

## TEHNIČKI ASPEKTI KORIŠĆENJA OKLASKA KUKURUZA ZA DOBIJANJE TOPLOTNE ENERGIJE

### TECHNICAL ASPECTS OF USING CORN CUT FOR THE OBTAINING OF HEAT ENERGY

**Stojan Simić\*, Davor Milić, Goran Orašanin**

Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Mašinski fakultet,  
Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina

*U poljoprivredi postoje velike količine biljnih ostataka koje se mogu koristiti za proizvodnju energije. Poljoprivrednu biomasu čine ostaci jednogodišnjih kultura kao što su: slama žitarica, kukuruzovina, oklasak kukuruza, stabljika, ljuska, koštice i dr. Oklasak kukuruza je nusproizvod koji nastaje prilikom korišćenja kukuruza. U radu se sa više aspekata razmatra upotreba kukuruznog oklaska kao goriva u pećima i kotlovima. Provedena istraživanja pokazuju da je primena ovog otpadnog materijala prihvatljiva sa više aspekata za proizvodnju toplotne energije.*

**Ključne reči:** biomasa; kukuruzni oklasak; korišćenje; energija

*In agriculture, there are large amounts of plant residues that can be used for energy production. Agricultural biomass consists of the remains of one-year crops such as cereal straw, corn husks, corn cobs, stalks, husks, kernels, etc. Corn husk is a by-product that occurs when corn is used. The paper discusses the use of corn husks as fuel in furnaces and boilers from several aspects. The conducted research shows that the application of this waste material is acceptable from several aspects for the production of thermal energy.*

**Key words:** biomass; corn cob; utilization; energy

### 1. Uvod

Biomasa je biorazgradljivi deo proizvoda, otpada i ostataka poljoprivredne proizvodnje (biljnog i životinjskog porekla), šumarske i srodnih industrija. Predstavlja obnovljiv i ekološki prihvatljiv izvor energije. Postoje razne procene potencijala i uloge biomase u globalnoj energetskej politici u budućnosti, ali se u svim strategijama predviđa njen značajan porast i mnogo veća uloga nego do sada. Glavna prednost korišćenja biomase kao izvora energije su veliki potencijal, ne samo za tu svrhu zasađene biljne kulture već i otpadnih materijala koji nastaju u poljoprivrednoj i prehrambenoj industriji.

U poljoprivrednoj proizvodnji nastaju relativno velike količine biljnih ostataka koje se primenom različitih tehnologija mogu koristiti za proizvodnju energije. Prilikom žetve i prerade žitarica stvara se otpadna biomasa. Pored zrna, pri proizvodnji kukuruza nastaju sledeći otpadni materijali: stabljika s lišćem (kukuruzovina), komušina i oklasak. Relativno male količine oklaska kukuruza se koriste u energetske svrhe, najčešće se odlaže kao otpad ili se smatra gorivom lošeg kvaliteta. U radu

\* Corresponding author: stojans@modricaoil.com

Davor Milić: <https://orcid.org/0000-0001-6281-8770>

Goran Orašanin: <https://orcid.org/0000-0002-1513-3645>

se sa više aspekata razmatraju tehnički aspekti upotrebe oklaska kukuruza kao goriva u pećima i kotlovima.

## 2. Potencijal otpadne poljoprivredne biomase

U svetu se godišnje proizvede preko dve milijarde tona zrna žita, najviše pšenice, kukuruza i riže. Uz to se, kao sporedni proizvod, proizvode i oko tri milijarde tona slame i kukuruzovine. To je izuzetno velika količina i važno je da se korisno upotrebi.

Danska je vodeća zemlja u Evropskoj Uniji po iskoristivosti otpadne biomase i proizvodnji energije od nje. Ova zemlja je nakon naftne krize sedamdesetih godina prošlog veka donošenjem više planova u sklopu svoje energetske politike, pokazala da je moguće iskoristiti potencijale u biomasi za proizvodnju toplotne i električne energije. Švedska poseduje postrojenje koje koristi slamu od žitarica za proizvodnju toplotne energije. Sakupljena slama sa 120 ha je dovoljna da zagreje 130 domaćinstava. Ova investicija je iznosila 520 hiljada evra i isplatila se za nešto manje od sedam godina. U Švedskoj postoji jedna kompanija koja ima 30 ovakvih ili sličnih postrojenja, što ukazuje na rešenost države da ozbiljno investira u obnovljive izvore energije i na isplativost ovakvih projekata.

