

**Bibliid:** 0350-2953 (2015) 41(4): 189-196  
**UDK:** 662.767.2

Originalni naučni rad  
Original scientific paper

**TEHNO-EKONOMSKA OPRAVDANOST ZAMENE POSTOJEĆIH  
MAZUTNIH KOTLOVA NOVIM KOTLOM NA BIOMASU  
U SISTEMU CENTRALNOG GREJANJA  
TECHNICAL AND ECONOMICAL JUSTIFIED REPLACEMENT OF EXISTING  
CRUDE OILBOILER WITH NEW BIOMASS BOILER  
IN CENTRAL HEATING SYSTEM**

**Branislav Repić<sup>1</sup>, Dejan Đurović<sup>1</sup>, Milijana Paprika<sup>1</sup>, Dragoljub Dakić<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke "Vinča",  
Laboratorija za termotehniku i energetiku, 11351 Beograd, Mihaila Petrovića Alasa 12-14

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu, Inovacioni centar Mašinskog fakulteta  
11000 Beograd, Kraljice Marije 16

**E-mail:** [brepic@vinca.rs](mailto:brepic@vinca.rs)

## **SAŽETAK**

Postojeća kotlarnica za grejanje Instituta „Vinča“ predstavlja veoma zastareo sistem grejanjakoji ima niz nedostataka. U kotlarnici su instalirana četiri mazutna vrelvodna blok kotla ukupne snage od 9,65 MW. Na godišnjem nivou se za potrebe nabavke goriva izdvajaju veoma značajna novčana sredstva. U radu je sagledana mogućnost supstitucije postojećeg goriva (mazut) biomasom. Za tu svrhu bi se morao izgraditi novi kotao koji bi sagorevao biomasu. Analiza sprovedena u ovom radu je pokazala da li je i u kojoj meri to isplativo, ekološki prihvatljivo, energetske efikasnije, kao i koliko je naučno istraživački korisno. U radu je prikazana i analiza angažovane snage kotlarnice za dve izabrane grejne sezone, što je bilo od velike pomoći u određivanju potrebne instalisane snage novog kotla na biomasu. Takođe, u radu je prikazana i kompletna logistika neophodna za realizaciju korišćenja biomase kao goriva u sistemu centralnog grejanja.

**Ključne reči:** Biomasa, energetska efikasnost, ekonomska isplativost

## **1. UVOD**

Jedno od najpovoljnijih mesta za korišćenje biomase u energetske svrhe su sistemi centralnog grejanja čije se kotlarnice nalaze van centralnih gradskih sredina (Vermaa V.K et al, 2009) i koje su do sada koristili uvozna fosilna goriva kao što su prirodni gas i neka od tečnih goriva. To se posebno odnosi na one kotlarnice koje raspolažu sa: a) Izgrađenom infrastrukturom u potpunosti (spoljni i unutrašnji prilazni putevi, toplovodna mreža itd.); b) Raspoloživim slobodnim prostorom za skladištenje biomase; c) Raspoloživim prostorom za smeštaj kotla na biomasu; d) Raspoloživim prostorom za postavljanje akumulatora toplote; e) Mogućnošću korišćenja postojeće toplane za dogrevanje u ekstremno niskim temperaturama i kao rezervom u havarijskim slučajevima ili u slučaju otežanog snabdevanja biomasom; f) Stručnim kadrom za rukovanje postrojenjima na biomasu; g) Iskustvom u radu; h) Mogućnošću supstitucije dela goriva iz

sopstvenih izvora; i) I drugim pogodnostima (primena novih mernih metoda, obuka mladih kadrova i td.).

