

EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE OPTIMALNOG RADA GASNOG GORIONIKA
EXPERIMENTAL TESTING OF OPTIMAL GAS BURNER OPERATION

Vladan Mitrović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – Tema ovog rada jeste sagorevanje prirodnog gasa u gorioniku postavljenom na laboratorijsku komoru za sagorevanje. Cilj rada je ispitivanje uticaja koeficijenta viška vazduha, kao i poziciju deflektora na kvalitet sagorevanja (npr. sastav produkata sagorevanja), kao i analiza dobijenih rezultata.

Ključne reči: Sagorevanje, Gasni gorionik, Energetska efikasnost, Produkti sagorevanja

Abstract – The subject of the paper is natural gas combustion in a gas burner mounted on a laboratory combustion chamber. The aim of this paper is to investigate the effect of excess air coefficient, as well as deflector position on combustion quality (i.e. the contents of the products of combustion), and also to analyze the results.

Keywords: Combustion, Gas burner, Energy efficiency, Combustion products

1. UVOD

Energija je oduvek bila jedna od osnovnih civilizacijskih potreba čovečanstva. Od samog svog postanka, čovekov razvojni put je neodvojiv od pronalaska vatre. U prošlosti je to podrazumevalo vatru za grejanje i pripremu hrane. Međutim, u savremenom dobu, uslovi za život su zavisni od niza tipova energije, i život bez njih bi bio nezamisliv. Jedan od osnovnih faktora životnog standarda upravo jeste pristup centralizovanom sistemu električne i toplotne energije.

Druga polovina dvadesetog veka je okarakterisana neprikosnovenom upotrebom tečnih goriva u skoro svim sferama privrede, što je znalo da dovede do čestih ekonomskih i političkih problema, ukoliko je dolazilo do bilo kakve destabilizacije tržišta nafte u svetu. Kao posledica, većine država, pogotovo zemlje koje većinski uvoze energente su težile da zamene upotrebu tečnih goriva sa što više alternativnih izvora.

Bitno je uzeti u obzir i činjenicu da su ekološki standardi sve strožiji širom sveta. Iz navedenih razloga je na primer u Evropi trend da se sa uglja i nafte sve više prelazi na gasovita goriva. Gasovita goriva generalno obezbeđuju kvalitetnije sagorevanje u odnosu na druge vrste, sa većim stepenom efikasnosti, kao i najmanjim udelom štetnih produkata sagorevanja u odnosu na oslobođenu količinu energije.

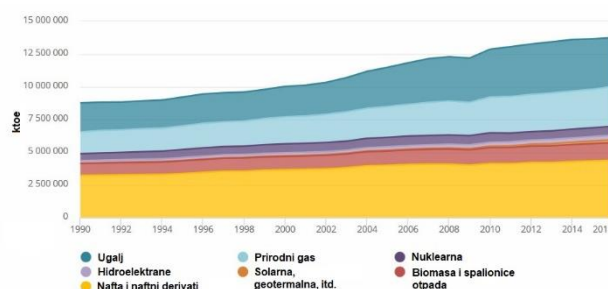
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Biljana Miljković, vanr. prof.

2. POTROŠNJA ENERGIJE U SVETU

Naredna slika 1. prikazuje ukupnu svetsku potrošnju primarne energije u periodu od 1990-2016. godine [1]. Sa slike se može uočiti trend porasta za sve izvore, uključujući i prirodni gas. Jedini momenat kada je potrošnja opala jeste 2008. godine, usled ekonomske krize, nakon čega se ubrzo oporavila. Iako se potrošnja svih vidova energetske resursa povećava, prirodni gas je jedini izvor energije čiji se udeo udvostručio od 1990. Razlog za to jesu velike rezerve i visoki kvalitet prirodnog gasa kao energenta, ali prevashodno njegova niska cena u tom periodu.

