



UDK: 636.312:636.4:697.432:628.4.042 (497.113)

*Originalan naučni rad
Original scientific paper*

ENERGETSKA EFIKASNOST I EMISIJA GASOVA KOTLA ZA ZAGREVANJE FARME SVINJA I SPALJIVANJE UGINULIH ŽIVOTINJA KORIŠĆENJEM BIOMASE I GASA

Miladin Brkić¹, Todor Janić¹, Stojan Galić²¹*Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet - Novi Sad*²*"Nigal" - Novi Sad*

Sadržaj: U radu je obrađen vrelovodni (toplovodni) kotao termičke snage 750 kW za zagrevanje farme svinja sagorevanjem biomase, čije je ložište prilagođeno za spaljivanje uginulih životinja i konfiskata korišćenjem naftnog tečnog gasa kao dopunskog goriva. Biomasa koja se koristi kao biogorivo za pogon kotla je soja ili pšenična slama. Upotrebom slame kao obnovljivog i alternativnog goriva postižu se značajne uštede konvencionalnog goriva (tečnog gasa i električne energije), koje se sada troši za zagrevanje Farme svinja "Mitrosrem" u Velikim Radincima kod Sremske Mitrovice. Proizvodni kapacitet farme je 15.000 tovljenika godišnje. Godišnji utrošak sojine slame je 1.700 t (ili pšenične 1.970 t), sa površine od 565 ha (odnosno 660 ha). Troškovi prikupljanja, transporta i skladištenja slame su oko 1,8 din/kg). Ekonomska opravdanost korišćenja biomase kao energenta dokazana je u činjenici da se korišćenje slame 6 puta više isplati od tečnog gasa. U radu su izneti uslovi za projektovanje i građenje ovakvih kotlarnica. Dat je tehnički opis kotla sa šemom kotla. Obraden je ekološki značaj upotrebe biomase i spaljivanja uginulih životinja i konfiskata sa stanovišta evropskih propisa. Osim uginulih životinja i konfiskata u ložištu kotla može se bezbedno spaliti sav biološki otpad iz veterinarske stanice i lekovi kojima je prošao rok upotrebe. Kotao sa specijalnim ložištem moći će naći primenu na svim farmama svinja, u klanicama živine i u prehrambenoj industriji.

Ključne reči: *energetska efikasnost, emisija gasova, kotao, ložište na biomasi, zagrevanje farme, spaljivanje uginulih životinja i konfiskata*

1. UVOD

U blizini Farme svinja Veliki Radinci nalazi se 5.000 ha oraničnih površina PD "Mitrosrema" iz Sremske Mitrovice. Na ovim površinama seje se pšenica, kukuruz, soja i druge kulture. Posle ubiranja zrnastih proizvoda na poljima ostaju velike količine biljnih ostataka (biomase). Poljoprivredno dobro odlučilo je da koristi biomasu kao

biogorivo za zagrevanje farme svinja u Velikim Radincima, godišnjeg kapaciteta 15.000 tovljenika.

Prinos pšenične slame može da bude od 2 do 5 t/ha, kukuruzne stabljike 4 do 7 t/ha i soje 3 do 5 t/ha. Za proračun potrebne količine biljne mase (biomase) za proizvodnju toplotne energije usvojene su sledeće vrednosti prinosa: pšenične slame 3,0 t/ha, sojine slame 3,5 t/ha i kukuruzovine 5,0 t/ha.

Toplotna vrednost pšenične slame može da bude 13 do 14 MJ/kg, sojine 15 do 16 MJ/kg i kukuruzovine 13 do 14 MJ/kg. Za proračun toplotnog bilansa, usvojene su srednje vrednosti. Na smanjenje toplotne vrednosti biomase utiče povećani sadržaj vlage pri ubiranju ili prikupljanju biljne mase.

Ako se uzme da je u zimskom periodu do 6 meseci potrebno obezbediti prosečnu toplotnu snagu kotla od 750 kW za grejanje farme svinja (za uzgoj prasadi $2 \times 160 = 320$ kW, za reprocentar 190 kW, za ventilaciju tovilista 90 kW, za klanicu 100 kW i upravnu zgradu 50 kW), a leti 300 kW, onda se može izračunati potrebna količina biljne mase.

