



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U NOVOM SADU



**ISTRAŽIVANJE UTICAJA PROCESNIH PARAMETARA NA PIROLIZU I
GASIFIKACIJU OTPADNIH AUTOMOBILSKIH PNEUMATIKA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor

Prof. dr Slavko Đurić

Kandidat

Mr Milan Milotić

Novi Sad, 2015.

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA**

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada (dipl., mag., dokt.): VR	Doktorski rad
Ime i prezime autora: AU	Mr Milan Milotić, dipl. inž. maš.
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje):	Dr Slavko Đurić, vanredni profesor.
Naslov rada: NR	Istraživanje uticaja procesnih parametara na pirolizu i gasifikaciju otpadnih automobilskih pneumatika.
Jezik publikacije: JP	Srpski
Jezik izvoda: JI	Srpski / Engleski
Zemlja publikovanja: ZP	Srbija
Uže geografsko područje: UGP	Vojvodina
Godina: GO	2015.
Izdavač: IZ	Autorski reprint
Mesto i adresa: MA	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Fizički opis rada: FO	7 / 250 / 55 / - / 123 / 59 (broj poglavlja / stranica / slika / grafikona / referenci / priloga)
Naučna oblast: NO	Inženjerstvo zaštite životne sredine.
Naučna disciplina: ND	Inženjerstvo zaštite životne sredine.
Predmetna odrednica, ključne reči:	Otpadni automobilski pneumatici, piroliza, gasifikacija, matematički model.
UDK	
Čuva se: ČU	U biblioteci Fakulteta tehničkih nauka
Važna napomena: VN	

<p>Izvod: IZ</p>	<p>U disertaciji je prikazan matematički model gasifikacije otpadnih automobilskih pneumatika. Modelom je istražen uticaj količine ubačenog vazduha i vodene pare u gasifikator i temperatura gasifikacije na prinos gasovitih produkata. Numerička procedura je riješena Newton-Raphson metodom a brojne vrijednosti molskih udjela gasovitih komponenata u ravnotežnoj mješavini dobijene su korišćenjem programskog jezika C.</p> <p>U drugom dijelu disertacije prikazano je eksperimentalno ispitivanje pirolize otpadnih automobilskih pneumatika. Eksperimentalni rezultati ukazuju da na prinos gasa, odnosno na prinos čvrstog (koksno) ostatka značajno utiču parametri: veličina čestice otpadne gume, temperatura pirolize i brzina zagrijavanja uzorka.</p>
<p>Datum prihvatanja teme od strane Senata:</p>	
<p>Datum odbrane: DO</p>	
<p>Članovi komisije: (ime i prezime / titula / zvanje / naziv organizacije / status) KO</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>predsjednik</i>: dr Branka Nakomčić - Smaragdakis, vanredni profesor, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad. 2. <i>član</i>: dr Ejub Džaferović, redovni profesor, Mašinski fakultet, Sarajevo. 3. <i>član</i>: dr Dragana Štrbac, docent, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad. 4. <i>član</i>: dr Petko Stanojević, docent, Saobraćajni fakultet Doboj. 5. <i>mentor</i>: dr Slavko Đurić, vanredni profesor, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.

**UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES**

KEY WORD DOCUMENTATION

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: TR	Textual printed material
Contents code: CC	Ph D thesis
Author: AU	MSc Milan Milotić, mech. eng.
Mentor: MN	PhD Slavko Đurić, associate professor
Title: TI	Investigation of the influence of process parameters on the pyrolysis and gasification of waste automotive tires
Language of text: LT	serbian
Language of abstract: LA	eng. / srp.
Country of publication: CP	Serbia
Locality of publication: LP	Vojvodina
Publication year: PY	2015
Publisher: PU	Author's reprint
Publication place: PP	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Physical description: PD	7 / 250 / 55 / - / 123 / 59 (chapters / pages / pictures / graphs / references / appendixes)
Scientific field SF	Environmental Engineering
Scientific discipline SD	Environmental Engineering
Subject, Key words SKW	Waste automobile tires, pyrolysis, gasification, the mathematical model.
UC	
Holding date: HD	The library of Faculty of technical sciences, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Note:	

<p>Abstract: AB</p>	<p>The dissertation presents a mathematical model of gasification of waste automotive tires. The model examined the impact of the amount of the loaded air and water vapor in the gasifier and gasification temperature to yield gaseous products. The numerical procedure is resolved Newton-Raphson method and the numerical values of mole portions of gaseous components in the equilibrium mixture obtained using the programming language C.</p> <p>In the second part of the thesis is shown experimentally testing pyrolysis of waste automotive tires. Experimental results indicate that the yield of gas, or to yield a solid (coke) significantly affect the rest of the parameters: the size of the particles of waste rubber pyrolysis temperature and heating rate of the sample.</p>
<p>Accepted on Senat on: AS</p>	
<p>Defended: DE</p>	
<p>Thesis Defend Board: DB</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>president</i>: PhD Branka Nakomčić - Smaragdakis, associate professor, Faculty of technical sciences, Novi Sad, Serbia 2. <i>member</i>: PhD Ejub Džaferović, full professor, Faculty of Mechanical engineering, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina 3. <i>member</i>: PhD Dragana Štrbac, assistant professor, Faculty of technical sciences, Novi Sad, Serbia 4. <i>member</i>: PhD Petko Stanojević, assistant professors, Faculty of Traffic Engineering, Doboj, Bosnia and Herzegovina. 5. <i>mentor</i>: PhD Slavko Đurić, associate professor, Faculty of technical sciences, Novi Sad, Serbia.

SADRŽAJ

1. UVOD	- 1 -
1.1. Svrha i cilj istraživanja	- 3 -
1.2. Metodologija rada	- 3 -
1.3. Struktura rada	- 4 -
1.4. Dosadašnja istraživanja	- 5 -
LITERATURA	- 6 -
2. ZAKONSKE REGULATIVE O UPRAVLJANJU OTPADOM	- 9 -
2.1. Zakonodavstvo Evropske Unije	- 9 -
2.2. Ekonomski instrumenti EU za upravljanje tokovima otpada	- 10 -
2.3. Zakonodavstvo Republike Srbije	- 11 -
2.3.1. Postojeći propisi o upravljanju otpadom	- 11 -
2.3.2. Upravljanje otpadnim gumama	- 12 -
2.3.3. Finansiranje upravljanja otpadom	- 13 -
2.3.4. Kaznene odredbe	- 13 -
2.3.5. Odgovorne institucije u upravljanju otpadom	- 14 -
2.3.6. Ključni principi upravljanja otpadom	- 14 -
2.4. Zakonodavstvo Bosne i Hercegovine	- 15 -
2.4.1. Nadležnost ministarstava	- 15 -
2.4.2. Zakoni vezani za zaštitu životne sredine u BiH	- 16 -
2.4.3. Okolišni zakoni u Federaciji BiH	- 16 -
2.4.4. Zakon o zaštiti životne sredine u Republici Srpskoj	- 17 -
2.4.5. Komentar na zakonske odredbe	- 18 -
LITERATURA	- 19 -
3. KARAKTERISTIKE OTPADNIH AUTOMOBILSKIH PNEUMATIKA KAO GORIVA	- 20 -
3.1. Otpadni automobilski pneumatiki (OAP) kao gorivo	- 20 -
3.2. Sastav automobilskih pneumatika	- 20 -
3.3. Uticaj hemijskog sastava OAP na toplotnu moć	- 25 -
3.4. Kvalitativna ocjena karakteristika OAP	- 28 -
LITERATURA	- 33 -
4. POSTUPCI PRERADE OTPADNIH AUTOMOBILSKIH PNEUMATIKA	- 35 -
4.1. Fizička svojstva	- 35 -
4.2. Hemijska svojstva	- 38 -

4.3	Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika	- 38 -
4.4	Gasifikacija otpadnih automobilskih pneumatika.....	- 44 -
4.5	Sagorijevanje otpadnih automobilskih pneumatika	- 45 -
4.5.1.	Analiza postojećih rešenja za sagorijevanje otpada i OAP	- 47 -
4.5.2.	Stehiometrijske jednačine sagorijevanja OAP	- 51 -
4.5.2.1.	Brojčani primjer proračuna materijalnog bilansa procesa sagorijevanja OAP	- 55 -
4.5.3.	Određivanje adijabatske temperature sagorijevanja OAP.....	- 58 -
4.5.3.1.	Brojčani primjer proračuna entalpije dimnih gasova.....	- 60 -
4.6.	Emisija zagađujućih materija iz postrojenja za sagorijevanje OAP	- 63 -
	LITERATURA.....	- 67 -
5.	MATEMATIČKI MODEL PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OAP.....	- 68 -
5.1.	Proračun termodinamičke ravnoteže hemijskih reakcija	- 68 -
5.2.	Proračun ravnotežnog sastava gasifikacije OAP na osnovu odnosa ukupnih količina ugljenika, kiseonika, vodonika i azota koje stupaju u reaktorski prostor.....	- 75 -
5.3.	Proračun homogenog ravnotežnog sastava gasifikacije OAP.....	- 76 -
5.4.	Proračun ravnotežnog sastava gasifikacije OAP pomoću proračuna nepotpunog sagorijevanja goriva.....	- 77 -
5.5.	Brojčani primjer proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP pri uvođenju vazduha u reakcioni prostor (gasifikator)	- 78 -
5.5.1.	Proračun na osnovu odnosa količina ulaznih materija (pasus 5.2 i 5.3)	- 78 -
5.5.2.	Proračun na osnovu jednačina nepotpunog sagorijevanja goriva (pasus 5.4)-	80 -
5.6.	Poređenje matematičkog modela gasifikacije sa podacima iz literature	- 91 -
	LITERATURA.....	- 94 -
6.	EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA PROCESA PIROLIZE OTPADNIH AUTOMOBILSKIH PNEUMATIKA	- 96 -
6.1.	Uzorkovanje i priprema OAP	- 96 -
6.2.	Laboratorijske analize OAP	- 97 -
6.3.	Šema i opis eksperimentalnog postrojenja za pirolizu OAP	- 98 -
6.4.	Rezultati eksperimentalnog ispitivanja.....	- 101 -
6.4.1.	Rezultati i diskusija eksperimentalnog ispitivanja.....	- 101 -
6.4.1.1.	Karakteristike OAP	- 101 -
6.4.1.2.	Uticaj temperature pirolize.....	- 102 -
6.4.1.3.	Uticaj veličine čestice	- 104 -
6.4.1.4.	Uticaj brzine zagrijavanja	- 105 -

6.4.1.5. Čvrsti ostatak dobijen procesom pirolize	- 105 -
6.4.1.6. Sastav pirolitičkog gasa.....	- 106 -
6.5. Poređenje eksperimentalnih podataka sa podacima iz literature.....	- 107 -
6.6. Obrada rezultata ispitivanja procesa pirolize OAP	- 109 -
6.6.1. Karakteristike proizvedenog gasa.....	- 109 -
6.6.2. Materijalni bilans	- 110 -
6.6.3. Toplotni bilans	- 113 -
6.6.4. Stepenn korisnosti pirolitičkog reaktora	- 115 -
LITERATURA.....	- 116 -
7. ZAKLJUČAK.....	- 118 -
POPIS OZNAKA I SIMBOLA	- 121 -
POPIS SLIKA	- 123 -
POPIS TABELA.....	- 126 -
POPIS PRILOGA.....	- 128 -
PRILOZI	- 132 -

1. UVOD

Potreba za energijom u svijetu neprekidno raste. Zalihe tradicionalnih, fosilnih, neobnovljivih goriva (uglja, nafte, zemnog gasa) su sve manje. Upravo zbog te činjenice treba se okrenuti drugim izvorima energije koji se nalaze u prirodi i koji su obnovljivi kao na primjer: poljoprivrednoj i drvnjoj biomasi, komunalnom čvrstom otpadu, otpadnim automobilskim gumama i drugim otpadnim materijalima.

Masovno korišćenje drumskih vozila prouzrokuju brojne ekološke probleme. Pored emisije gasovitih zagađujućih komponenti (NO_x , SO_x , CO_2 , CO) i čađi koje nastaju korišćenjem drumskih vozila i otpadne automobilske gume imaju štetan uticaj na životnu sredinu. U Bosni i Hercegovini pa i u Srbiji se do pre nekoliko godina otpadne gume odlagane uglavnom na divlje deponije i zato su predstavljale ozbiljan ekološki problem. Od 2009. godine usaglašavanjem zakonske regulative u ovoj oblasti sa zakonima Evropske Unije odlaganje otpadnih guma na divlje deponije je zabranjeno a otpadne gume se tretiraju kao važan energetski materijal i kao sirovina za proizvodnju raznih gumenih proizvoda. Odlaganje guma na deponije u svijetu se pokazalo kao veoma loše rješenje (glomazne su i zauzimaju veliki prostor i ne degradiraju se na deponijama). Prema tome pored ekoloških problema koje prouzrokuju otpadne gume na deponijama radi se i o gubitku korisnog energetskog izvora. Gume sadrže veliku količinu isparljivih materija i ugljenika čija je toplotna moć veća od toplotne moći uglja. Zato je guma dobar materijal za sagorijevanje, pirolizu i gasifikaciju.

Piroliza je termičko razlaganje materijala bez prisustva kiseonika pri čemu se dobija smješa gasova bogata ugljovodicima, bio - ulje i čvrsti ostatak (koks) bogat ugljenikom. Proces pirolize otpadne gume obavlja se uglavnom u pećima sa fluidizovanim slojem i rotacionim pećima. Produkti pirolize mogu se koristiti kao goriva kod raznih motora.

Gasifikacijom se materije (goriva) prevode u gasovite komponente uglavnom u CO , H_2 , CH_4 , CO_2 i N_2 . Pomoćne radne materije mogu biti vazduh, tehnički kiseonik i vodena para.

Toplota koja je neophodna za gasifikaciju obezbjeđuje se uglavnom sagorijevanjem goriva na primjer biomase, otpadnih guma itd. Gas dobijen procesom gasifikacije koristi se najčešće u proizvodnji toplote ili električne energije pomoću gasnih turbina.

Direktno sagorijevanje otpadnih automobilskih pneumatika vrši se u prisustvu vazduha i to nakon formiranja komada (granula).

Sagorijevanjem OAP i drugih materijala nastaju vrela gasovi koji se najčešće koriste za grijanje.

Pored otpadnih automobilskih guma za Srbiju je veoma bitno i korišćenje biomase u energetske svrhe. Biomasa u Srbiji predstavlja jedan od značajnijih izvora obnovljive energije. Prema Direktivi 2011/77/EC biomasa predstavlja biorazgradivi dio proizvoda, otpada i ostataka u poljoprivredi (uključujući biljne i životinjske supstance), u šumarstvu i pripadajućoj industriji, kao i biorazgradivi dio industrijskog i gradskog otpada. Biomasa je živa ili doskora živa materija, biljnog ili životinjskog porijekla, koja može da se koristi kao gorivo ili za industrijsku proizvodnju. Kao obnovljiv izvor energije, biomasu možemo podijeliti na: drvenu biomasu (piljevina, ostaci prilikom orezivanja drveća i sl.), poljoprivrednu biomasu (pšenična slama, kukuruzovina i sl.), životinjski otpad i ostaci (životinjski izmet, lešine životinja i sl.) i biomasu iz otpada (zelena frakcija kućnog otpada, mulj iz kolektora prečišćivača vode). Svjetski potencijal biomase je takav da bi se iz nje moglo obezbijediti dvadeset puta više energije nego što su trenutne potrebe za električnom energijom. Svjetski resursi na bazi poznatih i dostupnih tehnologija su takvi da se iz biomase može konvertovati 40% od trenutne potražnje za električnom energijom. Srbija sa površinom od 88 361 km², od čega je šumom prekriveno oko 24 000 km², dok je oko 45 000 km² poljoprivredno zemljište, ima izuzetno veliki potencijal u biomasi. U Srbiji se svake godine proizvede oko 13 miliona tona biomase, od toga samo u Vojvodini oko 9 miliona tona godišnje. Imajući u vidu tendencije energetskog sektora u svijetu, a uvažavajući činjenicu da Srbija posjeduje značajne energetske resurse u biomasi (procenjuje se oko 2,7 miliona tona godišnje), izvjesno je da bi se razvojem ovoga sektora mogao dugoročno obezbijediti neophodan energetski izvor. Energija koja bi se mogla dobiti korišćenjem ovog resursa je 2,68 miliona tona ekvivalentne nafte, koja bi uštedila oko 60 miliona evra godišnje na račun uvoza električne energije.

Proizvodnja energije bazirane na biomasi obuhvata postupke od sakupljanja biomase do konačnog snadbijevanja energijom. Procesi prevođenja biomase u energiju mogu biti različiti, a u zavisnosti od željenog proizvoda neophodno je obezbijediti odgovarajuće uslove za konverziju biomase. Najstariji način korišćenja energije biomase je sagorijevanje.

Osim sagorijevanja, energija se iz biomase može iskoristiti tehnikama termohemijske konverzije, kao što su piroliza, likvefakcija i gasifikacija. Biomasa može biti konvertovana u drugi fenotip energije ili prerađeno biogorivo termo-hemijskom, fizičko-hemijskom ili bio-hemijskom konverzionom tehnologijom.

1.1. Svrha i cilj istraživanja

Procesi gasifikacije i pirolize biomase, čvrstog komunalnog otpada, otpadnih automobilskih pneumatika (OAP) i drugih otpadnih materijala postaju sve značajniji u energetici, procesnoj tehnici i zaštiti životne sredine. Istraživanja koja se sprovode u ovoj oblasti u svijetu i kod nas su posebno značajna za Srbiju i mogućnost da Srbija nadoknadi svoj energetski deficit iz obnovljivih izvora energije.

Stoga je primarni cilj ove disertacije postaviti funkcionalan matematički model procesa gasifikacije OAP u struji vazduha i čistog kiseonika koji treba da omogući optimizaciju procesa gasifikacije goriva u cilju dobijanja gasovitog proizvoda. Osim toga cilj ove disertacije jeste i eksperimentalno ispitivanje procesa pirolize OAP. U tom cilju konstruisana je i napravljena eksperimentalna aparatura za pirolizu goriva (OAP). Kao gorivo pri eksperimentima korišćene su granule OAP prečnika 3, 5 i 7mm visine 5,5 mm.

1.2. Metodologija rada

Metodologija istraživanja ovog rada temelji se na teorijskoj analizi matematičkog modela sa definisanim procesnim parametrima kojima bi se što tačnije opisale fizičko-hemijske pojave procesa gasifikacije otpadnih automobilskih pneumatika (OAP). Rezultati dobijeni primjenom matematičkog modela sastava ravnotežne mješavine gasifikacije OAP upoređivani su sa teorijskim rezultatima i rezultatima mjerenja drugih istraživača. Matematički model riješit će se odgovarajućom numeričkom metodom. Numerička analiza bit će provedena primjenom programasko jezika C.

U drugom dijelu rada slijedi eksperimentalno ispitivanje procesa pirolize OAP. Eksperimentalna mjerenja vršena se na laboratorijskom postrojenju konstruisanom za pirolizu i gasifikaciju čvrstih goriva na Institutu za energetiku, procesnu tehniku i zaštitu životne sredine Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu. Laboratorijsko postrojenje konstruisano je tako da omogućava istraživanje uticaja: reakcione temperature, veličine čestica granula OAP, reakcionog vremena i brzine zagrijavanja uzorka u reaktoru na prinos pirolitičkog gasa i čvrstog ostatka (koksa).

Rezultati dobijeni eksperimentalnim ispitivanjem procesa pirolize OAP upoređivani su sa teorijskim rezultatima i rezultatima eksperimentalnih istraživanja pirolize OAP i drugih goriva (uglja, biomase) drugih itraživača.

1.3. Struktura rada

U uvodnom poglavlju razmatrani su osnovni termički postupci OAP. Opisan je cilj i metodologija rada te je dat pregled dosadašnjih istraživanja na ovome području.

U drugom poglavlju prikazana je zakonska regulativa o upravljanju otpadom u Evropskoj Uniji (EU), Srbiji i Bosni i Hercegovini. Navedeni su najvažniji propisi, direktive, odluke i preporuke o upravljanju otpadom a posebno OAP. Pored detaljno prikazanih zakonskih normi i direktiva prikazan je ukratko i komentar na zakonske odredbe EU, Srbije i B i H.

U trećem poglavlju su opisane karakteristike OAP kao goriva. Dat je sastav OAP (tehnička i elementarna analiza kao i sastav pepela). Prikazana je komparacija sastava OAP korišćene za sagorijevanje u cementari Beočin sa podacima sastava OAP iz literature. Razmatran je uticaj sastava OAP na toplotnu moć što je posebno značajno za termičku preradu OAP. Prikazana je i kvalitativna analiza OAP kao goriva.

Četvrto poglavlje razmatra postupke prerade OAP. Razmatrani su termički postupci i to: piroliza, gasifikacija i sagorijevanje OAP. Prikazana je analiza postojećih rješenja za termičku preradu OAP. Takođe je prikazana stehiometrija sagorijevanja OAP sa kompletno urađenim primjerom određivanja mase i zapremina produkata sagorijevanja kao i određivanje teorijske temperature sagorijevanja OAP. Emisija zagađujućih materija iz postrojenja za sagorijevanje OAP takođe se razmatra u ovom poglavlju.

Gasifikacija kao termohemijski proces konverzije čvrstog goriva u gasovito gorivo je prilično kompleksan proces pa je teško odrediti jednostavan metod za određivanje kinetike gasifikacije goriva. U tom pogledu razvijen je originalan matematički model procesa gasifikacije goriva koji je prikazan u petom poglavlju.

U šestom poglavlju prikazano je eksperimentalno ispitivanje procesa pirolize otpadne automobilske gume. Tokom ispitivanja korišćena je granulacija otpadnih guma prečnika 3, 5 i 7 mm i visine 5.5 mm. Masa uzorka iznosila je 10 g. Uzorci u reaktoru su zagrijavani od 25-650 °C. Prosječna brzina zagrijavanja uzorka u reaktoru iznosila je 14 , 30 i 60 °C/min. U poglavlju je takođe prikazan materijalni i toplotni bilans pirolitičkog reaktora.

U zaključku kao posljednjem poglavlju, prezentovani su rezultati istraživanja, data je ocjena uspješnosti matematičkog modela gasifikacije i pirolize OAP. Također, predložene su smjernice za daljnji razvoj matematičkog modela gasifikacije i pirolize OAP.

1.4. Dosadašnja istraživanja

Osnovni termički procesi konverzije biomase su sagorijevanje, gasifikacija, piroliza i likvefakcija. Piroliza biomase predstavlja zagrijavanje čvrste biomase u inertnoj atmosferi bez prisustva radnih fluida kako bi se proizveli gasoviti proizvodi (uglavnom CO₂, H₂, CO, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, benzen itd.), tečni proizvodi (katran, visokomolekulski ugljeni hidrati i voda) i čvrsti proizvodi (koksni ostatak). Eksperimentalna ispitivanja procesa pirolize biomase vršena su od strane mnogih istraživača [1-5].

Spora piroliza (sa malom brzinom zagrijavanja) praktikuje se već mnogo godina i podrazumijeva relativno spore reakcije na niskoj temperaturi kako bi se maksimizovao prinos čvrstog koksno ostataka. Razvijeni su različiti pristupi kako bi se optimizovao efikasan sistem bez zagađenja životne sredine [1].

Proizvodnja tečnog goriva brzom pirolizom je obećavajuća tehnologija. Visoki prinosi tečnih proizvoda mogu se postići pri optimalnim uslovima procesa pirolize. Pirolitičko ulje sastoji se od vode i složene mješavine organskih komponenata koje su kondenzovane i prikupljene nakon procesa pirolize. Vrijeme i temperaturni profil formiranja pirolitičkih gasova utiču na sastav i kvalitet tečnih proizvoda [2].

Shuangning et al. [3] istražuju kinetiku pirolize kukuruzne stajljike. Određeni su kinetički parametri (energija aktivacije $E = 33.74 \text{ kJ/mol}$ i faktor učestalosti $k_0 = 1013 \text{ s}^{-1}$) u opsegu temperature 477-627 °C. Mani et al. [4] takođe istražuju kinetičke parametre pšenične slame. Razmatraju tri stadijuma procesa pirolize pšenične slame (stadijum 1, stadijum 2, stadijum 3). Dobijene su kinetički parametri kao što su energije aktivacije (kJ/mol), koeficijent učestalosti (1/min) i red reakcije za tri razmatrana stadijuma: $E_1=69 \text{ kJ/mol}$, $E_2=78 \text{ kJ/mol}$, $E_3=80 \text{ kJ/mol}$, $k_{01}=2.57 \cdot 10^{12}$, $k_{02}=3.97 \cdot 10^7$, $k_{03}=3.17 \cdot 10^6$, $n_1=2.3$, $n_2=0.65$, $n_3=0.27$, respektivno. Iz reda reakcije su primjetili da drugi stadijum procesa pirolize odgovara razgradnji celuloze i hemiceluloze, a treći stadijum odgovara razgradnji lignita. Isti autori su istraživali i uticaj reakcione temperature na produkte pirolize ovsene slame [5]. Uočili su da se prinos bio-ulja povećava pri nižim temperaturama (40.5% pri 450 °C), a prinos pirolitičkog gasa povećava pri višim temperaturama (42% pri 550 °C).

Literaturni podaci [1-15] o modelovanju i kinetici pirolize biomase ne mogu dovoljno

precizno da predvide prinos i distribuciju proizvoda pirolize. U razmatranoj literaturi nema podataka o gasnoj hromatografiji i termogravimetrijskoj analizi mješavine biomase. Ovakva i slična istraživanja su posebno značajna za nacionalnu ekonomiju Srbije s obzirom na visoke prinose poljoprivredne biomase.

Eksperimentalna ispitivanja procesa pirolize otpadne gume vršena su takođe od strane mnogih istraživača. Boukadir et al. [16] je pronašao da je mehanizam termičke degradacije otpadne gume dvostepeni proces, pri čemu prvi korak predstavlja reakciju stepena 1~1.5, dok drugi korak predstavlja reakciju približno stepena 3. Oni su ipak predložili da se pri praktičnim inženjerskim proračunima usvoji da termičku degradaciju otpadne gume prati reakcija prvog stepena. Kim et al. [17] pri procesima pirolize otpadne gume takođe predlažu reakciju prvog stepena. Chen and Yen [18] određuju vrednosti aktivacione energije od 211 kJmol⁻¹ do 153 kJmol⁻¹ i faktor učestalosti od 1.32·10¹⁴min⁻¹ i 5.75·10¹⁸min⁻¹ pri redu reakcije od 0.6 i 0.8 respektivno. Razmatrani literaturni podaci [16-18] i literaturni podaci [19-21] o modelovanju i kinetici pirolize otpadne gume ne mogu dovoljno precizno da predvide prinos i distribuciju proizvoda pirolize. Drugi istraživači [22-28] su posvetili veću pažnju promjeni mase (gubitku mase) otpadne gume tokom procesa pirolize. Uticaj veličine granula (praha) otpadne gume na prinos pirolitičkog gasa i čvrstog ostatka nije istraživano detaljno.

Cilj ovog rada jeste istraživanje uticaja temperature pirolize, veličine granula (praha) otpadne gume, vremena pirolize i brzine zagrijavanja uzorka u pirolitičkom reaktoru na prinos čvrstog (koksno)g ostatka i prinos pirolitičkog gasa.

Republika Srbija je zainteresovana za prijem u Evropsku Uniju (EU) i potpisala je Memorandum o integraciji u energetska tržišta EU. Na taj način prihvatila je obavezu da slijedi politiku i programe EU. Da bi se to ostvarilo u Srbiji se moraju stvoriti tehničke i ekonomske pogodnosti korišćenja otpadnih materijala kao što su: otpadne automobilske gume, poljoprivredna i šumska biomasa, komunalni otpad za podsticanje proizvodnje električne energije.

LITERATURA

- [1] Hu S, Jess A, Xu M, Kinetic study of Chinese biomass slow pyrolysis: Comparison of different kinetic models, Fuel 2007;86:2778 - 2788.
- [2] Vigoroux R. Z., Pyrolysis of biomass, Ph. D. thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2001.
- [3] Shuangning X, Weiming Y, Li B, Flash pyrolysis of agricultural residues using a plasma heated laminar entrained flow reactor, Biomass and Bioenergy 2005;29:135 - 141.

- [4] Mani T, Murugan P, Abedi J, Mahinpey N, Pyrolysis of wheat straw in a thermogravimetric analyzer: Effect of particle size and heating rate on devolatilization and estimation of global kinetics, *Chemical Engineering Research and Design* 2010;88:952 - 958.
- [5] Mani T, Murugan P, Mahinpey N, Pyrolysis of Oat Straw and the Comparison of the Product Yield to Wheat and Flax Straw Pyrolysis, *Energy Fuels* 2011;25:2803 - 2807.
- [6] Ioannidou O, Zabaniotou A, Agricultural residues as precursors for activated carbon production-A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2007;11:1966 - 2005.
- [7] Zabaniotou A, Kalogiannis G, Kappas E, Karabelas AJ. Olive residues (cuttings and kernels) rapid pyrolysis product yields and kinetics, *Biomass Bioenergy* 2000;18:411 - 420.
- [8] Cao Q, Xie K-C, Bao W-R, Shen S-G, Pyrolytic behavior of waste corn cob, *Bioresource Technology* 2004;94:83 - 89.
- [9] Bonelli PR, Della Rocca PA, Cerrella EG, Cukierman AL, Effect of pyrolysis temperature on composition, surface properties and thermal degradation rates of Brazil Nut shells, *Bioresource Technology* 2001;76:15 - 22.
- [10] Gonzalez JF, Encinar JM, Canito JL, Sabio E, Chacon M, Pyrolysis of cherry stones: energy uses of the different fractions and kinetic study, *Journal of Analytical Applied Pyrolysis* 2003;67:165 - 190.
- [11] Calvo LF, Otero M, Jenkins BM, Moran A, Garcia AI, Heating process characteristics and kinetics of rice straw in different atmospheres, *Fuel Processing Technology* 2004;85:279 - 291.
- [12] Green AES, Feng J, Systematics of corn stover pyrolysis yields and comparisons of analytical and kinetic representations, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 2006;76:60 - 69.
- [21] Yaman S, Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks, *Energy Conversion and Management* 2004;45:651 - 671.
- [13] Uzun B, Sarioğlu N, Rapid and catalytic pyrolysis of corn stalks, *Fuel Processing Technology* 2009;90:705 - 716.
- [14] Wang L, Shen S, Yang S, Shi X, Experimental investigation of pyrolysis process of corn straw, *International Journal of Low-Carbon Technologies* 2010;5:182 - 185.
- [15] Demirbas A., Gaseous products from biomass by pyrolysis and gasification: effects of catalyst on hydrogen yield, *Energy Conversion and Management* 2002;43:897 - 909.

- [16] D. Boukadir, J. C. David, R. Granger and J. Vergnaud, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 3, 83 (1981).
- [17] S. D. Kim, J. K. Park and H. D. Chun, *Journal of Environmental Engineering* 121, 507 (1995).
- [18] K. S. Chen and R. Z. Yen, *Combustion and Flame* 180, 408 (1997).
- [19] D. Y. C. Leung, C. L. Wang, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 45, 153 (1998).
- [20] J. M. Bouvier, F. Charbel and M. Gelus, *Resources Conservation* 15, 205 (1987).
- [21] D. Pradhan and R.K. Singh, *International Journal of Chemical and Applications* 2, 332 (2011).
- [22] P. T. Williams, S. Besler and D. T. Taylor, *Fuel* 69, 1474 (1990).
- [23] J. F. Gonzales, J. M. Encinar, J. I. Canito and J. J. Rodriguez, Pyrolysis of automobile tyre waste, Influence of operating variables and kinetics study, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 58-59, 667 (2001).
- [24] P. T. Williams, *Waste Management* 33, 1714 (2013).
- [25] H. Aydin and C. İlkılıç, *Fuel* 102, 605 (2012).
- [26] I. M. Rodriguez, M.F. Laresgoiti, M. A. Cabrero, A. Torres, M. J. Chomon and B. Caballero, *Fuel Processing Technology* 72, 9 (2001).
- [27] Y. M. Chang, *Resources, Conservation and Recycling* 17, 125 (1996).
- [28] The report on determining physico-chemical characteristics of coal No. 33/07, Mining Institute Belgrade-Zemun, April 2007.

2. ZAKONSKE REGULATIVE O UPRAVLJANJU OTPADOM

2.1. Zakonodavstvo Evropske Unije

Zakonodavstvo u Evropskoj Uniji koristi više oblika zakonskih instrumenata, od kojih svaki ima drugačiju zakonsku težinu i primjenjuje se u zavisnosti od ciljne institucije.

- **Propisi** su pravne norme koje se primjenjuju direktno u zemljama članicama i imaju prednost nad nacionalnim zakonima članica.
- **Direktive** su obavezujuće za zemlje članice i podrazumijevaju njihove obaveze da odredbe propisane direktivom integrišu u nacionalne zakone u propisanom vremenskom roku.
- **Odluke** se odnose na konkretna pitanja i pravno su obavezujuće za one institucije na koje su naslovljene.
- **Preporuke i mišljenja** su pravno neobavezujući tekstovi koji služe kao smjernice za efikasnije rješavanje zadataka članica EU ili njihovih institucija.

Dosadašnja obimna legislativna djelatnost EU u domenu zaštite i unapređenja čovjekove sredine može se podijeliti na više oblasti, u zavisnosti od toga o kakvom remećenju čovjekove životne sredine je riječ, i to na:

- opšta pitanja,
- vazduh,
- zaštita vode,
- otpad,
- rizici koje donosi industrijska proizvodnja,
- hemikalije,
- biotehnologija.

Direktive o upravljanju otpadom imaju za cilj smanjenje količine otpada i obezbjeđivanje njegovog ponovnog korišćenja ili odlaganja na način koji ne ugrožava životnu sredinu, uključujući hijerarhiju u upravljanju otpadom - sprečavanje nastanka, ponovno korišćenje, recikliranje, korišćenje otpada kao izvora energije i odlaganje. Pri odlaganju otpada potrebno je obratiti pažnju na odgovornost proizvođača, blizinu mjesta odlaganja i samodovoljnost Evropske zajednice u oblast odlaganja otpada (Direktiva Savjeta broj

75/442/EEC o otpadu, sa izmjenama o Direktivi Savjeta broj 91/156/EC [1] ; Direktiva Savjeta broj 91/689/EEC o opasnom otpadu [2].

U zakonskoj regulativi Evropske Unije na oblast postupanja sa otpadnim pneumaticima se odnose sljedeće direktive:

- Direktiva Savjeta 75/442/EEC od 15. jula 1975. godine o otpadu [3]
- Odluka komisije 96/350/EC , od 24. maja 1996. godine, koja prilagođava Prilog IIA i IIB Direktivi Savjeta 75/442/EEC o otpadu [4]
- Direktiva Savjeta 91/156/EEC od 18. marta 1991. godine, dopuna Direktive 75/442/EEC o otpadu [5]
- Direktiva Savjeta 1999/31/EC od 26. aprila 1999. godine o deponijama otpada [6]
- Direktiva 2000/53/EC Evropskog parlamenta i Savjeta od 18. septembra 2000. godine o neupotrebljivim vozilima [7]
- Direktiva Savjeta 96/61/EC od 24. septembra 1996. godine koja se odnosi na integrisanu kontrolu i prevenciju zagađivanja [8]

2.2 Ekonomski instrumenti EU za upravljanje tokovima otpada

Glavni instrumenti za upravljanja otpadom su sistemi rezervi, refundacija poreza, finansijski programi i preventivni ekonomski instrumenti (porezi, poreske dadžbine, takse). U oblasti ekoloških poreza, stručni pojmovi u različitim zemljama članicama često imaju različito značenje, a legislativa EU ne nudi precizne definicije.

Razvijene zemlje su 80-tih godina počele da uvode reciklažni porez od pneumatika zajedno sa pravilima njegove podjele među njima, u zavisnosti od obaveza i stepena angažovanosti. Na primjer: za sakupljanje i separaciju 25%; za sakupljanje, separaciju i energetska iskorišćenje 50%; za sakupljanje i drobljenje 75%; preostala sredstva namijenjena su za istraživanja, edukaciju i slične potrebe.

Porezi od pneumatika se u Mađarskoj i Estoniji primjenjuju kao ekonomski instrument. Ove države su izuzetak u okviru istočne Evrope. Neke države članice EU, kao ekonomski instrument u oblasti korišćenih pneumatika primjenjuju dobrovoljne sporazume.

U Velikoj Britaniji se primjenjuje regulativa sa modelom odgovornosti proizvođača pneumatika. Njegova osnovna pretpostavka je adekvatan evidencioni sistem koji omogućava praćenje stanja u skladištima i stepena upotrebe vozila.

Kao efikasan instrument za upravljanje otpadnim tokom može poslužiti i cjenovna politika. Ovome u prilog navodimo iskaz međunarodne organizacije „Recycling forum“, za period od 1999. do 2000. godine, a u vezi pneumatika, kojim se tvrdi da cijene imaju podsticajnu ulogu za afirmaciju postupaka protektiranja i drobljenja pneumatika, odnosno stvaranja granulata.

Sljedeći instrumenti upravljanja su standardi za sekundarne sirovine.

U Evropi su izgrađeni UN-ECE (Od strane Evropska privredna komisija) standardi za protektiranje. U sektoru za reciklažu pneumatika u okviru EU su razvijeni standardi za materijale u redukovanoj veličini prilagođenoj potrebama reciklaže istih.

2.3. Zakonodavstvo Republike Srbije

2.3.1 Postojeći propisi o upravljanju otpadom

Upravljanje otpadom je uređeno velikim brojem zakona i drugih propisa (preko 30). Ovdje će biti pomenuti samo osnovni propisi koji regulišu ovu oblast i koji se primjenjuju:

- 1. Zakon o zaštiti životne sredine**, kojim se utvrđuju načela zaštite životne sredine. Upravljanje otpadom sprovodi se po propisanim uslovima i mjerama postupanja sa otpadom u okviru sistema sakupljanja, transporta, tretmana i odlaganja otpada, uključujući i nadzor nad tim aktivnostima i brigu o postrojenjima za upravljanje otpadom posle njihovog zatvaranja [9].
- 2. Zakon o strateškoj procjeni uticaja na životnu sredinu-SEA**, kojim se uređuju uslovi, način i postupak vršenja procjena uticaja određenih planova i programa na životnu sredinu, radi obezbjeđivanja zaštite životne sredine i unaprjeđivanja održivog razvoja integrisanjem osnovnih načela zaštite životne sredine u postupak pripreme i usvajanja planova i programa [9].
- 3. Zakon o procjeni uticaja na životnu sredinu-EIA**, kojim se između ostalog uređuje postupak procjene uticaja za projekte koji mogu imati značajan uticaj na životnu sredinu [10].

4. **Zakon o integrisanom sprječavanju i kontroli zagađivanja životne sredine-IPPC**, kojim se uređuju uslovi za postupak izdavanja integrisane dozvole za postrojenja i aktivnosti koji mogu imati negativne posljedice na zdravlje ljudi, životnu sredinu ili materijalno dobro, vrste aktivnosti postrojenja, nadzor i druga pitanja od značaja za sprječavanje i kontrolu zagađivanja životne sredine [9].
5. **Zakon o komunalnim djelatnostima**, kojim se određuju komunalne djelatnosti i uređuju opšti uslovi i način njihovog obavljanja, uređuje organizovanje i obavljanje komunalnih djelatnosti [11].
6. **Zakon o upravljanju otpadom**, kojim se uređuje planiranje i organizacija upravljanja otpadom, mjere postupanja sa otpadom pri sakupljanju, transportu, skladištenju, ponovnom iskorišćavanju, tretmanu i odlaganju, upravljanje posebnim tokovima otpada, nadzor i druga pitanja [10].

Zakon o zaštiti životne sredine, zakoni EIA, SEA i IPPC su apsolutno usklađeni sa odgovarajućom legislativom EU.

2.3.2 Upravljanje otpadnim gumama

Prema članu 49. nacrtu Zakona o upravljanju otpadom, otpadne gume, u smislu ovog zakona, jesu gume od motornih vozila (automobila, autobusa, kamiona, motorcikala i dr.), poljoprivrednih i građevinskih mašina, prikolica, vučenih mašina i sl. nakon završetka životnog ciklusa.

Lice koje vrši sakupljanje, transport, tretman ili odlaganje otpadnih guma mora da ima dozvolu, da vodi i čuva evidenciju o količinama sakupljenih i tretiranih otpadnih guma i podatke o tome dostavlja Agenciji za reciklažu.

Ministarstvo bliže propisuje način i postupak upravljanja otpadnim gumama, vrstu, visinu i obaveznike plaćanja posebne naknade za upravljanje otpadnim gumama, način i rokove obračunavanja i plaćanja naknade.

Prema članu 79. ovog zakona, proizvođači i uvoznici guma plaćaju posebnu naknadu za upravljanje otpadom, koja je prihod budžeta Republike i namjenski se koristi preko Fonda za zaštitu životne sredine za investicione i operativne troškove upravljanja posebnim tokovima otpada [10].

2.3.3 Finansiranje upravljanja otpadom

Prema članu 80. Zakona o upravljanju otpadom, sprovođenje Strategije i planova o upravljanju otpadom, kao i izgradnja postrojenja za skladištenje, tretman i odlaganje otpada iz nadležnosti Republike, finansira se iz namjenskih sredstava budžeta Republike koja su prihod Fonda za zaštitu životne sredine, kredita, donacija i sredstava pravnih i fizičkih lica koja upravljaju otpadom, naknada i drugih izvora finansiranja, u skladu sa zakonom.

