



## KORIŠĆENJE POLJOPRIVREDNE BIOMASE U ENERGETSKE SVRHE NA PRIMERU KOGENERATIVNOG POSTROJENJA

### BIOMASS ENERGY UTILIZATION FOR ENERGY PURPOSES: COGENERATION PLANT CASE STUDY

Tanja Đurišić, Branka Nakomčić-Smaragdakis, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

#### Oblast – INŽENJERSTVO ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE

**Kratak sadržaj** – Cilj ovog rada jeste analiza mogućnosti korišćenja poljoprivredne biomase u energetske svrhe, njen potencijal i primer primene na kogenerativnom postrojenju.

**Gljučne reči:** Poljoprivredna biomasa, Potencijal biomase, Sagorevanje, Kogeneracija

**Abstract** – The purpose of this thesis is to analyze the possibility of using agricultural biomass for energy purposes, present potential of agricultural biomass and example of application on a cogeneration plant.

**Keywords:** Agricultural biomass, Biomass potential, Combustion, Cogeneration

#### 1. UVOD

Energija utiče na skoro sve ljudske aktivnosti, koje su u današnjem modernom svetu praćene porastom životnog standarda. Sa povećanjem životnog standarda raste i potreba za korišćenjem energije. Usled ograničenosti rezervi fosilnih goriva, jednog od najvrednijih resursa koje imamo na planeti, došlo je do potrebe za pronalaženjem novih alternativnih rešenja, kako bi se zadovoljile energetske potrebe ali i smanjio štetan uticaj na životnu sredinu. Razvojem novih tehnologija omogućava se korišćenje obnovljivih izvora energije, koji se smatraju neiscrpivim i manje štetnim po životnu okolinu u odnosu na fosilna goriva. Procenjene količine biomase u Srbiji ukazuju da bi se njenom povećanom upotrebom značajnije mogao smanjiti udeo fosilnih goriva. Na teritoriji Vojvodine najviše je zastupljena poljoprivredna biomasa, pogodna za korišćenje u energetske svrhe. Sagorevanje je trenutno najčešće korišćeni način konverzije biomase u Srbiji, prvenstveno radi dobijanja toplotne energije, a zatim i za električnu energiju.

#### 2. POLJOPRIVREDNA BIOMASA

Ostaci biomase koji nastaju u poljoprivredi podeljeni su prema granama poljoprivrede na ostatke u ratarstvu, voćarstvu sa vinogradarstvom i stočarstvu [10].

Prema analizama stručnjaka iz različitih oblasti došlo se do zaključka da nije opravdano svu biomasu dobijenu iz

ostatka poljoprivredne proizvodnje koristiti u energetske svrhe.

Procenjuje se da od raspoložive količine samo 1/3 može biti opredeljena za energetske potrebe, jer se 2/3 koriste u stočarstvu ili se zaoravaju. Od raspoložive 1/3 deo se koristi u industriji kartona, a deo jednostavno ostaje na njivama. Neke grube procene govore da se od ove trećine svega oko 50% realno može sakupiti i iskoristiti u energetske svrhe. Povećanje procenta prikupljene biomase iz nepristupačnih delova ili uslozňjavanje tehnologije prikupljanja svakako bi dalje povećalo jediničnu cenu biomase, što nije prihvatljivo [2].

#### 2.1. Priprema poljoprivredne biomase

Za poljoprivrednu biomasu je karakteristično da je kabasta i nepravilnog oblika, odnosno da ima malu nasipnu gustinu pa zauzima veliku zapreminu prilikom skladištenja. Kada je reč o postupcima za pripremu poljoprivredne biomase mogu se podeliti u nekoliko operacija: prikupljanje, utovar i transport, istovar i skladištenje i priprema za loženje [12].

