

EMISIJE ŠTETNIH MATERIJAMA IZ MALIH POSTROJENJA ZA SAGOREVANJE BIOMASE

EMISSIONS OF AIR POLLUTIONS FROM SMALL COMBUSTION INSTALLATIONS FIRED BY SOLID FUEL (BIOMASS)

Dejan Radić¹, Aleksandar Jovović¹, Miroslav Stanojević¹,
Marko Obradović¹, Dušan Todorović¹

¹ *Mašinski fakultet Beograd, ul. Kraljice Marije 16, 11120 Beograd 35*

E-mail: dradic@mas.bg.ac.rs

Usled visoke cene fosilnih goriva, prevashodno nafte i prirodnog gasa, čak i u visokorazvijenim zemljama zapadne Evrope i SAD, prisutan je trend porasta primene čvrstih goriva za zagrevanje individualnih stambenih objekata i druge namene. Jedno od najisplativijih čvrstih goriva svakako je biomasa. Broj ovakvih ložišta je toliko porastao da ona predstavljaju značajan izvor emisije štetnih materija u vazduh. Pored zahteva u pogledu energetske efikasnosti malih postrojenja za sagorevanje čvrstih goriva, u primeni su propisi i standardi koji ograničavaju emisiju štetnih materija u vazduh. U ovom radu su prikazani rezultati merenja emisije štetnih materija na uređaju za sagorevanje biomase (komadnog drveta). Cilj rada je da se ukaže na bitne zagađujuće komponente iz ovakvih postrojenja. Isto tako, analizom rezultata merenja na uzorku uređaja domaćeg proizvođača peći i kotlova za domaćinstva, prikazano je kako se parametri emisije menjaju kroz cikluse loženja, odnosno od trenutka ulaganja goriva u ložište do trenutka kada gorivo potpuno sagori, odnosno kada ulaganjem nove količine goriva započinje naredni ciklus sagorevanja. Izvedeni zaključci ukazuju na koji način se dobijeni rezultati merenja mogu iskoristiti za projektovanje uređaja za grejanje u domaćinstvima.

Ključne reči: biomasa, emisija, mala postrojenja za sagorevanje, peći, kotlovi, štednjaci

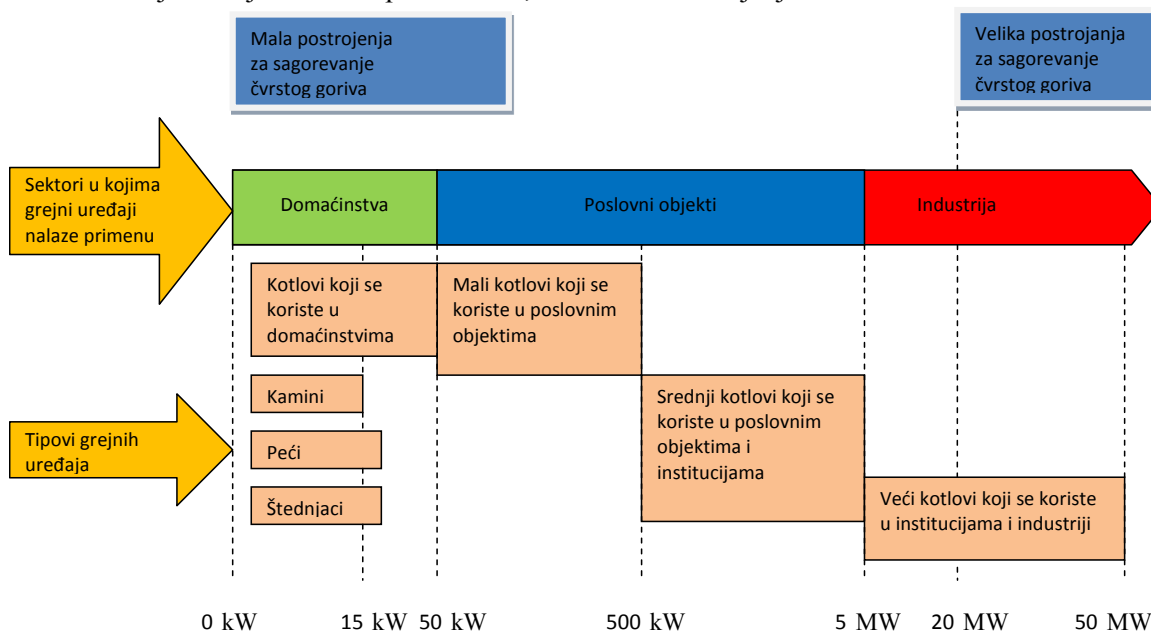
Due to the high cost of fossil fuels, primarily oil and natural gas, even in the developed countries of Western Europe and the United States, a growing trend in the utilization of solid fuels for residential heating and other purposes is present. One of the most cost-effective solid fuel is certainly biomass. The number of these appliances has increased so much that they are a significant source of pollutants into the air. In addition to the requirements in terms of energy efficiency of small combustion installations burning solid fuel there are regulations and standards that limit emissions of pollutants into the air. This paper presents the results of measurements of emissions from roomheaters fired by biomass (wood logs). The aim of this paper is to point out the pollutants from these plants. Also, analysis of the results of measurements on a sample unit of domestic producer of household roomheaters and boilers, showed how the emission parameters change through combustion cycles, i.e. from the moment of loading wood logs into the appliance to the point where the fuel burns completely, or when the new loading of fuel begins the next combustion cycle. Conclusions indicate the way in which the results of measurements can be used to design roomheaters.