Tako gledajući Institut Vinča je idealno mesto za primenu biomase u svom sistemu grejanja (Đurović i dr, 2014, Martinov i dr, 2010, Janić i dr, 2008). U početnim godinama rada Institut se grejao na uglj tako da već postoje svi prilazni putevi, koji su se ranije koristili za dovoz uglja. Pored toga postoji čak i definisan skladišni prostor koji je bio predviđen za skladištenje uglja i bio pokriven. Sada bi taj isti prostor mogao da se pokrije i koristi za skladištenje biomase. Pogodnosti primene biomase u institutu treba dodati i naučno istraživačke aspekte. Institut Vinča je najveći naučni institut u Republici Srbiji i jedini koji je u potpunosti multidisciplinaran. U okviru Instituta rade laboratorije koje se bave sledećim tematikama: fizikom, biologijom, hemijom, fizičkom hemijom, energetikom, materijalima, elektronikom itd. Kako u Republici Srbiji nema puno podataka o radu takvih postrojenja na biomasu ono bi moglo da bude i izvrsna eksperimentalna baza svim pomenutim laboratorijama jer bi dugotrajnim praćenjem rada jednog takvog postrojenja mogao da se ima uvid na njegov stvarni uticaj na životnu sredinu. Na njemu bi mogle da se primenjuju najnovija saznanja iz oblasti razvijene opreme i tehnologija kojima se utiče na smanjenje zagađenje životne sredine. Jedan takav kotao bi mogao da služi kao eksploatacioni, demonstracioni i eksperimentalni i kao podloga za učešće na domaćim i međunarodnim istraživačkim projektima.

## 2. MATERIJAL I METOD

Institutu „Vinča“ se greje iz centralne kotlarnice toplom vodom u primarnom krugu. U kotlarnici su instalirana četiri mazutna vrelovodna blok kotla i to:

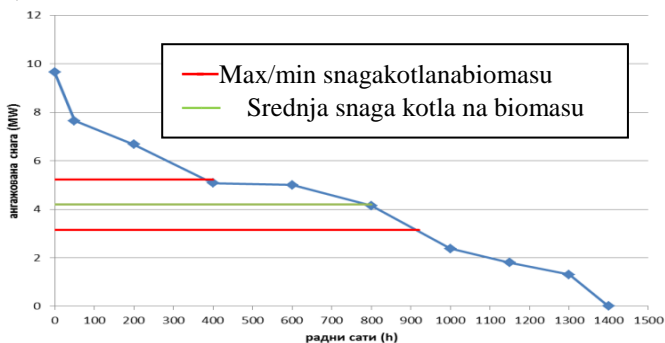
Kotao	snaga (MW)	Potrošnja (kg/h)	gorivo
Kotao 1	1,86	186	mazut
Kotao 2	1,86	186	mazut
Kotao 3	1,86	186	mazut
Kotao 4	4,07	400	mazut

Grejanje u primarnom krugu znači da se Institut greje vodom koja protiče kroz kotlove. To je veoma zastareo sistem grejanja koji ima niz nedostataka. Međutim promena toga sistema i eventualno prelazak na dvostepeni je veoma skupo i u ovom trenutku se ne razmatra. Rad kotlarnice u Institutu je, kao i u većini sličnih kotlarnica koje rade na tečno gorivo, a zadovoljavaju grejanje sličnih institucija, organizovan u jednoj smeni. To znači da kotlovi ne rade tokom celog ili u većini dana, kao nisubotom i nedeljom. Izuzeci su samo ekstremno hladni dani kad kotlovi moraju duže raditi, da bi održavali sistem na funkcionalnom minimumu, da se slučajno ne bi zamrzle neke instalacije grejanja ili vodovoda u objektima koji se greju. Kotlovi na čvrsta goriva manje su fleksibilni u mogućnosti regulacije snage (Oberberger, 1998). Obično se kod kotlova na čvrsta goriva preporučuje raspon snage u opsegu 50(60)% do 100%, dok kotlovi na tečna goriva mogu, bez većih problema, raditi i u opsezima snaga 20-100% (Repić i dr, 2011, Đurović i dr, 2010). Pored toga regulacija kotlova na tečna i čvrsta goriva može biti i pomoću sistema „on/off“ jednog ili dva gorionika na kotlu ili jednog ili dva stepena jednog gorionika. Zbog toga treba planirati izgradnju kotla prilagođenog za sagorevanje na niskim

temperaturama goriva sa velikom količinom volatila i relativno niskotopivim pepelom, koji bi radio u opsegu snage 60-100%. Kotao bi radio 24 časa na dan u većem delu grejne sezone.

