

**Bibliid:** 0350-2953 (2013) 39 (4):237-244  
**UDK:** 697.432

Originalni naučni rad  
Original scientific paper

**PREDNOSTI PRIMENE AKUMULATORA TOPLOTE PRI KORIŠĆENJU  
BIOMASE KAO ENERGENTA  
ADVANTAGES OF USE THERMAL STORAGE TANK WHEN USING BIOMASS  
AS ENERGY SOURCE**

**Dakić D<sup>1</sup>, Živković G<sup>2</sup>, Repić B<sup>2</sup>, Rudonja N<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Inovacioni centar Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16

<sup>2</sup> Institut za nuklearne nauke Vinča, Laboratorija za termotehniku i energetiku,  
Univerzitet u Beogradu, Mihaila Petrovića Alasa 12-14

<sup>3</sup> Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16

**e-mail:** [dakicdr@vinca.rs](mailto:dakicdr@vinca.rs)

**SAŽETAK**

Biomasa je najveći potencijal obnovljive energije u Republici Srbiji. Postoji zaostatak u nenoj organizovanoj, specijalno industrijskoj, upotrebi u odnosu na potencijal. Pored niza objektivnih okolnosti zašto je to tako jedan leži i u karakteristikama rada kotlova i ložišta u kojima se primenjuje biomasa. Kotlovi i ložišta u kojima se primenjuje biomasa moraju dobrim delom biti ozidani (adijabatski) kako bi se stvorili uslovi potpunog sagorevanja i na niskim temperaturama. Niske temperature sagorevanja su poželjne zbog niske temperature topivosti pepela. To specijalno važi pri primeni poljoprivredne biomase. Takve kotlove i ložišta nije poželjno često paliti i gasiti, već je povoljno da oni rade u kontinuitetu. Pored toga takvi kotlovi i ložišta nemaju mogući raspon snaga kao slični uređaji koji rade na gasovito ili tečno gorivo. Obično mogu raditi u opsegu snaga 50-100%. Sa druge strane očekuje se da se takvi kotlovi najviše koriste u sistemima za grejanje i/ili u industrijskim pogonima za preradu poljoprivrednih proizvoda ili za njihov uzgoj. Ni jedna od navedenih očekivanih primena nema potrebu za kontinualnim radom niti ujednačenu potrebu za energijom tokom rada. U radu je prikazano, kroz primere u praksi, kako se navedeni problemi mogu rešiti ili ublažiti primenom akumulatora toplote, a bez povećanja ili sa minimalnim povećanjem investicionih troškova.

**Ključne reči:** Akumulator toplote, obnovljiv izvor energije, biomasa

**1.UVOD**

Republika Srbija je preuzela obavezu da u svojoj energetskej potrošnji obezbedi povećanje učešća obnovljivih izvora energije (RES) sa sadašnjih 21% na 28% do 2020 godine. Samim tim što je biomasa, generalno, najveći izvor RES-a njena primena mora odigrati jednu od ključnih uloga u postavljenom cilju. Sa druge strane, primena biomase se suočava sa nizom poteškoća (Dakić i dr, 2012). Pored organizacionih problema (neregulisano tržište, subvencije države, kreditna politika itd.) postoje i tehnički problemi. Pod tehničkim problemima se podrazumevaju: mogućnost učešća domaće mašinogradnje u izgradnji energetskih objekata na biomasu, odgovarajuća primena šumske i poljoprivredne

biomase, suštinska razlika između te dve biomase je veća nego što je razlika između dizela i benzina, obezbeđenje sagorevanja u okviru zakonskih normi o emisijama štetnih materija, obezbeđenje kontinualnosti u radu postrojenja na biomasu, rešavanje problema odlaganja/korišćenja pepela itd. Neki od navedenih problema mogu se rešiti primenom akumulatora toplote (AT) o čemu će i biti reči u radu.

