

Mogućnosti kombinovane proizvodnje toplotne i električne energije sagorevanjem drvnih ostataka

The Possibility of Combined Production of Heating and Electric Energy by Burning Wooden Residues

Gradimir Danon, Mladen Furtula

University of Belgrade, Faculty of Forestry

Apstrakt

U radu se daje predlog potencijalnih korisnika tehnologije kogenerativne proizvodnje toplotne i električne energije iz drvene biomase. To su preduzeća koja se bave preradom drveta i koja imaju velike potrebe za toplotnom energijom sa jedne i određene količine drvene biomase koje mogu da koriste za tu svrhu sa druge strane. Zatim, tu su turistički centri koji se nalaze u oblastima koje su pokrivene šumom (npr. Kopaonik, Tara, Zlatibor, Goč), koji imaju potrebe za toplotnom energijom, a imaju u neposrednoj bilizini izvor šumske drvene biomase koja može da se koristi u svrhu dobijanja energije.

U radu se analiziraju postojeći kogenerativni sistemi i njihovo moguće korišćenje u potencijalnim situacijama. Tu se određuju količine drveta koje su potrebne za pravilan rad budućih energana. Da bi se obezbedila dovoljna količina drveta potrebno je dosta transportnog i ljudskog rada. Uz to je potrebno ovo drvo osušiti, usitniti, i negde skladištiti pre upotrebe. Nešto povoljnija situacija je ukoliko se za loženje koriste drvni ostaci iz prerade drveta. Oni su već prikupljeni, delimično osušeni i usitnjeni. Iz prethodnog proizilazi da korišćenje drveta, odnosno drvnih ostataka nije jednostavno i da zahteva dosta vremena, rada i novca. Ukoliko se želi ući u veliku i dugoročnu investiciju, kao što je proizvodnja električne energije, potrebno je dobro sagledati sve argumente za i protiv jednog ovakvog posla. Na prvom mestu treba proveriti ekonomsku opravdanost posla, odnosno moguću korist. Onaj ko ulazi u ovaj posao mora da računa i na moguće rizike te je potrebno, proveriti osetljivost investicije na promene zakonskih propisa i uslova na tržištu.

Većina država podržava ovakvu vrstu projekata ali i zahteva da se proverí da li ekološki i socijalni aspekti celog posla zadovoljavaju odgovarajuće propise. Kada se raspoláže sa svim navedenim činjenicama moguće je doneti ispravnu odluku da li treba ući u jednu ovakvu investiciju.

1 Uvod

Biomasa je najstariji obnovljivi izvor energije sa velikim potencijalom. Drvo je bilo osnovni izvor toplotne energije sve do kraja XVIII veka. Drvna biomasa ima i danas veliki udeo u svetskom energetsom bilansu. Razlozi zašto ljudi koriste drvnu biomasu su različiti: nemaština (nemogućnosti nabavke drugih energenata), velike površine pod šumom, zaštita životne sredine i želja za energetsom nezavisnošću. U nerazvijenim zemljama drvo se najviše koristi za kuvanje. U razvijenim prednost ima grejanje stanova, poslovnih prostora i objekata od opšteg značaja. Tradicionalno, drvna biomasa (drvni ostaci) se koriste kao gorivo u kotlovima u pogonima za preradu drveta gde se proizvedena toplota koristi u tehnološkim procesima sušenja, parenja i presovanja. Drvnu biomasu je moguće direktno sagorevati u pećima i kotlovima ili zajedno sa nekim drugim gorivima (obično ugljem). Druga mogućnost je da se biomasa prvo gasifikuje i da se onda proizvedeni gas (singas) iskoristiti za

proizvodnju toplote, sagorevanje u motorima ili turbinama ili za proizvodnju metanola i drugih pogonskih goriva.

Drvena biomasa se može koristiti i za proizvodnju električne energije. Za ovu vrstu proizvodnje postoje i odgovarajući potsticaji u skladu sa Uredbom koju je donela Vlada Srbije [1]. Proces proizvodnje je sličan kao kod termo-centrala na ugalj. Biomasa se sagoreva parnom kotlu i proizvedena vodena para visokog pritiska se koristi za pokretanje parne turbine i generatora električne struje. Postoje i druga tehnička rešenja koja koriste druge radne medijume.

Bez obzira na primenjeno tehničko rešenje energetski stepen iskorišćenja prilikom transformacije toplotne u električnu energiju je relativno mali. Da bi proizvodnja električne energije iz drvne biomase imala i ekonomsko opravdanje potrebno je da se neskorišćena „otpadna“ toplotna energija upotrebi za grejanje, hlađenje ili tehnološke potrebe. Simultana proizvodnja električne i toplotne energije naziva se kogeneracija (dalje u tekstu CHP). Primena procesa kogeneracije ne odnosi se samo na korišćenje biomase kao goriva već i na proizvodnju u toplanama i centralama koje koriste druge vrste goriva.

Proizvođači električne energije, koji koriste simultanu proizvodnju električne i toplotne energije, mogu se podeliti prema instalisanim kapacitetima na:

- Velike kapacitete preko 5 MW_{el}
- Srednje kapacitete od 1 do 5 MW_{el}
- Male kapacitete ispod 1 MW_{el}

Veliki kapaciteti u drvnjoj industriji mogu da budu preduzeća kojima treba preko 120 GWh toplotne energije godišnje, odnosno koji raspolažu kotlovima snage od oko 20 MW, a imaju na raspolaganju više od 60.000 tona drvnih ostataka godišnje. U Srbiji takvih pogona ima veoma malo i to uglavnom onih koji proizvode ploče iverice i pelete. Oni imaju mogućnost da, prema uzoru na slične proizvođače iz Evrope, uz postojeći energetski blok, instaliraju pogone za proizvodnju električne energije i tako povećaju svoju rentabilnost, odnosno energetsku sigurnost. Mogući korisnici mogle bi da budu i toplane u manjim gradovima ili turistički centri, koje inače kao gorivo koriste drvenu biomasu. Prema primeru iz Irske [2] „otpadna toplota“ iz kogenerativnog postrojenja snage 5 MW_{el} ima dovoljno toplotne energije da greje mesto sa oko 20.000 stanovnika.

Srednji kapaciteti za proizvodnju toplotne energije mogu biti instalirani u preduzeća za preradu drveta koja imaju preko 12.000 tona drvnih ostataka godišnje, kao i u gradske toplane za naselja veća od 10.000 stanovnika [2].