Godišnji utrošak sojine slame je 1.700 t (ili pšenične 1.970 t), sa površine od 565 ha (odnosno 660 ha). Troškovi prikupljanja, transporta i skladištenja slame su oko 1,8 din/kg. Tako na primer, godišnja potrošnja slame od 1970 t vredi 3.546.000 dinara, a energetski ekvivalentnih 591 t tečnog gasa iznosi 21.394.200 dinara. To znači da se korišćenje slame 6 puta više isplati nego upotreba tečnog gasa.

2. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE TOPLOVODNOG (VRELOVODNOG) KOTLA

Kotlovsku celinu sačinjavaju ložište, konvektivni paketi, taložna komora i dimnjak. Transport vazduha i dimnih gasova obezbeđuju ventilator svežeg vazduha i odsisni ventilator dimnih gasova. Produkti sagorevanja koji nastaju u ložištu prolaze kroz dimne cevi konvektivnih zagrevnih površina (dva prolaza) i kroz dimnjaču, na kojoj su paralelno postavljeni ventilator i nepovratna dimna klapna, ulaze u taložnu komoru. Taložna komora je zidana. Dimni gasovi posle napuštanja taložne komore odlaze u dimnjak, odnosno u okolnu atmosferu.

Projektovanje, izgradnja i montaža kotlarnica na biomasu ima svojih specifičnosti koje uslovljavaju posebnu konstrukciju ložišta, dimnjače, taložne komore i dimnjaka.

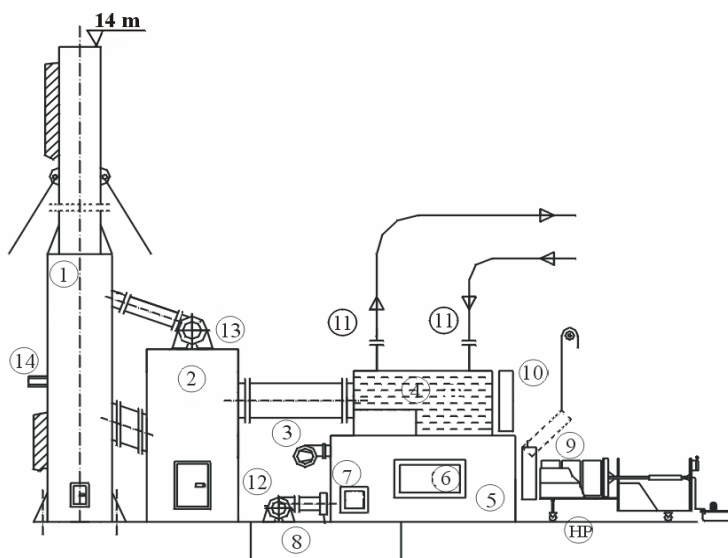
Ložište ovog kotla zidano je šamotnom opekom u šamotnom malteru i pojedini delovi ložišta su izrađeni od vatrostalnog betona. Ukupna masa šamotnog materijala i betona je 30 t.

Gorivo, balirana slama sa šest do deset bala, potiskuje se do ložišta kotla (slika 1, poz 5). Otvaraju se vrata na ložištu (9) i kroz njih se ubacuje gorivo. Otvaranjem vrata prestaje da radi ventilator (12). Zatvaranjem vrata ventilator se uključuje.

Posebnom konstrukcijom ložišta omogućeno je priključenje gorionika na TN gasa i sagorevanje konfiskata uginulih životinja i bolničkog otpada u količini od 750 kg/h.

Optimalna temperatura na kojoj sagoreva balirana slama postiže se zračenjem velike mase šamota. Vrlo visoka temperatura (preko 1200°C) na kojoj potpuno može da sagoreva konfiskat i uginule životinje postiže se gorionikom za TNG. Snaga gorionika dobija se iz uslova najveće količine ubačenog konfiskata u ložište.

Temperaturni režim vode u kotlu je $90/70^{\circ}\text{C}$. Radni pritisak je 4 bara-a.