Key words: biomass, emission, small combustion installations, stoves, household boilers, cookers

I. UVOD

Na slici 1 prikazana je uobičajena podela energetskih postrojenja prema njihovoj veličini, kapacitetu i nameni. Predmet ovog rada su mala postrojenja za sagorevanje biomase koja se koriste u stambenim objektima (domaćinstvima) i to: peći, kotlovi, štednjaci i kamini. Da bi se ovi uređaji prodavali na evropskom tržištu potrebno je da poseduju C znak. To između ostalog znači da proizvod mora biti detaljno ispitan i sertifikovan. U sistemu evropske standardizacije postoji niz standarda koji definišu zahtevane karakteristike uređaja. Neki od ključnih dokumenata kojima se definišu, između ostalog, stepen efikasnosti ovih uređaja i

metode ispitivanja su opisani u standardima [1-8]. Ovi standardi su usvojeni u našem sistemu standardizacije kao SRPS standardi, ekvivalentni odgovarajućim EN normama. Međutim, ovi standardi ne daju dovoljno podataka o dozvoljenim emisijama. Drugim rečima, prepušteno je državama da samostalno uređuju propise u pogledu graničnih vrednosti emisije iz peći i kotlova za domaćinstva. Razvijene zemlje Evrope i SAD su propisale granične vrednosti emisije štetnih materija u vazduh, a dokazivanje ovih parametara predstavlja dodatne zahteve koje moraju dokazati proizvođači, ukoliko teže dobijanju C znaka.



Slika 1. Oblast primene i kapaciteti postrojenja za sagorevanje čvrstog goriva

Mala postrojenja za sagorevanje čvrstog goriva u domaćinstvima se mogu klasifikovati kao [9]:

1. uređaji koji služe za direktno grejanje (kamini i peći) – većina ovih uređaja je toplotne snage do 20 kW,
2. uređaji koji služe za indirektno grejanje (kotlovi) – većina ovih uređaja je toplotne snage do 50 kW,
3. uređaji za kuvanje (štednjaci),
4. kombinovani uređaji, koji se istovremeno koriste za direktno ili indirektno zagrevanje i kao štednjaci.

U našoj zemlji trenutno važećom Uredbom o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vazduh (Službeni glasnik RS broj 71/2010) [10] za mala postrojenja za sagorevanje čvrstih goriva propisane su granične vrednosti dimnog broja (≤ 1), ugljen-monoksida (samo za postrojenja snage od 50 kW do 1 MW) i oksida azota (samo za postrojenja snage 100 kW do 1 MW). Osim toga, dodatno su za mala postrojenja za sagorevanje čvrstog goriva propisani dozvoljeni gubici toplote u dimnim gasovima (za postrojenja toplotne snage 8-25 kW dozvoljeni gubitak toplote u dimnim gasovima iznosi 19%, za postrojenja toplotne snage 25-50 kW 18%, za postrojenja toplotne snage 50 kW-1 MW 12%). Analizom ovih vrednosti, prema snazi postrojenja, može se zaključiti da je za kotlove i peći u domaćinstvima Uredbom [10] propisana samo granična vrednost toplotnih gubitaka u dimnim gasovima i dimni broj.

U zemljama zapadne Evrope, pored EN standarda koji uglavnom definišu dozvoljeni sadržaj ugljen-monoksida u dimnim gasovima, u primeni su i posebni propisi kojima se definišu granične vrednosti emisije zagađujućih materija u dimnim gasovima iz različitih tipova malih postrojenja za sagorevanje čvrstog goriva, uključujući i biomasu. Ovom regulativom se propisuju granične vrednosti emisije praškastih materija i ugljen-monoksida po pravilu, a u nekim slučajevima i drugih zagađujućih materija poput oksida azota, ukupnog organskog ugljenika i sl. [9]. U tabelama 1, 2 i 3 su kao primeri navedene važeće granične vrednosti emisije za mala postrojenja za sagorevanje čvrstih goriva u Austriji, Nemačkoj i Danskoj.