Sprovođenje regionalnih planova upravljanja otpadom, kao i izgradnja postrojenja za skladištenje, tretman i odlaganje otpada iz nadležnosti autonomne pokrajine, finansira se iz namjenskih sredstava budžeta autonomne pokrajine, kredita, donacija i sredstava pravnih i fizičkih lica koja upravljaju otpadom, naknada i drugih izvora finansiranja, u skladu sa zakonom.

Sprovođenje regionalnih planova upravljanja otpadom, kao i izgradnja postrojenja za skladištenje, tretman i odlaganje otpada iz nadležnosti jedinica lokalne samouprave, finansira se iz namenskih sredstava budžeta jedinica lokalne samouprave, kredita, donacija i sredstava pravnih i fizičkih lica koja upravljaju otpadom, naknada i drugih izvora finansiranja, u skladu sa zakonom [10].

2.3.4 Kaznene odredbe

Prema članu 88. Zakona o upravljanju otpadom, za privredne prestupe u oblasti upravljanja otpadom, za preduzeće ili drugo pravno lice, predviđene su novčane kazne u visini od 150 000 do 3 000 000 dinara; novčane kazne u visini od 30 000 do 200 000 dinara predviđene su za odgovorno lice u preduzeću ili drugom pravnom licu.

Prema članu 90. ovog zakona, za prekršaj u oblasti upravljanja otpadom, za preduzeće ili drugo pravno lice predviđa se novčana kazna u visini od 30 000 do 1 000 000 dinara; za odgovorno lice u preduzeću ili drugom pravnom licu novčana kazna od 5 000 do 20 000 dinara; za preduzetnika novčana kazna od 10 000 do 200 000 dinara; za fizičko lice novčana kazna od 5 000 do 20 000 dinara ili kazna zatvora do 30 dana [10].

2.3.5 Odgovorne institucije u upravljanju otpadom

Vlada i Narodna skupština obezbjeđuju zakonski okvir za održivo upravljanje otpadom, ekonomske instrumente za sprovođenje upravljanja otpadom i utiču na razvijanje javne svijesti u društvu, iniciraju razgovore zainteresovanih strana u cilju uspostavljanja partnerstva u upravljanju otpadom.

Nadležni organi i organizacije za upravljanje otpadom su:

- Ministarstvo,
- nadležni organ autonomne pokrajine,
- nadležni organ jedinice lokalne samouprave,
- Agencija za reciklažu,
- ovlašćena laboratorija za ispitivanje otpada.

2.3.6 Ključni principi upravljanja otpadom

Ključni principi upravljanja otpadom koji se moraju uzeti u obzir prilikom implementacije Plana upravljanja otpadom su:

- princip održivog razvoja,
- princip blizine i regionalni pristup upravljanju otpadom,
- princip predostrožnosti,
- princip „zagađivač plaća”,
- princip hijerarhije u upravljanju otpadom,
- princip primjene najpraktičnijih opcija za životnu sredinu,
- princip odgovornosti proizvođača

Za razvoj i implementaciju strategije upravljanja otpadom, pored navedenih principa, potrebno je postizanje i održavanje efektivne ravnoteže između ekonomskog razvoja i zaštite životne sredine, stvaranje otvorenog i fleksibilnog tržišta za usluge upravljanja otpadom, obezbjeđenje implementacije strategije i kada je moguće, koristiti ekonomske instrumente, prije nego pravne, u cilju iniciranja i podsticanja promjena koje su u skladu sa ovim strateškim ciljevima.

2.4. Zakonodavstvo Bosne i Hercegovine

Ustav Bosne i Hercegovine usvojen je kao Aneks IV, **Opšteg okvirnog Sporazuma za mir u Bosni i Hercegovini** koji je započet u Daytonu 21. novembra 1995., a potpisan u Parizu 14. decembra 1995. U skladu sa Ustavom, Bosna i Hercegovina se sastoji od dva entiteta: Federacije Bosne i Hercegovine (FBiH) i Republike Srpske (RS). Arbitražnom odlukom o Brčkom, naknadno je ustanovljen Distrikt Brčko, teritorijalno administrativna jedinica koja je izvan sastava entiteta.

Federacija je složen entitet, sastoji se od deset kantona, od kojih se svaki sastoji od opština. Svaki kanton ima svoj vlastiti ustav, zakone, parlament i vladu. Republika Srpska nema kantone i administrativna vlast je podijeljena između republike i opština.

2.4.1. Nadležnost ministarstava

Ustav BiH ne navodi eksplicitno prava na okoliš i pristup informacijama o okolišu, kao što je to bio slučaj sa ustavom bivše Jugoslavije. U Republici Srpskoj, pravo na zdrav okoliš je uključen u Ustav koji je usvojen 1994. U skladu sa Ustavom BiH, okoliš je u nadležnosti entiteta. U oba entiteta postoji po jedno ministarstvo nadležno za okoliš: u FBiH to je Federalno ministarstvo prostornog uređenja i okoliša, a u RS Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju.

U FBiH takođe postoji po jedno ministarstvo za okoliš u svakom od deset kantona, a Federacija i kantoni su zajednicki odgovorni za okoliš. Da bi se unaprijedila saradnja između entiteta u pogledu pitanja okoliša i ekologije u julu 1998., uz posredovanje OHR i pomoć Regionalnog centra za okoliš za Srednju i Istočnu Evropu (REC), formiran je Koordinacioni/Koordinacijski komitet za okoliš BiH (Environmental Steering Committee). Odbor se sastoji od osam članova, po četiri iz svakog entiteta, i nekoliko članova bez prava glasa koji su predstavnici međunarodnih organizacija, kao što su Ured visokog predstavnika (OHR), USAID, Svjetska banka i Evropska komisija.

Odbor je odgovoran za: "usklađivanje zakona i regulative iz oblasti okoliša, standarde i akcione programe, međunarodne ugovore koji se tiču okoliša i njihovu implementaciju; učešće u međunarodnim procesima, kao što je Okoliš za Evropu; saradnju sa međunarodnim organizacijama, kao što su UNEP i Evropska agencija za okoliš i odnose sa donatorima; monitoring u okolišu i informacione sisteme i planove u slučaju izvanrednih

situacija; prostorno planiranje koje se tiče okoliša, sakupljanje i razmjenu informacija; prekogranična i međuentitetska okolišna pitanja, uključujući saradnju sa susjednim zemljama u pitanjima okoliša; kao i koordinaciju svih okolišnih aktivnosti bitnih za priključenje BiH Evropskoj uniji."

2.4.2. Zakoni vezani za zaštitu životne sredine u BiH

U sklopu projekta Evropske komisije pod nazivom "Priprema okolišnih zakona i politike u BiH" pripremljen je set okolišnih zakona za BiH.

Set okolišnih zakona čine sljedeći zakoni:

1. Okvirni zakon o zaštiti okoliša/životne sredine,
2. Zakon o zaštiti voda,
3. Zakon o zaštiti prirode,
4. Zakon o upravljanju otpadom,
5. Zakon o zaštiti zraka/vazduha i
6. Zakon o fondu za zaštitu okoliša/životne sredine.

U .Službenim novinama Federacije Bosne i Hercegovine br. 33 /03 od 19.07.2003 objavljen je set zakona za Federaciju [12].

Set okolišnih zakona je usvojen u Republici Srpskoj u septembru 2002, objavljen u službenim glasnicima RS 52/02 [13] i 54/02 [14].

2.4.3. Okolišni zakoni u Federaciji BiH

Zakonom o zaštiti okoliša u Federaciji BiH definisano je:

- Cilj Zakona
- Definicije (Terminologija)
- Načela zaštite okoliša
- Zaštita sastavnica okoliša
- Informisanje i edukacija o okolišu
- Sudjelovanje javnosti i pristup informacijama o okolišu
- Nadležnosti
- Planiranje zaštite okoliša
- Procjenu uticaja na okoliš (EIA)
- Izdavanje okolišnih dozvola i sprečavanje nesreća velikih razmjera

- Uspostavljanje standarda kvaliteta okoliša
- Nadzor
- Dobrovoljan pristup
- Finansiranje zaštite okoliša
- Odgovornost za štetu u okolišu
- Međuentitetska saradnja
- Kaznene odredbe
- Prelazne i završne odredbe

Zakonom o upravljanju otpadom Federacije BiH definisano je:

- Opšte odredbe u kojima je naveden cilj zakona i prioriteti u upravljanju otpadom.
- Definicije (terminologija) i osnovna načela upravljanja otpadom.
- Planiranje upravljanja otpadom koje obuhvata; Strategiju upravljanja otpadom u Federaciji BiH, Kantonalne planove za upravljanje otpadom i finansijske garancije.
- Odgovornost u upravljanju otpadom i aktivnostima gdje su obuhvaćeni; Opšti propisi za upravljanje otpadom, odgovornost proizvođača, odgovornost prodavača, zajednički uvjeti za proizvođača i prodavača, sistem prikupljanja, odgovornost vlasnika otpada, aspekti upravljanja komunalnim otpadom, tretman, sakupljanje, korišćenje, transport, odlaganje otpada, deponije, spaljivanje, opšti zahtjevi za opasni otpad, katastar zagađivača.
- Prekogranični promet u slučajevima uvoza, izvoza ili tranzita otpada kroz Federaciju BiH.
- Nadzor nad upravljanjem otpadom, kaznene odredbe, naknada šteta.

2.4.4. Zakon o zaštiti životne sredine u Republici Srpskoj

Ovim zakonom uređuje se

- očuvanje, zaštita, obnova i poboljšanje ekološkog kvaliteta i kapaciteta životne sredine, kao i kvalitet života;
- mjere i uslovi za upravljanje, očuvanje, i racionalno korišćenje prirodnih resursa;
- okvir pravnih mjera i institucija za očuvanje, zaštitu i poboljšanje zaštite životne sredine;
- finansiranje aktivnosti vezanih za životnu sredinu;
- poslovi i zadaci organa uprave predviđeni zakonom i podzakonskim aktima, te obaveze organa javne uprave.

Ovaj zakon promoviše:

- smanjeno korištenje, sprečavanje opterećivanja i zagađivanja životne sredine, sprečavanje narušavanja, kao i poboljšanje i obnovu oštećene životne sredine;
- zaštitu ljudskog zdravlja i poboljšanje uslova životne sredine za kvalitet života;
- očuvanje i zaštitu prirodnih resursa, racionalno korištenje resursa i takav način privrede kojim se osigurava obnova resursa;
- usklađenost drugih interesa Republike sa zahtjevima za zaštitu životne sredine;
- međunarodnu saradnju u zaštiti životne sredine;
- inicijative od strane javnosti i učešće javnosti u djelatnostima koje imaju za cilj zaštitu životne sredine;
- koordinaciju privrede i integrisanje socijalnog i ekonomskog razvoja u skladu sa zahtjevima zaštite životne sredine;
- uspostavljanje i razvoj institucija za zaštitu životne sredine.

Zakonom o zaštiti životne sredine definisana je: njegova primjena, terminologija, načela, planiranje zaštite, procjena uticaja na životnu sredinu, način izdavanja ekoloških dozvola i sprečavanja nesreća većih razmjera, utvrđivanje uslova za postrojenja namijenjena reciklaži, finansiranje, itd.

2.4.5. Komentar na zakonske odredbe

Posmatrajući zakonske norme EU, Republike Srbije te norme oba entiteta Bosne i Hercegovine a vezano za otpadne automobilske pneumatike lako se uviđaju različitosti objektivnog ili subjektivnog karaktera. Objektivne razlike vezane su za samu proizvodnju pneumatika. Bosna i Hercegovina nema proizvođača novih pneumatika niti proizvođača automobila, tako da se proces praćenja nastanka predmetnog otpada može vršiti isključivo praćenjem uvoza. Razvijene zemlje EU imaju vlastitu proizvodnju automobila ili svoje potrebe zadovoljavaju uvozom, pri čemu treba imati na umu da u najvećem procentu uvoze nove automobile. Isto tako objektivne razlike u zakonskoj regulativi mogu nastati zbog različitog životnog standarda, različite tehnološke izgrađenosti i slično.

Uzroci razlika zakonskih normi koji su subjektivnog karaktera uglavnom utiču na efikasnost zaštite životne sredine, odnosno na iskoristivost raspoloživih resursa, konkretno otpadnih pneumatika. Zakonodavstvo EU otpadne automobilske pneumatike posmatra kao resurs određene vrijednosti čijom se daljom preradom povećava upotrebna vrijednost. Ako proces prerade nije ekonomski opravdan on se subvencionije iz dijela poreza koji je naplaćen pri prvoj prodaji novog pneumatika. Zemlje koje su riješile „problem“ otpadnih automobilskih pneumatika imaju efikasno zakonodavstvo zasnovano na ekonomskoj matematici

pretočenoj u zakon, tako da navodni problem u stvari predstavlja samoodrživu privrednu granu.

Zakoni Bosne i Hercegovine po pitanju zbrinjavanja ili korišćenja otpadnih pneumatika su uopšteni, fali im ekonomska matematika koja je po algoritmu ista ali se po konkretnim cijenama razlikuje od one upotrijebljene u industrijski razvijenim zemljama. Opšti zakoni Bosne i Hercegovine su usklađeni sa zakonima EU ali ih treba konkretizirati na način da oblast koju opisuju (oblast reciklaže otpadnih automobilskih pneumatika) dobije karakter samoodrživosti.

Ovaj rad će, između ostalog, dati podatke koji mogu služiti za definisanju ekonomskih pokazatelja u procesu pirolize otpadnih automobilskih pneumatika kao jednog od vidova reciklaže istih.

LITERATURA

- [1] Official Journal L 78, 26 March 1991, pp. 32-37.
- [2] Official Journal L 377 , 31/12/1991 P. 0020 – 0027
- [3] Official Journal L 194 , 25 July 1975, pp. 39-41
- [4] Official Journal L 135 , 6 June 1966.
- [5] Official Journal L 78, 26 March 1991, pp. 32-37.
- [6] Official Journal L 182, 16 July 1999, pp. 1-19.
- [7] Official Journal L 269 21.10.2000 p. 34) pp. 698-715.
- [8] Official Journal L 257 , 10/10/1996 P. 0026 – 0040.
- [9] Službeni glasnik Republike Srbije br. 135/2004, 21.12.2004.
- [10] Službeni glasnik Republike Srbije br. 36/09,15.05.2009.
- [11] Službeni glasnik Republike Srbije br. 16/97,16.04.1997.
- [12] Službene novine Federacije Bosne i Hercegovine br. 33 /03,19.07.2003
- [13] Službeni glasnik Republike Srpske br. 52/02, 09.09.2002.
- [14] Službeni glasnik Republike Srpske br. 54/02,25.09.2002.

3. KARAKTERISTIKE OTPADNIH AUTOMOBILSKIH PNEUMATIKA KAO GORIVA

3.1 Otpadni automobilski pneumatiki (OAP) kao gorivo

Pod gorivom se podrazumijeva sagorljiva materija koja pri hemijskoj reakciji oksidacije, ili nuklearnoj reakciji razlaganja, ili spajanja atomskog jezgra, oslobađa toplotu. Hemijskom reakcijom oksidacije se vezuju sagorljive komponente goriva za kiseonik i na taj način se hemijska (unutrašnja) energija pretvara u toplotnu energiju. Nasuprot tome, razlaganje atomskog jezgra nekih teških metala (u nuklearnim elektranama: U^{235} , U^{238} , Pu^{239} i sl.) ili spajanje lakih atomskih jezgara takođe je praćeno oslobađanjem energije.

Najviše korišćena goriva za dobijanje toplote putem oksidacije su fosilna goriva: ugalj, nafta i gas. U manjem procentu se koriste druge organske materije (drvo, slama, kukuruzovina i sl.). OAP kao gorivo za dobijanje toplotne energije nameću se iz najmanje dva razloga i to:

- Ekološki aspekt, koji podrazumijeva stalno nagomilavanje istih na uređenim ili divljim deponijama.
- Globalne i lokalne potrebe za toplotnom energijom u stalnom su porastu.

Da bi se OAP koristili kao gorivo potrebno je poznavati karakteristike istih. OAP spadaju u vještačka goriva čvrstog agregatnog stanja. U zavisnosti od vrste ložišta, njegove veličine, namjene i načina doziranja, OAP mogu se prethodno usitniti na potrebnu granulaciju ili dozirati kao cjeline. Automobilski pneumatiki su polikomponentni proizvodi kod kojih su u potpunosti nesagoriva jedino metalna vlakna korda i metalni obručevi ugrađeni u zoni nalijeganja pneumatika na napletak.

3.2 Sastav automobilskih pneumatika

Pri raznim inženjerskim proračunima a naročito pri proračunima sagorijevanja u ložištima ili pri proračunavanju prečistača dimnih gasova, potrebno je poznavati hemijski sastav goriva koje sagorijeva. U ovom slučaju potrebno je poznavati hemijski sastav automobilskih pneumatika, odnosno potrebno je poznavati njihove sledeće karakteristike:

1. Karakteristike pneumatika dobijene tehničkom analizom:

- maseni udio vlage
- maseni udio isparljivih komponenata
- maseni udio nesagorelih komponenata
- maseni udio fiksnog ugljenika

2. Karakteristike pneumatika dobijene elementarnom analizom

- maseni udio ugljenika
- maseni udio kiseonika
- maseni udio vodonika
- maseni udio sumpora
- maseni udio pepela (mineralnih komponenti)

Hemijski sastav automobilskih pneumatika definiše se u fazi projektovanja istih, a zavisi od generacijske pripadnosti i namjene samoga pneumatika. Generacijska pripadnost određena je vremenom nastajanja, tj. stepenom tehnološkog razvoja, odnosno nivoom naučne spoznaje vezane za upotrebne karakteristike pneumatika u funkciji sastava šarže i tehnologije izrade. Pneumatici različite namjene (putnička, teretna vozila; brzinske karakteristike; ljetna, zimska upotreba, i sl.) razlikuju se po materijalima od kojih su napravljeni, samim tim razlikuje im se hemijski sastav. Različiti proizvođači koriste različite recepture izrade, kada se ovome doda da se radi o polikomponentnom proizvodu može se očekivati raznolikost po pitanju hemijskog sastava OAP odloženih na veće deponije. Međutim, u principu pneumatici se sastoje od:

- prirodne gume NR (natural rubber), izrađene od kaučuka,
- vještačke gume SBR (stiren butadien rubber) ili BR (butadien rubber), izrađene od mineralnih ugljovodonika,
- čađi,
- ugljovodoničnih ulja,
- cink oksida,
- sumpor i sumporova jedinjenja,
- aditivi (stabilizatori, antioksidanti, antiozonanti itd.).

U tabeli 3.1 prikazani su rezultati tehničke analize OAP prema različitim autorima, a u tabeli 3.2 data je analiza pepela nastalog sagorijevanjem cijelih OAP i OAP oslobođenih od čelične žice od koje je izrađena korda i obručevi.

Tabela 3.1. Rezultati tehničke analize OAP prema različitim autorima

Red. broj	Literatura	Sastav (maseni udio %)			
		Isparljive materije	Fiksni ugljenik	Vlaga	Pepeo (nesagorivo)
1.	Gray [2]*	54,23*	21,85	0,75 *	23,17*
		67,31	22,93	1,02	8,74
2.	Leung, Wang. [3]	64,20	27,8	1,0	7,0
3.	Pradhan, Singh [4]	62,00	18,72	0,55	18,73
4.	Y.Kar [5]	59,69	19,45	1,72	19,13
5.	M. Juma i drugi [6]	61,61	22,66	1,72	14,01
6.	Rodrigues i drugi [7]*	58,8	27,7	-	3,9
7.	Jong Min Lee i drugi[8]	67,3	28,5	0,5	3,7
8.	Yu Min Chang i dr.[9]	62,32	26,26	1,31	10,21
9.	Gonzales i drugi [10]	61,9	29,2	0,7	8,0
10.	Chen i drugi [11]	93,73	-	0,54	5,3
11.	Loresgoiti i drugi [12]*	59,3	27,6	-	3,5
12.	Orr i drugi [13]	68,7	23,3	0,4	7,6
13.	Wilijams, Bottirill [14]	66,5	30,3	0,8	2,4
14.	Atel, Levendis [15]	58,7	33,6	-	7,7

* Cijele gume (sa čeličnom žicom)

Tabela 3.2. Analiza pepela-šljake OAP[2]

	Element (maseni udio %)										
	Al	Ca	Fe	Mg	P	K	Ti	Si	Na	S	Zn
Otpadna guma(cijela)	1,93	0,56	0,35	0,1	0,1	0,14	0,14	5,16	0,13	0,99	5,24
Otpadna guma bez čelične žice	13,1	3,80	2,37	0,68	0,68	0,95	0,95	35,0	0,88	6,72	34,8

Hemijski sastav pepela OAP prikazan je u tabeli 3.3. a u tabeli 3.4 prikazan je elementarni sastav pneumatika prema različitim autorima.

Tabela 3.3 Analiza pepela-šljake. Studija cementare Beočin [1]

Hemijski sastav (maseni udio %)										
Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	ZnO	Mn ₂ O ₃
0,71	4,36	86,44	0,48	0,05	0,03	0,34	0,28	2,41	4,8	0,04

Tabela 3.4 Elementarni sastav pneumatika i toplotna moć

Red broj	Literatura	Elementarni sastav (maseni udio %)						Toplotna moć [kJ/kg]
		C	H	N	S	O	Nesagorivi ostatak	
1.	Grigiante, Ischia [17]	85,9	7,8	0,4	0,5	0,4	5,0	38 580
2.	Y.M.Chang i drugi [9]	74,41	6,96	0,21	1,60	5,02	10,21	33 240
3.	Y.Kar [5]	67,08	6,12	0,17	2,05	-	24,58	27 370
4.	M. Juma i drugi [6]	81,24	7,36	0,49	1,99	-	8,92	35 329
5.	Rodrigues i drugi [7]	74,2	5,8	0,3	1,5	4,7	13,5	31 639
6.	Jong Min Lee i drugi [8]	83,8	7,6	0,4	1,4	3,1	3,7	37 310
7.	Gonzales i drugi [10]	86,7	8,1	0,4	1,4	1,3	2,9	39 144
8.	Chen i drugi [11]	81,16	7,22	0,47	1,64	2,07	7,44	36 135
9.	Loresgoiti i drugi [12]	74,2	5,8	0,3	1,5	5,1	13,1	31 578
10.	Orr i drugi [13]	81,3	7,3	0,3	1,5	-	1,4	36 579
11.	Wilijams, Bottirill [14]	85,8	8,0	0,4	1,0	2,3	2,4	38 551
12.	Berruenco i drugi [18]	88,5	6,6	0,4	1,6	3,0	-	37 726
13.	Arion i drugi [19]	73,8	5,3	0,44	1,71	0,11	17,8	31 614
14.	Lanoir i drugi [20]	82,63	7,5	0,36	1,69	-	-	37 293
15.	Senneca i drugi [21]	86,7	6,9	0,3	1,9	1,0	3,3	37 815
16.	Roy i drugi [22]	86,6	8,1	0,5	0,8	2,2	-	38 941
17.	Cunliffe i Williams [23]	86,4	8,0	0,5	1,7	3,4	-	27000

U tabeli 3.5 dati su podaci elementarnog sastava i donje toplotne moći OAP, kao alternativnog goriva, prema Studiji [1] cementare Beočin. U tabeli 3.6 prikazan je fizički sastav automobilskih i kamionskih pneumatika [16].

Tabela 3.5 Elementarni sastav OAP i toplotna moć [1]

Hemijski sastav (maseni udio %)								Donja toplotna moć [kJ/kg]
C	H	O	N	S	Cl	Pepeo	Vlaga	
64,2	5,0	4,40	0,1	0,91	0,06	25,20	0,19	27 181

Tabela 3.6 Fizički sastav pneumatika [16]

Sastav	Automobilski pneumatik (maseni udio %)	Kamionski pneumatik (maseni udio %)	Komentar
Guma	47	45	Mješavina prirodne i vještačke gume
Čađ (ugljik)	21,5	22	Poboljšava čvrstoću i abraziona svojstva
Metal	16,5	21,5	Korda i obručevi
Tekstil	5,5	-	Korda
Cink oksid	1	2	Sa stearinskom kiselinom koristi se u procesu vulkanizacije
Sumpor	1	1	Povezuje polimerne lance i neutrališe temperaturna opterećenja
Aditivi	7,5	5	

Elementarna analiza je hemijska analiza izvršena na uzorcima koji reprezentuju ukupnu raspoloživu količinu OAP. Ova analiza može se predstaviti izrazom:

$$C + H + O + N + S + A + W = 100\%, \quad (3.1)$$

gdje su:

C, H, O, N, S, A, W - maseni udjeli ugljenika, vodonika, kiseonika, azota, sumpora, pepela i vlage u masi OAP, izraženi u %.

Elementarna analiza osušenih OAP ($W = 0$) definiše hemijski sastav sveden na suhu masu OAP. Ova analiza određena je izrazom:

$$C^s + H^s + O^s + N^s + S^s + A^s = 100\%, \quad (3.2)$$

gde su:

$C^s, H^s, O^s, N^s, S^s, A^s$ - maseni udjeli ugljenika, vodonika, kiseonika, azota, sumpora i pepela u suvoj masi OAP, izraženi u %.

Elementarna analiza sagorljive mase OAP određena je izrazom:

$$C^g + H^g + O^g + N^g + S^g = 100\%, \quad (3.3)$$

gde su:

C^g, H^g, O^g, N^g, S^g - maseni udjeli ugljenika, vodonika, kiseonika, azota i sumpora u sagorljivoj masi uglja, izraženi u %.

Elementarna analiza organske mase OAP data je izrazom:

$$C^o + H^o + O^o + N^o = 100\%, \quad (3.4)$$

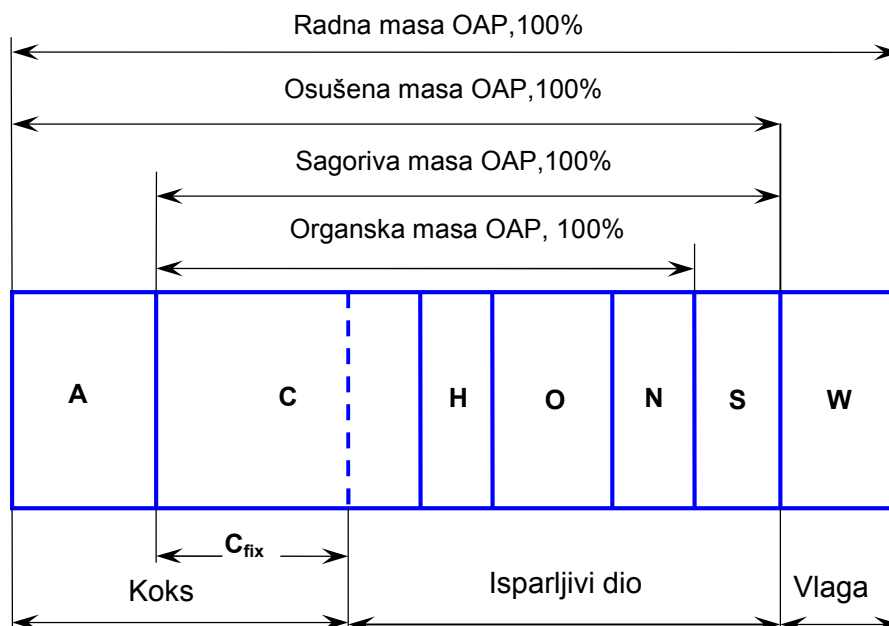
gde su:

C^o, H^o, O^o, N^o - maseni udjeli ugljenika, vodonika, kiseonika i azota u organskoj masi OAP, izraženi u %.

U tabeli 3.7 prikazani su faktori konverzije za prelaz iz jedne analize na drugu, a na slici 3.1. dat je grafički prikaz tehničke analize OAP.

Tabela 3.7 Faktori konverzije za elementarne analize

Masa OAP kao goriva	Masa OAP kao goriva			
	Organska	Sagorljiva	Osušena	Radna
Organska	1	$\frac{100 - S^g}{100}$	$\frac{100 - (S^s - A^s)}{100}$	$\frac{100 - (S + A + W)}{100}$
Sagorljiva	$\frac{100}{100 - S^g}$	1	$\frac{100 - A^s}{100}$	$\frac{100 - (A + W)}{100}$
Osušena	$\frac{100}{100 - (S^s + A^s)}$	$\frac{100}{100 - A^s}$	1	$\frac{100 - W}{100}$
Radna	$\frac{100}{100 - (S + A + W)}$	$\frac{100}{100 - (A + W)}$	$\frac{100}{100 - W}$	1



Slika 3.1. Grafički prikaz analize OAP

Pored navedenih karakteristika, pri proračunima procesa sagorijevanja OAP, potrebno je poznavati vrijednosti topljenja pepela i vrijednosti donje toplotne moći OAP kao goriva.

3.3 Uticaj hemijskog sastava OAP na toplotnu moć

Sva čvrsta goriva pa i OAP, u opštem smislu, sastoje se od sagorivog dijela i balasta (negorivog dijela). Sagorivi dio čine: ugljik, vodonik, azot, sumpor i kiseonik koji ne gori ali je obavezan učesnik procesa sagorijevanja, a nesagorivi dio čine vlaga i minerali, od kojih nastaje pepeo ili šljaka (slika 3.1). Pokazatelj kvaliteta OAP, u pogledu toplotne vrijednosti, jeste toplotna moć OAP. Toplotna moć goriva pokazuje koliko se toplote oslobodi pri potpunom sagorijevanju jedinične mase goriva. Toplotna moć zavisi od elementarnog sastava goriva, pri čemu stanje vlage (kod OAP to je spoljnja, gruba vlaga) kao i stanja vode nastale sagorijevanjem vodonika definiše gornju ili donju toplotnu moć.

Donja toplotna moć goriva (H_d) je količina toplote koja se dobija potpunim sagorijevanjem jedinice mase goriva, gde ugljenik sagorijeva u CO_2 a vlaga (H_2O) i voda nastala sagorijevanjem vodonika su u gasovitom stanju.

Gornja toplotna moć goriva (H_g) je količina toplote koja se dobija potpunim sagorijevanjem jedinice mase goriva, gde ugljenik sagorijeva u CO_2 a vlaga (H_2O) i voda nastala sagorijevanjem vodonika su u tečnom stanju. Gornja toplotna moć je uvijek veća od donje toplotne moći.

Veza gornje i donje toplotne moći kod čvrstih goriva može se predstaviti relacijom [24]:

$$H_g = H_d + 2500 \cdot (9H + W) \quad [\text{kJ/kg}], \quad (3.5)$$

gdje su:

W - maseni udio vlage u gorivu, [kg/ kg],

H - maseni udio vodonika u gorivu, [kg/ kg].

Ako se znaju rezultati elementarne analize OAP, donja toplotna moć OAP može se odrediti korišćenjem izraza [24]:

$$H_d = 33900 \cdot C + 121400 \cdot \left(H - \frac{O}{8}\right) + 10460 \cdot S - 2510 \cdot W \quad [\text{kJ/kg}], \quad (3.6)$$

gdje su:

C, H, O, S, W - maseni udjeli ugljenika, vodonika, kiseonika, sumpora i vlage u OAP, [kg/ kg].

Uticaj balasta (masenih udjela pepela i vlage) na donju toplotnu moć vlažnih OAP može se procijeniti pomoću izraza:

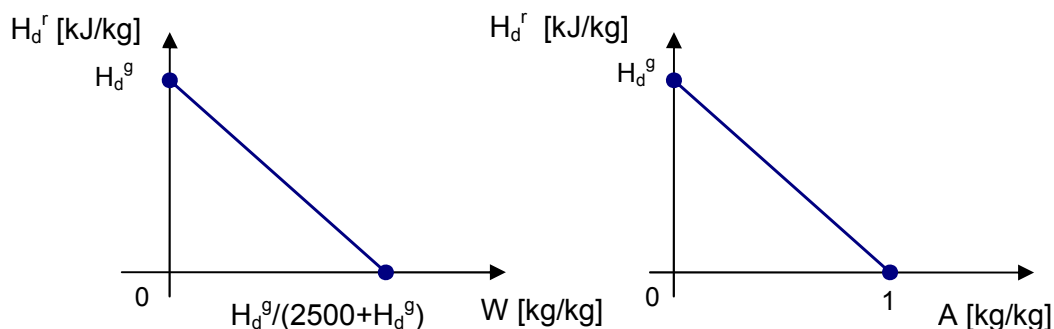
$$H_d^r = H_d^g \cdot (1 - A - W) - 2500 \cdot W \quad [\text{kJ/kg}]. \quad (3.7)$$

Definišući granične uslove $A = 0$ i $W = 0$ pri $H_d^g = \text{const.}$ jednačina (3.7) transformiše se u jednačine:

$$\frac{W}{\frac{H_d^g}{2500 + H_d^g}} + \frac{H_d^r}{H_d^g} = 1, \quad (3.8)$$

$$\frac{A}{1} + \frac{H_d^r}{H_d^g} = 1, \quad (3.9)$$

čiji grafici predstavljaju opadajuću linearnu funkciju kao što je prikazano na slici 3.2. Može se primijetiti osjetno smanjenje donje toplotne moći OAP sa povećanjem masenih udjela vlage i pepela.



Slika 3.2. Zavisnost donje toplotne moći OAP od masenog udjela vlage i pepela

Maseni udio pepela definisan je elementarnim sastavom, odnosno količinom minerala. Smanjenje udjela vlage vrši se odstranjivanjem grube vlage sa OAP. Vlaga se sa pneumatika, relativno lako, može u potpunosti odstraniti što nije slučaj sa drugim gorivima kao što je uglj, bio masa itd.

Ugljenik (C) je najzastupljeniji element u automobilskim pneumaticima. Ugljenik u sastav pneumatika ulazi u vidu čađi i vezan u složene ugljovodonike koji se nalaze u gumi. Toplotna moć OAP povećava se sa povećanjem masenog udjela ugljenika. Toplotna moć ugljenika iznosi 33913 kJ/kg. Međutim, pri nepotpunom sagorijevanju ugljenika tj. stvaranjem ugljen monoksida (CO) oslobađa se znatno manja količina toplote oko 10200 kJ/kg.

Vodonik (H) je važan i koristan element pri sagorijevanju OAP. Pri sagorevanju vodonika povećava se toplotna moć OAP i brzina sagorijevanja. Za vrijeme sagorijevanja vodonik sa kiseonikom stvara vodu koja može biti u tečnom ili gasovitom stanju. Ako je voda u tečnom stanju nastala sagorijevanjem ili postoji kao vlaga na OAP, onda je ona balast jer je za njeno isparavanje pri normnom pritisku potrebno je utrošiti oko 2500 kJ/kg. Donja toplotna moć vodonika je 119617 kJ/kg.

Kiseonik (O) svojim prisustvom umanjuje toplotnu moć OAP, zato što u reakciji sa vodonikom daje vodu kao balast. Što je više kiseonika u OAP, OAP lakše sagorijeva (lakše se vrši zapaljenje).

Azot (N) ne sagorijeva niti učestvuje u sagorevanju OAP, a ako ga ima u sastavu predstavlja unutrašnji balast jer smanjuje procenat sagorljivih elemenata. Sagorevanjem OAP pri visokim temperaurama azot se jedini sa kiseonikom stvarajući azotne okside (N_xO_y) koji su veoma otrovni.

Sumpor (S) se u OAP pojavljuje u vidu organski vezanog sumpora. Organski sumpor ulazi u sastav složenih organskih jedinjenja. Organski sumpor sagorevaju i čine sagorljivi deo. Sagorijevanjem sumpora stvaraju se zagađujuće gasovite komponente SO_2 , SO_3 , H_2SO_3 , H_2SO_4 koje nagrizažu i stvaraju koroziju dijelova ložišta, ventilatora, i dimnjaka. Ako se proces sagorijevanja OAP vrši u prisustvu kalcijum karbonat ($CaCO_3$) što je slučaj u cementarama tada nastaje gips koji ostaje u klinkeru kao i pepeo nastao sagorijevanjem OAP. Ovaj proces je egzoterman, pretstavljen je izrazom:



Vlaga u OAP čini tzv. spoljni balast, javlja se isključivo kao gruba.

Mineralni dio pneumatika predstavlja neorgansku masu OAP. To je materija na osnovu koje se u procesu sagorijevanja OAP stvara pepeo i šljaka. Nastala materija može biti sinterizovana (pepeo) ili delimično istopljena (šljaka). Masa pepela-šljake koja je nastala sagorijevanjem OAP manja je od mase mineralnih komponenti u pneumatiku od kojih je taj pepeo-šljaka nastao. To je posljedica transformacija kroz koje komponente prolaze prilikom procesa sagorijevanja.

3.4 Kvalitativna ocjena karakteristika OAP

Poznavanje karakteristika OAP značajno je u mnogim procesima: sagorijevanju, pirolizi, gasifikaciji, prečišćavanju dimnih gasova itd. Tehnička i elementarna analiza OAP predstavlja polaznu osnovu u raznim tehničkim proračunima. Budući da se karakteristike automobilskih pneumatika razlikuju a diktirane su proizvođačem, namjenom, veličinom pa i lokacijom deponije, potrebno je poznavati intervale unutar kojih se nalaze pojedine karakteristike koje definišu kvalitet OAP kao goriva. Za provođenje kvalitativne analize potrebno je pravilno odabrati uzorke kako bi dobijene karakteristike reprezentovale kompletan raspoloživi asortiman OAP na deponiji ili asortiman OAP planiranih za sagorijevanje, pirolizu ili neki drugi proces prerade. Kvalitativnom analizom obuhvaćene su karakteristike OAP, i to maseni udjeli: ugljenika, vodonika, pepela, isparljivih komponenti i donja toplotna moć. Uzorci čije se karakteristike analiziraju su dostupni rezultati tehničkih i elementarnih analiza dvadesetak autora iz različitih zemalja svijeta (tabele 3.1; 3.3; 3.4; 3.5). Od statističkih parametara određeno je [25]:

1. apsolutni raspon $R = \max X_i - \min X_i, (i=1,2,3,\dots,n),$ (3.11)

2. aritmetička sredina $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \text{ ili } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i X_i^*,$ (3.12)

3. standardno odstupanje $S = \left[\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right]^{1/2}, \text{ ili}$
 $S = \left[\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n f_i \cdot (X_i^* - \bar{X})^2 \right]^{1/2},$ (3.13)

4. koeficijent varijacije $C_V = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100,$ (3.14)

gdje su:

n-broj uzoraka,

X_i - vrednosti razmatranih (obeležja) karakteristika OAP,

X_i^* - sredine intervala karakteristika OAP.

Kriterijumom χ^2 Pirsona proveriće se da li su karakteristike OAP u saglasnosti sa pretpostavkom da slučajna veličina (karakteristika OAP) X ima funkciju raspodjele $F(x)$ (normalnu raspodjelu), ili su odstupanja velika pa se ta pretpostavka mora odbaciti. Pri određivanju vrednosti kriterijuma χ^2 Pirsona koriste se sledeći izrazi:

$$k = 1 + 3,3 \cdot \log n, \quad (3.15)$$

$$i = \frac{R}{k}, \quad (3.16)$$

$$u_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S}, \quad (3.17)$$

$$\phi(u_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{u_i} e^{-t^2/2} dt, \quad (3.18)$$

$$p_i = P(X_{i-1} \leq X < X_i) = \phi(u_i) - \phi(u_{i-1}), \quad (3.19)$$

gdje su:

k - broj intervala,

i - veličina intervala,

p_i - vjerovatnoća da slučajna veličina $X \in N(\mu, \sigma)$ primi vrijednost u intervalu $[X_{i-1}, X_i)$,

u_i - zamjena (smjena) varijabli (standardizovana vrijednost),

$\phi(u_i)$ - Laplasova funkcija.

Testiranje srednjih vrijednosti karakteristika OAP izvršeno je Studentovim t - testom pri nivou značajnosti (rizika) $\alpha = 0,05$ i korišćeni su sljedeći izrazi:

$$l = n - 1, \quad (3.20)$$

$$\left[\bar{X} - \frac{t_{n-1, \alpha}}{\sqrt{n-1}} \cdot S; \bar{X} + \frac{t_{n-1, \alpha}}{\sqrt{n-1}} \cdot S \right], \quad (3.21)$$

gdje su:

l - broj stepeni slobode,

$t_{n-1, \alpha}$ - veličina koja se određuje iz tabele za Studentovu raspodjelu pri odabranom nivou značajnosti (povjerenja) α i za stepen slobode $l = n - 1$.

Korišćenjem brojčanih vrednosti karakteristika OAP iz tabela 3.4 i 3.5, te izraza 3.11 do 3.14, vrijednosti pojedinih statističkih parametara za karakteristiku OAP „maseni udio ugljenika“ iznose:

$$R = \max X - \min X = 88,5 - 64,2 = 24,3 \%$$

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i = \frac{85,9 + 74,41 + 67,08 + 81,24 + \dots + 86,4 + 64,2}{18} = 80,26 \%$$

$$S = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}} =$$

$$= \left(\frac{(85,9 - 80,26)^2 + (74,41 - 80,26)^2 + \dots + (64,2 - 80,26)^2}{17} \right)^{\frac{1}{2}} = 7,25 \%$$

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100 = \frac{7,25}{80,26} \cdot 100 = 9,03 \%$$

Na isti način su izračunati statistički parametri za maseni udio vodonika, donju toplotnu moć, procenat isparljive materije i procenat pepela OAP. Navedeni proračun izvršen je u Excel-u, a rezultati su dati u tabeli 3.8.