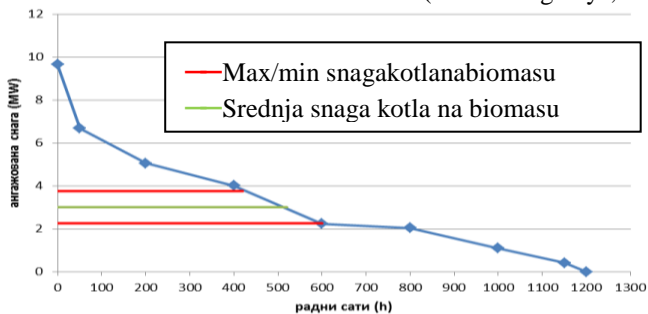
Postavljeni cilj se može postići samo ukoliko se što tačnije snimi kriva toplotnog opterećenja sistema grejanja i ukoliko se ugradi akumulator toplote. Kriva toplotnog opterećenja može pokazati optimalnu snagu kotla za 24-voro časovni rad kotla u toku grejne sezone. 24-voro časovni rad kotla podrazumeva i rad kotla tokom vikenda i posle završetka rada. Znači ukoliko kotao nastavi da radi i u tom periodu onda se negde mora akumulirati proizvedena toplota i kasnije trošiti u periodu kad postoji potreba za grejanjem.

Dijagrami opterećenja (angažovana snaga) za dve izabrane karakteristične grejne sezone 2011/2012 i 2013/2014 su dati na sl. 1 i 2. Krive toplotnih opterećenja za navedene grejne sezone su karakteristične jer se grejna sezona 2011/2012 može smatrati jednom od oštrijih, dok se za grejnu sezonu 2013/2014 može reći da je blaža. Na osnovu analize urađene za sezonu 2011/2012 dolazi se do podataka da je ukupno predata energija kotlarnice na mazut 5863 MWh, te da bi kotlom na biomasu sa datim parametrima rada bilo moguće zameniti 71 % pri čemu bi kotao radio svega  $\approx 920$ h godišnje i palio bi se i gasio svaki dan.



Sl.1. Dijagram opterećenja za sezonu 2011/2012(22 radna dana,9h/dan)

Fig. 1. Load curve for the season 2011/2012(22 working days,9h/day)

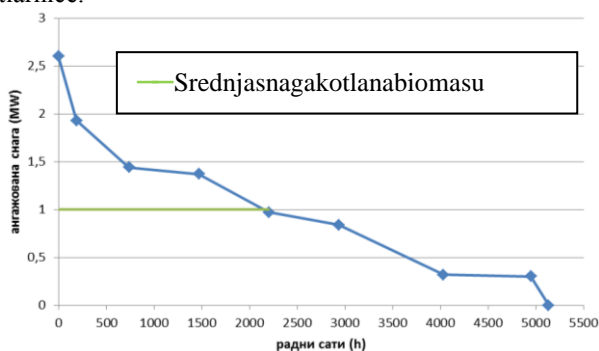


Sl.2. Dijagram opterećenja za sezonu 2013/2014(22 radna dana,9h/dan)

Fig. 2. Load curve for the season 2013/2014(22 working days,9h/day)

Analizirajući drugu grejnu sezonu 2013/2014 dolazi se do podataka da je ukupno predata energija kotlarnice na mazutu 3600 MWh, te da bi kotlom na biomasu sa datim parametrima rada bilo moguće zameniti 66 % pri čemu bi kotao radio svega ≈600h godišnje i palio bi se i gasio svaki dan.

Usvojeno je da se predmetni kotao na biomasu razmatra u odnosu na srednje vrednosti toplotnih opterećenja dve razmatrane grejne sezone. Prikaz srednjeg opterećenja za dve navedene grejne sezone dat je na slici 3, i ona predstavlja hipotetičku krivu toplotnog opterećenja rada kotlarnice Instituta u režimu rada od 24 h/dan svo vreme grejne sezone. Optimalna varijanta kotla na biomasu je ona koja obezbeđuje maksimalnu zamenu tečnog goriva biomasom. Kotao na biomasu sigurno ne može u potpunosti zameniti primenu tečnog goriva. Primena tečnog goriva je neizbežna u ekstremnim uslovima kada se javljaju minimalne ili maksimalne projektne temperature u kojima je predviđen rad kotlarnice.