Tabela 1. Granične vrednosti emisije za uređaje izlazne toplotne snage manje od 50 kW prema propisima u Austriji [9]

Uređaj i tipovi goriva		GVE (mg/MJ) ¹			
		CO	NO _x	TOC	Prašina
Uređaj sa ručnim doziranjem goriva	Čvrsta biogoriva	1100	150 ²	80	60
	Čvrsta fosilna goriva	1100	100	80	60
Uređaj sa automatskim doziranjem goriva	Čvrsta biogoriva	500 ³	150 ²	40	60
	Čvrsta fosilna goriva	500	100	40	40

¹ odnosi se na donju toplotnu moć korišćenog goriva
² ove vrednosti se odnose samo na kotlove na drva
³ pri delimičnom doziranju sa 30% nominalne izlazne toplote, ove granice mogu da budu prekoračene i do 50%

Tabela 2. Granične vrednosti emisije u Nemačkoj za uređaje za grejanje stambenih prostorija

Tip uređaja	Standard	Korak 1 : Postrojenja prav- ljenja nakon stupa- nja na snagu 1. BlmSchV [11]		Korak 2 : Postrojenja pravlje- nja nakon 31.12.2014. (na cepanice, posle 31.12.2016)		Postrojenja pravljenja nakon stupanja na snagu 1. BlmSchV
		CO (g/m ³)	Prašina (g/m ³)	CO (g/m ³)	Prašina (g/m ³)	Stepen koris- nosti (%)
Peći za grejanje prostorija (periodičnog dejstva)	EN 13240	2,0	0,075	1,25	0,04	73
Peći za grejanje prostorija (kontinualnog dejstva)	EN 13240	2,5	0,075	1,25	0,04	70

Tabela 2.

- nastavak -

Tip uređaja	Standard	Korak 1 : Postrojenja prav- ljenja nakon stupa- nja na snagu 1. BlmSchV [11]		Korak 2 : Postrojenja pravlje- nja nakon 31.12.2014. (na cepanice, posle 31.12.2016)		Postrojenja pravljenja nakon stupanja na snagu 1. BlmSchV
		CO (g/m ³)	Prašina (g/m ³)	CO (g/m ³)	Prašina (g/m ³)	Stepen koris- nosti (%)
Uređaji sa aku-mulacijom toplote	EN 15250/A1	2,0	0,075	1,25	0,04	75
Zatvoreni kamini za ugradnju	EN 13229	2,0	0,075	1,25	0,04	75
Kamini sa akumulacijom toplote (periodičnog dejstva)	EN 13229/A1	2,0	0,075	1,25	0,04	80
Kamini sa akumulacijom toplote (kontinualnog dejstva)	EN 13229/A1	2,5	0,075	1,25	0,04	80
Štednjaci	EN 12815	3,0	0,075	1,50	0,04	70
Štednjaci (sa funkcijom grejanja prostorija)	EN 12815	3,5	0,075	1,50	0,04	75
Peći na pelet	EN 14785	0,40	0,05	0,25	0,03	85
Peći na pelet sa kotlom	EN 14785	0,40	0,03	0,25	0,02	90

Tabela 3: Granične vrednosti emisije za kotlove za centralno grejanje prema propisima u Danskoj [9]

Način loženja	Tip goriva	Nominalna izlazna toplotna snaga (kW)	GVE Pri 10% O ₂ , 0 °C i 1013 mbar (mg/m ³ suvih dimnih gasova)		
			CO	TOC	Prašina
Ručni	Biomasa ¹	< 50	5000	150	150
		> 50 – 150	2500	100	150
		> 150 – 300	1200	100	150
	Fosilno gorivo	< 50	5000	150	125
		> 50 – 150	2500	100	125
		> 150 – 300	1200	100	125
Automatski	Biomasa ¹	< 50	3000	100	150
		> 50 – 150	2500	80	150
		> 150 – 300	1200	80	150
	Fosilno gorivo	< 50	3000	100	125
		> 50 – 150	2500	80	125
		> 150 – 300	1200	80	125

¹ drvo, koštice biljaka i slični otpadni materijali

Pored navedenih graničnih vrednosti emisije zagađujućih materija, posebnim propisima i planovima za smanjenje emisije iz malih postrojenja za sagorevanje čvrstog goriva pojedine države su postavile kriterijume za dobijanje dodatnih sertifikata. U Austriji je na primer u primeni plan pod nazivom Umweltzeichen 37 koji je austrijska vlada bazirala na postojećim austrijskim standardima ali sa strožijim vrednostima emisije zagađujućih materija (tabela 4 i 5). U Nemačkoj se za dobijanje sertifikata DIN plus takođe postavljaju strožije granice u cilju smanjenja zagađenja (tabela 6).