Slika 1. Toplovodni kotao na biomasu (uginule životinje i konfiskate)

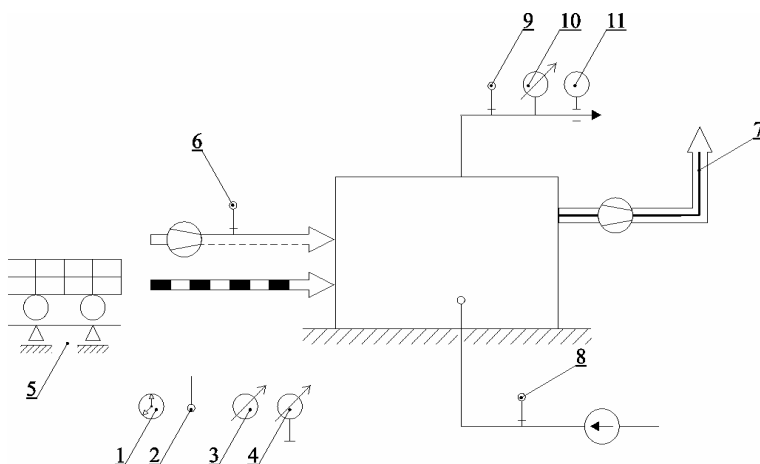
(1 - čelični dimnjak $H = 14$ m, 2 - taložna komora, 3 - gorionik, 4 - razmenjivač voda - produkti sagorevanja, 5 - šamotno ložište 30 t, 6 - vrata za ubacivanje konfiskata i uginulih životinja, 7 - vrata za pepeo, 8 - vrata za primarni vazduh, 9 - vrata za ubacivanje biogoriva, 10 - vrata za čišćenje cevi razmenjivača, 11 - polaz i povrat vode, 12 - ventilator primarnog vazduha, 13 - ventilator produkata sagorevanja, 14 - otvor za merenje gasova, HP - hidraulični potiskivač bala slame)

3. MATERIJAL I METOD RADA

Metodologija ispitivanja je prilagođena postupku prema JUS M.E2. 203 [1] koji je baziran na DIN 1942 [3], a iz iste metodologije je izveden i ISO R889 [2]. Proračunske osnove preuzete su iz [5], a termofizičke karakteristike vode i pare iz [4].

Ispitivanja su obavljena krajem marta 2005. godine. Merenja su vršena sa instrumentima (temperature vode u povratku i potisu, masa bala na kolskoj vagi) i delom prema baždarenoj opremi Instituta za termotehniku FTN iz Novog Sada (analiza sastava dimnih gasova, temperatura izlaznih gasova iz kotla, protok tople vode i dr.). Stanje okoline je, takođe, mereno instrumentima Instituta za termotehniku. Šema mernih mesta sa oznakama data je na slici 2.

Neposredno pre početka ispitivanja kotao je bio u pogonu bez promene opterećenja nekoliko sati. Efektivno ispitivanje je u kontinuitetu trajalo 110 minuta. Interval očitavanja za sve merene veličine i za sva opterećenja iznosio je 10 minuta. Sagorevana je isključivo pšenična slama. Loženjem je upravljalo pogonsko osoblje i ono je obavljano tako da se omogući postizanje maksimalnog toplotnog kapaciteta kotla. Maksimalno postignuti intenzitet ubacivanja goriva u ložište je iznosio 6 bala na oko 25 min. (maksimalna brzina sagorevanja). Pri tome u jednom ciklusu faza sagorevanja volatila nije iziskivala nikakve posebne zahvate, međutim u poslednjih 10 minuta se čvrsti ostatak morao vrlo intenzivno razbijati, što se moglo raditi samo manuelnim postupkom (žaračem) pri potpuno otvorenim vratima za dotur goriva.



Slika 2. Shema mernih mesta

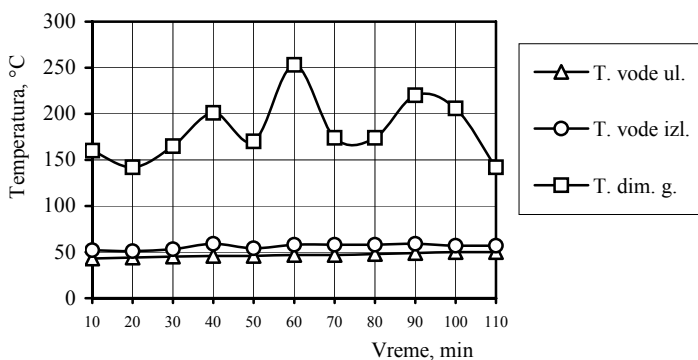
(1 – vreme, 2 - temperatura spoljnog vazduha, 3 - barometarsko stanje, 4 - relativna vlažnost vazduha, 5 - masa slame, 6 - temperatura ulaznog vazduha, 7 - analiza gasova na izlazu iz kotla, 8 - temperatura vode na ulazu u kotao, 9 - temperatura vode na izlazu iz kotla, 10 - pritisak u kotlu, 11 - protok vode kroz kotao, 6 - temperatura ulaznog vazduha)

