

SAVREMENE TEHNIKE SAGOREVANJA GASOVITIH GORIVA

Prof. dr Miroljub Adžić, dipl. inž.
Mašinski fakultet Beograd

U ovom radu je u kratkim crtama opisano stanje savremenih tehnika sagorevanja gasovitih goriva u svetlu trenutnih i budućih zahteva koji se postavljaju u smislu zaštite okoline, efikasnosti i stabilnosti rada uređaja za sagorevanje. Detaljnije su objašnjena ograničenja i zahtevi koji diktiraju stanje i razvoj uređaja za sagorevanje. Posebno su analizirane tehnike smanjenja emisije oksida azota i ugljen monoksida, ključnih zagađivača okoline pri sagorevanju gasovitih goriva. Zatim je data sistematizacija tehnika sagorevanja gasovitih goriva, podela gorionika i razmotreni su uticajni parametri na emisiju i stabilnost sagorevanja. U radu je obrađen i uticaj kvaliteta goriva imajući u vidu tendencije korišćenja obnovljivih izvora energije i klasičnih gasovitih goriva pogoršanog kvaliteta. U radu se na kraju ukratko obrađuje problematika numeričkih istraživanja u sagorevanju.

Ključne reči: sagorevanje, gasovita goriva, pregled.

UVOD

Proizvodnja energije je jedan od osnovnih izazova sa kojima se sreće čovečanstvo. Ograničenost izvora energije, geopolitička nestabilnost, svetska ekonomija i ekološki problemi dramatično pogađaju energetiku. Rešenja se traže u korišćenju svih raspoloživih energetskih izvora, posebno obnovljivih, povećanju energetske efikasnosti, racionalnom korišćenju, povećanju sigurnosti snabdevanja i skladištenju energenata.

Homo sapiens je pre milion godina svoje energetske potrebe zadovoljavao isključivo sagorevanjem. Upotreba i kontrola energetskih izvora je jedan od stubova razvoja civilizacije. Danas, preko 90% svetskih potreba za energijom se i dalje dobija sagorevanjem goriva. I ako je pre pola veka nuklearna energija predstavljena kao mogući ključni energetski izvor budućnosti, a alternativni izvori energije u današnje vreme, izvesno je da će klasična goriva još dugo biti osnovni energetski izvor čovečanstva. Uostalom, živa bića na našoj planeti žive isključivo na bazi procesa sagorevanja, što je krunski dokaz značaja sagorevanja jer priroda kroz evoluciju bira optimalni put nastanka, funkcionisanja i produženja života.

U užem smislu sagorevanje je proces razmene ili pregrupisanje atoma pri sudaru molekula uz odgovarajuće energetske pojave. Sagorevanje je složen nestacionarni termohemijski proces koji kontrolišu hemijska kinetika, strujanje i prenos toplote i mase.

Pre nekoliko decenija sagorevanje je uglavnom tretirano kao kvazistacionarni proces sa beskonačno brzim hemizmom. Savremena nauka o sagorevanju tretira sagorevanje kroz prelazne pojave, a predmet istraživanja su stabilnost sagorevanja i borba protiv zagađujućih i otrovnih produkata sagorevanja.

U svetlu ovih kretanja, gasovita goriva su, moguće je s punim pravom reći, goriva 21 veka. IEA1 u svom godišnjem izveštaju predviđa porast potrošnje energije na svetskom nivou za 60% u periodu od 2002 do 2030 godine. Porast potrošnje uglja se očekuje da dostigne oko 50%, nafte 60% a gasovitih goriva blizu 100%.

Kada se govori o gasovitim gorivima pre svega se misli na prirodni gas i tečne naftne gasove. Međutim, sve se intenzivnije koriste i proizvedena gasovita goriva dobijena preradom uglja, biomase i gradskog i industrijskog otpada. Vodonik je takođe veoma interesantno ali za sada samo perspektivno gasovito gorivo.

Prirodni gas je ključni gasoviti energetski izvor kako po svom energetskom potencijalu, tako i ceni i perspektivi. Prirodni gas je ekološki najpovoljnije konvencionalno gorivo i tehnološki jednostavno za transport, distribuciju i korišćenje. Najčešće se koristi za proizvodnju električne energije ali ga takođe koriste svi