Situacija u drvnjoj industriji Srbije je takva da, još od devedesetih godina prošlog veka, dominiraju mala i srednja preduzeća čiji je obim proizvodnje i obim potreba za toplotnom energijom nedovoljan za ugradnju velikih i srednjih kapaciteta. Tu bi se eventualno mogla ugraditi kogeneracijska postrojenja kapaciteta do 1 MW_{el}. U daljem tekstu pažnja je posvećena postrojenjima malog kapaciteta, njihovim tehničkim mogućnostima, potrebnim količinama drvnih ostataka za njihov rad, raspoloživom toplotnom energijom, kao i troškovima investicija, radne snage i održavanja.

2 Konverzija drvnog ostatka u toplotnu energiju

Drvena biomasa se može, uz odgovarajuću pripremu (sitnjenje i sušenje) koristiti za direktno sagorevanje ili proizvodnju gasovitih, odnosno tečnih goriva pa onda njihovo sagorevanje. Pri konverziji biomase u gasovita i tečna goriva koriste se različite tehnologije kao što su piroliza, gasifikacija i fermentacija.

Postoji pet osnovnih tipova direktnog sagorevanja drveta: sagorevanje u sloju, na rešetki, u mehurastom fluidizovanom sloju, u cirkulacionom fluidizovanom sloju i u letu. Osnovni tipovi se mogu dalje deliti na podtipove u zavisnosti od primenjenog tehnoloških rešenja.

Gasifikacija drveta je proces u kome se čvrsta supstanca drveta zagrevanjem u sredini siromašnoj kiseonikom pretvara u zapaljiv gas. Toplotna moć singasa je između 4 i 6 MJ/Nm³. Gasovi dobijeni gasifikacijom drveta mogu se koristiti na više načina: za sagorevanje u gasnim gorionicima za proizvodnju tople vode ili toplog vazduha, za sagorevanje u kotlovima za dobijanje tehnološke pare, za sagorevanje u motorima sa unutrašnjim sagorevanjem, za pogon gasnih turbina i za korišćenje u kombinovanim gasno – parnim ciklusima.

3 Konverzija toplotne u električnu energiju

Tehnologije za konverziju toplotne u električnu energiju razvrstane su prema tehnološkoj zrelosti (vidi sliku 1). On koje su već komercijalizovane obeležene su plavom bojom, a one koje su još u fazi razvoja su obeležene crvenom bojom. Podela je napravljena u skladu sa [3].

CHP proizvodnja energije može se podeliti i prema načinu konverzije na:

- Procese sa parnim ciklusom
- Procese sa gasnim motorima i turbinama.
- Kombinovani procesi

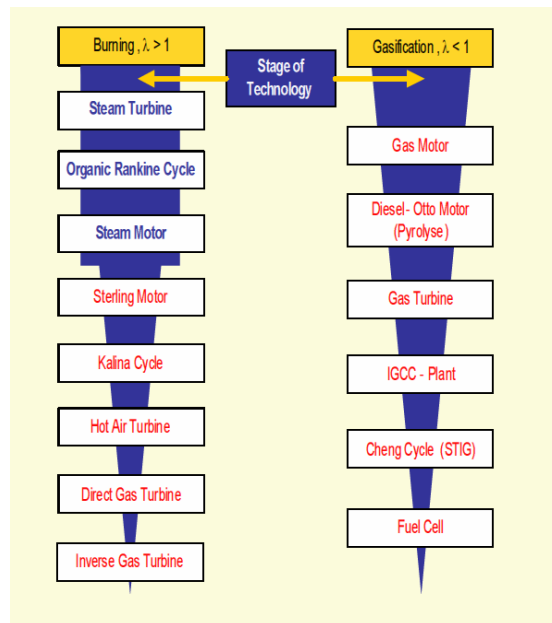
Prilikom izbora tehnologije u zavisnosti od instalisane snage trebalo bi poštovati određene preporuke [4]:

- Za male CHP elektrane snage do 100 kW_{el} najpogodnija raspoloživa tehnologija je Stirling motor koji je još u fazi razvoja;
- Za srednje CHP elektrane snage od 200 – 2.000 kW_{el} pogodne su parne turbine i posebno ORC proces. Navede tehnologije su komercijalno raspoložive na tržištu;
- Za velike CHP elektrane snage veće od 2.000 kW_{el} najpogodnije rešenje su parne turbine.

3.1 CHP sa parnim ciklusom

Ovaj vid CHP u osnovi ima kotlovska postrojenje u kome se toplota nastala prilikom sagorevanja drvnog ostatka koristi za isparavanje vode ili nekog drugog radnog fluida da bi se energija isparavanja koristila u motorima ili turbinama. Osnovni elementi parnog ciklusa su: kotao za dobijanje pregrejane pare, parna turbina ili motor, kondenzator i povratna pumpa.

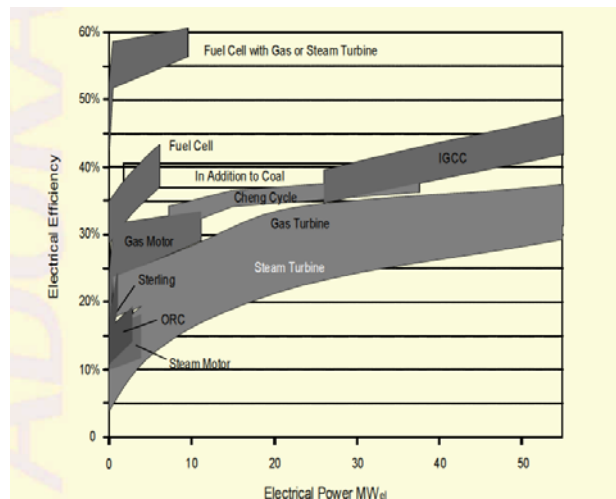
Turbine i motori na parni pogon su najčešće koriste u CHP proizvodnji energije. Goriva koja se koriste za ovaj vid kogeneracije su: ugalj, nafta, biomasa, otpad, tj. sva goriva koja mogu da gore u kotlu. Prednosti ovog tipa kogeneracije su proverena tehnologija koja se već dugo primenjuje. Nedostaci su mala efikasnost transformacije toplotne u električnu energiju i skupo održavanje .