Prema izrazima 3.15 do 3.19 za karakteristiku OAP „maseni udio ugljenika“ izvršen je proračun pojedinih parametara:

$$k = 1 + 3,3 \cdot \log n = 1 + 3,3 \cdot \log 18 = 5,14 \approx 5,$$

$$i = \frac{R}{k} = \frac{24,3}{5} = 4,86.$$

Najmanja vrijednost standardizovane promenljive $u_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S} = \frac{64,2 - 80,26}{7,25} = -2,22$

zamenjena je sa $-\infty$, a najveća $u_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S} = \frac{88,5 - 80,26}{7,25} = 1,14$ sa $+\infty$ pošto je slučajna

veličina $X \in N(\mu, \sigma)$ definisana u intervalu $(-\infty, +\infty)$. Sva računanja su sređena i prikazana u tabeli 3.9

Tabela 3.8 Statistički parametri pojedinih karakteristika OAP

Ulazni podaci za proračun statističkih parametara OAP u Excel-u					
Autor	Ugljenik	Vodonik	Toplotna moć Hd	Isparljiva materija	Pepeo
	maseni udio [%]	maseni udio [%]	[kJ/kg]	maseni udio [%]	maseni udio [%]
Grigante [17]	85,9	7,8	38580	-	5,0
Y.M.Chang [9]	74,41	6,96	33240	62,32	10,21
Y.Car [5]	67,08	6,12	27370	59,69	19,13
M.Juma [6]	81,24	7,36	35329	61,61	14,01
Rodrigues [7]	74,2	5,8	31639	58,8	3,9
J.M.Lee [8]	83,8	7,6	37310	67,3	3,7
Gonzales [10]	86,7	8,1	39144	61,9	8,0
Chen [11]	81,16	7,22	36135	-	5,3
Loresgoit [12]	74,2	5,8	31578	59,3	3,5
Orr [13]	81,3	7,3	36579	68,7	7,6
Williams [14]	85,8	8,0	38551	66,5	2,4
Berrueco [18]	88,5	6,6	37726	-	-
Arion [19]	73,8	5,3	31614	-	17,8
Lenoir [20]	82,63	7,5	37293	-	-
Senneca [21]	86,7	6,9	37815	-	3,3
Roy [22]	86,6	8,1	38941	-	-
Conliffe [23]	86,4	8,0	27000	-	-
“Lafarge”BFC[1]	64,2	5,0	27181	-	25,2
Gray [2]	-	-	-	67,31	8,74
Leung [3]	-	-	-	64,2	7
Predhan [4]	-	-	-	62	18,73
Atel [15]	-	-	-	58,7	7,7
Statistički parametri preračunati u Excel-u					
Max X	88,5	8,1	39144	68,7	25,2
Min X	64,2	5,0	27000	58,7	2,4
R	24,3	3,1	12144	10,0	22,8
Xsr	80,26	6,97	34612,5	62,95	9,51
S	7,25	0,99	4243,95	3,52	6,68
Cv	9,03	14,19	12,26	5,59	70,19

Dobijeno je $\chi_{sr}^2 = 2,0781$. Iz tablica za nivo značajnosti $\alpha = 0,05$ i broj stepeni slobode $\nu = 4$ nalazi se kritična vrednost $\chi_{kr}^2 = \chi_{kr 0,05,4}^2 = 9,49$. Pošto je $\chi_{sr}^2 < \chi_{kr}^2$ to se pretpostavka o normalnoj raspodjeli karakteristike OAP „maseni udio ugljenika“ može usvojiti.

Na isti način izvršen je χ^2 test za ostale, prethodno navedene karakteristike OAP, a provedeni postupak i krajnji rezultati prikazani su u prilogima P1 do P5.

Interval unutar kojeg se kreće srednja vrednost karakteristike OAP „maseni udio ugljenika“ sa vjerovatnoćom od 95%. prema tablici raspodele Studenta je $t_{n-1;\alpha} = t_{17;0,05} = 2,11$, odnosno prema izrazu 3.21 iznosi:

$$80,26 - \frac{2,11}{\sqrt{17}} \cdot 7,25 < \mu < 80,26 + \frac{2,11}{\sqrt{17}} \cdot 7,25,$$

ili:

$$76,55\% < \mu < 83,97\%.$$

Tabela 3.9. Rezultati χ^2 testa za karakteristiku OAP „maseni udio ugljenika“

Intervali [X_{i-1} ; X_i) [%]	Sredine intervala X_i^* [%]	Frekvencija f_i	$X_i^* - \bar{X}$ [%]	Normirani intervali [$u_{i-1}; u_i$)	$p_i = \Phi(u_i) - \Phi(u_{i-1})$	$n \cdot p_i$	$(f_i - n \cdot p_i)^2$	$\frac{(f_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}$
[64,20;69,06)	66,63	2	-13,63	$(-\infty; -1,54)$	0,0618	1,1124	0,7878	0,7082
[69,06;73,92)	71,49	1	-8,77	$[-1,54; -0,87)$	0,1304	2,3472	1,8149	0,7732
[73,92;78,78)	76,35	3	-3,91	$[-0,87; -0,20)$	0,2285	4,113	1,2388	0,3012
[78,78;83,64)	81,21	5	0,95	$[-0,20; 0,47)$	0,2601	4,6818	0,1013	0,0216
[83,64;88,50]	86,07	7	5,81	$[0,47; +\infty)$	0,3192	5,7456	1,5735	0,2739
Suma Σ	-	18	-		1,000	18	-	$\chi_{sr}^2 = 2,0781$

Za ostale karakteristike OAP (maseni udjeli: vodonika, pepela, isparljivih komponenti i donja toplotna moć) intervali pouzadnosti prikazani su u tabeli 3.10

Tabela 3.10. Rezultati proračuna intervala pouzadnosti za karakteristike OAP

Karakteristika	\bar{X}	S	$t_{n-1;\alpha}$	$\frac{t_{n-1;\alpha}}{\sqrt{n-1}} \cdot S$	$\bar{X} - \frac{t_{n-1;\alpha}}{\sqrt{n-1}} \cdot S < \bar{X} + \frac{t_{n-1;\alpha}}{\sqrt{n-1}} \cdot S$
C (%)	80,26	7,25	2,11	3,71	$76,55\% < \bar{C} < 83,97\%$
H (%)	6,97	0,99	2,11	0,51	$6,46\% < \bar{H} < 7,48\%$
A (%)	9,51	6,68	2,11	3,42	$6,09\% < \bar{A} < 12,93\%$
V_{isp} (%)	62,95	3,52	2,179	2,21	$60,74\% < \bar{V}_{isp} < 65,16\%$
H_d (kJ/kg)	34612,5	4243,95	2,11	2171,84	$7009,7 \text{ kJ/kg} < \bar{H}_d < 7596,3 \text{ kJ/kg}$

Provedena kvalitativna analiza karakteristika OAP, pokazuje da se može usvojiti pretpostavka da razmatrane karakteristike OAP (C, H, A, V_{isp}, H_d) imaju normalnu

raspodjelu. Ako srednje vrijednosti karakteristika OAP pripadaju izračunatim intervalima (tabela 3.10) onda se eventualne razlike $|\bar{X} - \mu|$ mogu pripisati slučajnim, u protivnom su značajne. Analiza ukazuje da postoje značajna odstupanja karakteristika pepela (70,19%), vodonika (14,19%), donje toplotne moći (12,26%) i ugljenika (9,03%) od srednjih vrijednosti, što pokazuje koeficijent varijacije C_v (tabela 3.8).

Izrazito velike oscilacije masenog udjela pepela u OAP, oko srednje vrijednosti, mogu nepovoljno da utiče na rad elektrofiltarskog postrojenja ako se OAP koriste kao gorivo u kotlovskim postrojenjima. Takođe, ovo ukazuje na nemogućnost primjene suvih postupaka odsumporavanja dimnih gasova, nastalih sagorijevanjem OAP, zbog dodatne količine praha.

LITERATURA

- [1] Fabrika cementa "Lafarge" BFC AD Beočin, Studija o proceni uticaja na životnu sredinu korišćenja guma kao alternativnog goriva u cementari LBFC, „Arhitekt“ Ad Beograd, ul Braće Jugovića br. 21, 2007.
- [2] T.A.Gray, Tire Derived Fuel, An Environmental Friendly Resource, Tire Derived Fuel Seminar, Austin, Texas, Texas Natural Resource Conservation Commission, (1996), 65-81.
- [3] D.Y.C.Leung, C.L.Wang, Kinetic study of scrap tyre pyrolysis and combustion, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 45 (1998), 153-169.
- [4] D. Pradhan, R.K.Singh, Thermal Pyrolysis of Bicycle Waste Tyre Using Batch Reactor, International Journal of Chemical Engineering and Applications, 2 (5), (2011).
- [5] Y. Kar, Catalytic pyrolysis of car tire waste using expanded perlite, Waste Management, 31, (8), (2011) 1772-1782.
- [6] M.Juma, Z.Koreňová, J.Markoš, J.Annus, L.Jelemenský, Pyrolysis and combustion of scrap tire, Petroleum & Coal 48 (1), (2006) 15-26.
- [7] Isabel de Marco Rodriguez, M.F. Laresgoiti, M.A. Cabrero, A. Torres, M.J. Chomon, B. Caballero, Fuel Processing Technology 72 (2001) 9-22.
- [8] Jong Min Lee, Jung Soo Lee, Jung Rae Kim and Sang Done Kim, Energy, 20 (10),

- (1995) 969-976.
- [9] Yu-Min Chang, *Resources, Conservation and Recycling* 17 (1996) 125-139.
- [10] Juan F. González, José M. Encinar, José L. Canito and Juan J. Rodríguez, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 58-59 (1), (2001) 667-683.
- [11] J. H. Chen, K. S. Chen and L. Y. Tong, *Journal of Hazardous Materials*, 84 (1), 2001, 43-55.
- [12] M.F. Laresgoiti, B.M. Caballero, I. de Marco, A. Torres, M.A. Cabrero, M.J. Chomón, *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 71 (2004) 917–934.
- [13] Edward C. Orr, John A. Burghard, Wisanu Tuntawiroon, Larry L. Anderson and Edward M. Eyring, *Fuel Processing Technology*, 47 (3), (1996) 245-259.
- [14] T. Paul, Williams and Richard P. Bottrill, *Fuel*, 74 (5), (1995) 736-742.
- [15] A. Ajay, A., Yiannis, *Fuel*, 74 (11), (1995) 1570-1581.
- [16] A., Evans, R., Evans, *The Composition of A Tyre: Typical Components. Waste & Resources Action Programme. Banbury Oxford. UK. 2006.*
- [17] M. Grigiante, M. Ischia, M. Baratieri, R. Dal Maschio, M. Ragazi. *Pyrolysis Analysis and Solid Residue Stabilization of Polymers, Waste Tyres, Spruce Sawdust and Sewage Sludge. Waste Biomass Valor*, 1 (2010) 381-393.
- [18] C. Berruero, E. Esperanza, F.J. Mastral, J. Ceamanos, P. Garc'a-Bacaicoa, *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 73 (2005) 65-73.
- [19] A. Arion, F. Baronnet, S. Lartiges, J.P. Birat, *Chemosphera*, 42 (5-7), (2001) 853-859.
- [20] D. Lanoir, G. Trouvé, L. Delfosse, *Waste Management*, 17 (8), (1997) 475-482.
- [21] O. Senneca, P. Salatino, R. Chirone, *Fuel*, 78 (13), (1999) 1575-1581.
- [22] C. Roy, H. Darmstadt, B. Benallal, C.A. Chen, *Fuel Processing Technology*, 50 (1), (1997) 87-103.
- [23] A.M. Cunliffe, P.T. Williams, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 44 (2), (1998) 131-152.
- [24] B. Đorđević, V. Valent, S. Šerbanović, *Termodinamika i termotehnika*, Građevinska knjiga, Beograd, 1987.
- [25] S. Đurić, P., Stanojević, D., Đuranović, S., Brankov, S., Milašinović, *Qualitative Analysis of Coal Combusted in Boilers of the Thermal Power Plants in Bosnia and Herzegovina (Article)*, *Thermal science*, 16 (2), (2012) 605-612.

4. POSTUPCI PRERADE OTPADNIH AUTOMOBILSKIH PNEUMATIKA

U ovom se poglavlju prikazuju osnovna svojstva otpadnih automobilskih pneumatika (OAP) kao i pojave koje se odvijaju pri termičkim postupcima prerade OAP. OAP su specifična vrsta otpada koju stvaraju sve vrste vozila. OAP sastavljeni su od gumenih materijala u C_xH_y formi uz prisustvo nekih vlaknastih materijala (slika 4.1). OAP sadrže veliku količinu isparljivih materija (54,23 – 68,70%) i fiksnog ugljenika (18,72 – 33,60%) čija je donja toplotna moć veća od toplotne moći uglja. Donja toplotna moć OAP kreće se u opsegu 27181 – 39144 kJ/kg (tabele 3.1 i 3.4.). Zato su OAP dobar materijal za termičku preradu. Procesi pirolize, gasifikacije i sagorijevanja se smatraju najpraktičnijom metodom za korišćenje energije i materijala iz OAP.



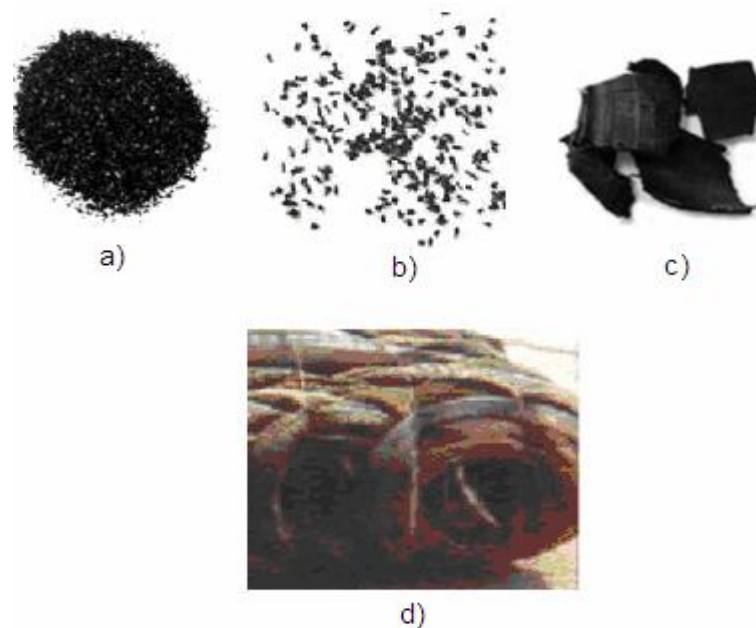
Slika 4.1. Struktura OAP [1]
(1.gazeći sloj, 2. tijelo, 3. peza (stopa))

4.1. Fizička svojstva

Najvažnija fizička svojstva OAP koja su bitna pri termičkim postupcima prerade (piroliza, gasifikacija i sagorevanje) su:

- veličina i distribucija veličina čestica
- oblik čestica
- poroznost čestica.

Fizičke karakteristike OAP čine ih pogodnim za širok spektar primjene u svim oblicima: prah, granulat, sječene i cijele (slika 4.2).



Slika 4.2. Veličine i oblici OAP koji se koriste pri termičkim postupcima prerade
(a- prah, b – granulat, c – sječeni pneumatiki, d – cijeli pneumatiki)

Srednja veličina granula OAP određuje se laboratorijski i najčešće pomoću pregrada sa kalibriranim otvorima (sita) koji se nalaze poredani vertikalno od najvećih otvora prema manjim. Vibriranjem OAP postiže se da se na svakoj pregradi (situ) grupiše određena masa gume pomoću koje se utvrđuje distribucija veličina čestica. Iz ovako dobijenih podataka za potrebe matematičke analize određuje se srednji prečnik čestica OAP prema izrazu [2]:

$$d_{\check{c},sr} = \sum_{i=1}^n d_{\check{c},i} \cdot w_i, \quad (4.1)$$

gdje su:

$d_{\check{c},i}$ - srednji prečnik skupine čestica, mm,

w_i - maseni udio skupine čestica u ukupnoj masi, kg/kg,

n - broj skupina veličina čestica.

Pored veličine čestice, oblik čestice je takođe bitan za termičku preradu OAP. Brzine heterogenih reakcija koje se odvijaju pri procesima sagorevanja OAP zavise od površine čestice na kojoj se odvijaju reakcije.

Za određivanje oblika čestice koristi se veličina koja se naziva *sferičnost* i određuje se pomoću izraza [2]:

$$\varphi_{\check{c}} = \frac{A_{\check{c},s\check{f}ere}}{A_{\check{c}}}, \quad (4.2)$$

gdje su:

$A_{\check{c},s\check{f}ere}$ - površina sfere sa istom zapreminom razmatrane čestice, m²,

$A_{\check{c}}$ - površina razmatrane čestice, m².

Čestice približno oblika sfere imaju sferičnost čija se vrednost približava 1. U praksi čestice retko imaju oblik sfere. Čestice uglja i pijeska imaju sferičnost u rasponu od 0,6 – 0,9. Čestice drvene biomase imaju sferičnost oko 0,2.

Primjenom izraza (4.2) izračunate vrijednosti sferičnosti za različite oblike čestica prikazane su u tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Sferičnost raznih oblika čestica

Oblik čestice	Sferičnost čestice
Sfera	1
Kocka	0,81
Valjak (h = r/3)	0,43
Valjak (h = r)	0,80
Valjak (h = 2r)	0,87

OAP posjeduju kao i sva druga čvrsta goriva poroznost i ta osobina goriva je takođe bitna pri termičkim postupcima prerade. Podaci iz literature ukazuju da je skoro pola volumena čvrstih goriva ispunjeno šupljinama. Većina tih šupljina je na mikroskopskom nivou unutar čestice. Poroznost se može definisati pomoću gustine prividne i gustine stvarne čestice [2]:

$$\varepsilon_{\check{c}} = 1 - \frac{\rho_{\text{prividna}}}{\rho_{\text{stvarna}}}, \quad (4.3)$$

gdje su:

ρ_{prividna} - prividna gustina čestice (omjer mase prosječne čestice i zapremine koji ona zauzima uključujući zapreminu šupljina unutar i između čestica – kod biomase se kreće oko 700 kg/m³),

ρ_{stvarna} - stvarna gustina čestice (omjer mase prosječne čestice i zapremine koji ona zauzima bez zapremine unutrašnjih šupljina i pora – kod biomase ova se gustina kreće oko 1400 kg/m³).

4.2. Hemijska svojstva

OAP pored atoma C, H, O, N, S u sastavu sadrže još i Fe, Ca, Mg, K, Na, i još niz drugih elemenata. Tehnička i elementarna analiza OAP prikazana je u tabelama 3.1 – 3.5, a kvalitativna analiza OAP prikazana je u tabelama 3.6 – 3.13. Analiza ukazuje (tabela 3.6) da se:

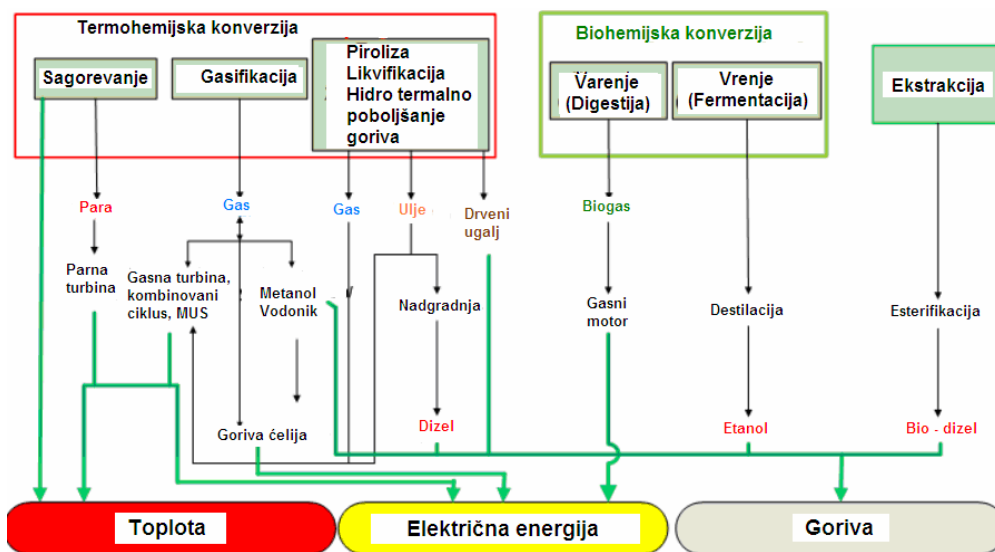
- maseni udio ugljenika kreće u opsegu 64,2 – 88,5%
- maseni udio vodonika kreće u opsegu 5 – 8,1%
- maseni udio pepela kreće u opsegu 2,4 – 25,2%
- donja toplotna moć kreće u opsegu 27000 – 39144 kJ/kg.

Razlika između biomase, otpadne gume i uglja je u omjeru masenih udjela ugljenika i vodonika (C/H). Taj se omjer kod biomase kreće oko 10, otpadne gume oko 12, lignita oko 14 i kod antracita čak 30. Ovo se može objasniti činjenicom da su produkti raspadanja biomase gasovi manje molekularne mase i organske tekućine sa većim udjelom vodonika. OAP kao gorivo u pogledu hemijskih svojstava ima određene prednosti ali i nedostatke. Prednosti OAP kao goriva jeste to što OAP spadaju u visoko energetska goriva. OAP sadrže 20 – 30% prirodne gume koja je obnovljivi energetski izvor pa svojim sagorijevanjem ne zagađuje životnu sredinu emitovanjem CO₂ [1]. Nedostaci OAP kao goriva su znatni udjeli: pepela, sumpora, cinka i željeza.

4.3 Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika

Piroliza ugljeničnih materijala se može tumačiti kao termalna degradacija goriva u odsustvu kiseonika. Tu se gorivo (OAP) uvodi u reaktorski prostor bez radnih fluida a toplota se dovodi izvan reaktorskog prostora. Piroliza se uglavnom primenjuje pri preradi goriva (ugalj, otpad, OAP) sa većim sadržajem ugljenika i vodonika. Prema rasponu temperatura mogu se razlikovati tri varijante pirolize: niskotemperaturna do 500°C, srednjetemperaturna od 500 - 800°C i visokotemperaturna iznad 800°C. Povećanjem temperature pirolize povećava se udio pirolitičkog gasa a smanjuje se udio čvrste i tečne faze.

Produkti procesa pirolize su kondenzovane tečnosti, čvrsti ostatak (koks) i pirolitički gas. Procesi pirolize, gasifikacije i sagorijevanja se smatraju najatraktivnijim metodama za korišćenje energije iz otpadnih guma i biomase (slika 4.3).



Slika 4.3. Termohemijska i biohemijska konverzija goriva

Industrijska postrojenja su uglavnom na stupnju razvoja laboratorijskih ili poluindustrijskih eksperimentalnij postrojenja. Prema podacima iz literature [3] iz jedne tone smeća pirolizom se može dobiti 70 – 90 kg koksa (toplotne moći 19000 – 30000 kJ/kg), 5 – 8 kg ulja (toplotne moći 3800 – 4200 kJ/kg), 300 – 500 m³ gasa (toplotne moći 12000 – 20000 kJ/m³). Maseni udio pojedinih proizvoda procesa pirolize smeća zavisi od sastava smeća, pritiska i temperature u reaktorskom prostoru. Pirolizu kao proces moguće je podijeliti u tri uzastopna procesa:

Primarni procesi: Formiraju se produkti u gorivu pri nižim temperaturama (CO₂, alifati, ugljikovodici sa sadržajem kiseonika i različiti uljni spojevi).

Sekundarni procesi: Pri porastu temperature formiraju se sekundarni produkti u gasovitoj fazi pucanjem lanaca primarnih produkata ili reakcijom gasovitih spojeva na stijenkama čestica.

Tercijarni procesi: Pucanjem lanaca sekundarnih produkata ili repolimerizacijom na teške aromatske spojeve pri visokim temperaturama nastaju novi spojevi.

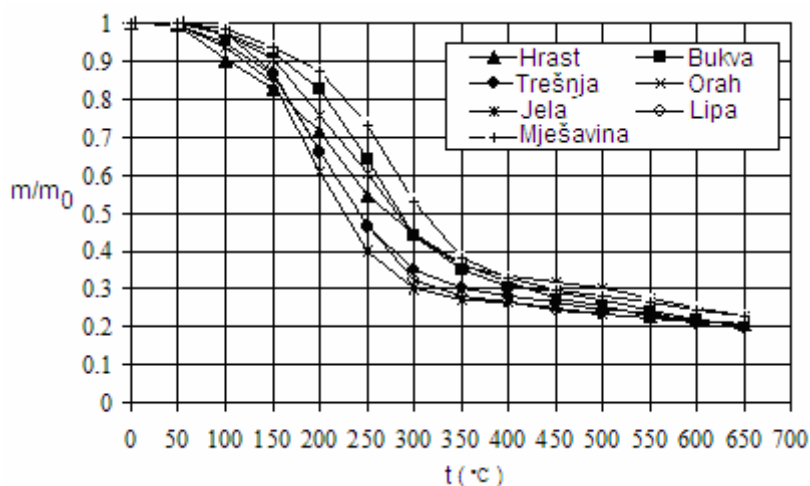
Hlađenjem pirolitički gas kondenzuje se u tečnost koji se često naziva „bioulje“ koji ima osobine:

- lakog ulja koji se može koristiti kao lož ulje ili dizel gorivo
- srednjeg ulja za proizvodnju maziva
- teškog ulja pogodnog za proizvodnju ugljeničnih vlakana.

Procesima pirolize goriva ne nastaju praktično nikakav otpad. Javljaju se samo toplotni gubici. Proizvodi nastali pirolizom (pirolitički gas, bioulje i koks) se na tržištu dobro prodaju uglavnom kao jeftino gorivo. Otpadna toplota se koristi za zagrijavanje radnih pogona.

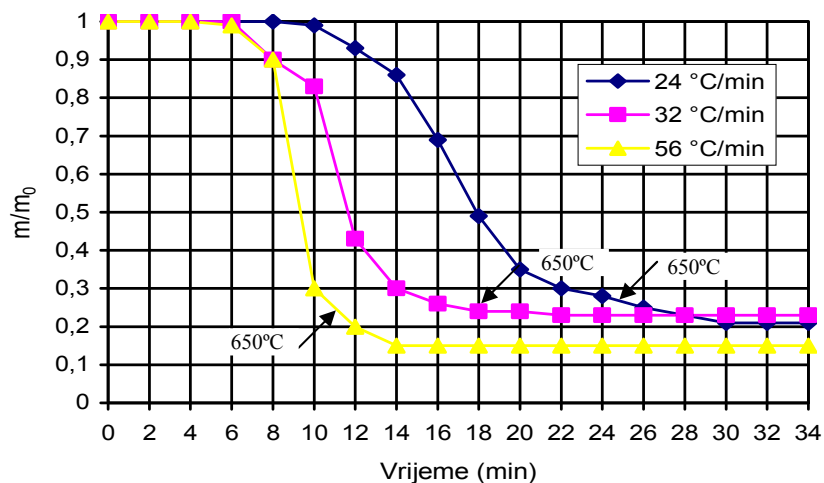
Na slici 4.4. prikazani su rezultati termogravimetrijske analize (TGA) mješavine šest različitih vrsta drvene biomase (hrast, bukva, trešnja, orah, lipa i jele) kao i njihove mješavine približno jednakih masenih udjela. Sa slike se uočavaju veći prinosi pirolitičkog gasa a manji prinosi čvrstog koksnog ostatka pri većim pirolitičkim temperaturama. Sa slike se uočava veća promjena masenog udjela m/m_0 ispod 300 °C. Nakon toga dolazi do stabilizacije masenog udjela m/m_0 .

Visoki prinosi pirolitičkog gasa (74-81%) dobijeni procesom pirolize mješavine poljoprivredne biomase pri 650°C i velika zastupljenost poljoprivredne biomase u Vojvodini (Republika Srbija) obećavaju primjenu ovakvih tehnologija. Ako bi se usvoio ovakav odnos prinosa pirolitičkog gasa dobijen eksperimentalnim ispitivanjem sa industrijskom pirolizom ukupne količine biomase u Srbiji od $12360.50 \cdot 10^3$ tona dobilo bi se 9146770 tona do 10012005 tona pirolitičkog gasa na godišnjem nivou. Ovo daje veliku mogućnost da Srbija nadoknadi svoj deficit iz obnovljivih izvora energije a posebno korišćenjem poljoprivredne biomase što je posebno značajno za nacionalnu ekonomiju Srbije.



Slika 4.4. Kriva gubitka mase uzoraka drvene biomase u opsegu temperature 25-650 °C (prosječna brzina zagrijavanja uzorka biomase je 21 °C/min) [4]

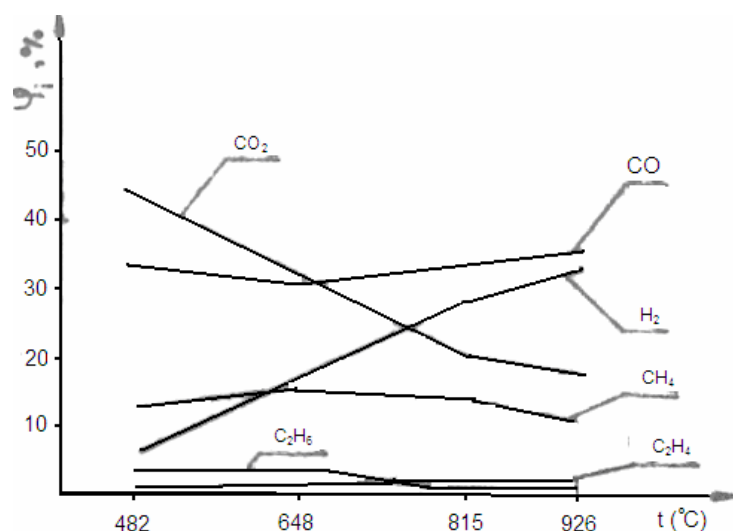
Slika 4.5. prikazuje TGA analizu pirolize mješavine drvene biomase. Mješavina se sastoji iz približno jednakih masenih udjela strugotine drveta hrasta, bukve, trešnje, oraha, lipa i jele.



Slika 4.5. Kriva gubitka mase uzorka mješavine drvene biomase u zavisnosti od reakcionog vremena i brzine zagrijavanja uzorka [4]

Visoki prinosi pirolitičkog gasa (76- 85%) dobijeni procesom pirolize mješavine drvene biomase pri 650°C i velika zastupljenost drvene biomase u Republici Srbiji i BiH obećavaju primjenu ovakvih tehnologija.

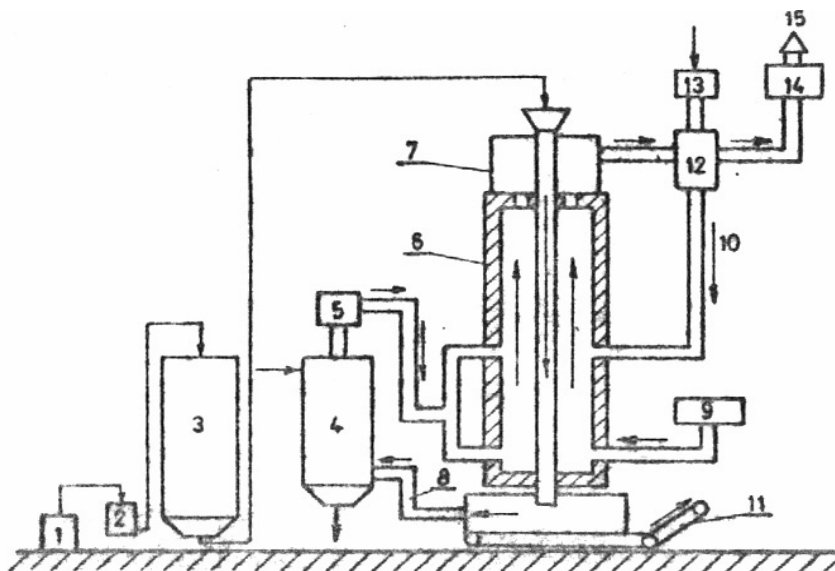
Na slici 4.6. prikazani su rezultati ispitivanja procesa pirolize OAP. Literaturni izvor [3,5] ne daje podatke o sastavu OAP, geometrijskim osobinama reaktora, brzini zagrijavanja i drugih procesnih parametara. Ove veličine utiču na prinos pirolitičkog gasa i koksnog ostatka.



Slika 4.6. Zapreminski udjeli komponenata u gasnoj fazi produkata OAP [3,5]

Proces pirolize (smeća, OAP, biomase) obavlja se u pećima sa fluidizovanim slojem, šahtnim retortnim pećima i rotacionim pećima.

U postrojenju „Destrugas“ (slika 4.7) piroliza OAP se vrši u retorti (6). Pirolitički gas se prečišćava u uređaju (4), sagorijevanje u plaštu retorte (6). Proizvedeni pirolitički gas se transportuje potrošačima.



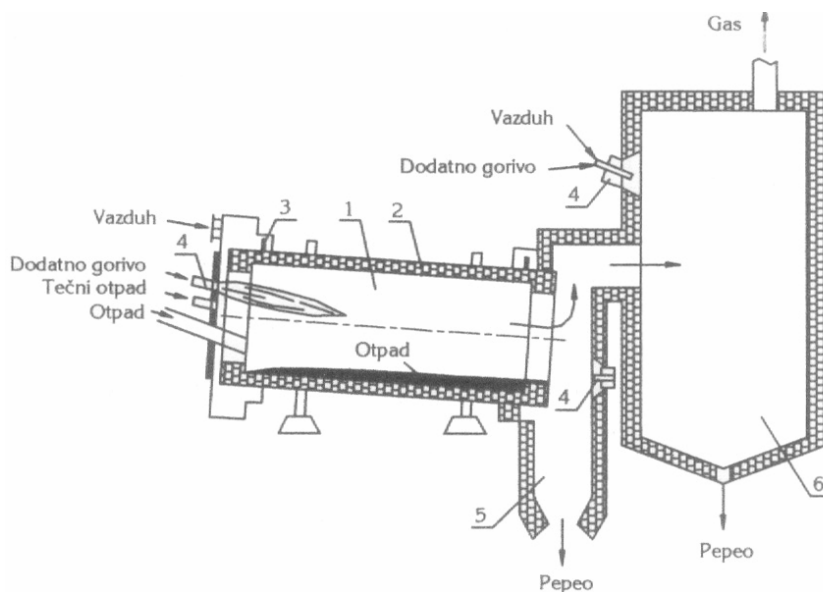
Slika 4.7. Šema sistema „Destrugas“ za pirolizu otpada [3]

1 - skladište smeća, 2 – drobilica, 3 – bunker, 4 – uređaj za prečišćavanje, 5 – ventilator, 6 – retorta, 7 – izmjenjivač toplote za prethodno sušenje smeća, 8 – produkti pirolize, 9 – rezervoar za gas, 10 – vazduh za sagorijevanje gasa, 11 – transporter čvrstog ostatka iz procesa, 12 – izmjenjivač toplote, 13 – kompresor, 14 – ventilator, 15 – izlaz produkata sagorijevanja u atmosferu

U najširoj upotrebi jesu rotacione peći za sagorijevanje otpada. One omogućavaju i druge termičke prerade otpada kao što su piroliza i gasifikacija (slika 4.8). Dužine rotacionih peći su 8 - 12 m (ređe 20 m), prečnika 1 – 5 m, temperature u peći od 800 - 1400 °C, vremena zadržavanja otpada u peći od 60 – 90 minuta. Nagib peći je 1 - 3 °, vrijeme potrebno za jedan obrtaj peći je 20 – 40 s.

Prednost ovih peći su:

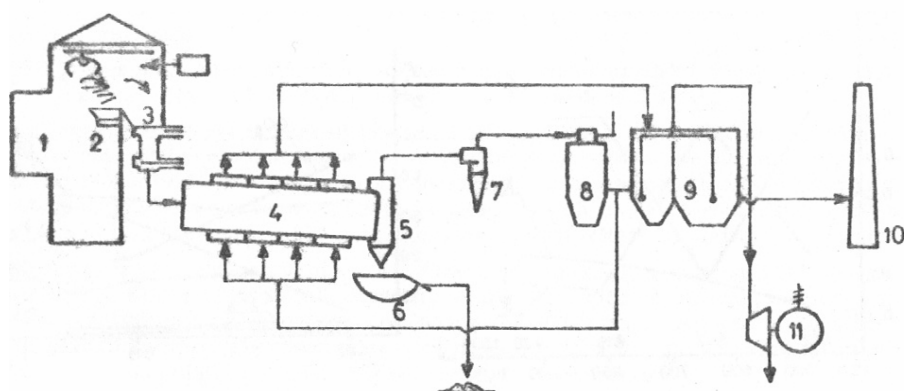
- elastičnost u radu pri promjenama kapaciteta
- mogu da sagorijevaju i goriva sa nižom toplotnom moći
- duže vrijeme rada u odnosu na sagorijevanje sa rešetkom
- sitne frakcije ostaju u ložištu (ne propadaju iz ložišta kao kod rešetke)
- mehanička priprema otpada nije potrebna
- koeficijent viška vazduha je manji nego kod drugih peći.



Slika 4.8. Uprošćena šema rotacione peći [6]

- 1 – rotaciona peć, 2 – vatrootalni izolacioni materijal, 3 – zaptivač,
- 4 – gorionik za dodatno gorivo, 5 – kanal za odvod pepela,
- 6 – komora za dogrijevanje

Kod postupka „Kiner Pirolize“ (slika 4.9) usitnjeni otpad i OAP se uvode u rotacionu peć. Pri temperaturi od 450 - 500°C, nastaje termička razgradnja otpada. Pirolitički gasovi sagorijevaju u ložištu (8), pri temperaturi od 1100 - 1200°C . Fizička toplota dimnih gasova se koristi za proizvodnju vodene pare u kotlu (9) a dijelom za zagrijavanje rotacione peći.



Slika 4.9. Šema sistema „Kiner Pirolize“ [3]

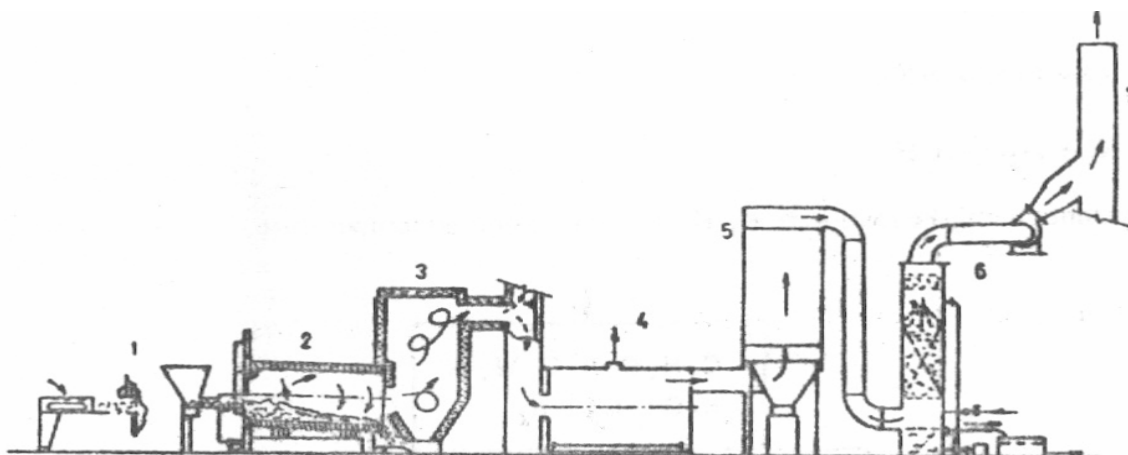
- 1 – bunker, 2 – drobilica, 3 – sistem za doziranje otpadaka, 4 – reaktor za pirolizu,
- 5 – komora, 6 – posuda za koks, 7 – ciklon, 8 – ložište, 9 – kotao, 10 – dimnjak,
- 11 – turbina

4.4 Gasifikacija otpadnih automobilskih pneumatika

Postupkom gasifikacije OAP se transformišu u gasovito gorivo. Pomoćne radne materije mogu biti vazduh, vodena para i tečni kiseonik. Glavni produkti gasifikacije su: CO_2 , CO , H_2 i CH_4 . Sastav gasovitog proizvoda zavisi od sastava goriva (masenih udjela gorivog djela goriva), tipa gasifikatora, masenog udjela vlage u gorivu, temperature gasifikacije i mase dodavane vodene pare ili vazduha. U odnosu na sagorijevanje OAP prednosti gasifikacije su proizvodnja gasa koji se može koristiti u različite svrhe i manji uticaj proizvoda gasifikacije na životnu sredinu. Proces gasifikacije OAP se sastoji od tri faze: sušenja goriva, piroliza i gasifikacija. Treća faza odnosi se na gasifikaciju čvrstog ostatka (koksa) tj. konverziju čvrstog ostatka u gasovito gorivo. Piroliza je znatno brži proces konverzije OAP u gasovito gorivo od gasifikacije. Gasifikacija kao proces konverzije čvrstih goriva poznat je više od 100 godina, ali tek poslednjih godina raste interesovanje za praktičnu primjenu gasifikacije biomase, otpada, uglja i OAP. To se može primjetiti sve veća izgradnja gasifikacionih postrojenja.

