

Дејан Буровић<sup>1</sup>, Драгољуб Дакић<sup>1</sup>,  
Бранислав Рејић<sup>1</sup>, Драгослава Сијојиљковић<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт за нуклеарне науке „Винча”, Београд, Србија

<sup>2</sup> Машински факултет, Београдски универзитет, Београд, Србија

## Развој котла мале снаге за сагоревање балиране биомасе из пољопривредне производње

Оригинални научни рад

UDC: 662.636:620.92

BIBLID: 0350-218X, 34 (2008), 2-3, 161–173

*У раду је приказан развој коџла за сагоревање балиране биомасе из пољопривредне производње, где је организација сагоревања изведена по принципу сагоревања циљарџе. У џу сврху размаџрана је џоџодносџ сагоревања биомасе из пољопривредне производње, заџим је приказан енерџеџски џоџенцијал биомасе у нашој земљи, а даџи је и преџлед досадашњих џехнолоџија које се корисџе како у свеџу џако и код нас за сагоревање биомасе из пољопривредне производње.*

*Експериментално џосџројење за сагоревање балиране биомасе из пољопривредне производње изџрађено је код одабраног корисника у месџу Сџаџар, близу Сомбора. Као џориво у овим експериментима корисџена је балирана соџина слама. Да би џосџројење радило на одређеној номиналној или усџаљеној снази наџрављен је и уџрађен одџоварајуџи акумулаџор џоџлоџе. Мерења су урађена за више различџиџих режима рада коџла, са џовременим укључивањем у рад и акумулаџора џоџлоџе. Мерење су џемџераџуре димноџ џаса у лоџиџиџу, у зони доџоревања и иза измењивача џоџлоџе, као и џемџераџуре разводне и џовраџне воде. При свим режимима рада коџла мерен је и сасџав излазних димних џасова.*

*Рад коџла џоџом експериментално је реџулисан џомођу уџрављачкоџ сисџема коџи је конциџиран за ову врсџу коџлова, а коџи је базиран на конџроли џемџераџуре димноџ џаса на излазу из коџла и џемџераџуре џоџле воде на излазу из измењивача џоџлоџе. Приказани су резулџаџи мерења у дуџоџтрајном раду, као и анализа резулџаџа мерења, а на основу џоџа даџи су и џредлози за џоболшање будуџих конџструкџија оваквих коџлова.*

*Кључне речи: биомаса, циљарџино сагоревање, акумулаџор џоџлоџе*

### Увод

Енерџетске кризе, као и сазнање да су резерве фосилних горива ограничене и коначне, а загађење околине при коришћењу фосилних горива огромно, интензивни-

рали су истраживања нових обновљивих извора енергије. Између сунчеве енергије, геотермалне енергије, хидро енергије, као и енергије ветра, биомаса има највећи потенцијал и перспективу на садашњем нивоу развоја технологија за коришћење обновљивих извора енергије. Биомаса се сматра обновљивим и „CO<sub>2</sub> неутралним” горивом, јер су количине CO<sub>2</sub> које биљке апсорбују током раста у процесу фотосинтезе и количине које се ослободе током њихове термичке разградње једнаке. Као гориво најчешће се користе остаци из дрвнопрерађивачке индустрије и остаци из пољопривредне производње. Већина технологија за коришћење биомасе су развијене и могу одмах да се користе. Међутим, и биомаса, као и други видови обновљиве енергије, спада у енергетски извор ниске концентрације по јединици масе и запремине у односу на нафту и гас па чак и у односу на нискокалорични угаљ. Такође, не постоје рудници или лежишта као код фосилних горива. Насупрот томе, биомаса је и просторно, а не само запремински, неконцентрисани извор. Ове специфичности захтевају примену технологија за сакупљање и концентрацију биомасе по простору на коме се налази пре употребе за производњу енергије. Поред тога, свака биомаса има и свој најповољнији начин коришћења (због садржаја влаге, температуре топљења пепела, начина прикупљања итд.). У односу на фосилна горива, која су пре свега енергенти, али и сировина за хемијску индустрију, биомаса је, најчешће храна, па сировина за хемијску и прехранбену индустрију, па тек онда енергетска сировина (сем дрвета).

### **Биомаса у енергетици**

Технички искористив потенцијал обновљивих извора енергије у Србији процењен је на 3,83 милиона тона еквивалентне нафте годишње. Од тога доминантно место заузима потенцијал биомасе (62,7% одсто или 2,4 милиона тона еквивалентне нафте годишње), а од тога око 1,4 милиона тона еквивалентне нафте од пољопривредне биомасе, и 1 милион од шумске биомасе [1].