Srbija sa oko 45000 km<sup>2</sup> poljoprivredne površine poseduje izuzetno veliki potencijal u biomasi. U Srbiji se u proseku svake godine proizvede oko 13 miliona tona otpadne biomase, od toga samo u Vojvodini oko 9 miliona tona. Energija koja bi se mogla dobiti korišćenjem ovog izvora predstavlja 2,68 miliona tona ekvivalentne nafte. Na taj način bi se godišnje uštedelo oko 60 miliona evra koji se ulože za uvoz sirove nafte. Međutim, u Srbiji još uvek nisu zadovoljavajući rezultati u korišćenju biomase kao energenta i pored postojećih potencijala.

U Bosni i Hercegovini, pored 1,2 miliona tona zrna žita, godišnje se dobija i oko 2 miliona tona slame i kukuruzovine. Jasno je da je potencijal otpadne poljoprivredne biomase relativno veliki. Međutim njeno iskorišćenje za proizvodnju toplotne energije je na niskom nivou. U predstojećem periodu potrebno je preduzeti odgovarajuće aktivnosti da bi se u što većem obimu ovaj otpadni materijal počeo koristiti kao energent za proizvodnju toplotne i električne energije.

## 3. Prednosti upotrebe otpadne poljoprivredne biomase

Glavna prednost biomase u odnosu na fosilna goriva je neuporedivo manja emisija štetnih gasova i otpadnih supstanci. Opterećenje atmosfere sa ugljen-dioksidom pri korišćenju biomase kao goriva je zanemarljivo, obzirom da je količina emitovanog ugljen-dioksida prilikom sagorevanja jednaka količini apsorbovanog ugljen-dioksida tokom rasta biljke.

Pre upotrebe potrebno je izvršiti pripremu odnosno preradu biomase. Prerada biomase se vrši u cilju dobijanja pogodnijeg oblika za transport, skladištenje i iskorišćenje. Primarne tehnologije prerade biomase su mehanička, biohemijska i termičko-hemijska prerada.

Mehanička prerada u suštini predstavlja briketiranje, odnosno peletiranje biomase. Tehnologija briketiranja-peletiranja je postupak prilikom kojeg se usitnjeni materijal pri visokom pritisku pretvara u kompaktnu formu relativno velike zapreminske mase pogodnu za dalju manipulaciju i korišćenje.

Pod biohemijskom preradom se podrazumeva razgradnja biomase sa ili bez prisustva kiseonika uz oslobađanje manje ili veće količine toplote. Biohemijskom preradom se dobijaju gasoviti produkti (biogas), tečna goriva (bioetanol) i kompost koji se može upotrebljavati kao đubrivo u poljoprivredi.

Termičko-hemijska prerada biomase se vrši procesom sagorevanja. U zavisnosti od vrste, sadržaja vlage i veličine komada razlikuju se tehnologije za pripremu i konstrukciona rešenja ložišta kotlova u kojima se vrši sagorevanje otpadne biomase.

Na slici 1. prikazana je opšta šema proizvodnje energije iz uzgojne i otpadne biomase.