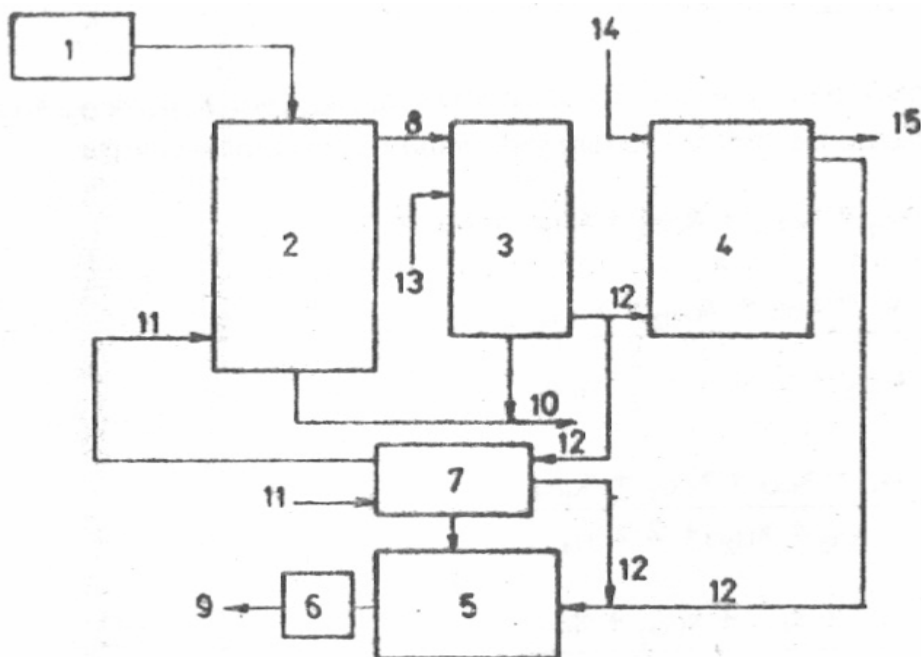
U reaktoru tipa „Konserterm“ (slika 4.10) vrši se gasifikacija otpada. Gasifikacija se vrši u rotacionoj peći (2), gasoviti produkti gasifikacije dogorijevaju u komori (3) pri temperaturi od 850 – 1000 °C. Postrojenje se primjenjuje za sve vrste otpada.

Kod postupla „Andko Toraks“ (slika 4.11) u reaktorski prostor (2) pored otpada ulazi vazduh zagrijan do 1000 °C. Gasoviti produkti gasifikacije potpuno dogorijevaju pri temperaturi od 1400 ° u komori (3). Zapreminski udio komponenta u proizvedenom gasu su: CO 8 – 15%, H_2 8 – 15%, CH_4 1 – 4%. Donja toplotna moć gasa je 3000 – 6000 kJ/m^3 pri $1.013 \cdot 10^5$ Pa i 0 °C.



Slika 4.10. Šema postrojenja „Konserterm“ [3]

1 – uređaj za doziranje, 2 – rotaciona peć, 3 – komora za dogrijevanje, 4 – izmjenjivač toplote, 5 – izdvajač čvrstih čestica, 6 – izdvajač gasovitih zagađujućih komponenta, 7 – dimnjak



Slika 4.11. Šema sistema „Andko Toraks“ za gasifikaciju smeća [3]

1 – bunker za smeće, 2 – reaktor za gasifikaciju, 3 – komora za sagorijevanje, 4 – izmjenjivač toplote, 5 – elektrofilter, 6 – ventilator, 7 – regenerativni izmjenjivač toplote, 8 – gorivi gas, 9 – izlaz gasovitih produkata iz procesa, 10 – izlaz čvrstog ostatka, 11 – primarni vazduh, 12 – dimni gasovi, 13 – sekundarni vazduh, 14 – voda, 15 – vodena para

4.5 Sagorijevanje otpadnih automobilskih pneumatika

Sagorijevanjem OAP raspoloživa energija prevodi se u fizičku energiju dimnih gasova definisanu temperaturom dimnih gasova. Pored korišćenja toplotne energije bitan značaj sagorijevanja otpada je smanjenje zapremine otpada (smeća, OAP). Tokom sagorijevanja otpada (OAP) nastaju otpadni gasovi i čvrst ostatak (pepeo). U dimnim gasovima nalazi se niz zagađujućih komponentata SO_2 , HCl , HF , NO_x itd. Sumpor – dioksid (SO_2) i hlorovodonik (HCl) su osnovni predstavnici kiselih gasova. Sumpor-dioksid nema bitnog uticaja na rad generatora pare, već samo na emisiju u okolinu, dok sumpor-trioksid (SO_3) bitno utiče na pogonsku raspoloživost generatora pare zbog njegovog direktnog uticaja na tkz. nisko-temperatursku koroziju koja nastaje na hladnijim površinama generatora pare. Nisko-temperaturska korozija nastupa kada dođe do kondenzacije sumporne kiseline (H_2SO_4). Mehanizam nastajanja i kondenzacija sumporne kiseline može se prikazati pomoću hemijskih reakcija $\text{SO}_3(\text{g})+\text{H}_2\text{O}(\text{g})=\text{H}_2\text{SO}_4(\text{g})=\text{H}_2\text{SO}_4(\text{l})$.

U praksi se problem kondenzacije sumporne kiseline (H_2SO_4) rešava na više načina:

- održavanjem temperature dimnog gasa iznad tačke rose (ovo ima za posledicu veću potrošnju goriva, umanjuje stepen iskorišćenja generatora pare i povećava toplotne gubitke)
- smanjenjem koeficijenta viška vazduha (viška kiseonika) do granice pri kojoj ne može doći do oksidacije SO_2 u SO_3
- smanjenjem nastajanja kiseline uklanjanjem katalitičke reakcije gdje dolazi do najveće konverzije SO_2 u SO_3 .

Ovi praktični problemi pridaju značaj tačnom određivanju sumpor-trioksida (SO_3) u dimnom gasu nastalih sagorijevanjem čvrstih goriva (fosilnih goriva, otpada, OAP).

Pri sagorijevanju otpada i OAP mora se zadovoljiti niz uslova. Pepeo iz procesa sagorijevanja treba da bude sterilan a gasoviti produkti iz procesa ne smiju sadržavati produkte nepotpunog sagorijevanja CO , H_2 , C_mH_n .

Pri sagorijevanju OAP pokazano je da se produkti sagorijevanja OAP ne razlikuju mnogo od produkata sagorijevanja fosilnih goriva, izuzev veće emisije cinka. Razlog povećanog sadržaja cinka u produktima sagorijevanja OAP je dodavanje cink – oksida (ZnO) u procesu proizvodnje automobilske gume. U tabeli 4.2 pored sastava uglja uporedno prikazan je sastav OAP i guma oslobođena od čelične žice. Iz tabele se može uočiti da u odnosu na sastav uglja, guma iz koje je odstranjena čelična žica ima približno dvostruko niži sadržaj vezanog ugljenika, a skoro dvostruko viši sadržaj isparljivih komponenata i znatno niži sadržaj vlage.

Tabela 4.2. Sastav uglja, OAP (celih) i OAP iz kojih je odstranjena čelična žica [7]

Komponenta	Uglj (maseni udio, %)	OAP (cijele) (maseni udio, %)	OAP (oslobođena od čelične žice) (maseni udio, %)
Vezani ugljenik	47,14	21,85	22,93
Isparljive komponente	34,05	54,23	67,31
Pepeo	11,05	23,17	8,74
Vlaga	7,76	0,75	1,02
Ukupno	100,00	100,00	100,00

U tabeli 4.3 prikazana je uporedna analiza uzorka pepela nastalog sagorijevanjem uglja, OAP (cijele) i OAP iz kojih je odstranjena čelična žica.

Može se uočiti uravnotežen sadržaj analiziranih komponenti u sastavu pepela uglja i pepela

OAP iz kojih je odstranjena čelična žica. Bitna razlika je u sadržaju cinka. Maseni udio cinka u OAP iz kojih je odstranjena čelična žica iznosi 34,81% a maseni udio cinka u pepelu uglja iznosi svega 0,02%. To se može objasniti dodavanjem ZnO u procesu proizvodnje automobilskih pneumatika.

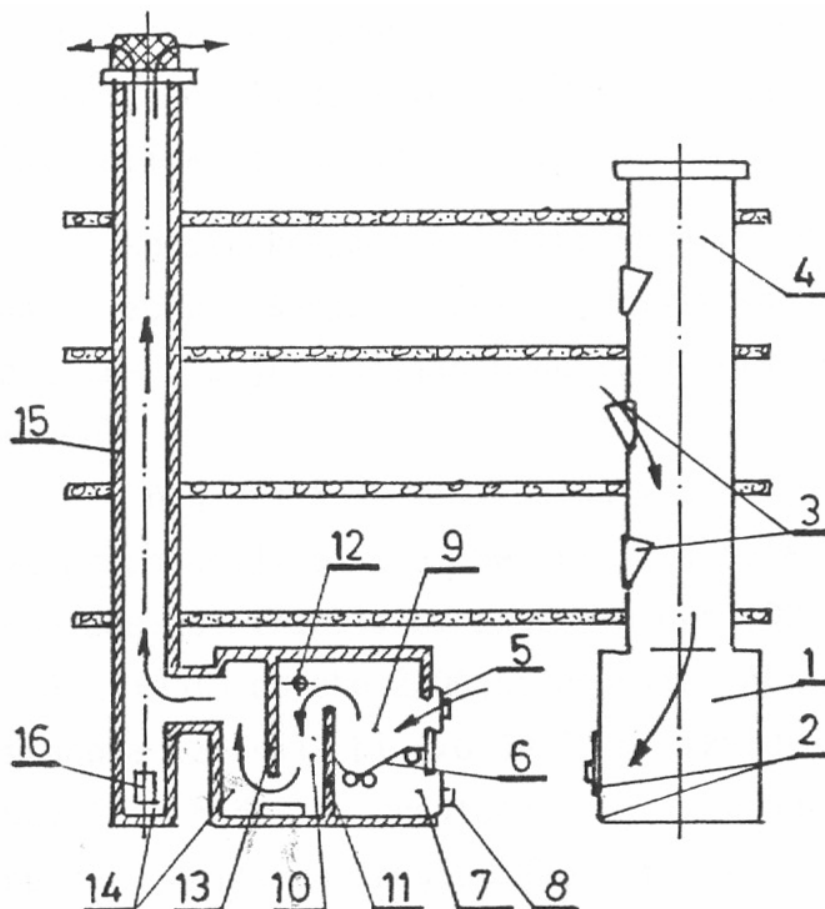
Tabela 4.3. Sastav pepela uglja, pepela OAP (cijelih) i pepela OAP iz kojih je odstranjena čelična žica [7]

Element (u oksidu)	Ugalj (maseni udio, %)	OAP (cijele) (maseni udio, %)	OAP (oslobođena od čelične žice) (maseni udio, %)
Aluminijum	20,70	1,93	13,11
Kalcijum	3,30	0,56	3,80
Gvožđe	18,89	0,35	2,37
Magnezijum	0,79	0,10	0,68
Fosfor	0,62	0,10	0,68
Kalijum	2,06	0,14	0,95
Titan	0,82	0,14	0,95
Silicijum	47,98	5,16	35,05
Natrijum	0,48	0,13	0,88
Sumpor	4,33	0,99	6,72
Cink	0,02	5,24	34,81

4.5.1. Analiza postojećih rešenja za sagorijevanje otpada i OAP

Osnovne karakteristike nekih postrojenja za sagorijevanje otpada i OAP koja su trenutno u eksploataciji prikazana su na slikama 4.12 do 4.14. Detaljnija analiza postojećih rešenja za sagorijevanje otpada i OAP može se vidjeti u literaturnim izvorima [8,9].

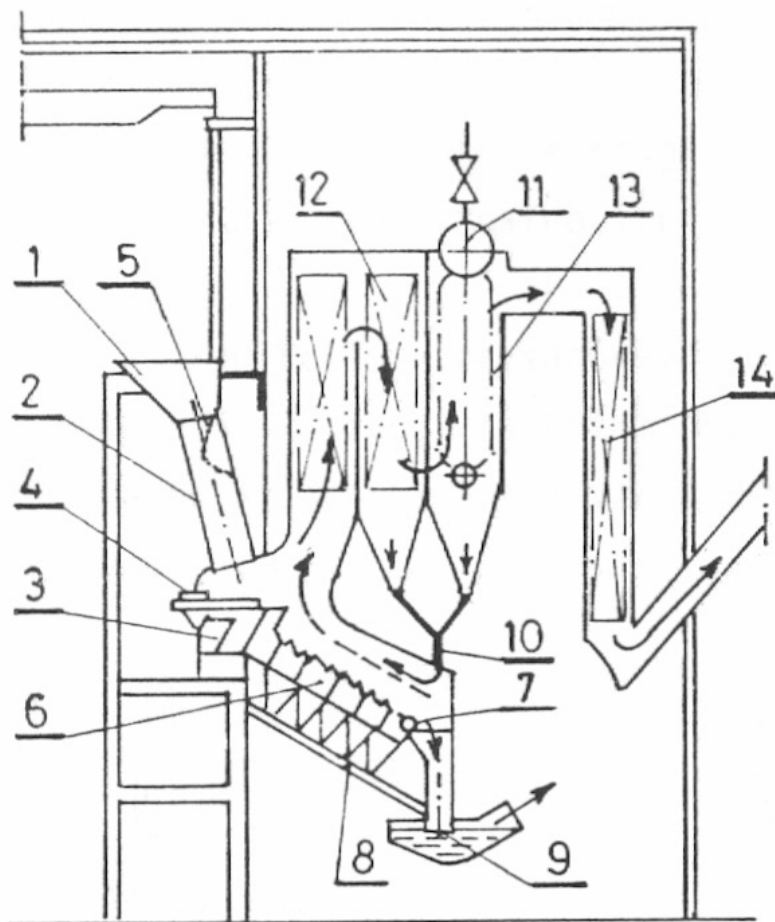
Sagorijevanje otpada u **nepokretnom sloju** primjenjuju se uglavnom u postrojenjima manje snage (ispod 250 kW). Na slici 4.12 prikazana je šema peći u nepokretnom sloju. Vazduh za sagorijevanje ulazi u komoru za sagorijevanje (9) kroz vrata pepeljare (8). Temperatura u komori za sagorijevanje kreće se u intervalu 700-800°C, a pepeo iz taložne komore (14) vadi se ručnim putem.



Slika 4.12. Peć sa nepokretnim slojem za sagorijevanje otpada [8]

1 – bunker, 2 – vrata bunkera, 3 – otvori za prijem otpada, 4 – kanal,
5 – vrata ložišta, 6 - rešetka za ložište, 7 – pepeljara, 8 – vrata pepeljare,
9 – komora za sagorijevanje, 10 – komora za dogorijevanje, 11 – pregrada,
12 – gorionik, 13 – pregrada, 14 – taložna komora, 15 – dimnjak,
16 – vrata za čišćenje

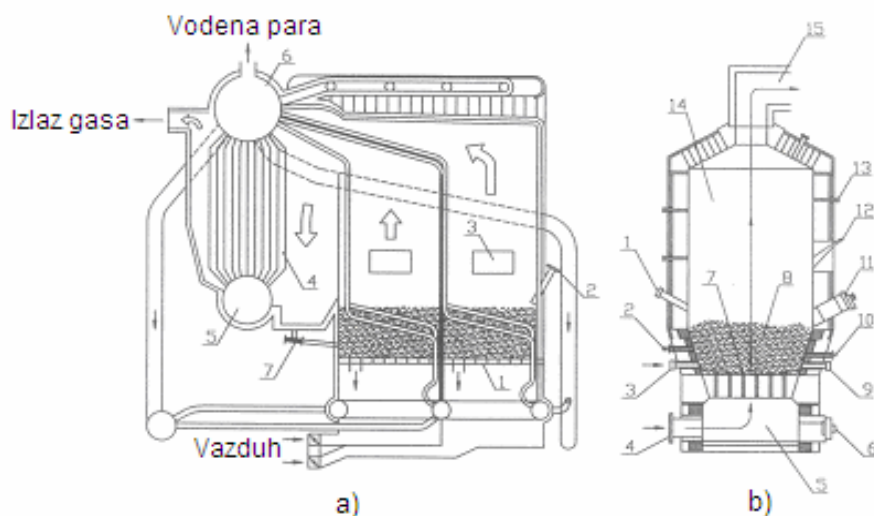
Kod peći za sagorijevanje otpada sa **pokretnom rešetkom** iskorišćenje toplote je veće nego kod peći za sagorevanje otpada u nepokretnom sloju. Šema takve jedne peći prikazana je na slici 4.13. Temperatura primarnog vazduha je 100-120°C. Paljenje otpada na rešetki je odozdo. Kapaciteti rešetki kreću se od 1,4 do 5,6 kg/s otpada. Specifično toplotno opterećenje aktivne površine rešetke je 0,5 MW/m².



Slika 4.13. Kotlovsko postrojenje za sagorijevanje otpada u sloju [8]

1 – prijemni lijevak, 2 – ulivna cijev, 3 – nepokretno postolje, 4 – pokretni gurač, 5 – šiber, 6 – rešetka, 7 – transporter čvrstog ostatka, 8 – cijev za transport propada, 9 – sud za hlađenje čvrstog ostatka, 10 – vod za recikulaciju čvrstih čestica, 11 – kotao utilizator, 12 – komora za hlađenje dimnih gasova, 13 – konvektivne grejne površine, 14 – naknadne grejne površine (ekonomajzeri)

Kod ložišta za sagorijevanje otpada u **fluidizovanom sloju** materijal sagorijeva sa inertnim materijalom na primjer pijesak, silikatni materijali i slično (slika 4.14). Cilj inertnih materijala jeste da stvaraju fluidizovani sloj sa vazduhom koji struji sa donje strane. Eksploataciona iskustva rada ovakvih postrojenja ukazuju da se oko 5% pijeska nadoknadi na svakih 300 radnih sati. Temperatura u sloju se održava u intervalu 750-925°C. Ložišta za sagorijevanje u fluidizovanom sloju uspješno se mogu primjenjivati i za sagorijevanje vlažnog otpada. Pri koeficijentu viška vazduha 1,25-1,50 ostvaruje se potpuno sagorijevanje. Zbog niskih temperatura sagorijevanja otpada emisija NO_x je zanemariva.



Slika 4.14. Ložište za sagorijevanje otpadnih materijala u fluidizovanom sloju [6]

- a) „bubbling bed“ sistem; 1- mlaznice za vazduh, 2-priključak za krečnjak, 3-ulaz otpada, 4- kotao, 5-rezervoar vode, 6-parni doboš, 7-priključak za povrat letećeg pepela u ložište
- b) „circulating bed“ sistem; 1-otvor za pesak, 2-termopar, 3-ulaz otpada, 4-ulaz vazduha za fluidizaciju, 5-komora za vazduh, 6-gorionik za predgrijavanje vazduha pri stertovanju, 7-mlaznice za vazduh, 8-fluidizovani sloj, 9-priključak za probu pritiska, 10-priključak za ubrizgavanje goriva, 11-gorionik, 12-revizioni otvor, 13-priključak za probu pritiska, 14-slobodna zona, 15-izduvni gasovi i pepeo

Pri termičkim preradama otpada (piroliza, gasifikacija i sagorijevanje) u najširoj upotrebi su **rotacione peći** (slika 4.8). Dužine rotacionih peći su 8-12m, a ne retko u praksi se susreću i peći dužine i 20m, prečnika radnog prostora 1-5m. Temperatura u peći kreće se u intervalu 800-1400°C, vrijeme zadržavanja otpada u peći je 60-90 minuta. Nagib peći je 1-3° a vrijeme potrebno za jedan obrtaj peći je 20-40s. Rotacione peći sa suprotnosmjernim tokom se najčešće koriste za sagorijevanje tečnih industrijskih otpada.

Prednost rotacionih peći u odnosu na druge peći koje se koriste u praksi jeste elastičnost u radu pri promjenama kapaciteta, mogu da sagorijevaju i goriva sa nižom toplotnom moći. To omogućava duži i stabilniji rad peći u odnosu na sagorijevanje u pećima sa rešetkom. U odnosu na peći sa rešetkom rotacione peći su takođe fleksibilnije za sagorijevanje otpada sa većim udjelom mineralnih materija.

Kod rotacionih peći sitnije frakcije ostaju u ložištu (peći), ne propadaju iz ložišta kao kod rešetke. Time se smanjuju toplotni gubici u propadanju goriva.

Mehanička priprema otpada nije potrebna kao kod drugih postrojenja, koeficijent viška

vazduha je manji kod rotacionih peći nego kod drugih postrojenja.

Pored geometrijskih karakteristika rad rotacione peći karakterišu i kapacitet, specifična potrošnja goriva i stepen korisnosti. Proizvodnost rotacione peći zavisi od: geometrijskih karakteristika (prečnik peći i dužina), ugla nagiba peći, brzine rotacije, uslova rada i okruženja (na otvorenom ili zatvorenom), broja obrtaja, ravnomernosti doziranja sirovine, postojanosti hemijskog sastava smješe, kvalitetnog rada sistema za sagorijevanje goriva i uspješnog održavanja zadatih toplotnih parametara.

4.5.2. Stehiometrijske jednačine sagorijevanja OAP

Za određivanje materijalnog bilansa procesa sagorijevanja goriva potrebno je poznavati sastav goriva koji se dobija elementarnom i tehničkom analizom.

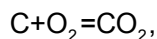
Za čvrsta i tečna goriva sastav po jedinici mase goriva (1kg) prikazuje se pomoću jednačine:

$$C+H+S+O+N+W+A=1, \quad (4.1)$$

gdje su:

C,H,S,O,N,W,A - maseni udjeli ugljenika, vodonika, sumpora, kiseonika, azota, vlage i pepela u gorivu, kg/ kg.

Za potpuno sagorijevanje ugljenika vrijedi reakcija:



$$1\text{kmolC}+1\text{kmolO}_2=1\text{kmolCO}_2,$$

$$12\text{kgC}+22,4\text{m}^3\text{O}_2=22,4\text{m}^3\text{CO}_2, /:12,$$

$$1\text{kgC}+1,867\text{m}^3\text{O}_2=1,867\text{m}^3\text{CO}_2.$$

Da bi potpuno sagorio 1 kg ugljenika potrebno je dovesti 1,867 m³ kiseonika pri čemu će se dobiti 1,867 m³ ugljen dioksida pri normnim uslovima (1,013 · 10⁵Pa i 0°C).

Ako je C maseni udio ugljenika u gorivu dobija se:

$$m_{\text{CO}_2} = 3,667 \cdot C, \frac{\text{kg}(\text{CO}_2)}{\text{kg}(\text{OAP})}, \quad (4.2)$$

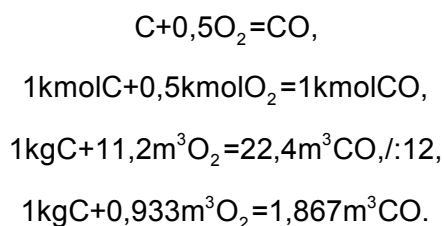
$$V_{\text{CO}_2} = 1,867 \cdot C, \frac{\text{m}^3(\text{CO}_2)}{\text{kg}(\text{OAP})}, \quad (4.3)$$

gdje su:

$$m_{\text{CO}_2} - \text{masa ugljen dioksida u dimnim gasovima}, \frac{\text{kg}(\text{CO}_2)}{\text{kg}(\text{OAP})},$$

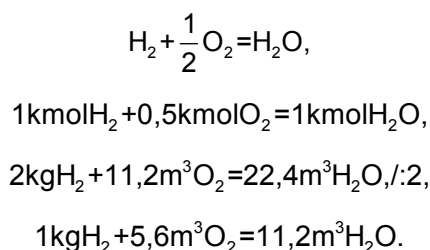
$$V_{\text{CO}_2} - \text{zapremina ugljen dioksida u dimnim gasovima}, \frac{\text{m}^3(\text{CO}_2)}{\text{kg}(\text{OAP})}.$$

Zbog manjka kiseonika ugljenik djelimično **sagorijeva u ugljen monoksid** prema hemijskoj reakciji:



Voda u dimnim gasovima stvara se od vlažnosti goriva, vlažnosti vazduha i sagorijevanjem vodonika.

Vodonik sagorijeva prema reakciji :



Ako su H W maseni udjeli vodonika i vlage u OAP iz prethodnih relacija dobija se:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 9 \cdot H + W, \frac{\text{kg}(\text{H}_2\text{O})}{\text{kg}(\text{OAP})}, \quad (4.4)$$

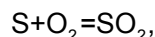
$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{22,4}{18} \cdot (9 \cdot H + W), \frac{\text{m}^3(\text{H}_2\text{O})}{\text{kg}(\text{OAP})}, \quad (4.5)$$

gdje su:

m_{H_2O} - masa vode u dimnim gasovima, $\frac{kg(H_2O)}{kg(OAP)}$,

V_{H_2O} - zapremina vode u dimnim gasovima, $\frac{m^3(H_2O)}{kg(OAP)}$.

Sagorijevanje sumpora odvija se prema reakciji:



$$1 \text{ kmol } S + 1 \text{ kmol } O_2 = 1 \text{ kmol } SO_2,$$

$$32 \text{ kg } S + 22,4 \text{ m}^3 O_2 = 22,4 \text{ m}^3 SO_2, /:32,$$

$$1 \text{ kg } S + 0,7 \text{ m}^3 O_2 = 0,7 \text{ m}^3 SO_2.$$

Ako je S maseni udio sumpora u gorivu dobija se:

$$m_{SO_2} = \frac{64}{32} \cdot S = 2 \cdot S, \frac{kg(SO_2)}{kg(OAP)}, \quad (4.6)$$

$$V_{SO_2} = \frac{22,4}{32} \cdot S = 0,7 \cdot S, \frac{m^3(SO_2)}{kg(OAP)}, \quad (4.7)$$

gdje su:

m_{SO_2} - masa sumpor dioksida u dimnim gasovima, $\frac{kg(SO_2)}{kg(OAP)}$,

V_{SO_2} - zapremina sumpor dioksida u dimnim gasovima, $\frac{m^3(SO_2)}{kg(OAP)}$.

U dimnim gasovima prisutan je azot i kiseonik koji potiču od vazduha dovedenog radi sagorijevanja goriva. Pri potpunom sagorijevanju goriva i za poznati koeficijent viška vazduha ukupno će biti azota i kiseonika:

$$m_{N_2} = 0,77 \cdot L + N = 0,77 \cdot \lambda \cdot L_{min} + N, \frac{kg(N_2)}{kg(OAP)}, \quad (4.8)$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot L + \frac{22,4}{28} \cdot N, \frac{m^3(N_2)}{kg(OAP)}, \quad (4.9)$$

$$m_{O_2} = 0,23 \cdot (\lambda - 1) \cdot L_{min}, \frac{kg(O_2)}{kg(OAP)}, \quad (4.10)$$

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (\lambda - 1) L_{min}, \frac{m^3(O_2)}{kg(OAP)}, \quad (4.11)$$

gdje su:

m_{N_2} - masa azota u dimnim gasovima, $\frac{kg(N_2)}{kg(OAP)}$,

V_{N_2} - zapremina azota u dimnim gasovima, $\frac{m^3(N_2)}{kg(OAP)}$,

m_{O_2} - masa kiseonika u dimnim gasovima, $\frac{kg(O_2)}{kg(OAP)}$,

V_{O_2} - zapremina kiseonika u dimnim gasovima, $\frac{m^3(O_2)}{kg(OAP)}$,

λ - koeficijent viška vazduha, - ,

$L_{min} = \frac{O_{min}}{0,23}$ - minimalna (teorijska) potrošnja vazduha, $\frac{kg(vazduha)}{kg(OAP)}$,

$L_{min} = \frac{O_{min}}{0,21}$ - minimalna (teorijska) potrošnja vazduha, $\frac{m^3(vazduha)}{kg(OAP)}$,

$O_{min} = 2,667 \cdot C + 8 \cdot H + S - O$ - minimalna (teorijska) potrošnja kiseonika, $\frac{kg(O_2)}{kg(OAP)}$,

$O_{min} = 1,867 \cdot C + 5,6 \cdot H + 0,7 \cdot (S-O)$ - minimalna (teorijska) potrošnja kiseonika, $\frac{m^3(O_2)}{kg(OAP)}$,

$L = \lambda \cdot L_{min}$ - stvarna potrošnja vazduha, $\frac{kg(vazduha)}{kg(OAP)}$, $\frac{m^3(vazduha)}{kg(OAP)}$,

N - maseni udeo azota u gorivu, $\frac{kg(N)}{kg(OAP)}$.

Vrijednost koeficijenta viška vazduha λ zavisi od vrste goriva, gorionika i vrste ložišta u kojemu se vrši sagorijevanje. Za čvrsta goriva poput uglja, biomase i OAP pri sagorijevanju u sprašenom stanju (u letu) uobičajene praktične vrijednosti se kreću između $\lambda = 1,1-1,4$. Kod sagorijevanja goriva u ložištu potrebno je, s jedne strane, višak vazduha održavati što manjim, kako bi količina dimnih gasova i gubici toplote, te emisije štetnih gasova bili što manji. S druge strane, višak vazduha mora biti dovoljno velik kako bi se osiguralo potpuno sagorijevanje goriva jer bi inače dodatni gubici nastajali zbog nepotpunog sagorijevanja.

Pri potpunom sagorijevanju, vlažni dimni gasovi sagorijevanja sastoje se iz CO_2 , H_2O , SO_2 , N_2 i O_2 .

Masa vlažnih dimnih gasova pri potpunom sagorijevanju jednog kilograma goriva čini sumu masa pojedinačnih gasova:

$$m_{vdg} = m_{CO_2} + m_{H_2O} + m_{SO_2} + m_{N_2} + m_{O_2}, \frac{kg}{kg(OAP)}, \quad (4.12)$$

a masa suvih dimnih gasova:

$$m_{\text{sdg}} = m_{\text{CO}_2} + m_{\text{SO}_2} + m_{\text{N}_2} + m_{\text{O}_2} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kg(OAP)}}. \quad (4.13)$$

Na sličan način dobija se zapremina vlažnih dimnih gasova, odnosno suvih dimnih gasova:

$$V_{\text{vdg}} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg(OAP)}}, \quad (4.14)$$

$$V_{\text{sdg}} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg(OAP)}}. \quad (4.15)$$

Zapreminski udjeli pojedinih komponenata u vlažnim dimnim gasovima određuju se pomoću izraza:

$$\varphi_{i,\text{vdg}} = \frac{V_i}{V_{\text{vdg}}}, \quad (4.16)$$

ili izraženi u procentima:

$$\varphi_{i,\text{vdg}} = \frac{V_i}{V_{\text{vdg}}} \cdot 100, \%, \quad (4.17)$$

gdje je:

V_i - zapremina i – te komponente u u vlažnim dimnim gasovima, $\frac{\text{m}^3}{\text{kg(OAP)}}$.

Na sličan način određuju se zapreminski udjeli pojedinih komponenata u suvim dimnim gasovima.

4.5.2.1. Brojčani primjer proračuna materijalnog bilansa procesa sagorijevanja OAP

Za sastav OAP (maseni udjeli) $A=0,2520$ kg/kg, $C=0,6420$ kg/kg, $H=0,0500$ kg/kg, $O=0,0440$ kg/kg, $N=0,0010$ kg/kg, $S=0,0091$ kg/kg, $W=0,0019$ kg/kg (tabela 3.5) i korišćenjem izraza (4.2) – (4.17) proračun pojedinih veličina iznosi:

$$m_{\text{CO}_2} = 3,667 \cdot C = 3,667 \cdot 0,6420 = 2,3542 \frac{\text{kg}(\text{CO}_2)}{\text{kg(OAP)}},$$

$$V_{\text{CO}_2} = 1,867 \cdot C = 1,867 \cdot 0,6420 = 1,1986 \frac{\text{m}^3(\text{CO}_2)}{\text{kg(OAP)}},$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 9 \cdot H + W = 9 \cdot 0,0500 + 0,0019 = 0,4519 \frac{\text{kg}(\text{H}_2\text{O})}{\text{kg(OAP)}},$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{22,4}{18} \cdot (9 \cdot H + W) = \frac{22,4}{18} \cdot (9 \cdot 0,0500 + 0,0019) = 0,5624 \frac{\text{m}^3(\text{H}_2\text{O})}{\text{kg(OAP)}},$$

$$m_{\text{SO}_2} = \frac{64}{32} \cdot S = 2 \cdot S = 2 \cdot 0,0091 = 0,0182 \frac{\text{kg}(\text{SO}_2)}{\text{kg(OAP)}},$$

$$V_{\text{SO}_2} = \frac{22,4}{32} \cdot S = 0,7 \cdot S = 0,7 \cdot 0,0091 = 0,0064 \frac{\text{m}^3(\text{SO}_2)}{\text{kg}(\text{OAP})},$$

$$O_{\text{min}} = 2,667 \cdot C + 8 \cdot H + S - O = 2,667 \cdot 0,6420 + 8 \cdot 0,0500 + 0,0091 - 0,0440 = 2,0773 \frac{\text{kg}(\text{O}_2)}{\text{kg}(\text{OAP})},$$

$$O_{\text{min}} = 1,867 \cdot C + 5,6 \cdot H + 0,7 \cdot (S - O) = 1,867 \cdot 0,6420 + 5,6 \cdot 0,0500 + 0,7 \cdot (0,0091 - 0,0440) = 1,4542 \frac{\text{m}^3(\text{O}_2)}{\text{kg}(\text{OAP})},$$

$$L_{\text{min}} = \frac{O_{\text{min}}}{0,23} = \frac{2,0773}{0,23} = 9,0317 \frac{\text{kg}(\text{vazduha})}{\text{kg}(\text{OAP})},$$

$$L_{\text{min}} = \frac{O_{\text{min}}}{0,21} = \frac{0,5032}{0,21} = 6,9248 \frac{\text{m}^3(\text{vazduha})}{\text{kg}(\text{OAP})},$$

$$L = \lambda \cdot L_{\text{min}} = 1 \cdot 9,0317 = 9,0317 \frac{\text{kg}(\text{vazduha})}{\text{kg}(\text{OAP})}, \text{ za } \lambda = 1,$$

$$L = \lambda \cdot L_{\text{min}} = 1 \cdot 6,9248 = 6,9248 \frac{\text{m}^3(\text{vazduha})}{\text{kg}(\text{OAP})}, \text{ za } \lambda = 1,$$

$$m_{\text{N}_2} = 0,77 \cdot L + N = 0,77 \cdot 9,0317 + 0,0010 = 6,9554 \frac{\text{kg}(\text{N}_2)}{\text{kg}(\text{OAP})}, \text{ za } \lambda = 1,$$

$$V_{\text{N}_2} = 0,79 \cdot L + \frac{22,4}{28} \cdot N = 0,79 \cdot 6,9248 + \frac{22,4}{28} \cdot 0,0010 = 5,4714 \frac{\text{m}^3(\text{N}_2)}{\text{kg}(\text{OAP})},$$

$$m_{\text{O}_2} = 0,23 \cdot (\lambda - 1) \cdot L_{\text{min}} = 0,23 \cdot (1 - 1) \cdot 9,0317 = 0 \frac{\text{kg}(\text{O}_2)}{\text{kg}(\text{OAP})}, \text{ za } \lambda = 1,$$

$$V_{\text{O}_2} = 0,21 \cdot (\lambda - 1) \cdot L_{\text{min}} = 0,21 \cdot (1 - 1) \cdot 6,9248 = 0 \frac{\text{m}^3(\text{O}_2)}{\text{kg}(\text{OAP})}, \text{ za } \lambda = 1,$$

$$m_{\text{sdg}} = m_{\text{CO}_2} + m_{\text{SO}_2} + m_{\text{N}_2} + m_{\text{O}_2} = 2,3542 + 0,0182 + 6,9554 + 0 = 9,3278 \frac{\text{kg}}{\text{kg}(\text{OAP})}, \text{ za } \lambda = 1,$$

$$V_{\text{sdg}} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2} = 1,1986 + 0,0064 + 5,4714 + 0 = 6,6764 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}(\text{goriva})}, \text{ za } \lambda = 1,$$

$$m_{\text{vdg}} = m_{\text{CO}_2} + m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{SO}_2} + m_{\text{N}_2} + m_{\text{O}_2} = 2,3542 + 0,4519 + 0,0182 + 6,9554 + 0 = 9,7797 \frac{\text{kg}}{\text{kg}(\text{OAP})}, \text{ za } \lambda = 1,$$

$$V_{\text{vdg}} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2} = 1,1986 + 0,5624 + 0,0064 + 5,4714 + 0 = 7,2388 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}(\text{OAP})}, \text{ za } \lambda = 1,$$

Prema bilansu mase (slika 4.15) masa vlažnih dimnih gasova iznosi:

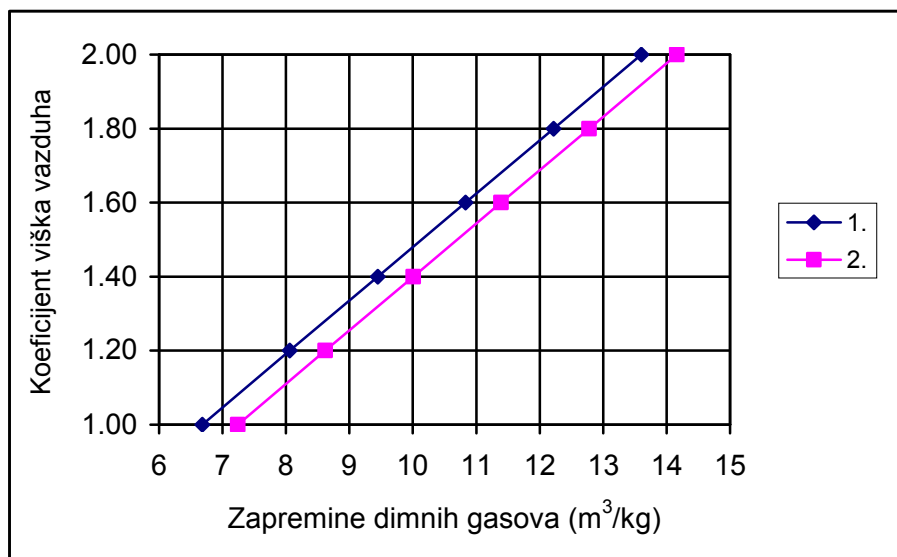
$$m_{\text{vdg}} = 1 - A + \lambda \cdot L_{\text{min}} = 1 - 0,2520 + 1 \cdot 9,0317 = 9,7797 \frac{\text{kg}}{\text{kg}(\text{OAP})}, \text{ za } \lambda = 1,$$

a izračunata vrijednost iznosi $m_{vdg} = 9,7797 \frac{\text{kg}}{\text{kg(OAP)}}$. Neusklađenost bilansa iznosi nula što je veoma bitno za praktične inženjerske proračune.



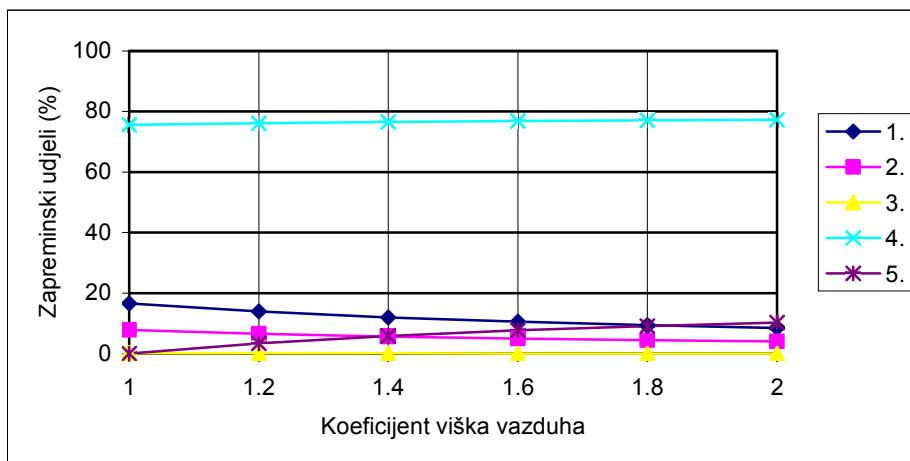
Slika 4.15. Šematski prikaz materijalnog bilansa procesa sagorijevanja OAP

Proračun materijalnog bilansa procesa sagorijevanja OAP u zavisnosti od koeficijenta viška vazduha prikazan je u priložima P6 i P7, a dijagram produkata sagorijevanja prikazan je na slici 4.16.



Slika 4.16. Zapremina dimnih gasova u zavisnosti od koeficijenta viška vazduha (1. V_{sdg} – suvi gas, 2. V_{vdg} – vlažni gas)

Dijagram zavisnosti zapreminskih udjela u dimnim gasovima od koeficijenta viška vazduha prikazan je na slici 4.17.



Slika 4.17. Sastav vlažnih dimnih gasova u zavisnosti od koeficijenta viška vazduha (1. CO₂, 2. H₂O, 3. SO₂, 4. N₂, 5. O₂)

4.5.3. Određivanje adijabatske temperature sagorijevanja OAP

Teorijska temperatura sagorijevanja goriva (OAP) može se odrediti iz toplotnog bilansa procesa sagorijevanja, po kome je suma toplotne moći goriva H_d , entalpije jedinice mase goriva i entalpije dovedenog vazduha jednaka entalpiji produkata sagorijevanja (slika 4.15). Ako se zanemare toplotni gubici, toplotni bilans procesa sagorijevanja goriva može se prikazati izrazom:

$$H_d + c_{p_g} \cdot t_g + \lambda \cdot L_{\min} \cdot c_{p_L} \cdot t_L = (1 - A + \lambda \cdot L_{\min}) \cdot c_{p_{vdg}} \cdot t_{\text{teor}} + A \cdot c_{p_A} \cdot t_A, \quad (4.18)$$

odakle se dobija izraz za određivanje teorijska temperatura sagorijevanja goriva:

$$t_{\text{teor}} = \frac{H_d}{(1 - A + \lambda \cdot L_{\min}) \cdot c_{p_{vdg}}} + \frac{\lambda \cdot L_{\min} \cdot c_{p_L} \cdot t_L + c_{p_g} \cdot t_g}{(1 - A + \lambda \cdot L_{\min}) \cdot c_{p_{vdg}}} - \frac{A \cdot c_{p_A} \cdot t_A}{(1 - A + \lambda \cdot L_{\min}) \cdot c_{p_{vdg}}}, \quad (4.19)$$

gdje su:

$$c_{p_{vdg}} = \sum_i g_i c_{p_i} = \frac{1}{m} \sum_i m_i c_{p_i} - \text{specifični toplotni kapacitet vlažnih dimnih gasova, } \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}},$$

$$c_{p_L} - \text{specifični toplotni kapacitet vazduha, } \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}},$$

$$c_{p_g} - \text{specifični toplotni kapacitet goriva, } \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}},$$

$$c_{p_A} - \text{specifični toplotni kapacitet pepela, } \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}},$$

t_L - temperatura vazduha, $^{\circ}\text{C}$,

t_g - temperatura griva, $^{\circ}\text{C}$,

t_A - temperatura pepela, $^{\circ}\text{C}$.