Дакле, као потенцијална горива за нас су, пре свега, најзначајнији пољопривредни остаци јер се јављају у великим количинама при производњи и преради житарица, као и у воћарству и виноградарству. За отпатке биомасе је карактеристично да су кабасти – имају малу насипну густину па заузимају велику запремину приликом складиштења. Комади отпадака биомасе су најчешће неправилног облика, осим када су у питању коштице воћа (вишње, трешње, шљиве и др.). У циљу лакшег прикупљања, складиштења и експлоатације биомасе најчешће се врши балирање, брикетирање и сл. Тако се могу разликовати: бале конвенционалног облика (400 500 800 mm), ваљкасте ( 1800 1200 mm) и велике четвртaste (800–1200 700 1500–2500 mm). Сабијање изводе пољопривредне машине које могу бити самоходне и вучне, а везивање се, осим у случају ваљкастих бала, где је могуће користити мрежу, обавља углавном синтетичким везивом. Тиме се значајно повећава складишна густина и густина енергије по m<sup>3</sup>, а исто тако и олакшава манипулисање приликом дозирања у ложиште. У табл. 1. је дат опсег могућих вредности физичких особина биомасе.

**Таблица 1. Најважније физичке особине биомасе [2]**

Топлотна моћ	5–20 MJ/kg, зависно од влаге
Густина	400–900 kg/m <sup>3</sup>
Насипна густина	40–600 kg/m <sup>3</sup>
Топлотна моћ по m <sup>3</sup>	0,7–12 MJ/m <sup>3</sup>
Садржај влаге	8–50%
Садржај пепела	1–10%
Садржај горивих испарљивих материја	50–70%
Температура синтеровања пепела	800–1100 °C

### **Котлови за сагоревање биомасе из пољопривредне производње**

При организацији сагоревања биомасе је потребно најпре размотрити неке њене особине које захтевају специфичну пажњу и одговарајућа техничка решења. С обзиром да је по тоplotној моћи биомаса, зависно од врсте и пре свега од влажности, блиска лигнитима и мрким угљевима, с друге стране се веома разликује по низу специфичних особина као што су велика влажност, разноликост геометријског облика, велика количина волатила, лако топиви пепео, структура. Велика количина горивих испарљивих материја захтева специјална техничка решења при сагоревању и може да изазове високе температуре у ложишту као и непотпуно сагоревање, ако се не обезбеди добро мешање са ваздухом. Поред тога могућа је висока емисија NO<sub>x</sub> једињења, као и топљење пепела и његовог лепљења на зидовима канала, конвективним површинама и димним каналима. Генерално посматрано технологије сагоревања биомасе могу се разврстати на следеће [3]: сагоревање у слоју, на решетки, сагоревање у флуидизованом слоју (у мехурастом или циркулационом) и сагоревање у лету.

Међу најчешће грешке у конструкцији постројења јављају се: мала запремина простора за сагоревање биомасе, лоше конструисани размењивачи топлоте, довољно и лоше распоређено довођење ваздуха за сагоревање, сложено руковање, недостатак мерно–регулационих уређаја и друго [4].

Да би се овакви и слични проблеми избегли многи аутори истичу одређене препоруке при конструисању котлова мале снаге за сагоревање балиране биомасе које се огледају у следећем [5]:

- добра изолованост ложишта,
- ефикасно снабдевање ваздухом у ложишту,
- добро димензионисан размењивач топлоте, и
- адекватно аутоматско управљање процесом сагоревања.

Да би постигли што потпуније сагоревање (ниска емисија CO у продуктима сагоревања), температура сагоревања мора бити довољно висока (око 800 °C, виша температура могла би да проузрокује синтеровање пепела), и потребно је обезбедити довољно кисеоника, и што је веома важно потребно је обезбедити добро мешање ваздуха и волатила из биомасе. Такође ложиште мора имати довољно велику запре-

мину да би било обезбеђено да волатили проведу довољно времена на високој температури која влада у ложишту, пре него што оду у размењивачки део котла. То време задржавања највише зависи од квалитета мешања, што значи када је мешање ваздуха и волатила боље краће је време задржавања у ложишту, и обратно. За аутоматски ложене котлове то време боравка је краће од 1 s, док је код ручно ложених котлова неколико секунди [5]. Добро изоловано ложиште ће онемогућити неконтролисано хлађење, и на тај начин ће бити обезбеђено да се одржи жељена вредност температуре сагоревања.

Најчешће се препоручује да ложиште буде озидано шамотном опеком, а са спољашње стране да буде изоловано материјалом отпорним на високе температуре (нпр. стаклена вуна). Тестирања су показала да што је боље изоловано ложиште ниже су емисије угљенмооксида (CO) [6].

Сви модерни котлови за сагоревање биомасе предвиђају употребу вентилатора за снабдевање ваздуха потребног за сагоревање. Такође да би се подстакло мешање волатила у ложишту са ваздухом и на тај начин побољшало сагоревање, дистрибутори ваздуха требали би на својим завршецима да буду такве конструкције да створе услове за вртложно струјање. Поред тога веома је битно утврдити да ли је довољно убацивати ваздух само на једном месту у ложиште или је потребно додавати и секундарни или терцијарни ваздух. Регулацију количине ваздуха који се убацује у ложиште је најбоље обављати аутоматски, на основу садржаја O<sub>2</sub> у продуктима сагоревања, помоћу ламбда сонде, као и мерењем температуре димних гасова на излазу из ложишта.