Veliki udeo tog porasta je usled prelaska sa tečnih na gasna goriva. Preorijentacija ložišta je jednostavan tehnički problem, a investicioni zahtevi nisu značajni u poređenju sa prednostima primene gasovitih goriva.

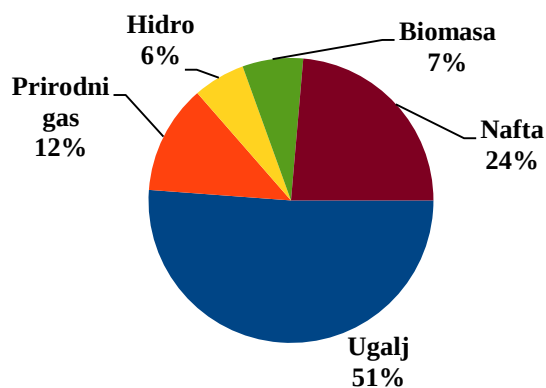


Slika 1. Ukupna potrošnja primarne energije u svetu između 1990-2016. godine [1]

Značajan porast beleže i obnovljivi izvori energije, međutim oni su i dalje iznosili svega 5% ukupne proizvodnje primarne energije, dok je udeo gasa 24% sa trendom rasta. Veliki nedostatak obnovljivih izvora energije, pogotovo kao izvora električne energije, jeste to što količina proizvodnje zavisi od spoljnih faktora kao što su oblačnost za solarnu, prisutnost vetra za vetrogeneratore, itd. To dovodi do situacija gde se vrhunac proizvodnje u toku dana za određene izvore javlja u momentima kada je ukupna potrošnja struje niska. Iz tog razloga je potrebno posedovati rezervne izvore čije se snage lako regulišu (najčešće elektrane na prirodni gas) da bi električna mreža ostala stabilna.

2.1. Potrošnja gasovitih goriva u Srbiji

Ukupna potrošnja primarne energije u Srbiji je iznosila 15440 ktoe u 2016. godini [2]. Ova energija je dobijena iz domaće proizvodnje i uvoza. Udeo korišćenja prirodnog gasa u proizvodnji primarne energije je iznosio 12%, što se nije menjalo nekoliko godina. Razlozi za ovakvo stanje su uglavnom niska cena i velike rezerve lignita u Srbiji, za razliku od prirodnog gasa koji se uglavnom uvozi.



Slika 2. Ukupni udeo izvora primarne energije u Srbiji 2016. godine [2]

3. SAGOREVANJE GASOVITOG GORIVA

Sagorevanje se definiše kao hemijski proces vezivanja gorivih elemenata sa kiseonikom uz intenzivno oslobađanje toplote. To je poseban vid hemijske reakcije koji se dešava u gasnoj fazi [3].

Samim tim, sagorevanje je složen proces koji zavisi od sledećih parametara [4]:

- sastav gasne smeše,
- brzina strujanja gasne smeše u raznim procesima gorionika,
- homogenost mešanja gorive i oksidirajuće komponente,
- početna temperatura goriva i vazduha,
- prisustvo inertnih komponenti u gasnoj smeši,
- način paljenja gasne smeše, itd.

4. GASNI GORIONICI

Gasni gorionici su uređaji koji dovode gas i vazduh do mesta gde se odvija sagorevanje. Dizajnirani su tako da obezbede stabilan plamen, kao i da obezbede laku regulaciju. Još neki od njihovih ciljeva su što racionalnija potrošnja goriva i smanjenje emisije štetnih produkata sagorevanja.

4.1. Gorionici sa prinudnim dovodenjem vazduha

Kod ove vrste gorionika se prinudno dovodi vazduh potreban za potpuno sagorevanje goriva uz pomoć nekog uređaja, najčešće ventilatora ili kompresora što daje mogućnost menjanja koeficijenta viška vazduha, λ . Gasovi se mogu mešati pomoću difuzije u samom cevovodu ili komori za predmešanje, ili uz pomoć deflektora koji se postavljaju u cevovod čija je svrha da pospešuju turbulenciju. Protok vazduha se može regulisati menjanjem brzine obrtanja uređaja za dovod vazduha, dok se protok gasa reguliše uz pomoć ventila.