Temperatura sagorijevanja goriva može se jednostavnije odrediti grafičkim putem i to pomoću $i - t$ dijagrama za dimne gasove gde je $i = f(t)$. Kako se dimni gasovi sa porastom temperature približavaju osobinama idealnog gasa, to se bez veće greške entalpija dimnih gasova može odrediti pomoću izraza:

$$i = m_{\text{vdg}} \cdot c_{p_{\text{vdg}}} \cdot t, \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (4.20)$$

ili pomoću izraza:

$$i = V_{\text{vdg}} \cdot c_{v_{\text{vdg}}} \cdot t, \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (4.21)$$

gdje su:

$c_{p_{\text{vdg}}}$ - specifični toplotni kapacitet vlažnih dimnih gasova pri konstantnom pritisku, $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$,

$c_{v_{\text{vdg}}}$ - specifični toplotni kapacitet vlažnih dimnih gasova pri konstantnoj

zapremini, $\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3^{\circ}\text{C}}$.

Jednačine (4.20) i (4.21) važe pod pretpostavkom da je entalpija dimnih gasova pri temperaturi 0°C jednaka nuli.

Toplotni kapaciteti određuju se pomoću poznatih izraza:

$$c_{p_{\text{vdg}}} = \sum_{i=1}^5 g_i \cdot c_{p_i} = \frac{1}{m_{\text{vdg}}} \cdot \sum_{i=1}^5 m_i \cdot c_{p_i}, \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \quad (4.22)$$

odnosno pomoću izraza:

$$c_{v_{\text{vdg}}} = \sum_{i=1}^5 \varphi_i \cdot c_{v_i} = \frac{1}{V_{\text{vdg}}} \cdot \sum_{i=1}^5 V_i \cdot c_{v_i}, \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3^{\circ}\text{C}} \quad (4.23)$$

gdje su:

g_i - maseni udjeli komponente i u vlažnim dimnim gasovima, kg/kg,

φ_i - zapreminski udjeli komponente i u vlažnim dimnim gasovima, m^3/m^3 ,

m_i - masa komponente i u vlažnim dimnim gasovima, kg,

V_i - zapremina komponente i u vlažnim dimnim gasovima, m^3 .

Specifični toplotni kapaciteti komponenata definisani izrazima (4.22) i (4.23.) koriste se kao srednje vrednosti u temperaturskom intervalu $t = 0$ °C i temperature dimnih gasova (prilog P8).

4.5.3.1. Brojčani primjer proračuna entalpije dimnih gasova

Proračun entalpije dimnih gasova urađen je za koeficijent viška vazduha $\lambda = 1$ i pretpostavljenu temperaturu dimnih gasova $t=100$ °C. Prema brojčanim vrijednostima iz priloga P6 i korišćenjem izraza (4.22) i (4.20) dobija se:

specifični toplotni kapacitet vlažnih dimnih gasova:

$$c_{p_{vdg}} = \frac{1}{m_{vdg}} \cdot (m_{CO_2} \cdot c_{p_{CO_2}} + m_{H_2O} \cdot c_{p_{H_2O}} + m_{SO_2} \cdot c_{p_{SO_2}} + m_{N_2} \cdot c_{p_{N_2}} + m_{O_2} \cdot c_{p_{O_2}}) = \\ = \frac{1}{9,7797} \cdot (2,3542 \cdot 0,8689 + 0,4519 \cdot 1,874 + 0,0182 \cdot 0,637 + 6,9554 \cdot 1,031 + 0 \cdot 0,9218) = 1,0302 \frac{kJ}{kg^{\circ}C},$$

gdje su:

$$m_{CO_2} = 2,3542 \frac{kg}{kg} - \text{masa ugljen – dioksida u vlažnim dimnim gasovima za } \lambda = 1,$$

$$m_{H_2O} = 0,4519 \frac{kg}{kg} - \text{masa vode u vlažnim dimnim gasovima za } \lambda = 1,$$

$$m_{SO_2} = 0,0182 \frac{kg}{kg} - \text{masa sumpor – dioksida u vlažnim dimnim gasovima za } \lambda = 1,$$

$$m_{N_2} = 6,9554 \frac{kg}{kg} - \text{masa azota u vlažnim dimnim gasovima za } \lambda = 1,$$

$$m_{O_2} = 0 \frac{kg}{kg} - \text{masa kiseonika u vlažnim dimnim gasovima za } \lambda = 1,$$

$$m_{vdg} = 9,7797 \frac{kg}{kg} - \text{masa vlažnih dimnih gasova za } \lambda = 1,$$

$$c_{p_{CO_2}} = 0,8689 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} - \text{izobarski specifični toplotni kapacitet ugljen–dioksida u temperaturnom}$$

intervalu 0-100⁰C,

$$c_{p_{H_2O}} = 1,8740 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} - \text{izobarski specifični toplotni kapacitet vodene pare u temperaturnom}$$

intervalu 0-100⁰C,

$$c_{p_{SO_2}} = 0,6370 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} - \text{izobarski specifični toplotni kapacitet sumpor–dioksida u}$$

temperaturnom intervalu 0 – 100⁰C,

$$c_{p_{N_2}} = 1,0310 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} - \text{izobarski specifični toplotni kapacitet azota u temperaturnom intervalu}$$

0-100⁰C,

$$c_{p_{O_2}} = 0,9218 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} - \text{izobarski specifični toplotni kapacitet kiseonika u temperaturnom}$$

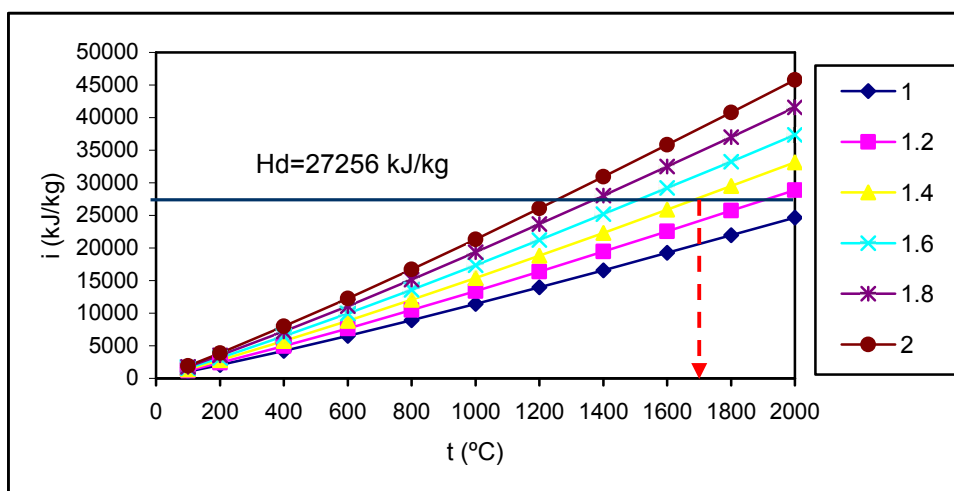
intervalu 0-100⁰C.

entalpija dimnih gasova:

$$i = m_{vdg} \cdot c_{p_{vdg}} \cdot t = 9,7797 \cdot 1,0302 \cdot 100 = 1007,50 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Na sličan način mogu se izračunati entalpije dimnih gasova za razne vrednosti temperatura i za razne vrednosti koeficijenta viška vazduha (prilog P9). Grafička zavisnost entalpije dimnih gasova od temperature i koeficijenta viška vazduha prikazana je na slici 4.18. Pri teorijskoj (minimalnoj) potrošnji vazduha ($\lambda = 1$) i pri normalnim uslovima teorijska (pirometrijska) temperatura sagorijevanja viša je od 2000 °C za date karakteristike OAP toplotne moći $H_d=27256$ kJ/kg. Ova temperatura ne može da se postigne u slučaju potpunog sagorevanja pri $\lambda = 1$ pošto se jedan deo toplotne energije troši za disocijaciju produkata sagorevanja. Ako se uzme u obzir toplotna energija koja se troši za disocijaciju produkata sagorevanja dobija se teorijska (adijabatska) temperatura koja se određuje pomoću izraza (4.19) ili pomoću i-t dijagrama (slika 4.18) za poznati koeficijent viška vazduha λ .

Osim toga adijabatska temperatura raste sa povećanjem temperature predgrijavanja goriva i vazduha odnosno pada porastom količine dimnih gasova sagorijevanja. Poznavanjem adijabatske temperature sagorijevanja goriva moguće je procijeniti temperaturu plamena u ložištu. Maksimalna temperatura plamena, radi očuvanja postojanosti materijala stijenki ložišta, ne bi smijela prelaziti 1700-1800 °C, što se postiže odabirom odgovarajućeg koeficijenta viška vazduha. U slučaju za odabrano gorivo (OAP) $\lambda = 1.3 - 1.4$. Na primjer pri koeficijentu viška vazduha od 1,4 temperatura sagorijevanja OAP iznosi 1700 °C.



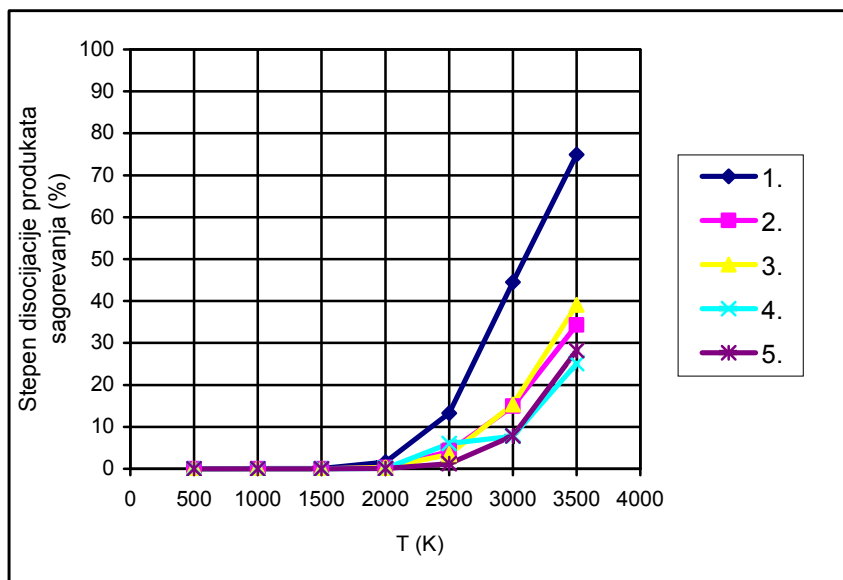
Slika 4.18. Zavisnost entalpije vlažnih dimnih gasova od temperature sagorijevanja OAP i koeficijenta viška vazduha

U realnim uslovima u reakcionom prostoru (ložištu) kinetika kemijskih reakcija mnogo je složenija i potrebne su desetine reverzibilnih hemijskih reakcija za opis sagorijevanja ugljovodonika. Produkti procesa sagorijevanja, pri visokim temperaturama koje se pritom pojavljuju, nisu jednostavne smjese produkata sagorijevanja kao što bi se to moglo zaključiti iz gore navedenih hemijskih jednačina sagorijevanja korištenih za određivanje stehiometrijske smjese. Gasovi disociraju stvarajući pritom velik broj jednostavnijih hemijskih komponenti koje dalje u nizu elementarnih hemijskih reakcija reaguju međusobno. Na primjer, produkti sagorijevanja ugljovodonika sa vazduhom CO_2 , H_2O , O_2 i N_2 disociraju se kao rezultat pojavljuju nove hemijske materije H_2 , OH , CO , H , O , N , NO i dr. (tabela 4.4).

Tabela 4.4. Zavisnost konstanti ravnoteža hemijskih reakcija od temperature [10]

	$\text{CO}_2=\text{CO}+\frac{1}{2}\text{O}_2$	$\text{H}_2\text{O}=\text{H}_2+\frac{1}{2}\text{O}_2$	$\text{H}_2\text{O}=\text{OH}+\frac{1}{2}\cdot\text{H}_2$	$\text{O}_2=2\text{O}$	$\text{H}_2=2\text{H}$
T, K	$K_p, \text{Pa}^{\frac{1}{2}}$	$K_p, \text{Pa}^{\frac{1}{2}}$	$K_p, \text{Pa}^{\frac{1}{2}}$	K_p, Pa	K_p, Pa
500	$0,3030 \cdot 10^{-22}$	$0,4144 \cdot 10^{-20}$	$0,1120 \cdot 10^{-23}$	$0,2982 \cdot 10^{-40}$	$0,4963 \cdot 10^{-35}$
1000	$0,1980 \cdot 10^{-7}$	$0,2700 \cdot 10^{-7}$	$0,1147 \cdot 10^{-7}$	$0,3678 \cdot 10^{-14}$	$0,5215 \cdot 10^{-12}$
1500	$0,1634 \cdot 10^{-2}$	$0,5999 \cdot 10^{-3}$	$0,1278 \cdot 10^{-3}$	$0,2140 \cdot 10^{-5}$	$0,3127 \cdot 10^{-4}$
2000	0,4484	$0,4386 \cdot 10^{-1}$	$0,4386 \cdot 10^{-1}$	$0,5446 \cdot 10^{-1}$	0,2665
2500	$0,1213 \cdot 10^2$	$0,1921 \cdot 10^1$	$0,1472 \cdot 10^1$	$0,2454 \cdot 10^4$	$0,6366 \cdot 10^2$
3000	$0,1088 \cdot 10^3$	$0,1473 \cdot 10^2$	$0,1541 \cdot 10^2$	$0,1460 \cdot 10^4$	$0,2507 \cdot 10^4$
3500	$0,5124 \cdot 10^3$	$0,6366 \cdot 10^2$	$0,8278 \cdot 10^2$	$0,2715 \cdot 10^5$	$0,3504 \cdot 10^5$

Pri temperaturama dimnih gasova nižim od 2000 °C uticaj disocijacije se može zanemariti (slika 4.19).



Slika 4.19. Zavisnost stepena disocijacije produkata sagorijevanja goriva od temperature [10] (1. $\text{CO}_2 = \text{CO} + 0,5 \cdot \text{O}_2$, 2. $\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + 0,5 \cdot \text{O}_2$, 3. $\text{H}_2\text{O} = \text{OH} + 0,5 \cdot \text{H}_2$, 4. $\text{O}_2 = 2\text{O}$, 5. $\text{H}_2 = 2\text{H}$)

4.6. Emisija zagađujućih materija iz postrojenja za sagorijevanje OAP

Otpadne gume se u rotacionim pećima mogu koristiti kao alternativna goriva i to kao isjeckane, granulirane i cijele. Isjeckane (ili granulirane) gume mogu se injektirati u rotacionu peć preko primarnog sistema za injektiranje goriva a cijele otpadne gume se mogu injektirati u rotacionu peć preko sekundarnih sistema za doziranje goriva u dimnu komoru. U Evropi, veliki broj rotacionih peći u fabrikama cementa trenutno koristi gume kao alternativno gorivo. Sekundarno doziranje guma i to cijelih u dimnu komoru, dominira kao alternativa nad ostalim načinima doziranja.

Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisije određuju se granične vrijednosti emisije štetnih i opasnih materija u vazduh na mjestu izvora zagađivanja tj. u postrojenjima za sagorijevanje otpadnih automobilskih pneumatika. Zadovoljavanje ovih normi iziskuje povećane investicione i eksploatacione troškove za sagorijevanje otpadnih automobilskih pneumatika. U tabeli 4.5. prikazani su podaci za upotrebu guma u nekim fabrikama "Lafarge" (LBFC) koji se odnose na početak korišćenja i dostignuti nivo supstitucije osnovnog goriva. Može se uočiti da se u Austriji i Nemačkoj otpadne automobilske gume najviše koriste kao alternativna goriva.

Tabela 4.5. Podaci za upotrebu guma kao alternativnog goriva u nekim fabrikama cementa kompanije LBFC [11]

	Fabrika cementa	Početak korišćenja	Udio guma u zamjeni osnovnog goriva
1.	Retznei/Austrija	Od 1982. godine	22% (Od 1995 god.)
2.	Cizkovice/Češka Republika	Od 1997. godine	Učešće povećavano vremenom, > 11% od 2001. godine
3.	Hoghiz/Rumunija	Od 2002. godine	učešće 4,5% u 2006. godini
4.	Medgidi /Rumunija	Od 2003. godine	učešće 1,3% u 2006. godini
5.	Malogoszcz/Poljska	Od 2002. godine	učešće 8,5% u 2006. godini
6.	Woessingen/Nemačka	-	učešće 20% u 2006. godini

U fabrici cementa Lafarge Zement Wossingen u Nemačkoj gume se koriste u dvije rotacione peći sa dostignutim nivoom supstitucije osnovnog goriva od 20 % u 2006. godini.

Mjerenja emisije vrše se pomoću uređaja za kontinualno mjerenje postavljenih na postrojenju i angažovanjem spoljnih ovlašćenih institucija za povremena kontrolna mjerenja.

U tabel 4.6 dati su podaci mjerenja emisije na rotacionoj peći u 2005. godini kada je učešće guma u potrošnji goriva iznosilo 19,3%.

Tabela 4.6. Podaci mjerenja emisije pri korišćenju guma (rotaciona peć I) [11]

Emisija	Jedinica	Srednja dnevna vrijednost / Srednja polučasovna vr. / granična vrijednost	Godišnja srednja vrijednost (uređaj za kontinualna mjerenja)
SO ₂ i SO ₃ , dato kao SO ₂	g/m ³	0,34/0,70	0,21
NO i NO ₂ , dato kao NO ₂	g/m ³	0,70/1,40	0,52
Prašina	mg/m ³	30/100	8,12
Hg	mg/m ³	0,09/0,17	0,0135
Srednja vrijednost za cijeli period			
HCl	mg/m ³	27	
HF	mg/m ³	5	
PCCD/F (dioksini/furani)	ng/m ³	0,1	

Iskustva u radu postrojenja za sagorijevanje otpadnih automobilskih guma kao i drugih goriva (ugalj, komunalni otpad, biomasa itd.) pokazuju da jedan dio sumpora sagorijeva do SO₂ a preostali dio se vezuje za pepeo (mineralni ostatak). Podaci iz literature [8] ukazuju da oko 45% sumpora iz smeća odlazi sa dimnim gasovima u atmosferu a ostatak se vezuje za mineralni ostatak iz procesa. Pri sagorijevanju uglja takođe veći dio sumpora sagori do SO₂. Emisija SO₂ može se izračunati primjenom izraza [2]:

$$E_{SO_2} = 2 \cdot \frac{\dot{m}_{goriva} \cdot s_u}{100} \cdot \frac{e_s}{100} = 2 \cdot \frac{\dot{m}_{goriva} \cdot s_u}{100} \cdot \left(1 - \frac{v_s}{100}\right), \frac{kgSO_2}{h}, \quad (4.24)$$

gdje su:

\dot{m}_{goriva} - potrošnja goriva, kg/h,

s_u – maseni udio ukupnog sumpora u gorivu, %,

e_s – stepen emitovanja sumpora, %,

v_s – stepen vezivanja sumpora za pepeo, %.

Za analizu emisije SO₂ može se razmatrati i izraz [2]:

$$\tilde{C}_{SO_2} = \frac{E_{SO_2}}{\dot{V}_{gs}} = 2 \cdot \frac{s_u}{100} \cdot \left(1 - \frac{v_s}{100}\right) \cdot \frac{\dot{m}_{goriva}}{\dot{V}_{gs}}, \frac{kgSO_2}{m^3}, \quad (4.25)$$

gdje je:

\dot{V}_{gs} - zapreminski protok suvog dimnog gasa, m³/h.

Homogenizacijom goriva (na primjer mješanjem uglja, biomase i smeća) može se smanjiti udio SO₂ u dimnim gasovima. Ovo smanjenje emisije SO₂ u dimnim gasovima je posljedica većeg masenog udjela jedinjenja kalcijuma i magnezijuma u gorivu. Proces vezivanja SO₂ iz dimnog gasa za jedinjenja kalcijuma (na primer za CaO) može se predstaviti hemijskom reakcijom [12]:



Ukoliko se emisije računaju na udio kiseonika u dimnom gasu, izmjerene emisije se preračunavaju prema sljedećoj jednačini:

$$E_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} \cdot E_M, \quad (4.27)$$

gdje su:

E_R – emisije sračunata na referentni udio kiseonika,

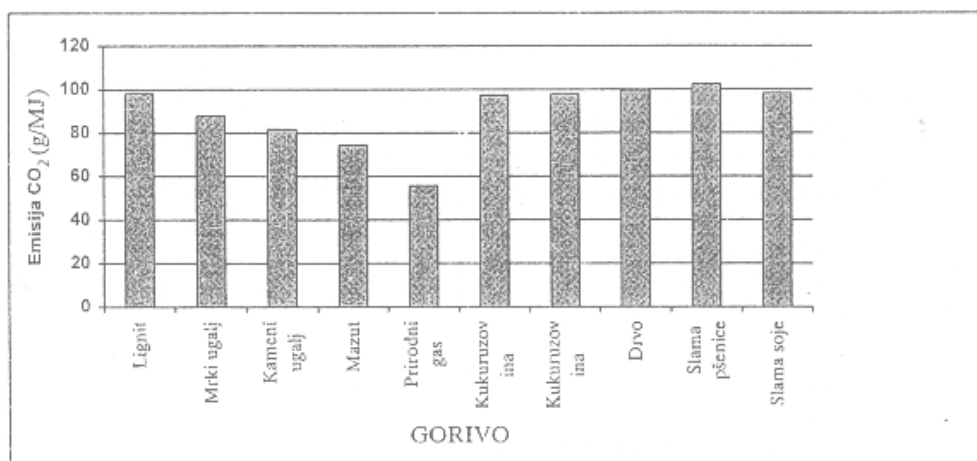
E_M – izmjerena emisija,

O_R – referentni udio kiseonika,

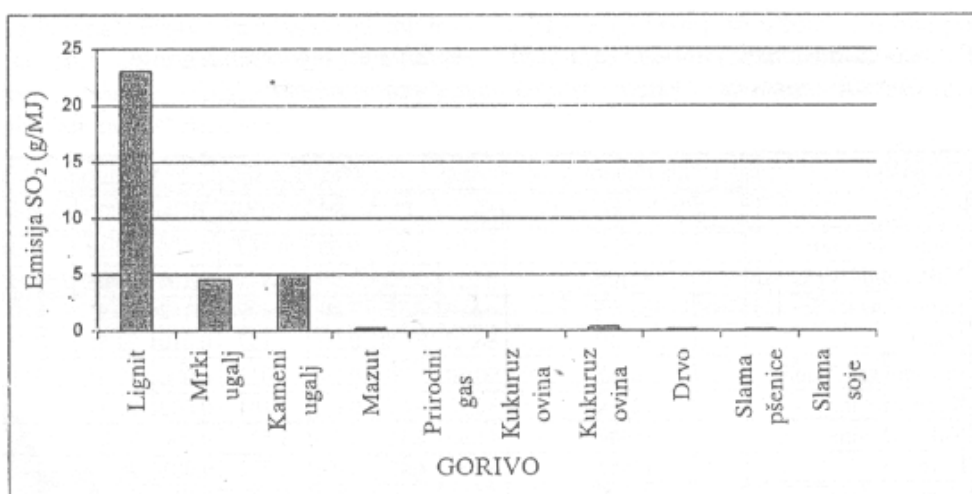
O_M – izmjereni udio kiseonika.

Na slici 4.20 prikazana je emisija CO_2 po MJ donje toplotne moći goriva, a na slici 4.21 emisije SO_2 u zavisnosti od vrste goriva. Emisija CO_2 svedena na MJ donje toplotne moći je za sve razmatrane vrste biomase veća u odnosu na fosilna goriva i iznosi oko 100 g/MJ. Najmanja emisija CO_2 je za prirodni gas (oko 58 g/MJ).

Emisija SO_2 je najveća za lignit (oko 23 g/MJ), a najmanja za prirodni gas (0 g/MJ). Za razmatrane vrste biomase emisija SO_2 je dosta niska i iznosi reda veličine oko 0,1 g/MJ.



Slika 4.20. Emisija CO_2 u zavisnosti od vrste goriva [13]



Slika 4.21. Emisija SO_2 u zavisnosti od vrste goriva [13]

LITERATURA

- [1] D., Stanojević, M., Rajković, D., Tošković, Upravljanje korišćenim gumama, dometi u svetu i stanje u Srbiji, Hem. Ind. 65 (6), (2011) 727-738.
- [2] S., Đurić, Uticaj karakteristika ugljeva (masenog udela sumpora i pepela i sastava pepela) i temperature dimnih gasova na odsumporavanje dimnih gasova suvim aditivnim postupkom, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1998.
- [3] M., Kuburović, A., Petrov, Zaštita životne sredine, SMEITS i Mašinski fakultet, Beograd, 1994.
- [4] T., Kosanić, M., Čeranić, S., Đurić, V., Grković, M., Milotić, S., Brankov, Experimental Investigation of Pyrolysis Process of Woody Biomass Mixture, Journal of Thermal Science, 23 (3), (2014) 290-296.
- [5] K.J., Thome-Kozmiensky, Verbrennung von Abfällen, EF-Verlag, Berlin, 1985.
- [6] S., Đurić, S.: Istraživanje uticaja procesnih parametara gasova koji se emituju u atmosferu na uslove kondenzacije, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 2003.
- [7] T.A., Gray, Tire Derived Fuel: An Environmental Friendly Resource, Tire Derived Fuel Seminar, Texas, Texas Natural Resource Conservation Commission, (1996) 65-81.
- [8] M., Kuburović, Mogućnosti korišćenja energije i materija iz čvrstih otpadaka, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1988.
- [9] Б.И., Левин, Использование твердых бытовых отходов в системах энергоснабжения, Энергоиздат, Москва, 1982.
- [10] P., Stanojević, Istraživanje uticaja procesnih parametara dimnih gasova na optimizaciju elektrofiltra, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.
- [11] Fabrika cementa "Lafarge" BFC AD Beočin, Studija o procjeni uticaja na životnu sredinu korišćenja guma kao alternativnog goriva u cementari LBFC, „Arhitekt“ Ad Beograd, ul Braće Jugovića br. 21, 2007.
- [12] S., Đurić, M., Omerović, M., S., Brankov, E., Džafirović, P., Stanojević, P., Experimental examination of sulphur dioxide separation from mixture of gas in dry procedure with the aid of calcium carbonate, Thermal science: Year 2011, Vol. 15, No. 1, pp. 115-124
- [13] A., Petrov, Uticajni faktori na proces termičke prerade biomase, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1996.

5. MATEMATIČKI MODEL PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OAP

Procesi pirolize i gasifikacije OAP omogućavaju dobijanje kvalitetnog gasovitog goriva. Sastav produkata gasifikacije čini osnovnu veličinu za postavljanje jednačina materijalnog i toplotnog bilansa reaktora za gasifikaciju. Podaci iz literature [1-8] o pirolizi i gasifikaciji čvrstog goriva ne razmatraju udio čvrste faze (ugljenika) u ravnotežnoj mješavini. Zbog zadovoljavanja materijalnog bilansa na ulazu i izlazu iz reaktora za gasifikaciju potrebno je odrediti udio čvrste faze (ugljenika) u ravnotežnoj mješavini. Kako se udio čvrste faze (ugljenika) u heterogenoj ravnotežnoj mješavini određuje samo mjerenjem to izrada matematičkog modela i njegove primjene u inženjerskoj praksi ima veliki značaj.

5.1. Proračun termodinamičke ravnoteže hemijskih reakcija

Entalpija hemijske reakcije definiše se na sljedeći način:

$$\Delta H = \sum_j b_j \cdot \Delta h_j - \sum_i b_i \cdot \Delta h_i, \quad (5.1)$$

gdje su:

b_i - broj kilomolova i-te komponente reaktanta,

b_j - broj kilomolova j-te komponente za produkte,

Δh_i - entalpija veze i-te komponente.

Δh_j - entalpija veze j-te komponente.

Zavisnost entalpije reakcije od temperature data je izrazom:

$$\Delta H_T = \Delta H_{298} + \int_{298}^T \Delta c_{mp}(T) dT, \quad (5.2)$$

gdje je:

$$\Delta c_{mp} = \sum_j b_j \cdot c_{mpj} - \sum_i b_i \cdot c_{mpi}, \quad (5.3)$$

i predstavlja zbir specifičnih molarnih toplotnih kapaciteta komponenata.

Zavisnost molarnog toplotnog kapaciteta od temperature može se prikazati u obliku polinoma [9]:

$$c_{mp}(T) = a + b \cdot 10^{-3} \cdot T + c \cdot 10^5 \cdot T^{-2} + d \cdot 10^{-6} \cdot T^2, \quad (5.4)$$

gdje su:

a,b,c,d - koeficijenti polinoma koji se određuju eksperimentalno,

T-apsolutna temperatura.

Entropija reakcije definiše se pomoću izraza:

$$\Delta S = \sum_j b_j \cdot s_j - \sum_i b_i \cdot s_i, \quad (5.5)$$

gdje su:

s_i -specifične entropije veza i-te komponente,

s_j -specifične entropije veza j-te komponente.

Zavisnost entropije reakcije od temperature data je izrazom:

$$\Delta S_T = \Delta S_{298} + \int_{298}^T \frac{\Delta c_{mp}(T)}{T} dT. \quad (5.6)$$

Slobodna entalpija reakcije definiše se izrazom:

$$\Delta G = \sum_j b_j \cdot \Delta g_j - \sum_i b_i \cdot \Delta g_i, \quad (5.7)$$

gdje su:

Δg_i -specifične slobodne entalpije i-te komponente,

Δg_j -specifične slobodne entalpije j-te komponente.

Zavisnost slobodne entalpije reakcije od entalpije reakcije, temperature i entropije reakcije data je izrazom:

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S. \quad (5.8)$$

Ako je $\Delta G > 0$ reakcija se odvija sa desna na lijevo, tj. u smjeru stvaranja reaktanata reakcije. Ako je $\Delta G < 0$ reakcija se odvija sa lijeva na desno, tj. u smjeru stvaranja proizvoda reakcije.

Za hemijsku reakciju:

$$\sum_i a_i \cdot A_i = \sum_j b_j \cdot B_j, \quad (5.9)$$

konstanta hemijske ravnoteže izražena preko parcijalnih pritisaka iznosi:

$$K_p = \frac{\prod_j (p_{B_j})^{b_j}}{\prod_i (p_{A_i})^{a_i}} \quad (5.10)$$

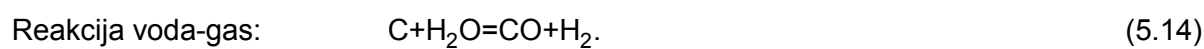
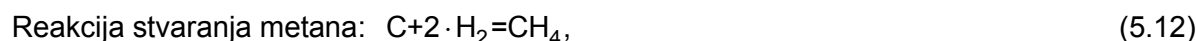
Vrijednost konstante hemijske ravnoteže K'_p svedena na pritisak $p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ određena je izrazom:

$$K'_p = e^{-\frac{\Delta G}{R_u \cdot T}} = K_p \cdot p_0^{-(\sum_j b_j - \sum_i a_i)}, \quad (5.11)$$

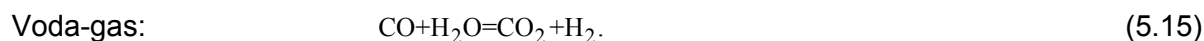
gdje je:

$$R_u = 8.314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} - \text{univerzalna gasna konstanta.}$$

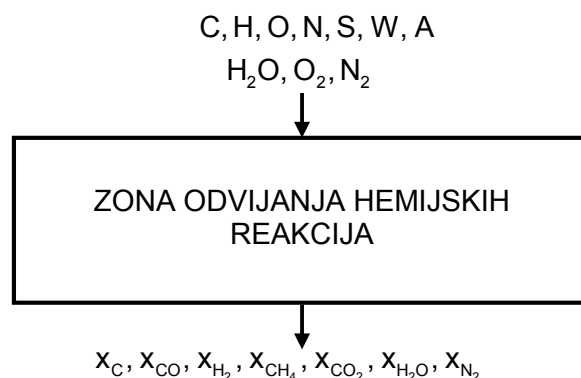
Pri proračunu se polazi od pretpostavke da se pri gasifikaciji OAP odvijaju hemijske reakcije [4]:



Kombinacijom jednačina (5.13) i (5.14) može se razmatrati reakcija [7,8]:



Zona odvijanja hemijskih reakcija prikazana je na slici 5.1.



Slika 5.1. Šema reaktorskog prostora za gasifikaciju

Brojčane vrijednosti entalpije veze, slobodne entalpije i entropije pojedinih komponenti pri odvijanju reakcija (5.12) do (5.14) prikazane su u tabeli 5.1.

Tabela 5.1. Entalpije veze, slobodne entalpije i entropije neorganskih komponenata pri $1.013 \cdot 10^5$ Pa i 298 K [10]

Komponenta	Formula	Stanje	$\Delta h, \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$	$\Delta g, \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$	$s, \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$
Ugljenik	C	čvrsto	0	0	5,740
Ugljen-dioksid	CO ₂	gas	-393510	-394360	213,64
Ugljen-monoksid	CO	gas	-110520	-137150	197,56
Vodonik	H ₂	gas	0	0	130,57
Metan	CH ₄	gas	-74810	-50750	186,15
Vodena para	H ₂ O	gas	-241820	-228590	188,715

Specifični molarni toplotni kapaciteti pojedinih komponenti u zavisnosti od temperature su [9]:

$$c_{\text{mpCO}}(T) = 28.428 + 4.103 \cdot 10^{-3} \cdot T - 0.460 \cdot 10^5 \cdot T^{-2}, \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}, \quad (5.16)$$

$$c_{\text{mpCO}_2}(T) = 44.171 + 9.043 \cdot 10^{-3} \cdot T - 8.541 \cdot 10^5 \cdot T^{-2}, \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}, \quad (5.17)$$

$$c_{\text{mpC(s)}}(T) = 0.109 + 38.966 \cdot 10^{-3} \cdot T - 1.482 \cdot 10^5 \cdot T^{-2} - 17.396 \cdot 10^{-6} \cdot T^2, \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}, \quad (5.18)$$

$$c_{\text{mpH}_2\text{O}}(T) = 30.019 + 10.718 \cdot 10^{-3} \cdot T + 0.335 \cdot 10^5 \cdot T^{-2}, \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}, \quad (5.19)$$

$$c_{\text{mpH}_2}(T) = 27.298 + 3.266 \cdot 10^{-3} \cdot T + 0.502 \cdot 10^5 \cdot T^{-2}, \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}, \quad (5.20)$$

$$c_{\text{mpCH}_4}(T) = 12.456 + 76.740 \cdot 10^{-3} \cdot T + 1.449 \cdot 10^5 \cdot T^{-2} - 18.016 \cdot 10^{-6} \cdot T^2, \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}. \quad (5.21)$$

Korišćenjem brojčanih vrijednosti iz tabele 5.1 i na osnovu jednačina (5.1) do (5.11) vrijednost termohemijskih veličina ($\Delta H, \Delta S, \Delta G, K_p$) reakcija (5.12) do (5.14) prikazane su u tabeli 5.2.

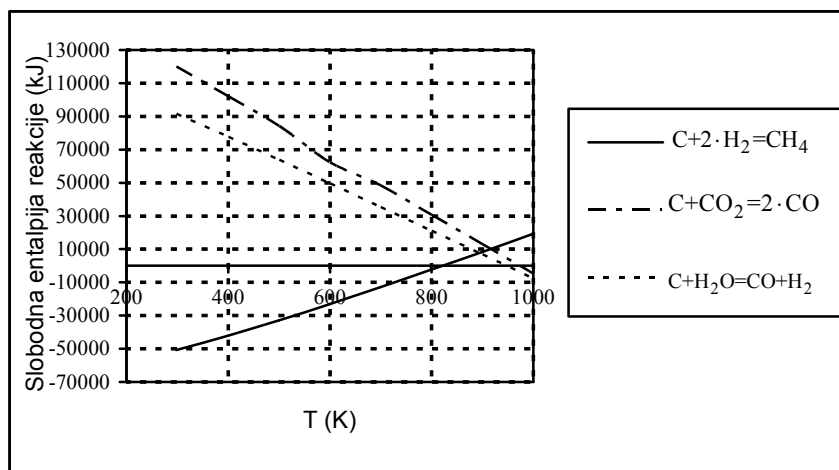
Tabela 5.2. Zavisnost termohemijskih veličina reakcija koje se odvijaju pri procesima gasifikacije OAP od reakcione temperature

T,K	$\Delta H, \text{kJ}$	$\Delta S, \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$	$\Delta G, \text{kJ}$	$K_p^{1)}$	$K_p^{2)}$	$\log K_p'$	$\log K_p$
$\text{C} + 2 \cdot \text{H}_2 = \text{CH}_4$							
298	-74810	-80,73	-50750	$7,78 \cdot 10^8$	$7,68 \cdot 10^3$	8,89	3,88
400	-77845,18	-89,50	-42045,18	$3,10 \cdot 10^5$	3,06	5,49	0,48
500	-80580,44	-95,62	-32770,44	$2,65 \cdot 10^3$	$2,62 \cdot 10^{-2}$	3,42	-1,58
600	-83041,61	-100,11	-22975,61	$1,00 \cdot 10^2$	$9,87 \cdot 10^{-4}$	2,00	-3,00
700	-85216,14	-103,47	-12787,14	9,00	$8,88 \cdot 10^{-5}$	0,95	-4,05
800	-87098,41	-105,99	-2306,41	1,41	$1,39 \cdot 10^{-5}$	0,15	-4,85
900	-88685,82	-107,86	8388,18	$3,26 \cdot 10^{-1}$	$3,21 \cdot 10^{-6}$	-0,49	-5,49
1000	-89977,33	-109,22	19242,67	$9,88 \cdot 10^{-2}$	$9,75 \cdot 10^{-7}$	-1,00	-6,01
$\text{C} + \text{CO}_2 = 2 \cdot \text{CO}$							
298	172470	175,74	120060	$9,24 \cdot 10^{-22}$	$9,36 \cdot 10^{-17}$	-21,03	-16,03
400	173330,45	178,28	102018,45	$4,76 \cdot 10^{-14}$	$4,82 \cdot 10^{-9}$	-13,32	-8,32
500	173605,79	178,91	84150,79	$1,62 \cdot 10^{-9}$	$1,64 \cdot 10^{-4}$	-8,79	-3,78
600	173505,33	178,73	62267,33	$1,70 \cdot 10^{-6}$	$1,72 \cdot 10^{-1}$	-5,77	-0,76
700	173128,91	178,16	48416,91	$2,44 \cdot 10^{-4}$	$2,47 \cdot 10^1$	-3,61	1,39
800	172543,81	177,38	30639,81	$9,98 \cdot 10^{-3}$	$1,01 \cdot 10^3$	-2,00	3,00
900	171802,90	176,51	12943,90	$1,77 \cdot 10^{-1}$	$1,79 \cdot 10^4$	-0,75	4,25
1000	170951,80	175,61	-4658,20	1,75	$1,77 \cdot 10^5$	0,24	5,25
$\text{C} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + \text{H}_2$							
298	131300	133,675	91440	$9,55 \cdot 10^{-17}$	$9,67 \cdot 10^{-12}$	-16,02	-11,01
400	132721,53	137,80	77601,53	$7,34 \cdot 10^{-11}$	$7,44 \cdot 10^{-6}$	-10,13	-5,13
500	133790,33	140,20	63690,33	$2,22 \cdot 10^{-7}$	$2,25 \cdot 10^{-2}$	-6,65	-1,65
600	134590,11	141,66	49594,11	$4,81 \cdot 10^{-5}$	4,87	-4,32	0,69
700	135164,18	142,55	35379,18	$2,29 \cdot 10^{-3}$	$2,32 \cdot 10^2$	-2,64	2,36
800	135551,56	143,07	21095,56	$4,19 \cdot 10^{-2}$	$4,24 \cdot 10^3$	-1,38	3,63
900	135789,41	143,36	6765,41	$4,05 \cdot 10^{-1}$	$4,10 \cdot 10^4$	-0,39	4,61
1000	-135913,93	143,49	-7576,07	2,49	$2,52 \cdot 10^5$	0,40	5,40

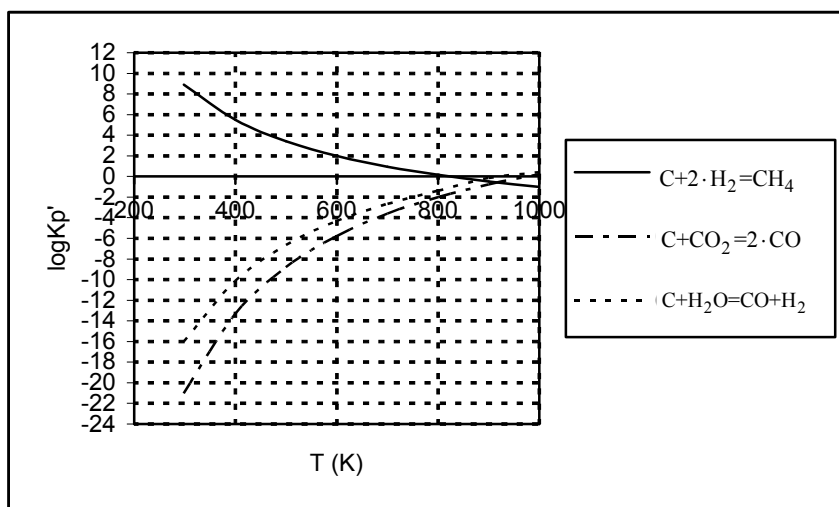
1) Konstanta hemijske ravnoteže reakcije svedena na pritisak $p_0 = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

2) Zavisi od reda hemijske reakcije (za reakciju $\text{C} + 2 \cdot \text{H}_2 = \text{CH}_4$ je K_p, Pa^{-1} , za reakciju $\text{C} + \text{CO}_2 = 2 \cdot \text{CO}$ je, K_p, Pa , za reakciju $\text{C} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + \text{H}_2$ je K_p, Pa)

Reakcija stvaranja CH_4 je egzotermna sa negativnom promjenom entropije, pa je znak ΔG određen relativnim odnosom entalpijskog i entropijskog člana, jednačina (5.8) tabela 5.1 (slika 5.2). To znači da je reakcija stvaranja CH_4 termodinamički povoljna pri nižim reakcionim temperaturama. Pri nižim reakcionim temperaturama (do 800 K) konstanta ravnoteže reakcije stvaranja CH_4 je mnogo veća od jedan $K_p' \gg 1$, (slika 5.3). To znači da su produkti reakcije stvaranja CH_4 u višku u odnosu na reaktante, odnosno reakcija je pomjerena u pravcu građenja produkata reakcije. Povećanjem reakcione temperature konstanta ravnoteže reakcija (5.13) i (5.14) raste kao posljedica pomjeranja ravnoteže reakcija u smjeru produkata. Ovo praktično znači da se pri procesima pirolize OAP pri nižim reakcionim temperaturama prvo stvara CH_4 , a pri višim reakcionim temperaturama stvara CO i H_2 .



