

# UNAPREĐENJE KONSTRUKCIJE KOMBINOVANOG KOTLA – ŠTEDNJAKA MBS 90KV

Mr Vladimir Jovanović, dipl. inž. maš.,  
prof. dr Milan Radovanović, dipl. inž. maš.,  
dr Dragoslava Stojiljković, dipl. inž. maš.,  
Mašinski fakultet, Beograd, i  
Jovan Blagojević, dipl. inž. maš., i  
Jadranka Vuković, dipl. inž. maš.,  
"Milan Blagojević", Smederevo

*Razvijena je unapređena konstrukcija originalnog kombinovanog štednjaka – kotla MBS 90KV. Konstrukcija je unapređena da bi se zadovoljili zahtevi evropskog propisa o ovoj vrsti proizvoda EN 12815, koji je stupio na snagu marta 2002. godine. Na ranije projektovanoj i izvedenoj ispitnoj instalaciji obavljena su ispitivanja nazivne toplotne snage, vremena postizanja stacionarnog stanja i stepena korisnosti pri pogonu na tri različita goriva: ogrevno drvo, ugalj i briket od ostatka prerade drveta. U radu je izložen deo rezultata dobijenih ovim ispitivanjima.*

**Ključne reči:** peći; kotlovi; ugalj; drvo

## IMPROVING THE COMBINED BOILER-STOVE MBS 90KV CONSTRUCTION

*The improved construction of original combined stove-boiler MBS 90 KV has been developed. The construction is improved in order to live up requests of the European regulation of this kind of products EN 12815, which has went into effect in March 2002. On already designed and performed test installation, the tests of thermal power, time of reaching the steady state and the design of performance during driving by three different fuels: wood, coal and briquette from the wood treatment, have been carried out. The paper deals with a part of the results obtained by this testings.*

**Key words:** stoves; boilers; coal; wood

### Uvod

Preduzeće "Milan Blagojević" a. d. iz Smedereva (MBS) je 2000. godine razvilo novi proizvod, kombinovani kotao-štednjak na švrsto gorivo MBS 90KV. U osnovi ovog uređaja bio je provereni proizvod iz širokog spektra grejnih uređaja ove fabrike, štednjak "rojal 720". Na njemu su izvršene neophodne izmene, kako bi se omogućila prepravka štednjaka u kombinovani kotao-štednjak. Rešetka ložišta je spuštена u odnosu na originalnu konstrukciju i dovod vazduha je izveden samo na jednom mestu (sa zadnje strane štednjaka) kroz otvor koji je zatvoren posebnom klapnom čiji je položaj u toku rada regulisan ter-

mostatom. Pored toga, poboljšano je zaptivanje vrata ložišta i pepeljare. Iste godine su obavljena ispitivanja prototipa koja je obavio Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu – Laboratorija za goriva i sagorevanje (MFB-LGS). Rezultati ispitivanja su pokazali da kombinovani kotao-štednjak ispunjava energetske, ali ne i ekološke zahteve predloga (u to vreme) standarda EN 12815.

Proizvedena je prva, probna serija (100 komada). Imajući u vidu uočene nedostatke, nastavljeno je sa radom na usavršavanju ovog proizvoda. Na poziv MNTR Republike Srbije za prijavu projekata u okviru nacionalnog programa energetske efikasnosti, MFB-LGS i MBS su kao demonstracioni projekat prijavili temu "Razvoj kombinovane peći-kotla na čvrsto gorivo". Tokom 2002. godine obavljen je niz ispitivanja tri različita konstrukciona rešenja dovoda vazduha (primarnog i sekundarnog) u ložište. U ovom radu je prikazan deo rezultata dobijenih tokom realizacije ovog projekta i ispitivanja obavljenih sa ciljem unapređenja konstrukcije kombinovanog kotla-štednjaka MBS 90KV.



Slika 1

### Predmet ispitivanja

U nedostatku domaćih standarda iz ove oblasti, kao merodavan je usvojen evropski standard EN 12815 "Peći na čvrsta goriva", čija je primena počela marta 2002. godine.