Kontakt: Prof. dr Miroljub Adžić, dipl. inž.
Mašinski fakultet Beograd
Kraljice Marije 16, 11000 Beograd, Srbija
E-mail : mikce2001@yahoo.com

ostali potrošači energenata, od industrije do domaćinstava. U svetu, u urbanim sredinama, prirodni gas je prioritetno gorivo. U našoj zemlji učešće prirodnog gasa za potrebe široke potrošnje je oko 10% dok je u Evropskoj Uniji oko 40%. Oko 25-30% potrošnje naše zemlje podmiruje se iz domaćih izvora. Od toga je oko 30% pogoršanog kvaliteta (povećani sadržaj CO₂) čija je upotreba otežana. U smislu povećanja energetske efikasnosti termo-energetskih postrojenja i zaštite okoline, ključ optimalnog korišćenja goriva je u optimalnom vođenju procesa sagorevanja. Tehnologija sagorevanja je relativno malo poznata naučno-stručna oblast. Namera ovog rada je da prikaže stanje i pravce razvoja tehnologije sagorevanja gasovitih goriva, pre svega u oblasti malih i mikro snaga. S obzirom na veliku širinu oblasti i ograničenje obima rada autor neće moći da obuhvati sve aspekte ove problematike već samo najvažnije i u najmanje mogućem obimu. U radu su kao ilustrativni primeri isključivo korišćeni rezultati Laboratorije za goriva i sagorevanje na Mašinskom fakultetu u Beogradu.

OGRANIČENJA I ZAHTEVI

Performanse uređaja za sagorevanje su delom ograničene domaćim i međunarodnim propisima. U smislu ograničenja i zahteva ovde će biti pomenuti propisi koji se odnose na emisiju štetnih produkata sagorevanja i stepen korisnosti uređaja. Pri sagorevanju gasovitih goriva kao štetni produkti podrazumevaju se oksidi azota (NO_x), ugljen monoksida (CO), sumpor dioksida (SO₂) i čestica (čađ). Mali komentar: NO_x je zapravo oznaka za zbir NO i NO₂.

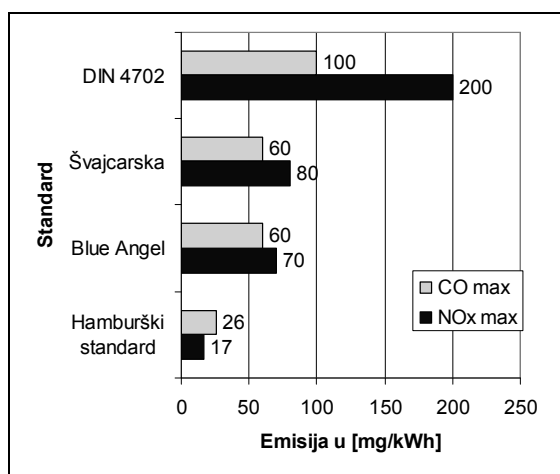
Sagorevanje se u savremenim uređajima obavlja vrlo efikasno, praktično u potpunosti, što znači da je stepen korisnosti karakteristika uređaja za sagorevanje kao celine te prema tome nije tema ovog rada.

Sve strožiji, obavezujući propisi o zaštiti okoline, od globalnih, kao što je Kyoto protokol do lokalnih, kao i ubrzano uvođenje obnovljivih izvora energije postavljaju sve teže zadatke pred istraživače i inženjere u svim oblastima primene goriva.

Prema Kyoto protokolu o emisiji gasova staklene bašte, pri sagorevanju ključna je emisija ugljen dioksida. Zemlje potpisnice protokola su u obavezi da u manjoj ili većoj meri smanje emisiju CO₂. Pored povećanja efikasnosti uređaja jedan od načina smanjenja

emisije je prelazak na gasovita goriva. Emisija ugljen dioksida pri sagorevanju metana je skoro dva puta manja nego pri sagorevanju uglja pri istoj količini oslobođene toplote.

Granične vrednosti emisije postrojenja (GVE), odnosno maksimalno dopuštene emisije, su dogovorene veličine, zavisno od zemlje, tipa postrojenja, goriva i nominalne toplotne snage. Što se tiče gasovitih goriva, limitirane su emisije NO_x, CO, SO₂ i čestica. Na slici 1 dati su podaci za granične vrednosti emisija (GVE) gasnih uređaja za domaćinstva.