Sl.3. Usrednjeni dijagram opterećenja (angažovana snaga) za sezone 2011/2012 i 2013/2014 (30,5 radna dana, radno vreme: 24h/dan)

Fig. 3. Averaged load diagram (engaged power) for the seasons 2011/2012 and 2013/2014 (30.5 working days, hours: 24h/day)

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na osnovu podataka prikazanih na slici 3 može se izračunati: maksimalna, minimalna i srednja snaga kotla na biomasu, broj dana rada u maksimalnom režimu rada i broj dana rada sa promenljivom snagom. Prema podacima sa slike 3 razmatrane su tri varijante mogućeg rešenja kotla na biomasu i to:

Varijanta 1	Varijanta 2	Varijanta 3
$Ps_{r1} = 0,8 \text{ MW}$	$Ps_{r2} = 1 \text{ MW}$	$Ps_{r1} = 1,2 \text{ MW}$
$P_{max1} = 1 \text{ MW}$	$P_{max2} = 1,25 \text{ MW}$	$P_{max1} = 1,5 \text{ MW}$
$P_{min1} = 0,6 \text{ MW}$	$P_{min2} = 0,75 \text{ MW}$	$P_{min1} = 0,9 \text{ MW}$

Varijanta 1: Ovakav kotao bi radio 65% radnog vremena i njegovim radom bi moglo da se smanji upotreba tečnog goriva za 78%.

Varijanta 2: Ovakav kotao bi radio 60% radnog vremena i njegovim radom bi moglo da se smanji upotreba tečnog goriva za 85%.

Varijanta 3: Ovakav kotao bi radio 52% radnog vremena i njegovim radom bi moglo da se smanji upotreba tečnog goriva za 83%.

Iz prikazane analize moguće snage kotla na biomasu zaključeno je da varijante 2 i 3 daju približno istu mogućnost zamene tečnog goriva biomasom. Optimalno rešenje kotla može se dati samo u sprezi sa analizom veličine akumulatora toplote. Sprovedenom analizom je utvrđeno da je potrebna veličina akumulatora toplote za varijantu 2 1650 m<sup>3</sup>, a za varijantu 3 1450 m<sup>3</sup>. Kako u sistemu kotlarnice Instituta postoji rezervoar mazuta približne, ili nešto manje zapremine ( $V_{rez} \approx 1000-1200 \text{ m}^3$ ), od proračunate potrebne zapremine akumulatora, prema varijanti 3, on bi se najverovatnije mogao prepraviti u akumulator toplote. U slučaju prepravke postojećeg rezervoara mazuta najprihvatljivija bi bila izgradnja kotla po varijanti 3, jer ona zahteva manji akumulator.

Da bi jedan sistem centralnog grejanja koristio biomasu kao osnovno gorivo moraju se obezbediti sledeći uslovi (Stupak et al, 2007): a) Snabdevanje gorivom; b) Izgraditi skladište; c) Definisati internu manipulaciju gorivom; d) Odgovarajući prostor za smeštaj kotla i prateće opreme (kotlarnica); e) Akumulator toplote; f) Priključenje novog kotla sa pratećom opremom i akumulatorom u postojeći sistem; g) Definisati manipulaciju pepelom; h) Obezbediti spoljni transport (odnošenje) pepela i njegovo odlaganje i dr.

Pri analizi mogućnosti korišćenja biomase (u ovom slučaju drveni čips i usitnjena granjevina) prvo i osnovno je ustanoviti mogućnost redovnog i sigurnog snabdevanja gorivom. Potrebna količina drvne biomase je izračunata uzimajući u obzir godišnju potrebu mazuta, toplotne moći oba goriva kao i stepene iskorišćenja kotlova na biomasu i mazut, te je dobijena vrednost od 1.522 t/god. U prethodnom delu rada navedene su dve varijante nabavke goriva. Jedna se odnosi na nabavku drvenog čipsa i seckane granjevine, a druga se odnosi na nabavku drveta u formi dužih cepanica. U obe varijante je potrebno izgraditi novo skladište biomase.

