalirano je više od 35 GW snage vjetroelektrana, što predstavlja kumulativni rast tržišta od 12,5%, snažan rast za prerađivačku industriju s obzirom na gospodarsku klimu, iako je nešto niža od prosječne godišnje stope rasta tijekom posljednjih 10 godina (21%). Vjetroeletrane pokrivaju tek 1% svjetskih potreba za električnom energijom, dok u Danskoj pokrivaju 19% potreba za električnom energijom, u Španjolskoj i Portugalu 9%, Njemačkoj i Irskoj 6% (2009. godine).¹⁸ Europa je tradicionalno najveće tržište za razvoj vjetroenergije a u 2013. godini povećala je instaliranu snagu vjetroelektrana za 12,03 GW (38,1% od ukupnog kapaciteta). Azija je u 2013. godini imala najveće povećanje instalirane snage elektrana za 18,2 GW te je svrstana na drugom mjesto, iza Europe s ukupno instaliranih 115,93 GW. U ukupnoj instaliranoj snazi vjetroelektrana u svijetu sudjeluje s udjelom od 35,2% (tablica 2).

Tablica 2: Instalirana snaga vjetroelektrana u svijetu, 2012. i 2013. godine

	2012.	Instalirano u 2013.	Ukupno na kraju 2013.
Afrika i Srednji istok	1.165	96	1.255
Azija	97.715	18.216	115.927
Europa	109.817	12.031	121.474
od toga EU-28	106.454	11.159	117.289
Njemačka	31.270	3.238	34.250
Španjolska	22.784	175	22.959
Italija	8.649	1.883	10.531
Francuska	8.118	444	8.552
Velika Britanija	7.623	631	8.254
Portugal	4.162	657	4.772
Danska	4.529	196	4.724
Nizozemska	3.746	724	4.470
Švedska	2.496	894	3.390
Irska	2.312	646	2.959
Grčka	2.391	303	+2.693
Austrija	1.905	685	2.600
Turska	1.749	288	2.037
Poljska	1.749	116	1.865
Belgija	1.378	308	1.684
Ostatak Europe	4.956	832	5.737
Latinska Amerika i Karibi	3.530	1.235	4.764
Sjeverna Amerika	67.748	3.063	70.811
Pacifik	3.219	655	3.874
Ukupno	283.194	35.289	318.105

Izvor: Global Wind 2013 Report, Global Wind Energy Council, Brussels, 2014., str. 8, online: http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/04/GWEC-Global-Wind-Report_9-April-2014.pdf (19.08.2014.)

¹⁸ Global Wind 2013 Report, Global Wind Energy Council, Brussels, 2014., str. 8, online: http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/04/GWEC-Global-Wind-Report_9-April-2014.pdf (19.08.2014.)

Energija vodenih tokova potječe od nekoliko izvora. Sunčeva je energija uzrok kretanja vode u prirodi, što daje energiju vodotokovima (rijeka i potoka) i valovima koja se stoljećima koristila za dobivanje mehaničkog rada u vodenicama, a danas se najčešće koristi za dobivanje električne energije u hidroelektranama raznih izvedbi. Za razliku od toga, morske mijene, koje se mogu iskorištavati u hidroelektranama smještenim na prikladnim mjestima, potječu od gravitacijskih sila planeta.

U iskorištavanju vodotokova posebno se mjesto daje malim hidroelektranama. Male hidroelektrane su postrojenja u kojima se potencijalna energija vode najprije pretvara u kinetičku energiju njezinog strujanja, a potom u mehaničku energiju vrtnje vratila turbine te, konačno, u električnu energiju u generatoru. Definiraju se kao hidroenergetski objekti električne snage do 10 MW (u Republici Hrvatskoj i Europskoj uniji). U svijetu su prisutne različite klasifikacije malih hidroelektrana. U SAD i Velikoj Britaniji se malim hidroelektranama smatraju hidroelektrane snage ≤ 5 MW, u Švedskoj hidroelektrane snage ≤ 15 MW, Australiji ≤ 20 MW itd. Za male hidroelektrane se smatra da nemaju nikakav štetni utjecaj na okoliš, za razliku od velikih čija se štetnost opisuje kroz velike promjene ekosustava (gradnja velikih brana), utjecaje na tlo, poplavljanje, utjecaje na slatkovodni živi svijet, povećanu emisiju metana i postojanje štetnih emisija u čitavom životnom ciklusu hidroelektrana koje su uglavnom vezane za period izgradnje elektrana, proizvodnje materijala i transport. Male i velike hidroelektrane zastupljene su s 22% u ukupnoj proizvodnji električne energije u svijetu.

U 2013. godini instalirano je 40 GW novih hidroenergetskih kapaciteta, što je u odnosu na 2012. godinu rast kapaciteta od 4% te ukupno iznosi 1.000 GW. Time je omogućena proizvodnja ukupne svjetske hidroenergije, koja varira svake godine ovisno o hidrološkim uvjetima, od 3.750 TWh u 2013. godini. Vodeća zemlje po kapacitetu hidroelektrana i generatora su: Kina (260 GW i 905 TWh), slijedi Brazil (85,7 GW i 415 TWh), Sjedinjene Američke Države (78,4 GW i 269 TWh), Kanada (76,2 GW i 388 TWh), Rusija (46,7 GW i 174 TWh), Indija (43,7 GW i 143 TWh) i Norveška (29,3 GW i 129 TWh). Ove zemlje zajedno sudjeluju s 625 u ukupnim svjetskim kapacitetima.¹⁹

¹⁹ Renewables 2014 Global Status Report, REN 21, Milano, 2014., str. 44, online: http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014_full%20report_low%20res.pdf (12.08.2014.)

Pojam **energije vodika** podrazumijeva korištenje vodika ne izravno (npr. u plamenicima), već kao goriva za gorive ćelije koje mogu služiti za pogon vozila ili za dobivanje električne i toplinske energije. Pri tome treba istaknuti kako se vodik za sada ponajviše dobiva iz fosilnih goriva (najčešće iz prirodnog plina), dok se u budućnosti može očekivati njegovo dobivanje elektrolizom iz vode primjenom Sunčeve energije ili iz biomase.

Energija iz biomase ubraja se u obnovljive izvore, iako je njezina količina na neki način ograničena. Fizikalno gledano, sva biomasa potječe iz Sunčeve energije. Pojavljuje se u krutom obliku koji može biti drvenog (drva, piljevina, briketi, palete itd.), biljnog (treset, ostaci žitarica i sl.) ili životinjskog podrijetla (izmet i sl.), tekućem (npr. Biodizel, loživo bioulje) ili plinovitom obliku (npr. bioplin, deponijski plin itd.), a koristi se za dobivanje električne ili toplinske energije u kotlovima ili termoelektranama, odnosno mehaničkog rada u motorima s unutarnjim izagaranjem.

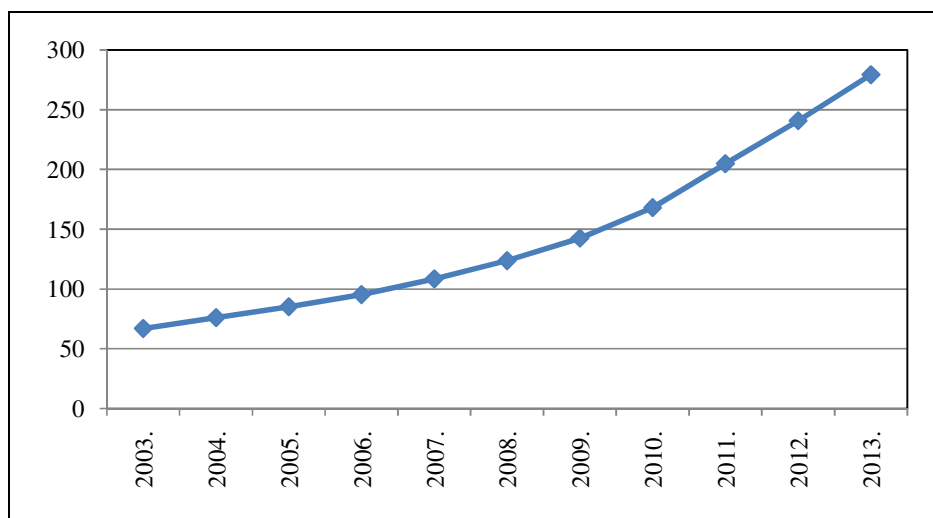
Slično kao i Sunčeva energija, pojam **energije iz okoliša** također se može promatrati u užem i širem smislu. Dok se u direktnom smislu svaka energija, zapravo, dobiva iz okoliša, u užem to pak znači iskorištavanje toplinske energije iz zraka, iz površinskih (jezera, rijeka, oceana) ili podzemnih voda te iz dubine Zemlje. Jedan dio te energije potječe od Sunca (energija iz zraka, površinskih voda i sl.), dok drugi potječe od zbivanja u Zemljinoj kori (geotermalna energija). U najvećem slučaju energija iz okoliša se koristi izravno, kao toplinska energija, a manjim dijelom za dobivanje električne energije.

Temeljem uvida u pojedine oblike obnovljivih izvora energije može se utvrditi obnovljivi izvori energije imaju ogroman potencijal, no veće tehničke mogućnosti i bolja ekonomska opravdanost iskorištavanja neobnovljivih oblika energije, razlozi su njihovog većeg iskorištavanja do sada.

2.4. TRENDOVI KORIŠTENJA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

Trendovi korištenja obnovljivih izvora energije prate se kvantitativnim podacima o instaliranim kapacitetima, proizvodnji i potrošnji obnovljive energije. Obnovljiva energija sudjeluje s oko 19% u ukupnoj finalnoj potrošnji energije u 2012. godini, a rast je nastavljen u 2013. godini. U tom udjelu moderni obnovljivi izvori energije sudjelovali su u 2012. godini s 10%, a ostatak (procjenjuje se na nešto više od 9%) čine tradicionalna biomasa. Toplinska energija iz modernih obnovljivih izvora sudjeluje s oko 4,2% ukupne krajnje potrošnje energije, hidroelektrane čine 3,8%, a oko 2% od vjetra, sunca, geotermalnih izvora te biomase kao biogoriva. Potrošnja obnovljive energije u svijetu iznosila je u 2013. godini 279,3 mil. toe, što je 317,5% više nego u 2003. godini (grafikon 4).

Grafikon 4. Potrošnja energije iz obnovljivih izvora u svijetu, 2003.-2013. godine



Izvor: BS Statistical Review of World Energy 2013., BS, London, 2014., str. 38., online: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf> (2.08.2014.)

U 2013. godini tržište obnovljive energije i pripadajuća industrija suočavaju se s novim izazovima, ali i širokim mogućnostima. Potpora politike prema obnovljivim izvorima energije ima tendenciju smanjenja u mnogim europskim zemljama i SAD-u. Problem proizlaze iz ograničenja električne mreže, zabrinutosti elektroprivrednog lobija u nekim zemljama zbog rastuće konkurencije, te i dalje visokih globalnih subvencija za fosilna goriva. Unatoč tome, uz neke iznimke u Europi i Sjedinjenim Američkim Državama, razvoj

obnovljive energije imao je pozitivan trend u 2013. godini.²⁰ Na kraju 2013. godine nove investicije u obnovljivu energiju i goriva iznosile su 249,4 mlrd. USD, što je na razini iz 2012. godine. Ukupna snaga instaliranih kapaciteta obnovljive energije (bez hidroelektrana) iznosila je na kraju 2013. godine 249,4 GW, što je u odnosu na 2012. godinu povećanje za 16,7%. U posljednjem desetljeću ukupna snaga instaliranih kapaciteta obnovljive energije povećana je za oko 480 GW. Snaga instaliranih hidroelektrana iznosi 1.000 GW, te zajedno s kapacitetom drugih oblika obnovljive energije iznosi 1.560 GW. Posebno je značajan porast kapaciteta fotonaponskog sustava, s 26 GW u 2004. godini na 139 GW u 2013. godini te kapaciteta energije vjetra, s 48 GW u 2004. godini na 318 GW u 2013. godini (tablica 3).

Tablica 3: Investicije i snaga kapaciteta obnovljivih izvora energije, 2004.-2013. godine

		2004.	2012.	2013.
Investicije u obnovljivu energiju i goriva	mlrd. USD	39,5	249,5	249,4
Kapacitete obnovljive energije (bez hidroelektrana)	GW	85	480	560
Kapacitet obnovljive energije (uključujući hidroelektrane)	GW	800	1.440	1.560
Hidroelektrane	GW	715	960	1.000
Bio-elektreane	GW	<36	83	88
Bio-generatori	TWh	227	350	405
Geotermalne elektrane	GW	8,9	11,5	12
Solarni fotonaponski sustav	GW	2,6	100	139
Solarna toplinska snaga	GW	0,4	2,5	3,4
Vjetrenjače	GW	48	283	318

Izvor: Renewables 2014 Global Status Report, REN 21, Milano, 2014., str. 15, online: http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014_full%20report_low%20res.pdf (12.08.2014.)

Imajući na umu činjenicu da energija proizvodi 80% svih stakleničkih plinova u Europskoj uniji, te time direktno utječe na klimatske promjene i zagađenje zraka, Europska unija se zalaže za rješavanje tog problema, smanjenjem emisije stakleničkih plinova na razinu koja će ograničiti globalno povećanje temperature za 2°C u odnosu na predindustrijsko razdoblje. Na početku 21. stoljeća shvatilo se da bi primjena energetske i transportne

²⁰ Ibidem.

politika u pojedinim zemljama rezultirala povećanjem emisije CO₂ za 5% do 2030. godine, a globalna emisija bi porasla za 55%.²¹ Osim toga Europa postaje sve više ovisna o uvozu energenata. Nastavkom tadašnje prakse, energetska ovisnost Europske unije porasla bi s 50% ukupne potrošnje energije u 2007. godini na 65% u 2030. godini; uvoz plina porastao bi s 57% na 84%, nafte s 82% na 93%. Sve to bi dovelo do nesigurnosti u opskrbi energentima. S obzirom na neodrživost takvih politika, razumnim se činilo usmjeriti aktivnosti na oblikovanje jedinstvene energetske politike i uspostavu jedinstvenog energetskeg tržišta.

Europska unija je 2007. godine predložila jedinstvenu dugoročnu politiku energetskeg razvoja i ublažavanja klimatskih promjena, kojom će postati gospodarstvo s niskim emisijama stakleničkih plinova, odnosno svjetski lider u borbi protiv klimatskih promjena, sadržanu u dokumentu pod naslovom Energetska politika za Europu (An Energy Policy for Europe). Osnovni obvezujući ciljevi energetske politike Europske unije sadržani u paketu mjera za jedinstvenu energetskeg politiku, u skladu s protokolom iz Kyota, su:²²

- 20% smanjenja emisija stakleničkih plinova do 2020. godine u odnosu na 1990. godinu, odnosno 30% ako zemlje u razvoju prihvate obveze u skladu s njihovim gospodarskim mogućnostima,
- 20% obnovljivih izvora energije u neposrednoj potrošnji (uvećanoj za gubitke prijenosa i distribucije te vlastitu potrošnju kod proizvodnje električne energije i topline javnih toplana) do 2020. godine,
- 10% biogoriva u odnosu na potrošnju benzina i dizelskog goriva do 2020. godine,
- Europska unija će primjenom mjera energetske učinkovitosti smanjiti neposrednu potrošnju energije za 9% u razdoblju od 2008. do 2016. godine,
- Europska unija proklamira cilj smanjenja potrošnje energije za 20% do 2020. godine

U okviru dokumenta Energetska politika za Europu definiran je akcijski plan za razdoblje 2007.-2009. godine za stvaranje zajedničke energetske politike koji je nadopunjen novim energetskeg mjerama za razdoblje do 2014. godine. Akcijski plan za razdoblje od 2007. do 2009. godine pokrenuo je zajedničku europsku energetskeg politiku,

²¹ An energy policy for Europe, Commission of The European Communities, Brussels, 2007., str. 3.