Slika 1: Tehnologije za proizvodnju energije korišćenjem biomase [3]

Parni motori su pogodni za snage od 20 kW_{el} do 2 MW_{el}. Moguća je decentralizacija proizvodnje energije. Pritisak ulazne pare je od 6 do 60 bara. Koriste se sve vrste goriva koja mogu da se sagorevaju u kotlovima i u situacijama kad je potrebna niža i srednja temperatura izvora toplote. Prednosti ovog sistema su u poznatoj tehnologiji i mogućnosti variranja izlazne snage. Loša strana ovih postrojenja su mala efikasnost u proizvodnji električne energije, zahtevaju dosta rada oko održavanja i velika je buka pri radu motora (do 95 dBA).

Tehnologija na bazi Stirlingovog motora predstavlja alternativu parnim motorima u mikro i malim postrojenjima. Sistem je zasnovan na zatvorenom ciklusu u kome se radni gas kompresuje u hladnom cilindru a zatim se širi u vrelom cilindru. Temperatura radnog gasa pri radu motora je 680 – 780°C. Kao radni gas koriste se helijum, vodonik ili azot od kojih je helijum najpogodniji za primenu.



Slika 2: Efikasnost različitih tehničkih rešenja za proizvodnju električne energije korišćenjem biomase

Princip rada organskog rankinovog ciklusa (u daljem tekstu ORC) je sličan konvencionalnom Rankinovom procesu sa razlikom u korišćenju organskog radnog medijuma (uglјovodonicu kao što su toluen, silikon, ciklopentan) umesto vode. Pošto ovi uglјovodonicu isparavaju na nižoj temperaturi

potrebna je niža temperatura u kotlu, što odgovara korišćenju biomase. Koriste se za decentralizovanu proizvodnju električne energije od 200 do 1500 kW_{el}, mogu se koristiti sve vrste goriva, lako se varira izlazna snaga i tehnologija je već dovoljno poznata. Loše strane ovog sistema su veći investicioni troškovi pre svega zbog korišćenja termouljnih kotlova.

3.2 CHP sa gasim motorima, gasnim turbinama i mikro turbinama

Gasne turbine i motori, za razliku od procesa sa parnim ciklusom, sagorevaju gasove u komori za sagorevanje pri čemu se stvara kinetička energija. Izduvni gasovi posle motora ili turbine prolaze kroz izmenjivač toplote i u njemu predaju deo svoje toplote. Ovaj vid dobijanja električne energije ima bolji koeficijent iskorišćenja u odnosu na parne cikluse.

Kao i parne turbine, gasne turbine se dosta koriste u praksi, te je ta tehnologija poznata i primenljiva. Opseg u kojem se koriste je od 30 kW_{el} pa na više, ali se koriste za izlazne snage veće od 1 MW_{el}. Goriva koje se koristi za pokretanje gasne turbine su zemni gas, tečni naftni gas, gas dobijen gasifikacijom uglja ili drveta, kao i tečna goriva.

Mikro turbine su gasne turbine koje imaju kapacitet dobijanja električne energije u opsegu od 30 do 300 kW_{el}. Zbog njihove veličine smanjena je efikasnost u odnosu na gasne turbine, a da bi se ona povećala koriste se rekuperatori, kako bi se grejao komprimovani vazduh koji ulazi u komoru za sagorevanje. Mikro turbine su našle primenu kod postrojenja gde su potrebna manja kotlovska postrojenja, visoka temperatura korisne toplotne energije (preko 100 °C). Goriva koja se koriste su ista kao i kod gasnih turbina. Dobre strane ovih postrojenja su: mali troškovi održavanja, laka instalacija, moguća su podešavanja izlazne toplotne i električne energije, ne prave veliku buku. Loša strana im je da nisu još postigli punu komercijalnu primenljivost.

Gasni motori su motori sa unutrašnjim sagorevanjem koje pokreće zemni gas, tečni naftni gas, gas dobijen gasifikacijom uglja ili drveta, kao i tečna goriva. Koriste se za decentralizovanu proizvodnju energije manje i srednje snage (od 15 kW_{el} pa naviše). Prednosti ovakve proizvodnje energije su: moguća mobilnost sistema, moguća modularna gradnja u zavisnosti od potrebne snage, mali troškovi održavanja. Jedini nedostatak je to što se ne može dobiti visoka temperatura pri snabdevanju toplotnom energijom, što i nije neki veliki problem u drvenoj industriji, jer visoke temperature uglavnom nisu ni potrebne. U praksi se uparaju dva ili više motora tako da se lako varira izlazna snaga potrebna u određenom trenutku.

3.3 Kombinovani procesi

Efektivnost dobijanja električne energije u mnogome utiče na odabir određene vrste procesa koji će se koristiti. Da bi se efektivnost povećala nastala su kombinovana rešenja parnog ciklusa i gasnih turbina.

Kombinovani parno-gasni ciklusi se koriste za pogone veće od 10 MW_{el}, kada se traži veliko iskorišćenje pri proizvodnji električne energije ili kada se traže različiti odnosi u dobijanju električne i toplotne energije. Parametri kod gasne turbine su: maksimalna temperatura je 1150 °C, pritisak 12 bara, a kod parne turbine temperatura 400 °C i pritisak oko 50 bara. Kod ovih ciklusa goriva su zemni gas, tečni naftni gas ili gas dobijen gasifikacijom biomase. Nedostatak ovih pogona je skupo održavanje.

Ciklus Čeng ili STIG (Steam Injected Gas Turbine) je još jedna varijanta gasne turbine kod koje se dobijena toplotna energija koristi za povećanje efikasnosti proizvodnje električne energije. Vodena para dobijena u procesu delimično se pušta kroz turbinu i time povećava učinak u proizvodnji električne energije. Koristi se za pogone sa velikim kapacitetima (oko 20 MW_{el}).

4 Mogućnost primene CHP postrojenja u pilanskoj preradi drveta u Srbiji

Primena CHP postrojenja može biti opravdana samo ukoliko se ispune tri osnovna uslova: da se raspolaže sa dovoljnim količinama goriva, odnosno drvnih ostataka, da ima ujednačene potrebe za toplotnom energijom i sigurnost u obezbeđena mogućnost prodaje električne energije pod povoljnijim uslovima.