Да би што већи део топлоте био предат медијуму који се греје (обично је то вода), потребна је што већа површина за размену топлоте. Такође, да би се интензивирало турбулентно струјање у цевима измењивача топлоте могу се направити испупчења, која утичу на повећање преноса топлоте са димног гаса на воду, а при том не изазивају зачепљење цеви услед таложења летећег пепела.

Поред ових препорука при конструисању котлова за сагоревање балиране биомасе потребно је истаћи још неке ствари које би могле бити од користи: уколико је могуће треба остварити аутоматско дозирање биомасе, а такође је препоручљиво инсталирати резервоар топлоте, да би на тај начин котао могао несметано да ради све време устаљеном снагом [7].

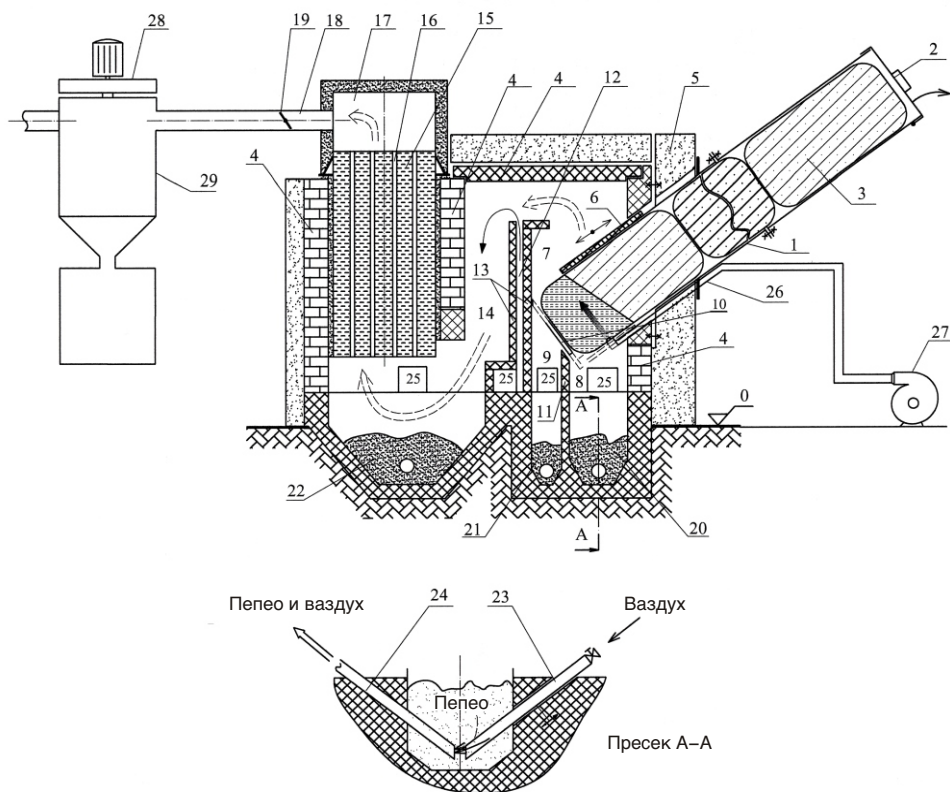
### Домаће решење котла

Експериментално постројење за сагоревање балиране биомасе из пољопривредне производње, снаге 50 kW, изграђено је код одабраног корисника у месту Стапар, близу Сомбора [7]. У поменутом котлу се сагоревају конвенционалне бале сојине сламе, а сагоревање је изведено по принципу сагоревања цигарете.

Снага котла	50 kW
Максимални радни притисак	3 bar
Температура разводне воде	до 90 °C
Температура повратне воде	до 70 °C
Температура продуката сагоревања на излазу	220 °C
Степен корисности	73,33%
Гориво	балирана сојина слама

Балирана биомаса (3) убацује се кроз уводник (1) у ложиште (7) где сагорева на решетки (10). Уводник балиране биомасе снабдевен је поклопцем (2) да би се спречио уис спљашњег ваздуха кроз уводник, и да би се обезбедили стабилни услови сагоревања. Ложишни простор је израђен од шамотног озида (4) око којег је постављена топлотна изолација (5) и заштитни естетски лим. Према првобитном решењу свеж ваздух се убацивао преко два канала, и то примарни кроз канал (8), и секундарни ваздух кроз канал (9), а они су међусобно подељени преградом (11). Поред поменути два ваздуха у когао се уводио и терцијарни ваздух (12) који је пролазио између зидова канала овог ваздуха (13) и на тај начин се предгревао.