Tabela 4. Zahtevi koji se tiču uređaja sa automatskim doziranjem prema Umweltzeichen 37 (Austrija) [9]

Uređaj	Tip goriva	GVE (mg/MJ)			
		CO		NO _x	Prašina
		pri nominalnom opterećenju	pri opterećenju manjem od nominalnog		
Kotao	Pelet	60	135	100	15
	Drvenasta sečka	150	300	120	20
Peć	Pelet	120		100	30
	Drvenasta sečka		255		

Tabela 5. Zahtevi koji se tiču uređaja sa ručnim doziranjem prema Umweltzeichen 37 (Austrija) [9]

Uređaj	GVE (mg/MJ)			
	CO		NO _x	Prašina
	pri nominalnom opterećenju	pri opterećenju manjem od nominalnog		
Kotao	250	750	120	30
Peć	700	–	120	30

Tabela 6. Zahtevi u pogledu graničnih vrednosti emisije iz malih postrojenja za sagorevanje čvrstog goriva prema sertifikatu DIN plus [9]

GVE (mg/m ³)			
CO	NO _x	C _n H _m	Prašina
1500 (0,12% pri 13% O ₂)	200	120	75

II. OPIS PRIMENJENE METODE MERENJA EMISIJE ZAGAĐUJUĆIH MATERIJA IZ MALIH POSTROJENJA ZA SAGOREVANJE BIOMASE

Da bi peći, kamini i štednjaci na čvrsto gorivo, uključujući i biomasu, mogli biti prodavani na evropskom tržištu paralelno sa ispitivanjima koja se sprovode prema SRPS EN 13240:2011 (Uređaji za grejanje prostora na čvrsta goriva – Zahtevi i postupci ispitivanja), SRPS EN 13229:2011 (Kamini za ugradnju i otvoreni kamini na čvrsta goriva – Zahtevi i postupci ispitivanja) i SRPS EN 12815:2012 (Štednjaci na čvrsta goriva za domaćinstva – Zahtevi i postupci ispitivanja) rade se i merenja koncentracije čvrstih čestica u dimnim kanalima. U Laboratoriji za procesnu tehniku, energetska efikasnost i zaštitu životne sredine Mašinskog fakulteta u Beogradu su rađena merenja emisije štetnih gasovitih i praškastih materija na više tipova peći, kamina i štednjaka domaćeg proizvođača. Ova merenja su bila deo ispitivanja koja je proizvođač sprovodio u cilju sertifikacije proizvoda, što je okončano dobijanjem C znaka za predmetne proizvode i njihovim stavljanjem na tržište Evrope i SAD.

Šema eksperimentalne instalacije je data na slici 2, sa prikazom svih merenja koja su rađena, mernim mestima i mernom opremom koja je korišćena. Položaj mernih mesta je u svemu bio u skladu sa zahtevima referentnih standarda koji definišu metode ispitivanja proizvoda. Merna oprema za merenje emisije je u skladu sa referentnim metodama. Za merenje sadržaja kiseonika u dimnim gasovima je korišćena paramagnetna metoda, za merenje sadržaja azotnih oksida hemiluminiscentna metoda, za merenja sadržaja CO, CO₂ i SO₂ nedisperzivna infracrvena spektrometrija. Merenja sadržaja praškastih materija su rađena mernim sistemom za uzorkovanje i merenje manuelnom gravimetrijskom metodom prema standardu SRPS ISO 9096, koja je takođe referentna metoda.

Međutim, pri uzorkovanju gasova i čestica, obzirom na vrstu uređaja koji je ispitivan, odstupilo se od standardne metode. Prema preporukama Evropske komisije [9] za ispitivanje peći na čvrsto gorivo, nazivne snage od 6 do 15 kW, potrebno je odstupiti od standardne metode ispitivanja u tom smislu što pomenuti dokument precizno definiše vreme uzorkovanja i količinu gasova koju je potrebno uzorkovati (270±13,5 l gasa tokom 30 minuta ispitivanja). Procedura uzorkovanja pri merenju emisije je na ovaj način definisana kako merenjem ne bi bili obuhvaćeni nestacionarni radni režimi, odnosno periodi rada peći na čvrsto gorivo kada se otvaraju vrata peći radi loženja, zatim neposredno nakon ulaganja goriva u radni prostor peći i period neposredno pre loženja, kada se u ložištu nalaza mala količina nesagorelog goriva, odnosno veliki višak vazduha. U ovim prelaznim režimima uslovi rada su takvi da ne postoji normalno sagorevanje što se svakako odražava na visok nivo emisije štetnih gasova, prevashodno ugljen-monoksida. Isto tako, tokom ručnog loženja u zavisnosti od načina na koji operater to radi, moguće je da dođe do povećane emisije čvrstih čestica, zbog uznošenja pepela od sagorelog goriva pri ulaganju novih komada drvenaste biomase u ložišni prostor. Prelazni režimi su, prema tome, problematični sa stanovišta emisije u dimnim gasovima i preporukama Evropske komisije [9] oni su praktično odbačeni pri merenju emisije iz peći, kamina i štednjaka na čvrsto gorivo.

Tokom ispitivanja peći na čvrsto gorivo vuča iz postrojenja se definiše preko podpritiska u ložištu. U toku ispitivanja podpritisk u ložištu, prema zahtevima standarda, mora iznositi 12±2 Pa.