²² Prilagodba i nadogradnja Strategije energetskeg razvoja Republike Hrvatske, Nacrt Zelene knjige, Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Program Ujedinjenih naroda za razvitak (UNDP), Zagreb, 2008.str. 10.

što je rezultiralo donošenjem energetskeg i klimatskog paketa koji se pretvorio u EU “20-20-20” ciljeve te liberalizaciju energetskeg tržišta. Za razliku od prvotnog koji se prvenstveno odnosi na održivost i unutarnje tržište, akcijski plan za razdoblje 2010.-2014. godine prvenstveno se odnosi na pitanja sigurnosti opskrbe i razvoja tehnologije. Europska unija je, također, usvajanjem tog klimatsko-energetskeg paketa 2007. godine bila prvo veće gospodarstvo svijeta koje je usvojilo precizan i obvezujući radni program s ciljem suzbijanja klimatskih promjena. Akcijskim planom za energetske efikasnost 2007.-2012. (Action Plan for Energy Efficiency: Realising the Potential) dan je paket prioriternih mjera čijom bi se implementacijom do 2020. godine emisija CO₂ smanjila za 780 milijuna tona.

U listopadu 2010. godine Europska Komisija je usvojila Strategiju za konkurentnu, održivu i sigurnu energiju (Energy 2020 – A Strategy for Competitive, Sustainable and Secure Energy). Nova energetska strategija fokusira se na pet prioriteta:²³

- 1) postizanje energetske učinkovitosti u Europi,
- 2) izgradnja pan-europskeg jedinstvenog energetskeg tržišta,
- 3) osnaživanje potrošača i postizanje najviše razine sigurnosti i zaštite,
- 4) proširenje europskeg liderstva u energetskeg tehnologiji i inovacijama i
- 5) jačanje vanjske dimenzije jedinstvenog energetskeg tržišta Europske unije.

Evidentno je da Europska unija na zakonodavnom i strateškom planu čini značajne aktivnosti kojima se stvaraju temelji za efikasnu primjenu energetske politike i ostvarenje postavljenih energetskeg ciljeva.

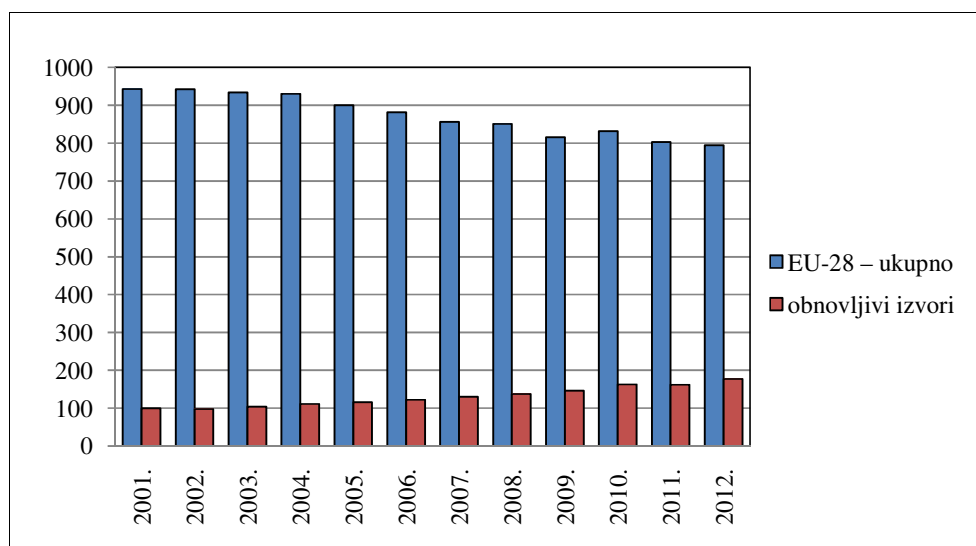
Proizvodnja primarne energije u Europskeg uniji u razdoblju od 2001. do 2012. godine pokazuje trend smanjenja (11%), kao rezultat smanjenja primarne proizvodnje svih goriva osim nuklearne energije i obnovljivih izvora energije²⁴ (grafikon 5).

²³ Energy 2020 – A Strategy for Competitive, Sustainable and Secure Energy, European Commission, Publication Office of the European Union, Luxembourg, 2011., str. 7.

²⁴ Energy, transport and environment indicators, Eurostat Pocketbooks, European Commission, Luxembourg, 2009., str. 29.

Grafikon 5: Proizvodnja primarne energije po vrsti energenta u EU-27, 2001.-2012.

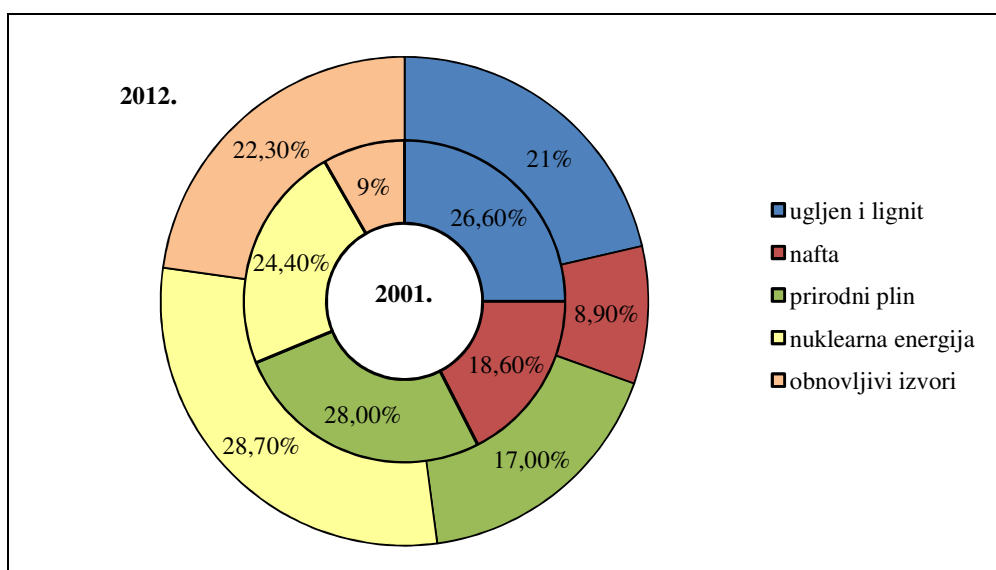
u mil. toe



Izvor: Eurostat, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=ten00076&language=en> (27.08.2014.)

Promjene u strukturi proizvodnje primarne energije po vrsti energenta u EU-28 2001. i 2012. godine mogu se uočiti u grafikonu 6.

Grafikon 6: Struktura proizvodnje primarne energije po vrsti energenta u EU-28, 2001. i 2012. godine



Izvor: Izračun autora prema: Eurostat, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=ten00076&language=en> (27.08.2014.)

Podaci na grafikonu 6 pokazuju da je u 2012. godini proizvodnja primarne energije iz obnovljivih izvora u EU-28 iznosila je 177,4 mil. toe, te je u ukupnoj proizvodnji sudjelovala s udjelom od 22,3% znatno povećavajući svoj udio u odnosu na 2001. godinu kada je iznosio 10,6%.

Njemačka je vodeći proizvođač primarne energije iz obnovljivih izvora u 2012. godini s porastom proizvodnje od 243,5% u odnosu na 2001. godinu. Slijedi Francuska s 20,8 mil. toe u 2012. godini i porastom proizvodnje od 25,1% u odnosu na 2001. godinu, te Italija s 18,1 mil. toe i rastom od 84,7%. Države koje više od 90% svoje primarne proizvodnje dobivaju iz obnovljivih izvora u EU-28 su: Cipar, Malta, Latvija, Litva i Portugal. Obnovljivi izvori energije čine najmanji udio u proizvodnji ukupne primarne energije u: Velikoj Britaniji, Nizozemskoj i Češkoj Republici (tablica 4).

Tablica 4: Proizvodnja primarne energije iz obnovljivih izvora i po zemljama članicama EU-28, 2001.-2012. godine

	2001.	2012.	Indeks 2001.= 100	udio obnovljivih izvora energije u ukupnom, u %
EU-28	100.168,4	177.429,9	77,1	22,3
Belgija	602,6	2.815,8	467,3	18,0
Bugarska	696,2	1.638,1	235,3	14,0
Češka R.	1.497,6	3.247,1	216,8	10,5
Danska	1.864,9	3.113,6	167,0	16,5
Njemačka	9.580,5	32.912,7	343,5	26,6
Estonija	552,0	1.056,3	191,3	20,7
Irska	233,8	744,1	318,3	57,8
Grčka	1.318,4	2.274,5	172,5	21,8
Španjolska	8.156,6	14.487,4	177,6	43,7
Francuska	16.604,5	20.766,0	125,1	15,6
Hrvatska	855,3	1.181,2	138,1	34,2
Italija	9.774,6	18.056,0	184,7	56,5
Cipar	44,0	106,2	241,4	100,0
Latvija	1.506,4	2.331,4	154,8	99,7
Litva	706,1	1.197,9	169,7	90,8
Luxemburg	40	93,7	234,3	74,5
Mađarska	868,4	1.962,6	226,0	18,6
Malta	0,6	6,2	1.033,3	100,0
Nizozemska	1.459,4	3.778,6	258,9	5,8
Austrija	6.705,8	9.623,2	143,5	75,3
Poljska	4.070,8	8.478,0	208,3	11,9
Portugal	4.009,5	4.358,3	108,7	94,8
Rumunjska	3.418,8	5.242,2	153,3	19,1
Slovenija	776,3	989,5	127,5	27,9
Slovačka	772,3	1.433,5	185,6	23,0
Finska	7.507,2	9.930,7	132,3	58,1
Švedska	14.229,8	18.509,9	130,1	51,8
V. Britanija	2.315,9	7.095,0	306,4	6,1

Izvor: Izračun autora prema: Eurostat, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=ten00076&language=en> (27.08.2014.)

Dostupni pokazatelji proizvodnje primarne energije pokazuju trend povećanja učešća obnovljivih izvora, i njihovu sve veću zastupljenost u strukturi proizvodnje primarne energije u zemljama članicama Europske unije, što jasno pokazuje da je Europska unija na putu ostvarenja zacrtanih ciljeva energetske politike.

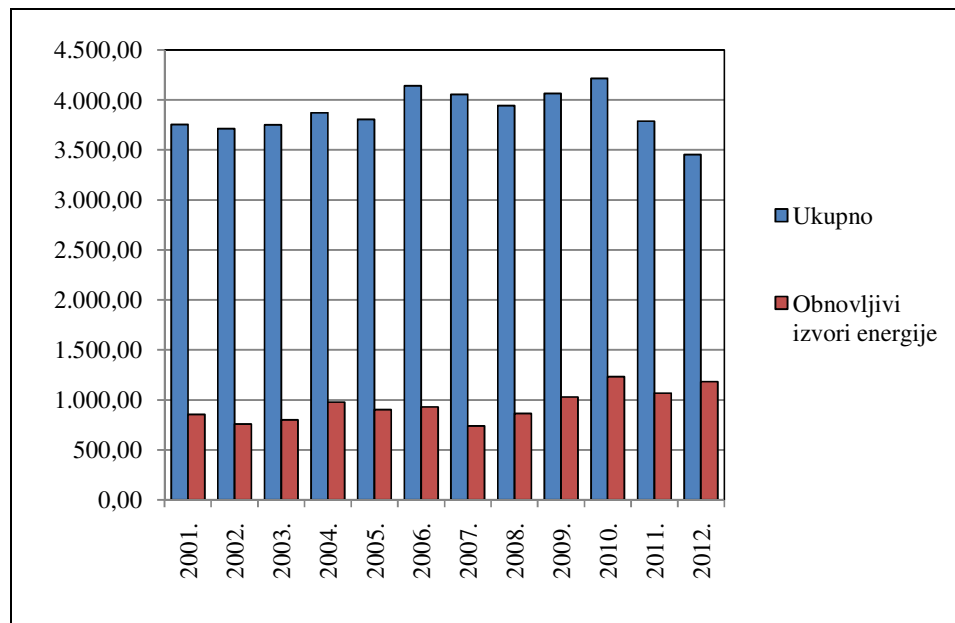
U Strategiji energetskega razvoja Republike Hrvatske ublažavanje uvozne energetske ovisnosti vidi se, između ostalog i u upotrebi obnovljivih izvora energije. U skladu s općim trendom i Direktivom Europske unije, Hrvatska je postavila cilj da će do 2020. godine u bruto neposrednoj potrošnji obnovljivi izvori energije sudjelovati s 20% te da će udio obnovljivih izvora energije u 2020. godini korištenih u svim oblicima prijevoza u odnosu na potrošnju benzina, dizelskog goriva, biogoriva u cestovnom i željezničkom prijevozu te ukupne električne energije korištene u prijevozu iznositi 10%.²⁵ Predviđen je porast ukupno proizvedene energije iz obnovljivih izvora od 75 PJ u 2000. godini na 100 u 2002. godini do 160 PJ (ovisno o predloženom scenariju) u 2030. godini.

Cjelokupni pravni okvir za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije koji sačinjava paket od pet podzakonskih akata (Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (Narodne novine, br. 67/07), Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (Narodne novine, br. 33/07), Uredba o naknadi za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (Narodne novine, br. 33/07), Uredba o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije u opskrbi električnom energijom (Narodne novine, br. 33/07) i Pravilnik o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača (Narodne novine, br. 67/07) usvojen je do 2007. godine na temelju Zakona o energiji (Narodne novine, br. 68/01, 177/04, 76/07) i Zakona o tržištu električne energije (Narodne novine, br. 177/04, 76/06). Time je postignuta harmonizacija nacionalnog zakonodavnog okvira s europskom Direktivom o promociji proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije, te je tako definiran i nacionalni indikativni cilj od 5,8% udjela obnovljivih izvora energije i kogeneracije u ukupnoj proizvodnji električne energije do 2010. godine (isključujući velike hidroelektrane).

²⁵ Strategija energetskega razvoja Republike Hrvatske, Narodne novine, Zagreb, 2009., 130, str. 3197.

U 2012. godini proizvodnja primarne energije u Republici Hrvatskoj iznosila 3,5 mil. toe, što je u odnosu na 2001. godinu smanjenje za 8%. Proizvodnja primarne energije iz obnovljivih izvora (uključujući i proizvodnju energije u hidroelektranama) u istom razdoblju (2001.-2012. godine) ima suprotan trend, te je u 2012. godini ostvarena proizvodnja od 1.2 mil. toe, što je u odnosu na 2001. godinu povećanje za 38,1%. Takav trend utjecao je i na povećanje udjela obnovljivih izvora u strukturi proizvodnje primarne energije, i to s 22,8% u 2001. godini na 34,2% u 2012. godini (grafikon 7).