U cilju lakšeg prikupljanja, manipulacije, skladištenja i eksploatacije žetvenih ostataka najčešće se vrši presovanje baliranjem. Osnovni zahtev pri skladištenju kukuruzovine je da se očuva do trenutka korišćenja. Potrebno je da se ostvari zaštita od atmosfere i zemljišne vlage (od podloge), te da se omogući sušenje. Poseban slučaj je skladištenje iseckane kukuruzovine, koje se obavlja u anaerobnim uslovima. Velike četvrtaste bale se slažu na kamaru i to na način da u gorenjem delu imaju kosine, kako bi prilikom pokrivanja ceradom bilo omogućeno odvođenje atmosferskih padavina. Skladištenje je uglavnom na otvorenom prostoru, sa pripremljenom podlogom ili bez, može biti pod nadstrešnicom, pod ceradom ili nepokriveno. Najbolje je skladištenje pod nadstrešnicom, ali je takvo rešenje i najskuplje. Valjkaste – rol bale skladište se jednodredno ili u piramidalne kamare sa dve bale u osnovi [8].

Sakupljanje granjevine nakon rezidbe u višegodišnjim zasadima se može ostvariti na više načina počev od ručnog, preko upotrebe jednostavnih vila priključenih na traktor do složenih mašina. Najjednostavniji način sakupljanja ostataka je pomoću nošenih oruđa u obliku grabulja ili vila, koja se postavljaju na traktor frontalno, ili sa zadnje strane. Pored upotrebe traktora sa vilama mogu se koristiti postupci prikupljanja ostataka i istovremena obrada, pomoću mašina kojima se masa istovremeno sakuplja i balira. Zavisno od tipa i

#### NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Branka Nakomčić Smaragdakis, vanr. prof.

konstrukcije pomoću njih se mogu formirati bale kvadratnog preseka ili rol-bale. Prikupljeni ostaci rezidbe su kabasti i zauzimaju puno prostora što se rešava postupcima seckanja, drobljenja i presovanja. Usitnjavanje granjevine se vrši na dužinu od 2-15 cm ili sitnije veličine strugotine. Sitnjenjem biomase se povećava zapreminska masa ostatka rezidbe, čime se olakšava transport i manipulacija. Za vreme skladištenja masa usitnjene granjevine se prosušuje prirodnim putem, što se može intenzivirati obezbeđivanjem veštačke ventilacije u skladištu. Biljna masa usitnjena do forme strugotine se u daljem postupku obrade briketira zbog lakšeg skladištenja čuvanja i upotrebe [4].

Stajnjak u stočarstvu se skladišti kao čvrst i tečni stajnjak. Sastav tečnog stajnjaka je dosta različit, kako po vrstama tako i po kategorijama domaćih životinja. Kod skladištenja čvrstog stajnjaka skladišni kapacitet mora da se izračunava posebno za svaki tip stajskog đubriva, kao i za različite vrste uzgoja životinja. Principi izgradnje gomila stajskog đubreta je minimalna površina kako bi se postigla maksimalna stabilnost skladištenja štalskog stajskog đubreta. U stajama sa sistemom rukovanja čvrstim stajnjakom moraju se sakupljati stajnjak i osoka u različitim skladištima. Tečni stajnjak se skladišti u tankovima. Tankovi (rezervoar) za tečni stajnjak mogu biti izgrađeni od različitih materijala, kao što su beton, čelik i plastika ili bazeni tipa laguna. Lagune predstavljaju zemljane strukture ali su znatno veće od onih koje se prave za osoku zbog dodatnog razređivanja i neophodnih zapremina za tretman. To su jednostavni i relativno jeftini objekti koji se grade formiranjem zemljišnih bazena, te se stoga najčešće sreću na našim velikim farmama. U cilju zaštite od prodiranja tečnosti iz lagune u zemljište, laguna se oblaže folijom (zidovi i dno) a ispod folije se postavljaju drenažne cevi spojene sa kontrolnim šahtom, preko koga se kontroliše ispravnost (nepropustnost) lagune [9].

## 2.2. Hemijski sastav poljoprivredne biomase

Među najvažnijim karakteristikama goriva su hemijski sastav i toplotna vrednost.