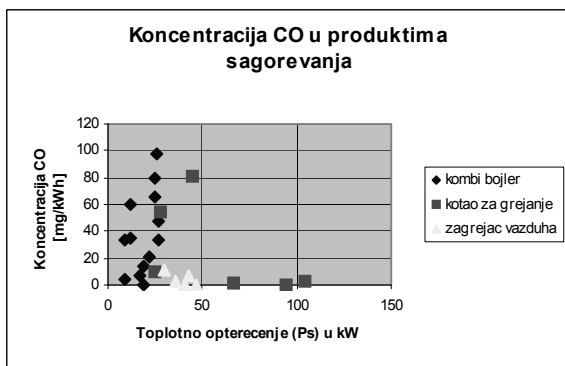


Slika 1: Granične vrednosti emisija uređaja za domaćinstva

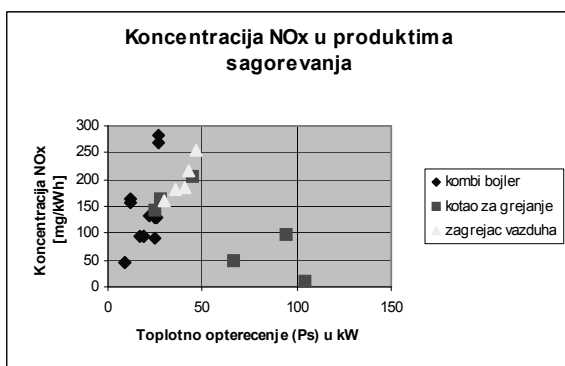
Uobičajeno je da se minimalni stepen korisnosti takođe propiše. Prema DIN 4702, za gasne uređaje u domaćinstvu, stepen korisnosti iznosi minimalno 85%.

Sa druge strane, kakva je situacija u praksi, interesantni su rezultati istraživanja analize performansi 22 gasna uređaja na tržištu Srbije, slike 2 i 3.

Rezultati pokazuju da većina ispitivanih uređaja zadovoljava propise DIN 4702. Jedan uređaj ne zadovoljava potreban stepen korisnosti, 5 uređaja ne zadovoljava GVE NO_x i svi uređaji zadovoljavaju GVE CO. Kako se vremenom pooštavaju kriterijumi tako sve manji broj uređaja uspeva da ih zadovolji. Svega tri uređaja zadovoljavaju Blue Angel propise a samo jedan Hamburški standard. Očigledno je da će sagorevanje i razvoj uređaja za sagorevanje još dugo biti predmet rada istraživača i inženjera jer će buduće GVE biti još oštrije.



Slika 2: Emisija CO u funkciji toplotnog opterećenja



Slika 3: Emisija NOx u funkciji toplotnog opterećenja

TENDENCIJE RAZVOJA UREĐAJA ZA SAGOREVANJE

Razvoj uređaja za sagorevanje se koncentriše na:

- smanjenje emisije;
- povećanje energetske efikasnosti;
- povećanje dinamičkog opsega rada (odnos maksimalne i minimalne toplotne snage);
- decentralizaciju, poligeneracione sisteme za grejanje, hlađenje, proizvodnju električne energije za lokalne potrošače sa velikim promenama u vršnom i baznom opterećenju od nekoliko kW do više stotina kW – mikro sistemi (gorivne ćelije, mikro gasne turbine, mikro klipni motori);
- mogućnosti korišćenja lokalnih obnovljivih izvora energije (biomasa - biogas);
- smanjenje cene;
- mogućnost korišćenja različitih goriva u jednom uređaju (višegorivost);
- povećanje pouzdanosti.

Realizacija ovih tendencija ograničena je tehnološkim mogućnostima sagorevanja, konstruktivnim materijalima i cenom.

Što se tiče sagorevanja gasovitih goriva normalno je da su koncentracije izvora formiranja sumpor dioksida (sumporvodonik, merkaptani) vrlo male u gasovitim gorivima što znači da je emisija SO₂ takođe vrlo mala te nije predmet ovog rada. Slična situacija je sa emisijom čestica (čadi). Samo u akcidentnim situacijama može da se javi povećana koncentracija čestica te to takođe nije predmet ovog rada. To znači da je pitanje emisije gasovitih goriva zapravo pitanje emisije NO_x, CO i CO₂. Treba pomenuti i emisiju nesagorelih ugljovodonika (HC). Međutim, ugljovodonična gasovita goriva nisu otrovne supstance a osim toga emisije CO i HC su u vrlo bliskoj korelaciji. Zbog toga, iz uspešnog rešavanja emisije CO proističe i uspešno rešavanje emisije HC.

Drugi fundamentalni problem sagorevanja je pitanje stabilnosti sagorevanja koji će biti tretiran vrlo kratko.

FORMIRANJE OKSIDA AZOTA PRI SAGOREVANJU

Oksidi azota NO i NO₂ koji nastaju pri sagorevanju su štetne i opasne materije jer uništavaju stratosferski ozon čime povećavaju UV zračenje na površinu zemlje a što je opasno po živi svet, izazivaju globalne klimatske promene, kisele kiše i stvaraju fotohemijski smog.