Merenje emisije štetnih i opasnih materija iz termičkog postrojenja na biomasu obavio je Zavod za zdravstvenu zaštitu radnika iz Novog Sada prvom polovinom maja 2005. godine. Merno mesto za uzimanje uzoraka izlaznih gasova bio je otvor na dimnjaku na visini 3,9 m od betonske podloge na zemljištu. Ovaj otvor udaljen je 12 m od ložišta. Prečnik dimnjaka na tom mestu je 0,62 m. Za uzimanje uzoraka gasova korišćena je pumpa Casella, sa odgovarajućim kontejnerom i ručna pumpa za dimni broj. Kontrola stepena zapašenosti vazduha (emisija štetnih i opasnih materija) vršena je u skladu sa važećom zakonskom regulativom i metodologijom: Zakon o zaštiti životne sredine (Sl. glasnik RS 66/91) i Pravilnik o graničnim vrednostima emisije, načinu i rokovima merenja i evidentiranja podataka (Sl. glasnik RS 30/97). Tokom merenja kotao je radio punim kapacitetom. Utrošeno je 40 klasičnih bala pšenične slame ukupne mase 400 kg. Izmeren je protok gasovitog fluida kroz dimnjak od 1350 m³/h.

Merenje je obavljeno pri oblačnom i prohladnom vremenu, sa vetrom koji je duvao u pravcu jugoistok-severozapad. Brzina vetra je bila 3,19 m/s, a temperatura vazduha 16,9°C, relativna vlaga 66,7% i barometarski pritisak 1,01 bar.

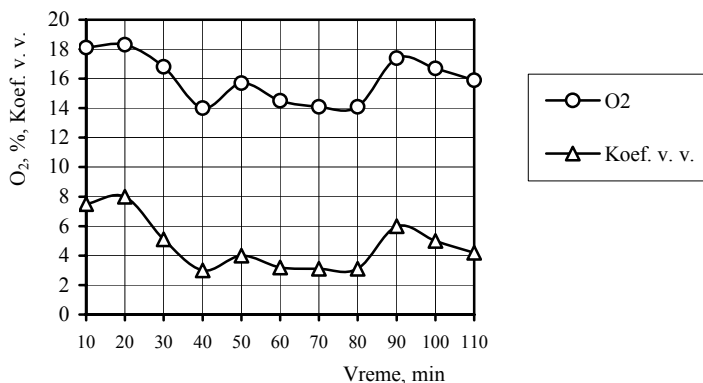
4. REZULTATI ISPITIVANJA I DISKUSIJA

Na slici 3. dat je dijagram promene temperatura ulazne i izlazne vode kotla u toku ispitivanja. Razlika ovih temperatura se kretala u intervalu od 10 do 13°C u zavisnosti od trenutnog toplotnog opterećenja kotla. Ove razlike u temperaturama vode bi trebale iznositi oko 20°C prema projektnom maksimalnom opterećenju kotla od 750 kW. Na istom dijagramu prikazan je i tok temperatura dimnih gasova u dimnjači na izlazu iz kotla. Srednja vrednost je iznosila 183°C, što pri preliminarnoj oceni dobijenih rezultata odaje utisak povoljne efikasnosti kotla. Za konačnu analizu efikasnosti rada kotla potrebno je da se uzmu u obzir i sadržaji viška vazduha u dimnim gasovima.



Slika 3. Temperatura ulazne i izlazne vode i temperatura dimnih gasova u toku ispitivanja

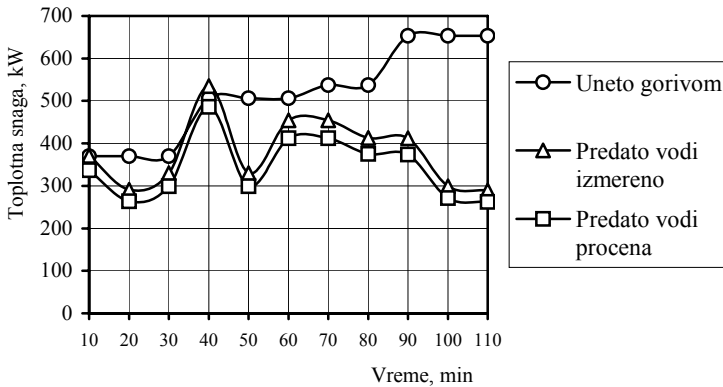
Na slici 4. dato je kretanje sadržaja kiseonika u toku ispitivanja. Nažalost, ovi podaci govore o prevelikim viškovima vazduha i sa tim u vezi povećanim toplotnim gubicima sa izlaznim gasovima i nižom efikasnošću rada kotla (srednja vrednost ovih gubitaka je čak 27,6%). Veliki višak vazduha u produktima sagorevanja utiče na snižavanje temperature dimnih gasova.