Sva biomasa svedena na čistu gorivu masu ima praktično isti hemijski sastav, definisan izrazom  $CH_{1,4}O_{0,6}N_{0,1}$ , ali postoje velike razlike u prirodi polimera, koji ulaze u njen sastav. Organski deo čine: celuloza, hemiceluloza, lignin i ekstraktivna ulja. Neorganski deo uključuje biološki aktivne elemente kalijum i hlor, čestice materijala uključenih u samu biljku, kao što su silikati i vrlo često razne nečistoće, koje se javljaju kao posledica procesa obrade, transporta i skladištenja (metali, plastika, staklo i sl.). U produktima sagorevanja neorganski deo biomase u najvećem delu se može naći u pepelu [1].

Poljoprivredna biomasa je bogata kiseonikom i stoga ima nisku toplotnu moć. Toplotne moći poljoprivredne biomase se razlikuju u zavisnosti od njene vrste i sastava, kao i od njenog sadržaja vlage. Toplotna moć goriva (poljoprivredne biomase) se definiše kao odnos oslobođene količine toplote pri potpunom sagorevanju goriva i količine goriva iz koje je toplota oslobođena. U opštem slučaju, gorivo se sastoji od gorivog dela i balasta (negorivog dela). Vlaga, zajedno sa mineralnim materijama, čini tzv. spoljnu balast. Vlaga umanjuje toplotnu moć goriva jer se

za njeno isparavanje troši deo toplote nastao sagorevanjem goriva. Shodno tome, razlikujemo gornju i donju toplotnu moć goriva [1].

## 2.3. Tehnologije sagorevanja biomase

Kao najstarija tehnologija konverzije biomase, sagorevanje je i danas najrasprostranjeniji način korišćenja biomase kao energetskog izvora. Sagorevanje biomase se u najvećoj meri koristi za dobijanje toplotne energije (u sistemima sa centralnim grejanjem ili za potrebe procesa). U poslednjoj dekadi je primetno sve veće korišćenje ove tehnologije u razvijenim zemljama i za dobijanje električne energije, pogotovo u postrojenjima za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije [3].

Peći i kotlovi se uglavnom sastoje iz sličnih elemenata i to su oprema za dopremanje goriva, oprema za sagorevanje goriva (ložište), opreme za ubacivanje goriva, opreme za ubacivanje vazduha za sagorevanje, oprema za izuzimanje čvrstih produkata sagorevanja, oprema za prečišćavanje i odvođenje letećih produkata sagorevanja, oprema za dopremanje fluida kojim se vrši razmena toplote, oprema za razmenu toplote (kotlovi), merno-regulaciona oprema, sigurnosna oprema.

Tehnologije sagorevanja dele na sagorevanje u sloju, na rešetki, u mehurastom fluidizovanom (MFS) i cirkulacionom fluidizovanom sloju (CFS), i u letu. Svaki od ovih načina sagorevanja može imati više varijantnih tehnoloških rešenja. Kod sagorevanja u sloju, doziranje goriva se može vršiti odozdo (puževima na jednom ili više mesta) ili bočno (hidraulički). Kod sagorevanja na rešetki, sama rešetka može biti ravna ili kosa, stacionarna ili pokretna. Glavna varijantna rešenja kod sagorevanja u MFS se odnose na način doziranja goriva (u ili na fluidizovan sloj) a kod CFS na način ostvarivanja recirkulacije [3].

Pojam "ko-sagorevanje" označava dodavanje drugog goriva osnovnom gorivu u istom ložištu ili kotlu. Kada je reč o biomasi, ko-sagorevanje označava dodavanje biomase osnovnom gorivu, u prvom redu uglju [3].

Kogenerativna postrojenja su postrojenja u kojima se istovremeno proizvodi korisna toplotna i električna energija. Hemijska energija, koja se dobija iz biomase, pretvara se u mehaničku i toplotnu energiju. Dobijena mehanička energija pretvara se u električnu energiju a toplotna služi za proizvodnju pare, tople vode ili vazduha. Kogenerativna postrojenja grade se tamo gde postoji potreba za oba oblika energije. Poređenjem odvojene proizvodnje električne i toplotne energije, za istu potrošnju primarne energije, kogenerativno postrojenje proizvodi i do 40% više toplotne i električne energije [5].

