



Numerička i eksperimentalna analiza izgaranja drvenih i agropeleta

POLJOPRIVREDNA BIOMASA, ZAŠTO NE?

dr. sc.
Ivan Horvat
mag. ing. mech.

prof. dr. sc.
Damir Dović
dipl. ing.

Petar Filipović
mag. ing. mech.

Energetsko iskorištavanje biomase izravnim izgaranjem u posljednjih je nekoliko godina doživjelo ponovni uzlet. Najveća toplinska učinkovitost i najmanje emisije štetnih tvari postižu se pri tome izgaranjem peletirane biomase. Sve stroži ekološki zahtjevi Europske unije, osobito u pogledu emisija štetnih tvari, zahtijevaju kontinuirani razvoj novih konstrukcija toplovodnih kotlova koji kao gorivo koriste neki oblik krute biomase.

Svake godine na Zemlji nastaje oko 2000 milijardi t suhe biomase. Za hranu se od toga koristi oko 1,2%, za proizvodnju papira 1% i za gorivo 1%, a ostatak trune ili povećava zalihe obnovljivih izvora energije.

Prema podacima Zajedničkog istraživačkog centra Europske komisije (JRC) iz 2016. godine, obnovljivi izvori u ukupnoj potrošnji primarne energije u Europskoj uniji sudjeluju sa 17%, pri čemu biogoriva (uključujući industrijski i komunalni otpad) sudjeluju s 59,2%. Od toga se 74,6% odnosi na biomasu koja se koristi za proizvodnju toplinske energije za grijanje i hlađenje. Također prema podacima iz 2016. godine, obnovljivi izvori u ukupnoj potrošnji primarne energije u Hrvatskoj sudjeluju s 23,6%. Kao i u ostatku EU-a, taj udio se ostvaruje pretežno korištenjem biomase (65%).

Izravno izgaranje biomase u obliku drva je najstariji izvor energije poznat čovjeku. No, njezino izgaranje u ložištima kućanskih uređaja predstavlja značajan izvor onečišćenja okoliša. To se posebice odnosi na emisije hlapivih organskih spojeva (VOC), policikličkih aromatskih ugljikovodika (PAH) i čestica (PM). Tako nerijetko, a osobito zimi dolazi do povećanog udjela sitnih lebdećih čestica

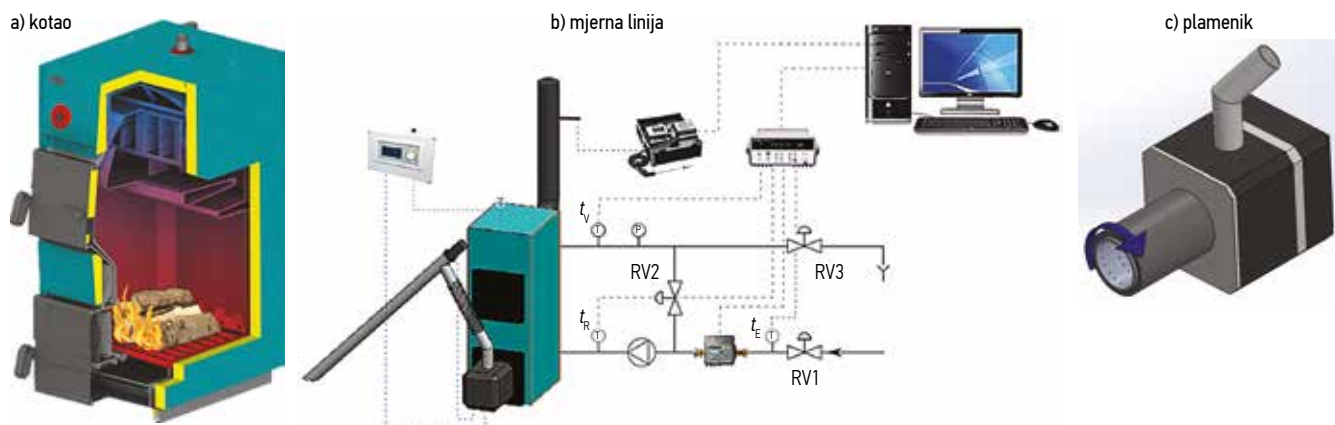
u atmosferi. Brojna su istraživanja pokazala da postoji uska veza izloženosti povećanim udjelima tih spojeva i raznih bolesti, a kao glavni izvori smatraju se promet (osobito na dizelsko gorivo) i izgaranje krutog goriva. Uz to, izgaranjem biomase dolazi i do značajnih emisija ugljikovog monoksida (CO) i dušikovih oksida (NO_x).