У зони сагоревања постављена је покретна шамотна плоча (6) као регулатор сагоревања бала. У ложишни простор свеж ваздух се убацује преко дистрибутора (26) који може да се помера по дубини ложишта, а који је повезан са вентилатором свежег ваздуха (27). Променом положаја дистрибутора свежег ваздуха регулише се који део бале учествује у сагоревању те се на тај начин, посредно регулише и топлотна снага котла. У зони (14) одвија се процес коначног догоревања. Произведена топлота од



Слика 1. Шема експерименталног котла [7]

сагоревања балиране биомасе размењује се у размењивачу топлоте гас–вода (15). Димни гас пролази кроз димне цеви размењивача топлоте (16) и иде у сабирник излазних димних гасова (17). Преко димњаче (18) у којој је смештен лептирски засун (19) димни гасови се воде у циклонски сепаратор честица (29), одакле пречишћени димни гасови помоћу вентилатора димног гаса (28) (који је специјалне конструкције са равним лопатицама да би се спречило лепљење pepела) одлазе у димњак, и затим се испуштају у околну атмосферу. Пепео настао у процесу сагоревања балиране биомасе сакупља се у колектору pepела (20 и 21), у колектору pepела испод измењивача топлоте (22), као и у бункеру циклонског сепаратора честица. У делу ложишта смештена је покретна уводна цев за ваздух за транспорт pepела (23), и цев за пнеумотранспорт pepела (24). Предвиђени су и ревизиони отвори за ручно чишћење pepела (25) (сл. 1).

Да би постројење радило на одређеној номиналној или устаљеној снази направљен је и уграђен одговарајући акумулатор топлоте (топлотни резервоар) запремине 5 m<sup>3</sup> (сл. 2). На тај начин је обезбеђено да без обзира на тренутне потребе за грејањем зграде, котлао увек ради са номиналном снагом. У прелазним периодима (пролеће, јесен), на пример, потребе за грејањем најчешће износе 20–40% називне снаге котла, што би значило и знатно мањи степен корисности постројења. Да би се произведена топлота из котла (сл. 3) одвела до потрошача топлоте, али и у акумулатор топлоте (топлотни резервоар), постављен је разводник топле воде на излазу из котла. На овај начин произведена топла вода из котла може да се води директно до потрошача или директно у акумулатор топлоте или по потреби топла вода из акумулатора топлоте може да се води до потрошача.



Слика 2. Топлотни резервоар



Слика 3. Експериментални котлао

Без примене савремених система контроле рада и регулације снаге овакви котлови би и даље били у технолошком заостатку за сличним решењима која се примењују у свету. Због тога је конципиран је управљачки систем за ову врсту котлова, који је базиран на контроли температуре димног гаса на излазу из котла и контроли температуре топле воде на излазу из измењивача топлоте.

### Анализа рада котла са цигаретним сагоревањем балиране биомасе

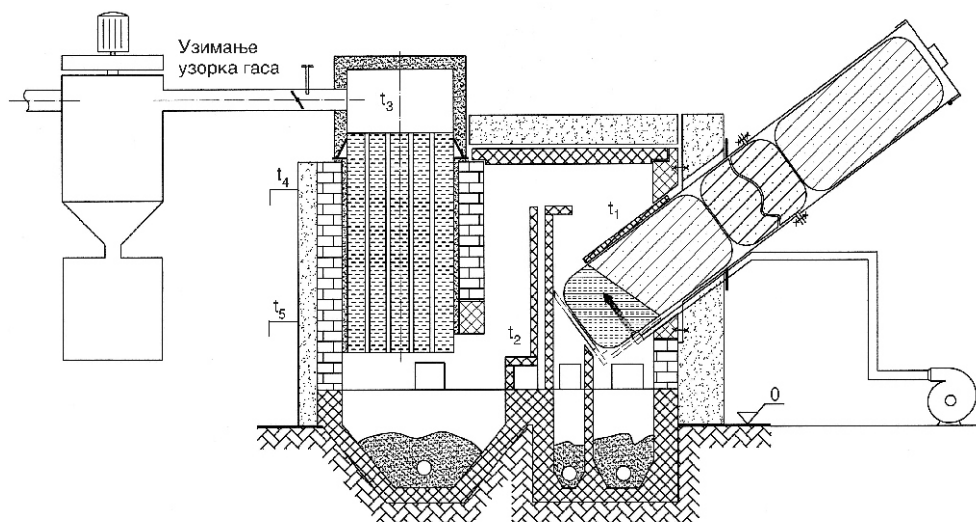
На описаном експерименталном котлу извршено је испитивање сагоревања балиране биомасе из пољопривредне производње. Испитивања су извршена коришћењем управљачког система који је осмишљен за ову врсту котлова.

Приликом ових испитивања обављена су мерења неопходних величина да би се стекао увид у процесе који се дешавају на постројењу и то [7]:

- мерење температура димног гаса на три места:  $t_1$  у ложишном простору,  $t_2$  у зони догоревања и  $t_3$  иза измењивача топлоте,
- мерење температуре флуида (воде) на два места и то:  $t_4$  температура излазне (загрејане) воде,  $t_5$  температура повратне воде, и
- континуално мерење састава димних гасова, узимањем узорка димног гаса на излазу из котла, на димњачи.