5. EKSPERIMENTALNA INSTALACIJA ZA ISPITIVANJE SAGOREVANJA GASA

Ispitivanje je vršeno u okviru Erasmus KA1+ mobilnosti na Univerzitetu Klod Bernar 1 u Lionu, u Francuskoj, u periodu od januara do juna 2019. godine.

Eksperimentalna instalacija za ispitivanje sagorevanja se nalazi u Laboratoriji za toplotnu tehniku Departmana za termiku u gradu Burg an Bres nadomak Liona. Laboratorija se bavi obukom studenata univerziteta, kao i

ispitivanjem u komercijalne svrhe. Merenje je sprovedeno pod mentorstvom vanrednog profesora Erika Albina.

Laboratorija je dizajnirana tako da se održava konstantna temperatura vazduha, kao i prirodnog gasa od 25°C i obezbeđena je adekvatna ventilacija da ne bi došlo do kontaminacije vazduha sa ugljen-monoksidom.

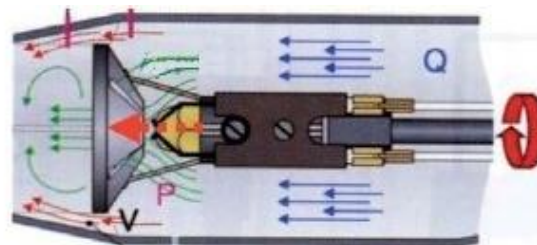
Postrojenje za testiranje se sastoji iz izolovane komore u kojoj se nalazi gorionik, nazivne toplotne snage 50 kW. Cevi kroz koju protiče voda poznatog protoka su direktno izložene plamenu gorionika. Temperatura vode se meri na ulazu i izlazu iz komore. Voda se zatim hladi kroz razmenjivač toplote, čija se toplota odvodi vazdušnim rashladnim uređajem, van laboratorije. Komora za sagorevanje sadrži staklene vizire kroz koje se može posmatrati boja i oblik plamena. Fotografija postrojenja je data na slici 3.



Slika 3. Eksperimentalna instalacija za ispitivanje sagorevanja

5.1. Opis gorionika

Gasni gorionik koji se koristio prilikom ovog istraživanja je gasni gorionik firme "Riello", model BS1 tip 911 T1, toplotne snage od 16 do 52 kW. Sa promenom uslova se direktno utiče i na kvalitet sagorevanja, kao i na promenu koncentracije CO i CO₂. To je moguće učiniti i podešavanjem mešanja pomoću deflektora, prikazanom na slici 4. Deflektor se sastoji iz pločice sa zarezima i podesivog zapornog elementa. Prilikom podešavanja zavrtnja se može povećavati ili smanjivati površina poprečnog preseka, što povećava ili smanjuje brzinu strujanja, kao i koeficijent lokalnog otpora.



Slika 4. Princip podešavanja mešanja pomoću deflektora

5.2. Merna oprema

Gasni analizator proizvođača „Ecom” model „EN2” sa slike 5. se koristi za merenje svojstva produkata sagorevanja. Na izlazu iz komore za sagorevanje se postavlja sonda gasnog analizatora, koja precizno meri temperature produkata sagorevanja, zapreminski udeo O₂, zapreminski

udeo CO_2 , zapreminski udeo CO , zapreminski udeo NO_x i koeficijent viška vazduha.



Slika 5. Gasni analizator

Radi verifikacije rezultata, koristio se gasni analizator proizvođača „Testo“ model „327-2“ koji meri zapreminske udele O_2 , CO_2 i CO .