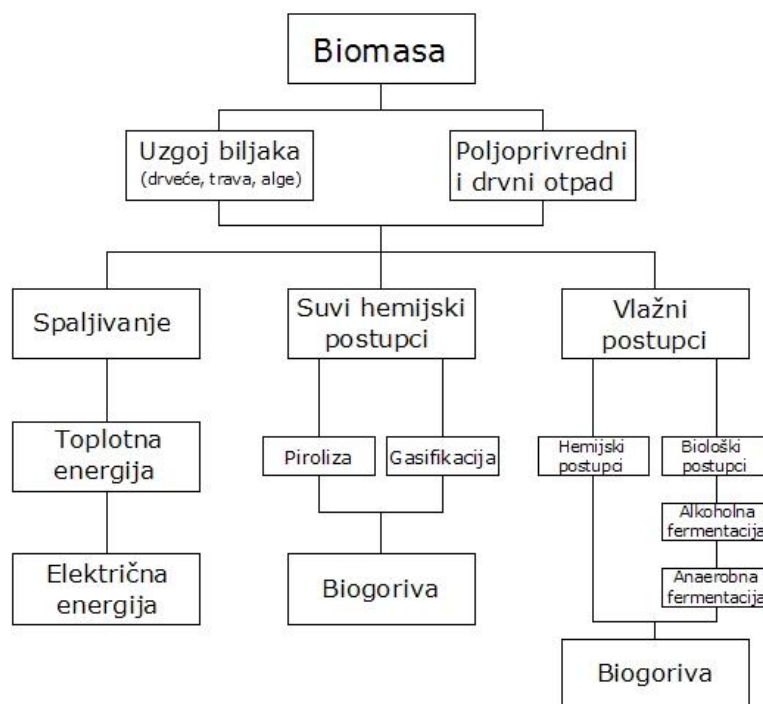
Danas se primena biomase za proizvodnju energije pospešuje uvažavajući načelo održivog korišćenja. Ono podrazumeva da količina biomase koja se koristi za dobijanje energije uvek bude manja ili jednaka prirastu količine biomase. Poljoprivreda je veliki potrošač, ali istovremeno može postati i značajan proizvođač energije. Sa stanovišta poljoprivredne proizvodnje posebno je interesantno dobijanje energije iz biomase. Kada su u pitanju poljoprivredne kulture, održivost korišćenja biomase podrazumijeva plansko i redovno vraćanje određene količine supstance u zemljište zaoravanjem (oko 30% biomase), jer se tako održava ravnoteža i postiže veća plodnost zemljišta.

Sa privrednog i ekološkog stanovišta postoji mnoštvo aspekata koji ukazuju na opravdanost primene i korišćenja biomase kao energenta. Ekološki aspekti korišćenja biomase su:

- u zemljištu se za 28 dana razgradi oko 95% supstance biomase;
- biogoriva sadrže neznatne količine sumpora pa u produktima sagorevanja nema sumpornih oksida;
- pri sagorijevanju biomase dobija se tzv. "čisti pepeo";
- nema emisije ugljovodonika kao produkta nepotpunog sagorevanja;
- biomasa je u potpunosti obnovljiv izvor energije;
- sva biomasa već postoji i nije je potrebno stvarati, već je treba samo planski iskoristiti i pomoći joj da se regeneriše.

U poslednje vreme biomasa dobija sve više na značaju kao resurs koji se koristi za proizvodnju "čiste energije". Privredni aspekti korišćenja biomase su:

- redukcija gasova koji izazivaju efekat staklene bašte;
- manja emisija štetnih komponenata u poređenju sa sličnim tehnologijama koje koriste fosilna goriva;
- smanjenje opasnosti od pojave požara;
- zaštita biljnog i životinjskog sveta;
- otvaranje novih radnih mesta;
- ekonomsko-komercijalni efekti u ruralnim sredinama.



Slika 1. Opšta šema proizvodnje energije iz biomase [1]

Pored brojnih prednosti koje posjedue kada se koristi u procesu proizvodnje energije, biomasa ima i neke nepogodnosti. U toku eksploatacije biomase najčešće se javljaju sledeće nepogodnosti:

- manipulacioni i ekonomski problemi pri sakupljanju, pakovanju i skladištenju;
- periodičnost nastajanja;
- relativno mala zapreminska masa i toplotna moć svedena na jedinicu zapremine;
- razuđenost u prostoru;
- nepovoljan oblik i visoka vlažnost;
- visoke investicije u postrojenja za proizvodnju energije.
- Biomasa je prema svojstvima sličnija fosilnim gorivima nego obnovljivim izvorima energije, što je i razumljivo jer su fosilna goriva u stvari fosilni oblik biomase. Energija iz biomase može se dobiti na više načina [2]:
- neposrednim spaljivanjem radi dobijanja toplotne energije;
- preradom stajnjaka od životinja u biogas (digestija);
- preradom biomase u alkohol (etanol) ili proizvodnjom biljnih ulja.