Direktiva 2009/125/EZ o eko-dizajnu proizvoda je za toplovodne kotlove koji kao gorivo koriste krutu biomasu smanjila dopuštene emisije CO šest puta, a organskih plinovitih spojeva (OGC) i PM-ova četiri puta. Uz to, uvedena je i granična vrijednost emisija NO_x. Sve te emisije postaju još značajnije ako se umjesto klasične drvene biomase koriste razni ostaci iz poljoprivredne proizvodnje, koji su sve traženije gorivo. To je povezano s činjenicom da je cijena korištenja drvnih peleta postala prilično visoka. Uz pretpostavku sezonske toplinske učinkovitosti plinskog kondenzacijskog kotla od 95% i kotla na pelete od 90%, dobivaju se sljedeće cijene isporučene toplinske energije za kućanstvo (bez poreza na dodanu vrijednost):

- 0,27 HRK/(kW h) za prirodni plin
- 0,44 HRK/(kW h) za drveni pelet A1
- 0,36 HRK/(kW h) za drveni pelet A2.

▼ Ilustracija 1

Kotao, mjerna linija i plamenik koji su korišteni pri istraživanju



Cijena tzv. agropeleta na hrvatskom tržištu kreće se oko 0,64 HRK/kg (bez PDV-a), pri čemu se, uz najmanju ogrjevnu vrijednost iz ISO 17 225-6 : 2014 i uz pretpostavku vrlo male godišnje toplinske učinkovitosti kotla od 80%, dobiva cijena od 0,20 HRK/(kW h), što je niže od cijene plina.

Za razliku od izgaranja klasične drvene biomase, izgaranje ostataka iz poljoprivredne proizvodnje povezano je s još nekoliko izazova. Kao najznačajniji problem, uz mnogo veću količinu pepela prisutnog u gorivu, pojavljuje se njegova niska temperatura taljenja. To može rezultirati ozbiljnim problemima u radu, što uključuje taloženje i aglomeraciju na rešetci (što utječe na dobavu zraka za izgaranje) i stijenjkama za izmjenu topline (što smanjuje učin i uzrokuje koroziju).

REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U proteklih pet godina na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu provedeno je istraživanje u sklopu izrade doktorskog rada na razvoju smjernica za izradu prototipa komercijalnog kotla na biomasu iz poljoprivrednih ostataka. To se istraživanje može podijeliti u tri cjeline.

U prvoj su eksperimentalno istražena fizikalna i kemijska svojstva poljoprivredne biomase i njezine karakteristike pri izgaranju u toplovodnom kotlu (il. 1). Dobiveni rezultati uspoređeni su s onima za drvene pelete, pri čemu su utvrđene značajne razlike u svojstvima i značajkama izgaranja (il. 2). Slijedom toga odabrani su peleti iz slame uljane repice kao, s tehničkog aspekta izgaranja, najprikladnijeg goriva za izgaranje u kućanskim toplovodnim kotlovima. Uz to, uspoređene su i emisije štetnih tvari, pri