6. REZULTATI ISPITIVANJA

Proces sagorevanja gasa u nekoj komori za sagorevanje, sasvim izvesno zavisi od vrste goriva, njegovog kvaliteta, geometrije ložišta, ali u najvećoj meri od uslova koji vladaju u ložištu. Tu se prvenstveno misli na koeficijent viška vazduha, temperature ložišta, kao i strujanje u samom ložištu. U cilju ispitivanja nekih od navedenih parametara na proces sagorevanja postavljeno je i eksperimentalno postrojenje, opisano u petom poglavlju. Zadatak mog master rada je bio da ispitam uticaj koeficijenta viška vazduha, kao i položaj deflektora (tj. stepen mešanja) na kvalitet sagorevanja. U prikazanom eksperimentalnom postrojenju glavni pokazatelji kvaliteta sagorevanja svakako su sastav produkata sagorevanja, tako da se posebna pažnja posvetila analizi upravo ovih rezultata.

6.1. Provera merne opreme

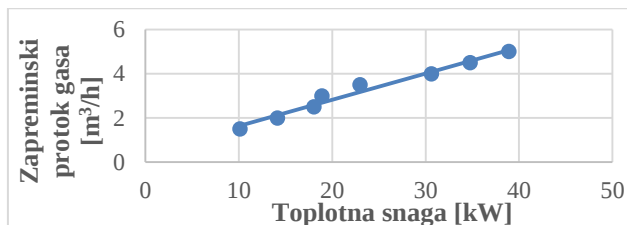
U inženjerskoj praksi je očekivano da se svako merenje ponovi nekoliko puta pri istim uslovima radi provere ispravnosti merenja i mernog uređaja. Nažalost, to nije bilo moguće uraditi zbog vremenskih ograničenja te je urađeno samo nekoliko verifikacionih merenja koja su imala za cilj proveru konzistentnosti izmerenih rezultata. Jedna od tih provera podrazumeva istovremeno merenje sastava produkata sagorevanja pomoću dva različita analizatora gasova opisanih u 5. poglavlju.

Prilikom ove provere utvrđeno je da merenje analizatora „Ecom“ nije adekvatno, s obzirom da je analizator „Testo“ baždaren nekoliko meseci pre merenja, a dolazilo je do značajnih odstupanja u rezultatima.

Da bi se rešio ovaj problem, uređaj „Ecom“ je poslat u sertifikovanu laboratoriju na baždarenje, a nakon toga se merenje ponovo izvelo. Nakon baždarenja su razlike u rezultatima merenja bile veoma niske.

6.2. Eksperimentalni rezultati

Prilikom merenja, protok vazduha je održavan na konstantnih $50 \text{ m}^3/\text{h}$ što se pokazalo kao pogodno za uspešno paljenje uređaja u najširem opsegu vrednosti protoka prirodnog gasa. Kao rezultat proračuna bilansa energije za stvarne uslove sagorevanja datog u prilogu, zavisnost toplotne snage od zapreminskog protoka gasa je prikazana na slici 6.



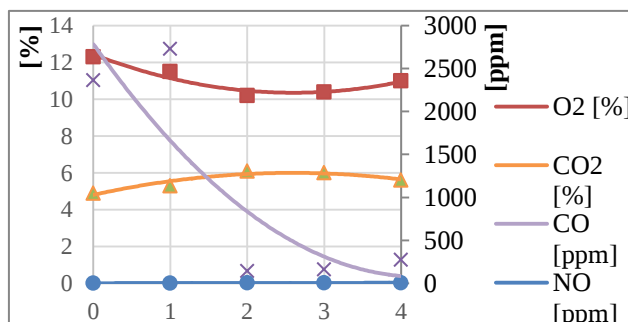
Slika 6. Zavisnost toplotne snage od protoka prirodnog gasa

Rezultat proračuna potvrđuje da je komora za sagorevanje adekvatna za postizanje opsega toplotnih snaga gorionika koje su navedene u proizvođačkoj specifikaciji. Međutim, kvalitet sagorevanja varira te je cilj dalje analize određivanje optimalnih radnih uslova za ovo postrojenje.