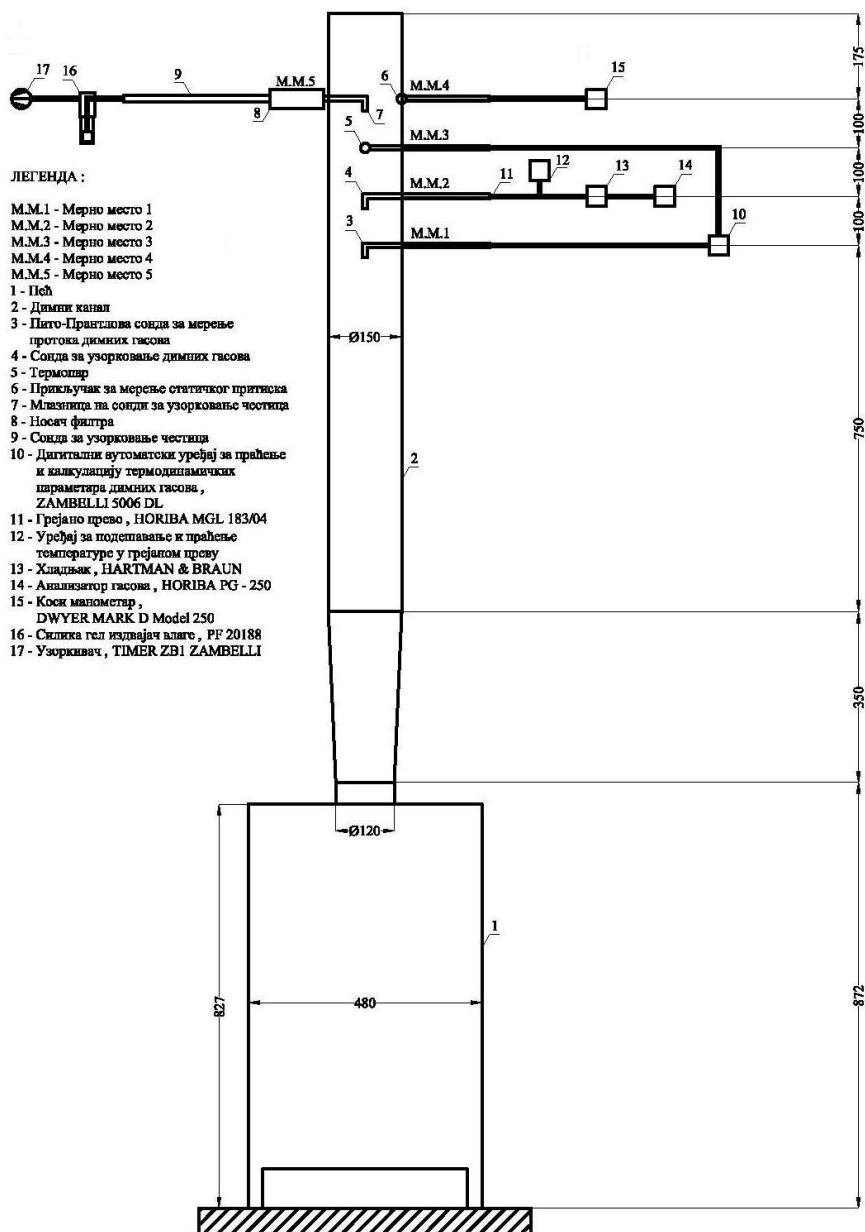
Pozicija za merenje čvrstih čestica treba da je iznad pozicija za merenje ugljen-monoksida, ugljen-dioksida, azotnih oksida i organskih gasovitih jedinjenja.

Tokom merenja emisije ispitivani uređaj je postavljen u ozidanu komoru, kako je prikazano na slici 3. Kao gorivo korišćeno je komadno drvo (cepanice).

III. PRIKAZ PERIODA RADA PEĆI NA ČVRSTO GORIVO SA STANOVIŠTA MERENJA EMISIJE

U Laboratoriji za procesnu tehniku, energetska efikasnost i zaštitu životne sredine Mašinskog fakulteta u Beogradu urađena su merenja emisije na više tipova i modela peći, kotlova, kamina i štednjaka na čvrsto gorivo. Stanje emisije svakako da bitno zavisi od uspešnosti konstrukcije postrojenja, načina podešavanja količine goriva i vazduha i vrste goriva. Cilj ovog rada nije bio da oceni da li rezultati merenja emisije na ispitivanim uzorcima zadovoljavaju ili ne propisane norme već da ukaže na trendove, odnosno kako se dobijeni rezultati ispitivanja mogu iskoristiti u cilju projektovanja ovih uređaja i vođenja procesa u njima.

Na slici 4 su prikazani rezultati merenja emisije koji su ocenjeni kao reprezentativni na jednom uzorku, odnosno jednom tipu ispitivanog uređaja. Srednje vrednosti izmerenih veličina emisije gasova i čestica na više ispitivanih uzoraka peći, kamina i štednjaka su prikazane u tabeli 7.