4.1 Drvni ostaci u pilanskoj preradi drveta

Upotrebljeni termin „drvni ostaci” odnosi se na onaj deo drveta koji se ne može iz različitih razloga iskoristiti u daljoj preradi. Radi se obično o sirovom materijalu čija se vlažnost kreće između 40% i 60%. Deo drvnih ostataka može biti i suvlji što zavisi od primenjene tehnologije. Prema strukturi, drvni ostaci u pilanskoj preradi drveta mogu biti krupni, sitni i prašina (vidi tabelu 1). Učešće pojedinih dimenzija najviše zavisi od vrste i kvaliteta drveta koje se prerađuje, ali delimično i od primenjene tehnologije.

Tabela 1: Bilans utrošenog drveta u pilanskoj preradi [7]

Ulazna sirovina – pilanski trupci	Procentualno učešće	
	Tvrđi lišćari	Meki lišćari i četinari
Primarno razrezana građa	80	
Glavni proizvod: Suva rezana građa	50	65
Ostaci:		
Krupni	24	12
Piljevina	16	14
Prašina	3	2
Utezanje*	5	5
greške pri merenju**	2	2
Ukupno ostataka	50	35
Sveukupno (rezana građa i ostaci)	100	100
Kora	5	5

*Trupci se mere i prerađuju u sirovom stanju, a piljena građa u prosušenom stanju. Izrađeni sortimenti se pre dalje prerade prirodno ili veštački suše. Pri sušenju drvo se uteže i pri tome mu se zapremina smanjuje. Utezanje zavisi od vrste drveta, dimenzija sortimenata i konačne vlage.

**Sirovina za preradu drveta ima nepravilan oblik koji otežava merenja. Greške se javljaju i pri merenjima gotovih sortimenata. Smatra se da pozitivne greške uglavnom potiru negativne i da uticaj grešaka merenja ne prelazi 2%.

U krupne ostatke spadaju odrubci (nastali pri kraćenju trupaca), okrajci (ostaci sa boka trupaca pri piljenju), odsecci (pri obradi dasaka po dužini i porupci (pri obradi dasaka po širini). Krupni ostaci pri preradi trupaca tvrdih lišćara (tu spada i bukva) čine 24% ukupne prerađene zapremine. Pri preradi četinara taj procenat je manji i iznosi svega 12%. Krupni ostaci se mogu iskoristiti za loženje, uz obavezno sitnjenje i eventualno sušenje, ili mogu biti prodati fabrikama za proizvodnju ploča iverica ili peleta.

Sitne ostatke sačinjava pre svega piljevina nastala pri obradi trupaca rezanjem gaterskim, tračnim ili kružnim testerama. Sitni ostaci čine 16% ukupne prerađene zapremine kod tvrdih lišćara i nešto manje (oko 14%) kod četinara. Sitni ostaci se brzo suše i bez ikakve pripreme mogu se koristiti za loženje. Sitni ostaci su pogodni za izradu briketa i peleta.

Ostatak od 10% kod tvrdih lišćara, odnosno 9% kod četinara čini deo koji se ne može iskoristiti (prašina, greške pri merenju i utezanje usled sušenja).

Kora se pojavljuje kao nemerani otpad. Ako se trupci prerađuju zajedno sa korom ona povećava zapreminu krupnih i sitnih ostataka svuda gde se trupci prerađuju. Ako su trupci pre primarne prerade

bili oguljeni, onda je kora posebno na raspolaganju, što olakšava njenu eventualnu primenu. Zapremina kore zavisi od vrste i prečnika drveta i obično se računa na oko 5% od prerađene zapremine trupaca.

4.2 Potrebe za energijom u pilanskoj preradi drveta

Industrija prerade drveta je potrošač značajnih količina svih vidova energije. Utrošak zavisi od vrste drveta koje se prerađuje i primenjene tehnologije. U tabeli 2 su prikazani podaci o prosečnim utrošcima različitih vidova energije za osnovne proizvode u pilanskoj preradi drveta.

Tabela 2: Utrošci energije za osnovne proizvode u pilanskoj preradi drveta [5]

Proizvod	Utrošak energije*	Učešće pojedinih vidova energije [%]	
	[GJ/m ³]	Toplotna energija	Električna energija
Rezana građa (prirodno sušena)	0,06 – 0,20	0	100
Rezana građa (veštački sušena)	1,00 -2,88	87	13

*po m³ gotovog proizvoda

U spomenutim procesima najveći deo utrošene energije čini toplotna energija, a veštačko sušenje i parenje drveta su najveći potrošači toplotne energije. Električna energija se uglavnom troši za pogon elektro motora mašina i uređaja, unutrašnji transport i ostale namene gde spadaju osvetljenje, grejanje, proizvodnja i distribucija sabijenog vazduha i pogon mašina za održavanje. Osim električne i toplotne energije u preradi drveta se troše i određene količine motornog goriva za unutrašnji transport. Potrošnja motornih goriva kreće se, bez obzira na vrstu proizvoda, između 3 – 5 l/m³ [5].

4.3 Ekonomska opravdanost CHP proizvodnje toplotne i električne energije

U Srbiji postoje projekti ali ne i izvedena rešenja upotrebe CHP tehnologija pri korišćenju drvene biomase. Zbog toga su uzeti izvedeni primeri iz literature [7].

Za CHP postrojenja uzeta su dva tipa kogeneracije: termouljni kotao sa ORC turbinom i gasifikator sa gasnim motorom. Podaci o tehničkim i investicionim karakteristikama ova dva postrojenja uzeta su iz rada [7]. Za ORC turbinu uzet je TurbodenT-600-CHP (u daljem tekstu ORC 650), dok je za gasifikaciju uzet Pyroforce PF600, gasifikator sa istosmernim kretanjem goriva i gasa spojen sa gasnim motorom GE-Jenbacher (u daljem tekstu DD Gas 600), a podaci o njima dati su u tabelama 3, 4 i 5.