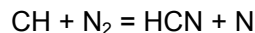
Poznavanje mehanizma nastanka NO_x je neophodno kako bi se realizovali postupci smanjenja emisije NO_x. Fundamentalno poznavanje mehanizma nastanka NO_x je relativno dobro razvijeno. Smatra se da tri mehanizma kontrolišu NO_x: toplotni, brzi i gorivni. Toplotni mehanizam karakterišu tri reakcije:



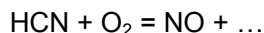
Reakcija (1) je inicirajuća i dešava se na visokim temperaturama u prisustvu O atoma. Reakcija je relativno spora, dešava se u postplamenoj zoni i zapravo kontrolišu brzinu nastajanja NO_x. Reakcije (2) i (3) prate reakciju (1) i relativno su brze. To znači da su visoka temperatura i prisustvo atomskog kiseonika pogodni uslovi za nastanak toplotnog NO.

Brzi NO nastaje u toku procesa sagorevanja goriva. Naime, sagorevanje se odvija kroz niz transformacija molekula goriva pri čemu se javljaju CH radikali koji su vrlo aktivni i reaguju

sa molekularnim azotom formirajući cijano grupu HCN:



Ova reakcija se odvija na relativno niskoj temperaturi od oko 1000 K, pre svega u zonama gorive smeše bogatoj gorivom. Cijano grupa reaguje sa kiseonikom dajući NO:



Brzi NO očigledno nastaje u zoni plamena, znatno pre toplotnog NO_x.

U praksi, interakcija hemijske kinetike, turbulentnog strujanja, prenosa mase i toplote su komplikovane i povezane pojave čime je otežano razumevanje i predviđanje nastanka NO_x.

U slučaju klasičnih gasovitih goriva ne postoji hemijski vezan azot u molekulima goriva tako da gorivni mehanizam nastanka NO_x nije relevantan.

TEHNIKE SMANJENJA EMISIJE NO_x

Metode smanjenja emisije NO_x mogu da se sistematizuju u primarne i sekundarne mere. Modifikacije procesa sagorevanja su primarne mere, a metode nakon procesa sagorevanja su sekundarne mere. Ovaj rad se bavi samo primarnim merama.

Primarne mere su kombinacije prostorne i vremenske raspodele goriva i vazduha. U principu radi se o više tehnika: u jednoj, pripremi se goriva smeša sa viškom goriva koja delimično sagori, čime se postiže niska temperatura plamena i mala koncentracija atoma kiseonika, a zatim se dogorevanje obavi dovođenjem vazduha što takođe rezultuje relativno niskom temperaturom plamena, čime se izbegnu povoljni uslovi za formiranje toplotnog NO. U drugoj tehnici, pripremi se goriva smeša sa viškom vazduha, takozvana siromašna smeša, koja daje nisku temperaturu plamena i time takođe izbegnu povoljni uslovi za nastanka NO. Trećom tehnikom se povoljnom aerodinamikom ostvaruje recirkulacija produkata sago-revanja koji se mešaju sa svežom smešom čime se snižava temperatura plamena i smanjuje koncentracija kiseonika. Četvrta tehnika se zasniva na sagorevanju gorive smeše u koju se naknadno uvodi određena količina goriva čime se ostvaruje redukcija već nastalog oksida azota formiranjem molekularnog azota. Dogorevanje se završava u trećoj zoni uvođenjem potrebne količine vazduha. Ova tehnika zahteva nešto duže potrebno

vreme da bi se obavile potrebne hemijske reakcije.

FORMIRANJE UGLJEN MONOKSIDA PRI SAGOREVANJU

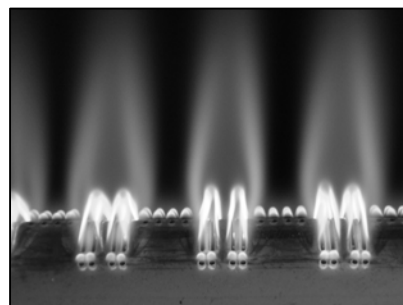
Ugljen monoksid je veoma opasan krvni otrov. Brzo se formira kao međufaza sagorevanja ugljovodoničnih goriva, koju nije moguće izbeći, a zatim relativno sporo oksidiše u ugljen dioksid, kao neotrovni, konačni produkt sagorevanja. Povoljni faktori za prisustvo CO u konačnim produktima sagorevanja su nedovoljna količina vazduha, loše mešanje goriva i vazduha, niska temperatura plamena i nedovoljno raspoloživo vreme za oksidaciju CO u CO₂. Tehnike smanjenja emisije CO se zasnivaju na umanjivanju efekata gore pomenutih faktora. Nažalost, to su istovremeno povoljni uslovi za nastanak oksida azota. Savremene tehnike sagorevanja pokušavaju da obezbede kompromis i time optimalne koncentracije CO i NO_x u produktima sagorevanja. Ali to su takođe povoljni uslovi za pojavu nestabilnog sagorevanja, što mora da bude izbegnuto. Kada se tome doda potreba što većeg dinamičkog opsega rada uređaja situacija se višestruko komplikuje.