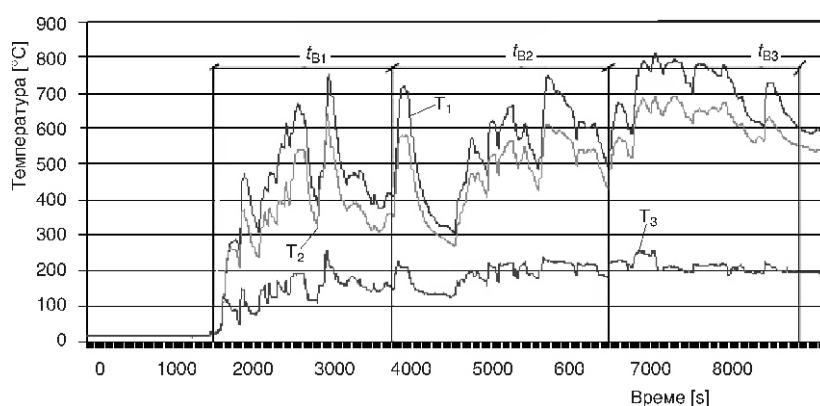
Такође, обављена су мерења протока свежег ваздуха као и потрошње горива. Потрошња горива, је одређивана мерењем количине горива која се убацује у ложиште и мерењем времена сагоревања те количине горива у ложишту котла (сл. 4).

Мерење температура димног гаса и ваздуха обављено је помоћу термоелемената типа Сг-А1 који су постављени на одговарајућа места у ложишту и цевоводу свежег ваздуха. Континуално мерење температура обављено је коришћењем аквизиционог система *Keithley* и рачунара. За мерење састава гаса коришћен је континуални анализатор гаса IMR 3000P и рачунар. Коришћеним континуалним анализатором гаса IMR3000P може да се одреди садржај  $O_2$  [%],  $CO_2$  [%],  $CO$  [ppm],  $SO_2$  [ppm],  $NO$  [ppm] и  $NO_2$  [ppm] у димним гасовима [7].

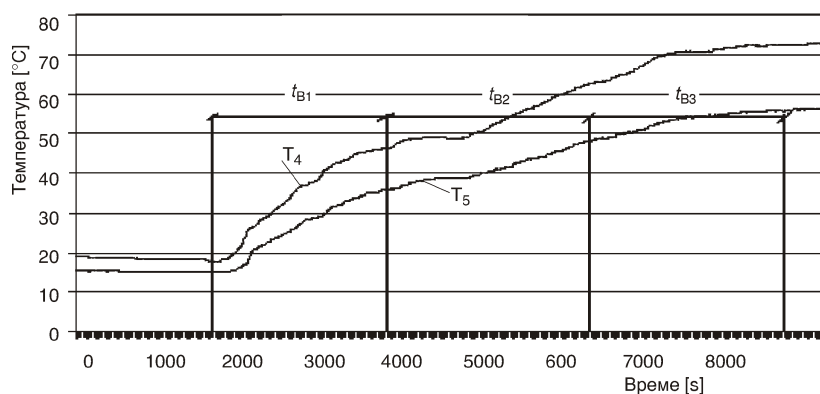


Слика 4. Шема мерних места (температуре и гаса) [7]

Температура димних гасова је контролисана преко управљачког система котла, па је регулацијом протока свежег ваздуха и регулацијом потпритиска у ложишту котла оствареној помоћу фреквентних регулатора вођено рачуна да температура димних гасова у ложишту котла не пређе вредност 820 °C када се постижу услови за оптимално сагоревање сламе, јер се не јавља синтеровање пепела. Ово се, с друге стране, повољно одразило на ефикасност размене топлоте у измењивачу топлоте тако да је температура димних гасова на излазу из измењивача топлоте око 200 °C и то врло стабилна у дужем периоду мерења (сл. 5, 7 и 9). На овај начин управљачки систем котла потпуно потврђује свој смисао јер се постиже задовољавајуће сагоревање и ефикасна размена топлоте у измењивачу топлоте, а тиме и оптимални степен корисности котла.



**Слика 5. Измерене температуре димног гаса за стартни режим (t<sub>B1</sub>, t<sub>B2</sub>, t<sub>B3</sub> – време сагоревања прве, друге и треће бале)**

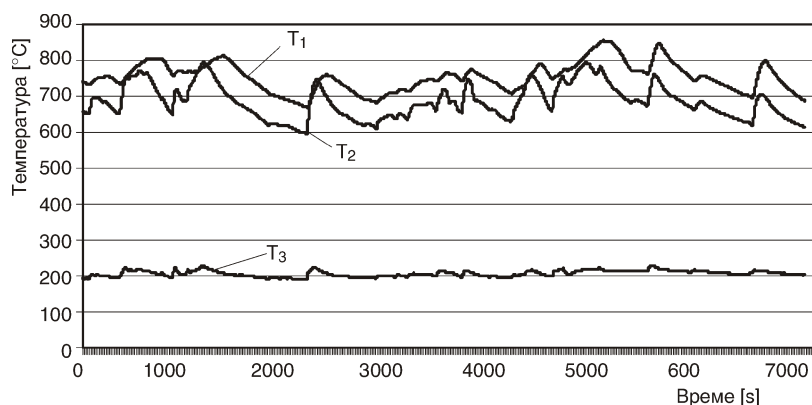


**Слика 6. Измерене температуре воде за стартни режим (t<sub>B1</sub>, t<sub>B2</sub>, t<sub>B3</sub> – време сагоревања прве, друге и треће бале)**