## 3. ANALIZA POTENCIJALA POLJOPRIVREDNE BIOMASE U AP VOJVODINI I PRIMER PRIMENE

U okviru ovog rada analiza potencijala poljoprivredne biomase sadrži analizu potencijala žetvenih ostataka ratarske proizvodnje, ostataka rezidbe voća i vinove loze i potencijal proizvodnje energije iz stočarstva. U tabeli 1 prikazan je ukupni realni potencijal poljoprivredne biomase kao izvora energije u Vojvodini, računat za 2019. godinu na osnovu podataka preuzetih od strane Republičkog zavoda za statistiku.

Tabela 1. Realni potencijal poljoprivredne biomase kao izvora energije u AP Vojvodini

Vrsta biomase	Realni energetski potencijal u ten
Žetveni ostaci	469.353,43
Ostaci rezidbe	27.210,40
Stajnjak	52.270,34
Ukupno	548.834,17

Proračun energetskog potencijala žetvenih ostataka rađen je za nivo godišnje proizvodnje useva. U obzir je uzeto da samo 1/3 od ukupnog potencijala može da se iskoristi u energetske svrhe, i to da se od ove trećine svega 50% može realno sakupiti. Rezidbeni ostaci su računati na osnovu površina pod kojima se nalaze zasadi, odnosno ostvarenim prinosima voća.

U kalkulacijama je korišćen odnos težine voća i biomase (granjevine) od rezidbe koji iznosi 1:0,325, a kod vinove loze korišćen je odnos težine loze i grančica od rezidbe koji iznosi 1:0,457. Za potrebe proračuna uzeto je u obzir da se oko 80% biomase iz voćnjaka u praksi može sakupiti. Energetski potencijal iz stajnjaka je računat na osnovu broja životinja i godišnje proizvodnje stajnjaka po grlu. Za potrebe proračuna potreban je podatak toplotne moći metana (CH<sub>4</sub>) koja iznosi 35,9 MJ/m<sup>3</sup>. Realni energetski potencijal računat je kao 60% od ukupnog potencijala [6].

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da najveći potencijal poljoprivredne biomase u AP Vojvodini predstavljaju žetveni ostaci i čine 85% od ukupne količine poljoprivredne biomase. Kada je reč o biomasi od stajnjaka i ostataka rezidbe potencijal je manji ali svakako respektabilan.

Najbrojniji korisnici su pojedinačna, manja ložišta u domaćinstvima i manjim preduzećima, koji koriste različitu biomasu i na različite načine za zagrevanje prostora. Najčešći korisnici u industriji su fabrike ulja od suncokreta. Suncokretova ljuska se u njihovim kotlarnicama koristi za proizvodnju toplotne energije [2]. Primer takvog postrojenja je fabrika ulja "Banat" a.d. Nova Crnja [7].

### 3.1. Analiza isplativosti kogenerativnog postrojenja na drvnu biomasu

Predmet analize je kogenerativno postrojenje na drvnu biomasu. Postrojenje se sastoji od kotla sa sagorevanjem goriva na rešetci, kondezacijske parne turbine sa regulacionim oduzimanjem, toplotne stanice i vazduhom hlađenog kondezatora. Prema zadatku, turbina mora proizvoditi snagu od 2 MWe i 5 MWt (tabela 3). Zadana je i maksimalna vlažnost goriva od 50%. Analizom je obuhvaćen i uticaj različite količine vlage na količinu potrebnog goriva, a time i na ekonomsku isplativost, u tabeli 2 su prikazane donje toplotne moći goriva u zavisnosti od stepena vlažnosti goriva [11]. Cena prodajne električne energije uzeta je kao prosečna vrednost cene električne energije za jednotarifno merenje široke potrošnje prema ceni regulisanoj od februara 2021. godine. Prodajna cena toplotne energije je na osnovu podataka Novosadske toplane prema ceni regulisanoj od februara 2019. godine.