Grafikon 7: Proizvodnja primarne energije u Republici Hrvatskoj, 2001. i 2012. godine



Izvor: Izračun autora prema: Eurostat, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&pl ugin=1&pcode=ten00076&language=en> (27.08.2014.)

U Republici Hrvatskoj je u svibnju 2014. godine, u sustavu poticaja, u pogonu 867 elektrana na obnovljive izvore energije, a iz tih je izvora u elektroenergetskoj mreži Hrvatske elektroprivrede d.d. 316,4 MW snage (tablica 5).

Tablica 5: Broj elektrana i instalirana snaga u sektoru obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj, 2007.-2013. godine

	Broj elektrana	Instalirana snaga (MW)
2007.	178	289,42749
2012.	688	24,9673
2013.	1	2,036
Ukupno	867	316,43079

Izvor: Portal croenergo.eu, <http://www.croenergo.eu/Hrvatsku-pogoni-867-elektrana-na-obnovljive-izvore-energije-21721.aspx> (20.08.2014.)

Daljnji razvoj treba ići u smjeru povećanja investicija u obnovljive izvore energije i tehnologije s malom emisijom stakleničkih plinova, kako bi se ostvarili ciljevi preuzeti iz Kyotskog protokola.

3. BIOMASA KAO OBNOVLJIV IZVOR ENERGIJE

Biomasa je najstariji izvor energije kojim su ljudi ovladali, a koji se, pored velikog društvenog razvoja, i dalje najčešće upotrebljava u iste svrhe kao i prije tisuću godina, za grijanje u domaćinstvu. Raste, međutim, i uporaba biomase u druge svrhe, posebice u proizvodnji električne energije te tekućih pogonskih goriva za vozila.

3.1. TEMELJNE ODREDNICE BIOMASE

Biomasa predstavlja kompleksan pojam različitih proizvoda biljnog i životinjskog svijeta, te promatran kao izvor energije uključuje širok spektar proizvoda od stabala, usjeva, do različitih poljoprivrednih ostataka i otpada.²⁶ Prema direktivi Europske unije i Vijeća Europe br. 2003/30/EC, biomasu se definira kao biorazgradive dijelove proizvoda, otpada ili ostataka iz poljoprivrede, šumskog otpada i otpada srodnih industrija, kao i biorazgradive dijelove industrijskog i gradskog otpada. Biomasu čine proizvodi biljnog i životinjskog svijeta; neiskorišteni dijelovi šumarsko-drvene industrije, poljoprivredne proizvodnje, prehrambene industrije, komunalnog otpada organskog podrijetla i sl. Biomasa je obnovljivi izvor energije, a općenito se može podijeliti na: drvnu, nedrvnu i životinjski otpad, unutar čega se mogu razlikovati:²⁷

- drvena biomasa (ostaci iz šumarstva, otpadno drvo),
- drvena uzgojena biomasa (brzorastuće drveće),
- nedrvna uzgojena biomasa (brzorastuća alga i tave),
- ostaci i otpaci iz poljoprivrede,
- životinjski otpad i ostaci.

U poljoprivrednoj proizvodnji ostaje velika količina neiskorištene biomase. Razni ostaci u ratarskoj proizvodnji, kao što su: ostaci pri rezidbi voćki, vinove loze i maslina, slama, kukuruzovina, stabljike suncokreta i sl. relativno su lako iskoristiv oblik energije. Biomasa se može izravno pretvarati u energiju procesom izgaranja te tako proizvoditi vodenu para za

²⁶ Bašić, A., Rovčanin, A.: **Finansijski efekti uvođenja kosagorijevanja uglja i drvene biomase u termoelektrani Kakanj**, Poslovni konsultant, 6, 2014, 32, str. 28. (28–47)

²⁷ Labudović, B.: op. cit., str. 452.

grijanje u industriji i kućanstvima te dobivati električna energija u malim termoelektranama. Osim izravne proizvodnje električne energije ili topline, biomasa se može pretvarati u velik broj krutih, tekućih ili plinovitih goriva i produkata koji se mogu koristiti za daljnju proizvodnju energije. U osnovi se energija iz biomase dobiva iz dvije skupine procesa:²⁸

- biokemijskim procesima, kao što su fermentacija i anaerobna razgradnja, dobivaju se biogoriva: alkohol, biodizel i bioplin,
- termokemijskim procesom, kao što je izgaranje, izravno se proizvodi energija.

Fermentacija biomase u alkohol zasad je najrazvijenija metoda kemijske konverzije biomase. Takav proces najviše se koristi u Brazilu, za proizvodnju etanola za pogon vozila. To je i razumljivo s obzirom na ogroman poljoprivredni potencijal Brazila s tropskim kulturama pogodnim za proizvodnju alkohola.²⁹ Osim toga, neke biljke daju ulja koja se mogu koristiti u dizelskim motorima, a anaerobnom fermentacijom iz biomase može se dobiti metan. Bioplin nastao fermentacijom bez prisutnosti kisika sadrži metan i ugljični dioksid u volumnom omjeru 2:1 te se može upotrebljavati kao gorivo. Nakon fermentacije biomase dobiva se kvalitetno gnojivo, kvalitetnije od gnojiva korištenog za fermentaciju. Grijanjem bez prisutnosti zraka (tzv. suhom destilacijom) ili pirolizom iz biomase može se dobiti metanol, aceton, drveni ugljen i drugi produkti. Rasplinjavanjem biomase dobiva se plin koji se može dalje energetske iskoristivati. Danas se primjena biomase za proizvodnju energije potiče uvažavajući načelo održivog razvoja.

3.2. OSNOVNA SVOJSTVA BIOMASE

Najvažnije svojstvo biomase koja se koristi kao energija je količina energije koja se može dobiti njezinom transformacijom i primjenom.³⁰ Energetski sadržaj biomase, ali i drugih goriva može se iskazati njihovom ogrjevnom vrijednošću ili ogrjevnošću. Pri tome je potrebno razlikovati donju i gornju ogrjevnu vrijednost. Gornja ogrjevna vrijednost je ona količina topline koja nastaje potpunim izgaranjem jedinične količine goriva, pri čemu se dimni plinovi ohlade na temperaturi 25°C, a vlaga se iz njih izlučuje kao kondenzat. Kod

²⁸ Ibidem, str. 454.

²⁹ Paar, V.: **Energetska kriza, Gdje (ni)je izlaz**, Školska knjiga, Zagreb, 1984., str. 126.

³⁰ Ibidem, str. 462.

donje ogrjevne vrijednosti, vlaga koje se izlučuje ostaje u parovitom stanju pa toplina kondenzata ostaje neiskorištena.

3.2.1. Drvna biomasa

Temeljna veličina koja se koristi pri proračunu energije iz određene količine drva je njegova ogrjevna vrijednost, na koju najveći utjecaj ima vlažnost (udio vlage), zatim kemijski sastav, gustoća i zdravost drva. Za hrvatsko podneblje i vrste drveća pri određivanju ogrjevne vrijednosti drva važno je utvrditi ubraja li se u listače ili četinjače, odnosno u meko ili tvrdo drvo, jer je udio pojedinih sastojaka pri tome različit, a različita je i tvar koja se može koristiti kao gorivo. Usporedba ogrjevne vrijednosti drva i drugih goriva prikazana je u tablici 6.

Tablica 6: Usporedba drva s drugim gorivima

gorivo, količina	donja ogrjevnost		Vlažnost, %	Ogrjevni odnos (drvo = 1)
	MJ	kW hotel		
Loživo ulje, kg	42 (36 MJ/l)	11,67	–	2,78
Kameni ugljen, kg	29	8,06	5	1,95
Koks, kg	29	8,06	5	1,95
Mrki ugljen, kg	13,6	3,78	25	0,9
Prirodni plin, m ³	37	10,28	–	–
Treset, kg	13,3	3,69	32	0,86
Slama, kg	14	3,89	15	0,95
Drvo, kg	15,1	4,19	15	1

Izvor: Labudović, B. et al.: **Obnovljivi izvori energije**, Energetika marketing, Zagreb, 2002., str. 470.

U usporedbi s drugim gorivima u tablici 6, ogrjevna vrijednost drva približno je jednaka slami, tresetu i mrkom ugljenu, dok se 1 kg loživog ulja može nadomjestiti s nešto manje od 3 kg drva navedene vlažnosti i točno s 3 kg drva navedene vlažnosti i točno s 3 kg drva vlažnosti $W = 20\%$.

Produkti drvne biomase su: paleti i sječke. Paleti se dobivaju sjeckanjem drvenih grana i ostataka, mljevenjem i potom miješanjem s ljepilom te konačno prešanjem u male brikete promjera 6, 8 ili 10 mm. Sječka se dobiva sječenjem granja između fiksnog i rotirajućeg noža

u sjeckalicama. Debljina granja pri tome može biti do 75 mm, a sječenje se izvodi pod kutem oko 60° u odnosu na os grane. Debljina sječke je 2–4 mm. Takvo granje, primjerice, može potjecati i od rezidbe voćaka i makije uz obale Sredozemlja. Drugi oblik sječke se dobije glodanjem grana pod istim kutom, pomoću ozubljenog glodala svinutih oštrica noža prema smjeru rotacije glodala. Time se dobiva sječka u obliku blanjevine debljine 0,1 – 0,5 mm, što je prikladnije za kompostiranje nego za loženje kotlova i peći jer se sječki tada smanjuje gustoća u odnosu na drvenu masu od koje je napravljena.

3.2.2. Nedrvna biomasa

Na ogrjevne vrijednosti nedrvne biomase podjednako utječu udio vlage i pepela. Udio pepela u nedrvinim biljnim ostacima može se kretati i do 20%, pa značajno utječe na ogrjevnju vrijednost. Općenito, supstance koje pepeo čini nemaju nikakvu energetska vrijednost.³¹

Uz ostalu nedrvnu masu, u Hrvatskoj bi značajnu važnost mogli imati ostaci žitarica. Iskustva razvijenih zemalja, posebice u Danskoj, pokazuju da je riječ o vrijednom izvoru energije koji se ne smije zanemariti. Naime, nakon berbe kukuruza na obrađenom zemljištu ostaje kukuruzovina, stabljika s lišćem, oklasak i komušina. S obzirom da je prosječni odnos zrna i mase (tzv. žetveni omjer) 53% : 47%, proizlazi da biomase ima približno koliko i zrna. Ako se razluče kukuruzovina i oklasak, tada je njihov odnos prosječno 82% : 18%, odnosno na proizvedenu jednu tonu zrna kukuruza dobiva se i 0,89 tona biomase kukuruza što čine 0,71 tonu kukuruzovine i 0,18 tona oklaska. Nesporno je, međutim, da se tako nastala biomasa mora prvenstveno vraćati u zemlju, pa se preporučuje zaoravanje između 30 i 50% te mase, što znači kako za energetska primjenu ostaje najmanje 30%. Gornja ogrjevna vrijednost nedrvne biomase prikazan je u tablici 7.

³¹ Ibidem, str. 470.

Tablica 7: Gornja ogrjevna vrijednost različite nedrvne biomase

Vrsta nedrvne biomase	H _g , MJ/kg
Bambus	15,85
Ječam, cijela biljka	17,6
Silirani kukuruz	17,1
Kukuruzovina	16,8
Slama uljane repice	17
Pšenica, cijela biljka	16,99
Slama pšenice	17,1

Izvor: Labudović, B. et al.: **Obnovljivi izvori energije**, Energetika marketing, Zagreb, 2002., str. 470.

Iz podataka u tablici vidljivo je da se gornja ogrjevna granica kreće od 15,86 MJ/kg kod bambusa, do 17,6 MJ/kg kod ječma.

3.2.3. Biogoriva

Biogoriva su tekuća ili plinska goriva za potrebe prijevoza, proizvedena iz biomase. Mogu biti proizvedena neposredno iz biljaka ili posredno iz industrijskog, poljoprivrednog otpada te otpada iz domaćinstava.³² U primjeni su tri metode proizvodnje biogoriva. Prva se temelji na spaljivanju suhog organskog otpada (kućanskog otpada, industrijskog i poljoprivrednog otpada, slame, drva i treseta), zatim fermentaciji mokrog otpada (gnojiva životinjskog podrijetla) bez prisutnosti kisika kako bi se proizvelo biogorivo s čak 60% metana, i konačno energija koja se dobiva šumarstvom, odnosno uzgojem brzorastućeg drveća za proizvodnju goriva. Najviše je u upotrebi fermentacija, čiji su produkti dvije najpoznatije vrste biogoriva: alkohol i esteri.

Biogoriva se, općenito, dijele u tri generacija, ovisno o izvoru materijala za proizvodnju, troškovima proizvodnje, cijeni i emisiji CO₂.³³ Prva generacija biogoriva su biogoriva sastavljena je od šećera, škroba, biljnog ulja i životinjske masti, korištenjem

³² Letcher, Trevor M. (ed): **Future energy: Improved, Sustainable and clean options For our planet**, Elsevier Ltd., Amsterdam, 2008., str 41.

³³ Kraljić Roković, M.: **Biomasa i biogoriva**, online:[https://www.fkit.unizg.hr/_download/ repository/biogorivo3_2012.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/biogorivo3_2012.pdf) (7.8.2014.)

konvencionalnih tehnologija. Osnovne sirovine koje se pri tome koriste su: žitarice i sjemenje, poput pšenice koje daju škrob, zatim fermentacijom prelazi u bioetanol. Korištenjem suncokretovih sjemenki dobiva se biodizel. Dakle, biogoriva prve generacije su: bioetanol, biodizel i bioplin. Druga generacija biogoriva su biogoriva dobivena preradom poljoprivrednog i šumskog otpada. Za razliku od prve generacije, biogoriva druge generacije bi trebala reducirati emisiju CO₂, a uz to ne koriste izvore hrane kao temelj proizvodnje i neke vrste osiguravaju bolji rad motora. Biogoriva iz druge generacije su: biohidrogen, biodimetilen (bio-DME), biometanol, dimetilformamid (DMF), HydroThermal Upgrading (HTU), Fisher – Tropsch dizel i mješavine alkohola.³⁴ Biogoriva treće generacije su biogoriva proizvedena iz algi. Na temelju laboratorijskih ispitivanja alge mogu proizvesti i do trideset puta više energije po hektaru zemljišta od žitarica kao što je soja. S rastom cijena fosilnih goriva, rasta zanimanje za uzgoj algi. Jedna od prednosti ovog biogoriva je u tome što je biorazgradivo, tako da je relativno bezopasno za okoliš u slučaju havarija.

Svjetska proizvodnja biogoriva iznosila je u 2013. godini 61,8 mil. toe (1,3 mil. barela na dan), te je u odnosu na 2012. godinu porasla za 6,1%. Proizvodnja biogoriva sudjelovala je s 1,6% svjetske potrošnje goriva. U razdoblju od 2000. do 2013. godine, svjetska proizvodnja biogoriva porasla je prosječno godišnje za 4,3 mil. toe. Sjedinjene Američke Države su najveći proizvođač biogoriva, s proizvodnjom od 28,4 mil. toe u 2013. godini, te sudjeluju s oko 43,5% u ukupnoj svjetskoj proizvodnji biogoriva. Slijedi Brazil s godišnjom proizvodnjom od 15,8 mil. toe i 24,2% udjela u ukupnoj proizvodnji biogoriva u svijetu. Europska unija s 10,7 mil. toe zauzima treće mjesto i u ukupnoj svjetskoj proizvodnji biogoriva sudjeluje sa 16,4%.³⁵

U daljnjem tekstu prezentiraju se svojstva pojedinih biogoriva.