▼ Ilustracija 2

Ostaci nakon izgaranja

a) slama pšenice



$b = 0,6\%$

b) slama pšenice i ljuska lješnjaka



$b = 6,1\%$, $C_f = 0,44\%$

c) slama uljane repice



$b = 5,5\%$, $C_f = 0,225\%$

d) drveni pelet



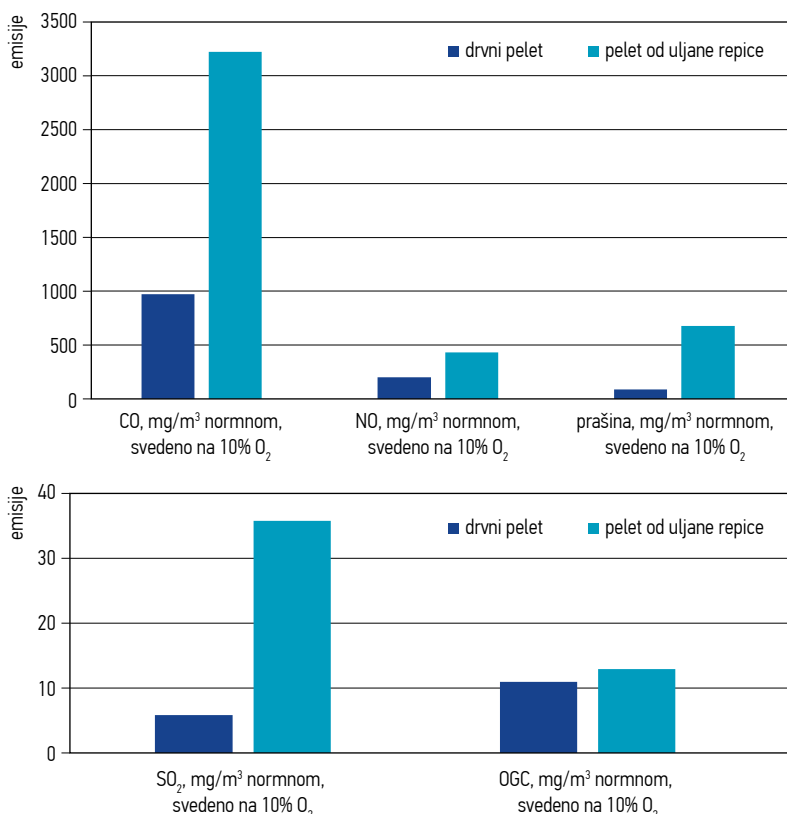
$b = 23,0\%$, $C_f = 0,085\%$

b - maseni udio beizgorenog goriva u ostatku

C_f - maseni udio neizgorenog goriva sveden na ukupnu masu goriva

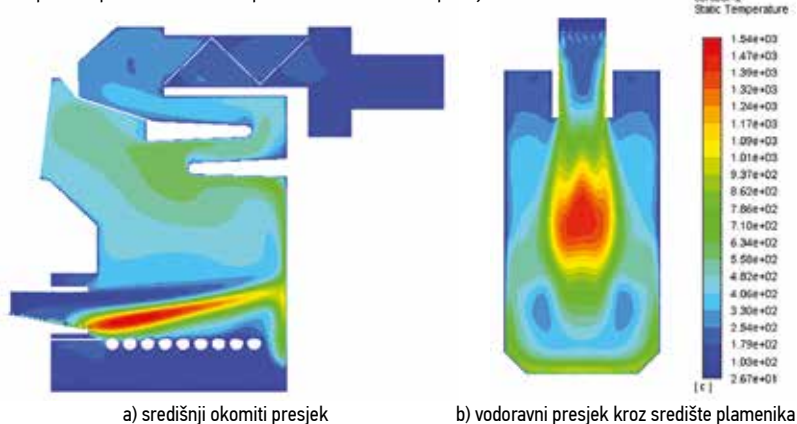
▼ Ilustracija 3

Usporedba emisija štetnih tvari u okoliš



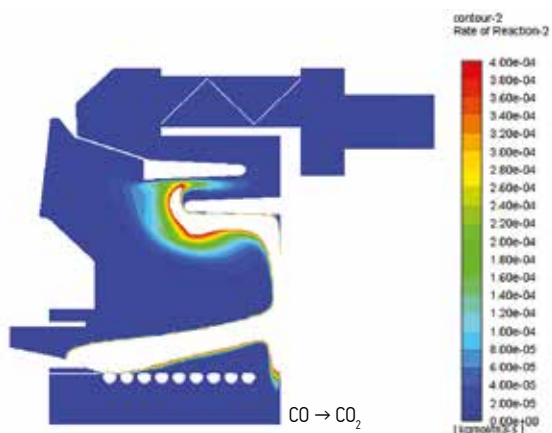
▼ Ilustracija 4

Mape temperature dimnih plinova u uzdužnim presjecima kotla



► Ilustracija 5

Mape brzine odvijanja kemijskih reakcija izgaranja (središnji uzdužni okomiti presjek)



čemu se može primijetiti porast emisija pri korištenju agropeleta u odnosu na drvene pelete (il. 3).

U drugoj je cjelini provedeno numeričko modeliranje izgaranja drvnih peleta u toplovodnom kotlu. Korišten je brzi pristup modeliranju izgaranja biomase, pri čemu se iterativnim određivanjem Magnussenove konstante (*A*) dobivaju razmjerno dobra poklapanja rezultata dobivenih numeričkom simulacijom i mjerenjima. Zbog toga se može smatrati da se prikazanim pristupom može dobiti