## 2. UOČENI PROBLEM U INDUSTRIJSKOJ PRIMENI BIOMASE U PRAKSI

Normalno je očekivati da će se biomasa u praksi najviše koristiti u sistemima grejanja i u uzgoju i preradi hrane ili drvoprerađivačkoj industriji. Ova očekivanja su logična jer je to način da se biomasa primenjuje najbliže njenom izvoru. Ne postoji industrija za preradu hrane (sušare, pekare, konditorska postrojenja, klanice, mlekare, plastenici itd.), kao i drvoprerađivačka industrija, koja ne troši energiju. Ni jedan od navedenih potrošača nema ujednačenu potrebu, tokom dana i godine, za energijom. Ista situacija je i sa sistemima grejanja. U Srbiji sistemi grejanja rade sa prosečnim toplotnim opterećenjem od 43%, 16,6 sati dnevno, 180 dana u godini (Janjić i dr, 2013). Dijagram isporučene toplote za grad Sremska Mitrovica (slika 1) potvrđuje malo pre iznete činjenice. Vrlo je sličan podatak i za isporučenu toplotu za grad Zrenjanin (Janjić i dr, 2013a).

Za slučaj prikazan na slici 1. relativno lako se mogu odrediti projektni parametri za kotlarnicu i akumulator toplote. Oni su:

### *Parametri rada kotlarnice:*

Kad je prosečna potrebna snaga grejanja preko 25 MW kotlarnica greje 24 h/dan

Kad je prosečna potrebna snaga grejanja 20-25 MW kotlarnica greje 20 h/dan

Kad je prosečno potrebna snaga grejanja ispod 20 MW kotlarnica greje 15 h/dan

### *Ostali parametri kotlarnice:*

Maksimalno potrebna instalisana snaga u kotlarnici je 30 MW

Snaga kotla na biomasu 12,5 MW

Mogući raspon snage kotla na biomasu 50-100 %

Prosečno radon vreme kotla na biomasu 24 h/dan

Broj radnih sati kotla na biomasu 3600 h/god (150

dana)

Prosečno dnevno opterećenje kotla na biomasu 85 %

Mogući raspon snage gasno/mazutnog kotla 25-100 %

Prosečno radon vreme gasno/mazutnog kotla 18,7 h/dan

Broj radnih sati gasno/mazutnog kotla 700 h/god (30

dana)

Prosečno dnevno opterećenje kotla na gas/mazut 3,6 MW

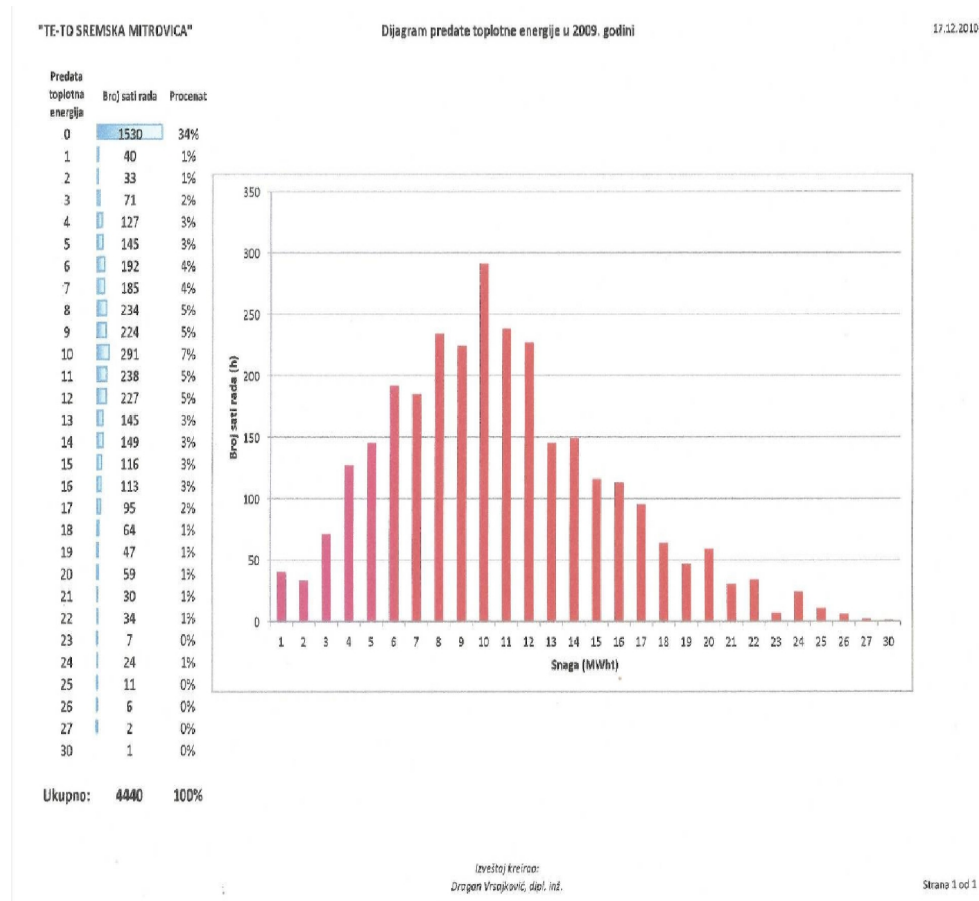
Maksimalna moguća snaga kotla na gas/mazut 14,5 MW