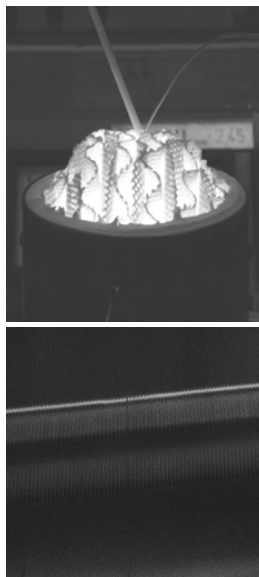
SISTEMATIZACIJA TEHNIKA SAGOREVANJA GASOVITIH GORIVA

Sistematizaciju tehnika sagorevanja moguće je izvršiti prema različitim kriterijumima ali je uobičajena sledeća podela:

Prema prostoru gde se odvijaju hemijske reakcije, slika 4:

- u slobodnom prostoru (ložištu);
- u poroznoj strukturi;
- na površini čvrste faze (katalitičko).

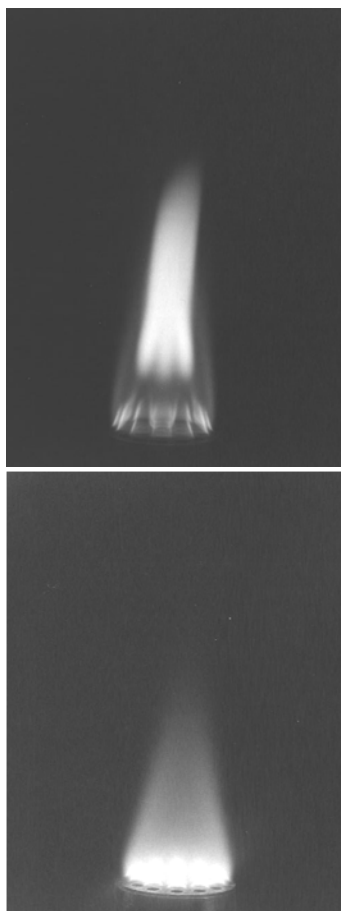




Slika 4: Sagorevanje u slobodnom prostoru (a)², u poroznoj strukturi (b)⁴ i površinsko (c)⁵

Prema načinu mešanja goriva i oksidatora, slika 5:

- difuzioni plamen;
- predmešani plamen.



Slika 5: Difuzioni plamen (a), predmešani plamen (b)⁴

Prema načinu dovođenja oksidatora:

- prinudno dovođenje;
- prirodno dovođenje.

OSNOVNA PODELA GORIONIKA

Gorionici su uređaji kojima se upravlja protokom i mešanjem goriva i vazduha i ostvaruje stabilan plamen željenog oblika. Uobičajena podela gorionika je prema vrsti plamena i strujanju:

Difuziono-laminarne gorionike odlikuje jednostavnost konstrukcije, svetleći plamen, odsustvo uvlačenja plamena, veliki dinamički opseg rada, tih rad, moguća povećana emisija NO_x, CO i čađi, niska cena.

Difuziono-turbulentni gorionici su slični kao i laminarni ali imaju veću snagu po jedinici zapremine plamena, viši nivo buke i takođe nisku cenu.

Atmosferski gorionici su oni u kojima se primarni vazduh uvodi ejektivnim dejstvom goriva. Karakteriše ih jednostavnost konstrukcije, svetleći/nesvetleći plamen, moguće uvlačenje plamena u gorionik, mali dinamički opseg, relativno nizak nivo buke, mogućnost niske emisije i niska cena.

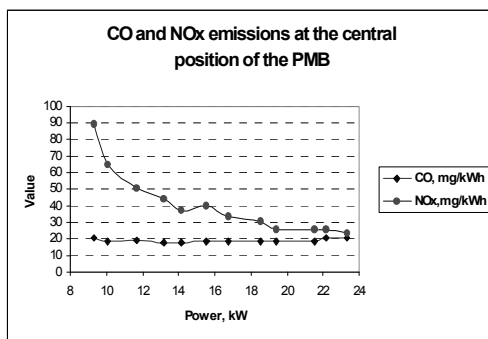
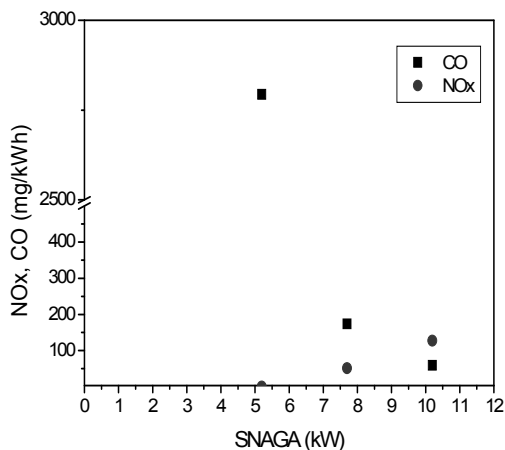
Gorionici sa prinudnim dovođenjem vazduha ili predmešani (gorivo + vazduh) lako ostvaruje željeni koeficijent viška vazduha (odnos stvarnog i minimalnog potrebnog vazduha za potpuno sagorevanje, kontrola protoka goriva i vazduha je relativno jednostavna i tačna, veliki dinamički opseg, moguće oduvavanje plamena pri velikim snagama, mogućnost kontrole geometrije plamena, moguća višegorivost, moguća niska emisija ali visoka cena.