realan prikaz procesa u kotlu (strujanja, izgaranja, izmjene topline). Rezultati analize simuliranog procesa, odnosno dobivene mape temperature dimnih plinova i brzine odvijanja kemijskih reakcija izgaranja mogu se koristiti za otkrivanje mjesta i mehanizama za smanjenje emisija štetnih tvari i povećanje toplinske učinkovitosti, ovisno o radnim i projektnim parametrima kotla (il. 4 i 5).

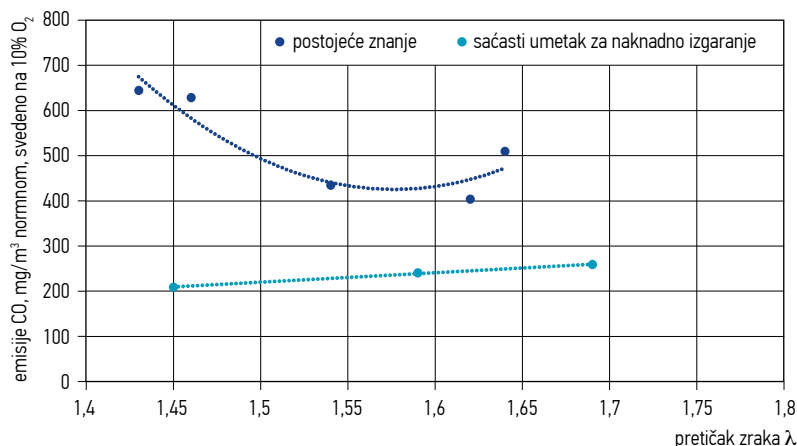
U trećoj cjelini je numerički i eksperimentalno istražen utjecaj umetka za naknadno izgaranje u postojeći konvencionalni sustav za izgaranje krute biomase. Prikladno mjesto za njegovu ugradnju određeno je na temelju analize rezultata numeričkog modeliranja i literaturnih podataka o kinetici izgaranja neizgorenih plinova. Dobiveni rezultati pokazali su smanjenje emisija CO za 30 - 70% i prašine za 28 - 56 mg/m³ normnih (svedeno na 10% kisika u suhim dimnim plinovima) i povećanje toplinske učinkovitosti i do 4% (il. 6). Numeričkom simulacijom pokazano je da se smanjenje emisija neizgorenih plinova (CO) prvenstveno ostvaruje povećanjem turbulencije (neposredno prije i unutar kanala umetka za naknadno izgaranje) i manjim dijelom porastom temperature dimnih plinova.