### *Okvirni parametric za projektovanje akumulatora toplote:*

Potrebni kapacitet akumulacije toplote 450 GJ

Zapremina atmosferskog vodenog akumulatora za  $\Delta t=30^{\circ}\text{C}$  je: 3600 m<sup>3</sup>

Okvirne dimenzije akumulatora: D=20m, H=12m



**Sl. 1.** Isporučena toplota za grad Sremska Mitrovica  
**Fig. 1.** Heat consumption for city Sremska Mitrovica

Iz ovog primera lako se vidi uloga akumulatora toplote. Ukoliko bi se gradio kotao, za projektu snagu na biomasu, bez akumulatora toplote za slučaj Zrenjanina, on bi radio svega 700-800 h/god, uz neophodno svakodnevno gašenje i paljenje. Takva varijanta je svakako neprihvatljiva. Ugradnja bilo koje druge manje snage kotla na biomasu, bez akumulatora toplote, takođe bi zahtevalo svakodnevno paljenje i gašenje uz obaveznu ugradnju kotla na gas/mazut sa većim angažovanjem (veća potrošnja goriva). Kotao na gas/mazut je u svakom slučaju neophodan i kao rezerva u mogućim havarijskim stanjima. Dati primer akumulatora je relativno nepovoljan sa stanovišta zapremine i maksimalno raspoloživih radnih temperatura. Zato će u nastavku rada biti više reči o drugim

tehnologijama akumulacije toplote, koje obezbeđuju mogućnost akumulisanja energije na višim temperaturama uz mogućnost smanjenja dimenzija akumulatora toplote.

Pored navedenog primera prikazani su i podaci o potrošnji energije u jednoj većoj klanici (Repić i dr, 2011). Potrošnja energije u klanici se prikazuje kao jedan od najkomplikovanih slučajeva energetske potrošnje u preradi hrane, gde je moguća uloga akumulatora toplote još važnija. U klaničnoj industriji postoji tehnološka potreba za parom različitih radnih parametara, vrelom i toplom vodom kao i za grejanjem prostorija. Ukoliko se ne bi ugradio akumulator toplote morao bi se koristiti parni kotao, relativno visokih parametara rada, a posle bi se para koristila za proizvodnju vrele i tople vode i pare nižih parametara. To je u svakom slučaju neracionalno rešenje, a najverovatnije i nemoguće jer bi takav kotao zahtevao rad sa više dnevnih prekida rada, što je apsolutno neprihvatljivo za industrijske kotlove na bilo koje čvrsto gorivo, a pogotovo ne za kotlove na biomasu. U nastavku se daje pregled potreba za energijom u razmatranoj klanici.