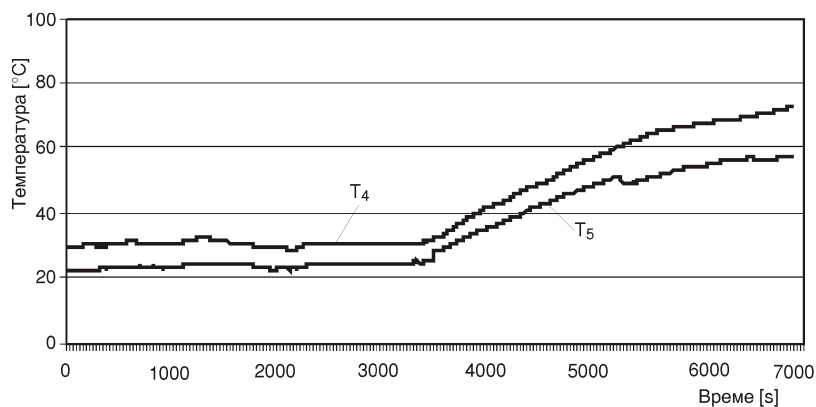
Такође, измерене температуре излазне (загрејане) воде и повратне воде су се кретале у задовољавајућим опсезима. Температура загрејане воде кретала се око 80 °C,



а температура повратне воде око  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  (сл. 6, 8 и 10). Приликом ових испитивања у рад је периодично укључиван и акумулатор топлоте (топлотни резервоар) како би се испитала функционалност његовог рада, као и целог система развода топле воде до потрошача. Испитивања су показала да је функционално лако променити ток струјања топле воде тако да се она одводи или директно до потрошача или у акумулатор топлоте, или и једно и друго. То се ради ручно преко регулационих вентила, али је исто тако могуће да и та операција буде аутоматизована.

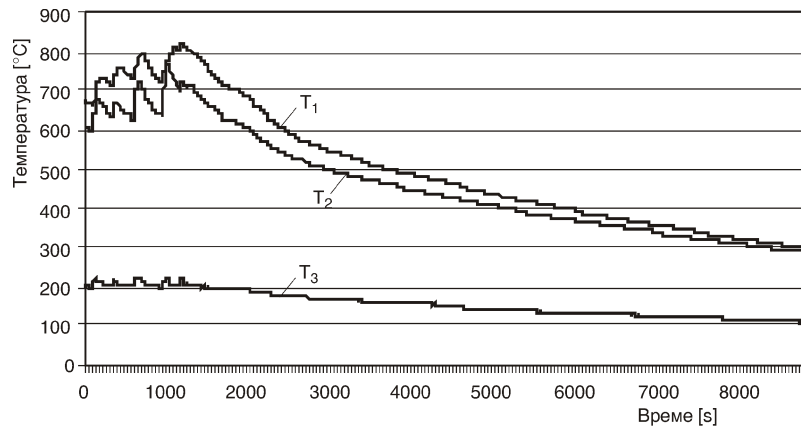


Слика 7. Измерене температуре димног гаса за стационарни режим

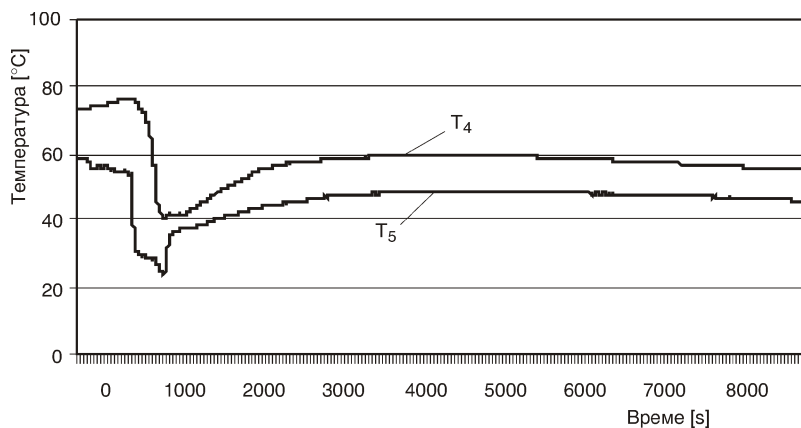


Слика 8. Измерене температуре воде за стационарни режим

Што се тиче одређивања степена корисности котла, то је урађено према препорукама датим у литератури [8], а вредности појединих елемената битних за његово рачунање су дати у табл. 2.



Слика 9. Измерене температуре димног гаса за завршни режим



Слика 10. Измерене температуре воде за стартни режим

Уз поменути проток горива од 16 kg/h, и узимајући у обзир да је степен корисности котла 73,33%, топлотна снага котла износи 44,6 kW.