Tabela 2. Zavisnost donje toplotne moći od stepena vlage [11]

Stepen vlažnosti goriva W	Donja toplotna moć goriva H <sub>dW</sub> (kJ/kg <sub>G</sub> )
0%	17726
10%	15953
20%	14180
30%	12407
40%	10635
50%	8862

Tabela 3. Osnovni podaci [11]

Opis	Iznos	Oznaka
Snaga parne turbine P	2	MW
Snaga toplotne stanice ΦTS	5	MW
Radni broj sati	7500	h/god
Prodajna cena el.energije	10,3	din/kWh
Prodajna cena toplotne energije	5,23	din/kWh
Vek trajanja postrojenja	20	god

Kada se radni broj sati pomnoži sa snagom parne turbine, odnosno sa snagom toplotne turbine dobija se da je godišnja proizvodnja električne energije je 15000 MWh, dok je godišnja proizvodnja toplotne energije 37500 MWh [11]. Na osnovu tih podataka i podataka o ceni prodaje energije dobijena je struktura prihoda prikazana u tabeli 4, dok je struktura troškova prikazana u tabeli 5.

Tabela 4. Struktura prihoda

Opis	Iznos	Oznaka
Prihodi od prodaje električne energije	154.500.000	din/god
Prihodi od prodaje toplotne energije	196.125.000	din/god
Ukupno	350.625.000	din/god

Tabela 5. Struktura troškova [11]

Opis	Iznos	Oznaka
Specifični investicijski trošak	588.000	din/kWh
Ukupni investicijski trošak	1.176.000.000	din/god
Ostali troškovi		
Troškovi održavanja	23.600.000	din/god
Administrativni troškovi	4.500.000	din/god
Troškovi zaposlenih sa 12 radnika i prosečnom platom 70.000 din/mesečno	10.080.000	din/god
Ukupno	38.180.000	din/god

Pored prikazanih troškova, potrebno je uzeti u obzir i pogonske troškove. Pogonski troškovi zavise od količine goriva koja će biti potrebna. Potrebna godišnja količina goriva se povećava sa povećanjem procenta vlage goriva, odnosno smanjivanjem toplotne moći goriva. Godišnji

trošak goriva je dobijen kao proizvod potrebne godišnje količine goriva i cene goriva.

Rezultati isplativosti ukazuju da bi se investiranje u ovakvo kogenerativno postrojenje isplatilo nakon 15 godina, ukoliko bi stepen vlažnosti goriva bio 10%. Isplativost postrojenja zavisi od toplotne moći goriva, dok toplotna moć zavisi od stepena vlažnosti goriva. Što je stepen vlažnosti veći, toplotna moć je manja i obrnuto.

#### 4. ZAKLJUČAK

Srbija ima veliki potencijal za dobijanje energije iz biomase, naročito poljoprivredne biomase koja je najzastupljenija u AP Vojvodini. Prilikom analize potencijala poljoprivredne biomase u AP Vojvodini, dobijen je rezultat ukupnog realnog energetskeg potencijala koji iznosi 0,549M ten. Postoje različiti postupci konverzije biomase od kojih je sagorevanje, kao najstarija tehnologija konverzije biomase, jedno od najrasprostranjenijih u zemljama u razvoju, pa i u Srbiji. Sagorevanje biomase se u najvećoj meri koristi za dobijanje toplotne energije ali je primetno sve veće korišćenje ove tehnologije u razvijenim zemljama i za dobijanje električne energije.

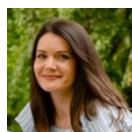
Nažalost, u Srbiji se uglavnom se koriste zastarela tehnološka rešenja bez posebne regulacije procesa, kako sa aspekta ostvarivanja optimalnog stepena korisnosti, tako i sa aspekta emisije štetnih gasovitih produkata. Kako bi se korišćenje poljoprivredne biomase u energetske svrhe povećalo potrebno je edukovati pre svega same proizvođače biomase, ali i potencijalne korisnike o prednostima poljoprivredne biomase. Potrebno je da Vlada Republike Srbije putem različitih podsticajnih mera motiviše korisnike za korišćenje biomase i privuče investiture. Takođe, potrebno je obezbediti sigurno snabdevanje biomasom tj. planski i sistemski organizovati tržište biomase.