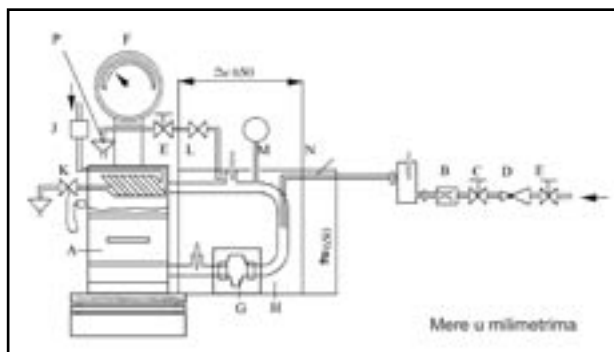
Prema klasifikaciji datoj u ovom standardu, kombinovani kotao-štednjak MBS 90KV (slika 1) pripada grupi peći za grejanje. Pod ovim pojmom u smislu navedenog standarda [1] podrazumeva se "ložni uređaj kojim se može kuvati ili peći na ploči za kuvanje i/ili u pećnici, koji poseduje i vodene konstrukcione delove za zagrevanje vode za grejanje i/ili korišćenje sanitarne vode".

Osnovna ispitivanja prema ovom standardu su ispitivanja energetske (nazivna toplotna snaga, stepen korisnosti) i ekoloških (emisija ugljen-monoksida) karakteristika. U skladu sa namerama proizvođača da uređaj deklarise za

različita čvrsta goriva, ispitivanja su izvršena sa tri vrste čvrstih goriva: opevnim drvetom, ugljem i briketom od drvenih ostataka. Svako od ispitivanja je obavljeno prema postupku i zahtevima propisanim za tu vrstu goriva. U ovom radu prikazani su samo rezultati dobijeni ispitivanjem sa ugljem i to za konačno konstrukciono rešenje dovoda primarnog i sekundarnog vazduha koje je odabrano posle detaljnih ispitivanja različitih varijanti.

## Opis ispitivanja

Kao ispitno gorivo korišćen je ugljal "Banovići", koji po svojim karakteristikama najviše odgovara zahtevima ispitnog goriva u standardu EN 12815. Pre početka neposrednih ispitivanja samog uređaja, obavljeno je ispitivanje odabranog goriva, odnosno izvršena su tehnička i elementarna analiza. Tehnička analiza je obavljena u Laboratoriji za goriva i sagorevanje Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu (LGS-MFB), a elementarna analiza u Institutu za hemiju, tehnologiju i metalurgiju – Centru za hemiju (IHTM-CH). Rezultati tehničke i elementarne analize navedeni su u tabeli 1 [2]. Ispitna instalacija je izvedena u skladu sa zahtevima standarda i prikazana je na slici 2.



Slika 2. Skica ispitne instalacije za ispitivanje nazivne toplotne snage prema EN 12815; A – peć za grejanje, B – zapreminski merač protoka, C – prigušni ventil, D – ventil za smanjenje pritiska, E – zaporni ventil, F – vaga za merenje potrošnje, G – cirkulaciona pumpa, H – čelični orman, izolovan sa 120 mm mineralne vune ili ispunjen komadićima plute, J – sigurnosni uređaj, K – termičko osiguranje isticanja, L – sigurnosni ventil za sisteme pod pritiskom, M – ekspanziona posuda, N – savitljivi spoj, P – odliv.

U skladu sa zahtevima standarda u vezi sa ispitivanjem toplotne snage i orijentacione vrednosti nazivne toplotne snage (20 kW prema podacima proizvođača), usvojena je granična vrednost promaje u mernoj stazi od 10 Pa.

U potpunosti su ispoštovani opšti uslovi pri ispitivanju nazivne toplotne snage, tj. ispitivanje je izvršeno u dva dela. Prvo je obavljeno paljenje i predispitivanje do postizanja stacionarnog stanja, a zatim ispitivanje. Pod stacionarnim stanjem u smislu navedenog standarda podrazumeva se "pogonsko stanje u kome se merene vrednosti, utvrđene redosledom i u istim vremenskim razmacima, više bitno ne menjaju".

Standardom je predviđeno da se u slučaju da je proizvođač predvideo dva položaja rešetke za gorivo, obave posebna ispitivanja za svaki od položaja rešetke (gornji i donji, tj. letnji i zimski režim rada). S obzirom da je prvenstveni cilj ispitivanja bilo utvrđivanje radnih karakter-

istika kombinovanog štednjaka–kotla u režimu zagrevanja vode za sistem centralnog grejanja, obavljeno je samo ispitivanje sa donjim položajem rešetke. Ovaj položaj rešetke omogućava veće "punjenje" ložišta, čime se obezbeđuje kontinualan rad u standardom zahtevanom periodu bez ponovnog punjenja (dodavanja goriva).