Poljoprivredna biomasa može se koristiti za direktno sagorevanje u ložištima za proizvodnju toplote i za dobijanje biogasa koji se koristi kao gorivo u postrojenjima za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije (CHP postrojenja).

#### 4. Tehnički aspekti primene oklaska kukuruza za dobijanje toplotne energije

U poljoprivredi se pored glavnih proizvoda dobija i značajna količina otpadaka u obliku organske supstance. Među tim otpacima najvažnije su slama i kukuruzovina. Obzirom da je prosečan odnos zrna i mase, tzv. žetveni odnos 53% na prema 47%, proizilazi da biomase ima približno koliko i zrna. Ako se razdvoje kukuruzovina i oklasak, njihov odnos je prosečno 82% na prema 18%, odnosno pri proizvodnji jedne tone zrna kukuruza dobija se 0,89 t otpadne biomase sa 0,71 t kukuruzovine i 0,18 t kukuruznog oklaska. Nesporno je da se nastala biomasa mora prvenstveno vraćati u zemljište. Preporučuje se zaoravanje 30 do 50% te mase, što znači da za energetska upotrebu ostaje najmanje 30%. Ta količina predstavlja značajan potencijal za proizvodnju energije. Adekvatnim tretiranjem te količine biomase može se mnogo uštedeti, ukoliko se ta energija iskoristi za ogrev ili za sušenje poljoprivrednih kultura. U tabeli 1. prikazano je koliko se dobije otpadne biomase pri uzgoju kukuruza na površini od jednog hektara.

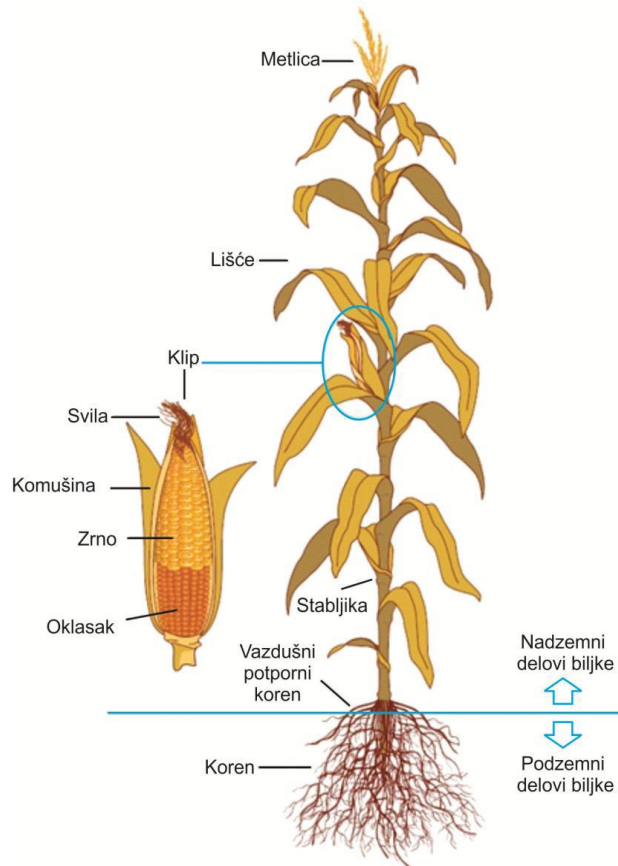
*Tabela 1. Vrsta, količina i raspoloživost za energetske potrebe otpadne biomase od kukuruza*

Količina kukuruza, [ha]	Vrsta otpadne biomase	Količina otpadne biomase, [t]	Raspoloživo za energetske potrebe, [%]
1,0	Kukuruzovina (komušina)	3,85	70
	Oklasak kukuruza	1,65	30

Oklasak (kočanka, čokanj, šapurika) je nusproizvod koji nastaje od kukuruza. Predstavlja vreteno klipa kukuruza koje ima fiziološku ulogu da zrno koje se razvija obezbeđuje fotosintetskim jedinjenjima i vodom. Na poprečnom preseku oklaska razlikuju se tri zone: centralna, koja čini srž, zona drvenstog cilindra i periferni sloj koji se sastoji od sloja grubih i sloja finih plevica. Hemijski

sastav oklasaka, a pre svega fizičko-hemijske karakteristike (rastvorljivost i moć apsorpcije), neutralna pH vrednost, odsustvo smola, voskova i teških metala, čine ga pogodnim za mnogobrojne namene.