Tabela 3: Parametri kogenerativnih postrojenja [7]

Parametar	Jedinica mere	ORC 650	DD Gas 600
Potošnja goriva	kWh	4.333	2.182
Kapacitet proizvodnje električne energije	kWh _{el}	650	600
Kapacitet proizvodnje toplotne energije	kWh _{th}	3250	790
Efikasnost sistema	%	86	64
Broj punih sati rada	h	6.000	6.000
Godišnja količina goriva	kWh	27.857.143	13.090.909

Godišnja proizvodnja električne energije	kWh	3.322.243	3.383.064
Godišnja proizvodnja toplotne energije	kWh	20.057.143	4.470.000
Period amortizacije	godina	10	10

Tabela 4: Investicioni troškovi koji su vezani za proizvodnju električne energije [7]

Troškovi	Jedinica mere	ORC 650	DD Gas 600
Građevinski i infrastrukturni objekti	€	210.000	224.000
Kotao/gasifikator	€	600.000	2.004.000
CHP modul	€	1.050.000	720.000
Projektovanje	€	213.000	276.000
Ostali troškovi	€	270.000	188.000
Ukupni investicioni troškovi	€	2.343.000	3.412.000
Specifični investicioni troškovi	€/kW _{el}	3.605	5.687

Iz tabele 4 se vidi da su specifični investicioni troškovi ugradnje CHP postrojenja iznose 3.605 € za ORC postrojenje i 5.687 gasno postrojenje. Osnovni razlog za tako visoke investicione troškove su mali kapacitet izabranih postrojenja. Ovi troškovi su takođe značajno viši nego kod drugih tehnoloških rešenja.

U tabeli 5 data je struktura troškova proizvodnje električne energije za razmatrane tehnologije.

Tabela 5: Godišnji troškovi (bez troškova goriva) koji su vezani za proizvodnju električne energije [7]

Troškovi	Jedinica mere	ORC 650	DD Gas 600
Amortizacioni troškovi	€	326.472	462.585
Troškovi održavanja	€	39.150	135.793
Operativni troškovi	€	47.147	50.146
Ostali troškovi	€	23.430	40.941
Ukupni troškovi	€	436.199	689.465
Specifični ukupni troškovi	€/kW _{el}	0,112	0,191

Amortizacioni troškovi, odnosno troškovi otplate kredita su uzeti sa minimalnom kamatom od 2,5%. Godišnji troškovi održavanja se obično kreću između 1% i 4% od troškova investicije. U konkretnom slučaju za ORC 650 usvojeno je da su prosečni amortizacioni troškovi 1,7% od troškova investicije i za DD Gas 600 ovi troškovi su nešto viši i iznose 4% investicionih troškova. U pogledu troškova proizvodnje prednost je na strani ORC 650. Troškovi proizvodnje primenom ove tehnologije iznose

0,11 €/kWh. Troškovi kod DD Gas 600 su viši i iznose 0,177 €/kWh i viši su od prodajne cene koja iznosi 0,136 €/kWh.

Tržište električne energije iz biomase u Evropi

Učešće biomase u proizvodnji električne energije stalno raste. U periodu od 2004. do 2006. godine ukupno učešće biomase se povećalo za 11% u Evropi [2]. U nekim zemljama, poput Nemačke, Austrije, Francuske stalno se povećava učešće biomase u proizvodnji električne energije i rezultat su potsticajne politike tih država. U zemljama poput Finske, Švedske i Danske korišćenje biomase ima dugu tradiciju i dobro razvijeno tržište.

Nemačka je imala oko 160 instalacija u 2006. godini sa kapacitetom od 1.100 MW_{el}, a prosečna veličina CHP pogona je 6,8 MW_{el}. Tarifiranje proizvodnje električne energije iz biomase [2]:

- osnovna tarifa (do 20 MW) je bila od 80,3 do 109,9 €/MWh_{el} sa godišnjom redukcijom od 1,5%. Period isplaćivanja je 20 godina.
- umanjanje osnovne tarife za otpadno drvo 37,2 €/MWh
- uvećanje osnovne tarife za korišćenje netretiranog drveta od 40 do 60 €/MWh, korišćenje CHP tehnologije 20 €/MWh, korišćenje novih tehnologija 20 €/MWh, sagorevanje drvene biomase 25 €/MWh (ne povećava se ukoliko se dobija bonus za korišćenje netretiranog drveta)

Prosečan godišnji porast proizvodnje električne energije iz biomase u periodu od 1997. do 2005. godine u Nemačkoj je bio 32%.

Austrija je 2003. godine imala 9,7% proizvodnje električne energije iz biomase. Tarifiranje u Austriji je po slećem principu:

- period isplaćivanja po tarifi je garantovan za 13 godina
- osnovna tarifa u 2003. godini bila je 110 €/MWh, sa maksimalnom podrškom do 150 €/MWh.

Pored ovoga, država dotira investiciju sa 10%, što je oko 400 €/kWh.

Francuska podržava korišćenje biomase sa CHP tehnologijama iz gradskog otpada i iz drvnog ostatka. Od 2005. godine držva je propisala tarifu kojom se garantuje cena od 61 do 91,5 €/MWh za 15 godina rada pogona. u istoj godini ugovoreno je 14 projekata sa ukupnim kapacitetom od 216MW

U Danskoj se iz CHP pogona dobija oko 60% ukupne toplotne energije za grejanje stanova i oko 50% ukupne električne energije. Za nove pogone dobija se 80 €/MWh, koja je garantovana za 10 godina proizvodnje, a zasldećih 10 godina garantuje se cena od 54 €/MWh. Takođe ovi pogoni su oslobođeni taksi koje se naplaćuju za emisiju CO₂. U Danskoj prosečan godišnji porast proizvodnje električne energije iz biomase od 1997. do 2005. godine bio je oko 24%.

Tržište električne energije iz biomase u Srbiji

U Srbiji podsticajne mere za korišćenje obnovljivih izvora energije su donete Uredbom iz 2009. godine [1]. Njom su garantovane cene otkupa električne energije od proizvođača za period od 12 godina. Tarifa zavisi od vrste obnovljivog izvora energije sa jedne strane i kapaciteta pogona sa druge strane. Za korišćenje biomase utvrđena je tarifa od 136 €/MWh za pogone sa kapacitetom do 500 kW_{el}. Za pogone do 5 MW_{el} koristi se formula $13.845 - 0,489 * P$. P je kapacitet pogona u MW_{el}, a rezultat se dobija u €/MWh. Za pogone od 5 do 10 MW_{el} tarifa je 11,4 €/MWh.

5 Proračun

U Srbiji se uglavnom prerađuju lišćarske vrste, pre svega bukva. Četinarske vrste se prerađuju u znatno manjoj meri, a najveći udeo u njenoj preradi imaju smrča i jela. Pilanska prerada u Srbiji je prilično usitnjena. Najveći broj pilana reže godišnje do 10.000 m³. Pilane u Srbiji drvo uglavnom prerađuju jednofazno što podrazumeva da se trupci prvo razrezuju u daske, pa u elemente i da se tek nakon toga suše. Pored toga, koristi se i takozvana dvofazna prerada, ali mnogo ređe. U dvofaznoj preradi trupci se razrezuju u daske koje se suše, a elementi se izrezuju iz već osušenih dasaka. Razlike u primenjenoj tehnologiji, odnosno da li je prerada jednofazna ili dvofazna, utiču na količinu, strukturu i vlažnost drvnih ostataka. Na osnovu svega ovoga definisana tri različita „tipična“ slučaja pilanske prerade koja su razmatrana u radu (vidi tabelu 6).