*Grejanje prostorija:*

Projektovana snaga : 900 kW

Prosečno dnevno opterećenje: 400 kW

Opterećenje po satima: 20 - 5 h 30%

5-10 h 100%

10-16 h 60%

Broj dana rada sistema za grejanje: 180 dana

*Topla voda za tehnološke potrebe:*

Potrebe za toplom vodom su maksimalno neujednačene tokom dana, ali se merenjem i analizom rada pojedinih potrošača utvrdilo da se potrošnje energije za grejanje tople vode može uprosečiti tokom dana na 300 kW/h.

*Potrebe za parom:*

Maksimalna časovna potrošnja suvozasićene pare pritiska 0,5 bar-a 240 kg/h

Maksimalna časovna potrošnja suvozasićene pare pritiska 6 bar-a 300 kg/h

Proces rada u klanici se može tako optimizirati da se maksimalne potrošnje pare ne preklapaju.

Kotlarnica za zadovoljavanje energetskih potreba navedene klanice ne bi mogla raditi sa biomasom bez akumulatora toplote. Uz upotrebu akumulatora toplote mogao bi se napraviti samo jedan kotao na biomasu. Kotao bi mogao biti vrelvodni sa radnim pritiskom od oko 13 bar-a ili niskopritisni vrelvodni sa radnim temperaturama 200-220°C. Z takve uslove rada akumulator bi morao biti projektovan tako da može vršiti akumulaciju energije na temperaturama nivoa od približno 200°C. Za ovaj primer ne daju se ni okvirni projektni parametri akumulatora jer izbor medijuma u akumulatoru toplote, proračun i optimizacija dimenzija takvog akumulatora prevazilazi okvire rada.

### **3. PRIKAZ JEDNOG OD PRAVACA RAZVOJA AKUMULATORA TOPLOTE**

Sagledavajući uočenu, predhodno prikazanu, važnost i kompleksnost primene akumulatora toplote (Hasnain, 1998), pri korišćenju biomase, u industrijskoj primeni, pod rukovodstvom Laboratorije za termotehniku i energetiku Instituta Vinča započet je razvoj akumulatora toplote. Razvoj podrazumeva: odabir medijuma akumulatora, razvoj

proračuna, optimizaciju itd. Te aktivnosti rađene su u okviru više projekata Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja (EE262004, TR18216, TP24011), međunarodni projekat (BiomAdria 2). U realizaciji pomenutih projekata učestvovalo je više fakulteta i naučnih institucija iz Srbije. U nastavku rada daje se kratak pregled dosadašnjih rezultata.

U Padinskoj Skeli u okviru PKB korporacije postoje platenici na površini od 2ha, za čije je grejanje izgrađeno postrojenje sa ložištem za sagorevanje sojine slame, toplotne snage 1,5 MW, što je dovoljno za zagrevanje platenika na površini od 1ha. U okviru postrojenja postoji akumulator toplote sa toplom vodom, zapremine 100m<sup>3</sup> (slika 2). Akumulator toplote u investiciji učestvuje sa 25-30%, što znači da se njegovim pravilnim dimenzionisanjem mogu ostvariti znatne uštede. Stoga je neophodno poznavati profil temperatura u njemu, u različitim stacionarnim i nestacionarnim režimima rada postrojenja. U konkretnom slučaju to je urađeno na dva načina: direktnim merenjem temperatura u AT, i matematičkim modeliranjem procesa pomoću komercijalnih CFD softvera.