³⁴ Biogoriva, <http://www.izvorienergije.com/biogoriva.html> (30.08.2014.)

³⁵ BS Statistical Review of World Energy 2013., op. cit., str. 39.

Bioplin. Pod bioplinom podrazumijeva se plinovito gorivo koje nastaje anaerobnim truljenjem mase, odnosno fermentacijom organskih tvari.³⁶ Najčešće se sastoji od oko 60% metana, 35% CO₂ te 5% smjese vodika, dušika, amonijaka, sumporvodika, CO, kisika i vodene pare. Dobiveni bioplin najčešće se koristi za dobivanje toplinske i/ili električne energije izgaranjem u kotlovima, plinskim motorima ili turbinama.

Njegova su svojstva kao goriva u uskoj vezi s udjelom metana. Ogrjevna vrijednost bioplina izravno je proporcionalna količini metana, a za izgaranje je, zbog ugljičnog dioksida, potrebna manja količina zraka. Ogrjevna vrijednost bioplina kreće se od 25 do 26 MJ/m³.

Anaerobno truljenje biomase uključuje bakterijsku razgradnju, a odvija se u tri faze:³⁷

- faza hidrolize – za vrijeme hidrolize enzimi razvijaju velike molekule na manje, koje mogu proći kroz bakterijske membrane,
- kisela faza – u ovoj se fazi složene molekule kao što su bjelančevine, masti i ugljikovodici cijepaju s bakterijama u kiselom mediju na organske kiseline, CO₂, vodik i amonijak,
- faza metana – u ovoj fazi se proizvodi metan, djelomično iz CO₂ i vodika, a najviše fermentacijom kiselina i alkohola.

U postrojenju za proizvodnju bioplina sve tri faze se simultano odvijaju, a dominacija jedne faze značajno smanjuje proizvodnju metana.

Plin iz rasplinjavanja. Plin iz biomase može se proizvoditi procesom rasplinjavanja. Ova je metoda poznata već više od 180 godina. Plin nastaje djelomičnim izgaranjem krute biomase u reaktoru s okomitim protjecanjem zraka u koji zrak ulazi odozdo, odozgo ili u sloj u kojem se nalazi kruta biomasa. Smjer strujanja zraka određuje o kojoj se izvedbi generatora radi. Pri rasplinjavanju goriva kruta biomasa se prevodi u gorive plinove koji zadržavaju najveći dio početne gorive vrijednosti.

³⁶ Samardžija, M.: **Prednosti proizvodnje električne energije iz deponijskih plinova na odlagalištu Jakuševac**, ECE, Zagreb, 2012., 3, str. 70.

³⁷ Labudović, B.: op. cit., str. 473 .

Sastav dobivenog plina može se mijenjati ovisno o temperaturi, tlaku, atmosferskim uvjetima i vrsti procesa koji se koristi. Ogrjevna vrijednost plina dobivenog rasplinjavanjem iznosi između 4,5 i 7,5 MJ/m³ normnih pri standardnoj temperaturi i tlaku. Ukupna učinkovitost pri prevođenju krute biomase u plin iznosi do 72%.

Rasplinjavanje biomase provodi se na tri osnovna načina, o čemu ovisi izvedba postrojenja:³⁸

- odozdo – pri rasplinjavanju odozdo nastali se plin provodi kroz najtopliju zonu što dovodi do raspadanja molekula velikih ugljikovodika. S obzirom da je tako nastali plin vrlo visoke temperature, potrebno ga je dodatno ohladiti pri izlazu iz postrojenja,
- odozgo – pri rasplinjavanju odozgo nastali se plinovi vode kroz hladniju zonu prema izvodu iz postrojenja. Zbog toga se velike molekule ugljikovodika ne raspadaju te valja provesti čišćenje dobivenog plina ako se on dalje koristi za spaljivanje,
- u sloju – to je najjednostavniji postupak rasplinjavanja. Gorivo se ubacuje kroz otvor na stijenci reaktora gdje se odmah izlaže struji vrućeg zraka i sloju koji pokreće rasplinjavanje. Neposredan dodir vrućeg materijala sloja i goriva koje se ubacuje osigurava učinkovit prijelaz topline. Uobičajena temperatura nastalog plina je od 700 do 850°C.

Postrojenja za rasplinjavanje koriste se u mnogim zemljama, a procjenjuje se da je upravo rasplinjavanje tehnologija koja će u budućnosti osigurati proizvodnju energije iz biomase u većem opsegu.

Bioetanol. To je etanol proizveden iz biomase i/ili biorazgradljivog dijela otpada, kako bi se koristio kao biogorivo. Može se koristiti u motorima s unutarnjim izgaranjem uz dodavanje benzina ili kao potpuna zamjena. Za proizvodnju bioetanola, mogu se koristiti tri osnovne vrste biomase, i to: šećer (od šećerne trske, melase), škrob (od kukuruza) i celuloza (od drva, poljoprivrednih ostataka. Za proizvodnju etanola veoma su pogodne sirovine bogate šećerima, jer sadrže jednostavne šećere glukoze i fruktoze koji mogu

³⁸ Ibidem, str. 481.

fermentirati izravno u etanol. Sirovine bogate škrobom sadrže velike molekule ugljikovodika koje treba razložiti na jednostavne šećere procesom saharifikacije. To zahtijeva još jednu fazu u procesu proizvodnje što povećava troškove. Ugljikovodici u sirovinama bogatim celulozom sastavljeni su od još većih molekula i trebaju se konvertirati u šećere koji mogu fermentirati kiselim ili enzimatskom hidrolizom. Najznačajnije biljne vrste koje se uzgajaju za proizvodnju etanola su šećerna trska, slatki sirak, cassava i kukuruz.

Etanol se može izravno koristiti u posebno prilagođenim motorima s kompresijskim paljenjem, ako ih se pomiješa s poboljšivačem paljenja. Švedska koristi ovu tehnologiju. Etanol se nadalje može miješati s fosilnim dizelom uz pomoć kootapala ili putem stvaranja emulzije.³⁹

U 2013. godini u svijetu je proizvedeno 23,4 mlrd. galona⁴⁰ (88,7 mlrd. litara) bioetanol. Vodeći svjetski proizvođači – SAD (13.300 mil. galona) i Brazil (6.267 mil. galona) u ukupnoj svjetskoj proizvodnji bioetanol sudjeluju s 83,6%. Europa je s 1.371 mil. galona u 2013. godini sudjelovala s 5,9% u ukupnoj svjetskoj proizvodnji bioetanol.⁴¹

Biodizel. To je komercijalni naziv za metilni ester repičinog ulja. Dobiva se od ulja uljane repice ili recikliranog otpadnog jestivog ulja. Kemijski se opisuje kao monoalkoholni ester. Kroz proces esterifikacije, biljno ulje reagira s metanolom i natrijevim hidroksidom kao katalizatorom te nastaje eter masnih kiselina zajedno s ostalim nusproduktima: glicerolom, gliceridskim talogom i sapunom.

Biodizel se često miješa s običnim dizelskim fosilnim gorivima. Mješavine biodizela i fosilnog dizela nazivaju se B20 (20% biodizela i 80% fosilnog dizela), B5 (5% biodizela i 80% fosilnog dizela), B2 (2% biodizela i 98% fosilnog dizela). Mješavine do 80% biodizela mogu se koristiti bez ikakvih, ili samo s malim izmjenama na postojećim dizelskim motorima, dok su za korištenje 100% biodizela potrebne određene preinake motora.

Biohidrogen. Vrsta je biogoriva koja se uz pomoć ćelija za gorivo može pretvoriti u

³⁹ Jones, R., Rätzsch, T., Buchsbaum, A.: **Biogoriva u Europskoj uniji**, Goriva i maziva, 46, 2007., 4, str. 287.

⁴⁰ 1 galon = 3,78541178 litara

⁴¹ World Fuel Ethanol, Renewable Fuels Association, <http://ethanolrfa.org/pages/World-Fuel-Ethanol-Production> (8.08.2014.)

električnu energiju. Kod proizvodnje biohidrogena uz pomoć fotosintetičkih mikroorganizama potreban je solarni reaktor, kao prozirna zatvorena kutija i neznatni energetski izvor. Elektrokemijska proizvodnja biohidrogena pomoću solarne baterije zahtijeva, međutim, jake energetske izvore. Postoje različiti procesi proizvodnje biohidrogena. Neke od njih su: biofotoliza vode, pomoću mikroalgi ili cjenobakterija, proizvodnja biohidrogena uz pomoć određenih enzima (hidrogenaza, nitrogenaza), proizvodnja pomoću fotosintetskih bakterija, kombinacija fotosintetskih anaerobnih bakterija kod proizvodnje. Sama proizvodnja biohidrogena je najzahtjevnija za okoliš. Budućnost ovog procesa ovisi o poboljšanjima na temelju istraživanja, ali i o ekonomskim zahtjevima, društvenoj prilagodljivosti i razvoju hidrogenskog energetskog sustava.

Bio – DME ili biodimetileter. Ovo biogorivo slično je biometanolu, a može se proizvesti neposredno iz sintetičkog plina. U kemijskoj industriji, DME se proizvodi iz čistog metanola procesom katalitičke dehidracije, kojom se kemijski razdvaja voda od metanola. Takav metanol može se proizvesti iz ugljena, prirodnog plina ili biomase. Često se proizvodnja metanola i DME obuhvaća jednim procesom. U prošlosti se koristio kao zamjena kloroflourkarbonu u sprejevima. Međutim, zbog svoje niske temeprature sagorijevanja i visokog oktanskog broja pogodan je kao gorivo u dizelskim motorima. Iako ne potiče koroziju metala (kao bioetanol i biometanol), DME utječe na određene vrste plastike i gume nakon određenog vremena. Pri sobnoj temperaturi je u plinovitom stanju, a pod tlakom od 5 bara ili na temperaturi nižoj od -25°C prelazi u tekuće stanje.

Biometanol. Ova vrsta goriva može se koristiti kao zamjena nafte u paljenju motora na iskrnu zbog visokog oktanskog broja. Pri njegovoj upotrebi potrebno je uzeti u obzir niski tlak isparavanja, nisku energiju gustoće i nekompatibilnost s materijalima u motoru. Biometanol pomiješan s naftom u omjeru 10–20% može se koristiti u motorima bez potrebe za njihovom modifikacijom.

DMF ili dimetilformamid. To je bezbojna tekućina koja se može miješati s vodom i većinom organskih spojeva. Često se koristi kao otopina u kemijskim reakcijama. Dobiva se procesom reakcije dimetil amina i ugljičnog monoksida pri niskom tlaku i temperaturi. Svoju upotrebu, osim kao gorivo, pronalazi u farmaciji, proizvodnji pesticida, sintetičkih vlakana i sličnih materijala.

HTU dizel. HydroThermalUpgrading (HTU) je tehnologija pretvorbe biogoriva iz izvora kao što je mokra biomasa životinjskog podrijetla. Na temperaturi od 300 do 350°C i visokom tlaku biomasa se pretvara u organsku tekućinu koja sadrži mješavinu ugljikovodika. Nakon procesa katalitičke hidrodeoksigenacije (HDO) može se proizvesti tekuće biogorivo, slično fosilnim gorivima. Za sada je ova tehnologija u primjeni samo u Nizozemskoj, gdje se nalazi pokusni HTU pogon.

Fischer – Tropsch dizel. To je proces katalitičke kemijske reakcije prilikom koje se ugljikov monoksid i vodik pretvaraju u tekući ugljikovodik različitih oblika. Pri tome se koriste tipični katalizatori kao željezo ili kobalt. Osnovni cilj tog procesa je proizvodnja sintetičkih zamjena nafte, prvenstveno ugljena ili prirodnog plina, kako bi se uporabila kao sintetičko ulje za podmazivanje ili sintetičko gorivo.⁴²

Uz razvoj tehnologije za pretvorbu biomase u energiju, biomasa se koristi u različite svrhe. Osnovni cilj je zamjena fosilnih izvora energije i smanjenje ispuštanja štetnih plinova u atmosferu.

3.3. EKOLOŠKI ASPEKT PRIMJENE BIOMASE

Biomasa stvara iste ekološke probleme kao i fosilna goriva. Međutim, korištenjem biomase kao energenta zatvara se ugljični ciklus, pa je biomasa manje štetna od fosilnih izvora energije. Zatvaranje ugljičnog ciklusa znači da biljke koje se koriste za proizvodnju energije iz biomase prilikom rasta uzimaju iz atmosfere određene količine ugljika koji se kasnije vraća u atmosferu izgaranjem biomase. Kod fosilnih izvora energije taj krug nije zatvoren, pa se ugljik se ispušta u atmosferu. Biomasa je, naime, dio zatvorenog ugljičnog kruga. Ugljik iz atmosfere pohranjuje se u biljke, a prilikom spaljivanja ugljik se ponovno oslobađa u atmosferu kao ugljični dioksid. Stoga se ovaj oblik obnovljivog izvora energije, naziva i ugljično neutralno gorivo.

No, ipak svako energetska postrojenje, pa i ono na biomasu ima u određenoj mjeri utjecaj na okoliš. Najznačajniji utjecaj izgaranja biomase su emisije u atmosferu, a u ostale

⁴² Biogoriva, op. cit.

utjecaje ubrajaju se kruti otpad, otpadne vode, maglica od rashladnih tornjeva, vizualni utjecaj i dr.

Problem iskorištavanja biomase je emisija kod nepotpunog izgaranja, kao rezultat: nedovoljnog miješanja goriva i zraka za izgaranje u ložištu, nedostatka kisika, preniskih temperatura izgaranja i prekratkog vremena zadržavanja u ložištu. Glavni produkt nepotpunog izgaranja je ugljični monoksid, a iznos emisije CO je pokazatelj loše kvalitete procesa izgaranja. Kod većih postrojenja na biomasu lakše je regulirati kvalitetu izgaranja pa su emisije CO znatno manje nego kod malih postrojenja. Čestice koje nastaju kao rezultat nepotpunog izgaranja pojavljuju se u obliku čađe, ugljika i kondenziranih težih ugljikovodika (katrani).⁴³ Poliklorirani (dibenzo-p-) dioksidi (PCDD) i (dibenzo)furani (PCDF) nastaju 'de novo' sintezom na temperaturama 180–500°C. Veliki broj čimbenika (uključujući prisutnost bakra kao katalizatora) utječe na njihove emisije, dok je prisutnost klora neophodna. U načelu, ako se ne koristi otpadna biomasa, te su emisije ispod granica opasnih za zdravlje ljudi. No, treba istaknuti da su oni iznimno toksični za ljude i druge žive organizme, ali se njihove emisije mogu reducirati primarnim i sekundarnim mjerama za pročišćavanje dimnih plinova. Nepotpunim izgaranjem biomase u manjoj ili većoj mjeri pojavljuju se i druge tvari koje imaju veći ili manji utjecaj na okoliš i zdravlje ljudi kao što su metan, nemetanski hlapivi organski spojevi, policiklički aromatski ugljikovodici, amonijak i prizemni ozon, iako su njihove emisije zanemarive.