Slika 5.2. Određivanje reakcione oblasti pri gasifikaciji OAP



Slika 5.3. Uticaj temperature gasifikacije OAP na konstantu ravnoteže hemijskih reakcija

Konstante ravnoteža ($K_{p_1}, K_{p_2}, K_{p_3}$) hemijskih reakcija (5.12), (5.13) i (5.14) u zavisnosti od temperature mogu se odrediti korišćenjem izraza [11]:

$$\log K_{p_1} = -18.06361 + \frac{4662.80}{T} - 2.09594 \cdot 10^{-3} T + 0.38620 \cdot 10^{-6} T^2 + 3.034338 \log T, \quad (5.22)$$

$$\log K_{p_2} = 8.26730 - \frac{8820.690}{T} - 1.208714 \cdot 10^{-3} T + 0.153734 \cdot 10^{-6} T^2 + 2.295483 \log T, \quad (5.23)$$

$$\log K_{p_3} = -28.45778 - \frac{4825.986}{T} - 5.671122 \cdot 10^{-3} T + 0.8255488 \cdot 10^{-6} T^2 + 14.515760 \log T, \quad (5.24)$$

gde su:

$$K_{p_1} = \frac{p_{\text{CH}_4}}{p_{\text{H}_2}^2} - \text{konstanta ravnoteže hemijske reakcije (5.12)}$$

$$K_{p_2} = \frac{p_{\text{CO}_2}}{p_{\text{CO}}} - \text{konstanta ravnoteže hemijske reakcije (5.13),}$$

$$K_{p_3} = \frac{p_{\text{CO}} \cdot p_{\text{H}_2}}{p_{\text{H}_2\text{O}}} - \text{konstanta ravnoteže hemijske reakcije (5.14),}$$

T – apsolutna temperatura pri odvijanju razmatranih hemijskih reakcija,

$p_{\text{CH}_4}, p_{\text{H}_2}, p_{\text{CO}}, p_{\text{CO}_2}, p_{\text{H}_2\text{O}}$ - parcijalni pritisak metana, vodonika, ugljen-monoksida, ugljen-dioksida i vodene pare u ravnotežnoj mješavini.

Vrijednost konstanti ravnoteža $K_{p_1}, K_{p_2}, K_{p_3}$ reakcija (5.12), (5.13) i (5.14) dobijene primjenom izraza (5.22) do (5.24) slažu se sa vrijednostima dobijenih primjenom izraza (5.1) do (5.11) (tabela 5.2).

Eksperimentalna istraživanja [11] ukazuju da se ravnotežno stanje reakcije stvaranja metana ($\text{C} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_4$) ne postiže u potpunosti, pa se konstanta ravnoteže K_{p_1} (jednačina (5.12)) množi koeficijentom 0.24. Istraživači [8] u svojim eksperimentalnim istraživanjima uvode modifikovani model u kome se konstanta ravnoteže reakcije stvaranja metana množi koeficijentom 11.28. Za razliku od [11] ovaj model predviđa u ravnotežnoj mješavini više molske udjele CH_4 . Nekonzistentnost literaturnih podataka u vrijednostima konstante ravnoteže reakcije stvaranja CH_4 moguće je objasniti da se pri eksperimentalnim ispitivanjima nije došlo do stanja ravnoteže reakcije stvaranja CH_4 .

5.2. Proračun ravnotežnog sastava gasifikacije OAP na osnovu odnosa ukupnih količina ugljenika, kiseonika, vodonika i azota koje stupaju u reaktorski prostor

U ravnotežnoj mješavini (heterogena faza) pri odvijanju hemijskih reakcija (5.12), (5.13) i (5.14) postoji sedam komponenata čije molske udjele treba odrediti ($x_C, x_{H_2}, x_{CH_4}, x_{CO_2}, x_{CO}, x_{H_2O}, x_{N_2}$), pa je potrebno postaviti sedam jednačina materijalnog bilansa (slika 5.1):

$$x_C + x_{H_2} + x_{CH_4} + x_{CO_2} + x_{CO} + x_{H_2O} + x_{N_2} = 1, \quad (5.25)$$

$$\frac{\Sigma C}{\Sigma O_2} = \frac{x_C + x_{CH_4} + x_{CO_2} + x_{CO}}{x_{CO_2} + 0.5 x_{CO} + 0.5 x_{H_2O}} = L, \quad (5.26)$$

$$\frac{\Sigma C}{\Sigma H_2} = \frac{x_C + x_{CH_4} + x_{CO_2} + x_{CO}}{x_{H_2} + 2 x_{CH_4} + x_{H_2O}} = M, \quad (5.27)$$

$$\frac{\Sigma C}{\Sigma N_2} = \frac{x_C + x_{CH_4} + x_{CO_2} + x_{CO}}{x_{N_2}} = \frac{1}{I}, \quad (5.28)$$

$$K_{p_1} = \frac{p_{CH_4}}{p_{H_2}^2} = \frac{1}{p} \cdot \frac{x_{CH_4} \cdot (1 - x_C)}{x_{H_2}^2}, \quad (5.29)$$

$$K_{p_2} = \frac{p_{CO}^2}{p_{CO_2}} = p \cdot \frac{x_{CO}^2}{x_{CO_2} \cdot (1 - x_C)}, \quad (5.30)$$

$$K_{p_3} = \frac{p_{CO} \cdot p_{H_2}}{p_{H_2O}} = p \cdot \frac{x_{CO} \cdot x_{H_2}}{x_{H_2O} \cdot (1 - x_C)}, \quad (5.31)$$

gdje su:

$\Sigma C, \Sigma O_2, \Sigma H_2, \Sigma N_2$ – ukupan broj kilomolova ugljenika, kiseonika, vodonika i azota u reaktorskom prostoru,

L, M, I – pomoćni parametri,

p – ukupan pritisak u reaktorskom prostoru.

Sistem od sedam jednačina (5.25) do (5.31) sa sedam nepoznatih veličina ($x_C, x_{H_2}, x_{CH_4}, x_{CO_2}, x_{CO}, x_{H_2O}, x_{N_2}$) može se transformisati u sistem od tri nelinearne jednačine sa tri nepoznate:

$$F_1(x_{CO}, x_{H_2}, x_C) = 0, \quad F_2(x_{CO}, x_{H_2}, x_C) = 0, \quad F_3(x_{CO}, x_{H_2}, x_C) = 0:$$

$$a_1 x_{CO}^2 + b_1 x_{H_2}^2 + c_1 x_C^2 + d_1 x_{CO} x_{H_2} + e_1 x_{CO} x_C + f_1 x_{H_2} x_C + g_1 x_{CO} + h_1 x_{H_2} + i_1 x_C + k_1 = 0, \quad (5.32)$$

$$a_2 x_{CO}^2 + b_2 x_{H_2}^2 + c_2 x_C^2 + d_2 x_{CO} x_{H_2} + e_2 x_{CO} x_C + g_2 x_{CO} + i_2 x_C = 0, \quad (5.33)$$

$$a_3 x_{CO}^2 + b_3 x_{H_2}^2 + c_3 x_C^2 + d_3 x_{CO} x_{H_2} + e_3 x_{CO} x_C + f_3 x_{H_2} x_C + g_3 x_{CO} + h_3 x_{H_2} + i_3 x_C = 0. \quad (5.34)$$

Koeficijenti jednačina su:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= p \cdot K_{p_3} (1+l), & b_1 &= p \cdot K_{p_1} \cdot K_{p_2} \cdot K_{p_3} \cdot (1+l), & c_1 &= -K_{p_2} \cdot K_{p_3} \cdot (1+l), & d_1 &= p \cdot K_{p_2}, \\
 e_1 &= -K_{p_2} \cdot K_{p_3} \cdot (1+l), & f_1 &= -K_{p_2} \cdot K_{p_3}, & g_1 &= K_{p_2} K_{p_3} (1+l), & h_1 &= K_{p_2} K_{p_3}, \\
 i_1 &= K_{p_2} \cdot K_{p_3} \cdot (2+l), & k_1 &= -K_{p_2} \cdot K_{p_3}, \\
 a_2 &= 2 \cdot p \cdot K_{p_3} \cdot (1-L), & b_2 &= 2 \cdot p \cdot K_{p_1} \cdot K_{p_2} \cdot K_{p_3}, & c_2 &= -2 \cdot K_{p_2} \cdot K_{p_3}, & d_2 &= -L \cdot p \cdot K_{p_2}, \\
 e_2 &= K_{p_2} \cdot K_{p_3} \cdot (L-2), & g_2 &= K_{p_2} \cdot K_{p_3} \cdot (2-L), & i_2 &= 2 \cdot K_{p_2} \cdot K_{p_3}, \\
 a_3 &= p \cdot K_{p_3}, & b_3 &= p \cdot K_{p_1} \cdot K_{p_2} \cdot K_{p_3} \cdot (1-2M), & c_3 &= -K_{p_2} \cdot K_{p_3}, & d_3 &= -M \cdot p \cdot K_{p_2}, \\
 e_3 &= -K_{p_2} \cdot K_{p_3}, & f_3 &= M \cdot K_{p_2} \cdot K_{p_3}, & g_3 &= K_{p_2} \cdot K_{p_3}, & h_3 &= -M \cdot K_{p_2} \cdot K_{p_3}, & i_3 &= K_{p_2} K_{p_3}.
 \end{aligned}$$

Rešenja nelinearnog sistema jednačina (jednačine (5.32), (5.33) i (5.34)) mogu se odrediti Njutnovom iterativnom metodom. Izvorni kod u programskom jeziku C prikazan je u prilogu P10.

5.3. Proračun homogenog ravnotežnog sastava gasifikacije OAP

U ravnotežnoj mješavini (samo gasovita faza) pri odvijanju hemijskih reakcija (5.12), (5.13) i (5.14) postoji šest komponenata čije molske udjele treba odrediti ($y_{H_2}, y_{CH_4}, y_{CO_2}, y_{CO}, y_{H_2O}, y_{N_2}$), pa je potrebno postaviti šest jednačina materijalnog bilansa:

$$y_{H_2} + y_{CH_4} + y_{CO_2} + y_{CO} + y_{H_2O} + y_{N_2} = 1, \quad (5.35)$$

$$\frac{\Sigma H_2}{\Sigma O_2} = \frac{y_{H_2} + 2 y_{CH_4} + y_{H_2O}}{y_{CO_2} + 0,5 y_{CO} + 0,5 y_{H_2O}} = L, \quad (5.36)$$

$$\frac{\Sigma N_2}{\Sigma O_2} = \frac{y_{N_2}}{y_{CO_2} + 0,5 y_{CO} + 0,5 y_{H_2O}} = M, \quad (5.37)$$

$$K_{p_1} = \frac{p_{CH_4}}{p_{H_2}^2} = \frac{1}{p} \cdot \frac{y_{CH_4}}{y_{H_2}^2}, \quad (5.38)$$

$$K_{p_2} = \frac{p_{CO}^2}{p_{CO_2}} = p \cdot \frac{y_{CO}^2}{y_{CO_2}}, \quad (5.39)$$

$$K_{p_3} = \frac{p_{CO} \cdot p_{H_2}}{p_{H_2O}} = p \cdot \frac{y_{CO} \cdot y_{H_2}}{y_{H_2O}}. \quad (5.40)$$

Sistem od šest jednačina (5.35) do (5.40) sa šest nepoznatih veličina ($y_{H_2}, y_{CH_4}, y_{CO_2}, y_{CO}, y_{H_2O}, y_{N_2}$) transformše se u sistem od dvije nelinearne jednačine:

$$\begin{aligned}
 F_1(y_{CO}, y_{H_2}) &= 0, & F_2(y_{CO}, y_{H_2}) &= 0: \\
 a_1 y_{CO}^2 + b_1 y_{CO} + c_1 y_{CO} y_{H_2} + d_1 y_{H_2}^2 + e_1 y_{H_2} + f_1 &= 0, & (5.41)
 \end{aligned}$$

$$a_2 y_{CO}^2 + b_2 y_{CO} + c_2 y_{CO} y_{H_2} + d_2 y_{H_2}^2 + e_2 y_{H_2} = 0. \quad (5.42)$$

Koeficijenti jednačina su:

$$a_1 = (1+M) \cdot \frac{p}{K_{p_2}}, \quad b_1 = 1 + 0,5 M, \quad c_1 = (1+0,5 M) \cdot \frac{p}{K_{p_3}}, \quad d_1 = p \cdot K_{p_1}, \quad e_1 = 1, \quad f_1 = -1,$$

$$a_2 = -L \cdot \frac{p}{K_{p_2}}, \quad b_2 = -0,5 L, \quad c_2 = (1-0,5 L) \cdot \frac{p}{K_{p_3}}, \quad d_2 = 2 \cdot p \cdot K_{p_1}, \quad e_2 = 1.$$

Nelinearan sistem jednačina (jednačine (5.41) (5.42)) može se takođe rešiti Njutnovom iterativnom metodom. Izvorni kod u programskom jeziku C prikazan je u prilogu P11.

5.4. Proračun ravnotežnog sastava gasifikacije OAP pomoću proračuna nepotpunog sagorijevanja goriva

Pri proračunu materijalnog bilansa gasifikacije goriva može se uz izvjesna približenja primjeniti proračun nepotpunog sagorijevanja goriva. U citiranoj literaturi nema primjera proračuna sastava gasifikacije goriva pomoću jednačina nepotpunog sagorijevanja. Bilans materija pri procesu gasifikacije biće urađen na osnovu odnosa ukupnih količina ugljenika, kiseonika, vodonika i azota koje stupaju u reaktorski prostor (jednačine 5.25 – 5.34).

Iz poznatog sastava goriva (C, H, O, N, S, W, A , maseni udjeli) određuje se:

minimalna (stehiometrijska) potrošnja kiseonika

$$O_{2_{min}} = 2,667 \cdot C + 8 \cdot H + S - O, \text{ kgO}_2/\text{kgB}$$

minimalna potrošnja vazduha

$$L_{min} = \frac{O_{2_{min}}}{0,23}, \text{ kgL/kgB}$$

stvarna (aktuelna) potrošnja vazduha

$$L = \lambda \cdot L_{min}, \text{ kgL/kgB}$$

gdje je:

λ – koeficijent viška vazduha.

Za gasifikaciju goriva (kao nepotpuno sagorijevanje goriva) je $0 < \lambda < 1$.

Ukupne količine ugljenika, kiseonika, vodonika i azota koja stupa u reaktorski prostor određuju se pomoću izraza:

količina ugljenika:

$$\Sigma C = \frac{C}{12}, \text{ kmolC/kgB,}$$

količina kiseonika:

$$\Sigma O_2 = \frac{1}{32} \cdot (O + \frac{16}{18} \cdot (W + H_2O) + 0,23 \cdot L), \text{ kmolO}_2/\text{kgB,}$$

gdje je:

H₂O – količina ubačene vodene pare u gasifikator, kgH₂O/kgB,

količina vodonika:

$$\Sigma H_2 = \frac{1}{2} \cdot (H + \frac{2}{18} \cdot (W + H_2O)), \text{ kmolH}_2/\text{kgB,}$$

količina azota:

$$\Sigma N_2 = \frac{1}{28} \cdot (N + 0,77 \cdot L), \text{ kmolN}_2/\text{kgB.}$$

Sada se sastav ravnotežne mješavine gasifikacije goriva određuje primjenom jednačina 5.25 – 5.34.

5.5. Brojčani primjer proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP pri uvođenju vazduha u reakcioni prostor (gasifikator)

5.5.1. Proračun na osnovu odnosa količina ulaznih materija (pasus 5.2 i 5.3)

Proračun je urađen za reakcionu temperaturu od 500 °C, količinu ubačenog vazduha od 0,1m³/h i pritisku od 1,013·10⁵ Pa u reaktorskom prostoru. Blok dijagram rješavanja sistema jednačina $F_1(x_{CO}, x_{H_2}, x_C) = 0$, $F_2(x_{CO}, x_{H_2}, x_C) = 0$, $F_3(x_{CO}, x_{H_2}, x_C) = 0$ prikazan je na slici 5.4.

Sastav goriva (OAP) (maseni udjeli kg/kg, tabela 3.5):

$$C = 0,6420$$

$$H = 0,0500$$

$$O = 0,0440$$

$$N = 0,0010$$

$$S = 0,0091$$

$$A = 0,2520$$

$$W = 0,0019$$

$$\Sigma = 1,0000$$

Količina ubačenog vazduha:	0,100 m ³ /h
Količina ubačenog kiseonika	0 m ³ /h
Količina ubačene vodene pare:	0 m ³ /h

Ukupne količine ugljenika, kiseonika, vodonika i azota koja stupa u reaktorski prostor određuju se pomoću izraza:

količina ugljenika:

$$\Sigma C = \frac{C}{12} = \frac{0,6420}{12} = 0,0535 \text{ kmolC/kgB,}$$

gdje je:

C = 0,6420 kgC/kgB – maseni udio ugljenika u gorivu (AOP),

količina kiseonika:

$$\Sigma O_2 = \frac{1}{32} \cdot \left(O + \frac{16}{18} \cdot W + \frac{\rho_{O_2} \cdot 0,21 \cdot \dot{V}_L \cdot \tau}{m_B} \right) =$$
$$\frac{1}{32} \cdot \left(0,0440 + \frac{16}{18} \cdot 0,0019 + \frac{1,4290 \cdot 0,21 \cdot 0,1 \cdot 0,0822}{0,010} \right) = 0,0091 \text{ kmolO}_2/\text{kgB,}$$

gdje su:

O = 0,0440 kgO/kgB – maseni udio kiseonika u gorivu,

W = 0,0019 kgW/kgB – maseni udio vlage u gorivu,

$\rho_{O_2} = 1,4290 \text{ kg/m}^3$ - gustina kiseonika pri normalnim uslovima,

$\dot{V}_L = 0,1 \text{ m}^3/\text{h}$ - zapreminski protok vazduha koji se injektira u gasifikator,

$\tau = 0,0822 \text{ h}$ - reakciono vrijeme,

$m_B = 10 \text{ g} = 0,010 \text{ kg}$ – masa goriva (OAP) u reaktoru (gasifikatoru),

količina vodonika:

$$\Sigma H_2 = \frac{1}{2} \cdot \left(H + \frac{2}{18} \cdot W \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(0,05 + \frac{2}{18} \cdot 0,0019 \right) = 0,0251 \text{ kmolH}_2/\text{kgB,}$$

gdje je:

H = 0,05 kgH₂/kgB - maseni udio vodonika u gorivu,

količina azota:

$$\Sigma N_2 = \frac{1}{28} \cdot \left(N + \frac{\rho_{N_2} \cdot 0,79 \cdot \dot{V}_L \cdot \tau}{m_B} \right) =$$
$$= \frac{1}{28} \cdot \left(0,0010 + \frac{1,251 \cdot 0,79 \cdot 0,1 \cdot 0,0822}{0,010} \right) = 0,0290 \text{ kmolN}_2/\text{kgB,}$$

gdje su:

N = 0,0010 kgN/kgB – maseni udio azota u gorivu,

$\rho_{N_2} = 1,251 \text{ kg/m}^3$ - gustina azota pri normalnim uslovima.

Detaljan proračun određivanje sastava produkata gasifikacije OAP prikazan je u prilogu P16.

Sastav produkata gasifikacije:

Ravnotežni sastav (heterogena faza)	Ravnotežni sastav (homogena - gasovita faza)
$x_{CO} = 0,0092 \text{ kmol/kmol}$	$y_{CO} = 0,0168 \text{ kmol/kmol}$
$x_{H_2} = 0,1184 \text{ kmol/kmol}$	$y_{H_2} = 0,2160 \text{ kmol/kmol}$
$x_C = 0,4520 \text{ kmol/kmol}$	$y_{CO_2} = 0,0651 \text{ kmol/kmol}$
$x_{CO_2} = 0,0357 \text{ kmol/kmol}$	$y_{CH_4} = 0,0250 \text{ kmol/kmol}$
$x_{CH_4} = 0,0137 \text{ kmol/kmol}$	$y_{H_2O} = 0,1712 \text{ kmol/kmol}$
$x_{H_2O} = 0,0938 \text{ kmol/kmol}$	$y_{N_2} = 0,5059 \text{ kmol/kmol}$
$x_{N_2} = 0,2772 \text{ kmol/kmol}$	

5.5.2. Proračun na osnovu jednačina nepotpunog sagorijevanja goriva (pasus 5.4)

minimalna (stehiometrijska) potrošnja kiseonika

$$O_{2_{\min}} = 2,667 \cdot C + 8 \cdot H + S - O = 2,667 \cdot 0,6420 + 8 \cdot 0,05 + 0,0091 - 0,044 = 2,0773 \text{ kgO}_2/\text{kgB}$$

minimalna (stehiometrijska) potrošnja vazduha

$$L_{\min} = \frac{O_{2_{\min}}}{0,23} = \frac{2,0773}{0,23} = 9,0317 \text{ kgL/kgB}$$

stvarna (aktuelna) potrošnja vazduha

$$L = \frac{\rho_L \cdot \dot{V}_L \cdot T}{m_B} = \frac{1,293 \cdot 0,1 \cdot 0,0822}{0,010} = 1,06 \text{ kgL/kgB,}$$

koeficijent viška vazduha

$$\lambda = \frac{L}{L_{\min}} = \frac{1,06}{9,0317} = 0,12$$

količina ugljenika:

$$\Sigma C = \frac{C}{12} = \frac{0,6420}{12} = 0,0535 \text{ kmolC/kgB,}$$

količina kiseonika:

$$\begin{aligned} \Sigma O_2 &= \frac{1}{32} \cdot \left(O + \frac{16}{18} \cdot (W + H_2O) + 0,23 \cdot L \right) = \\ &= \frac{1}{32} \cdot \left(0,044 + \frac{16}{18} \cdot (0,0019 + 0,0) + 0,23 \cdot 1,06 \right) = 0,0090 \text{ kmolO}_2/\text{kgB,} \end{aligned}$$

količina vodonika:

$$\Sigma H_2 = \frac{1}{2} \cdot \left(H + \frac{2}{18} \cdot (W + H_2O) \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(0,05 + \frac{2}{18} \cdot (0,0019 + 0,0) \right) = 0,0251 \text{ kmolH}_2/\text{kgB,}$$

količina azota:

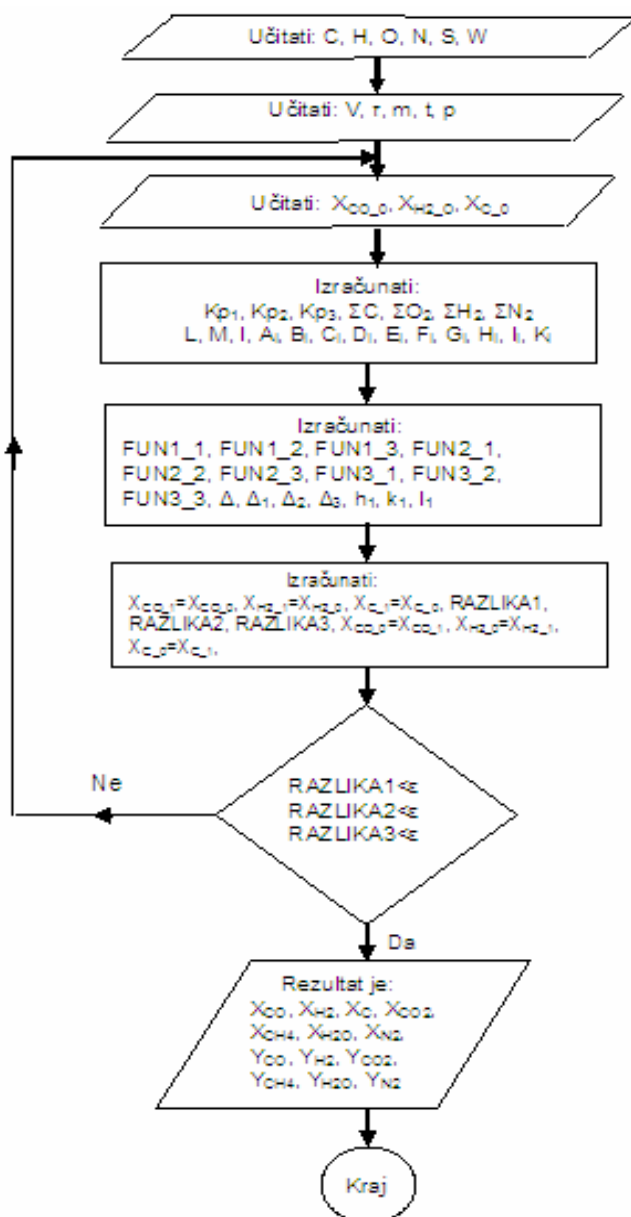
$$\Sigma N_2 = \frac{1}{28} \cdot (N + 0,77 \cdot L) = \frac{1}{28} \cdot (0,0010 + 0,77 \cdot 1,06) = 0,0292 \text{ kmolN}_2/\text{kgB.}$$

Rješavanje sistema jednačina (5.25) – (5.31) dobijaju se vrijednosti molskih udjela komponenata u ravnotežnoj mješavini. Proračun je urađen Njutnovom iterativnom metodom i u programskom jeziku C.

Sastav produkata gasifikacije:

Ravnotežni sastav (heterogena faza)	Ravnotežni sastav (homogena- gasovita faza)
$x_{CO} = 0,0093 \text{ kmol/kmol}$	$y_{CO} = 0,0168 \text{ kmol/kmol}$
$x_{H_2} = 0,1176 \text{ kmol/kmol}$	$y_{H_2} = 0,2131 \text{ kmol/kmol}$
$x_C = 0,4479 \text{ kmol/kmol}$	$y_{CO_2} = 0,0652 \text{ kmol/kmol}$
$x_{CO_2} = 0,0360 \text{ kmol/kmol}$	$y_{CH_4} = 0,0243 \text{ kmol/kmol}$
$x_{CH_4} = 0,0134 \text{ kmol/kmol}$	$y_{H_2O} = 0,1689 \text{ kmol/kmol}$
$x_{H_2O} = 0,0932 \text{ kmol/kmol}$	$y_{N_2} = 0,5117 \text{ kmol/kmol}$
$x_{N_2} = 0,2826 \text{ kmol/kmol}$	

Sastav produkata gasifikacije dobijen primjenom jednačina nepotpunog sagorijevanja u saglasnosti je sa sastavom produkata gasifikacije dobijen primjenom jednačina koje opisuju proces gasifikacije u zoni hemijskih reakcija.



Slika 5.4. Dijagram toka programa

Rezultati proračuna sastava ravnotežne mješavine pri gasifikaciji OAP za razne vrijednosti injektiranog vazduha i za razne vrijednosti temperature gasifikacije prikazani su u prilogima P12 – P49 i u tabelama 5.3 - 5.8. Pri porastu temperature gasifikacije u heterogenoj i u homogenoj ravnotežnoj mješavini rastu molški udjeli CO i H₂, dok molški udjeli ostalih komponenata C, CO₂, CH₄ i H₂O opadaju.

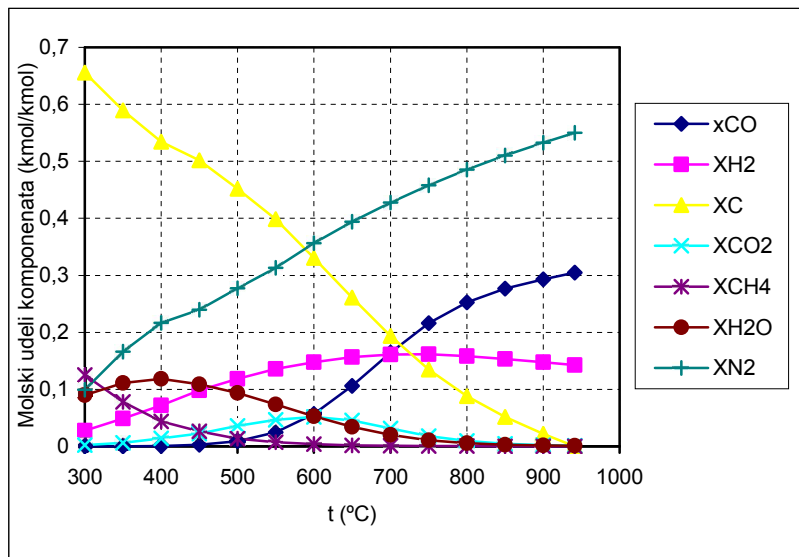
Tabela 5.3. Zavisnost ravnotežnog sastava (heterogena faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2H_2=CH_4$, $C+CO_2=2CO$, $C+H_2O=O+H_2$) pri gasifikaciji OAP (količina ubačenog vazduha $0,1\text{ m}^3/\text{h}$)

t, °C	$\frac{X_{CO}}{\text{kmol}} / \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	$\frac{X_{H_2}}{\text{kmol}} / \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	$\frac{X_C}{\text{kmol}} / \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	$\frac{X_{CO_2}}{\text{kmol}} / \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	$\frac{X_{CH_4}}{\text{kmol}} / \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	$\frac{X_{H_2O}}{\text{kmol}} / \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	$\frac{X_{N_2}}{\text{kmol}} / \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$
300	0,0000	0,0275	0,6559	0,0023	0,1251	0,0898	0,0994
350	0,0001	0,0487	0,5896	0,0062	0,0781	0,1114	0,1659
400	0,0007	0,0721	0,5344	0,0139	0,0440	0,1182	0,2167
450	0,0027	0,0981	0,5020	0,0224	0,0262	0,1091	0,2395
500	0,0092	0,1184	0,4520	0,0357	0,0137	0,0938	0,2772
550	0,0249	0,1359	0,3985	0,0466	0,0072	0,0736	0,3133
600	0,0569	0,1479	0,3307	0,0517	0,0037	0,0526	0,3565
650	0,1063	0,1566	0,2612	0,0455	0,0019	0,0342	0,3942
700	0,1646	0,1612	0,1934	0,0317	0,0010	0,0201	0,4280
750	0,2160	0,1615	0,1348	0,0181	0,0005	0,0108	0,4583
800	0,2525	0,1583	0,0884	0,0093	0,0003	0,0056	0,4856
850	0,2768	0,1532	0,0519	0,0046	0,0002	0,0029	0,5104
900	0,2930	0,1475	0,0217	0,0023	0,0001	0,0015	0,5329
941,3	0,3049	0,1427	0,0000	0,0014	0,0001	0,0009	0,5501

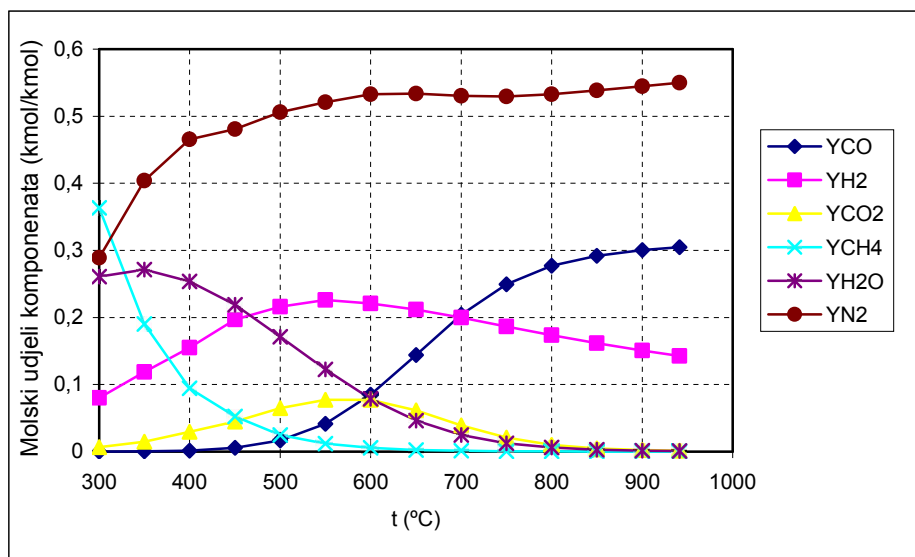
Tabela 5.4. Zavisnost ravnotežnog sastava (gasovita faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2H_2=CH_4$, $C+CO_2=2CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP (količina ubačenog vazduha $0,1\text{ m}^3/\text{h}$)

t, °C	$\frac{Y_{CO}}{\text{kmol}} / \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	$\frac{Y_{H_2}}{\text{kmol}} / \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	$\frac{Y_{CO_2}}{\text{kmol}} / \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	$\frac{Y_{CH_4}}{\text{kmol}} / \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	$\frac{Y_{H_2O}}{\text{kmol}} / \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	$\frac{Y_{N_2}}{\text{kmol}} / \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$
300	0,0000	0,0800	0,0065	0,3635	0,2611	0,2889
350	0,0003	0,1187	0,0150	0,1903	0,2715	0,4042
400	0,0015	0,1548	0,0298	0,0945	0,2538	0,4655
450	0,0055	0,1969	0,0449	0,0527	0,2191	0,4809
500	0,0168	0,2161	0,0651	0,0250	0,1711	0,5059
550	0,0414	0,2259	0,0775	0,0120	0,1224	0,5208
600	0,0850	0,2209	0,0773	0,0055	0,0786	0,5327
650	0,1439	0,2120	0,0616	0,0026	0,0463	0,5336
700	0,2041	0,1999	0,0393	0,0013	0,0249	0,5305
750	0,2496	0,1866	0,0210	0,0007	0,0125	0,5296
800	0,2770	0,1736	0,0102	0,0003	0,0061	0,5327
850	0,2920	0,1616	0,0048	0,0002	0,0030	0,5383
900	0,3004	0,1508	0,0024	0,0001	0,0015	0,5448
941,3	0,3049	0,1427	0,0014	0,0001	0,0009	0,5501

Grafička zavisnost sastava produkata hemijskih reakcija pri gasifikaciji OAP u zavisnosti od reakcione temperature i količine injektiranog vazduha od 0,1 m³/h prikazana je na slici 5.5 i slici 5.6. Pri reakcionoj temperaturi od oko 941,30 °C u ravnotežnoj mješavini ne postoji čvrsta faza ugljenika ($x_c = 0$) (slika 5.5).



Slika 5.5. Zavisnost ravnotežnog sastava produkata hemijskih reakcija ($C+2H_2=CH_4$, $C+CO_2=2CO$, $C+H_2O=O+H_2$) pri gasifikaciji OAP od temperature gasifikacije (količina ubačenog vazduha 0,1 m³/h)



Slika 5.6. Zavisnost ravnotežnog sastava (samo gasovita faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2H_2=CH_4$, $C+CO_2=2CO$, $C+H_2O=O+H_2$) pri gasifikaciji OAP od temperature gasifikacije (količina ubačenog vazduha 0,1 m³/h)

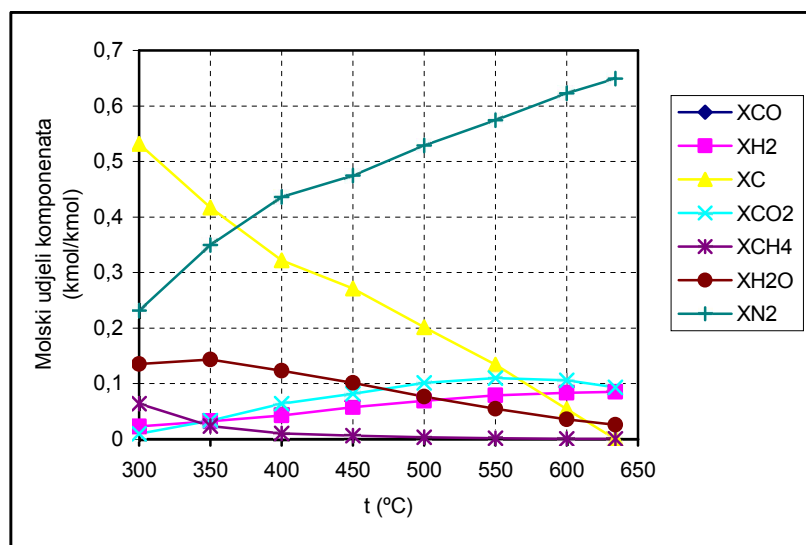
Tabela 5.5. Zavisnost ravnotežnog sastava (heterogena faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2 \cdot H_2=CH_4$, $C+CO_2=2 \cdot CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP (količina ubačenog vazduha $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$)

t, °C	X_{CO} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	X_{H_2} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	X_C $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	X_{CO_2} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	X_{CH_4} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	X_{H_2O} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	X_{N_2} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$
300	0,0000	0,0229	0,5361	0,0100	0,0640	0,1354	0,2316
350	0,0004	0,0320	0,4170	0,0337	0,0237	0,1434	0,3499
400	0,0018	0,0424	0,3221	0,0637	0,0105	0,1235	0,4360
450	0,0064	0,0577	0,2715	0,0819	0,0062	0,1016	0,4747
500	0,0188	0,0693	0,2016	0,1014	0,0032	0,0767	0,5290
550	0,0459	0,0789	0,1342	0,1100	0,0017	0,0547	0,5745
600	0,0968	0,0836	0,0544	0,1060	0,0008	0,0358	0,6226
634,22	0,1458	0,0855	0,0000	0,0931	0,0005	0,0258	0,6493

Tabela 5.6. Zavisnost ravnotežnog sastava (gasovita faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2 \cdot H_2=CH_4$, $C+CO_2=2 \cdot CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP (količina ubačenog vazduha $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$)

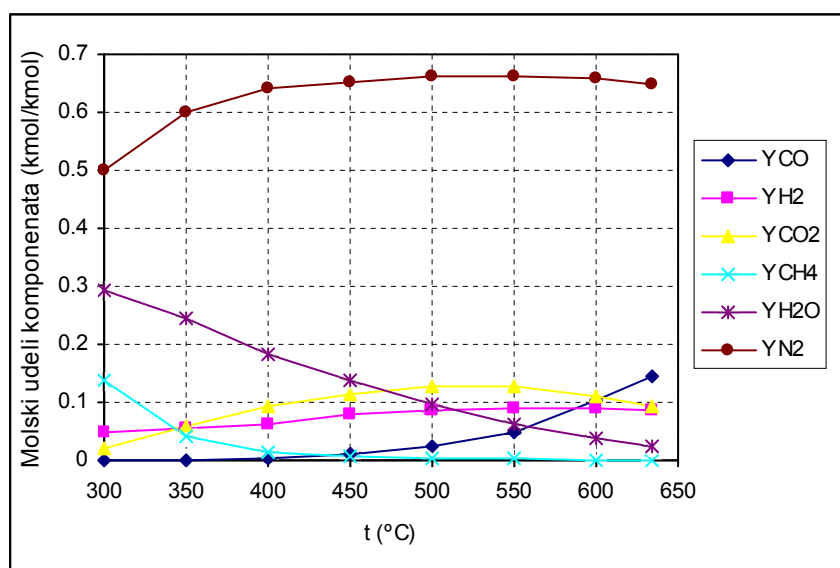
t, °C	Y_{CO} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	Y_{H_2} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	Y_{CO_2} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	Y_{CH_4} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	Y_{H_2O} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	Y_{N_2} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$
300	0,0001	0,0493	0,0215	0,1381	0,2918	0,4992
350	0,0006	0,0549	0,0577	0,0407	0,2460	0,6001
400	0,0027	0,0625	0,0940	0,0154	0,1822	0,6431
450	0,0087	0,0793	0,1124	0,0085	0,1394	0,6517
500	0,0235	0,0869	0,1270	0,0040	0,0961	0,6625
550	0,05	0,0911	0,1271	0,0019	0,0632	0,6636
600	0,1024	0,0884	0,1120	0,0009	0,0379	0,6584
634,22	0,1458	0,0855	0,0931	0,0005	0,0258	0,6493
650	0,1671	0,0840	0,0830	0,0004	0,0213	0,6442
700	0,2315	0,0783	0,0506	0,0002	0,0111	0,6282
750	0,2789	0,0723	0,0262	0,0001	0,0054	0,6171
800	0,3059	0,0665	0,0124	0,0000	0,0026	0,6126
850	0,3195	0,0613	0,0056	0,0000	0,0013	0,6122
900	0,3263	0,0566	0,0028	0,0000	0,0006	0,6136

Pri količini injektiranog vazduha od $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$ i pri reakcionoj temperaturi od oko $634,22 \text{ °C}$ u ravnotežnoj mješavini ne postoji čvrsta faza ugljenika ($x_C = 0$) (slika 5.7).