Za merenje temperatura u akumulatoru toplote nepravljena je posebna sonda na čiji su horizontalni deo ugrađena 4 termopara za merenje temperature. Sonda se sa vrha ubacuje i fiksira tako da se njen deo poklapa sa osom akumulatora. U tom položaju horizontalni deo sonde može da rotira za željeni ugao, tako da je moguće vršiti merenje temperature u svakom delu akumulatora toplote. Izvršeno je merenje u 7 vertikalnih poprečnih preseka. U svakom poprečnom preseku temperatura je merena u 32 tačke, tako što je sonda između merenja zakretana za ugao od 45°. Merenja su vršena na vertikalnom rastojanju od 1m, počevši od 0,5m od vrha pa do 2m od dna, jer usled postojanja cevi za ulaz i izlaz tople vode iz akumulatora toplote nije bilo moguće sprovesti merenja do samog dna. Merenje je sprovedeno u stacionarnom i nestacionarnom režimu rada kotla.

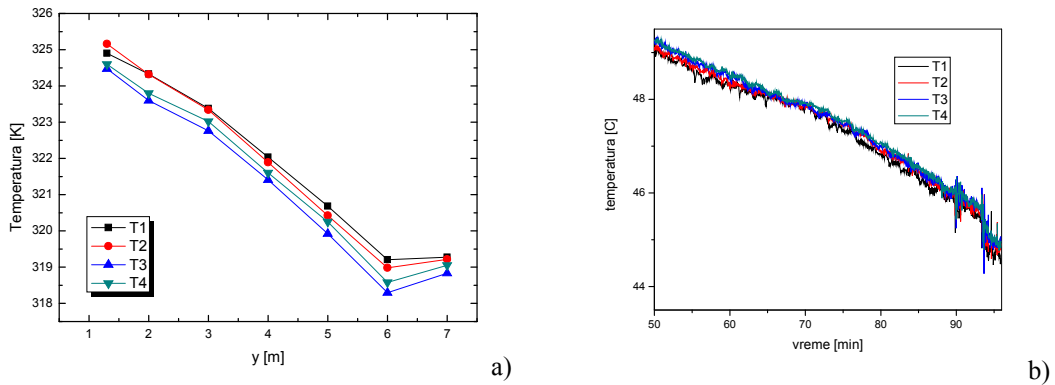


**Sl. 2.** Fotografija AT na kotlu u Padinskoj Skeli  
**Fig. 2.** Photography of TST in boiler at Padinska Skela

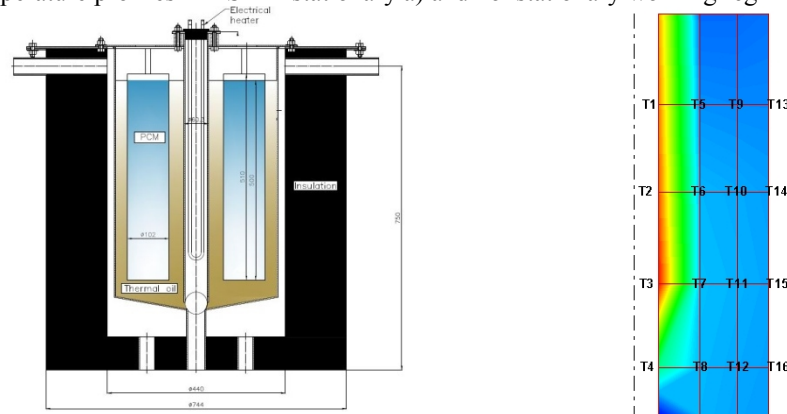
U stacionarnom režimu merenje je sprovedeno nakon 3h od početka grejanja, što je bilo dovoljno da se postigne stacionarna temperatura. Merenje profila temperatura u akumulatoru toplote u nestacionarnom režimu vršeno je nakon prestanka rada kotla. Grejni sistem je još uvek radio, tako da se za grejanje koristila topla voda iz AT, pri čemu se ona postepeno hladila. Dobijeni rezultati su prikazani na slici 3. Temperatura T1 predstavlja mernu tačku najbližu zidu, a temperatura T4 najbližu osi AT. Koordinata y ima nultu vrednost na vrhu AT (odnosno na slobodnoj površi tople vode u AT).