6.3. Emisija CO prilikom sagorevanja

Na slici 7. prikazani su udeli CO , CO_2 , NO_x i O_2 na izlazu iz ložišta. U svim slučajevima protok vazduha je održavan na konstantnih $50 \text{ m}^3/\text{h}$, dok se protok gasa menjao od $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ do $5 \text{ m}^3/\text{h}$. Na taj način se praktično varirao koeficijent viška vazduha.

Ukoliko se protok prirodnog gasa smanjio ispod $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ dolazilo je do potpunog gašenja plamena i automatskog isključenja gorionika. Za protoke veće od $5 \text{ m}^3/\text{h}$ i više, sagorevanje je postajalo nepotpuno i udeo CO je rastao značajno iznad opsega gasnog analizatora. Za svaki od ovih protoka gasa, merenje je rađeno za 5 položaja deflektora.

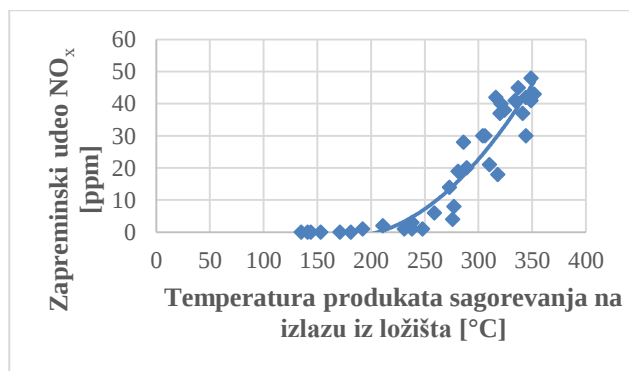


Slika 7. Zapreminski udeli produkata sagorevanja za protok gasa $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ i protok vazduha $50 \text{ m}^3/\text{h}$, nazivna snaga 18 kW

6.4. Emisija NO_x prilikom sagorevanja

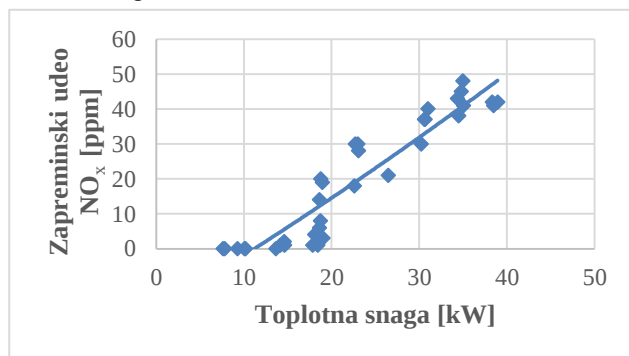
Glavni faktor koji utiče na količinu NO_x koji se formira je temperatura samog plamena. Međutim, pošto nije moguće meriti temperaturu u toj tački, posmatraće se temperatura produkata sagorevanja na izlazu iz komore. Na slici 8. je data zavisnost između temperature produkata sagorevanja na izlazu i zapreminskog udela NO_x . Pokazalo se da ne postoji uticaj deflektora na količinu formiranog NO_x .

Sa dijagrama se može zaključiti da se azotni oksidi formiraju tek nakon što temperatura gasova na izlazu iz ložišta dostigne vrednost od 200°C , a zatim se eksponencijalno povećava. Iz tog razloga bi bilo korisno težiti ka što nižim temperaturama sagorevanja sa stanovišta formiranja azotnih oksida.