Slika 5.7. Zavisnost ravnotežnog sastava produkata hemijskih reakcija ($C+2 \cdot H_2=CH_4$, $C+CO_2=2 \cdot CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP od temperature gasifikacije (količina ubačenog vazduha $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$)

Slika 5.8. prikazuje zavisnost sastava produkata hemijskih reakcija pri gasifikaciji OAP (samo gasovita faza) od reakcione temperature i pri količini injektiranog vazduha od $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$.



Slika 5.8. Zavisnost ravnotežnog sastava (samo gasovita faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2 \cdot H_2=CH_4$, $C+CO_2=2 \cdot CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP od temperature gasifikacije (količina ubačenog vazduha $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$)

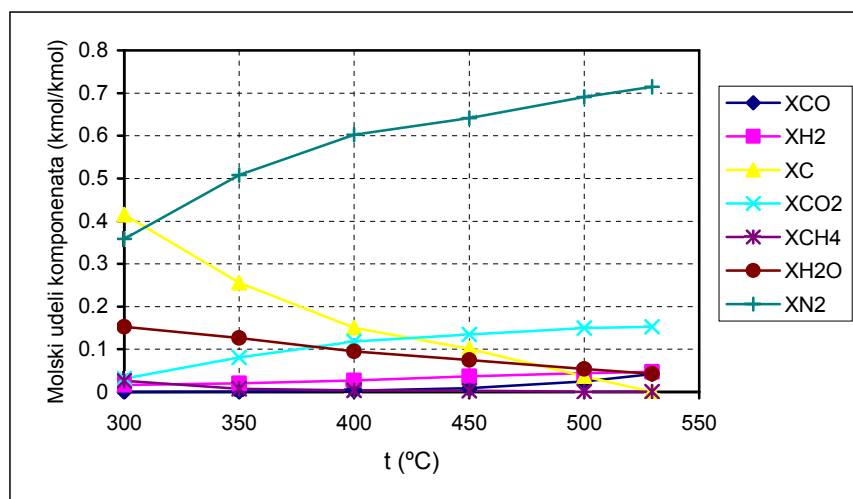
Tabela 5.7. Zavisnost ravnotežnog sastava (heterogena faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2 \cdot H_2=CH_4$, $C+CO_2=2 \cdot CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP (količina ubačenog vazduha $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$)

t, °C	X_{CO} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	X_{H_2} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	X_C $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	X_{CO_2} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	X_{CH_4} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	X_{H_2O} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	X_{N_2} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$
300	0,0001	0,0164	0,4150	0,0312	0,0262	0,1529	0,3582
350	0,0006	0,0205	0,2560	0,0808	0,0076	0,1261	0,5083
400	0,0028	0,0269	0,1507	0,1182	0,0034	0,0954	0,6025
450	0,0091	0,0369	0,1012	0,1348	0,0030	0,0750	0,6410
500	0,0250	0,0438	0,0363	0,1497	0,0011	0,0536	0,6904
529,60	0,0422	0,0472	0,0000	0,1524	0,0007	0,0430	0,7145

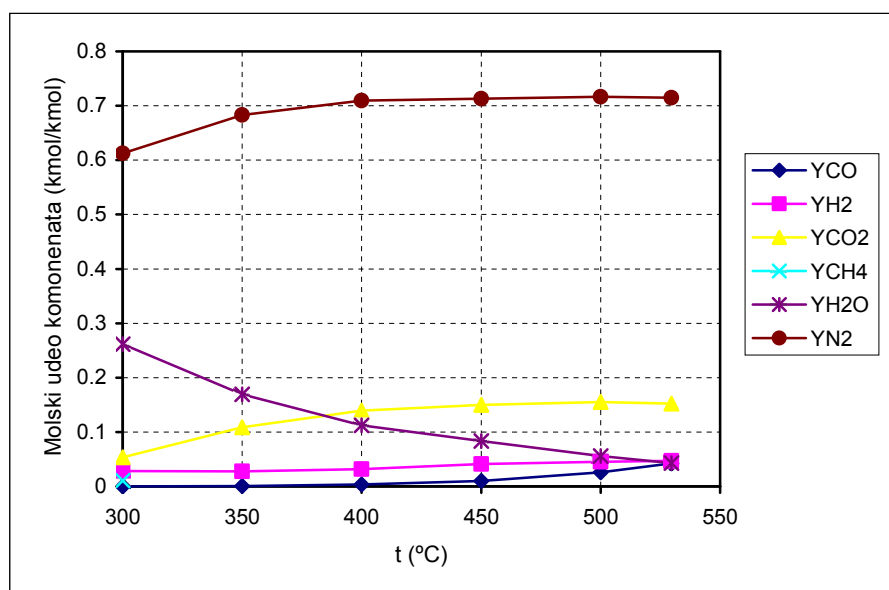
Tabela 5.8. Zavisnost ravnotežnog sastava (gasovita faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2 \cdot H_2=CH_4$, $C+CO_2=2 \cdot CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP (količina ubačenog vazduha $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$)

t, °C	Y_{CO} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	Y_{H_2} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	Y_{CO_2} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	Y_{CH_4} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	Y_{H_2O} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$	Y_{N_2} $\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$
300	0,0001	0,0281	0,0533	0,0447	0,2614	0,6123
350	0,0008	0,0276	0,1086	0,0103	0,1695	0,6832
400	0,0033	0,0317	0,1392	0,0040	0,1124	0,7094
450	0,0101	0,0410	0,1500	0,0023	0,0834	0,7132
500	0,0260	0,0455	0,1554	0,0011	0,0556	0,7164
529,60	0,0422	0,0472	0,1524	0,0007	0,0430	0,7145
550	0,0571	0,0479	0,1473	0,0005	0,0358	0,7113
600	0,1081	0,0465	0,1250	0,0002	0,0210	0,6991
650	0,1745	0,0441	0,0905	0,0001	0,0117	0,6791
700	0,2402	0,0409	0,0545	0,0001	0,0060	0,6583
800	0,3146	0,0345	0,0131	0,0000	0,0014	0,6364
900	0,3339	0,0292	0,0029	0,0000	0,0003	0,6336

Pri količini injektiranog vazduha od $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$ i pri reakcionoj temperaturi od oko $529,60 \text{ °C}$ u ravnotežnoj mješavini ne postoji čvrsta faza ugljenika ($x_c = 0$) (slika 5.9), a na slici 5.10 prikazana je zavisnost sastava produkata hemijskih reakcija pri gasifikaciji OAP (samo gasovita faza) od reakcione temperature i pri količini injektiranog vazduha od $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$.



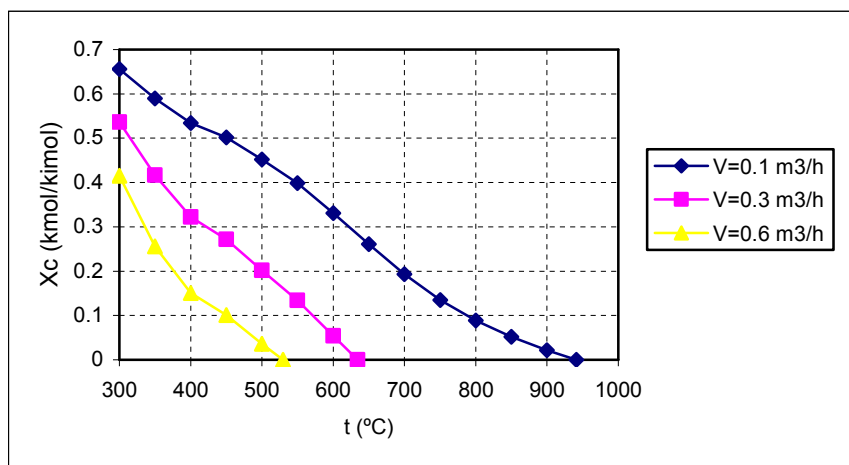
Slika 5.9. Zavisnost ravnotežnog sastava produkata hemijskih reakcija ($C+2 \cdot H_2=CH_4$, $C+CO_2=2 \cdot CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP od temperature gasifikacije (količina ubačenog vazduha $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$)



Slika 5.10. Zavisnost ravnotežnog sastava (samo gasovita faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2 \cdot H_2=CH_4$, $C+CO_2=2 \cdot CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP od temperature gasifikacije (količina ubačenog vazduha $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$)

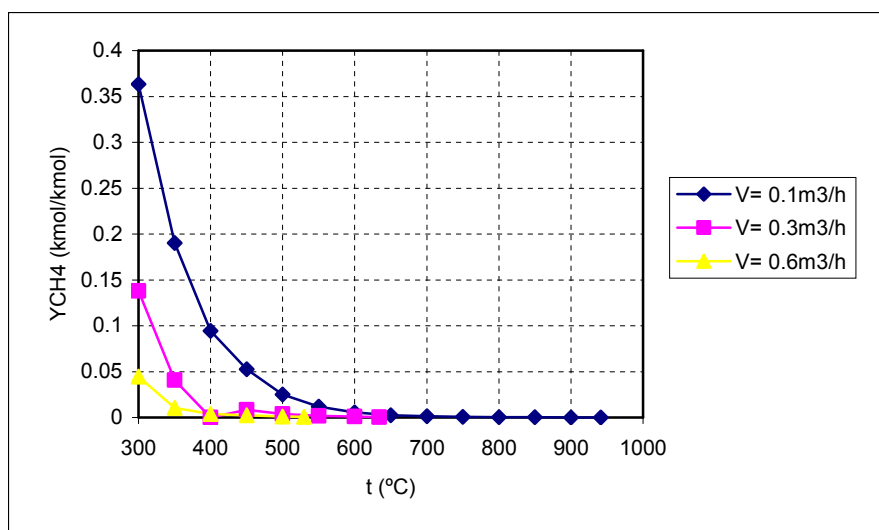
Injektiranjem veće količine vazduha u reaktorski prostor (gasifikator) smanjuje se molni udio ugljenika u ravnotežnoj mješavini. Pri temperaturi gasifikacije od $300 \text{ }^\circ\text{C}$ molni udio ugljenika u ravnotežnoj mješavini kreće se u intervalu od $0,4150 \text{ kmol/kmol}$ za injektiranu količinu vazduha od $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$ do $0,6559 \text{ kmol/kmol}$ za injektiranu količinu vazduha od $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$. Povećanjem temperature gasifikacije opada molni udio ugljenika u ravnotežnoj mješavini. Pri temperaturi gasifikacije od $539,60 \text{ }^\circ\text{C}$, $634,22 \text{ }^\circ\text{C}$ i $941,33 \text{ }^\circ\text{C}$ u ravnotežnoj

mješavini ne postoji čvrsta faza ($x_C = 0$ kmol/kmol) za uvedene količine vazduha u gasifikator od $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$, $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$ i $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$ respektivno (slika 5.11).



Slika 5.11. Molski udio ugljenika (C) u ravnotežnom sastavu pri gasifikaciji OAP u zavisnosti od reakcione temperature i količine injektiranog vazduha

Molski udio metana u ravnotežnoj mješavini pri gasifikaciji OAP takođe opada pri injektiranju veće količine vazduha u gasifikator. Na primjer pri temperaturi gasifikacije od 300 °C i količini uvedenog vazduha u gasifikator od $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$ molski udio metana iznosi svega $0,0447 \text{ kmol/kmol}$ a $0,3635 \text{ kmol/kmol}$ pri količini uvedenog vazduha od $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$. Povećanjem temperature gasifikacije molski udio metana takođe opada da bi mu vrijednost skoro pala na nulu već do 600 °C (slika 5.12)

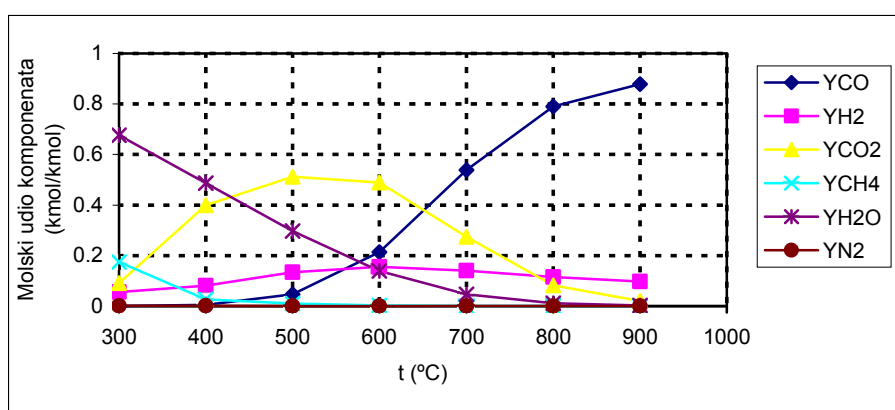


Slika 5.12. Molski udio metana (CH_4) u ravnotežnom sastavu pri gasifikaciji OAP u zavisnosti od reakcione temperature i količine injektiranog vazduha

Udjeli CO i H₂ u ravnotežnoj mješavini se smanjuju sa povećanjem protoka vazduha (kiseonika) u gasifikatoru jer dolazi do potpunijeg sagorijevanja. Udio azota, inertnog gasa u vazduhu u dobijenom gasu je najveći što direktno smanjuje toplotnu moć dobijenog gasa. U praksi je to jedan od osnovnih razloga zbog kojeg se gasifikacija često odvija u struji kiseonika umjesto u struji vazduha. Na primjer pri temperaturi gasifikacije od 600 °C i pri gasifikaciji u struji vazduha zapreminski udio azota u dimnim gasovima iznosi 53,27%, a pri istim procesnim uslovima i pri gasifikaciji u struji kiseonika zapreminski udio azota iznosi svega 0,04% (tabela 5.4 i tabela 5.9). Rezultati proračuna sastava ravnotežne mješavine gasifikacije OAP u struji kiseonika prikazan je u tabeli 5.9 a na slici 5.13 zavisnost ravnotežnog sastava od temperature gasifikacije. Izvorni kod u programskom jeziku C prikazan je u prilogu P50.

Tabela 5.9. Zavisnost ravnotežnog sastava (gasovita faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2H_2=CH_4$, $C+CO_2=2CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP (količina ubačenog kiseonika 0,1 m³/h)

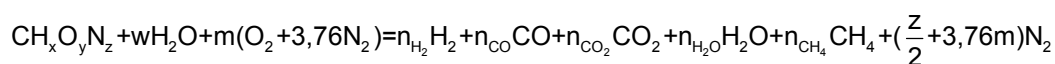
t, °C	Y_{CO} $\frac{kmol}{kmol}$	Y_{H_2} $\frac{kmol}{kmol}$	Y_{CO_2} $\frac{kmol}{kmol}$	Y_{CH_4} $\frac{kmol}{kmol}$	Y_{H_2O} $\frac{kmol}{kmol}$	Y_{N_2} $\frac{kmol}{kmol}$
300	0,0002	0,0554	0,0914	0,1748	0,6766	0,0015
400	0,0056	0,0812	0,3991	0,0260	0,4872	0,0009
500	0,0472	0,1338	0,5116	0,0096	0,2972	0,0006
600	0,2139	0,1549	0,4893	0,0027	0,1388	0,0004
700	0,5384	0,1407	0,2738	0,0006	0,0462	0,0003
800	0,7898	0,1156	0,0826	0,0001	0,0116	0,0001
900	0,8788	0,0978	0,0203	0,0000	0,0030	0,0001



Slika 5.13. Zavisnost ravnotežnog sastava (samo gasovita faza) produkata hemijskih reakcija $C+2H_2=CH_4$, $C+CO_2=2CO$, $C+H_2O=CO+H_2$ pri gasifikaciji OAP od temperature gasifikacije (količina ubačenog kiseonika 0,1 m³/h)

5.6. Poređenje matematičkog modela gasifikacije sa podacima iz literature

Postoji više teorijskih pristupa za određivanje sastava produkata gasifikacije čvrstih goriva. U principu, svi su oni veoma slični, a razlike među njima su uslovljene pretpostavljenim hemijskim reakcijama neophodne za proračun ravnotežnog sastava. U literaturi [12,13,14] se često koristi model proračuna koji kreće od globalne gasifikacione reakcije:



gdje su:

x,y,z – brojevi atoma vodonika, kiseonika i azota po broju atoma ugljenika u gorivu,

w, m – broj kilomolova vlage i vazduha po kilomolu goriva respektivno.

Postavljanjem jednačina bilansa za C,H,O,N,w i m iz posljednje jednačine i konstanti ravnoteža pretpostavljenih hemijskih reakcija koje se odvijaju pri procesu gasifikacije goriva:



ili kombinacijom jednačina poslednje dve reakcije može se razmatrati reakcija:



mogu se odrediti molski udjeli (zapreminski udjeli) komponenata u gasovitim produktima gasifikacije.

U literaturi nema dovoljno podataka o udjelu čvrste faze (ugljenika) u ravnotežnoj mješavini. Zbog zadovoljenja bilansa komponenata na ulazu i izlazu iz reaktorskog prostora, u jednačinama materijalnog bilansa mora se uzeti u obzir i udio čvrste faze (X_C) ugljenika u ravnotežnoj mješavini (jednačine 5.25-5.31). Ovo je novi pristup u teorijskoj analizi procesa gasifikacije čvrstog goriva.

Korišćenjem modela nepotpunog sagorijevanja čvrstog goriva (pasus 5.4) dobijamo dublji uvid u teorijskom razumjevanju procesa gasifikacije čvrstog goriva što takođe daje teorijski doprinos u disertaciji.

U cilju upoređivanja razmatranih teorijskih modela sa podacima iz literature (eksperimentalnih i teorijskih) [14] izvršena je analiza za koeficijent viška vazduha $\lambda = 0,3$ (odnos stvarne i stehiometrijske potrošnje vazduha) i za različite masene udjele vlage u gorivu (ljuska od indijskog oraha - Cashew Shell (Charred CNS)) 7% i 10%, pri reakcionoj temperaturi od 1373 K (1100 °C) i pritisku u reaktorskom prostoru od $1 \cdot 10^5$ Pa.

Sastav goriva (osnova bez vlage i pepela, maseni udjeli kg/kg) [14]:

$$C^g=0,630$$

$$H^g=0,036$$

$$O^g=0,270$$

$$N^g=0,064$$

$$S^g=0,000$$

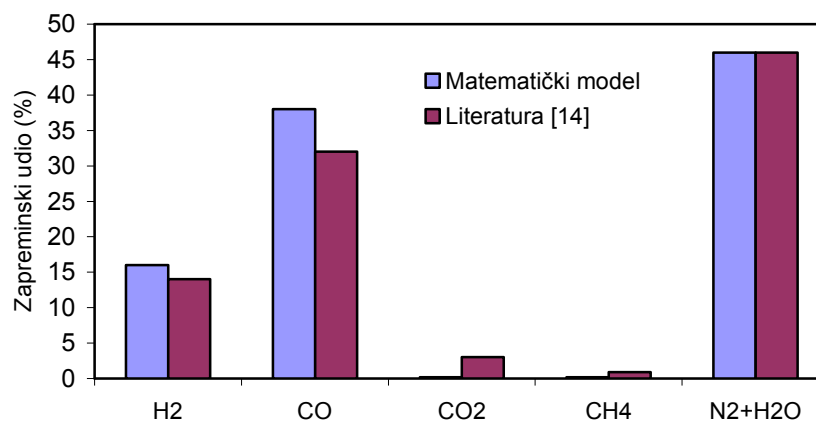
$$\Sigma = 1,000$$

$$W=0,07$$

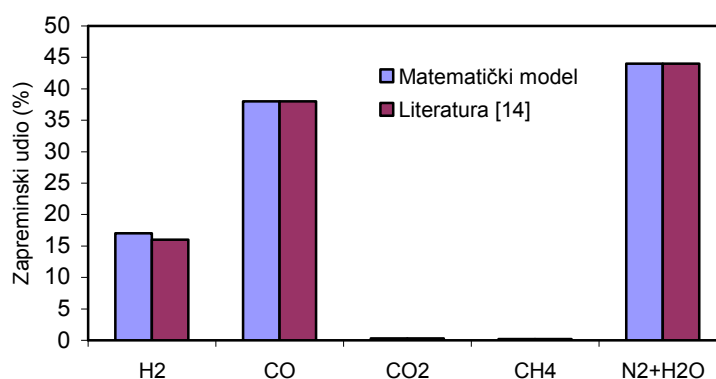
$$A=0,06$$

Svođenjem na radnu masu goriva sastav goriva je (maseni udjeli, kg/kg): C=0,5481; H=0,0313; O=0,2349; N=0,0557; S=0,0000; W=0,0700; A=0,0600.

Korišćenjem jednačina navedenih u pasusu 5.4, jednačina (5.25) – (5.31) i izvornog koda (prilog 10) određuje se sastav produkata gasifikacije, a rezultati su prikazani grafički (slike 5.14 i 5.15).

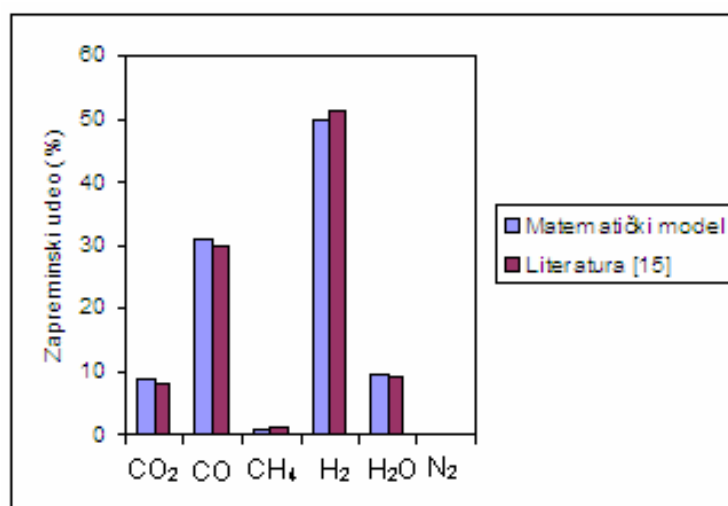


Slika 5.14. Komparacija rezultata zapreminskih udjela produkata gasifikacije dobijenih primjenom matematičkog modela sa podacima iz literature [14] ($\lambda = 0.3$, $W = 7\%$, $T = 1373\text{ K}$, $p = 1 \cdot 10^5\text{ Pa}$)



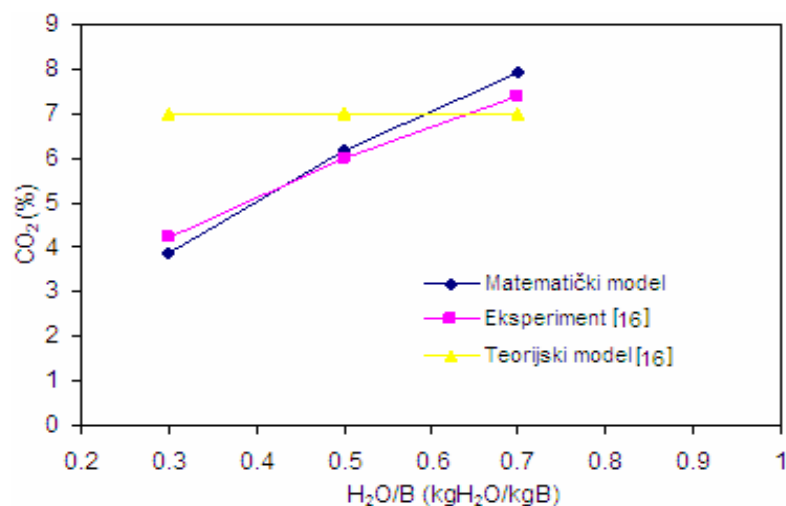
Slika 5.15. Komparacija rezultata zapreminskih udjela produkata gasifikacije dobijenih primjenom matematičkog modela sa podacima iz literature [14] ($\lambda = 0.3$, $W=10\%$, $T=1373\text{ K}$, $p=1\cdot 10^5\text{ Pa}$)

Vrijednosti sastava produkata gasifikacije dobijenih matematičkim modelom u dobroj su saglasnosti sa podacima prikazanim u literaturi [14]. Neznatne razlike u procentualnom učešću CO i CO₂ pri 7% vlage u gorivu (slika 5.14) bi se mogle objasniti činjenicom da u eksperimentalnim uslovima postizanje ravnoteže hemijskih reakcija kasni, jer uslovi pri kojima su određene konstante hemijske ravnoteže ne mogu se ostvariti u realnom procesu. Na slici 5.16 prikazana je komparacija zapreminskih udjela produkata gasifikacije uglja primjenom matematičkog modela sa podacima prikazanim u literaturi [15]. Može se uočiti dobra saglasnost sastava produkata gasifikacije dobijenih primjenom matematičkog modela sa podacima prikazanim u literaturi [15].



Slika 5.16. Komparacija zapreminskih udjela produkata gasifikacije uglja pri temperaturi gasifikacije od 700° ($H_2O/B=3.30\text{ kgH}_2O/\text{kgB}$)

Na slici 5.17 prikazana je grafička zavisnost udjela CO₂ u produktima gasifikacije otpadne gume injektiranjem vodene pare u reakcionu prostor. Odnos vodene pare i goriva (H₂O/B) kretao se u intervalu 0,3 – 0,7 kgH₂O/kgB. Uočava se dobro slaganje matematičkog modela prikazanog u disertaciji sa podacima rezultata mjerenja prikazanim u literaturi [16].



Slika 5.17. Komparacija rezultata zapreminskih udjela CO₂ gasifikacije otpadne gume dobijenih primjenom matematičkog modela sa podacima iz literature [16] (H₂O/B = 0,3;0,5;0,7 , t = 600°C, p=1·10⁵ Pa)

LITERATURA

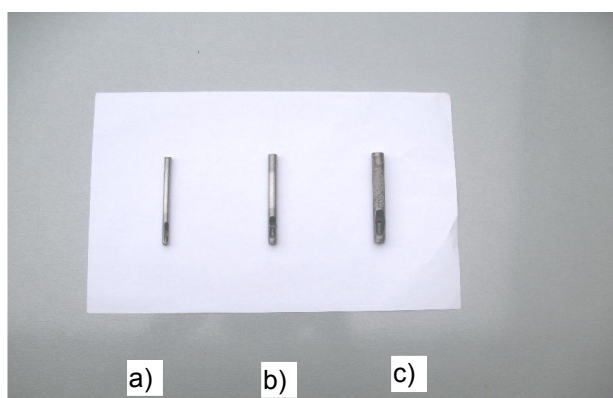
- [1] M.E., Sa'nchez, M.J., Cuetos, O., Mart'inez, A., Mora'n, Pilot scale thermolysis of municipal solid waste Combustibility of the products of the process and gas cleaning treatment of the combustion gases. J. Anal. Appl. Pyrolysis 78 (2007) 125–132.
- [2] J., Molto', R., Font, J.A., Cones, Kinetic model of the decomposition of a PET fibre cloth in an inert and air environment. J. Anal. Appl. Pyrolysis 79 (2007) 289–296.
- [3] Li, A.M., Li, X.D., Li, S.Q., Ren, Y., Chi, Y., Yan, J.H., Cen, K.F.: Pyrolysis of solid waste in a rotary kiln: influence of final pyrolysis temperature on the pyrolysis products. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 50 (1999) 149–162.
- [4] S., Jarungthammachote, A., Dutta, Thermodynamic equilibrium model and second law analysis of a downdraft waste gasifier, Energy 32 (2007) 1660-1669.
- [5] L., Marcio, Solid Fuels Combustion and Gasification: Modeling, Simulation, and Operation, Vol. 174, Taylor & Francis, Inc. Pub. 2004.

- [6] E.A., Salganskii, V.P., Fursov, S.V., Glazov, M.V., Salganskaya, G.B., Manelis, Model of Air Gasification of Solid Fuel in Filtration Regime, Combustion, Explosion and Shock Waves, 39 (2003) 37-42.
- [7] C., Higman, Van der Burgt MJ. Gasification. USA: Gulf Professional Pub., 2003.
- [8] Z.A., Zainal, R., Ali, C.H., Lean, K.N., Seetharamu, Prediction of the performance of a downdraft gasifier using equilibrium modeling for different biomass materials, Energy Convers Manage 42 (2001) 1499-515.
- [9] I., Barin, O., Knacke, O., Kubarschewski, Thermochemical Properties of Inorganic Substances, suppl.- Berlin, Dusseldorf, Springer-Verlag, 1977.
- [10] D.A., Johnson, Some Thermodynamics Aspects of Inorganic Chemistry, Cambridge University Press, Cambridge, London, New York, II Edition, 1982.
- [11] W., Gumz, Kurzes Handbuch der Brennstoff und Feuerungstechnik, Springer-Verlag. Berlin, 1962.
- [12] S. Jarunghammachote, A. Dutta.: Thermodynamic equilibrium model and second law analysis of a downdraft waste gasifier, Energy 32 (2007) 1660-1669
- [13] C.F., Mhilu.: Modeling Performance of High-Temperature Biomass Gasification Process, International Scholarly Research Network ISRN Chemical Engineering, Volume 2012, Article ID 437186, 13 pages
- [14] M., Venkanta Ramanan, E., Lakshmanan, R., Sethumadhavan, S., Renganarayanan, Performance prediction and validation of equilibrium modeling for gasification of cashew nut shell char, Brazilian Journal of Chemical Engineering, 25 (03) (2008) 585-601
- [15] M. Cempa-Balewicz, M. Jacek Laczny, A. Smolinski, S. Iwaszenko, Equilibrium model of steam gasification of coal, Journal of Sustainable Mining, 12 (2) (2013) 21-28
- [16] A. Donateli, P. Iovane, A. Molino, High energy syngas production by waste tyres steam gasification in rotary klin pilot plant. Experimental and numerical investigations, Fuel 89 (2010) 2721-2728

6. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA PROCESA PIROLIZE OTPADNIH AUTOMOBILSKIH PNEUMATIKA

6.1. Uzorkovanje i priprema OAP

Otpadna automobilska guma korišćena kao eksperimentalni uzorak dobijena je iz fabrike cementa "Lafarge" BFC AD Beočin. Masa OAP dobijena iz fabrike cementa je u saglasnosti sa masom uzorka potrebnom za ispitivanja procesa pirolize. S obzirom na male mase uzoraka OAP u reaktoru za pirolizu od 10 g i veličine granula 3, 5 i 7 mm i broj mjerenja (probnih i glavnih) procijenjena masa OAP od 5 kg je bila dovoljna za istraživanje uticaja procesnih parametara na prinosa produkata pirolize. Veličine granula su dobijene mehaničkim putem pomoću alata prikazanom na slici 6.1. Sve aktivnosti za pripremu uzoraka urađene su na Departmanu za Inženjerstvo zaštite životne sredine Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu.



Slika 6.1. Alat za isjecanje gume i formiranje granula
a) 3 mm, b) 5 mm, c) 7 mm

Fotografije uzoraka otpadne gume navedenih frakcija prikazana je na slici 6.2.



Slika 6.2. Fotografije granula otpadnih automobilskih pneumatika

6.2. Laboratorijske analize OAP

Rezultati elementarne analize otpadne gume korišćene kao uzorak prikazani su u tabeli 6.1, a u tabeli 6.2 rezultati elementarne analize OAP svedeni na suhu osnovu. U tabeli 6.3 prikazani su rezultati elementarne analize nekih drugih istraživača.

Tabela 6.1. Elementarni sastav OAP i toplotna moć [1]

Hemijski sastav (maseni udio %)								Donja toplotna moć (kJ/kg)
C	H	O	N	S	Cl	Pepeo	W	27 181
64,20	5,00	4,40	0,10	0,91	0,06	25,20	0,19	

Tabela 6.2. Elementarni sastav OAP sveden na suhu osnovu

Hemijski sastav (maseni udio %)					
C	H	O	N	S	Pepeo
64,32	5,01	4,41	0,10	0,91	25,25

Tabela 6.3. Elementarna analiza OAP nekih istraživača

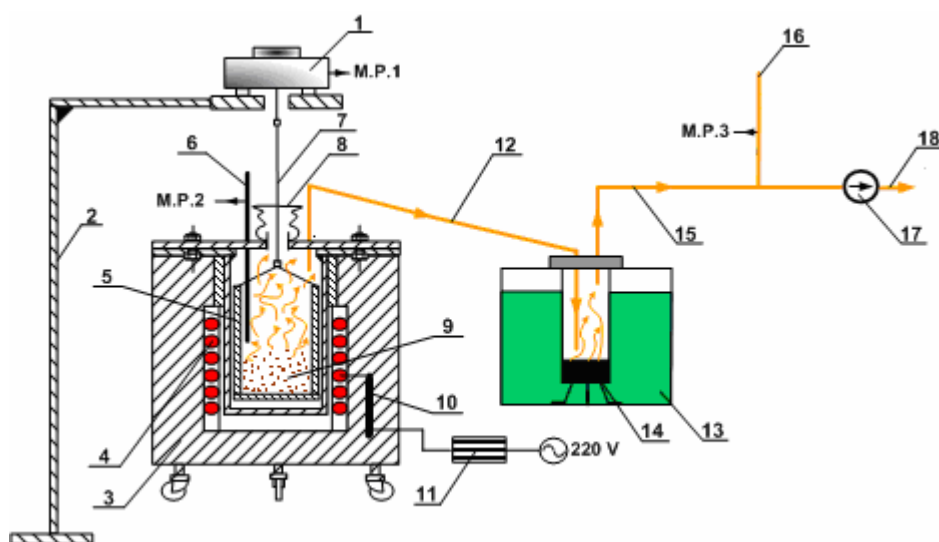
	Podaci iz literature [2]	Podaci iz literature [3]	Podaci iz literature [4]	Podaci iz literature [5]	Podaci iz Literature [6]	Podaci iz literature [7]
Elementarna analiza (maseni udjeli %)						
C	85,90	74,41	81,24	85,16	74,30	67,08
H	8,00	6,94	7,36	7,27	7,20	6,12
N	0,40	0,21	0,49	0,38	0,90	0,17
O	2,30	5,02	8,92	0,54	15,89	24,58
S	1,00	1,60	1,99	2,30	1,71	2,05
Gornja toplotna moć, kJ/kg	40000	33298	36986	38548	30500	27370
Tehnička analiza (maseni udjeli%)						
Vlaga	0,80	1,31	1,72	-	1,60	1,72
Volatili	66,50	62,32	51,61	61,30	58,20	58,69
Fiksni ugljenik	30,30	26,26	27,66	33,47	21,30	19,45
Pepeo	2,40	10,21	17,01	4,36	18,9	19,13

Mogu se uočiti prilične neujednačenosti masenih udjela komponenata otpadnih guma u radovima raznih istraživača.

Odstupanja masenih udjela komponenta razmatranih otpadnih guma su posljedica raznih tipova guma proizvedenih od strane različitih proizvođača. Detaljnija analiza OAP korišćenih kao uzorak i njihova komparacija sa analizom OAP drugih istraživača prikazana je u poglavlju 3.

6.3. Šema i opis eksperimentalnog postrojenja za pirolizu OAP

Šema laboratorijskog postrojenja korišćenog za pirolizu otpadne gume i spisak mjernih mjesta (M.P) prikazani su na slici 6.3. Pri izgradnji eksperimentalnog postrojenja korišćeni su materijali postojani na visokim temperaturama i materijali otporni na temperaturnu koroziju. Konstrukcija peći i reaktora omogućava ispitivanje šaržnih procesa pirolize, sagorijevanja i gasifikacije otpadnih guma, biomase, čvrstog otpada i drugih goriva radne temperature do 700 °C. Laka izolacija peći i mala masa reaktora omogućava i mjerenje promjene mase uzorka tokom ispitivanja. Izbor mjernih mjesta je urađen tako da realno oslikavaju stanje mjerenih parametara tokom procesa pirolize. Peć je visine 410 mm, spoljašnjeg prečnika 320 mm i unutrašnjeg prečnika 150 mm, obložena je izolacionim materijalom (kamena mineralna vuna) i okružena je električnim grijačima snage 4,5 kW koji griju reaktorsku posudu sa uzorkom otpadne gume do željene temperature. Reaktorska posuda je visine 200 mm i unutrašnjeg prečnika 72 mm.



Slika 6.3. Šema eksperimentalnog postrojenja (i mjernih mjesta) za pirolizu OAP

(1)- digitalna vaga,(2)- stalak za vagu, (3)- peć, (4) – električni grijači, (5) -reaktorski sud, (6)- termoelement (mjerač temperature u posudi za uzorak otpadne gume),(7) - fleksibilna veza između vage i posude za uzorak, (8) - fleksibilni teflonski omotač, (9) - uzorak otpadne gume, (10) - senzor regulatora temperature, (11) - regulator temperature, (12) - vod gasovitih produkata pirolize, (13) - hladnjak, (14) - boca za izdvajanje tečne faze, (15) - suvi gasoviti produkti pirolize, (16) – uzorkovani gas, (17) - pumpa, (18) - odvod gasa ka atmosferi.

Tokom eksperimentalnog ispitivanja procesa pirolize OAP korišćeni su sljedeći mjerni instrumenti:

- Mjerenje mase uzorka otpadne automobilske gume (M.P.1)

Instrument: Digitalna precizna vaga METTLER P1000 (slika 6.4)

Opseg mjerenja: 0-1000g

Greška mjerenja: 1000 g \pm 0,1%



Slika 6.4. Digitalna vaga METTLER P1000

- Mjerenje temperature pirolitičkog gasa (M.P.2)

Instrument: Digitalni pokazivač temperature Testo 925 sa sondom tipa K (NiCr - Ni) (slika 6.5)

Opseg mjerenja: 50-1000°C

Greška mjerenja: \pm 0,2%



Slika 6.5. Digitalni pokazivač temperature Testo 925

- Mjerenje sastava pirolitičkog gasa (M.P.3)

Instrument: Gasni analizator G 750 POLYTECTOR II (slika 6.6)

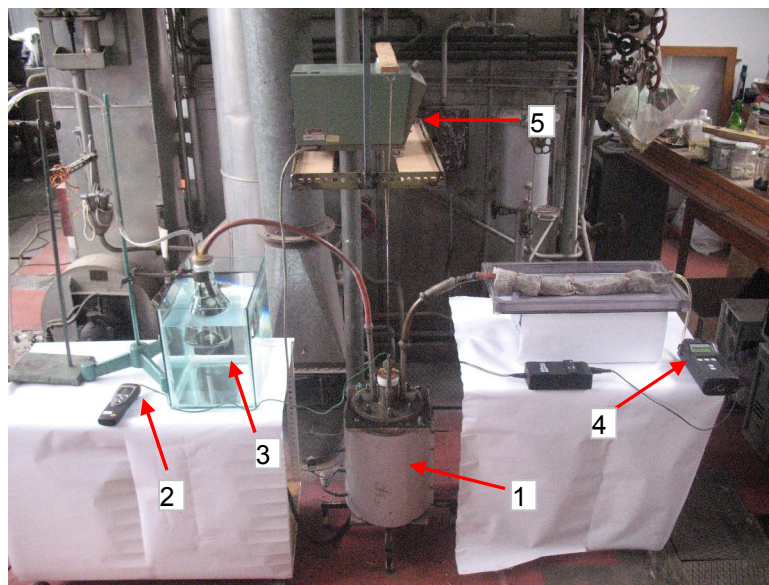
Opseg mjerenja: 0-100%

Greška mjerenja: $\pm 0,2\%$



Slika 6.6. Gasni analizator G 750 POLYTECTOR II

Na slikama 6.7 i 6.8 prikazane su fotografije eksperimentalnog postrojenja za ispitivanje procesa pirolize OAP.



Slika 6.7. Eksperimentalno postrojenje za ispitivanje procesa pirolize OAP

1- reaktor za pirolizu, 2 – termometar, 3 – kondenzator, 4 – gasni analizator,
5 – vaga za mjerenje promjene mase uzorka u reaktoru



Slika 6.8. Reaktor za pirolizu

6.4. Rezultati eksperimentalnog ispitivanja

Tokom eksperimentalnog ispitivanja procesa pirolize otpadne gume početna masa uzorka iznosila je 10 g, prečnika čestica 3, 5 i 7 mm. Uzorci su stavljeni u posudu za uzorak a potom zajedno sa posudom u reaktor. Zagrijavanje je vršeno električnim grijačima snage 4,5 kW, a nakon postizanja temperature od 650 °C, temperatura je održavana u intervalu od 640-660 °C određeno vrijeme, dok se ne ustali masa uzorka u reaktoru. Posuda sa uzorkom otpadne gume je okačena za vagu pomoću fleksibilne veze između vage i posude. Tokom procesa zagrijavanja, bilježena je veza između promjene mase, temperature i vremena. Nakon eksperimenta, vršeno je mjerenje mase čvrstog ostatka, kao i mase tečne faze. Brzina zagrijavanja uzorka u prosjeku je iznosila 14, 34 i 60 °C/min. Svi eksperimenti vršeni su pri atmosferskom pritisku. Da bi se dobili precizni rezultati analize uzorka, eksperiment je ponavljan tri puta, uzorak je imao istu masu od 10 g za svaki eksperiment. Izmjerene vrijednosti tokom ispitivanja pirolize OAP prikazane su u prilogu P51 – P59.

6.4.1. Rezultati i diskusija eksperimentalnog ispitivanja

6.4.1.1. Karakteristike OAP

Sastav otpadne gume (tehnička i elementarna analiza) korišćene kao uzorak pri eksperimentalnom ispitivanju procesa pirolize u poređenju sa sastavom guma kod drugih istraživača ukazuju na dosta nižu vrijednost toplotne moći, ugljenika, vodonika, azota i sumpora. Pepeo se sastoji uglavnom od željeznih, silicijumovih i cinkovih oksida.