Kao što je ranije napomenuto u slučajevima kada je za proizvodni proces potrebna viša temperatura radnog fluida u akumulatoru se umesto vode mora koristiti ili neki materijal sa faznim prelazom i visokom temperaturom isparavanja (parafin, natrijum nitrat)

ili termalno ulje (do 200°C). U okviru pomenutih projekata je za ispitivanje radnih parametara takvih AT u Laboratoriji za termotehniku i energetiku Instituta Vinča izgrađeno pilot postrojenje, zapremine 77 dm<sup>3</sup>, sa instalisanim električnim grejačima u osi cilindra, snage 2kW. Postrojenje se hladi vazduhom koji struji kroz međuprostor između spoljašnjeg i unutrašnjeg plašta. Moguće je varirati i meriti protok vazduha, kao i njegovu ulaznu i izlaznu temperaturu. Takođe je ugrađen i mešač, ukoliko se želi postići ravnomeran profil temperature. Profil temperatura se meri pomoću 16 termoparova. Skica postrojenja i pozicija termoparova je prikazana na slici 4.

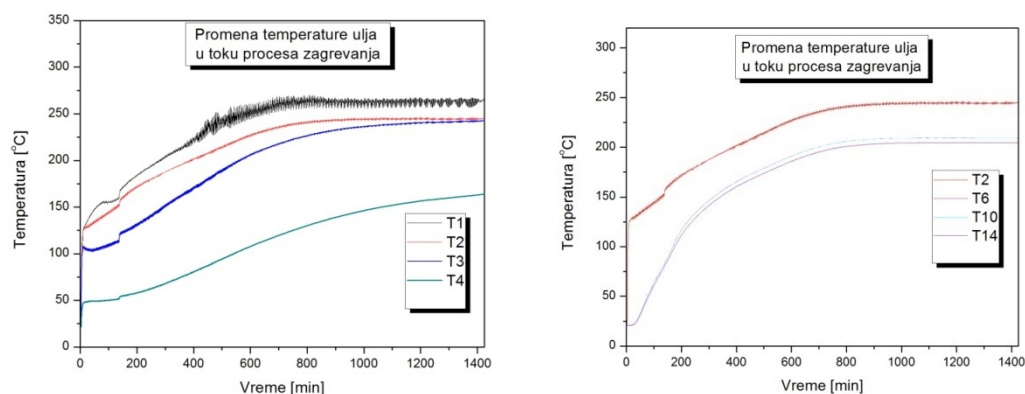


Sl. 3. Profil temperatura u AT u stacionarnom a) i nestacionarnom režimu rada b)  
 Fig. 3. Temperature profiles in TST in stationary a) and nonstationary working regime b)



Sl. 4. Skica eksperimentalne aparature i pozicija termoparova sa nomenklaturom  
 Fig. 4. Sketch of the experimental setup with thermocouple positions and nomenclature

U toku eksperimentalnog istraživanja vršena su merenja profila temperatura za termalno ulje i parafin, kako u nestacionarnim uslovima samo grejanja ili samo hlađenja, tako i u stacionarnim uslovima istovremenog grejanja i odvođenja toplote, za različite snage grejača, za termalno ulje i za parafin kao radnim materijalima. Radi ilustracije, na slici 5 su prikazani radialni i aksijalni profil temperature u toku perioda grejanja termalnog ulja.