Jedan od problema vezanih uz iskorištavanja drvene biomase je zbrinjavanje pepela. Trenutno se pepeo koji preostaje nakon izgaranja biomase zbrinjava na odlagališta ili reciklira u poljoprivrednoj proizvodnji na poljima ili u šumama. Pri tome troškovi iznose 200–500 eura/toni pepela iz drvene biomase. U svrhu održivosti korištenja biomase minerali iz pepela bi se trebali vraćati u tlo iz kojeg su potekli pri rastu biomase. Međutim, pri tome problem stvaraju teški metali koji se talože u pepelu što ograničava takvu praksu. Za primjenu u poljoprivredi pepeo se mora miješati s gnojivom, a ponekad se dodaje kompostu. Leteći pepeo (iz filtara), u slučaju da analize pokažu karakteristike opasnog otpada (osim pH vrijednosti), treba odvojeno sakupljati i predavati ovlaštenom sakupljaču za zbrinjavanje.

⁴³ Scheider, D. R.: **Ekološki aspekt energetskog iskorištavanja šumske biomase**, ECE, 2012., 2, str. 25.

Kod postrojenja koje koriste kondenzaciju dimnih plinova radi povećanja energetske učinkovitosti (najčešće je riječ o postrojenjima na šumsku biomasu s velikim udjelom vlage) dolazi do djelomičnog otapanja plinovitih i krutih tvari iz pepela u kondenzatu. Teški metali koji na taj način dospijevaju u kondenzat i kondenzatni mulj predstavljaju ekološki problem pa je potrebna obrada, odnosno filtracija.

Otpadnu vodu je potrebno pročišćavati do vrijednosti koje su primjerene za ispuštanje u okoliš. Konačno, buka postrojenja i prometa (transport biomase) također imaju utjecaj na okoliš.

Zaključno se može istaknuti da uz poštivanje principa obnovljivog razvoja (zasadi se onoliko drveća koliko se posiječe) ovaj oblik energije nema značajnog utjecaja na okoliš.

4. ELEKTRANE NA BIOMASU

Biomasa je, poslije velikih hidroelektrana, najznačajniji obnovljivi izvor energije. U prošlosti se uglavnom koristila za dobivanje toplinske energije, a u novije vrijeme je sve zastupljenija izgradnja postrojenja na biomasu za dobivanje električne energije.

4.1. TEHNOLOGIJA ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ BIOMASE

Električna energije iz biomase komercijalno se proizvodi jedino izgaranjem (na rešetki ili različitim izvedbama u fluidiziranom sloju) čime se proizvodi para za pogon motora ili turbina. Iako se para iz biomase može proizvesti s vrlo velikim stupnjem djelovanja, pretvorba u električnu energiju je mnogo manje učinkovita, odnosno stupnjevi djelovanja se kreću od 5 do 10% za postrojenja električne snage od 1 MW, od 10 do 25% za postrojenja električne snage do 1 MW, od 10 do 25% za postrojenja od 1 do 5 MW te od 15 do 30% za postrojenja električne snage veće od 5 MW (tablica 8).

Tablica 8: Pregled tehnologije za proizvodnju električne energije iz biomase

Stroj, tehnologija	Električna snaga, MW	Prosječni ukupni stupnjevi djelovanja, %
Parni motor	0,025 – 2,0	16
Parna turbina (protutlačna)	1 – 150	25
Parna turbina (kondenzacijska s oduzimanjem)	5 – 800	35
Parna turbina (kondenzacijska)	1 – 800	40
Plinski motor	0,025 – 1,5	20
Plinska turbina	1 – 200	35
Rasplinjavanje i kombinirani ciklus	5 – 450	55
Stirlingov motor	od 0,0003 na više	40
Gorive ćelije	od 0,005 na više	70

Izvor: Labudović, B. et al.: **Obnovljivi izvori energije**, Energetika marketing, Zagreb, 2002., str. 508.

Kratak pregled tehnologije izgaranja na rešetki i u fluidiziranom sloju prikazan je u daljnjem tekstu rada.

4.1.1. Tehnologija izgaranja na rešetci

Tehnologija izgaranja na rešetci je tradicionalnija tehnologija. Korištena je duži niz godina i u isto vrijeme se dosta razvila pa su neki nedostaci otklonjeni. Izgaranje se odvija u kotlu. Na kotlu je smještena rešetka na kojoj se nalaze biomasa i otpad. Sam postupak izgaranja je sličan postupku tehnologije izgaranja u fluidiziranom sloju, razlika je samo u pripremanju biomase i otpada za samo izgaranje. Tehnologija izgaranja u rešetci je pogodnija za kruta goriva (poljoprivredni i šumarski ostaci) te za postrojenja manje snage (do 5 MW). Kontrola i regulacija izgaranja se temelje na stvaranju turbulencije što pospješuje sam proces izgaranja. To se izvršava na način da se zrak upuhuje ispod same rešetke. Nedostatak ove tehnologije izgaranja je veća nepotpunost izgaranja nego kod tehnologije fluidiziranog sloja. Nepotpunost izgaranja sama po sebi znači gubitak određene topline. To se može dogoditi zbog nedovoljne homogenosti goriva ili zbog nedovoljne količine zraka u ložištu. Zbog toga je pri samom procesu izgaranja potrebno pronaći ravnotežu između tih parametara jer preveliki pretičak zraka znači da je izgaranje nepotpuno te da je izlazna entalpija dimnih plinova veća nego li je poželjno.

4.1.2. Tehnologija izgaranja u fluidiziranom sloju

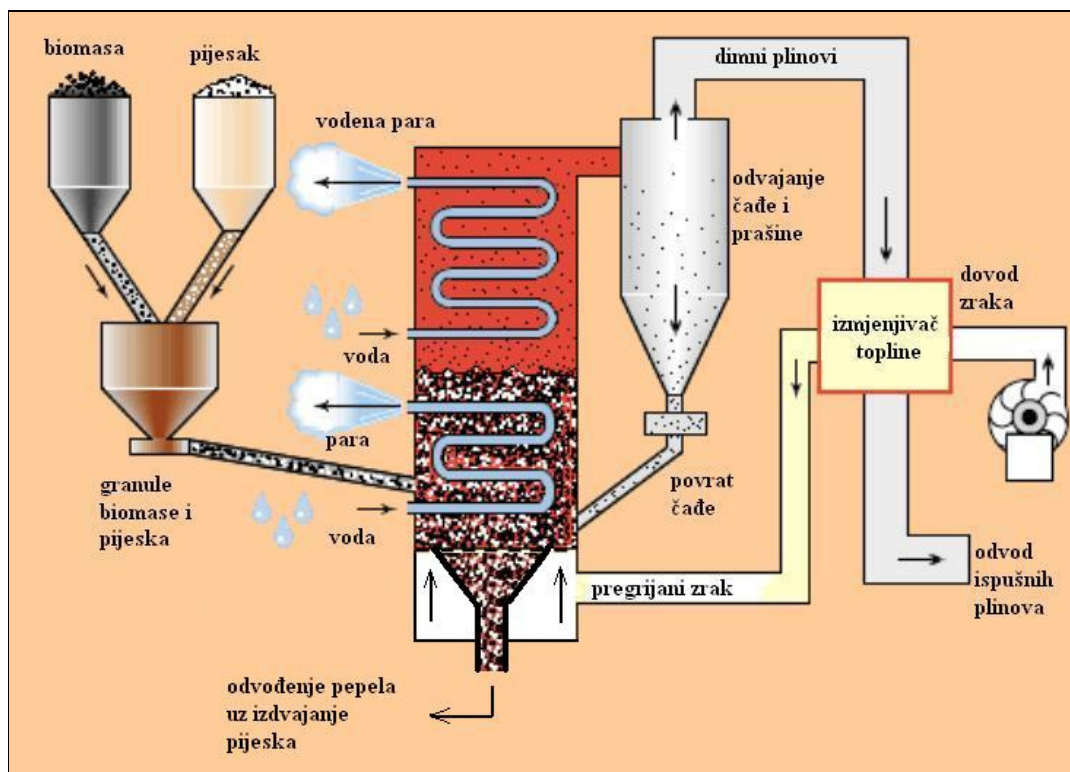
Fluidizacija je proces prostrujavanja sloja čestica čvrste tvari nekom tekućinom (plinom, kapljevinom ili oboje). Dovedena tekućina naziva se fluidizatorom, a nastala mješavina fluidiziranim slojem. Čestice nošene tekućinom se pritom kreću u određenom volumenu, a nastala mješavina ima neke karakteristike homogenih sustava, odnosno i sama se ponaša poput tekućine.

Tehnologija izgaranja u fluidiziranom sloju je naprednija i efikasnija tehnologija izgaranja. U odnosu na tehnologiju izgaranja na rešetci postoji razlika u pripremi samog goriva. Biomasa se miješa s pijeskom kojeg ima više te nastaje granulirani sloj pijeska. Taj sloj se odvodi u kotao gdje se ubacuje predgrijani zrak pod nekim tlakom. S obzirom da pijeska u samom sloju ima više, pod utjecajem predgrijanog zraka granulirani se sloj raspršuje po cijelom prostoru što uzrokuje turbulencije koje pospješuju kontakt goriva sa kisikom. To uzrokuje bolju potpunost izgaranja koja iznosi oko 99% te sveukupnu

korisnost kotla koja je otprilike 90% bez obzira na udio vlage u otpadu i jesu li komponente goriva slične kvalitete ili ne.⁴⁴ Glavni nedostatak ove tehnologije izgaranja je cijena koja je u odnosu na tehnologiju izgaranja na rešetci dosta veća pa se tehnologija fluidiziranog sloja koristi samo u bioelektranama snage preko 5 MW. Gledajući sveukupno, ova tehnologija izgaranja pruža veću fleksibilnost u pogledu zahtjeva na kvalitetu i vlažnost goriva. Kotlovi u kojima se koristi fluidizirani sloj mogu koristiti goriva sa visokom koncentracijom pepela i niskokalorična goriva poput raznih ostataka iz poljoprivredne proizvodnje i ostataka od sječe šuma što dodatno pospješuje fleksibilnost samog tehnološkog procesa.

Prikaz postrojenja za izgaranje biomase u fluidiziranom sloju dan je shemom 1.

Shema 1: Postrojenje za izgaranje biomase u fluidiziranom sloju



Izvor: Izgaranje biomase, http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=Slika:Izgaranje_biomase.JPG (28.08.2014.)

⁴⁴ Energetske transformacije, http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKE_TRANSMFORMACIJE#Tehnologije_izgaranja (28.08.2014.)

Osnovni procesi za proizvodnju električne energije iz biomase su:⁴⁵

- istovremeno spaljivanje ugljena i drvene biomase – u modernim elektranama na ugljen trenutno je energetske najučinkovitiji proces (i do 45%),
- kogeneracija – istovremena proizvodnja toplinske i električne energije,
- integrirano rasplinjavanje biomase u elektranama s plinskim turbinama – komercijalno nije isplativo, osim za integrirani plinski kombinirani ciklus,
- anaerobna digestija u proizvodnji bioplina – razvija se uglavnom u malim primjenama
- biorafinerije – potencijali razvoja kombinirane isplative proizvodnje biokemikalija, električne energije i biogoriva.

U literaturi se nailazi na mišljenje kako bi za proizvodnju električne energije iz biomase trebalo uzgajati energetske biljke na velikim površinama, provoditi masovnu sječu šuma i sl., što bi imalo izrazito negativan utjecaj na okoliš. U stvarnosti se, međutim, električna energija iz biomase proizvodi isključivo u manjim postrojenjima električne snage do 70 MW, najčešće i puno manje, a energija se proizvodi iz otpada i sporednih proizvoda poljoprivrede, šumarstva i drvene industrije. Uz to, biomasa kao gorivo za proizvodnju električne energije može predstavljati samo značajan dodatni, ali ne i najvažniji element elektroenergetskog sustava. Čak i ako se energija proizvodi iz plantažno uzgojnih biljaka, zauzetost zemljišta je relativno mala, a utjecaj na okoliš je bitno manji nego pri uzgajanju uobičajenih poljoprivrednih kultura.

⁴⁵ IEA Energy Technology Essentials: Biomass for Power Generation and CHP, 2007., <http://www.iea.org> (20.08.2014.)

4.2. KOGENERACIJSKA POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ BIOMASE

Kogeneracijska postrojenja za istovremenu proizvodnju toplinske i električne energije predstavljaju najznačajniji način proizvodnje električne energije iz biomase. Ona toplinu dobivenu izgaranjem koriste, dakle, na dva načina, za dobivanje rada i korisne topline. Rad plina na turbini koristi se za dobivanje električne energije koja se onda šalje u mrežu dok se korisna toplina koristi za zagrijavanje vode za grijanje (stambenih prostora, bazena, staklenika i sl. prostora) i za razne tehnološke procese sušenja (koji se odvijaju u prehrambenoj industriji za sušenje voća i povrća i pečenje u procesnoj industriji, ali i u postrojenjima za proizvodnju paleta za sušenje sječki). Osim malih, samostalnih sustava, u sklopu europskih elektroprivrednih tvrtki u primjeni su kogeneracijska postrojenja električne snage veće od 1.200 MW.

Biomasa, kao otpad iz drvne industrije i poljoprivredni i komunalni otpad, koristi se, također, za proizvodnju električne energije u sustavima s konvencionalnom parnom turbinom. U SAD-u je u takvim sustavima instalirano više od 8.000 MW električnih. Iako su takva postrojenja prilično male električne snage, najčešće oko 20 MW, a zahtijevaju razmjerno velike troškove ulaganja, ipak je moguće proizvesti električnu energiju koja je cijenom konkurentna kada su na raspolaganju dovoljne količine jeftine biomase.

U konvencionalnoj (kondenzacijskoj) elektrani na fosilna goriva 40 do 50% ulazne energije goriva pretvara se u električnu, dok se ostali dio ne iskorištava, već se gubi kroz dimnjak putem toplih izlaznih dimnih plinova ili rashladnog medija u sustavu hlađenja. U kogeneracijskim postrojenjima električna energija se proizvodi na isti način kao u klasičnim termoelektranama, osim što se otpadna toplina ne predaje u okolicu putem sustava za hlađenje, već se koristi u toplinarskim sustavima.

Za kogeneracijska postrojenja može se reći da su najučinkovitija i ekološki prihvaćena rješenja za proizvodnju električne i toplinske energije, pri čemu cijena jedinica energije proizvedene u njima može biti i do 40% manja od cijene iz centraliziranih energetske sustava. Osnovna prednost malih kogeneracijskih elektrana u odnosu na odvojenu proizvodnju električne i toplinske energije je smanjenje troškova goriva za proizvodnju navedene energije, a time i smanjenje zagađenja okoliša. Pri odvojenoj

proizvodnji električne i toplinske energije moguće je postići ukupan stupanj djelovanja do 50% (veliki gubici pri odvojenoj proizvodnji električne energije). Ukupni stupanj djelovanja u kogeneracijskim postrojenjima iznosi i do 93%, ali je stupanj djelovanja proizvodnje električne energije općenito manji i za postrojenja na biomasu iznosi od 20 do 30% (tablica 9).