Slika 2. Šema eksperimentalne instalacije i mernih mesta



Slika 3. Peć na drva tokom ispitivanja

Predmet ispitivanja za koje su prikazani rezultati merenja emisije je peć na čvrsto gorivo (cepanice od drveta) koja se koristi za grejanje u domaćinstvima, nominalne snage 12,5 kW. Referentni standard koji definiše zahteve u pogledu konstrukcija i parametara rada peći je SRPS EN 13240.

Za ocenu rezultata merenja emisije korišćen je nemački propis 1. Verordnung zum bundesimmissionschutzgesetz – Verordnung uber kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. BlmSchV), po kome granična vrednost emisije za čvrste čestice iznosi 75 mg/m³ (pri 101,325 kPa, 0 °C i referentnom zapreminskom udelu kiseonika u dimnim gasovima od 13%) i 2000 mg/m³ (pri 101,325 kPa, 0 °C i referentnom zapreminskom udelu kiseonika u dimnim gasovima od 13%) za ugljen-monoksid. Međutim, prema podacima iz tabele 2 posle 31.12.2016. godine se očekuje smanjenje graničnih vrednosti emisije na 40 mg/m³ kada je u pitanju emisija čvrstih čestica i 1250 mg/m³ kada je u pitanju emisija ugljen-monoksida.

Tabela 7. Srednje vrednosti izmerene emisije gasova i čestica

Naziv veličine	Jedinica	Režim ispitivanja (kg goriva)					
		a)	b)	c)	d)	e)	f)
Količina goriva u ložištu (po šarži)	kg	2,794	2,492	2,456	1,970	2,023	2,251
Zapreminski udeo CO ₂ u dim. gasovima	%	11,1	10,94	12,8	10,7	13,0	13,57
Zapreminski udeo O ₂ u dim. gasovima	%	9,3	9,53	7,4	9,6	6,98	6,28
Masena koncentracija CO u dim. gasovima ¹⁾	mg/m ³	1401,2	625,1	902,5	374,6	1175,9	1521,4
Masena koncentracija NO _x u dim. gasovima ¹⁾	mg/m ³	69,3	80,4	72,5	85,8	67,1	66,2
Masena koncentracija praškastih materija ¹⁾	mg/m ³	–	67,4	52,0	–	66,2	62,8

¹⁾ pri referentnim uslovima (101,325 kPa, 0 °C i 13% O₂)

Na osnovu prikazanih rezultata merenja emisije može se zaključiti da je predmetni uređaj – peć na čvrsto gorivo (cepanice od drveta) u svim radnim režimima, koji su podrazumevali loženje gorivom u količinama od minimalno 1,970 kg goriva po šarži do maksimalno 2,794 kg goriva, ispunjavao trenutno važeće granične vrednosti emisije prema nemačkom 1. BlmSchV [11].

Ipak, rezultati merenja emisije ukazuju na nekoliko važnih zaključaka o kvalitetu sagorevanja u ložištu peći.

Nominalnoj snazi peći od 12,5 kW, ako se uzme da je prosečna toplotna moć goriva oko 17000 kJ/kg i zahtevani stepen efikasnosti ovih uređaja 73% (tabela 2), odgovara potrošnja goriva od 3,626 kg/h. Ispitivanjem peći, na osnovu urađenih merenja, došlo se do zaključka da je uloženo gorivo u ložište peći sagorevalo, u zavisnosti od njegove količine za 30-45 minuta. Ovaj podatak je bio osnova za izbor količine goriva koju je potrebno u pravilnim vremenskim intervalima ulagati po jednoj šarži u ložište peći, da bi se ostvario nominalni kapacitet.

U svim radnim režimima, prema uputstvu proizvođača, primarni dovod vazduha koji se koristi samo pri potpali peći je bio u potpuno zatvorenom položaju, dok je sekundarni dovod vazduha bio u otvorenom položaju.

