

WASTE TO ENERGY IV

ENERGETSKI, EKONOMSKI I LOGISTIČKI ASPEKTI KORIŠTENJA KRUTE BIOMASE U KOGENERACIJSKIM POSTROJENJIMA

Mario Holik, Marinko Stojkov, Vjenceslav Damičević, Karlo
Drnasin

Vjenceslav Damičević

Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu • asistent



MEĐUNARODNA KONFERENCIJA O ODRŽIVOM UPRAVLJANJU OTPADOM

SLAVONSKI BROD | 1.-2. LISTOPADA 2026.

Predavač i profesionalni kontekst



VJENCESLAV DAMIČEVIĆ

asistent / SFSB

vdamicevic@unisb.hr sfsb.unisb.hr

STRUČNO ISKUSTVO

- Član zavoda za energetiku Strojarskog fakulteta u Slavonskom Brodu
- Prezenter rada

KLJUČNA PORUKA

Radno iskustvo u industriji u Andritz TEP i na zavodu za energetiku pri Strojarskom Fakultetu u Slavonskom Brodu.

Struktura predavanja

1

Uvod

2

Energetska svojstva biomase

3

Energetska analiza korištenja biomase

4

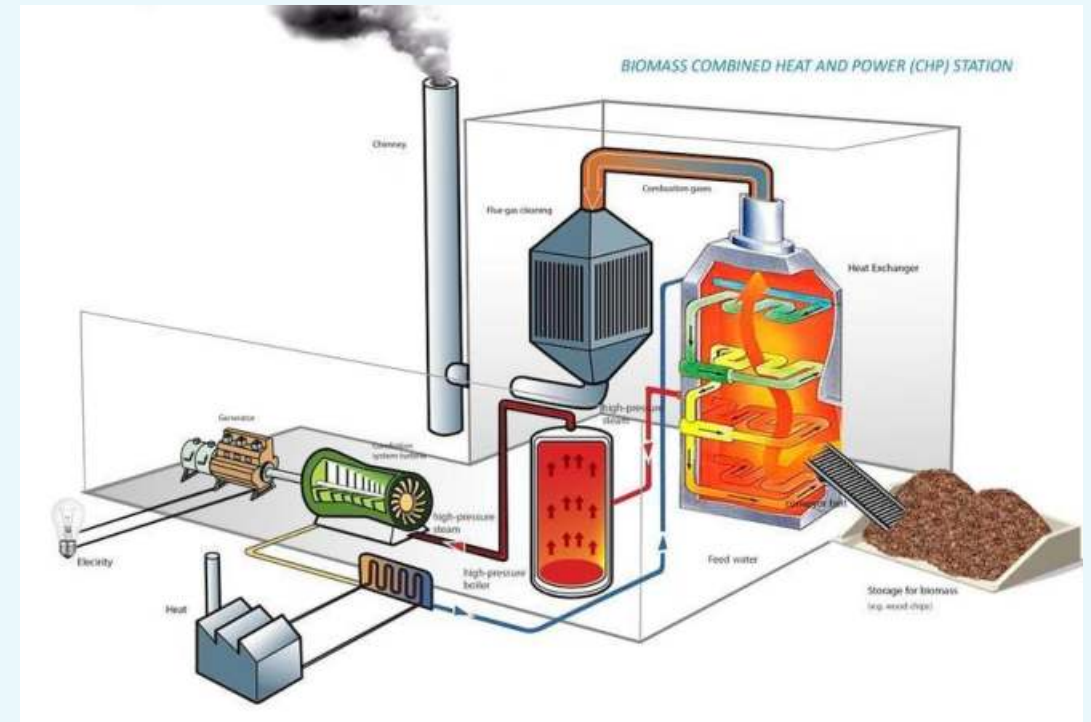
Promatrani slučaj kogeneracije

5

Zaključci i preporuke

Uvod

- Kogeneracija – istodobna proizvodnja električne i korisne toplinske energije iz istog izvora
- Biomasa – značajan obnovljivi izvor energije
 - Šumska i poljoprovredna
 - Ostatci iz proizvodnih procesa
 - Komunalni i biorazgradivi otpad
 - Biomasa iz drugih energetske nasada
- CILJ – Analizirati energetske, ekonomske i logističke aspekte korištenja krute biomase u kogeneracijskim postrojenjima s posebnim osvrtom na vrstu biomase i njezina energetska svojstva



2. Energetska svojstva biomase

- Ovisi o kemijskom sastavu, sadržaju vlage, udjelu pepela i ogrjevnoj vrijednosti
- Ogrjevna vrijednost – osnovni pokazatelj energetskeg potencijala
- Radni uvjeti – promjena toplinskog toka i načina paljenja značajno utječu na izgaranje biomase

Bjelogorična drva

$W = 15\%$

14,84 GJ/kg
10,68 GJ/m³

Bukva

14,44 GJ/kg
9,96 GJ/m³

hrast

14,97 MJ/kg
11,53 GJ/m³

bagrem

14,97 MJ/kg
14,97 MJ/m³

breza

2. Energetska svojstva biomase

- Crnogorična drva imaju nešto veću ogrjevnu vrijednost po jedinici mase zbog većeg udjela lignina
- Bjelogorična drva zbog veće gustoće mogu imati povoljnije vrijednosti po jedinici volumena

Crnogorična drva

$W = 15\%$

16,96 MJ/kg
8,82 GJ/m³

Obični bor

15,20 MJ/kg
8,06 GJ/m³

Duglazija

15,60 MJ/kg
7,33 GJ/m³

Smreka

15,45 MJ/kg
6,95 GJ/m³

Jela

2. Energetska svojstva biomase

- Poljoprivredni ostaci također predstavljaju potencijalnu sirovinu za energetska korištenje, pri čemu njihova ogrjevnost vrijednost ovisi o vrsti biomase i sadržaju vlage.