Slika 4. Sadržaj kiseonika u izlaznim dimnim gasovima i koeficijent viška vazduha

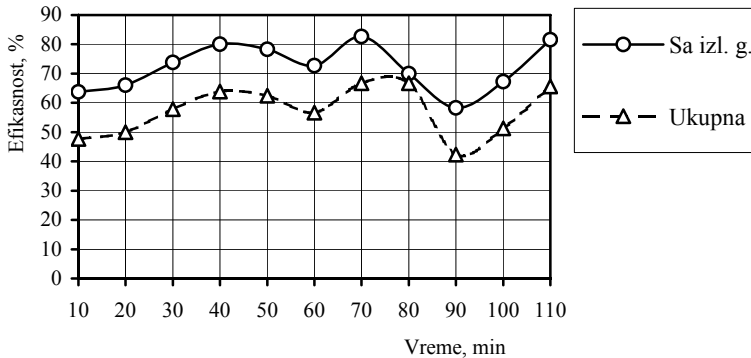
U ukupnom vremenskom intervalu ispitivanja od 110 min sagorelo je 24 bale pšenične slame ukupne mase od 231 kg. Na osnovu vlažnosti slame koja je određena u laboratoriji od 12,5%, izračunata je donja toplotna moć radnog goriva od 14130 kJ/kg.

Na slici 5. prikazano je ostvareno toplotno opterećenje kotla na osnovu sagorelog goriva tokom vremena. Prosečno toplotno opterećenje kotla računato preko utrošenog goriva iznosi 499 kW.



Slika 5. Toplotna snaga uneta u kotao gorivom i izneta zagrejanom vodom

Na slici 6. prikazane su vrednosti efikasnosti rada kotla obračunate po indirektnoj metodi za slučaj kada se uzima u obzir samo gubitak toplote sa izlaznim gasovima i za slučaj kada su uzeti u obzir svi gubici prema [1].



Slika 6. Efikasnost rada kotla (stepen termičke korisnosti)

Zbog prevelikih dimenzija cevovoda nije bilo moguće korektno meriti protok vode kroz kotao direktnim putem već je to urađeno indirektno putem merenja i sabiranja protoka kroz pojedine grane razvodne mreže u pojedinim objektima farme svinja, pri čemu su obilazni vodovi bili zatvoreni.

Ovako izmerena vrednost je iznosila 9,835 kg/s, što je za oko 10% veća vrednost od one koja se uobičajeno projektuje za ovakve uslove. Očekivana projektna vrednost protoka vode bila bi za prirast temperature od $\Delta t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ i toplotnu snagu od $Q = 750 \text{ kW}$:

$$D = Q / \Delta t = 750 / (20 \times 4,2) = 8,929 \text{ kg/s.}$$

Pošto se pri ispitivanjima nije moglo izvršiti realno merenje gubitaka sa hemijski nepotpunim sagorevanjem (q_3), kao ni merenje gubitaka usled mehanički nesagorelog goriva (q_4), ove vrednosti su procenjene prema literaturnim preporukama [1, 5], ($q_3 = 1,0\%$, $q_4 = 3,0\%$). Ako se dosledno primenu preporuke [1], za opterećenje kotla od približno 50% od maksimalnog, dobija se vrednost ovih gubitaka od $q_5 = 4,5\%$. Prosek efikasnosti iskorišćenja goriva u toku ispitivanja ako se ne obuhvataju gubici q_3 , q_4 i q_5 iznosi 72,4%, a kada se i oni uzmu u račun tada je efikasnost 66,2%.

Rezultati ispitivanja emisije štetnih i opasnih materija dati su u tabelama 1. i 2.