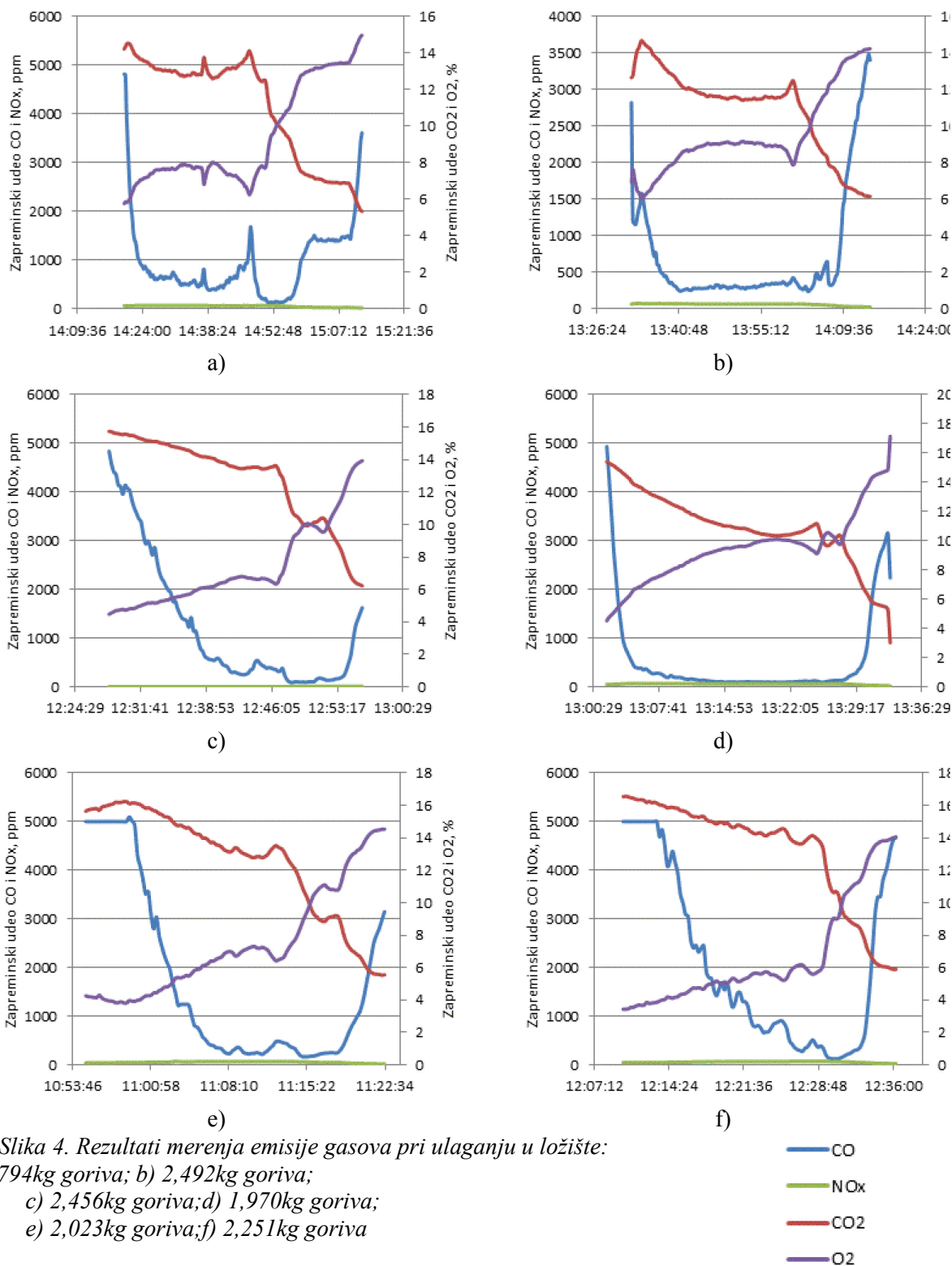
Na osnovu rezultata merenja, može se zaključiti da je bez obzira na uslove sagorevanja, u svim radnim režimima ostvarena slična emisija čvrstih čestica. Prema tome, na osnovu merenja emisije čvrstih čestica može se zaključiti da je konstrukcija uređaja ono što dominantno utiče na stanje emisije.

Emisija gasova, prevashodno ugljen-monoksida, međutim mnogo više zavisi od ostvarenih uslova sagorevanja. Koncentracije azotnih oksida u dimnim gasovima su takođe dosta konstantne, što je očekivan rezultat obzirom da su temperature u ložištu peći konstantne i da je u svim ispitivanjima korišćeno isto gorivo. Treba napomenuti da su tokom ispitivanja merene i emisije sumpornih oksida. Međutim, emisija sumpornih oksida je praktično bila zanemarljiva jer je sagorevano drvo koje na sadrži sumpor.

Na osnovu dijagrama prikazanih na slici 4 može se zaključiti da stabilni uslovi sagorevanja nisu postignuti u režimima a) i f). Pri doziranju 2,794 kg goriva odjednom (režim a) neravnomerno sagorevanje u periodu stacionarnog rada je očigledno posledica prevelike količine goriva u ložištu. Sa druge strane, pri doziranju 2,251 kg goriva (režim f), razlog nestacionarnosti u sagorevanju je verovatno nedovoljno sekundarnog vazduha za sagorevanje (količina doziranog goriva je ispod nominalnog kapaciteta peći). U oba slučaja, nestacionarnosti u procesu sagorevanja su imali za posledicu povećanje emisije ugljen-monoksida u dimnim gasovima.

