

Bibliid: 0350-2953 (2005) 31:4, p. 197 - 203
UDK: 628.4.042: 697.432

Originalni naučni rad
Original scientific paper

**REZULTATI ISPITIVANJA KOTLA ZA SAGOREVANJE BIOMASE 250
KW I PREDLOG TEHNIČKO-ORGANIZACIONIH MERA ZA
POVEĆANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI POSTOJEĆIH
KOTLOVSKIH POSTROJENJA**

**TEST RESULTS FOR A 250 KW BIO-MASS ENERGY BOILER AND
SUGGESTED TECHNICAL AND ORGANIZATIONAL MEASURES TO
INCREASE ENERGY EFFICIENCY OF CURRENT BOILER
INSTALATIONS**

Pešenjanski, I, Stepanov, B.*

REZIME

U radu se prikazuju rezultati ispitivanja toplovodnog kotla za sagorevanje balirane slame cerealija koje se uobičajeno primenjuju na poljoprivrednim gazdinstvima PKB. Realizovana je maksimalna toplotna snaga od 232 kW, uz stepen iskorišćenja od 30,9%. Maksimalna iskoristivost od 66,7% je postignuta pri snazi od 210 kW. Koeficijent viška vazduha je pri ispitivanjima oscilovao između vrednosti 1,78 i 8,75, dok se temperatura izlaznih dimnih gasova kretala u granicama od 277 do 464°C.

Kao neophodne mere poboljšanja konstrukcije preporučuje se smanjenje površine rešetke, ugradnja "toplih pojaseva" u ložištu i dogradnja konvektivnih paketa.

Ključne reči: biomasa, kotlovi, energetska efikasnost

SUMMARY

The paper presents test results for a heat duct boiler burning baled cereal straw, which is commonly used on the PKB farming estates. The boiler produced maximal thermal power of 232 kW, with the efficiency rate of 30,9%. Maximal efficiency of 66,7% was reached at 210 kW power. Excess air rate was fluctuating between 1,78 and 8,75, while the temperature of output fume gasses was ranging from 277 to 464°C.

Suggested as necessary measures for design improvement are the reduction of grate area, installation of "hot bands" in the firebox and installation of convective packages.

Key words: biomass, boilers, energy efficiency

* Prof. dr Ivan Pešenjanski, Borivoj Stepanov, dipl.ing, asistent, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6.

UVOD

Usled loše definisane normative u oblasti sagorevanja biomase u našoj zemlji se pretežno koriste jeftina postrojenja male efikasnosti sa velikom emisijom nepotpuno sagorelih (toksičnih) gasova i čvrstih čestica (garež, zapaljene čestice). Pošto za toplovodna postrojenja ne postoji obaveza atestiranja, njihovi deklarirani parametri su po pravilu netačni, primenjuju se materijali bez garancije, a sigurnosna oprema je nedovoljno zastupljena. Zbog ovih karakteristika opsluživanje postrojenja za sagorevanje biomase je u celini otežano, što dodatno skraćuje njihov radni vek.

Da bi se proverila generalno negativna ocena realne prakse kotlova na biomasu u našoj zemlji, koja je izrečena još 1995. godine u (Pešenjanski i sar, 1995), u okviru projekta "Zaokruživanje materijalno energetskog bilansa proizvodnje u Poljoprivrednom kombinatu Beograd" obavljena su ispitivanja slučajno uzetog uzorka kotla u PKB – "Jedinstvo" (Pešenjanski i Štepanov, 2004). U ovom kombinatu, inače egzistira petnaest gazdinstava s identičnim postrojenjima tako da je i u ostalim slučajevima reč o istim karakteristikama.