U prošlosti su za žetvu kukuruza korišćeni berači-komušači, danas je njihova upotreba sve manja ali je i dalje značajna. Prilikom berbe klipova kukuruza na ovaj način dobija se suv oklasak nakon krunjenja koji može da ima različite primene. U poslednje vreme za berbu kukuruza sve više se koriste kombajni, koji prilikom ubiranja zrna na njivi sakupljaju oklasak. Na slici 1. prikazani su delovi biljke kukuruza.



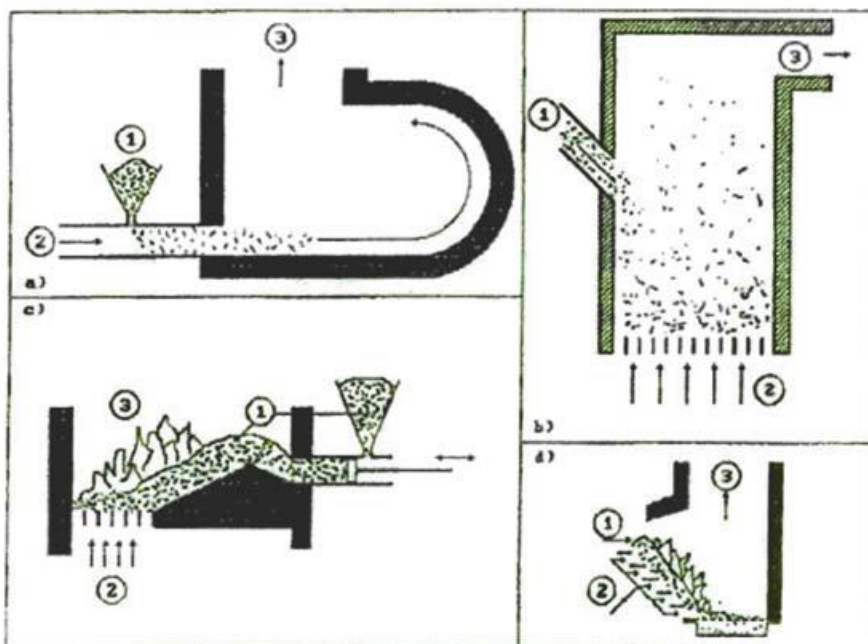
Slika 1. Delovi biljke kukuruza

Tradicionalna upotreba oklasaka pri direktnom sagorevanju za grejanje prostorija i zagrevanje vazduha za sušenje zrna kukuruza danas je značajno proširena na industrijsku preradu. Međutim, da bi se oklasak koristio kao polazna sirovina za industrijsku preradu i ostale namene, zahteva se njegovo fizičko prilagođavanje odnosno mehaničko usitnjavanje, granuliranje i otprašivanje. Ovako dobijeni lignocelulozni granulati predstavljaju idealan nosač mikroingradijenata u stočnoj hrani, aktivnih materija u pesticidima, herbicidima, insekticidima i rodenticidima, zatim u farmaceutskoj industriji nosač za antibiotike, a u kozmetici nosač dezodoranasa. U metaloprerađivačkoj industriji takođe postoji veliko interesovanje za korišćenje ovih granulata za odmašćivanje, sušenje i poliranje metalnih površina, kao i u zaštiti životne sredine za uklanjanje nečistoća sa vodenih površina nastalih usled izlivanja nafte i naftnih derivata.

Razvoj ložišta za sagorevanje oklasaka kukuruza bio je usmeren u više pravaca. Najčešće se primenjuju sledeća konstrukciona rešenja ložišta:

- sagorevanje u prostoru,
- sagorevanje u fluidizovanom sloju,
- sagorevanje na strmoj ravni, i
- sagorevanje na kosoj rešetki.