Katalitičke gorionike karakteriše sagorevanje u prisustvu čvrste supstance (katalizatora) koji bitno ubrzava hemijske reakcije. Takve gorionike karakterišu stabilnost rada, prenošenje toplote uglavnom zračenjem, vrlo niska emisija ali i problemi: moguće nepotpuno sagorevanje, potrebno predgrevanje katalizatora, visoka cena katalizatora, kratki radni vek i prljanje katalizatora.

UTICAJNI PARAMETRI NA EMISIJU I STABILNOST SAGOREVANJA

Uticajni parametri na emisiju i stabilnost sagorevanja su brojni i kompleksni: Tip plamena (difuzioni, predmešani ili kombinovani), snaga, karakteristike ložišta, temperatura plamena, geometrija gorionika, kvalitet goriva, metoda dovođenje vazduha i goriva, geometrija plamena, karakteristike strujnog polja (laminarno, turbulentno), karakteristike koncentracionog i temperaturskog polja, raspoloživo vreme za hemijske reakcije, recirkulacija produkata sagorevanja, prenos toplote i mase, konstruktivni materijali, primena tehnika obrada produkata sagorevanja nakon sagorevanja.

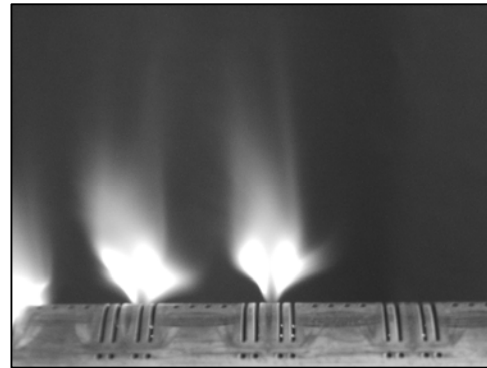
Na slici 6 prikazane su emisije NO_x i CO za dva tipa sagorevanja. Na slici 6 (a) jasno se uočava suprotno ponašanje emisija NO_x i CO.



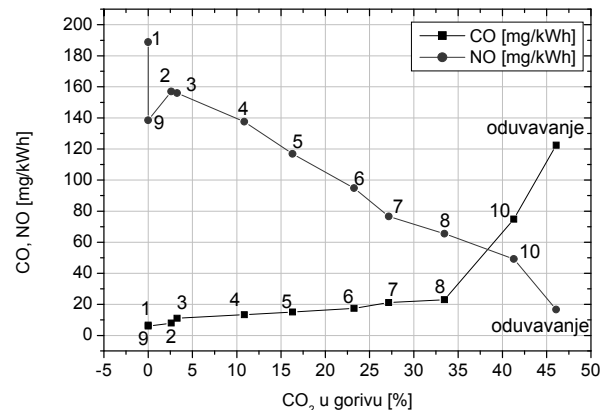
Slika 6: Emisije NO_x i CO sagorevanje u slobodnom prostoru (a)⁵ u porznoj strukturi (b)⁴

UTICAJ KVALITETA GORIVA

Gasovita goriva često sadrže i balastne komponente, najčešće CO_2 i N_2 koje pogoršavaju ili onemogućuju stabilno sagorevanje, menjaju strukturu plamena i emisiju, slike 7 i 8.