OPIS POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU TOPLLOTNE ENERGIJE

Ispitivani kotao stacioniran je u okviru toplovodnog postrojenja koje opslužuje grejanje radnih i pomoćnih prostorija gazdinstva "Kovilovo". U kotlarnici se nalaze dva kotla kapaciteta od po 250 kW, koji su priključeni čeličnim dimnjačama na izolovane čelične samostojeće dimnjake. Kotlovi su sa prirodnom promajom. Kotao broj 1. je proizvodnje 1992. godine (domaći proizvođač), a kotao broj 2. je proizvodnje 2003. godine (drugi domaći proizvođač). Kotlovi su identičnih spoljašnjih dimenzija, ali unutrašnja konstrukcija im je različita. Postrojenje je izgrađeno i pušteno u pogon 1992. godine.

Tab. 1. Tehničke karakteristike ispitivanog kotla su sledeće:

Tab. 1. Technical characteristics of the tested boiler are following:

Tip kotla (konstrukcija) Boiler type (construction)	Kutijasti sa ravnim površinama; vodom hlađena rešetka; zagrevne površine čine ložište i cevni konvektivni paket Prismatic with flat sides; water cooled grate; heating surfaces are the firebox and tubular convective package
Toplotni kapacitet Thermal capacity	250 kW
Radni fluid Working fluid	topla voda - hot water 90 (110)°C
Radni pritisak Working pressure	3 bar
Godina proizvodnje Year of production	2003 godina / year
Investitor (korisnik) Investor (user)	PP PKB-"JEDINSTVO",Gazdinstvo "Kovilovo" PP PKB-"JEDINSTVO", "Kovilovo" farming estate

Regulaciju toplotnog opterećenja moguće je obaviti zahvatom na leptirzaklopki na dimnjači, a takođe, i podešavanjem promaje na vratima pepeljare.

Osnovno gorivo je balirana biomasa, prvenstveno slama žitarica (pšenica, soja). Loženje kotlova je ručno.

U programu ispitivanja je bio, takođe, i kotao broj 1. koji je starije proizvodnje, međutim usled kvara na ovom kotlu (curenje) od toga se odustalo.

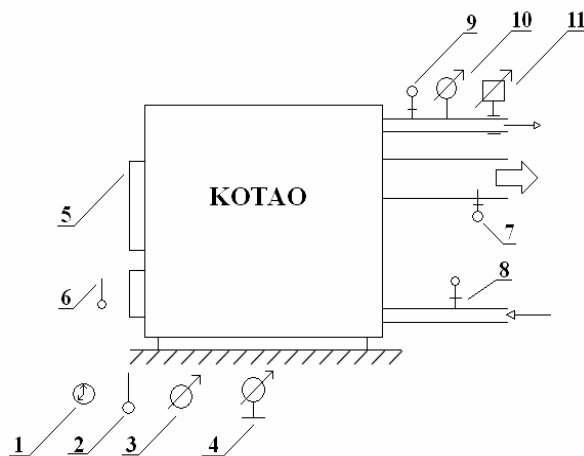
Kotlovi su povezani s akumulatorom tople vode od 15 m³ koji služi da kompenzuje neravnomernost rada kotlova, odnosno da potrošačima omogući ravnomerno grejanje.

METODOLOGIJA ISPITIVANJA

Cilj ispitivanja je utvrđivanje toplotne snage kotla i rezultujuće efikasnosti (stepen korisnosti). Svrha je otkrivanje eventualnih nedostataka konstrukcije i davanje preporuka za njihovo otklanjanje, odnosno poboljšavanje funkcionalnosti uređaja u celini.

Metodologija ispitivanja zasnovana je prvenstveno na [3], odnosno na [4]. Snaga kotla je određivana direktnom metodom (Brkić i Živanović, 1981), to jest, merenjem zapreminskog protoka vode i merenjem temperature vode na ulazu i izlazu kotla tako da se ovaj parametar može smatrati zadovoljavajuće tačno određenim. Stepenn korisnosti je određen indirektnom metodom. Termofizički parametri koji su potrebni za određivanje masenog protoka vode, kao i za ostale termičke obračune preuzimani su iz (Kozjić i Bekavac, 1973).

Šema mernih mesta data je na slici 1. Za merenje je korišćena baždarena oprema Instituta za toplotnu i strujnu tehniku, Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu.