Paljenje je izvršeno hartijom i cepkama od drveta. Posle paljenja cepki drveta dodata je određena količina cepanica od drveta kako bi se obrazovao osnovni žar koji omogućava paljenja goriva za predispitivanje. Masa uglja koja je korišćena za ispitivanje izračunata je iz obrasca:

$$B_n = 360000 \cdot P_n \cdot t_b / (H_d \cdot \eta),$$

$B_n$  – zadata masa goriva u kg,

$H_d$  – donja toplotna moć ispitnog goriva sa pepelom i vlagom u kJ/kg,

$\eta$  – minimalni stepen korisnosti prema ovom propisu za ložne uređaje ili veća vrednost, data od proizvođača u %,

$P_n$  – nazivna toplotna snaga u kW,

$t_b$  – vreme sagorevanja u h.

Za minimalnu vrednost stepena korisnosti prema ovom propisu (za peći klase 1 je 75%), nazivnu toplotnu snagu deklarisanu od strane proizvođača (20 kW), vreme sagorevanja prema zahtevu ovog standarda (1 h – trajanje predispitivanja) i donju toplotnu moć ispitnog goriva sa pepelom i vlagom (19 724 kJ/kg – tabela 1), dobijena je vrednost zadate mase goriva od 4,9 kg. Predispitivanje je ponavljano dva puta kako bi se zadovoljio zahtev standarda po kriterijumu tačnosti merenja osnovnog žara i postizanja stacionarnog stanja.

Količina uglja korišćena za izvođenje ispitivanja je prema orijentacionoj vrednosti potrošnje goriva i zahtevanoj vrednosti trajanja ispitivanja (3 sata) iznosila je 11 kg.

Tokom ispitivanja vršeno je merenje sledećih veličina:

$m_{LU}$  – masa ložnog uređaja pre ispitivanja,

$m_I$  – izmerena masa goriva za ispitivanje,

$m_{ZI}$  – masa osnovnog žara posle ispitivanja,

$m_{AI}$  – masa pepela i nesagorelog sa rešetke posle ispitivanja,

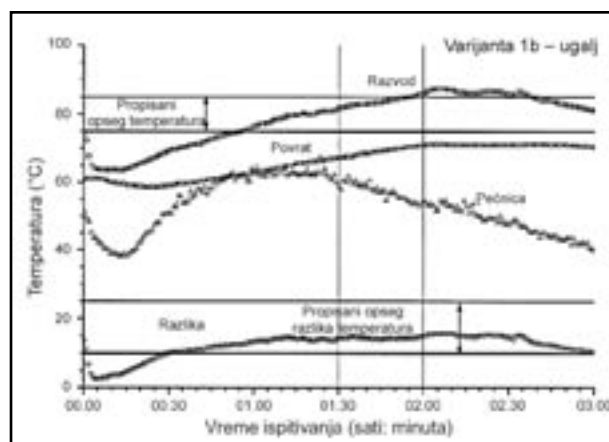
$t_p$  – temperatura prostorije,

$t_{RV}$  – temperatura razvodne vode,

$t_{PV}$  – temperatura povratne vode,

$t_{PE}$  – temperatura pećnice,

$t_{SP}$  – temperatura spremnika,



Slika 3. Promena karakterističnih temperatura tokom ispitivanja

$t_R$  – temperatura ručica,  
 $\Delta p$  – promaja,  
 $t_{dg}$  – temperatura dimnih gasova,  
 $O_2$  – sadržaj kiseonika u dimnim gasovima,  
 $CO$  – sadržaj ugljen-monoksida u dimnim gasovima,  
 $NO$  – sadržaj azot-monoksida u dimnim gasovima,  
 $SO_2$  – sadržaj sumpor-dioksida u dimnim gasovima.

Merenje mase ložnog uređaja i goriva tokom procesa sagorevanja, temperatura razvodne i povratne vode, pećnice i spremnika vršena su na svakih 5 min. Merenje temperature i sastava produkata sagorevanja ( $O_2$ ,  $CO$ ,  $SO_2$ ,  $NO$ ) vršeno je sa gasnim analizatorom testo 33 proizvodnje "Testotherm" GnbH, Nemačka, u vremenskim intervalima od 10 s.