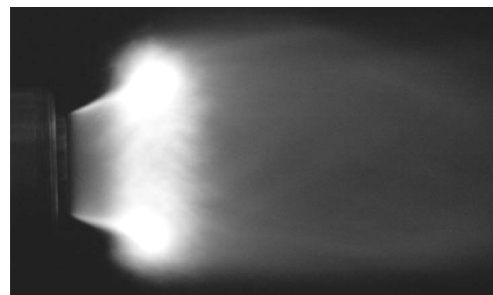


Slika 7: Gorivo propan i 40% CO_2

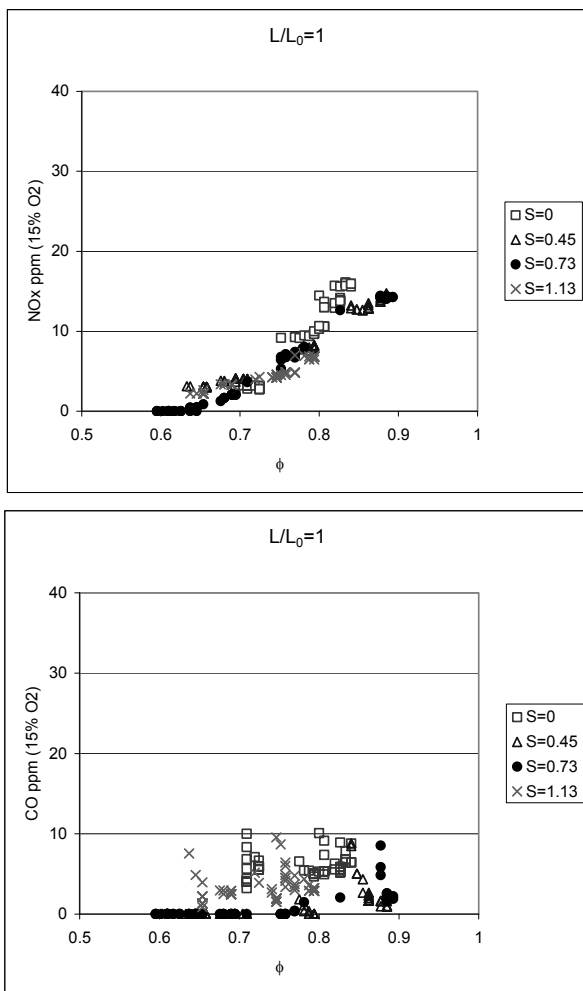


Slika 8: Emisija NO_x i CO u zavisnosti od CO_2

Povoljni efekti na stabilnost plamena i emisiju korišćenjem karakteristika turbulentnog strujnog polja, prenosa toplote i mase i recirkulacije produkata sagorevanja se vidi na slikama 9 i 10.



Slika 9: Torusna recirkulaciona zona komore za sagorevanje mikro gasne turbine⁸



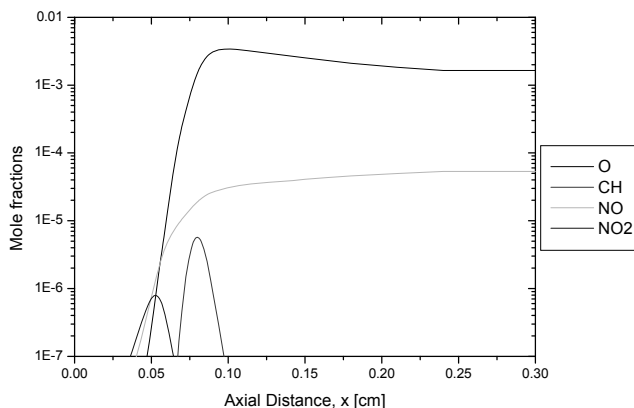
Slika 10: Emisije NO_x i CO u zavisnosti od recipročne vrednosti koeficijenta viška vazduha⁸

Jasno se vidi na slici 10 kako je moguće uspešno rešiti problem emisije NO_x i CO pravilnom kombinacijom kompleksnih uticajnih parametara.

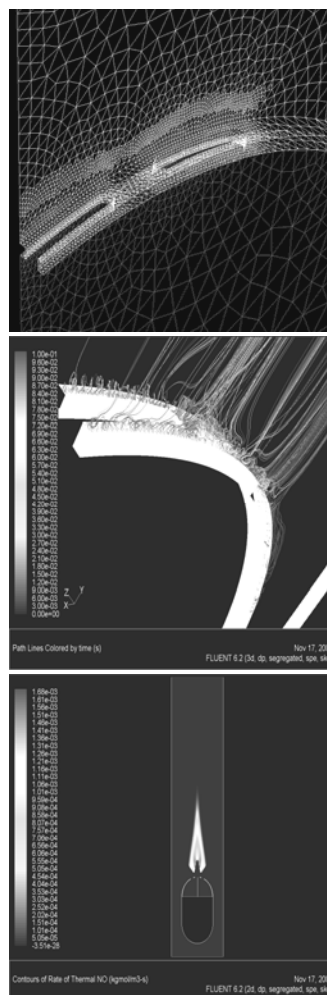
ULOGA NUMERIČKIH ISTRAŽIVANJA U RAZVOJU UREĐAJA ZA SAGOREVANJE

Numerička istraživanja su moćan alat koji omogućuje relativno jeftin i brz proračun i varijaciju uticajnih parametara u cilju razvoja i optimiranja novih tehnika i uređaja za sagorevanje. Nažalost numerička istraživanja imaju puno ograničenja koja utiču na stabilnost proračuna, tačnost i vreme potrebno za proračun s obzirom na velike probleme postavljanja odgovarajućeg fizičkog i matematičkog modela, mreže, graničnih i početnih uslova i matematičku difuziju. Svaki ozbiljniji proračun sagorevanja zahteva eksperimentalnu potvrdu. Ipak, numeričke metode se uspešno koriste, ali uvek treba imati