Sl. 1. Šema mernih mesta

Fig. 1. Layout of measuring points

(1.- časovnik, min ; 2.- termometar za spoljni vazduh, °C; 3.- manometar, mbar; 4.- higrometar, %; 5.- potrošnja goriva, kg; 6.- temperatura vazduha u prostoriji, °C; 7.- analizator dimnih gasova, °C,%; 8.- temperatura ulazne vode, °C; 9.-temperatura izlazne vode, °C; 10.- pritisak vode, bar; 11.- protok izlazne vode, m³/h)

(1.- timer, min ; 2.- thermometer for external temperature, °C; 3.- manometer, mbar; 4.- hygrometer, %; 5.- fuel consumption, kg; 6.- room temperature, °C; 7.- fume gas analyzer, °C,%; 8.- intake water temperature, °C; 9.-output water temperature, °C; 10.- water pressure, bar; 11.- throughput of output water, m³/h)

Gorivo za loženje bila je balirana slama koju je pretežno sačinjavala slama pšenice i soje sa primesama korovskog bilja.

Za biomasu je karakteristično da je za sve vrste elementarni sastav sagorljive mase veoma sličan bez obzira na vrstu i poreklo. Iz tog razloga prihvaćen je sastav, koji je predložen u (Gulič i sar, 1983).

Vlaga i pepeo su određeni laboratorijskim postupkom sušenja i sagorevanja po JUS normativu. Uzorci su uzimani iz bala tokom ispitivanja (metod slučajnog uzorka) i pakovani u plastične nepropusne kese. Za izmereni sadržaj vlage i pepela elementarni sastav računskog goriva za kalkulacije toplotnih gubitaka [3] je:

- ugljenik	40,4%
- vodonik	5,0%
- kiseonik	41,0%
- azot	0,5%
- sumpor	0,1%
- pepeo	5,0%
- vlaga	8,0%

Donja toplotna moć za ovaj sastav računskog goriva iznosi: 14300 kJ/kg.

REZULTATI ISPITIVANJA

Ispitivanje je obavljeno 16. marta 2004. godine. Efektivni interval merenja iznosio je u kontinuitetu 70 minuta. Intervali između dva očitavanja iznosili su po 10 minuta usled velikog uticaja varijacija pogonskih uslova, koji su posledica diskontinuiranog sistema loženja. Pre početka ispitivanja kotao je ložen oko 1 čas tako da je ceo sistem bio zagrejan na radnu temperaturu. Zbog nedovoljnog toplotnog konzuma (spoljašnja temperatura je iznosila 19°C) ispitivanje se nije moglo sprovesti u dužem vremenskom intervalu.

Sve očitane vrednosti mernih veličina u toku ispitivanja prikazane su u (Pešenjanski i Stepanov, 2004) gde su, takođe, prikazani i proračuni.

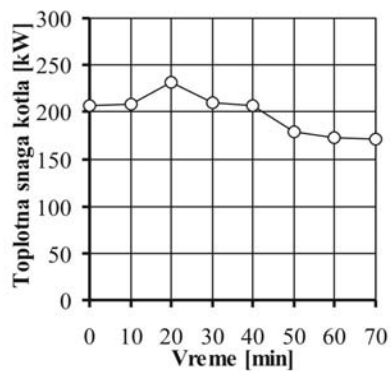
Na slikama 2. do 5. dati su dijagramski prikazi ostvarenih toplotnih, snaga u toku vremena (sl. 2), stepena korisnosti (efikasnost) u funkciji snage (sl. 3), koeficijenta viška vazduha tokom vremena (sl. 4) i temperature zagrejene vode kotla i temperature izlaznih gasova iz kotla u toku vremena (sl. 5).