ZAKLJUČAK

Provedenim istraživanjima je pokazano kako je moguće izgarati biomasu niske kvalitete (poljoprivrednu i ostalu s većim sadržajem pepela) u toplovodnim kotlovima manjih učina koji se uobičajeno koriste u zgradarstvu, uz zadovoljenje zahtjeva tehničke regulative. U tu je svrhu predložen novi koncept: konvencionalni kotao i plamenik s rotirajućom rešetkom te umetak za naknadno izgaranje koji se može lako ugraditi

▼ Ilustracija 6

Emisije CO ovisno o pretičku zraka za izvedbu bez ugrađenog umetka za naknadno izgaranje i s njime



Reference:

- ... EU Science Hub, ec.europa.eu/jrc/en/science-update/facts-and-figures-bioenergy-eu, pristupljeno 24. travnja 2020.
- C-E. GP Boström, A. Hanberg, B. Jernström, C. Johansson, T. Kyrklund, A. Rannug, M. Törnqvist, K. Victorin i R. Westerholm: 'Cancer Risk Assessment, Indicators and Guidelines for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Ambient Air', Environmental Health Perspectives, 2002;110:451-88., 2002.
- ... Direktiva 2009/125/EZ Europskog parlamenta i vijeća od 21. listopada 2009. o uspostavi okvira za utvrđivanje zahtjeva za ekološki dizajn proizvoda koji koriste energiju
- ... Uredba Komisije (EU) 2015/1189 od 28. travnja 2015. o provedbi Direktive 2009/125/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o pogledu zahtjeva za ekološki dizajn kotlova na kruta goriva
- I. Horvat i D. Dović: 'Combustion of Agricultural Biomass – Issues and Solutions', Transactions of FAMENA, 2018;42:75-86., 2018.
- ... Centrometal, www.centrometal.hr/portfolio/eko-ck-p-14-110-kw, pristupljeno 14. rujna 2020.
- I. Horvat, D. Dović i P. Filipović: 'Laboratory Testing of Domestic Hot Water Boiler while Fired with Different Biomass Pellets', 13th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Palermo, Italija, 2018.
- I. Horvat: 'Numeričko-eksperimentalna analiza prikladnosti korištenja poljoprivredne biomase u toplovodnim kotlovima', Doktorski rad, FSB, Zagreb, 2020.
- ... EN 303-5 : 2012 'Heating Boilers - Part 5: Heating Boilers for Solid Fuels, Manually and Automatically Stoked, Nominal Heat Output of up to 500 kW - Terminology, Requirements, Testing and Marking'

Napomena

Članak je, zapravo, sažetak prve doktorske disertacije iz područja izgaranja agropelleta u Hrvatskoj, koju je potkraj listopada uspješno obranio Ivan Horvat, mladi znanstvenik FSB-a. Disertacija pod nazivom 'Numeričko-eksperimentalna analiza prikladnosti korištenja poljoprivredne biomase u toplovodnim kotlovima' kruna je petogodišnjeg istraživanja na razvoju smjernica za izradu prototipa komercijalnog kotla na biomasu iz poljoprivrednih ostataka, pri čemu je mentor bio prof. dr. sc. Damir Dović, dipl. ing.

Novi doktor znanosti na FSB-a radi još od 2015. godine, pri čemu je najprije bio ispitivač i mjeritelj u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje, dok je danas asistent na Zavodu za termodinamiku, toplinsku i procesnu tehniku. Autor je više znanstvenih i stručnih radova iz područja energetske učinkovitosti i toplinske ugodnosti i suautor algoritama za izračun energetske svojstva zgrada i bio je konzultant u izradi nacionalnog računalnog programa za izračun energetske svojstva zgrada.