Правилник о граничним вредностима емисије, начину и роковима мерења и евидентирања података [9] прописује граничне вредности емисије за одређене врсте ложишта (члан 10 Правилника). Поменути стандардом нису дефинисане граничне вредности емисије гасова котлова снаге мање од 1 MW, што практично значи да мали котлови и ложишта не подлежу ограничењу емисије. Ипак, може се очекивати да ће у будућности, са усвајањем европских стандарда као домаћих и котлови снаге испод 1 MW потпасти под ограничење емисије штетних продуката сагоревања, по узору на земље у којима је коришћење биомасе у енергетске сврхе заступљеније и има дужу традицију. Због тога су за све измерене режиме извршена прерачунавања емисије CO [mg/m<sup>3</sup>] и NO<sub>x</sub> [mg/m<sup>3</sup>] сведено на 11 % v/v O<sub>2</sub> као што прописује члан 10 Правилника [9] (табл. 3).

У одређеним тренуцима током мерења је долазило до наглог скока вредности емисије CO (појава пикова), али су те појаве кратко трајале па су се вредности врло

**Таблица 2. Одређивање степена корисности котла**

Назив	Ознака	Јединица	Вредност
Доња топлотна моћ	$H_d$	kJ/kg	13,686
Расположива количина топлоте	$Q_r^r$	kJ/kg	13,686
Коефицијент вишка ваздуха на излазу из котла	$\alpha_{iz}$	–	2,8
Температура хладног ваздуха	$t_{hv}$	°C	30
Енталпија теоријске количине хладног ваздуха	$I_{hv}^o$	kJ/kg	140,61
Температура излазних гасова	$t_{iz}$	°C	220
Енталпија излазних гасова	$I_{iz}$	kJ/kg	3240,97
Губитак услед механичке непотпуности сагоревања	$q_4$	%	4
Губитак у излазним гасовима	$q_2$	%	19,97
Губитак услед хемијске непотпуности сагоревања	$q_3$	%	0,5
Губитак услед спољашњег хлађења	$q_5$	%	2
Губитак услед физичке топлоте шљаке	$q_6$	%	0,2
Степен корисности котла	$\eta$	%	73,33

**Таблица 3. Граничне вредности емисије за ложишта на дрво, дрвени брикет и отпатке пољопривредних култура**

Врата материје	Топлотна снага ложишта [MW]		
	1–50	50–300	
	Гранична вредност емисије [mg/m <sup>3</sup> ]		
Прашкасте материје	50	50	50
Угљен-моноксид	250	250	250
Азотни оксиди изражени као NO <sub>2</sub>	500	400	200
Органске материје	50	50	50

брзо стабилизовале на неку своју просечну вредност. Ова појава може да се објасни тиме да је до наглих скокова емисије долазило увек када би се била која сагорева урушила, или када се отварају врата ложишта, па се ложиште потхлади, што је одмах имало за последицу повишену емисију CO. То се најбоље може видети по резултатима у првом режиму, јер је тада и ложиште било хладно, затим су често отворана ложишна врата, а често је и мењан положај бале у ложишту услед чега је долазило до урушавања бале, што је све имало за последицу повишену емисију CO. Када су сви параметри рада котла били подешени и када је котао радио у стационарном режиму, емисија како CO тако и осталих мерених гасова је била устаљена око одређене вредности, тј. без скоковитих промена [7].

Поређећи усредњене вредности емисије из табл. 4 и дозвољене (граничне) вредности емисије из табл. 3 може се закључити да предметни котлао задовољава постојећу законску регулативу, за други и трећи режим, када је у питању како емисија CO тако и емисија азотних оксида. У првом режиму средња вредност емисије CO је била изнад дозвољених законских вредности, а разлози за то се налазе у честом подешавању положаја бала у ложишту и отварању врата ложишта, као што је то већ наведено [7].

**Таблица 4. Средње вредности емисија CO и NO<sub>x</sub> сведене на 11% v/v O<sub>2</sub>**

	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
Режим 1	13.000	140
Режим 2	200	350
Режим 3	150	350

### **Закључак**

У раду су приказани резултати развоја експерименталног котла предвиђеног за сагоревање пољопривредне балиране биомасе код којег је организација сагоревања извршена на принципу сагоревања цигарете. Приказане су основне могућности и предности оваквог начина сагоревања пољопривредне биомасе као врло значајног обновљивог извора енергије у Србији. Резултати експерименталних испитивања котла су показала да се сагоревањем остварују довољно високе температуре у ложишту котла, да је могуће загрејати топлу воду на жељену температуру довољну за функцију грејања објеката, као и да се при стабилним режимима рада остварују ниске емисије CO и NO<sub>x</sub> оксида. Испитивања су показала да котлао у целини ради на задовољавајући начин и са предвиђеним капацитетима и да нема лепљења пепела на зидове ложишта или измењивача топлоте што је посебна погодност овако конципираног котла.

### **Захвалност**

Рад је реализован у оквиру пројекта Министарства науке и заштите животне средине Републике Србије „Развој котлова и ложишта мале и средње снаге за сагоревање балиране биомасе из пољопривредне производње”, Евиденциони број пројекта ЕЕ-262004.