Tabela 6: Karakteristične tehnologije u pilanskoj preradi drveta

Slučaj	Opis
I	Pilana koja godišnje jednofazno prerađuje 10.000 m ³ smrče/jele
II	Pilana koja godišnje jednofazno prerađuje 10.000 m ³ bukovine
III	Pilana koja godišnje prerađuje 10.000 m ³ bukovine dvofaznim postupkom

Pored ovoga za sve razmatrane slučajeve usvojene su sledeće pretpostavke:

- Procenat kore iznosi 5% od prerađene zapremine bez obzira na vrstu drveta i tehnologiju prerade;
- Iskorišćenje oblovinne pri jednofaznoj preradi jele je 65%, odnosno procenat raspoloživih drvnih ostataka kod prerade jele iznosi oko 35%;
- Iskorišćenje oblovinne pri jednofaznoj i dvofaznoj preradi bukve je 50%.
- Zapreminska masa jele u apsolutno suvom stanju je 410 kg/m³;
- Zapreminska masa bukve u apsolutno suvom stanju je 680 kg/m³;
- Vlažnost sirovih drvnih ostataka za obe vrste drveta je 50%;
- Vlažnost prosušanih drvnih ostataka za obe vrste drveta je 10%;
- Zapreminska masa sirovih drvnih ostataka od jele je 615 kg/m³;
- Zapreminska masa sirovih drvnih ostataka od bukve je 1020 kg/m³;
- Zapreminska masa prosušanih drvnih ostataka od bukve je 748 kg/m³;
- Donja toplotna moć sirovih drvnih ostataka za obe vrste drveta i koru je 2,6 kWh/kg;
- Donja toplotna moć sirovih drvnih ostataka za obe vrste drveta je 4,3 kWh/kg.

U tabeli 7 dati su osnovni podaci za sve tri posmatrana slučaja. U sva tri slučaja godišnje se prerađuje po 10.000 m³ lišćara ili četinara. Ukupna količina sirovih ostataka i kore se razlikuje u zavisnosti od vrste drveta i tehnologije prerade.

Tabela 7: Količine i energetski potencijal drvnih ostataka za razmatrane slučajeve

Slučaj	Vrsta drveta	Tehnologija prerade	Prerađeno	Sirovi ostaci sa korom	Suvi ostaci	Potencijalna energija drvnih ostataka i kore
			m ³ /god	m ³ /god	m ³ /god	MWh/god
I	Jela	Jednofazna	10.000	3.100	0	4.957

II	Bukva	Jednofazna	10.000	4.500	0	11.934
III	Bukva	Dvofazna	10.000	2.500	2.000	13.063

Uvođenje proizvodnje električne energije u pogonima pilanske prerade trebalo bi da zadovolji tri osnovna preduslova. Prvi preduslov je da se raspolože dovoljnim viškom drvnih ostataka za dopunsku proizvodnju električne energije. Drugi preduslov je da postoje kontinuirane potrebe za toplotnom energijom koju zadovoljavaju sagorevanjem sopstvenih drvnih ostataka. Treći preduslov je da se na tržištu mogu naći CHP postrojenja odgovarajućih karakteristika.

Drvni ostatak

Osnovna pretpostavka za moguće korišćenje kogenerativnih postrojenja u preradi drveta je korišćenje neutrošene toplotne energije za različite procese, pre svega sušenja drveta i grejanje. Pretpostavljeno je da se kod jednofazne prerade suše svi izrađeni elementi koji se dobijaju preradom oblovine na pilani. Utrošak toplotne energije u sušarama usvojena prema [6] je 420 kWh/m³ za četinare i 700 kWh/m³ za lišćare. Rezultati proračuna su prikazani u tabeli 8.

Tabela 8: Potrošnja toplotne energije pri sušenju

Slučaj	Vrsta drveta	Količina drveta koja se suši	Prosečna toplota potrebna za sušenje drveta	Proračunata godišnja potrošnja toplotne energije	Raspoloživa energija iz drvnih ostataka (kora uključena)	Odnos raspoložive i potrebne količine drvnih ostataka
		m ³	kWh/m ³	MWh _{th} /god	MWh _{th} /god	–
I	Jela	6.500	420	2.730	4.000	1,46
II	Bukva	5.000	700	3.500	9.550	2,73
III	Bukva	8.000	700	5.600	10.500	1,87

Iz table 8 se vidi da je raspoloživa količina drvnih ostataka za proizvodnju toplotne energije za sve tri „tipske“ pilane veća od potrebne količine drvnih ostataka, odnosno potrebne toplotne energije za sušenje prerađenih količina drveta. Razlika je 1,46 u prvom slučaju, 2,73 u drugom slučaju i 1,87 u trećem slučaju. Raspoloživi proračunati višak drvnih ostataka za sve tri „tipske“ pilane otvara mogućnost pokretanja kombinovane proizvodnje toplotne i električne energije u posmatranim primerima, odnosno u svim pilanama sličnog kapaciteta u Srbiji.

Proizvodnja električne energije

Razmatrane „tipske“ pilane, prema proračunu prikazanom u tabeli 8 raspoložu sa značajnim viškom drvnih ostataka koji bi se za razmatrane „tipske“ slučajeve mogli iskoristiti za dopunsku proizvodnju električne energije. Konsultovana je raspoloživa literatura i rezultati ove pretrage detaljnije su prikazani u tački 4.3 rada. Radi se o ORC turbini TurbodenT-600-CHP (u daljem tekstu ORC 650) i Pyroforce PF600, gasifikator sa istosmernim kretanjem goriva i gasa spojen sa gasnim motorom GE-Jenbacher (u daljem tekstu DD Gas 600).

U tabeli 9 uporedno je dato količina energije koja se dobija iz raspoloživih drvnih ostataka i količina energije koju bi trebalo obezbediti za rad izabranih CHP postrojenja nominalnim kapacitetom. Takođe, u istoj tabeli su dati i podaci koliko bi „tipska“ pilana trebala da prerađuje oblovine, odnosno koliki bi

trebalo da joj je godišnji kapacitet, kako bi imala drvnih ostataka za rentabilan rad odabranih CHP postrojenja.