U ostalim režimima postignuta je zadovoljavajuća stacionarnost procesa. Prividno najbolji rezultati su postignuti pri doziranju najmanje količine goriva u ložište peći (režim d), odnosno približno 2 kg goriva. U ovom slučaju emisija ugljen-monoksida je bila najmanja. Međutim, sagorevanje približno iste količine goriva sa manjom količinom sekundarnog vazduha (režim e) odmah je dovelo do povećanja emisije ugljen-

monoksida, prevashodno zbog sporijeg sagorevanja u početnoj fazi, odnosno neposredno nakon dodavanja nove količine goriva. Pri tome, treba voditi računa da je u režimu d), pri većem koeficijentu viška vazduha, količina goriva od 2 kg relativno brzo sagorevala, što naravno ima za posledicu kraće intervale između dva loženja. Pri ručnom loženju, to je sa stanovišta ukupne emisije i energetske efikasnosti uređaja svakako nepovoljno. Svako otvaranje vrata ložišta ima za posledicu veće toplotne gubitke, nekontrolisanu emisiju i nekonformnije uslove za korišćenje uređaja zbog njegovog češćeg loženja.



Interesantni za poređenje su i režimi b) i c). U ovim režimima je dozirano približno 2,5 kg goriva u ložište. Stacionarnost sagorevanja je mnogo bolja u režimu b), pri većem višku vazduha, nego u režimu c) kada je smanjena količina sekundarnog vazduha za sagorevanje. To se jasno vidi po brzini dostizanja stacio-

narnog stanja (kraći prelazni period neposredno nakon doziranja goriva u režimu b) i po značajno nižim vrednostima ukupne emisije ugljen-monoksida u režimu c). Uz to, režim b) je u odnosu na ostale režime, vremenski dugo trajao (približno 42 min), što odgovara časovnoj potrošnji goriva od 3,56 kg/h goriva, što znači da je postignut pun projektovani kapacitet peći.

IV. ZAKLJUČAK

Za ispitivanje sagorevanja u ložištima peći, kamina, kotlova i štednjaka proizvođači su zainteresovani iz više razloga. Prvi je dobijanje neophodnih podataka za ocenu energetske efikasnosti u skladu sa zahtevima referentnih standarda za konkretni tip uređaja. Drugi je procena uticaja ovih postrojenja na životnu sredinu, odnosno ocena rezultata merenja u odnosu na propisane granične vrednosti emisije. Oba ispitivanja imaju za cilj dobijanje sertifikata, poput C znaka na evropskom tržištu, o ispravnosti uređaja za određenu namenu. Međutim, isto tako u fazi razvoja proizvoda ova ispitivanja se mogu iskoristiti za poboljšanje same konstrukcije i definisanje optimalnih uslova sagorevanja, što proizvođači kasnije navode u uputstvima za rad i rukovanje.

U ovom radu su prikazani rezultati merenja emisije i ispitivanja kvaliteta sagorevanja u ložištu jednog tipa peći na čvrsto gorivo (cepanice drveta) i data je analiza tih rezultata u cilju određivanja optimalnih uslova sagorevanja u peći. Definisan je optimalni režim loženja peći. Prema dobijenim rezultatima merenja, njemu odgovara količina goriva po jednoj šarži od približno 2,5 kg i sadržaj kiseonika u dimnim gasovima oko 9,5%. Pri ovim uslovima dobijeni su povoljni rezultati u pogledu emisije štetnih materija i dovoljno dugog intervala između dva loženja peći što obezbeđuje minimalno trajanje prelaznog nestacionarnog režima i manje toplotne gubitke zbog čestog otvaranja vrata peći.

V. LITERATURA

- [1] SRPS EN 303-5:2012, Kotlovi za grejanje – Deo 5: Kotlovi za grejanje na čvrsta goriva, opsluživani ručno i automatski, nazivne snage do 300 kW – Terminologija, zahtevi, ispitivanje i obeležavanje.
- [2] SRPS EN 12809:2011, Kotlovi na čvrsta goriva za domaćinstvo – Nazivno toplotno opterećenje do 50 kW – Zahtevi i metode ispitivanja.
- [3] SRPS EN 12815:2012, Štednjaci na čvrsta goriva za domaćinstva – Zahtevi i postupci ispitivanja.
- [4] SRPS EN 13229:2011, Kamini za ugradnju i otvoreni kamini na čvrsta goriva – Zahtevi i postupci ispitivanja.
- [5] SRPS EN 13240:2011, Uređaji za grejanje prostora na čvrsta goriva – Zahtevi i postupci ispitivanja.
- [6] SRPS EN 14785:2011, Uređaji za grejanje prostora na drvene pelete u domaćinstvu – Zahtevi i postupci ispitivanja.
- [7] SRPS EN 15250:2011, Uređaji na čvrsta goriva sa akumulacijom toplote – Zahtevi i postupci ispitivanja.
- [8] SRPS EN 15270:2011, Pelet-gorionici za male kotlove za grejanje – Definicije, zahtevi, ispitivanja, obeležavanje.
- [9] European Commission DG TREN, Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs (II), Lot 15, Solid fuel small combustion installation, Final version, December 2009.
- [10] Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vazduh (Službeni glasnik RS broj 71/2010)
- [11] 1. Verordnung zum bundesimmissionsschutzgesetz – Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. BImSchV).