Slika 8. Zavisnost udela NO_x od temperature gasova na izlazu iz ložišta

Da bi se bolje uporedila količina formiranja ugljen-monoksida i azotnih oksida korisno je prikazati uticaj promene toplotne snage na formiranje NO_x kao što je prikazano na slici 9. Na njoj se može uočiti linearna zavisnost između toplotne snage gorionika i količine oslobođenog NO_x .



Slika 9. Zavisnost udela NO_x od predatke količine toplote u radnu tečnost

7. ZAKLJUČAK

Osnovni cilj ovog istraživanja bio je da se pronađu optimalni uslovi sagorevanja na gasnom gorioniku „Riello“, model BS1 tip 911 T1, nazivne snage 50 kW, ugrađenom na ispitno postrojenje. U tom cilju, izvršena su merenja u kome se varirao protok goriva pri konstantnom protoku vazduha (čime se menjao koeficijent viška vazduha), kao i položaj deflektora.

Na osnovu eksperimentalnih rezultata, može se zaključiti da se minimalne vrednosti CO, kao glavnog pokazatelja nepotpunog sagorevanja, u produktima sagorevanja javljaju za nazivne snage od 18 do 34 kW (kojima odgovaraju koeficijenti viška vazduha $1,05 \div 1,8$).

Može se primetiti da je uticaj promene položaja deflektora jače izražen pri velikim protocima gasa jer u tim slučajevima intenzitet mešanja ima veći uticaj na kvalitet sagorevanja, a samim tim i na koncentraciju CO. Prilikom rada postrojenja u navedenom opsegu, udeo CO u produktima sagorevanja iznosi manje od 70 ppm, što je nivo koji se smatra bezopasnim po ljudsko zdravlje prilikom dužeg izlaganja [4]. Ovakvo sagorevanje se smatra potpunim.

NO_x se primarno formira kao rezultat javljanja visokih temperatura u komori za sagorevanje. Zbog nemogućnosti merenja temperature u samoj komori za sagorevanje, zapreminski udeo NO_x je doveden u vezu sa toplotnom snagom i izračunato je da počinje da se formira nakon što toplotna snaga pređe 10 kW i raste linearno sa porastom snage.

Na osnovu dobijenih rezultata, pokazalo se da se pri opterećenju od 36-68% javljaju male emisije štetnih produkata sagorevanja. Ipak, to su vrednosti sa dosta velikim koeficijentom viška vazduha, na šta ukazuje veliki udeo O_2 u produktima sagorevanja, a što za posledicu ima povećane gubitke ka okruženju (viši eksergetski nivo). Zbog toga se preporučuje rad uređaja što bliže gornjoj granici opterećenja od 68%, sa adekvatno podešenim mešanjem. Pri tim uslovima se sprečava formiranje velikih količina CO, a temperatura sagorevanja je i dalje dovoljno niska tako da se ne javlja velika količina NO_x .

8. LITERATURA

- [1] [www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Energy supply&indicator=TPESbySource&mode=chart&dataTable=BALANCES](http://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Energy%20supply&indicator=TPESbySource&mode=chart&dataTable=BALANCES) International Energy Agency (IEA) (pristupljeno u junu 2019.)
- [2] www.iea.org/statistics/?country=SERBIA&year=2016&category=Energy%20supply&indicator=TPESbySource&mode=chart&dataTable=BALANCES (pristupljeno u junu 2019.)
- [3] Boško D. Ćosić, Eksperimentalno fotometrijsko ispitivanje strukture laminarnog plamena nadstehiometrijske smeše propan – butan – vazduh, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2013.
- [4] Biljana Miljković, Zbirka rešenih zadataka iz sagorevanja, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2018.

Kratka biografija:



Vladan Mitrović rođen je u Novom Sadu 1995. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mašinstva – Energetike i procesne tehnike odbranio je 2021. godine, a od 2021. je u zvanju saradnik u nastavi. Oblast interesovanja su mu primenjena mehanika fluida, računarska dinamika fluida i hidropneumatski sistemi.

kontakt: vladanmit@uns.ac.rs