Tabela 9: Minimalni potreban kapacitet pilane u zavisnosti od primenjene CHP tehnologije

Slučaj	Energija	Razlika	Broj sati	Električna energija	Toplotna energija	Potreban kapacitet pilane
	MWh/god	%	h	MWh/god	MWh/god	m ³
ORC 650	27.857	100	6.000	3.900	20.057	
I	4.957	18	1.068	591	3.569	56.198
II	11.934	43	2.570	1.423	8.592	23.343
III	13.063	47	2.814	1.558	9.405	21.325
DD-Gas 600	13.090	100	6.000	3.600	4.740	
I	4.957	38	2.272	1.281	1.795	26.408
II	11.934	91	5.470	3.084	4.321	10.969
III	13.063	100	5.988	3.376	4.730	10.021

Iz tabele se jasno može videti da prosečna pilana u Srbiji, koja prerađuje prosečno 10.000 m³/god, nema dovoljne količine drvnih ostataka za rad razmatrane ORC turbine bez obzira na vrstu drveta koje prerađuje (bukva ili jela), odnosno koju tehnologiju prerade koristi. Treći preduslov je zadovoljen samo u slučaju ugradnje DD-Gas 600 u sistem za snabdevanje toplotnom energijom u pilanama koje bukove trupce prerađuju dvofazno. Tu je razlika između pretpostavljenog (10.000 m³/god) i potrebnog kapaciteta (10.021 m³/god) minimalana.

Toplotna energija

U pilanskoj preradi drveta veštačko sušenje drveta je osnovni potrošač toplotne energije. U ovom radu ovaj odnos se posmatra sa druge strane, odnosno koliko rezane građe treba osušiti da bi korišćenje predloženih CHP postrojenja bilo rentabilno.

U tabeli 10 dati su podaci koliko se toplotne energije utroši pri sušenju celokupne proizvodnje u sva tri tipa prerade na pilanama, razlika između potrebne toplotne energije za rad sušara i za rad CHP postrojenja, količina građe koju treba sušiti da bi proizvodnja električne energije bila u predloženom opsegu, kao i kapacitet pilane koja treba da proizvede tu količinu rezane građe.

Tabela 10: Sušenje rezane građe i potrošnja toplotne energije

Slučaj	Količina drveta koja se suši	Toplotna energija	Razlika	Broj sati	Količina građe koju treba sušiti	Potreban kapacitet pilane
	m ³	MWh/god	%	h	m ³	m ³
ORC 650		20.057	100	6.000		

I	6.500	2.711	14	811	48.098	73.997
II	5.000	3.470	17	1.038	28.901	57.801
III	8.000	5.552	28	1.661	28.901	36.126
DD-Gas 600		4.740	100	6.000		
I	6.500	2.711	57	3.431	11.367	17.488
II	5.000	3.470	73	4.392	6.830	13.660
III	8.000	5.552	117	7.028	6.830	8.537

Iz tabele 10 se može zaključiti da su potrebe za toplotnom energijom pri sušenju niže u odnosu na proizvedenu „otpadnu“ toplotu pri proizvodnji električne energije ORC turbinama. Taj odnos je 7,4:1 (20.057 MWh/god: 2.711 MWh/god) za prvi slučaj, 5,8:1 za drugi slučaj, odnosno 3,6:1 za treći slučaj. Ukoliko se želi da ORC postrojenje radi punim kapacitetom 6.000 sati godišnje trebalo bi da bude ugrađen u sisteme za snabdevanje toplotnom energijom čiji su kapaciteti za odabrane „tipske“ pilane 73.997 m³/god, 57.801 m³/god i 36.126 m³/god respektivno. Pri eventualnom korišćenju gasifikatora sa gasnim motorom situacija je nešto povoljnija. U prvom slučaju (kada se prerađuje jela) odnos između „otpadne“ energije iz gasifikatora i potrebne energije za sušenje je 1,7 u prvom slučaju i 1,4 u drugom slučaju. U trećem slučaju taj odnos je 0,85.

Ukoliko se uporede podaci iz tabela 8 i 9 može se videti da jedino dvofazna proizvodnja bukove rezane građe ulazi u zadati opseg proizvodnje električne energije gasnim motorom. U ostalim slučajevima postrojenja za proizvodnju električne energije ne bi imala dovoljan broj sati rada u nominalnom režimu rada.

Ekonomski parametri korišćenja CHP

Pri proračunu ekonomske opravdanosti korišćenja CHP-a odvojeno su računati troškovi proizvodnje toplotne energije za sušenje od troškova proizvodnje električne energije. Investicioni troškovi oba usvojena CHP sistema i njihov uticaj na cenu toplotne i električne energije preuzet je iz [7]. Kod ugradnje ORC postrojenja pretpostavljeno je da se postojeća kotlarnica mora zameniti novom s obzirom da ova tehnologija zahteva uljni kotao, koji se inače u Srbiji vrlo retko sreće u pogonima za pilansku preradu drveta. Kod gasifikatora je bitan deo sistema za prečišćavanje gasa i on je uračunat u troškove nabavke gasifikatora.

U tabeli 11 prikazani su podaci o količini električne energije koja bi se mogla proizvesti u „tipskim“ pilanama, prihod koji bi se mogao ostvariti prodajom proizvedene električne energije, potrebne količine drvnih ostataka, troškovi goriva, troškovi održavanja i radne snage, ukupni troškovi i razlika troškova (doboit ili gubitak).

Tabela 11: Troškovi proizvodnje električne struje u kogeneracijskom postrojenju

	Električna energija	Prihod ¹	Potrošnja drvnog ostatka	Troškovi goriva ²	Ostali troškovi ³	Ukupni troškovi	Razlika
	MWh/god	€/god	tona/god	€/god	€/god	€/god	€/god
ORC 650	3.900	526.500	1125	45.034	365.622	410.656	115.844
I	591	79.801	171	6.825	365.622	372.447	-292.646

II	1.423	192.126	411	16.432	365.622	382.054	-189.928
III	1.558	210.298	450	17.987	365.622	383.609	-173.311
DD Gas 600	3.600	486.000	1.783	71.324	598.378	669.702	-183.702
I	1.281	172.944	675	27.009	598.378	625.387	-452.443
II	3.084	416.373	1.626	65.025	598.378	663.403	-247.030
III	3.376	455.756	1.779	71.176	598.378	669.554	-213.798

¹ Prodajna cena kWh iznosi 0,136 €/kWh;

² Usvojena cena goriva je 40 €/t atro. To je cena koju, prema raspoživim informacijama, pilane dobijaju od fabrika iverice;

³ Ostali troškovi obuhvataju amortizacione troškove, troškove održavanja, operativne i ostale troškove. Navedeni troškovi su dati u tabeli 5 i preuzeti su iz [7].