Na slici 2. prikazani su različita konstrukciona rešenja ložišta za sagorevanje oklasa kuku-ruza.



Slika 2. Konstrukcije ložišta za sagorevanje oklasa kuku-ruza: a) sagorevanje u prostoru; b) sagorevanje u fluidizovanom sloju; c) sagorevanje na strmoj ravni; d) sagorevanje na kosoj rešetki; 1 – gorivo, 2 – vazduh, 3 – proizvodi sagorevanja [3]

Na slici 2a. prikazano je ložište u kome usitnjeno gorivo (oklasak kuku-ruza), zajedno sa vazduhom, dospeva u ložište, a potom sagoreva u prostoru. Sagorevanje u fluidizovanom sloju (slika 2b.) realizuje se sa kvarcnim peskom kao inertnim materijalom. Oklasak kuku-ruza se ne usitnjava. Dobri rezultati dobijeni su dodavanjem hematita radi povišenja temperature omekšavanja pepela. Najjednostavnije rešenje, koje se primenjuje prikazano je na slici 2c. Neusitnjen materijal se periodično potiskuje na strmu ravan, na kojoj sagoreva u sloju. Na slici 2d. prikazano je klasično rešenje kose rešetke gde takođe kukuruzni oklasak sagoreva neusitnjen.

Forma oklasa utiče u značajnoj meri na konstrukciono rešenje ložišta. Na formu oklasa utiče tip krunjača, tj. da li se nakon krunjenja dobijaju celi, grubo ili fino drobljeni oklasci. U novije vreme sve više se primenjuje peletiranje oklasaka. Time oklasak postaje transportabilan, skladišni prostor znatno je smanjen, sagorevanjem u odgovarajućem ložištu ostvaruju se bolji efekti, a primenljiv je i van ruralnih oblasti. Jedino je nepovoljno to što je cena peleta dva do preko tri puta viša u odnosu na cenu celog oklasa.

Na poljoprivrednim gazdinstvima oklasak kuku-ruza se koristi kao gorivo u pećima i kotlovima snage 4 do 50 kW za grejanje stambenog prostora. Pored toga, primenjuje se i za kosagorevanje sa drvnom i drugom biomasom u kotlovima snage do 500 kW, za grejanje staklenika i plastenika. Duži vremenski period, u skoro svim semenskim centrima, oklasak se koristi kao gorivo za sušenje klipova kuku-ruza za dobijanje semenskog kuku-ruza.

Donja toplotna moć oklasa kuku-ruza pri udelu vlage od 10% iznosi od 15,5 do 15,7 MJ/kg. U tabeli 2. prikazana je prosečna vrednost donje toplotne moći oklasa kuku-ruza u zavisnosti od udela vlage.

Tabela 2. Vrednost donje toplotne moći oklasaka kukuruza u zavisnosti od udela vlage

Materijal	Jedinica	Udeo vlage, [ % ]				
		0	15	25	35	50
Oklasak	MJ/kg	17,6	14,6	12,6	10,6	7,6
	kWh/kg	4,9	4,1	3,5	2,9	2,1

Pored prisustva vlage, problem predstavlja količina pepela koja nastaje u toku sagorijavanja. U tabeli 3. prikazana je tehnička analiza oklasaka kukuruza.

Tabela 3. Tehnička analiza oklasaka kukuruza

Vrsta materijala	Vlaga, [ % ]	Pepeo, [ % ]	Ugljenik (fiksni), [ % ]	Volatili, [ % ]
Oklasak kukuruza	7,4	7,1	17,8	67,7

Hemijski sastav otpadne poljoprivredne biomase varira u zavisnosti od tipa izvornih supstanci. Uglavnom se prosječan sastav sastoji od 25% lignina i 75% ugljenih hidrata, odnosno šećera. U tabeli 4. prikazan je hemijski sastav oklasaka kukuruza.