Za internu manipulaciju gorivom mora se u svakom slučaju predvideti nabavka jednog univerzalnog traktora, srednje ili manje snage, sa više priključnih uređaja (utovarna kašika, viljuške i dr.). U sklopu postojeće kotlarnice Instituta postoji jedan deo u kome se ranije nalazio mazutni kotao snage 9,3 MW. Taj prostor je već opremljen određenim instalacijama i dovoljno je velik, u svakom pogledu (površina i visina) da se u njega smesti kotao na biomasu sa sve komandnom sobom. Kako je kotlarnica u Institutu opremljena svom uobičajenom pretećom opremom (pumpna stanica, sistem za omekšavanje i pripremu vode, sabirni i razdelni kolektori itd.) procenjeno je da priključivanje novog kotla na biomasu zajedno sa akumulatorom toplote ne bi bio komplikovan zahvat.

Manipulacija pepelom može biti jedan od najvećih problema prilikom zamene tečnog ili gasovitog goriva nekim čvrstim. Prilikom upotrebe tečnih ili gasovitih goriva problema sa manipulacijom pepela nema ili je zanemarljiv. Zbog toga se u ovom slučaju predviđa primena vlažnih transportera pepela koji bi bili ugrađeni ispod svih delova sistema (dno ložišta, multiciklon, vrećasti filter) gde bi se pepeo izdvajao.

#### 4. EKONOMSKA ANALIZA

U tabelama 1-4 prikazani su podaci ekonomske analize i potrebna finansijska sredstva.

Tab. 1. Investicije u osnovna sredstva

Tab. 1 Investments in fixed assets

Varijante Variants	Ukupan iznos (€) Total amount (€)
Varijanta 1 drveni čips (nov AT) Variant 1 wood chips (new HA)	424.000
Varijanta 1 drveni čips (prepravka rezervoara mazuta) Variant 1 wood chips (reconstruction of heavy fuel oil tank)	329.000
Varijanta 2 cepanice (nov AT) Variant 2 wood log (new HA)	489.000
Varijanta 2 cepanice (prepravka rezervoara mazuta) Variant 2 wood log (reconstruction of heavy fuel oil tank)	394.000

Tab. 2. Obračun ukupnih troškova

Tab. 2. Calculation of the total cost

Trošak Cost	Ukupan iznos (€) Total amount (€)
Gorivo – biomasa (varijanta 1 drveni čips) Fuel – biomass (variant 1 wood chips)	90.000
Gorivo – biomasa (varijanta 2 cepanice) Fuel – biomass (variant 2 wood log)	60.000
Režijski troškovi (struja, voda...) Overheads (electricity, water...)	3.000
Troškovi tekućeg održavanja Maintenance costs	1.500
Troškovi investicionog održavanja Investment costs	4.000
Troškovi za plate zaposlenih Salary costs	14.400
Manipulacija pepelom (odvoženje na deponiju) Ash management (landfill storage)	450
<b>UKUPNO (varijanta 1) TOTAL (variant 1)</b>	<b>113.350</b>
<b>UKUPNO (varijanta 2) TOTAL (variant 2)</b>	<b>83.350</b>

Tab. 3. Obračun ukupnih prihoda/ušteda

Tab. 3. Calculation of total revenue/savings

Prihod/ušteta Income/savings	Ukupan iznos (€) Total amount (€)
Ušteta u potrošnji mazuta Savings in heavy fuel oil consumption	207.500
Korišćenje taloga iz rezervoara mazuta (samo u prvoj godini) Using slag from heavy fuel oil tank (first year only)	56.000

Tab. 4. Pregled svih varijantnih rešenja sa ekonomskim parametrima

Tab. 4. Summary of alternative solutions to economic parameters

Varijante Variants	Rok vraćanja (god) Payback period (y)	NSV(€) NPV (€)	ISR(%) IRR (%)
Varijanta 1 (nov AT) Variant 1 (new HA)	4,5	719.179	27
Varijanta 1 (prepravka rezervoara mazuta) Variant 1 (reconstruction of heavy fuel oil tank)	3,2	807.142	14
Varijanta 2 (nov AT) Variant 2 (new HA)	3,9	996.727	10
Varijanta 2 (prepravka rezervoara mazuta) Variant 2 (reconstruction of heavy fuel oil tank)	2,9	1.084.690	11