U celini moguće je istaći sledeća zapažanja:

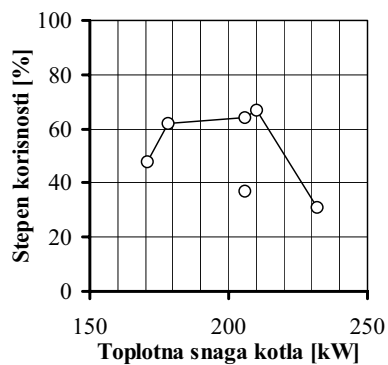
Količina toplote koju je voda efektivno primila u jedinici vremena, što se definiše kao toplotna snaga kotla, varirala je između 171 i 232 kW. Srednja vrednost maksimalnih snaga iznosila je 198 kW. Realizovana efikasnost pri snazi od 232 kW bila je 30,9 %(!), koeficijent viška vazduha je iznosio 3,68, a izlazna temperatura dimnih gasova 464°C.

Maksimalna efikasnost kotla od 66,7% postignuta je pri snazi od 210 kW (30 min), kada je temperatura izlaznih gasova iznosila 325°C, a koeficijent viška vazduha bio je 1,96. U celokupnom intervalu merenja efikasnost kotla se kretala između 30,9 i 66,7%. Razlog tome su u najvećoj meri varijacije viška vazduha u dimnim gasovima.

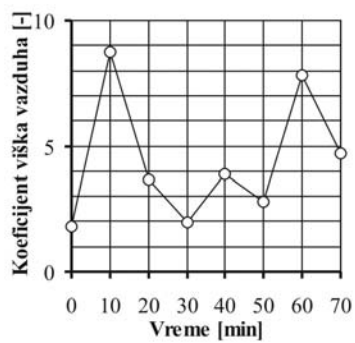
Vrednost viška vazduha se kretala u veoma širokom intervalu od 1,78 do 8,75 (diskontinualni sistem loženja). Ako se isključe dve ekstremne vrednosti (10 min. I 60 min), srednja vrednost preostalih merenja iznosi 3,13, što je očigledno tipično za kotao ove konstrukcije.



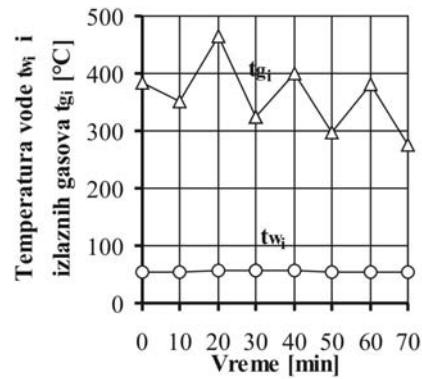
Sl. 2. Promena toplotne snage u toku vremena
 Fig. 2. Variation of thermal power with time



Sl. 3. Realizovani stepeni korisnosti u funkciji snage
 Fig. 3. Reached efficiency rates in relation to power



Sl. 4. Promena koeficijenta viška vazduha u toku vremena
 Fig. 4. Variation of excess air rate with time



Sl. 5. Temperature zagrejjane vode i izlaznih gasova u funkciji vremena

Fig. 5. Variation of temperatures of heated water and output gases with time

Izlazna temperatura dimnih gasova kretala se oko 350°C (tačnije, $359 \pm 56^\circ\text{C}$), što je vrlo visoka vrednost i sa velikim iznosima koeficijenta viška vazduha svedoči o veoma neefikasnom kotlu.

Ugljen-monoksid nije bio znatnije prisutan u toku merenja sastava dimnih gasova (detaljnije, Pešenjanski i Stepanov, 2004), što je posledica dobro vođenog procesa sagorevanja od rukovaoca.

PREPORUKE ZA POVEĆANJE EFIKASNOSTI KOTLA

Generalno posmatrano, izvedeni kotao je proste i robusne konstrukcije, obilno dimenzionisanih protočnih preseka, koji omogućavaju sagorevanje različitih goriva. Za kotlove ovakve koncepcije (ravna rešetka sa ručnim nabacivanjem goriva) literatura (Brkić i Živanović, 1981) daje sledeće preporuke:

- prividno toplotno opterećenje ogleđala sagorevanja (površina rešetke) treba da se projektovati u intervalu 580 - 870 kW/m²,
- prividno toplotno opterećenje zapremine ložišta treba da se projektuje u intervalu 400 - 870 kW/m³.