Tabela 1. Količine goriva i produkata sagorevanja i temperature fluida [7]

R.b.	Vreme č.min	B_r kg	t_{gi} °C	O_2 [%]	CO_2 [%]	SO_2 [ppm]	CO [ppm]	NO_x [ppm]	t_{vni} °C	t_{vni} °C
1	13:25	55	-	-	-	-	-	-	-	-
2	13:35	-	160	18,1	2,6	0	0	2	43	52
3	13:45	-	142	18,3	2,4	0	0	0	44	51
4	13:55	58	165	16,8	3,9	0	0	0	45	53
5	14:05	-	201	14,0	6,5	0	0	3	46	59
6	14:15	-	170	15,7	4,8	0	0	12	46	54
7	14:25	57	253	14,5	6,0	0	0	1	47	58
8	14:35	-	174	14,1	6,3	0	0	5	47	58
9	14:45	-	-	-	-	-	-	-	48	58
10	14:55	61	220	17,4	3,2	0	0	0	49	59
11	15:05	-	206	16,7	3,9	0	0	4	50	57
12	15:15	-	142	15,9	4,7	0	0	0	50	57

Napomena: $t_o = 16^\circ C$, $p_a = 996 \text{ bar-a}$, $\varphi = 45\%$, $p_w = 3,0 \text{ bar}$ i $D = 35,8 \text{ m}^3/\text{h}$

U ispitivanjima Instituta za energetiku, procesnu tehniku i zaštitu životne sredine iz Novog Sada nije ustanovljen sadržaj SO_2 i CO u produktima sagorevanja. Količina NO_x jedinjenja je mala.

Tabela 2. Pojedinačne vrednosti emisije gasova [8]

Red. br.	Broj merenja	Vrsta štetnosti	Aparatura za uzimanje uzoraka	GVE* (mg/m^3)	Rezultat (mg/m^3)
1.	I	Prašina	Casella	50	28,5
2.	I	CO	Testo	250	1816,0
3.	I	NO ₂	Casella	500	1,78
4.	I	C	Casella	50	572,8
5.	I	Dimni broj	Ručna pumpa	do 30	9,0
6.	II	Prašina	Casella	50	4,7
7.	II	CO	Testo	250	2813,7
8.	II	NO ₂	Casella	500	1,47
9.	II	C	Casella	50	190,4
10.	II	Dimni broj	Ručna pumpa	do 30	8,0
11.	III	Prašina	Casella	50	22,7
12.	III	CO	Testo	250	2029,0
13.	III	NO ₂	Casella	500	2,43
14.	III	C	Casella	50	180,0
15.	III	Dimni broj	Ručna pumpa	do 30	7,0

GVE* - granične vrednosti emisije

Na osnovu analize rezultata merenja Zavoda za zdravstvenu zaštitu radnika emisije štetnih i opasnih materija u izlaznim gasovima utvrđeno je da količina ugljenmonoksida i organskih materija, izraženih kroz ukupan ugljenik, značajno prelaze GVE. Da bi se ove količine štetnih i opasnih materija smanjile u dozvoljene okvire potrebno je automatizovati proces sagorevanja biomase.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata ispitivanja i diskusije može da se sledeće zaključiti:

- Troškovi prikupljanja, transporta i skladištenja slame iznose 1,8 din/kg. Za godišnju potrošnja slame od 1970 t dobija se vrednost od 3.546.000 dinara. Energetski ekvivalentnih slame je 591 t tečnog gasa, čija cena iznosi 21.394.200 dinara. To znači da se korišćenje slame 6 puta više isplati nego upotreba tečnog gasa.

- Prosečna izlazna snaga kotla prema utrošku goriva iznosila je 499 kW, dok je prema zbiru protoka vode izmerenih u pojedinim granama razvodne mreže na farmi iznosila 436 kW. Dakle, na osnovu ovih podataka dobijena je energetska efikasnost kotla 66,2%, što znači da je realna vrednost maksimalne snage kotla značajno manja od deklarisanе (750 kW).

- Usled potrebe manuelnih intervencija (žaranje vatre) višak vazduha u dimnim gasovima je prevelik ($\lambda = 5$) što je uzrok prevelikog gubitka energije sa izlaznim gasovima (>27%).

- Utvrđeno je da količina ugljenmonoksida i organskih materija izraženih kao ukupan ugljenik u izlaznim gasovima značajno prelaze GVE. Da bi se ove količine štetnih i opasnih materija smanjile u dozvoljene okvire potrebno je automatizovati proces sagorevanja biomase.