Iz tabele 11 se vidi da se ugradnja CHP postrojenja navedenih kapaciteta (oko 700 kW_{el}) u Srbiji ne isplati. Na negativan zaključak nije uticala ni niža cena drvnih ostataka sa kojom se ušlo u proračun. U Austriji je cena goriva 0,025 €/kWh [7], a u našem proračunu ona je bila 0,012 €/kWh. Osnovni razlog neisplativosti ugradnje CHP postrojenja je mali prosečni kapacitet domaćih pilana. Kogeneracija bi mogla da donese dobit samo uz uslov kada bi bila uključena u sistem za snabdevanje toplotnom energijom pilane koja godišnje prerađuje više od 36.000 m³. U tom slučaju bi bili ispunjeni i ranije postavljeni uslovi: Da u pilani ima dovoljno drvnih ostataka za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije i da postoji potreba za toplotnom energijom tokom cele dovoljnom da omogući normalan rad kogenerativnog postrojenja ORC 650. Za veća kogenerativna postrojenja, koja bi bila još isplativija, bilo bi potrebno pronaći pilane još većih kapaciteta što je sada, a verovatno i u bliskoj budućnosti, u Srbiji nerealno.

6 Zaključak

U Srbiji se najviše prerađuje bukovina od lišćarskih vrsta, a u manjoj meri četinari i to najviše jela. Prosečna pilana u Srbiji prerađuje godišnje manje od 10.000 m³ oblovine. To je značajno manje od prosečnih kapaciteta pilana u Evropi, gde se danas više ne grade pilane kapaciteta koji je manji od 50.000 m³ godišnje.

Evidentno je da domaće pilane imaju na raspolaganju višak drvnih ostataka koji ostaje nakon zadovoljavanja potreba za toplotnom energijom (sušenje, parenje, grejanje). Višak zavisi od toga koji se procenat izrezane građe suši, koja se vrsta drveta prerađuje (lišćari ili četinari) i sa kojom tehnologijom (jednofaznom ili dvofaznom).

Cene drvnih ostataka su još uvek značajno niže od onih u zapadnim zemljama. Drvni ostaci u Austriji plaćaju od 0,020 do 0,025 €/kWh, kod nas oko 0,011 €/kWh.

U Srbiji su se stekli uslovi za korišćenje obnovljivih izvora energije uključujući i drvene ostatake za proizvodnju električne energije. Potencijalnim proizvođačima se nude stimulatивne tarife slične onima koje se nude u Evropi. Pilanska prerada drveta je svuda u Evropi jedna od ciljnih grupa gde bi ugradnja CHP postrojenja trebala da bude opravdana i isplativa.

Prema našim istraživanjima to ne važi i za Srbiju, Provera je izvršena za tri „tipske“ pilane kapacitet 10.000 m³ godišnje za koje se pretpostavilo da u Srbiji može biti realan kapacitet. Proračun je napravljen na osnovu preuzetih podataka o investicionim, operativnim i ostalim troškovima i za troškove rada sračunate na osnovu domaće cene goriva. Dobijeni rezultati pokazuju da ponudene

stimulativne mere nisu dovoljne da bi CHP postrojenja u domaćim pilanama kapaciteta od oko 10.000 m³ godišnje bila profitabilna. Kogeneracija kapaciteta od 650 kW_{el} bi mogla da donese dobit samo uz uslov ako bi bila uključena u sistem za snabdevanje toplotnom energijom pilane koja godišnje prerađuje najmanje 36.000 m³. Za veća kogenerativna postrojenja, koja bi bila još isplativija, bilo bi potrebno pronaći pilane još većeg kapaciteta što je sada, a verovatno i u bliskoj budućnosti u Srbiji, nerealno. Takođe, ustanovljeno je da gasifikacija još uvek skupa u investicionom delu i da ukoliko se tu naprave neke promene, moguće ih koristiti u predloženim kapacitetima prerade bukovine.

Jedan od mogućih korisnika CHP postrojenja koja će koristiti drvenu biomasu su gradske toplane, kao i planinski turistički centri. Jedan od razloga je što ovi potrošači mogu imati veći kapacitet proizvodnje toplotne energije, samim tim i veću proizvodnju električne energije, što vodi manjim investicionim troškovima.

7 Literatura

1. Uredba o merama podsticaja za proizvodnju električne energije korišćenjem obnovljivih izvora energije i kombinovanom proizvodnjom električne i toplotne energije“, Službeni glasnik RS, broj 84/04.
2. Bruton, T., Tottenham, T., Biomass CHP Market Potential in the Western Region, The Western Development Commission, Ireland, 2008, p 64.
3. Kiehne, H., Biomass fired Combined Heat and Power Plants (CHP) with Organic Rankine Cycle (ORC) in Europe, Energy from Biomass and Waste, Pittsburgh, 2008, p 17. (http://www.freesen.de/ebw/2008/conf/adoratec_kiehne.pdf)
4. Danon, G., Valorisation of Wood Processing and Forest Residue, in: Enhancement of Wood Technologies in Correlation with Properties of Wood Chemical Constituents (Ed. T. Stevanović Janežić et al), University of Belgrade, Faculty of Forestry, Belgrade, 1995, pp. 115-130.
5. Anon, Energy Conversation in the Mechanical Forest Industries, Forestry paper 93, FAO Rome, 1990, p 109.
6. Stevanović Janežić, T., Danon, G., Bujanović, Correlation Between Chemical Composition and Heating Value of Some Domestic Wood Species, Drevarsky vyskum, Vol.38, No 3, Bratislava,1993, pp 1-7.
7. Obeernberger, I., Thek, G., Cost Assesment of Selected Decentralised CHP Applications Based on Biomass Combustion and Biomass Gasification, 16th European Biomass Conference/ Exhibition, Valencia, 2008 p 11.