Tabela 4. Hemijski sastav oklasaka kukuruza [4]

Hemijski element	Oznaka	Jedinica	Vrednost
Ugljenik	C	%	48,31
Vodonik	H		5,74
Kiseonik	O		43,10
Azot	N		0,66
Pepeo	A		2,19

Oklasak kukuruza je pogodniji za korišćenje kao gorivo u odnosu na druge žetvene ostatke jer pri njegovom sagorevanju nastane oko 2% pepela, dok pri sagorevanju slame i kukuruzovine nastaje preko 5% pepela. Temperatura omekšavanja i topljenja pepela je niža nego kod drveta i to je nepovoljno pri procesu sagorevanja oklasaka.

Pri sagorevanju oklasaka kukuruza emituju se zagađujuće materije. To su, pre svega, ugljenmonoksid, azotni oksidi, teški nesagoreli ugljovodonici i leteći pepeo. U suštini oklasak kukuruza je obnovljiv izvor energije, a ujedno je i ekološko gorivo jer se pri njegovom sagorevanju emituje relativno mala količina ugljen-dioksida, glavnog uzročnika efekta staklene bašte i globalnog zagrevanja.

## 5. Zaključak

Neprekidno raste potreba za energijom, a zalihe fosilnih goriva se smanjuju. Upravo zbog te činjenice treba se okrenuti drugim izvorima energije koji se nalaze u prirodi i koji su obnovljivi. U industrijski razvijenim zemljama već godinama se velika pažnja poklanja obnovljivim izvorima energije i zaštiti životne sredine.



Oklaska kukuruza je otpadni materijal koji nastaje pri proizvodnji kukuruza. Predstavlja relativno kvalitetno gorivo koje se može koristiti u ložištima različitih konstrukcija. Korišćenje oklaska kukuruza kao goriva je klasičan primer cirkularne bioekonomije.

Oklasak kukuruza je sekundarna sirovina koja ima relativno veliki potencijal da se koristi kao gorivo. Neophodno je obezbediti kompletnu logistiku da bi se oklasak mogao koristiti kao gorivo, a to obuhvata njegovo sakupljanje, skladištenje, transport i pripremu za sagorevanje u ložištu. Korišćenje oklaska kukuruza je značajno zbog smanjenja zavisnosti od uvoza fosilnih goriva, obezbeđenja snabdevanja energijom i smanjenja zagađenja životne sredine. Provedena istraživanja pokazuju da je primena ovog otpadnog materijala prihvatljiva sa više aspekata za proizvodnju toplotne energije.

## 6. Literatura

- [1] **Simić, S., G. Orašanin, D. Milić, S. Vasković, J. Blagojević, K. Batinić**, *Osnovni aspekti proizvodnje energije spaljivanjem otpadne poljoprivredne biomase u ložištima*, Primijenjene tehnologije u mašinskom inženjerstvu, Šeta međunarodna naučna konferencija, COMETA, Jahorina, 17-19.11.2022., str. 663-671.
- [2] **Simić, S., B. Despotović**, *Obtaining heat and electricity from waste agricultural biomass*, 6<sup>th</sup> International Workshop on Deregulated Electricity Market Issues in South-Eastern Europe, DEMSEE 2011., Bled, Slovenia, 20-21.09.2011.
- [3] **Babić, M., Lj. Babić**, *Oklasak kukuruza kao gorivo u sušenju semenskog kukuruza*, Plant Breeding and Seed Production, Novi Sad, Volume VI, No. 1-2, 1999, p. 85-90.
- [4] **Šišić, I., A. Čehajić, S. Rekanović**, *Istraživanje optimalnih rješenja valorizacije poljoprivredne biomase u energetske i druge svrhe*, 9<sup>th</sup> International Scientific Conference on Production Engineering, RIM 2013, str. 645-650.
- [5] **Donlagić, M.**, *Obnovljivi izvori energije*, Studija o obnovljivim izvorima energije u BiH, Tuzla, 2010.
- [6] **Jordanović-Vasić, M.**, *Upotreba biomase iz poljoprivrednog otpada kao obnovljivog izvora energije*, Nauka i praksa, 2009., str. 60-63.
- [7] **Šljivac, D.**, *Obnovljivi izvori energije*, Energija biomase, Osijek, 2008.