Tablica 9: Komparativni prikaz elektrana, toplana i kogeneracijskih postrojenja

	Elektrana	Toplana	Kogeneracijska postrojenja
Proizvodnja električne energije, u %	40		25
Proizvodnja toplinske energije, u %		85	60
Gubici, u %	60	15	15

Izvor: Labudović, B. et al.: **Obnovljivi izvori energije**, Energetika marketing, Zagreb, 2002., str. 508.

Pored prednosti kogeneracijske proizvodnje energije, korištenjem malih kogeneracijskih elektrana otpada prijenos na veće udaljenosti, jer se toplina i struja proizvode okolišno prihvatljivo u težištima potrošnje. Toplina se predaje izravno u objektu ili u obližnju toplinsku mrežu. Električna energija se također koristi u objektu, a višak se isporučuje u postojeću lokalnu niskonaponsku ili srednjonaponsku mrežu. Prednost malih kogeneracijskih elektrana je i u modularnoj izvedbi, pa se veličina malih kogeneracijskih objekata može prilagoditi porastu potrošnje električne i toplinske energije stupnjevitom izgradnjom odnosno dodatnim modulima. Postojeće toplane i rezervni električni agregati mogu se dograditi, odnosno rekonstruirati u male kogeneracijske elektrane. U prednosti malih kogeneracijskih elektrana mogu se još ubrojiti relativno mala dodatna ulaganja isplativa za nekoliko godina, lokacija je redovito u okviru industrijskog ili javnog objekta što olakšava ishođenje dozvola i kratak rok izgradnje zbog modulne izvedbe.

Potrebno je, također, istaknuti da kogeneracija nije isplativa u svim uvjetima. Ona je isplativa za odgovarajuću kombinaciju potrošnje električne i toplinske energije. Kako je višak električne energije u svakom trenutku moguće prodati elektronaponskom sustavu do snage 5 MW, onda je zapravo toplinsko opterećenje determinirajuće za isplativost malih

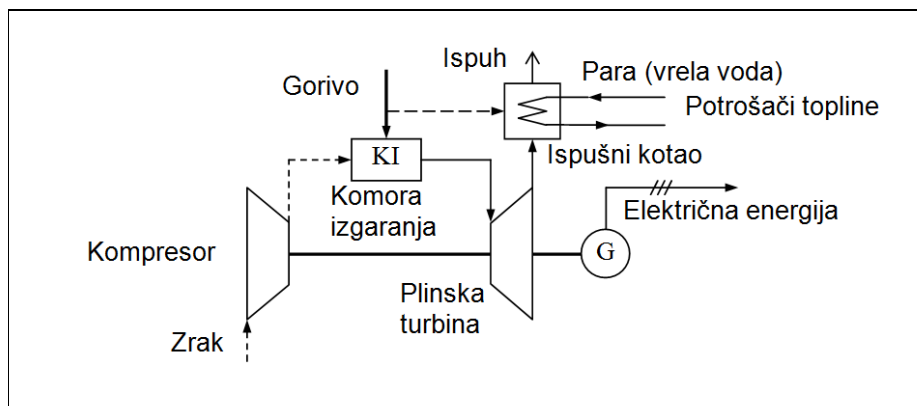
kogeneracijskih elektrana. Ako toplinsko opterećenje traje više od 3.000–5.000 sati godišnje za očekivati je isplativost kogeneracije.

Za energetska primjenu biomase posebno su pogodna mala kogeneracijska postrojenja s:⁴⁶

- plinsko–turbinskim agregatom, za metan, bioplin i sl.,
- parno–turbinskim agregatom, za drvo, slamu i ostalu biomasu krutog stanja,
- gorivim ćelijama, za metan, metanol i sl.

Električna energija u manjim kogeneracijskim postrojenjima na biomasu najčešće se dobiva u **otvorenom plinsko–turbinskim procesu** u kojem je turbina pogonjena zagrijanim zrakom i/ili dimnim plinovima od izgaranja pri povišenom tlaku. Manja postrojenja se često rade u modularnoj izvedbi zbog olakšanog testiranja, transporta, montaže, demontaže i servisa. Na shemi 2 je prikazana shema plinsko–turbinske kogeneracije.

Shema 2: Plinsko–turbinska kogeneracija



Izvor: Zelene vještine za elektrotehniku i strojarstvo, http://zelenevjestine.com/wp-content/uploads/2013/09/Zelene_vjestine_za_elektrotehniku_i_strojarstvo_skripta_Posljednja-verzija.pdf (1.09.2014.)

Plinsko–turbinsku kogeneraciju koriste postrojenja najčešće do 5MW, a postoje dvije vrste otvorenih plinsko-turbinskih procesa: indirektni i direktni.

⁴⁶ Labudović, B. et al.: op. cit., str. 509.

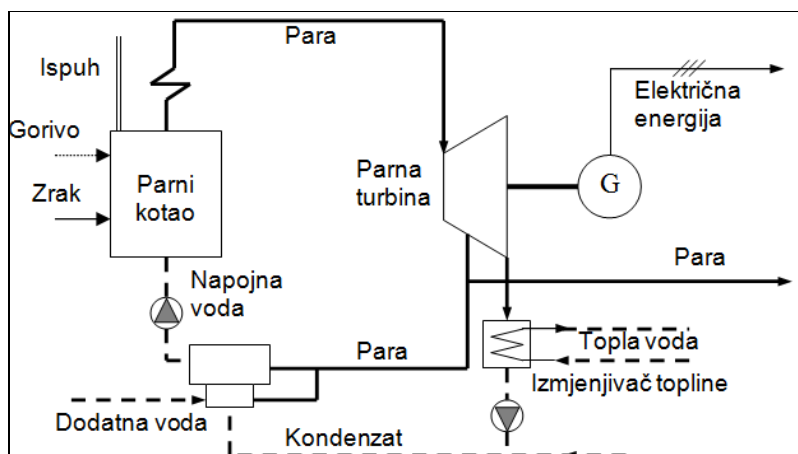
Kod *indirektnog plinsko-turbinskog procesa*, u ložištu se odvija proces izgaranja u kojem se stvaraju dimni plinovi i oslobađa toplina. Nakon izgaranja, dimni plinovi zagrijavaju zrak za turbokompresorsko postrojenje i predgrijavaju zrak koji se upuhuje u ložište i koristi se za izgaranje, jer predgrijan zrak poboljšava izgaranje i povišuje temperaturu u ložištu. Dimni plinovi se djelomice vraćaju u ložište, a ostatak ide van iz ložišta i koristi se za sušenje biomase koja tek treba biti spaljena u ložištu. Zrak koji izlazi iz zagrijača zraka zagrije se na 650-750°C i odlazi u turbopunjač i pokreće kompresor i generator koji su spojeni na isto vratilo. Generator proizvodi električnu energiju, a kompresor tlači vanjski zrak na tlakove 4-6 bar. Zrak nakon kompresora odlazi u regeneratore gdje se predgrijava otpadnim zrakom iz turbine, te takav predgrijan odlazi u zagrijač zraka i nakon toga u turbinu. Time je taj proces završen. Ispušni zrak iz turbopunjača koristi se za grijanje vode koja se kasnije koristi za grijanje prostora ili za tehnološke procese. Prednost ovog procesa je ta što je zrak u turbini vanjski zrak koji je relativno čist i takav ne uništava lopatičje turbine i kompresora što za posljedicu ima dugi vijek trajanja rotora.

Kod *direktnog plinsko-turbinskog procesa*, proces u ložištu je istovjetan indirektnom procesu. Razlika je u tome što se zagrijani zrak koji izlazi iz zagrijača, prije ulaska u turbinu koristi za izgaranje plina ili tekućeg goriva. Nastali dimni plinovi odlaze u turbinu gdje predaju svoju kinetičku energiju turbini. Odatle je proces jednak onome u indirektnom procesu. Ovaj proces se može izvesti i na način da se dimni plinovi iz ložišta biomase šalju u turbinu gdje ekspandiraju i predaju svoju energiju lopaticama, ali sa sobom nose čestice pepela i krutih ostataka izgaranja. Posljedica takvog načina je da se te čestice talože na lopatičju i uzrokuju koroziju na turbini što može dovesti do havarije.

Plinske turbine odlikuju se: velikom učinkovitošću, malim zagađenjem okoliša, velikom pouzdanošću, niskom cijenom izgradnje, potreban je mali prostor, postoji mogućnost modularne izvedbe i kratko je vrijeme do pune snage.

Parno-turbinska kogeneracija zasniva se na protutlačnim ili kondenzacijsko-oduzimnim parnim turbinama, koje u sprezi s električnim generatorom proizvode toplinsku i električnu energiju. Za proizvodnju toplinske energije koristi se toplina od kondenzacije pare, koja bi se inače morala odvesti rashladnom vodom. Na shemi 3 je prikazana parnoturbinska kogeneracija.

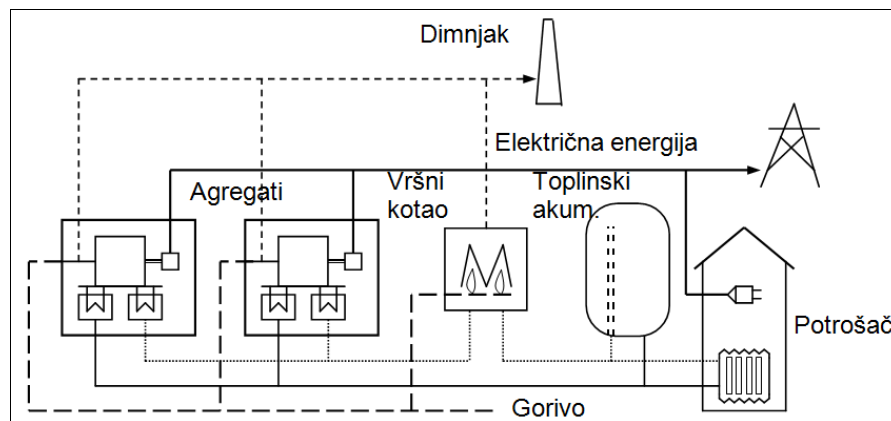
Shema 3: Parno–turbinska kogeneracija



Izvor: Zelene vještine za elektrotehniku i strojarstvo, http://zelenevjestine.com/wp-content/uploads/2013/09/Zelene_vjestine_za_elektrotehniku_i_strojarstvo_skripta_Posljednja-verzija.pdf (1.09.2014.)

Termomotorna kogeneracija zasnovana je na motorima s unutarnjim izgaranjem (otto i dizel), koji u sprezi s generatorima proizvode električnu energiju, a korištenjem otpadne topline ispušnih plinova i rashladne vode proizvode i toplinu u obliku vrele vode i/ili pare. Na shemi 4 prikazana je shema termomotorne kogeneracije.

Shema 4: Termomotorna kogeneracija



Izvor: Zelene vještine za elektrotehniku i strojarstvo, http://zelenevjestine.com/wp-content/uploads/2013/09/Zelene_vjestine_za_elektrotehniku_i_strojarstvo_skripta_Posljednja-verzija.pdf (1.09.2014.)

Termomotori se primjenjuju u širokom rasponu snaga od 10 kW do nekoliko MW. Temperaturna razina korisne topline za primjenu termomotora je do maksimalno 115°C, a najpovoljnije je oko 80°C. Pozitivne osobine termomotorne kogeneracije su: visoka učinkovitost (do 50 %), velika pouzdanost, lako održavanje, mala težina i potrebni prostor, paketna izvedba, dobro ponašanje kod djelomičnih opterećenja, te kratko vrijeme do pune snage. Termomotori za male kogeneracijske elektrane se pojavljuju u dvije osnovne izvedbe: plinski motori i dizel motori. Plinski motori najčešće se primjenjuju za manje jedinice, a koriste sve vrste plinovitih goriva od prirodnog plina do raznih vrsta bioplina. U malim kogeneracijskim elektranama primjenjuju dvije vrste plinskih motora: modificirani automotori i industrijski plinski motori.

Manja kogeneracijska postrojenja imaju smisla u pogledu održivog razvoja i potrošnje energije za razliku od velikih postrojenja, jer manja postrojenja koriste otpadnu biomasu dok bi velika postrojenja za svoje potrebe tražile uzgajanje biomase za dobivanje energije. Takav pristup ima negativne ekonomsko-privredne posljedice i utječe na bioraznolikost.

4.3. ELEKTRANE NA BIOPLIN

Postrojenje za proizvodnju bioplina naziva se digestor. U njemu se događaju različite kemijske i mikrobiološke reakcije, pa je poznat i kao bioreaktor ili anaerobni reaktor. Glavna mu je funkcija pružanje anaerobnih uvjeta. Mora biti nepropustan za zrak i vodu. Može se napraviti od različitih materijala i različitih oblika i veličina, što ovisi uglavnom o sirovini koja se upotrebljava. Sustavi namijenjeni za digestiju tekuće ili čvrste sirovine uglavnom se pune i prazne uz pomoć pumpi. Kompletan digestorski sustav sastoji se od jame za sakupljanje gnojiva, spremnika za miješanje, cijevi za odvođenje, digestora, spremnika i sustava za iskorištavanje plina.

Dobiveni se plin najčešće koristi za dobivanje toplinske i/ili električne energije izgaranjem u kotlovima, plinskim motorima ili turbinama (korištenjem izmeta od 120 krava može se proizvesti dovoljno bioplina za pogon motora snage 50 kW, što je dovoljno za pokrivanje potreba za električnom energijom manjeg sela).

Primjer elektrane na bioplin može se navesti elektrana na bioplin i biomasu Mabjerg u Danskoj. Ovaj koncept termoelektrane zasniva se na održivim energetske rješenjima kojima se iskorištavaju lokalne sirovine. Uz to, projekt spaja različite proizvodnje energije s ciljem povećanja učinkovitosti svake od njih. Rezultat takvog pristupa je istovremeno proizvodnja električne i toplinske energije iz prethodno proizvedenog bioplina, ali i proizvodnja gnojiva od ostataka proizvodnje, a u budućnosti i biogoriva.

U termoelektrani Maabjerg, u bioplinskom postrojenju godišnje se 650.000 tona gnojne i drugih oblika poljoprivredne biomase prerađuje u 18 mil. m³ bioplina. Jedan dio tog bioplina iskorištava se odmah, za potrebe procesa u samom postrojenju, drugi se plinovodima odvodi do toplana u obližnjim naseljima, a treći dio izgara u kotlu termoelektrane proizvedeći električnu i toplinsku energiju za potrebe toplinarskih sustava u obližnjim gradovima Strueru i Holsterbrou.⁴⁷ Kao sirovina za proizvodnju bioplina najvećim se dijelom koristi gnojivka koja se svakodnevno iz 150 farmi u okruženju do postrojenja dovozi kamionima, a nakon što se iskoristi za proizvodnju bioplina, u obliku humusa se istim kamionima vraća na iste te farme gdje služi za obogaćivanje poljoprivrednih površina. Ipak, kako količina gnojivke iz tih, okolnih farmi nije dovoljna, 16 km od postrojenja je izgrađena dodatna prihvatna stanica, od koje se gnojivka cjevovodom dovodi do postrojenja, dok se kroz drugi, usporedni cjevovod iz njega vraća humus. Za proizvodnju bioplina koristi se i otpad organskog podrijetla iz prehrambene industrije (98.000 tona sirutke godišnje).