S obzirom na to da ispitivani kotao poseduje površinu rešetke od ~ 1,9 m² i efektivnu zapreminu ložišta od ~ 2,0 m³ (ako se oduzme zapremina tri ubačene bale) može da se izračunati da ove dimenzije odgovaraju kotlu od 600 – 1.200 kW!.

Nasuprot predimenzionisanom ložištu, veoma visoke temperature izlaznih dimnih gasova uprkos velikim viškovima vazduha svedoče o premaloj površini konvektivnih paketa.

Iz ovoga se može zaključiti da konstruktivne karakteristike ispitivanog kotla (ni blizu) ne odgovaraju zahtevanim i deklarisanim karakteristikama. Ovo je isto tako, jedino logično objašnjenje nestabilnosti promaje i prevelikih oscilacija viška vazduha.

Iz navedenih razloga preporučuje se smanjenje aktivne rešetke i ugradnja "toplih pojaseva" po bočnim zidovima ložišta oko rešetke (šamotna opeka). Ovaj zahvat smanjiće protočne preseke rešetke što će olakšati regulaciju promaje, odnosno, omogućiće preciznije

podešavanje viška vazduha. Za poboljšanje efektivnosti predaje toplote neophodna je dogradnja dopunskih konvektivnih zagrevnih površina.

ZAKLJUČAK

Toplovodni kotao na baliranu biomasu, koji reprezentuje kotlove na gazdinstvima PKB-a ne zadovoljava deklarisanu snagu od 250 kW. Srednja vrednost postignutih toplotnih snaga bila 198 kW.

Maksimalno izmerena efikasnost kotla iznosila je 66,7% pri snazi od 210 kW, izlaznoj temperaturi dimnih gasova od 325°C i koeficijentu viška vazduha 1,96. Ovi parametri su najbolje mogući koje kotao može da pruži u datim okolnostima ispitivanja.

Za smanjenje preširokog dijapazona oscilacija viška vazduha nužno je smanjenje aktivne površine rešetke i poboljšanje sistema za regulaciju dovoda vazduha u ložište. Radi potrebe povećanja efikasnosti konstrukcije, takođe, je potrebno obaviti dogradnju dopunskih konvektivnih zagrevnih površina.

LITERATURA

- [1] Pešenjanski, I. i sar: Ložište za sagorevanje baliranih poljoprivrednih otpadaka, Revija Agronomska saznanja, 3, 1995, s. 41-43
- [2] Pešenjanski, I, Stepanov, B: Izveštaj o ispitivanju toplovodnog kotla na gazdinstvu "Kovilovo" PKB, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2004
- [3] JUS M.E2 203/1980 Kotlovska postrojenja, Termotehnička ispitivanja, Pravilnik br. 31-11074/1 OD 1980-065-25; "Službeni list SFRJ", br.42/80
- [4] DIN 1942 Abnahmeversuche an Dampferzeugern, (VDI-Dampferzeuger-regeln), 1979
- [5] Brkić, Lj, Živanović, T: Termički proračun parnih kotlova. Mašinski fakultet, Beograd, 1981
- [6] Kozić, Đ, Bekavac, V, Vasiljević, B: Priručnik za termodinamiku. Mašinski fakultet, Beograd, 1973
- [7] Gulić, M, Brkić, Lj, Perunović, P: Parni kotlovi. Mašinski fakultet, Beograd, 1983, s. 54

Napomena: Ovaj rad je deo istraživanja na projektu «Zaokruživanje materijalno-energetskog bilansa proizvodnje u Poljoprivrednom kombinatu Beograd» (projekt broj NP EE 722 – 1014B), koji finansira Ministarstvo za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije.

Primljeno: 17.12.2004.

Prihvaćeno: 21. 12.2004.