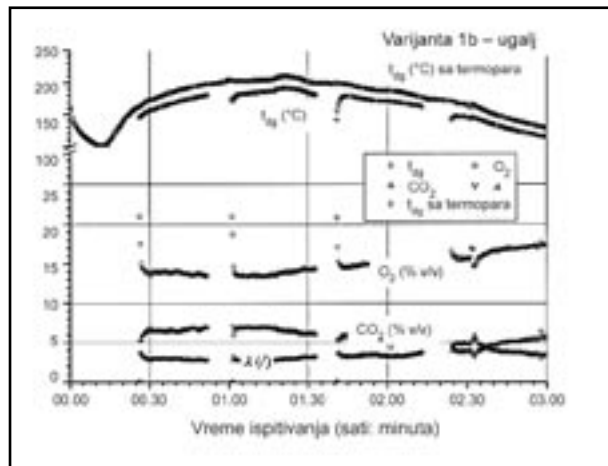
**Tabela 1. Podaci o tehničkoj i elementarnoj analizi za različite mase uglja "banovići"**

	Radna masa	Anali- tička masa	Apsolu- tno suva masa	Čista goriva masa	Metoda ispitivanja
<b>TEHNIČKA ANALIZA</b>					
Ukupna vlaga $W$ (%)	12,42	9,89	–	–	JUS B.H8.335
Gruba vlaga $W_G$ (%)	2,81	–	–	–	JUS B.H0.021
Higroskopska vlaga $W_H$ (%)	9,61	9,89	–	–	JUS B.H8.311
Sagorljivo (%)	78,05	80,31	89,12	100,00	
Pepeo $A$ (%)	9,52	9,80	10,88	–	JUS B.H8.312
Volatili $V_g$ (%)	38,93	40,06	44,46	49,88	
Koksni ostatak $K$ (%)	48,64	50,05	55,54	50,12	JUS B.H8.317
Fiksni ugljenik $C_{fix}$ (%)	39,12	40,25	44,67	50,12	
<b>TOPLOTNA MOĆ</b>					
Gornja toplotna moć $H_g$ (kJ/kg)	21143	21754	24142	27088	JUS B.H8.318
Donja toplotna moć $H_d$ (kJ/kg)	19274	20367	22926	25723	
<b>ELEMENTARNA ANALIZA</b>					
Ugljenik $C$ (%)	56,47	58,10	64,48	72,35	
Vodonik $H$ (%)	4,73	4,87	5,40	6,06	
Azot $N$ (%)	1,35	1,39	1,54	1,73	
Sumpor $S$ (%)	1,40	1,44	1,60	1,80	
Kiseonik $O$ (%) iz razlike	14,10	14,51	16,10	18,06	

## Rezultati ispitivanja

Rezultati ispitivanja ispitnog goriva (tehnička i elementarna analiza) prikazani su u tabeli 1, a rezultati merenja tokom ispitivanja prikazani su na slikama 3, 4 i 5. Na slici 3 je prikazana promena temperature vode za centralno grejanje u razvodnom i povratnom vodu kao i njihova razlika (radi kontrole ispunjenosti zahteva standarda), a pored njih i temperature u pećnici. Temperature u pećnici su relativno niske, jer su vrata pećnice tokom ispitivanja bila otvorena, kako bi se obezbedilo maksimalno odavanje toplote.

Na slici 4 je prikazana promena karakterističnih veličina produkata sagorevanja: temperatura dimnog gasa ( $t_{dg}$ ), sadržaj kiseonika ( $O_2$ ), sadržaj ugljen-dioksida ( $CO_2$ ) i koeficijent viška vazduha tokom ispitivanja.



**Slika 4. Promena ključnih karakteristika produkata sagorevanja tokom ispitivanja**

Na slici 5 je prikazana promena veličina bitnih za ispunjavanje ekoloških zahteva standarda: sadržaj kiseonika ( $O_2$ ), sadržaja ugljen-monoksida ( $CO$ ) i koeficijenta viška vazduha.

Prema standardu EN 12815 izračunavanje toplotne snage je definisano sledećim izrazom:

$$P = (\eta \cdot B \cdot H_u) / (100 \cdot 3600), \quad \text{kW} \quad (1)$$

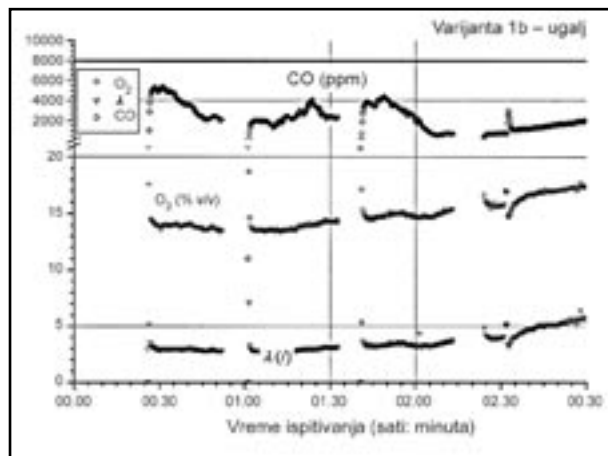
gde su:

$\eta$  – stepen korisnosti (%),

$B$  – časovna potrošnja goriva (kg/h),

$H_u$  – donja toplotna moć ispitnog goriva (kJ/kg).