#### 5. LITERATURA

- [1] Brankov S. 2016. Mogućnosti korišćenja energije pirolizom poljoprivredne biomase. Doktorska teza, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.
- [2] Gvozdenc D, Nakomčić-Smaragdakis Branka, Gvozdenc-Urošević Branka. 2011. Obnovljivi izvori energije. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka.
- [3] Grubor B, Oka S, Ilić M. 2003. Tehnologije sagorevanja biomase. In Energetski potencijal i karakteristike ostataka biomase i tehnologije za njenu pripremu i energetske iskorišćenje u Srbiji, ED – Oka S, Grubor B, Dakić D, Ilić M, Tešić M, Martinov M, Brkić M, Novaković D, Đević M, Kosi F, Radivojević D, Radovanović M, Danon G, Bajić V, Isajev V, Skakić D, Bajić S, Oreščanin S, Rončević S, ch. 4.1, (113-122). Ministarstvo za nauku, tehnologije i razvoj Republike Srbije.
- [4] Živković M, Radojević R, Radivojević D, Dražić Dragana. 2008. Postupci pripreme ostataka rezidbe iz višegodišnjih zasada. Poljoprivredna tehnika 33(4): 1-8.

- [5] Kirasić E. 2019. Tehno-ekonomska analiza kogenerativnog postrojenja spojenog na centralizirani toplinski sustav grada Ogulina. Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- [6] Kovačević V. 2018. Korišćenje poljoprivredne biomase za energetske potrebe u Srbiji. Beograd: UNDP Srbija.
- [7] Lučić N. 2009. Sagorevanje suncokretove ljuske u fabrici ulja „Banat“ a.d. Nova Crnja. Diplomski rad, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.
- [8] Martinov M, Golub M, Višković M, Đatkov Đ, Krstić J. 2016. Studija ubiranja, skladištenja i prerade kukuruzovine za korišćenje kao energenta i sirovine za biogoriva na teritoriji AP Vojvodine. Novi Sad: Sekreterij za energetiku i mineralne sirovine Autonomne Pokrajine Vojvodine.
- [9] Mirić M, Radaković Z, Stupar Sanja. 2012. Istraživanje potencijala raspoložive biomase za proizvodnju biogasa na teritoriji opština Stara Pazova i Ruma. Ruma: Pokrajinski sekreterij za međunarodnu i lokalnu samoupravu.
- [10] Novaković D, Đević M. 2003. Ostaci poljoprivredne biomase. In Energetski potencijal i karakteristike ostataka biomase i tehnologije za njenu pripremu i energetske iskorišćenje u Srbiji, ED – Oka S, Grubor B, Dakić D, Ilić M, Tešić M, Martinov M, Brkić M, Novaković D, Đević M, Kosi F, Radivojević D, Radovanović M, Danon G, Bajić V, Isajev V, Skakić D, Bajić S, Oreščanin S, Rončević S, ch. 1, (1-5). Ministarstvo za nauku, tehnologije i razvoj Republike Srbije.
- [11] Tomašević M. 2017. Proračun kogenerativnog postrojenja na drvenu biomasu. Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- [12] Čepić Z. 2017. Matematičko modelovanje sagorevanja pšenične slame u nepokretnom sloju sa aspekta uticaja promene parametara procesa. Doktorska teza, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.

#### Kratka biografija:



**Tanja Đurišić** rođena je u Brusu 1992. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Inženjerstvo zaštite životne sredine odbranila je 2021. godine. kontakt: tanychins@gmail.com



**Branka Nakomčić-Smaragdakis** rođena je u Zrenjaninu. Diplomirala je na FTN-u na Mašinskom odseku, smer Termoenergetika i procesna tehnika, magistrirala je na Interdisciplinarnim studijama iz Inženjerstva zaštite životne sredine. Doktorirala je na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Toplotne tehnike. Oblast istraživanja i naučnog rada: Modelovanje i simulacija termoprocesnih sistema, Obnovljivi izvori energije i Upravljanje rizicima.