Sl. 5. Profil temperature u blizini grejnog cilindra (levo), i radijalni profil temperatura (desno) u toku perioda grejanja (900W)

Fig. 5. Axial temperature profile close to the heater (left) and radial temperature profile (right) during heating (900W)

#### 4. ZAKLJUČAK

Akumulatori toplote predstavljaju neophodan element svih postrojenja kod kojih se potreba za toplotnom energijom u vremenu značajno menja, i kod kojih se ta promena ne može vršiti variranjem toplotne snage ložišta. To je tipično za ložišta koja koriste biomasu kao gorivo. U zavisnosti od potrebne temperature i veličine akumulatora toplote kao radni medij se pored vode mogu koristiti termalna ulja kao i materijali sa promenom faze. Pošto akumulatori toplote učestvuju u investicijama sa 25-30% njihova optimizacija je neophodna. Za to je neophodno sprovesti eksperimentalna ispitivanja kako na realnim postrojenjima, tako i na pilot postrojenjima, a njihove rezultate koristiti za verifikaciju numeričkih proračuna i razvoj matematičkih modela kao neophodnog alata za optimizaciju.

#### 5. LITERATURA

- [1] Dakić, D., Paprika, M., Repić, B., Erić, A., Đurović, D. (2012). Isplativost korišćenja poljoprivrednih ostataka radi zadovoljenja energetske potrebe. *Savremena poljoprivredna tehnika* 38(2): 87-96.
- [2] Hasnain, S. (1998). Review on Sustainable Thermal Energy Storage Technologies, Part 1: Heat Storage Materials and Techniques. *Energy Conversion and Management* (39)11: 1127-1138.
- [3] Janjić, T. i drugi. (2013). Prethodna studija opravdanosti sa generalnim projektom postrojenja na biomasu za proizvodnju električne i toplotne energije u TE-TO Sremska Mitrovica. Naručilac: P.D. "Panonske TE-TO" d.o.o. Novi Sad.
- [4] Janjić, T. i drugi. (2013). Prethodna studija opravdanosti sa generalnim projektom postrojenja na biomasu za proizvodnju električne i toplotne energije u TE-TO Zrenjanin. Naručilac: P.D. "Panonske TE-TO" d.o.o. Novi Sad.
- [5] Repić, B., Dakić, D., Janić, T., Đurović, D., Erić, A. (2011). Ekonomska opravdanost izgradnje postrojenja za proizvodnju toplotne energije u klaničnoj industriji korišćenjem biomase. *Savremena poljoprivredna tehnika* (37)2: 145-152.

## ADVANTAGES OF USE THERMAL STORAGE TANK WHEN USING BIOMASS AS ENERGY SOURCE

**Dakić D<sup>1</sup>, Živković G<sup>2</sup>, Repić B<sup>2</sup>, Rudonja N<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Innovation Centre of the Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Kraljice Marije 16, Belgrade

<sup>2</sup> Institute of Nuclear Sciences, Laboratory for Thermal Engineering and Energy, University of Belgrade, Mihaila Petrovića Alasa 12-14

<sup>3</sup> Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Kraljice Marije 16, Belgrade  
**e-mail:** [dakicdr@vinca.rs](mailto:dakicdr@vinca.rs)

### SUMMARY

Biomass represents the largest renewable energy sources in the Republic of Serbia. Still, there exists a huge gap between this potential and its organized use, especially in industry. One of the reasons for this lies in characteristics of boilers and furnaces that use biomass. In order to fulfill conditions for complete biomass combustion even at low temperatures these furnaces have to be adiabatic. Low combustion temperatures are desirable due to the low melting temperatures of biomass ash (especially in case of agricultural biomass). Such boilers and furnaces should work continually. Their usual power range is 50-100%. On the other side, they are expected to be used most often for heating or in industrial plants that produce agricultural products. Their common characteristic is that they do not have need for continual energy supply during work. This paper show, through few examples, how such problems could be solved in practice using thermal energy storages, without or with minimal additional costs.

**Key words:** thermal storage tank, renewable energy sources, biomass.

**Napomena:** Rad predstavlja deo istraživanja na projektu *Razvoj i unapređenje tehnologija za energetski efikasno korišćenje više formi poljoprivredne i šumske biomase na ekološki prihvatljiv način, uz mogućnost kogeneracije* (III42011) koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Primljeno: 11.11.2013.

Prihvaćeno: 18.11.2013.