Postrojenje je izvedeno kao jedinstvena građevina, čime je gradnja bila ekonomski povoljnija, a omogućeno je i smještanje svih tehnoloških procesa na jednom mjestu, čime je istodobno olakšavana kontrola procesa i održavanje. Kako se u neposrednoj blizini nalazi termoelektrana, postrojenje ne obuhvaća kotao čime su dodatno sniženi investicijski troškovi. No, uz samo postrojenje nalazi se mali spremnik kako bi se mogao prihvatiti sav plin iz maksimalne proizvodnje u vremenu 5–6 sati.

Osim tako proizvedenog bioplina, kao goriva u elektrani jednim dijelom se koristi i obrađeni komunalni otpad i to u količinama oko 50.000 tona godišnje. Pri tome se otpad uz primjenu enzimske katalize razdvaja na tekuću i krutu fazu koja se može izravno koristiti

⁴⁷ Tako se to radi u Danskoj, <http://limun.hr/main.aspx?id=969122&Page=1> (17.8.2014.)

kao gorivo u kotlovima ili se pak, ako je potražnja za energentom manja, uskladištiti za kasnije.⁴⁸ Projekt bi u budućnosti trebao zaokružiti gradnju postrojenja za proizvodnju bioetanolu ukupnog kapaciteta 73 mil. titara (do 2016. godine). Dopriskom cijelog projekta, termoelektana bi trebala proizvoditi električnu energiju za pokrivanje potreba 25.000 kućanstava i toplinsku energiju za pokrivanje potreba 20.000 kućanstava. Pri tome će se kao sirovina za razne energetske pretvorbe trošiti 400.000 t slame, 650.000 t poljoprivredne biomase i 50.000 komunalnog otpada godišnje. Očekuje se da bi se takvoj proizvodnjom energije emisija ugljičnog dioksida smanjila za 434.000 tona godišnje.

4.4. ELEKTRANE NA DEPONIJSKI PLIN

Osim navedenog načina dobivanja bioplina iz biomase, bioplin je također moguće dobiti i iz deponijskog otpada na suvremenim uređenim deponijama procesom takozvane anaerobne hladne obrade otpada. U industrijskim zemljama nastaje 300–400 kg smeća godišnje po osobi. Na svakom odlagalištu otpada, s obzirom na lokalitet, vrstu odnosno građu otpada te pripadajuće aerobne i anaerobne procese razgradnje, stvara se deponijski plin. On često može mijenjati sastav pod utjecajem vanjskih komponenti te je zbog eksplozivnosti i zapaljivosti nužno spriječiti njegovu nekontroliranu migraciju. Stoga suvremeno deponiranje otpada podrazumijeva sakupljanje plina sa što većim obuhvatom, njegovo zbrinjavanje, odnosno predobradu (odvajanje kondenzata, čišćenje itd.) te eventualno iskorištavanje njegove ogrjevne vrijednosti.⁴⁹ U središtu deponije nastaje nadpritisak, pa deponijski plin prelazi u plinske sonde sabirnog sustava. Prosječan sastav deponijskog plina je 35-60 % metana, 37-50 % ugljikovog dioksida i u manjim količinama se mogu naći ugljikov monoksid, dušik, sumporvodik, fluor, klor, aromatični ugljikovodici i drugi plinovi u tragovima.

Elektrane na deponijski plin podrazumijevaju postavljanje vertikalnih perforiranih cijevi u tijelo deponije (bunari, trnovi, sonde) i njihovo vodoravno povezivanje. U kompresoru deponijski plin se isisava, suši i usmjerava ka plinskom motoru. Iz sigurnosnih

⁴⁸ Ibidem.

⁴⁹ Samardžija, M.: **Prednosti proizvodnje električne energije iz deponijskih plinova na odlagalištu Jakuševac**, ECE, 2012., 3., str. 70.

razloga preporučuje se ugradnja visokotemperaturne baklje koja preuzima viškove plina. Deponijski plin sa prosječnim sadržajem metana od 50 % ima donju toplinsku vrijednost $H_u = 5 \text{ kWh/Nm}^3$, što ga čini dobrim gorivom za pogon plinskih motora specijalno razvijenih za ovu namjenu. Plinski motor pokreće električni generator za proizvodnju električne energije. Putem izmjenjivača topline, dobije se toplinska energija iz vode koja hladi motor i ulje za podmazivanje, kao i iz ispušnih plinova. Kod kombinirane upotrebe električne i toplinske energije postiže se visok stupanj korisnosti ovih uređaja. To znači da se iz 1 m^3 deponijskog plina ($H_u = 5 \text{ kWh/Nm}^3$) dobije 2 kWh električne energije i 2,15 kWh toplinske energije.

Dobivena električna energija koristi se za vlastite potrebe ili se predaje u električnu. Proizvedena toplina koristi se na deponiji za proizvodnju tople vode, u staklenicima i plastenicima za proizvodnju ranog povrća i cvijeća, u industrijskim pogonima u blizini deponije, ili za grijanje stambenih zgrada kao i kod drugih potrošača toplinske energije.

4.5. STANJE I TREND OVI KAPACITETA ELEKTRANA NA BIOMASU

Procjenjuje se da je 2013. godini kapacitet elektrana na biomasu porastao u svijetu za 5 GW te je na kraju godine ukupno iznosio 88 GW. Bioelektrane u svijetu proizvele su u 2013. godini 405 TWh električne energije uz prosječnu iskoristivost kapaciteta od preko 50%.⁵⁰

Tablica 10: Snaga kapaciteta obnovljivih izvora energije, 2004.-2013. godine

	Ukupno obnovljive energije	Bioelektrane, GW	Proizvodnja električne energije u bioelektranama, TWh
2004.	800	<36	227
2012.	1.400	83	350
2013.	1.560	88	405

Izvor: Renewables 2014 Global Status Report, REN 21, Milano, 2014., str. 15, online: http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014_full%20report_low%20res.pdf (12.08.2014.)

⁵⁰ Renewables 2014 Global Status Report, REN 21, op. cit., str. 33.

Najveći kapacitet elektrana za biomasu u svijetu imaju Sjedinjene Američke Države, a slijede Njemačka, Kina i Brazil (tablica 11). U ostale vodeće zemlje po kapacitetu elektrana na biomasu ubrajaju se Indija, Velika Britanija, Italija i Švedska.

Tablica 11: Vodeće regije/zemlje po kapacitetu elektrana na biomasu u svijetu, 2013. godine

	GW	Udio u %
Svijet – ukupno	88	100,0
EU–28	35	39,8
BRICS	24	27,3
Kina	6,2	281,6
SAD	15,8	18,0
Njemačka	8,1	9,2
Španjolska	1	1,1
Italija	4	4,5
Indija	4,4	5,0

Izvor: Izračun autora prema: Renewables 2014 Global Status Report, REN 21, Milano, 2014., str. 106, online: http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014_full%20report_low%20res.pdf (12.08.2014.)

SAD je tijekom 2013. godine povećao snagu bioelektrana za 0,8 GW, te je ukupno imao na kraju 2013. godine 15,8 GW. Neto proizvodnja električne energije u SAD-u porasla je za 3,9% u usporedbi s 2012. godini, na 60 TWh. Kruta biomasa čini dvije trećine ukupne sirovine za proizvodnju električne energije, a ostalo je deponijski plin (16%), organski otpad (12%) te druge vrste otpada (6%).

Brazil je u 2013. godini povećao svoj kapacitet bioelektrana za 10%, s 10,8 na 11,4 GW. Električna energija proizvedena iz šećerne trske sudjelovala je sa 7% u ukupnoj proizvodnji električne energije Brazila, što je povećanje od 6,7% u odnosu na 2012. godinu, a udio proizvodnje iz crnog luga porasla je za 1,1% (s nešto manje od 1%).

U razdoblju od 2005. do 2010. godine broj elektrana za biomasu u Europi je gotovo udvostručen. Povećan je za 350 s kapacitetom većim od 2,0 GW, a očekuje se daljnji rast instalirane snage biomase za 2,9 GW do 2013. godine, posebice u Francuskoj i Velikoj Britaniji. U 2010. godini u Europi je 800 elektrana na biomasu u 23 zemlje pretvaralo toplinsku energiju dobivenu spaljivanjem drva, crnog luga ili druge biomase u električnu

energiju. Električna snaga postrojenja za biomasu u Europi porasla je s 5,3 GW u 2003. godini na 7,1 GW u 2008. godini.⁵¹ U 2013. godini Europska unija je povećala svoj kapacitet elektrana na biomasu za oko 34,5 GW. U ukupnom broju novih elektrana u Europskoj uniji, elektrane na biomasu sudjelovale su s 5%. Proizvodnja električne energije iz biomase porasla je za 7,9% u odnosu na 2012. godinu, na 79 TWh. Njemačka je povećala kapacitet elektrana na biomasu za više od 0,5 GW, na tek nešto više od 8 GW na kraju 2013. godine. Švedska je generirala oko 10% ukupne proizvodnje električne energije iz bioelektrana, a glavna sirovina za proizvodnju električne energije je kruta biomasa.

Većina drvnih paleta kojima se trguje na globalnom tržištu koristi se za proizvodnju električne energije. U Europskoj uniji, najveći dio potražnje paleta odnosi se na grijanje stambenih prostora, ali je prisutna velika i rastuća potražnja za uvozom drvenih paleta za proizvodnju električne energije. Kako bi udovoljila potražnji, Europska unija je u 2013. godini uvezla 4,6 mil. tona drvenih paleta. Oko 75% ukupnog uvoza je iz Sjeverne Amerike (porast u odnosu na 2012. godinu kada je iznosio 55%), a veći dio ostalog dijela je iz Rusije i istočne Europe.

Korištenje bioplina za proizvodnju električne energije također je u porastu u Europi. Do kraja 2012. godine, više od 13.800 elektrana na bioplin, s ukupno instaliranim kapacitetom od 7,5 GW bilo je u pogonu. Njemačka je u razdoblju od 2009. do 2011. godine imala ubrzani rast broja elektrana na bioplin, a još uvijek dominiraju tržištem. U Švedskoj je, također, prisutan rast udjela elektrana na bioplin. To je rezultat povećanja promocije biomase i naknada za električnu energiju koja se uključuje u mrežu za električnu energiju i biomase. Zemlje članice Europske unije nastoje svojim energetske programima, a s obzirom na protokol iz Kyota i direktiva obnovljivih izvora energije povećati udio električne energije dobivene iz biomase. Naime, to je jedini izvor obnovljive energije koji ne ovisi o vremenskim uvjetima, te jamči stabilnu proizvodnju energije.

U Kini je kapacitet elektrana na biomasu posljednjih godina imao ubrzan rast, no on je usporen u posljednje vrijeme zbog ograničene dostupnosti prikladne biomase. Do kraja 2013. godine kapacitet elektrana na biomasu iznosio je 6,2 kW. Većinu sirovina čini poljoprivredna i šumska biomasa, uključujući 1,7 GW bioplina, 1, 2 GW iz plinifikacije

⁵¹ The Market for Biomass Power Plants in Europe, <http://www.ecoprog.com> (17.08.2014.)

mulja i biomase, 0,3 GW velike bioplinare, i drugi izvori. Indija je, također, bila jedan od vodećih tržišta u proizvodnji električne energije iz biomase u 2013. godini. Povećala je kapacitet elektrana za 0,4 GW, uglavnom u kogeneracijskim postrojenjima, do ukupno više od 4,4 GW. Međutim, povećanje kapaciteta elektrana u Indiji smanjeno za 50% u odnosu na povećanje u 2012. godini, te je bilo manje za oko 10% u odnosu na nacionalni cilj.

U ostalom dijelu Azije, Japan je povećao kapacitet elektrana na biomasu za 0,1 GW pod novim poticajnim tarifama, do predviđenih 3,4 GW na kraju 2013. godine. U Tajlandu je proizvodnja električne energije iz biomase, uključujući i bioplin imala rapidan rast u posljednjem desetljeću, a rast je nastavljen s novim kapacitetima u izgradnji. U 2013. godini potpisan je ugovor za izgradnju elektrane na otpad kokosa (lupine, školjke, lišće i ostaci). Potražnja za bioelektranama, također, potiče obnovu starih i transformaciju elektrana na ugljen i njihovo pretvaranje u 100% elektrane na biomasu. Ekspanzija je prisutna i u SAD-u i u drugim razvijenim zemljama. Međutim, zabrinutost oko revidiranog regulatornog okvira i politike u Velikoj Britaniji rezultirala je zaustavljanjem planova o pretvaranju postojećih postrojenja na ugljen u bioenergiju.

Pretvorba elektrana na fosilna goriva u postrojenja koja omogućavaju izgaranje različitih sirovina krute biomase i bioplina/deponijskog plina također je u porastu. Od 2013. godine oko 230 postojećih komercijalnih elektrana na ugljen i prirodni plin te kogeneracijska postrojenja trebala bi biti pretvorena u elektrane na biomasu, uglavnom u Europi i SAD-u, ali i u Aziji, Australiji i drugim zemljama.

Potencijal biomase u Republici Hrvatskoj sadržan je u drvnoj biomasi iz poljoprivrede te uzgoju drvene biomase. Tome treba dodati i drvnu biomasu koja se dobiva sječom drva kod održavanja vodoprivrednih i elektroprivrednih objekata. Prema Strategiji energetskog razvoja Republika Hrvatska je postavila cilj da u 2010. godini upotrebljava oko 15 PJ energije iz biomase, a u 2020. godini, oko 26 PJ. Dio te biomase upotrebljavati će se u brojnim elektranama na biomasu ukupne snage u 2020. godini od oko 85 MW. Radi povećanja energetske učinkovitosti prednost će imati postrojenja s proizvodnjom električne i toplinske energije u zajedničkom procesu.⁵²

⁵² Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske, op. cit., str. 3237.

Instalirani kapaciteti za proizvodnju toplinske energije iz biomase u 2009. godini iznosili su u Hrvatskoj 513,65 MW, a instalirana električna snaga 5,59 MW, te su u ukupnoj instaliranoj snazi toplinske energije iz obnovljivih izvora sudjelovali s 84,3% odnosno instaliranoj električnoj snazi s 29,2%. Proizvodnja primarne energije iz biomase i otpada pokazuje rast u razdoblju od 2000. do 2009. godine, no po znatno manjoj stopi od one u Europskoj uniji. U 2009. godini Hrvatska je proizvela 405 toe primarne energije iz biomase i time u odnosu na 2000. godinu ostvarila rast od 8,3% ili prosječno godišnje 0,9%.⁵³ U 2012. godini proizvodnja primarne energije iz ogrjevnog drva i biomase iznosila je 29,17 PJ, što je povećanje u odnosu na 2011. godinu za 9,1%. U ukupnoj proizvodnji primarne energije sudjelovala je s udjelom od 16,5%.⁵⁴

Pozitivan trend prisutan je u proizvodnji električne energije iz biomase (tablica 13).

Tablica 12: Proizvodnja električne energije iz biomase u Republici Hrvatskoj, 2007.-2009. godine

	Ukupno obnovljivi izvori, GWh	Biomasa, GWh	Verižni indeks	Udio biomase u ukupnom, u %
2007.	178,69	7,09	-	4,0
2008.	155,86	21,1	197,6	13,5
2009.	178,69	24,9	118,0	13,9

Izvor: Izračun autora prema: Energija u Hrvatskoj 2007., Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Zagreb, 2008., str. 212. Energija u Hrvatskoj 2008., Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Zagreb, 2009., str. 212. i Energija u Hrvatskoj 2009., Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Zagreb, 2010., str. 212.