Stepen korisnosti je određen tokom ispitivanja i iznosi 80,32% (što zadovoljava zahtev standarda da on bude najmanje 75% za klasu 1). Časovna potrošnja goriva je izračunata kao ukupna promena mase peći tokom perioda ispitivanja, tj. razlika masa peći sa gorivom na početku i kraju perioda ispitivanja podeljena sa vremenom trajanja ispitivanja. Dobijena je vrednost časovne potrošnje goriva od 3,7 kg/h. Smenom ove i ranije navedenih vrednosti (toplotne moći goriva i stepena korisnosti) u izrazu (1), dobija se nazivna toplotna snaga peći od 16,1 kW.



**Slika 5. Promena sadržaja ugljen-monoksida i sadržaja kiseonika u produktima sagorevanja tokom ispitivanja i koeficijenta viška vazduha.**

Nazivna toplotna snaga predata vodi je određena na osnovu opšteg izraza za količinu toplote predatau vodi u jedinici vremena:

$$P_w = m_w \cdot \Delta t \cdot c_{pw}, \text{ kW}, \quad (2)$$

gde su:

$m_w$  – maseni protok vode (kg/s),

$\Delta t$  – srednja razlika temperatura vode razvoda i povrata (K),

$c_{pw}$  – srednji specifični toplotni kapacitet vode za srednju temperaturu vode u razvodu i povratku tokom ispitivanja (kJ/kgK).

Smenom ovih vrednosti (maseni protok vode je bio konstantan tokom ispitivanja i to 0,113 kg/s, a srednja razlika temperatura vode razvoda i povrata je bila 12,4 K) u izrazu (2), dobija se vrednost toplotne snage predate vodi od 5,9 kW.

Nazivna toplotna snaga okoline izračunata je indirektno kao razlika nazivne toplotne snage definisane izrazom (1) i nazivne toplotne snage definisane izrazom (2).

Dobijena je vrednost nazivne toplotne snage okoline od 10,2 kW.

Emisija ugljen-monoksida je izračunata kao srednja vrednost rezultata merenja tokom celog perioda ispitivanja, preračunata na referentnu vrednost sadržaja kiseonika u dimnom gasu propisanu standardom (13% v/v). Na ovaj način dobijena je vrednost emisije ugljen-monoksida od 0,31% v/v, što ovaj uređaj svrstava u klasu 2 (granične vrednosti su od 0,3 do 0,8% v/v).

## Zaključci

Nazivna toplotna snaga i stepen korisnosti izgrađenog prototipa kombinovanog štednjaka–kotla su ispitani prema zahtevima evropskog propisa za ovu kategoriju ložnih uređaja EN 12815. Ispitivanja je obavila Laboratorija za goriva i sagorevanje Mašinskog fakulteta u Beogradu.

Na osnovu obavljenih ispitivanja kombinovanog štednjaka–kotla MBS 90KV i ostvarenih rezultata, može se zaključiti da je kombinovani štednjak–kotao dobro koncipiran i da može istovremeno da zadovolji funkcije zagrevanja prostorije i vode za sistem centralnog grejanja. Pored toga, ova unapređena konstrukcija je u potpunosti zadovoljila i ekološke zahteve standarda EN 12815 u pogledu emisije ugljen-monoksida pri pogonu na ugalj. Planirana su dalja ispitivanja u pogledu provere funkcije kuvanja i pečenja.

## Literatura

- [1] \*\*\* EN 12815:2001 Residential cookers fired by solid fuel – Requirements and test methods, European Comitee for Standardization (CEN), 2001.
- [2] **Stojiljković, D., B. Jovanović, M. Radovanović, N. Minić, I. Radulović**, *Ispitivanja ložnog uređaja MBS 90KV*, izveštaj 12-54-12.01/2002, Mašinski fakultet Beograd, Beograd, 2002.
- [3] **Radovanović, M., V. Jovanović, D. Stojiljković, S. Perišić, B. Cvetković, Lj. Mitić**, *Razvoj kombinovanog kotla–štednjaka MBS 90KV*, Procesna tehnika (18), broj 1/2002, str. 146–149.

PROCESNA  
TEHNIKA