NSV-neto sadašnja vrednost; ISR-interna stopa rentabilnosti

NPV-net present value; IRR-internal rate of return

## 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedene analize nedvosmisleno se nameće zaključak da je ideja o zameni starih mazutnih kotlova novim kotlom na biomasu u potpunosti opravdana. Izgradnja novog kotla ne isključuje rad starih mazutnih kotlova i gašenje tog dela kotlarne. Ovim projektom je planirano da ti kotlovi rade u vršnim opterećenjima, kao i u slučaju kvara kotla na biomasu. Opravdanost izgradnje kotla na biomasu se ogleda u veoma brzom ekonomskoj isplativosti ovog projekta, od 2,9 do 4,5 godina, što je za projekte iz oblasti energetike impozantan podatak. Pored direktnih koristi koje bi imao Institut implementacijom ovog projekta, a koje se ogledaju u smanjenju troškova za grejanje, treba navesti i indirektno koristi koje daju dodatnu težinu samom projektu kao što su upošljavanje dodane radne snage u Institutu, smanjenje zagađenja životne sredine usled redukcije emisije ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub> 3000 t/god) kao gasa sa efektom staklene bašte, korišćenje obnovljivog goriva, prilika za usavršavanje mladih kadrova, angažovanje domaće industrije, primer dobre prakse supstitucije fosilnog goriva obnovljivim, povećano angažovanje svih zaposlenih u lancu korišćenja biomase, otvaranje novih radnih mesta, poboljšanje imidža Instituta i slično.

## 6. LITERATURA

[1] Đurović D, Dakić D, Repić B, Nemoda S, Živković G, Erić A. (2010). Ekonomska opravdanost izgradnje postrojenja za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije korišćenjem poljoprivredne biomase. *Savremena poljoprivredna tehnika* 36(4): 373-381.

[2] Đurović D, Dakić D, Repić B, Paprika M. (2014). Biznis plan – Kotao na biomasu u sistemu grejanja Instituta za nuklearne nauke „Vinča“. Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd-Vinča.

[3] Janić T, Brkić M, Igić S, Dedović N. (2008). Termoenergetski sistemi sa biomasom kao gorivom. Savremena poljoprivredna tehnika 34(3-4): 212-219.

[4] Martinov M, Đatkov Đ. (2010). Čvrsta biomasa za grejanje – ocena ekonomičnosti. Savremena poljoprivredna tehnika 36(4): 382-386.

[5] Obernberger A. (1998). Decentralized biomass combustion: state of the art and future development. Biomass and bioenergy 14(1):33-54.

[6] 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.

[7] Stupak I, Asikainen A, Jonsell M, Karlton E, Lunnan A. et al. (2007). Sustainable utilization of forest biomass for energy - Possibilities and problems: Policy, legislation, certification, and recommendations and guidelines in the Nordic, Baltic, and other European countries. Biomass and bioenergy 31(10):666-684.

[8] Vermaa V.K, Bramb S, Ruycka J.De. (2009). Small scale biomass heating systems: Standards, quality labelling and market driving factors – An EU outlook. Biomass and bioenergy 33(10):1393-1402.

## TECHNICAL AND ECONOMICAL JUSTIFIED REPLACEMENT OF EXISTING CRUDE OIL BOILER WITH NEW BIOMASS BOILER IN CENTRAL HEATING SYSTEM

**Branislav Repić, Dejan Đurović, Milijana Paprika, Dragoljub Dakić**

### SUMMARY

The existing boiler for heating installed in the Institute "Vinča" is a very outdated heating system that has a number of drawbacks. In the boiler room were installed four heavy fuel oil hot water boilers with a total output of 9.65 MW. At the annual level for the purpose of fuel supply significant financial assets are allocated. In this paper is discussed about possibility of substitution of existing fuels (heavy fuel oil) with biomass. For this purpose, should be build a new boiler that will burn biomass. The analysis conducted in this paper will show whether and to what extent that is cost-effective, environmentally friendly and energy efficient, as well as useful in scientific research. In this paper will be presented conducted analysis of engaged power of boilers for the two selected heating seasons, which will help in determining the installed capacity of the new biomass boiler. Also, the paper presents a complete logistics necessary to implement use of biomass as a fuel in the central heating system.

**Key words:** biomass, energy efficiency, cost-effectiveness

**Napomena:** Rad predstavlja deo istraživanja na projektu „Razvoj i unapređenje tehnologija za energetske 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.