U 2012. godini je na području Republike Hrvatske bilo 12 elektrana na biomasu i bioplin/deponijski plin (tablica 13).

⁵³ Eurostat, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=ten00082&language=en> (10.08.2014.)

⁵⁴ Energija u Hrvatskoj 2012., Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 2013., str. 43., online: https://www.eihp.hr/hrvatski/projekti/EUH_od_45/EUHweb12.pdf (1.9.2014.)

Tablica 13: Elektrane na biomasu i bioplin/deponijski plin u Republici Hrvatskoj, 2012. godine

Elektrana	Vrsta	Instalirana snaga (MW)	Predano u mrežu 2012. godine (GW)	Gorivo
mTEO Jakuševac, Zagreb	plinska turbina	2,036	0	deponijski plin
ZOV (Zagrebačke otpadne vode)	plinski motor	2,5	0,063	bioplin
Osatina Grupa d.o.o. Ivankovo	plinski motor	1,00	7,43	bioplin
Osatina Grupa d.o.o. Tomašanci	plinski motor	1,00	8,18	bioplin
Bovis d.o.o.	plinski motor	1,00	8,07	bioplin
Univerzal d.o.o. Varaždin	plinski motor	2,74	12,2	biomasa
Strizivojna Hrast d.o.o.	parna turbina	3,366	15,78	bioplin
Farma Tomašanci d.o.o.	plinski motor	1,00	7,89	bioplin
Mala Branjevina 1	plinski motor	1,00	3,42	bioplin
Mala Branjevina 2	plinski motor	1,00	5,07	bioplin
Rosulje	plinski motor	0,135	0,075	bioplin
Landia – Gradina	plinski motor	1,00	1,52	bioplin
Lika Energo Eko	plinska turbina	1,00	3,92	bioplin
Ukupno		18,777	73,618	

Izvor: Energija u Hrvatskoj 2012., Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 2013., str. 43., online: https://www.eihp.hr/hrvatski/projekti/EUH_od_45/EUHweb12.pdf (1.9.2014.)

Istraživanja pokazuju da Hrvatska koristi samo manji dio raspoložive biomase, iako je to zemlja s izrazitim potencijalom biomase za proizvodnju energije. Proizvodnjom energije iz biomase i otpada moglo bi se do 2020. godine osigurati oko 15% ukupne potrošnje primarne energije za što Hrvatska ima realne mogućnosti. Tome, međutim, ne ide u prilog zakonska regulativa, prema kojoj je za izgradnju energane na biomasu potrebno 50 različitih dozvola.

5. ZAKLJUČAK

U skladu s temeljnim odrednicama smanjenja emisije štetnih plinova u atmosferu u skladu s protokolom iz Kyota razumljiv se čini povećanje udjela proizvodnje električne energije u svijetu iz obnovljivih izvora, kao što su Sunčeva energija, vjetar, termoenergija, hidroenergija, biomasa i dr.

Biomasa je najstariji izvor energije kojim su ljudi ovladali, a koji se, pored velikog društvenog razvoja, i dalje najčešće upotrebljava u iste svrhe kao i prije tisuću godina, za grijanje u domaćinstvu. Raste, međutim, i uporaba biomase u druge svrhe, posebice u proizvodnji električne energije te tekućih pogonskih goriva za vozila.

Biomasa kao obnovljivi izvor energije predstavlja kompleksan pojam kojim su obuhvaćeni biorazgradivi dijelovi proizvoda, otpada ili ostataka iz poljoprivrede, šumskog otpada i otpada srodnih industrija, kao i biorazgradivi dijelovi industrijskog i gradskog otpada. Biomasa čine proizvodi biljnog i životinjskog svijeta; neiskorišteni dijelovi šumarsko-drvene industrije, poljoprivredne proizvodnje, prehrambene industrije, komunalnog otpada organskog podrijetla i sl. osnovna svojstva biomase

Biomasa je dio zatvorenog ugljičnog kruga. Ugljik iz atmosfere pohranjuje se u biljke, prilikom spaljivanja ugljik se ponovno oslobađa u atmosferu kao ugljični dioksid. Dok god se poštuje princip obnovljivog razvoja, ovaj oblik dobivanja energije nema značajnog utjecaj na okoliš. No, ipak ono može doprinijeti globalnom zagrijavanju. To se događa kad se poremeti ravnoteža sječe i sađenja drveća, npr. Krčenje šuma ili urbanizacije zelenih površina. Kada se biomasa koristi kao gorivo umjesto fosilnih goriva ono ispušta jednaku količinu CO₂ u atmosferu. Međutim, za razliku od fosilnih goriva, korištenjem biomase kao energenta zatvara se ugljični ciklus, pa je biomasa manje štetna od fosilnih izvora energije. Najznačajniji utjecaj izgaranja biomase su emisije u atmosferu, a u ostale utjecaje ubrajaju se kruti otpad, otpadne vode, maglica od rashladnih tornjeva, vizualni utjecaj i dr.

Osim za dobivanje toplinske energije, u posljednje vrijeme je sve prisutniji trend proizvodnje električne energije iz biomase. Električna energije iz biomase komercijalno se proizvodi jedino izgaranjem (na rešetki ili različitim izvedbama u fluidiziranom sloju) čime se proizvodi para za pogon motora ili turbina. Posebno su značajna kogeneracijska

postrojenja koja se koriste za istovremenu proizvodnju toplinske i električne energije. Ona toplinu dobivenu izgaranjem koriste, dakle, na dva načina, za dobivanje rada i korisne topline. Za energetske primjene biomase posebno su pogodna mala kogeneracijska postrojenja s: plinsko–turbinskim agregatom (za metan, bioplin i sl.), parno–turbinskim agregatom (za drvo, slamu i ostalu biomasu krutog stanja) te gorivim ćelijama (za metan, metanol i sl.).

Osim elektrana na krutu biomasu u uporabi su i elektrane na bioplin i deponijski plin. Postrojenje za proizvodnju bioplina naziva se digestor. Dobiveni se plin najčešće koristi za dobivanje toplinske i/ili električne energije izgaranjem u kotlovima, plinskim motorima ili turbinama. Bioplin je, također, moguće dobiti i iz deponijskog otpada na suvremenim uređenim deponijama procesom takozvane anaerobne hladne obrade otpada. Dobivena električna energija iz elektrane na deponijski plin koristi se za vlastite potrebe deponija ili se predaje u električnu energiju.

Zanimanje za proizvodnju električne energije iz elektrana na biomasu, bioplin i deponijski plin u razvijenim zemljama pokazuje tendenciju rasta. Tako je u 2013. godini kapacitet elektrana na biomasu u svijetu iznosio 88 GW, te u ukupnom kapacitetu obnovljivih izvora energije sudjeluje s udjelom od oko 5,6%.

Potencijal biomase u Republici Hrvatskoj sadržan je u drvnj biomasi iz poljoprivrede te uzgoju drvene biomase. U 2012. godini Hrvatska je imala 18,7777 MW instalirane snage elektrana na biomasu i bioplin/deponijski plin s proizvodnjom električne energije predane električnoj mreži od 73,618 GW. Istraživanja pokazuju da Hrvatska koristi samo manji dio raspoložive biomase, iako je to zemlja s izrazitim potencijalom biomase za proizvodnju energije.

Tehnološki razvoj i istraživanja u području primjene biomase rezultirati će u budućnosti rastom kapaciteta elektrana na biomasu i proizvodnje električne energije iz biomase.

POPIS LITERATURE

1) Knjige

1. Labudović, B. et al.: *Obnovljivi izvori energije*, Energetika marketing, Zagreb, 2002.
2. Letcher, Trevor M. (ed): *Future energy: Improved, Sustainable and clean options For our planet*, Elsevier Ltd., Amsterdam, 2008.
3. Paar, V.: *Energetska kriza, Gdje (ni)je izlaz*, Školska knjiga, Zagreb, 1984.

2) Članci

1. Bašić, A., Rovčanin, A.: *Finansijski efekti uvođenja kosagorijevanja uglja i drvne biomase u termoelektrani Kakanj*, Poslovni konsultant, 6, 2014, 32, str. 28–47.
2. Jones, R., Rätzsch, T., Buchsbaum, A.: *Biogoriva u Europskoj uniji*, Goriva i maziva, 46, 2007., 4, str. 281–306.
3. Kalea, M.: *Prednosti i nedostaci nekonvencionalnih izvora energije*, Ece, Zagreb, 9, 2009., 4, str. 4–7.
4. Samardžija, M.: *Prednosti proizvodnje električne energije iz deponijskih plinova na odlagalištu Jakuševac*, ECE, Zagreb, 2012., 3, str. 70–72.
5. Scheider, D. R.: *Ekološki aspekt energetske iskorištavanja šumske biomase*, ECE, 2012., 2, str. 24–29.

Ostali izvori:

6. An energy policy for Europe, Commission of The European Communities, Brussels, 2007.
7. Biogoriva, <http://www.izvorienergije.com/biogoriva.html> (30.08.2014.)
8. BS Statistical Review of World Energy 2010., BS, London, 2010., str. 3., online: http://bakerinstitute.org/media/files/event/fb8a8c2c/BP_SR_2011_-US-_secured.pdf (2.08.2014.)
9. BS Statistical Review of World Energy 2013., BS, London, 2014., str. 38., online: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf> (2.08.2014.)
10. Energetika, <http://bs.wikipedia.org/wiki/Energetika> (27.08.2014.)

11. Energetske transformacije, http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKE_TRAN SFORMACIJE#Tehnologije_izgaranja (28.08.2014.)
12. Energija u Hrvatskoj 2007., Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Zagreb, 2008.
13. Energija u Hrvatskoj 2008., Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Zagreb, 2009.
14. Energija u Hrvatskoj 2009., Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Zagreb, 2010.
15. Energija u Hrvatskoj 2012., Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 2013., online: https://www.eihp.hr/hrvatski/projekti/EUH_od_45/EUHweb12.pdf (1.9.2014.)
16. Energija, <http://energetika-net.hr/skola/energetika/energija-energetika-opcenito/vrste-energije> (3.08.2014.)
17. Energy 2020 – A Strategy for Competitive, Sustainable and Secure Energy, European Commission, Publication Office of the European Union, Luxembourg, 2011.
18. Energy, transport and environment indicators, Eurostat Pocketbooks, European Commission, Luxembourg, 2009.
19. Eurostat, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=ten00082&language=en> (10.08.2014.)
20. Global Wind 2013 Report, Global Wind Energy Council, Brussels, 2014. online: http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/04/GWEC-Global-Wind-Report_9-April-2014.pdf (19.08.2014.)
21. IEA Energy Technology Essentials: Biomass for Power Generation and CHP, 2007., <http://www.iea.org> (20.08.2014.)
22. Kraljić Roković, M.: *Biomasa i biogoriva*, online: https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/biogorivo3_2012.pdf (7.8.2014.)
23. Masson, G. (ur.): *Global market outlook, For Photovoltaics 2014–2018*, European Photovoltaic Industry Association, GeoModel Solar, 2014, online: http://www.epia.org/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=/uploads/tx_epiapublications/EPIA_Global_Market_Outlook_for_Photovoltaics_2014-2018_-_Medium_Res.pdf&t=1410811306&hash=8b3a6574c84d6ebf5325eccf61e3fcd669678323 (19.08.2014.)

24. Portal croenergo.eu, <http://www.croenergo.eu/Hrvatsku-pogoni-867-elektrana-na-obnovljive-izvore-energije-21721.aspx> (20.08.2014.)
25. Prilagodba i nadogradnja Strategije energetskog razvoja Republike Hrvatske, Nacrt Zelene knjige, Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Program Ujedinjenih naroda za razvitak (UNDP), Zagreb, 2008.
26. Primarna energija, <http://www.gradimo.hr/Primarna-energija/hr-HR/12239.aspx> (3.08.2014.)
27. Renewables 2014 Global Status Report, REN 21, Milano, 2014., online: http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014_full%20report_low%20res.pdf (12.08.2014.)
28. Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske, Narodne novine, Zagreb, 2009., 130.
29. Tako se to radi u Danskoj, <http://limun.hr/main.aspx?id=969122&Page=1> (17.8.2014.)
30. The Market for Biomass Power Plants in Europe, <http://www.ecoprogram.com> (17.08.2014.)
31. World Fuel Ethanol, Renewable Fuels Association, <http://ethanolrfa.org/pages/World-Fuel-Ethanol-Production> (8.08.2014.)
32. Zelene vještine za elektrotehniku i strojarstvo, http://zelenevjestine.com/wp-content/uploads/2013/09/Zelene_vjestine_za_elektrotehniku_i_strojarstvo_skripta_Posljednja-verzija.pdf (1.09.2014.)
33. Zelenko, I.: *Iskorištavanje energije Sunca u energetici*, online: <http://www.obnovljivi.com/energija-sunca/51-iskoristavanje-energije-sunca-u-energetici> (4.08.2014.)

POPIS TABLICA

Redni broj	Naslov tablice	Stranica
1.	Oblici primarne energije prema obnovljivosti i konvencionalnosti primjene	7
2.	Instalirana snaga vjetroelektrana u svijetu, 2012. i 2013. godine	15
3.	Investicije i snaga kapaciteta obnovljivih izvora energije, 2004.-2013. godine	19
4.	Proizvodnja primarne energije iz obnovljivih izvora i po zemljama članicama EU-28, 2001.-2012. godine	23
5.	Broj elektrana i instalirana snaga u sektoru obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj, 2007.-2013. godine	26
6.	Usporedba drva s drugim gorivima	29
7.	Gornja ogrjevna vrijednost različite nedrvne biomase	31
8.	Pregled tehnologije za proizvodnju električne energije iz biomase	40
9.	Komparativni prikaz elektrana, toplana i kogeneracijskih postrojenja	45
10.	Snaga kapaciteta obnovljivih izvora energije, 2004.-2013. godine	52
11.	Vodeće regije/zemlje po kapacitetu elektrana na biomasu u svijetu, 2013. godine	53
12.	Proizvodnja električne energije iz biomase u Republici Hrvatskoj, 2007.-2009. godine	56
13.	Elektrane na biomasu i bioplin/deponijski plin u Republici Hrvatskoj, 2012. godine	57

POPIS GRAFIKONA

Redni broj	Naslov grafikona	Stranica
1.	Specifičnosti emisija fosilnih goriva	9
2.	Specifična emisija pri proizvodnji struje iz pojedinih elektrana	10
3.	Instalirani kapaciteti fotonaponskih sustava po regijama svijeta u 2013. godini	14
4.	Potrošnja energije iz obnovljivih izvora u svijetu, 2003.-2013. godine	18
5.	Proizvodnja primarne energije po vrsti energenta u EU-27, 2001.-2012.	22
6.	Struktura proizvodnje primarne energije po vrsti energenta u EU-28, 2001. i 2012. godine	22
7.	Proizvodnja primarne energije u Republici Hrvatskoj, 2001. i 2012. godine	25

POPIS SHEMA

Redni broj	Naslov sheme	Stranica
1.	Postrojenje za izgaranje biomase u fluidiziranom sloju	42
2.	Plinsko-turbinska kogeneracija	46
3.	Parno-turbinska kogeneracija	48
4.	Termomotorna kogeneracija	48