### **Литература**

- [1] \*\*\*, Програм остваривања стратегије развоја енергетике Републике Србије до 2015. године за период од 2007. до 2012. године, Министарство рударства и енергетике, Београд
- [2] Илић, М., и др., Енергетски потенцијал и карактеристике остатака биомасе и технологије за њену примену и енергетско искоришћење у Србији, Студија у оквиру пројекта ев. број НП ЕЕ611-113А финансираног од стране Министарства науке и заштите животне средине Републике Србије, Београд, 2003.
- [3] Marutzky, R., Seeger, K., Energie aus Holz und anderer Biomasse, ISBN 3-87181-347-8, DRW – Verlag Weinbrenner (ed.), Leinfelden-Echtlingen, Germany, 1999

- [4] Јанић, Т., Бркић, М., Биомаса као енергент, Пољопривредни факултет, Нови Сад, *Агрономска сазнања*, 12 (2002), 3-4, 8
- [5] Kristensen, E. F., Kristensen, J. K., Development and Test of Small-Scale Batch-Fired Straw Boilers in Denmark, *Biomass and Bioenergy*, 26 (2004), 3, 561-569
- [6] \*\*\*, Type Approved Biofuel Boilers, Internet List of Type Approved Biofuel Boilers and Test Reports on Type Approved Boilers, Danish Technological Institute, Taastrup  
<http://www.biomasse.teknologisk.dk/kedler/index.htm>
- [7] Ђуровић, Д., Прилог развоју сагоревања балиране биомасе из пољопривредне производње, Магистарски рад, Машински факултет, Београдски универзитет, Београд, 2008.
- [8] Бркић, Љ., Живановић, Т., Туцаковић, Д., Термички прорачун парних котлова, Машински факултет, Београдски универзитет, Београд, 1999.
- [9] \*\*\*, Правилник о граничним вредностима емисије, начину и роковима мерења и евидентирања података, Република Србија, Министарство заштите животне средине, Београд, Јул 1997.

#### Abstract

## Development of the Small Scale Boiler for Combustion of Baled Biomass from Agricultural Production

by

*Dejan DJUROVIĆ<sup>1</sup>, Dragoljub DAKIĆ<sup>1</sup>,  
Branislav REPIĆ<sup>1</sup>, and Dragoslava STOJILJKOVIĆ<sup>2</sup>*

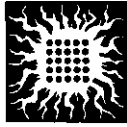
<sup>1</sup> **Laboratory for Thermal Engineering and Energy,  
Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia**

<sup>2</sup> **Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade University, Belgrade, Serbia**

Development of boiler for combustion of baled biomass from agricultural production, where combustion process is organized like cigarette combustion, has been presented in this paper. In that intention first of all was done suitability of agricultural biomass combustion, after that analysis of the energy potential of the biomass in our country, and a review of the previous technologies used for combustion of the biomass from the agricultural production. Experimental plant for combustion of the baled biomass from agricultural production has been developed at chosen user in Stapar, near Sombor, Serbia. As a fuel in these experiments has been used baled soya straw. To ensure power stability of the plant suitable heat storage has been developed. Measurements were done for different regimes, with periodically getting into the function the heat storage. After that results of the measuring in the long time period, and analyze of the measured results has been presented, and recommendations for the improving future designs of boilers like this has been given.

Key words: *biomass, cigarette combustion, heat storage*

*Одговорни аутор* / Corresponding author (D. Djurović)  
E-mail: [dejan2004@vinca.rs](mailto:dejan2004@vinca.rs)



**ИНСТИТУТ ЗА НУКЛЕАРНЕ НАУКЕ »ВИНЧА«**  
Лабораторија за термотехнику и енергетику ИТЕ

**Уштедите гориво, заштитите животну средину и задовољите норму рада постројења у складу са важећим прописима, тако што ћете проверити рад својих уређаја.**

**Обављамо сва термотехничка и гарантна испитивања котлова и осталих индустријских уређаја (пећи, сушаре, системи грејања и климатизације итд.).**

**Снимамо продукте сагоревања као и емисије честичног загађења.**

**Лабораторија за термотехнику и енергетику нуди и:**

- Комплетне инжињеринг услуге уградње стационарних гасних анализатора продуката сагоревања било које конфигурације по систему кључ у руке
- Континуално мерење и осталих параметара димног гаса (температура, брзина, проток, концентрација честица, ...)
- Систем за пренос, обраду и архивирање измерених величина
- Могућност коришћења измерених величина за регулацију рада постројења и процеса
- Продаја преносивих гасних анализатора продуката сагоревања са конфигурацијом по жељи купца
- Продаја гасних кондиционера за припрему гаса за анализу у гасним анализаторима

**Лабораторија за термотехнику и енергетику заступа немачког произвођача гасних анализатора**

**IMR – ein Unternehmensbereich der T&T Ingenieurgesellschaft mbH.,**



**а преко њега и испоручиоце остале опреме за мерење карактеристика продуката сагоревања**

- Сервисирање испоручене опреме обезбеђено у Институту
- Гаранција за испоручену опрему је од 2–5 година за стационарне и годину дана за преносиве уређаје



За додатна обавештења:  
др Драгољуб Дакић

Адреса: 11001 Београд, п. п. 522  
Телефон: (011)245-56-63  
Моб. тел.: (063)169-74-43  
Телефакс: (011)245-36-70  
E-mail: dakicdr@vinca.rs