u vidu njihova ograničenja. Na slikama 11 i 12 prikazani su rezultati numeričkih istraživanja sagorevanja metana u atmosferskom gorioniku korišćenjem kodova za hemijsku kinetiku CHEMKIN i strujanje FLUENT8.



Slika 11: Profil koncentracija fronta plamena metan-vazduh⁸



Slika 12: Mreža plamenih otvora (a), strujnice (b) i brzina nastajanja toplotnog NO_x (c)⁸

ZAKLJUČAK

U radu je u kratkim crtama, koliko je rapoloživi prostor dopuštao, dato stanje savremenih tehnika sagorevanja gasovitih goriva a prema zahtevima koji se postavljaju u smislu zaštite okoline, efikasnosti i stabilnosti sagorevanja. Takođe, ukratko je dotaknuta problematika numeričkih istraživanja u sagorevanju. Relativno mali obim rada, s obzirom na širinu i savremenost teme, je neizostavno imao za posledicu izostavljanje nekih važnih detalja kao i nekih važnih aspekata ove teme, ali ipak, rad pruža mogućnost uvida u stanje tehnologije sagorevanja gasovitih goriva.

LITERATURA

- /1/ International Energy Agency, World Energy Outlook 2004, oktobar 2004.
- /2/ M. Adžić i S. Milivojević, „Osnovi tehnologije sagorevanja u keramičkoj poroznoj sredini“, Gas, god. VII, br. 4, str. 5 – 9, Beograd, 2002.
- /3/ „Istraživanje i razvoj efikasnih i ekološki zadovoljavajućih gasnih uređaja za pripremu tople vode, grejanje i kuvanje“, Projekt NP EEKS 407-83B, finansiralo Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Srbije i Crne Gore, 2003-2005.
- /4/ M. Adžić, V. Fotev, Ž. Terzić, V. Buljak, „Presek stanja performansi gasnih uređaja za domaćinstvo na tržištu Srbije i Crne Gore“, Simpozijum Termičara Srbije i Crne Gore, Zlatibor, 2003.
- /5/ F. Avdic, M. Adzic, F. Durst, G. Atagunduz, D. Trimis, „Towards Optimal Use of Porous Medium Combustion Technology in Household Heating Systems“, Clean Air Conference, Lisbon, 2003.
- /6/ FP6 project „Flexible Premixed Burners for Low-Cost Domestic Heating Systems“ FlexHEAT INCO-CT- 2004-50916, od 2004. Ovaj trogodišnji evropski projekt u

okviru Programa FP6 je prihvaćen na bazi ideja i rezultata na kojima se zasnivao EEKS 407-83B projekt.

- /7/ M. Adžić, V. Fotev, A. Milivojević, „Eksperimentalno istraživanje efekta nekih uticajnih parametara na emisiju CO i NOx atmosferskog gasnog gorionika“, Gas, VII, br. 4, Beograd, 2004.
- /8/ M. Adžić, V. Fotev, A. Milivojević, S. Jovanović, „Uticaj kvaliteta prirodnog gasa na performanse gasnog kotla za domaćinstva“, Gas, Beograd, januar 2006.
- /9/ Adzic, M., Fotev, V., Zivkovic, M., A. Milivojevic, „Effect of a Microturbine Combustor Type on Emissions at Lean Premixed Conditions“, 42nd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, Sacramento, USA, 2006.

MODERN TECHNICS OF GASEOUS FUELS COMBUSTION

This paper is concerned in brief with the state-of-the-art of gaseous fuel combustion technics regarding environmental protection, efficiency and stability of combustion devices. Following this concept, limitations and requirements of performances of combustion devices are explained in detail. Particularly, low emissions techniques of nitrogen oxides and carbon monoxide, the main pollutants during combustion of gaseous fuels, are analyzed. Thereafter, gas combustion techniques and burners are classified and influential parameters on emissions and flame stability are given. The effects of trends to using renewable energy sources and low quality classical gaseous fuels are analyzed, too. In addition, the paper tackles numerical research in combustion.

Key words: combustion, gaseous fuels, state-of-the-art.