Poljoprivredni ostaci		
14,00 MJ/kg	14,20 MJ/kg	14,50 MJ/kg
Pšenična slama	Ječmena slama	Zobena slama
13,50 MJ/kg	17,40 MJ/kg	17,55 MJ/kg
Kukuruzovina	Slama uljane repice	Ljuska suncokreta

3. Energetska analiza korištenja biomase

Jednak maseni protok goriva ne znači i jednak toplinski učinak – usporedba drvene i poljoprivredne biomase

77,82 kW

analizirana drvna biomasa

113,2 kW

pšenična slama

ULAZNI UVJETI

- $\dot{m} = 0,45 \text{ kg/min}$ • 20 % vlage • pretičak zraka 10 %
- temperatura goriva na ulazu 0°C • temperatura dimnih plinova nakon hlađenja 300°C

- U promatranim uvjetima pšenična slama ostvaruje veći toplinski tok.
- Razlika proizlazi iz energetske svojstava i kemijskog sastava goriva te uvjeta proračuna.
- Za ukupnu sliku isplativosti potrebno je u obzir uzeti i ekonomske parametre.

4. Promatrani slučaj

1 MW

električna snaga postrojenja

6 MW

korisna toplinska snaga

75,7 %

ukupni stupanj korisnog djelovanja

- Godišnja raspoloživost biomase: 8000 t bagrema
- Donja ogrjevna vrijednost goriva: 14,97 MJ/kg
- Vrijeme rada: 3600 h/god
- Dobiveni rezultat pokazuje važnost istodobnog iskorištavanja električne i toplinske energije. Visoka ukupna učinkovitost kogeneracijskog postrojenja može se ostvariti samo ako uz proizvodnju električne energije postoji i mogućnost kontinuiranog korisnog iskorištavanja proizvedene topline.

4.1. Ekonomski aspekti

15,53 mil. €

investicija – primjer Strizivojna Hrast

26 mil. kWh

godišnja proizvodnja električne energije

0,04645 €/kWh

korištena tarifna cijena

1208000 €/god

godišnji prihod na temelju
proizvodnje

- Uz investicijske troškove, značajan udio u ukupnim troškovima predstavljaju nabava, priprema i doprema biomase iz čega proizlazi da trošak sirovine može činiti približno 40–50 % ukupnog troška proizvedene električne energije.
- Uz troškove goriva tu su fiksni radni troškovi postrojenja koji podrazumijevaju radnu snagu, planirano održavanje, rutinsku zamjenu opreme i osiguranje te varijabilni radni troškovi koji uključuju pomoćno gorivo, zbrinjavanje pepela, korektivno održavanje i dodatne troškove servisiranja.

4.2 Logistika opskrbe

Kod biomase udaljenost izvora i postrojenja izravno utječe na ekonomiku.

≈ 50 km

razmatrana poželjna udaljenost

18–22 t

kapacitet analiziranih vozila

≈ 80 km

moguće transportne udaljenosti

- Biomasa često zahtijeva transport velikih količina materijala zbog relativno male energetske gustoće.
- Rast udaljenosti povećava troškove prijevoza.
- Lokacija postrojenja treba biti povezana s dovoljno velikim i pouzdanim lokalnim izvorima biomase.

4.3 Ugovoreni ili vlastiti transport?

Godišnji operativni trošak nije dovoljan kriterij.

38.324 €/god.

ugovoreni transport drvene biomase

35.596 €/god.

operativni trošak vlastitog transporta

≈ 150.000 €

kamion + prikolica

- Vlastiti transport ima nešto niži procijenjeni godišnji operativni trošak.
- U početnoj godini potrebno je uključiti i nabavu vozila.
- U analiziranom slučaju ukupni izdaci u godini nabave iznose približno 185.600 €.

4.4 Primjer: kogeneracijsko postrojenje Đakovo Hrast

Povezivanje energetskeg procesa s lokalno dostupnom drvnom biomasom.

3,3 MW

nazivna električna snaga

7,2 MW

nazivna toplinska snaga

Doprema
biomase

Priprema /
usitnjavanje

Kotao i
izgaranje

Para +
turbogenerator

Električna +
toplinska energija

5 Zaključak

- Energetski potencijal biomase ne ovisi samo o njezinoj vrsti, nego i o kemijskom sastavu, sadržaju vlage, ogrjevnoj vrijednosti i uvjetima izgaranja
- Različite vrste biomase mogu ostvariti različite energetske učinke, pa pri izboru goriva uz njegovu ogrjevnju vrijednost treba u obzir uzeti i dostupnost, cijenu, pripremu i transport.
- Kogeneracija može ostvariti visoku ukupnu učinkovitost, ali takva učinkovitost uvelike ovisi o mogućnosti kontinuiranog iskorištavanja proizvedene topline.
- Logistika je jedan od ključnih čimbenika korištenja biomase. Relativno velika količina potrebnog goriva znači da udaljenost između izvora i postrojenja može značajno utjecati na ekonomiku sustava.

ENERGIJA + EKONOMIJA + LOGISTIKA = CJELOVITA PROCJENA

HVALA NA POZORNOSTI

PITANJA I RASPRAVA

VJENCESLAV DAMIČEVIĆ

Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu

vdamicevic@unisb.hr • sfsb.unisb.hr



WASTE TO ENERGY IV • SLAVONSKI BROD • 1.–2. LISTOPADA 2026.

OD OTPADA DO STRATEŠKE ENERGIJE