- Posebnom konstrukcijom šamotnog ložišta uz dodatno korišćenje TN gasa stvoreni su uslovi za bezbedno spaljivanje konfiskata i uginulih životinja, što je veliki problem naročito u periodu kada farmu zahvati bolest, pa su uginuća veća. Spaljivanjem uginulih životinja i konfiskata eliminiše se zakopavanje (što je inače zabranjeno novim evropskim propisima) i ne zagađuje se životna sredina.

LITERATURA

- [1] JUS M.E2 203/1980 Kotlovska postrojenja, Termotehnička ispitivanja, Pravilnik br. 31-11074/1 od 1980-065-25; Službeni list SFRJ, br. 42/80.
- [2] ISO: Recommendation R 889, Test Code for Stationary Steam Generators of the Power Station Type, 1968.
- [3] DIN 1942: Abnahmeversuche an Dampferzeugern (VDI-Dampferzeuger-regeln), 1979.
- [4] Kozić, Đ., Bekavac, V., Vasiljević, B.: Priručnik za termodinamiku. Mašinski fakultet, Beograd, 1973.
- [5] Brkić, Lj., Živanović, T.: Termički proračun kotlova. Mašinski fakultet, Beograd, 1981.
- [6] Galić, S., Brkić, M., Tojagić, S.: Kotao za zagrevanje farne svinja i spaljivanje uginulih životinja i konfiskata na biomasu i gas. Revija agronomska saznanja (KGHvp '05), JNDPT, Novi Sad, br. 3 (XV), 2005.
- [7] Pešenjanski I.: Ispitivanje toplotne snage, efikasnosti i emisije gasova demopostrojenja za spaljivanje supstrata animalnog porekla na farmi svinja Veliki Radinci, Izveštaj o ispitivanju, FTN, Institut za energetiku, procesnu tehniku i zaštitu životne sredine, Novi Sad, 2005, s. 14.
- [8] Zavod za zdravstvenu zaštitu radnika, Stručno mišljenje o izvršenom merenju emisije štetnih i opasnih materija iz toplotnog postrojenja na biomasu na svinjogojskoj farmi "Mitrosrem" Veliki Radinci, Izveštaj o merenju, s. 8, Novi Sad, 2005.

Napomena: Rad je deo istraživanja na projektu "Razvoj i osvajanje kotla sa loženjem na biomasu za zagrevanje stočarske farme i spaljivanje uginulih životinja i konfiskata" (br. I.EE. 608-1025), kojeg finansira Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije.

EFFICIENCY AND EMISSION OF BOILER FOR PIG FARM HEATING AND INCINERATION DEAD ANIMALS BY USING BIOMASS AND GAS

Miladin Brkić¹, Todor Janić¹, Stojan Galić²

¹University of Novi Sad, Agricultural faculty - Novi Sad

²"Nigal" - Novi Sad

Abstract: The paper describes a hot-water boiler with thermal power of 750 kW for heating a pig farm by burning biomass with the firebox (burning chamber) adapted for incineration dead animals and animal waste using liquefied gas as additional fuel. Biomass which is used as biofuel for the boiler is wheat and soybean straw. By using straw as renewable and alternative fuel significant amount of conventional fuel is saved (liquefied gas and electric energy) which is now used for heating the pig farm in Veliki Radinci near Sremska Mitrovica. Producing capacity of farm is 15,000 fattening pigs per year. Yearly consumption of soybean straw is 1,700 t (or wheat straw 1,970 t), at surface of 565 ha (in regard to 660 ha). The necessary amounts of straw, the way of gathering, transporting, storage and dosing into the boiler firebox are set. The expenses of gathering, transporting and storage are about 1,8 din/kg (or 2.18 eurocents/kg). Usage of straw as biofuel is 6 times more useful than liquefied gas. The terms for plugging and building this kind of boiler houses are presented. It will be the technical description of the boiler with its scheme. Ecological significance of using biomass and burning dead animals and animal waste is presented from the standpoint of the European legislation. Besides the dead animals and animal waste in the boiler firebox all the biological waste from the veterinary stations and medicines whose expiry date has passed can be burned. The boiler with the special firebox will be used at all pig and poultry farms, slaughterhouses and food industry.

Key words: *efficiency, emission gases, boiler, firebox on biomass, farm heating, incineration dead animals and animal waste*