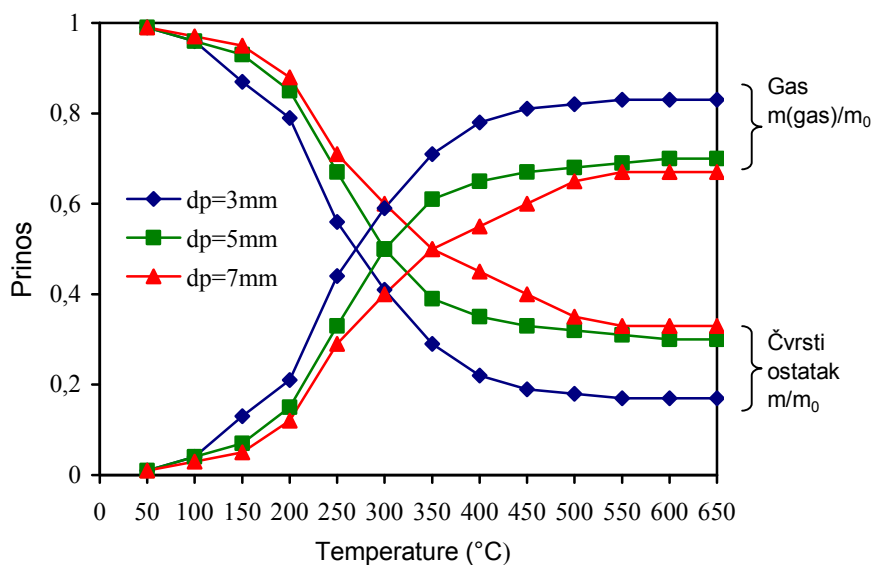
U tabeli 6.4 prikazani su statistički rezultati proračuna razmatranih karakteristika za automobilske gume. Koeficijent varijacije (C_v) ukazuje na značajnija odstupanja karakteristika otpadne gume od srednje vrijednosti. Odstupanje od srednje vrijednosti za razmatrane karakteristike otpadne gume C, H, volatile, pepeo i toplotnu moć redom iznose 11.18%, 14,47%, 8.35%, 60.76 i 15.06 %. Ovo ukazuje da postoje neujednačenosti karakteristika otpadnih guma kod raznih istraživača. Velike oscilacije masenih udjela razmatranih karakteristika otpadnih guma (posebno pepela od 60,76 %) oko srednje vrijednosti može nepovoljno da utiče na rad postrojenja u kojima se vrši sagorijevanje, gasifikaciji i piroliza različitih otpadnih guma kao što su na primjer rotacione peći i peći sa fluidizovanim slojem. Takođe ovo može nepovoljno da utiče na primjenu suvih postupaka odsumporavanja dimnih gasova (ODG) kod postrojenja za sagorijevanje otpadnih guma zbog dodatne količine praha.

Tabela 6.4. Kvalitativne karakteristike otpadnih automobilskih guma

Karakteristike gume	Statistički parametri			
	R	\bar{X}	σ	$C_v, \%$
C, %	21,70	76,04	8,50	11,18
H, %	3,00	6,84	0,99	14,47
Volatile, %	14,89	59,77	4,99	8,35
Pepeo, %	22,8	13,89	8,44	60,76
Hg, kJ/kg	12630	33573	5054,94	15.06

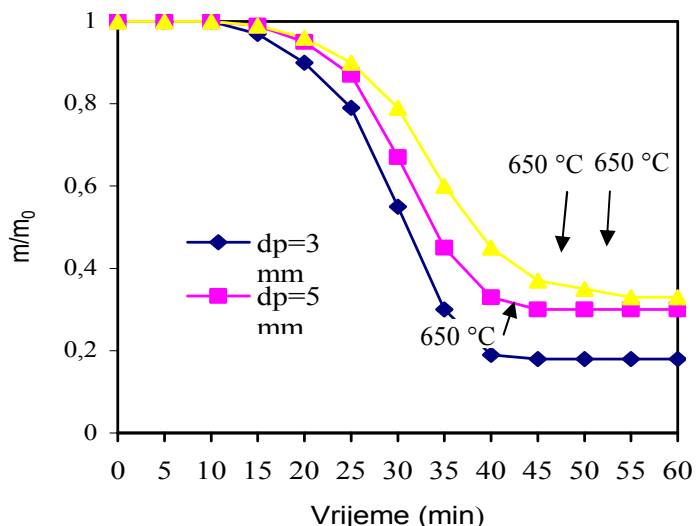
6.4.1.2. Uticaj temperature pirolize

Na slici 6.9 prikazana je promjena masenog udjela m/m_0 , gde je m masa uzorka gume koja se mijenja tokom vremena u reaktoru, a m_0 početna masa uzorka gume i veličine granula (čestica) 3, 5 i 7 mm u zavisnosti od reakcione temperature. Pri nižim temperaturama (<100 °C) proces razgradnja uzorka teče sporije i čvrsti ostatak je glavni proizvod. Pri višim temperaturama (100-500 °C) razgradnja uzorka gume teče brže uz značajnu redukciju čvrstog ostatka i povećanje prinosa gasa. Iznad 500 °C dolazi do stabilizacije prinosa čvrstog ostatka i prinosa pirolitičkog gasa. Smanjenje prinosa čvrstog ostatka sa porastom temperature može se objasniti ili većom primarnom razgradnjom uzorka (granula gume) pri višim temperaturama ili sekundarnom razgradnjom čvrstog ostatka. Najmanji prinos čvrstog ostatka dobijen je za granulu veličine 3mm pri temperaturi pirolize od 650° i iznosi 17% maksimizirajući pri tome prinos pirolitičkog gasa od 83%. Kondenzacijom pirolitičkog gasa na kraju procesa dobijeno je 4,5 g (45%) tečne faze.



Slika 6.9. Uticaj temperature pirolize na prinos gasa i čvrstog ostatka (koksa) (brzina zagrijavanja 14 °C/min)

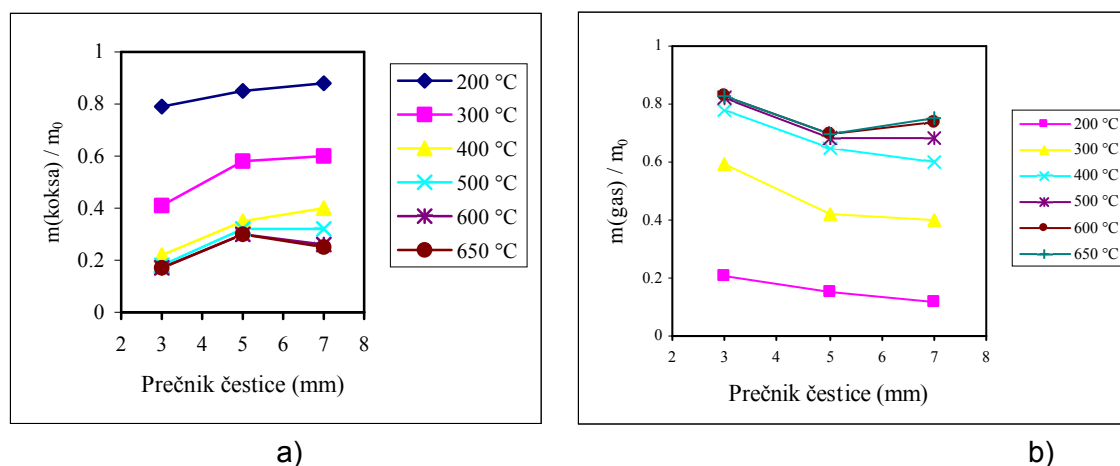
U toku prvih 10 minuta ispitivanja procesa pirolize nije uočena promjena masenog udjela m/m_0 (slika 6.10). Masa uzorka u reaktoru ostaje ne promjenjena i znosi 10 g. Daljim trajanjem vremena procesa pirolize zabilježen je značajniji gubitak mase uzorka otpadne gume u reaktoru. Najveći gubitak mase uzorka od 83 % (najveća promjena m/m_0) zabilježen je u 40 minuta trajanja procesa pirolize za granule uzorka veličine 3 mm i pri temperaturi pirolize od 650°C, a najmanji gubitak mase uzorka od 67% zabilježena je u 50 minuta i to za granule uzorka veličine 7 mm i pri temperaturi pirolize od 650°C. Nakon toga dolazi do stabilizacije masenog udjela m/m_0 . Na kraju procesa pirolize odnos mase čvrstog (koksog) ostatka i mase uzorka otpadne gume kreće se u granicama 0,17-0,33 g/g. Odnos zavisi u prvom redu od masenog udjela ugljenika i vodonika u uzorku. Srednja brzina izdvajanja pirolitičkog gasa iznosi 0,13-0,20 g/min za veličinu granula uzorka od 7 i 3 mm.



Slika 6.10. Kriva gubitka mase uzorka otpadne gume u zavisnosti od reakcionog vremena (brzina zagrijavanja $14^\circ\text{C}/\text{min}$)

6.4.1.3. Uticaj veličine čestice

Na slici 6.11 prikazan je uticaj veličine granula otpadne gume na prinos čvrstog (koksno)g ostatka i prinos pirolitičkog gasa. Eksperimenti su vršeni za tri različita prečnika granula 3, 5 i 7mm visine 5.5mm ukupne mase 10g u temperaturnom opsegu $25-650^\circ\text{C}$ i pri brzini zagrijavanja uzorka u reaktoru od 14°C . Može se uočiti da povećanje veličine granula otpadne gume ima uticaj na porast čvrstog ostatka i smanjenje prinosa pirolitičkog gasa. Najmanji prinos čvrstog ostatka dobijen je za granulu veličine 3mm pri temperaturi pirolize od 650°C i iznosi 17% maksimizirajući pri tome prinos pirolitičkog gasa od 83%. Najveći prinos čvrstog ostatka uočen je za granule veličine 7 mm pri temperaturi pirolize od 200°C i iznosi 88%. Pri tim uslovima prinos gasa je pao na 12% što je za 86% manje u odnosu na prinos gasa dobijen za najmanju granulu gume od 3mm.

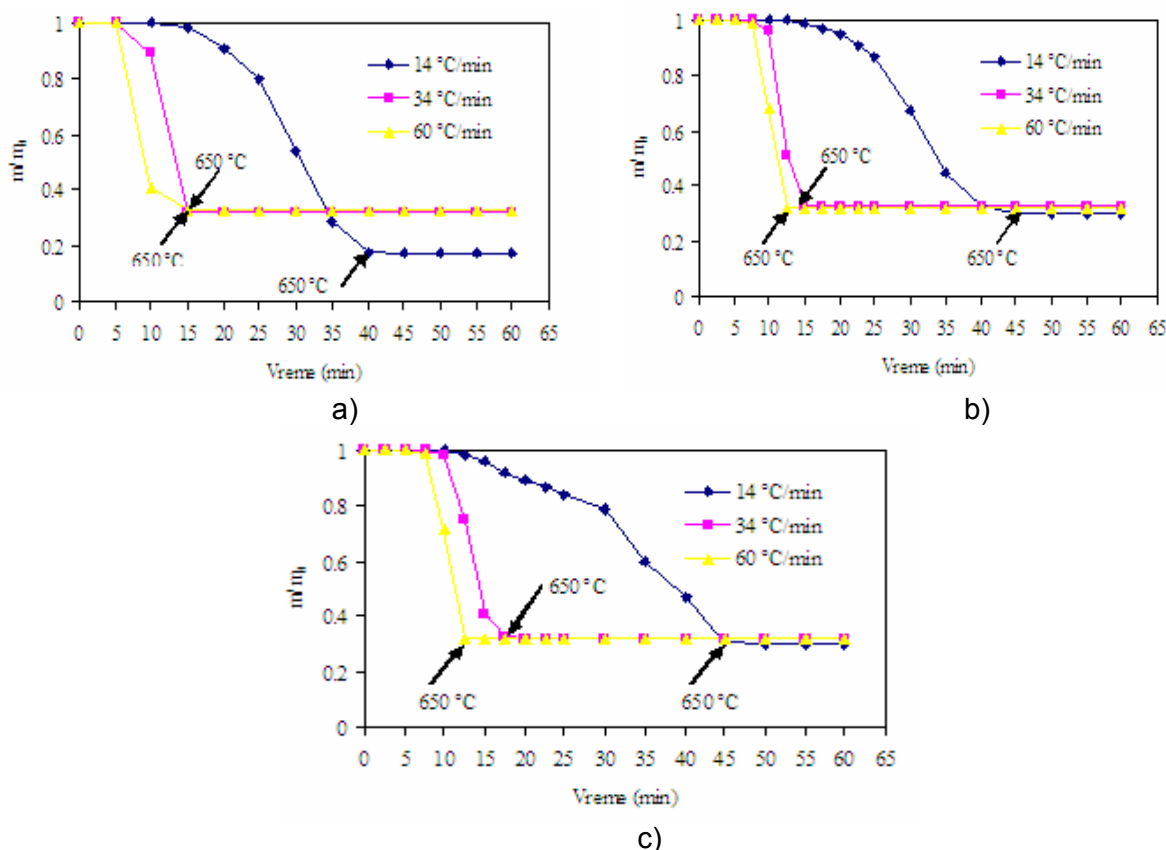


Slika 6.11. Uticaj veličine čestice otpadne gume na prinos čvrstog (koksno)g ostatka i prinos pirolitičkog gasa (brzina zagrijavanja $14^\circ\text{C}/\text{min}$)
a) prinos čvrstog ostatka, b) prinos pirolitičkog gasa

6.4.1.4. Uticaj brzine zagrijavanja

Ekperimentalna ispitivanja uticaja brzine zagrijavanja uzorka u reaktoru na prinos produkata pirolize prikazan je na slici 6.12. Ispitivane su tri različite brzine zagrijavanja uzorka u reaktoru i to: 14, 34 i 60 °C/min. Dobijeni rezultati ukazuju da porast brzine zagrijavanja uzorka gume u reaktoru tokom trajanja procesa pirolize dovodi do smanjenja prinosa čvrstog ostatka a povećanje prinosa pirolitičkog gasa. U toku prvih 18 min. i pri brzinama zagrijavanja uzorka u reaktoru od 34 i 60 °C/min temperatura pirolize postiže vrijednost 650 °C pri čemu je zabilježeno značajnije smanjenje prinosa čvrstog ostatka. Nakon 18 min. dolazi do stabilizacije odnosa m/m_0 i brzina zagrijavanja nema značajnijeg uticaja na prinos pirolitičkog gasa.

Smanjenje prinosa čvrstog ostatka porastom brzine zagrijavanja moglo bi se objasniti time što brzo zagrijavanje uzorka u reaktoru dovodi do brže depolimerizacije čvrstog materijala na primarne volatile dok je pri nižim brzinama zagrijavanja dehidracija stabilnija.



Slika 6.12. Kriva gubitka mase uzorka otpadne gume u zavisnosti od brzine zagrijavanja uzorka
a) prečnik granula 3 mm, b) prečnik granula 5 mm, c) prečnik granula 7 mm

6.4.1.5. Čvrsti ostatak dobijen procesom pirolize

Ekperimentalni rezultati pirolize otpadne gume ukazuju da je najveći prinos čvrstog (koksno)g ostatka dobijen kod gume prečnika granula oko 7 mm i iznosi 3.3 g (33%) i to

pri temperaturi pirolize od 650°C. Ustanovljeno je da se pri višim temperaturama prinos čvrstog (koksno) ostatka značajno smanjuje. Povećanje veličine čestice granula dovodi do porasta čvrstog ostatka. Za česticu prečnika 3 mm masa čvrstog ostatka iznosi 1.7 g pri temperaturi od 650 °C a za česticu prečnika 7 mm masa čvrstog ostatka iznosi 3.3g što je povećanje za 94%.

Čvrsti ostatak dobijen procesom pirolize OAP pri temperaturi od 650 °C razgrađivao se u crni prah i bio je sličnog oblika kao prvobitan uzorak gume. Elementarna analiza čvrstog ostatka prikazana je u tabeli 6.5. Može se uočiti visoka vrijednost masenog udjela ugljenika od skoro 82%. Vrijednosti udjela ostalih komponenti su dosta niski.

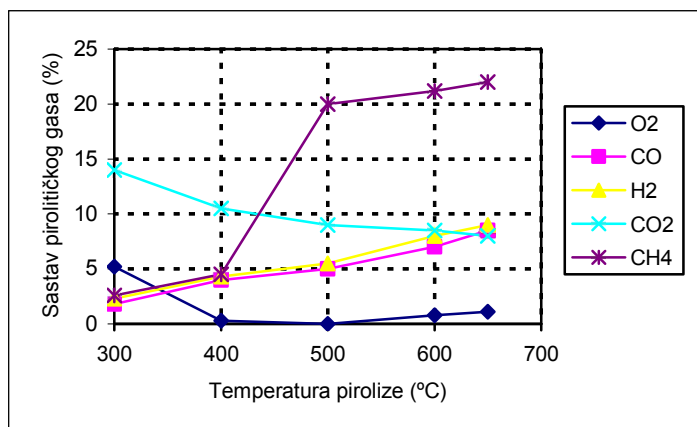
Donja toplotna moć čvrstog ostatka pri 650 °C je dosta visoka i iznosi 28495 kJ/kg. Visoke vrijednosti toplotne moći čvrstog ostatka doprinose ekonomskoj opravdanosti primjene procesa pirolize otpadnih automobilskih guma a mogu se još koristiti i kao filtarski materijal za adsorpciju zagađujućih gasovitih komponenti.

Tabela 6.5. Sastav čvrstog ostatka (koxa) otpadne automobilske gume pri 650 °C korišćene pri izvođenju eksperimenta [8]

Elementarna analiza (maseni udio%)					Pepeo (maseni udio%)	H _d (kJ/kg)
C	H	O	N	S		
81,60	0,61	1,77	0,34	2,14	13,54	28358

6.4.1.6. Sastav pirolitičkog gasa

Na slici 6.13 prikazan je sastav pirolitičkog gasa (zapreminski udjeli) u zavisnosti od temperature pirolize. Pri povećanju temperature pirolize rastu zapreminski udjeli CO, H₂ i CH₄, dok zapreminski udjeli O₂ i CO₂ opadaju. Pri 650 °C udio CO, H₂ i CH₄ inosi 8,5%, 9% i 22% respektivno. Ostalih 51,4% pripadaju grupi ugljovodonika C₂ – C₅ i koji su bili izvan mjernog opsega instrumenata. Udio kiseonika naglo opada da bi već pri 300 °C vrijednost iznosila 5,2%.



Slika 6.13. Zavisnost sastava pirolitičkog gasa od temperature pirolize (masa uzorka 10g, brzina zagrijavanja 14 °C/min, prečnik granule 3mm)

6.5. Poređenje eksperimentalnih podataka sa podacima iz literature

Poređenje prinosa produkata pirolize otpadne gume dobijeno eksperimentalnim ispitivanjem prikazano u ovom radu (masa uzorka 10g, veličina granula 3, 5 i 7mm visine 5.5mm, brzina zagrevanja uzorka 14, 34 i 60 °C/min) sa literaturnim podacima prikazano je u tabeli 6.6.

Može se uočiti da su vrijednosti prinosa pirolitičkog gasa dobijene eksperimentalnim ispitivanjem uporedivi sa vrijednostima prinosa gasa kod drugih istraživača [9-16].

Prinosi čvrstog ostatka su nešto niži a tečna faza (kondenzat) je u granicama uporedivosti. To bi se moglo objasniti različitim uslovima izvođenja pirolize (većom brzinom zagrijavanja ili manjim prečnicima čestica uzorka gume).

U poređenju sa pirolizom poljoprivredne biomase i komunalnim čvrstim otpadom dolazi se do sličnih zaključaka.

Tabela 6.6. Prinos produkata pirolize otpadne gume prikazan u ovom radu i poređenje sa podacima drugih autora

Autor	Temperatura (°C)	Brzina zagrevanja (°C/min)	Pritisak (kPa)	Veličina čestice (mm)	Prinos čvrstog ostatka (wt %)	Prinos tečne faze (oil) (wt %)	Prinos gasa (suvi pirolitički gas + oil) (wt %)
Otpadne automobilske gume							
Eksperimentalno ispitivanje prikazano u ovom radu	25-650	14	101	3-7	17-33	29-45	67-83
Y., Kar et.al. [9]	375-500	10	-	-	30	60	70
S. Boxiong et. al. [10]	500	10	-	-	37.59	45.9	62.4
I., M., Rodriguez et al. [11]	300-700	15	-	-	12.5-56.3	4.8-38.5	43.7-87.6
M., F., Laresgoiti Et. al.[12]	400-700	15	101	20-30	45-53	28-40	35-49
C. Berruenco et al. [13]	400-700	15	101	20	47-63	30-43	32-47
Biomasa i komunalni čvrsti otpad							
M. Cordella et.al. [14]	350-650	10	-	-	28-40	40-50	60-72
Q., Cao [15]	350-600	30	-	-	26-32	35-41	68-74
W.,K., Buah et.al. [16]	400-700	10	-	-	32-50	30-50	50-68

U tabeli 6.7 prikazani su komparativni rezultati sastava gasovitih produkata pirolize otpadnih automobilskih guma dobijenih eksperimentalnim ispitivanjem sa podacima iz literature. Može se uočiti dobra saglasnost vrijednosti sastava pirolitičkog gasa dobijenih eksperimentalnim ispitivanjem sa podacima iz literature.

Tabela 6.7. Usporedna analiza sastava pirolitičkog gasa dobijenog eksperimentalnim ispitivanjem OAP sa podacima iz literature (zapreminski udjeli)

t (°C)	O ₂ (%)		CO (%)		H ₂ (%)		CO ₂ (%)		CH ₄ (%)	
	Mjerenje	[11]	Mjerenje	[11]	Mjerenje	[11]	Mjerenje	[11]	Mjerenje	[11]
300	5,2	-	1,8	-	2,3	-	14,0	-	2,6	-
400	0,3	-	4,0	4,2	4,3	-	10,5	10,7	4,5	4,4
500	0,0	-	5,0	4,8	5,5	-	9,0	9,4	20,0	19,8
600	0,8	-	7,0	6,5	8,0	-	8,5	8,8	21,2	20,0
650	1,1	-	8,5	-	9,0	-	8,0	-	22,0	-
700	-	-	-	10,4	-	-	-	11,4		20,6

U tabeli 6.8 prikazani su komparativni rezultati sastava čvrstog ostatka (koksa) dobijen eksperimentalnim ispitivanjem OAP sa podacima iz literature. Može se uočiti dobra saglasnost vrijednosti sastava čvrstog ostatka dobijenog eksperimentalnim ispitivanjem sa podacima iz literature [11]. U poređenju sa nekim drugim gorivima toplotna moć čvrstog OAP je dosta viša što doprinosi ekonomskoj opravdanosti primjene procesa pirolize otpadnih automobilskih guma.

Tabela 6.8. Sastav čvrstog ostatka (koksa) produkata pirolize otpadne gume prikazan u ovom radu i poređenje sa podacima drugih autora

Goriva	Elementarna analiza (maseni udio%)					A (%)	H _d (kJ/kg)
	C	H	O	N	S		
OAP korišćeni u ovom radu	81,60	0,61	2,11		2,14	13,54	28358
OAP [11]	83,80	2,4	0,70	0,30	2,3	9,0	31456
Poljoprivredna Biomasa (mješavina) [8]	65,99	3,87	11,14		0,08	18,92	20129
Drvena biomasa (mješavina) [8]	83,63	2,00	12,45		0,05	1,87	30471
Kanalizacioni mulj [17]	35,70	5,20	25,40	3,50	0,72	29,50	14636

6.6. Obrada rezultata ispitivanja procesa pirolize OAP

6.6.1. Karakteristike proizvedenog gasa

Analiza proizvedenog gasa pri 650 °C(kondenzabilan gas) pri završetku procesa pirolize (prolog P51):

$$\varphi_{\text{CO}} = \text{CO} = 8,5\%$$

$$\varphi_{\text{H}_2} = \text{H}_2 = 9, \%$$

$$\varphi_{\text{CO}_2} = \text{CO}_2 = 8\%$$

$$\varphi_{\text{CH}_4} = \text{CH}_4 = 22\%$$

$$\varphi_{\text{O}_2} = \text{O}_2 = 1,1\%$$

$$\varphi_{\text{H}_2\text{S}} = \text{H}_2\text{S} = 51,4\% \text{ (izvan mjernog opsega instrumenta)}$$

Gustina pirolitičkog gasa (kondenzabilnog):

$$\begin{aligned} \rho_{\text{wg}} &= \sum_i \varphi_i \cdot \rho_i = \varphi_{\text{CO}} \cdot \rho_{\text{CO}} + \varphi_{\text{CO}_2} \cdot \rho_{\text{CO}_2} + \varphi_{\text{O}_2} \cdot \rho_{\text{O}_2} + \varphi_{\text{H}_2} \cdot \rho_{\text{H}_2} + \varphi_{\text{CH}_4} \cdot \rho_{\text{CH}_4} + \\ &+ \varphi_{\text{H}_2\text{S}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{S}} = 0,085 \cdot 1,250 + 0,08 \cdot 1,976 + 0,011 \cdot 1,429 + 0,090 \cdot 0,08985 + 0,220 \cdot 0,717 + \\ &+ 0,514 \cdot 1,539 = 1,24 \text{ kg/m}^3, \end{aligned}$$

gdje su:

$$\rho_{\text{CO}} = 1,250 \text{ kg/m}^3 - \text{gustina CO pri normalnim uslovima,}$$

$$\rho_{\text{CO}_2} = 1,976 \text{ kg/m}^3 - \text{gustina CO}_2 \text{ pri normalnim uslovima,}$$

$$\rho_{\text{O}_2} = 1,429 \text{ kg/m}^3 - \text{gustina O}_2 \text{ pri normalnim uslovima,}$$

$$\rho_{\text{H}_2} = 0,08985 \text{ kg/m}^3 - \text{gustina H}_2 \text{ pri normalnim uslovima,}$$

$$\rho_{\text{CH}_4} = 0,717 \text{ kg/m}^3 - \text{gustina CH}_4 \text{ pri normalnim uslovima,}$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{S}} = 1,539 \text{ kg/m}^3 - \text{gustina H}_2\text{S} \text{ pri normalnim uslovima.}$$

Molarna masa gasa (vlažnog, kondenzabilnog):

$$\begin{aligned} M_{\text{wg}} &= \sum_i \varphi_i \cdot M_i = \varphi_{\text{CO}} \cdot M_{\text{CO}} + \varphi_{\text{CO}_2} \cdot M_{\text{CO}_2} + \varphi_{\text{O}_2} \cdot M_{\text{O}_2} + \varphi_{\text{H}_2} \cdot M_{\text{H}_2} + \varphi_{\text{CH}_4} \cdot M_{\text{CH}_4} + \\ &+ \varphi_{\text{H}_2\text{S}} \cdot M_{\text{H}_2\text{S}} = 0,085 \cdot 28 + 0,08 \cdot 44 + 0,011 \cdot 32 + 0,09 \cdot 2 + 0,22 \cdot 16 + 0,514 \cdot 34 = 27,43 \text{ kg/kmol,} \end{aligned}$$

gdje su:

$$M_{\text{CO}} = 28 \text{ kg/kmol} - \text{molarna masa CO,}$$

$$M_{\text{CO}_2} = 44 \text{ kg/kmol} - \text{molarna masa CO}_2,$$

$$M_{\text{O}_2} = 32 \text{ kg/kmol} - \text{molarna masa O}_2,$$

$M_{H_2} = 2 \text{ kg/kmol}$ - molarna masa H_2 ,

$M_{CH_4} = 16 \text{ kg/kmol}$ - molarna masa CH_4 ,

$M_{H_2S} = 34 \text{ kg/kmol}$ - molarna masa H_2S .

Donja toplotna moć gasa (vlažnog, kondenzibilnog):

$$H_{d_{wg}} = 12644 \cdot \varphi_{CO} + 10760 \cdot \varphi_{H_2} + 35797 \cdot \varphi_{CH_4} + 23697 \cdot \varphi_{H_2S} = 12644 \cdot 0,085 + 10760 \cdot 0,09 + 35797 \cdot 0,22 + 0,514 \cdot 23697 = 22098,74 \text{ kJ/m}^3,$$

$$H_{d_{wg}} = \frac{22098,74}{1,24} = 17821,56 \text{ kJ/kg.}$$

6.6.2. Materijalni bilans

Šema bilansa materije u pirolitičkom reaktoru prikazana je na slicio 6.14.

Sastav goriva (maseni udjeli):

C=64,29 %

H=5,00 %

O=4,40 %

N=0,10 %

S=0,91 %

W=0,19 %

A=25,20 %

Sastav čvrstog ostatka (koksa) (maseni udjeli):

C=81,60 %

H=0,61 %

O=1,77 %

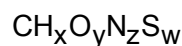
N=0,34 %

S=2,14 %

W=0,00 %

A=13,54 %

Empirijska formula goriva (otpadnih automobilskih guma):



$$x = \frac{H}{C} \cdot \frac{M_C}{M_H} = \frac{5}{64,20} \cdot \frac{12}{1} = 0,9346,$$

$$y = \frac{O}{C} \cdot \frac{M_C}{M_O} = \frac{4,40}{64,20} \cdot \frac{12}{16} = 0,0514,$$

$$z = \frac{N}{C} \cdot \frac{M_C}{M_N} = \frac{0,10}{64,20} \cdot \frac{12}{14} = 0,0013,$$

$$w = \frac{S}{C} \cdot \frac{M_C}{M_S} = \frac{0,91}{64,20} \cdot \frac{12}{32} = 0,0053,$$

Empirijska formula goriva: $CH_{0,9346}O_{0,0514}N_{0,0013}S_{0,0053}$.

Empirijska formula koksa:



$$x = \frac{\text{H}}{\text{C}} \cdot \frac{M_{\text{C}}}{M_{\text{H}}} = \frac{0,61}{81,60} \cdot \frac{12}{1} = 0,0897,$$

$$y = \frac{\text{O}}{\text{C}} \cdot \frac{M_{\text{C}}}{M_{\text{O}}} = \frac{1,77}{81,60} \cdot \frac{12}{16} = 0,0163,$$

$$z = \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \frac{M_{\text{C}}}{M_{\text{N}}} = \frac{0,34}{81,60} \cdot \frac{12}{14} = 0,0036,$$

$$w = \frac{\text{S}}{\text{C}} \cdot \frac{M_{\text{C}}}{M_{\text{S}}} = \frac{2,14}{81,60} \cdot \frac{12}{32} = 0,0098,$$

Empirijska formula koksa: $\text{CH}_{0,0897}\text{O}_{0,0163}\text{N}_{0,0036}\text{S}_{0,0098}$.

Bilans ugljenika

Količina ugljenika u gorivu:

$$C_{\text{B}} = 0,642 \text{ kgC/kgB} = 0,642 \cdot 0,0100 = 0,006420 \text{ kgC}$$

Količina ugljenika u koksu:

$$C_{\text{K}} = 0,816 \text{ kgC/kgK} = 0,816 \cdot 0,0017 = 0,001387 \text{ kgC}$$

Količina ugljenika u koksu svedena po 1 kg goriva:

$$C_{\text{KB}} = 0,001387 / 0,010 = 0,138700 \text{ kgC/kgB}$$

gde su:

0,010 kg – masa goriva (OAP) u pirolitičkom reaktoru,

0,0017 kg – masa koksa (čvrstog ostatka) posle procesa pirolize.

Količina ugljenika u pirolitičkom gasu (vlažnom):

$$C_{\text{wg}} = C_{\text{B}} - C_{\text{K}} = 0,006420 - 0,001387 = 0,005033 \text{ kgC}$$

Količina ugljenika u pirolitičkom gasu svedena po 1kg goriva.

$$C_{\text{wgB}} = 0,005033 / 0,0,10 = 0,5033 \text{ kgC/kgB}$$

Stepen konverzije ugljenika:

$$\eta_{\text{C}} = \left(1 - \frac{C_{\text{K}}}{C_{\text{B}}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{0,001387}{0,006420}\right) \cdot 100 = 78,40\%$$

Bilans vodonika

Količina vodonik u gorivu:

$$\text{H}_{2\text{B}} = 0,05 \text{ kgH}_2/\text{kgB} = 0,05 \cdot 0,0100 = 0,000500 \text{ kgH}_2$$

Količina vodonika u koksu:

$$H_{2K} = 0,0061 \text{ kgH}_2/\text{kgK} = 0,0061 \cdot 0,0017 = 0,000010 \text{ kgH}_2$$

Količina vodonika u koksu svedena po 1 kg goriva:

$$H_{2KB} = 0,000010/0,010 = 0,001000 \text{ kgH}_2/\text{kgB}$$

Količina vodonika u pirolitičkom gasu (vlažnom):

$$H_{2wg} = H_{2B} - H_{2K} = 0,0005 - 0,00001 = 0,000490 \text{ kgH}_2$$

Količina vodonika u pirolitičkom gasu svedena po 1kg goriva.

$$H_{2wgB} = 0,00049/0,010 = 0,049000 \text{ kgH}_2/\text{kgB}$$

Bilans kiseonika

Količina kiseonika u gorivu:

$$O_{2B} = 0,044 \text{ kgO}_2/\text{kgB} = 0,044 \cdot 0,010 = 0,000440 \text{ kgO}_2$$

Količina kiseonika u koksu:

$$O_{2K} = 0,0177 \text{ kgO}_2/\text{kgK} = 0,0177 \cdot 0,0017 = 0,000030 \text{ kgO}_2$$

Količina kiseonika u koksu svedena po 1 kg goriva:

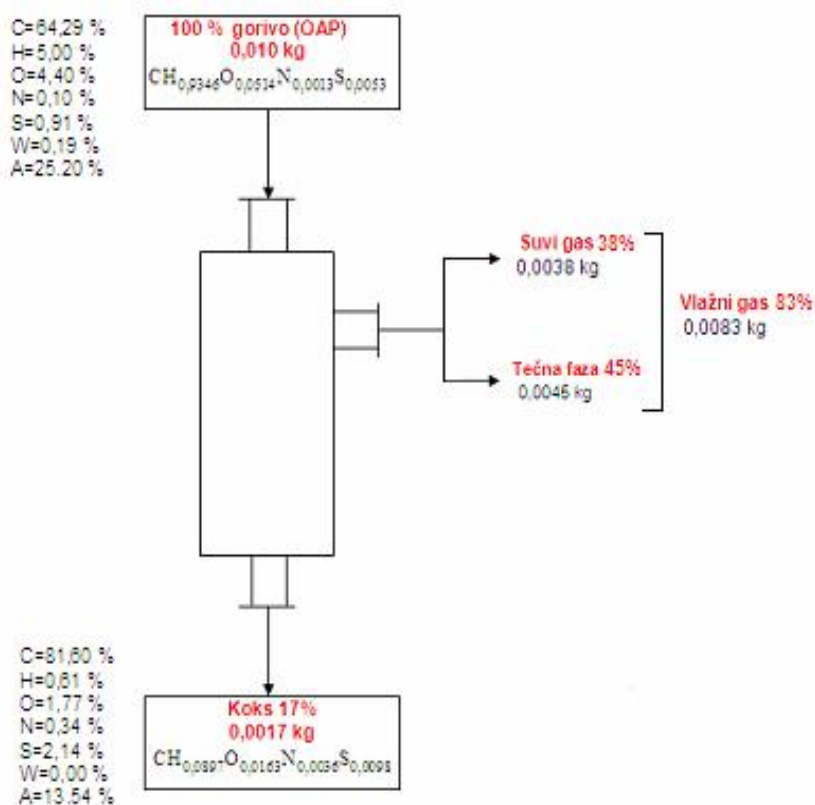
$$O_{2KB} = 0,000030/0,010 = 0,003000 \text{ kgO}_2/\text{kgB}$$

Količina kiseonika u pirolitičkom gasu (vlažnom):

$$O_{2wg} = O_{2B} - O_{2K} = 0,000440 - 0,000030 = 0,000410 \text{ kgO}_2$$

Količina kiseonika u pirolitičkom gasu svedena po 1kg goriva:

$$O_{2wgB} = 0,00041/0,010 = 0,041000 \text{ kgO}/\text{kgB}$$



Slika 6.14. Šema bilansa materije u pirolitičkom reaktoru

6.6.3. Toplotni bilans

Sastav goriva (maseni udjeli):

C=64,29 %
 H=5,00 %
 O=4,40 %
 N=0,10 %
 S=0,91 %
 W=0,19 %
 A=25,20 %

Sastav čvrstog ostatka (koksa) (maseni udjeli):

C=81,60 %
 H=0,61 %
 O=1,77 %
 N=0,34 %
 S=2,14 %
 W=0,00 %
 A=13,54 %

Sastav pirolitičkog gasa (vlažnog):

$\varphi_{CO} = CO = 8,5\%$
 $\varphi_{CO_2} = CO_2 = 8\%$
 $\varphi_{O_2} = O_2 = 1,1\%$

$\varphi_{H_2} = H_2 = 9, \%$
 $\varphi_{CH_4} = CH_4 = 22\%$
 $\varphi_{H_2S} = H_2S = 51,4\%$

Šema bilansa toplote prikazana je na slici 6.15.

Toplotna moć goriva:

$$H_{d_b} = 33900 \cdot C + 121400 \cdot \left(H - \frac{O}{8}\right) + 10460 \cdot S - 2510 \cdot W = 33900 \cdot 0,6420 + 121400 \cdot \left(0,05 - \frac{0,044}{8}\right) + 10460 \cdot 0,0091 - 2510 \cdot 0,0019 = 27256,52 \text{ kJ/kgB}$$

Toplota (energija) grijača u reaktoru:

Snaga grijača 1,5kW, tri grijača, vrijeme trajanja procesa pirolize u reaktoru 45 min.

$$E_G = 1,5 \cdot 3 \cdot 45 \cdot 60 = 12150 \text{ kJ/kgB}$$

Toplotna moć koksa:

$$H_{d_k} = 33900 \cdot C + 121400 \cdot \left(H - \frac{O}{8}\right) + 10460 \cdot S - 2510 \cdot W = 33900 \cdot 0,8160 + 121400 \cdot \left(0,0061 - \frac{0,0177}{8}\right) + 10460 \cdot 0,0214 - 2510 \cdot 0 = 28358,19 \text{ kJ/kgK}$$

Toplotna moć koksa svedena na jedinicu mase goriva:

$$H_{d_{kB}} = \frac{28358,19 \cdot 0,0017}{0,010} = 4820,89 \text{ kJ/kgB}$$

gdje su:

0,0017 kg– masa koksa,

0,010 kg– masa goriva.

Toplotna moć gasa (vlažnog, kondenzibilnog, izračunata ranije):

$$H_{d_{wg}} = 22098,74 \text{ kJ/m}^3$$

$$H_{d_{wg}} = 17821,56 \text{ kJ/kg}$$

Toplotna moć gasa svedena na jedinicu mase goriva:

$$H_{d_{wgB}} = \frac{17821,56 \cdot 0,0083}{0,010} = 14791,89 \text{ kJ/kgB}$$

gdje je:

0,0083 kg – masa gasa.

Fizička toplota pirolitičkog gasa pri temperaturi od 650 °C:

$$i_{f_{wg}} = \sum_i \varphi_i \cdot i_i = \varphi_{CO} \cdot i_{CO} + \varphi_{CO_2} \cdot i_{CO_2} + \varphi_{O_2} \cdot i_{O_2} + \varphi_{H_2} \cdot i_{H_2} + \varphi_{CH_4} \cdot i_{CH_4} + \varphi_{H_2S} \cdot i_{H_2S} = \\ = 0,085 \cdot 887,39 + 0,08 \cdot 1343,20 + 0,011 \cdot 926,96 + 0,09 \cdot 851,60 + 0,22 \cdot 1510,15 + \\ + 0,514 \cdot 1122,55 = 1178,95 \text{ kJ/m}^3$$

$$i_{f_{wg}} = \frac{1178,95}{1,24} = 950,77 \text{ kJ/kg}$$

Fizička toplota pirolitičkog gasa svedena na jedinicu mase goriva:

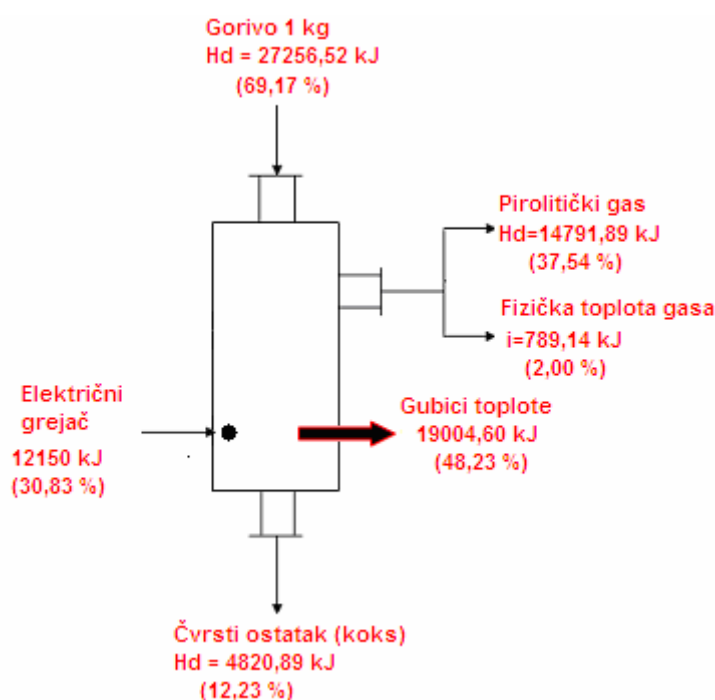
$$i_{f_{wgB}} = \frac{950,77 \cdot 0,0083}{0,010} = 789,14 \text{ kJ/kgB}$$

Gubici toplote:

Ulaz: $27256,52 + 12150 = 39406,52 \text{ kJ}$

Izlaz: $14791,89 + 789,14 + 4820,89 = 20401,92 \text{ kJ}$

Gubici: $Ulaz - Izlaz = 39406,52 - 20401,92 = 19004,60 \text{ kJ}$



Slika 6.15. Šema bilansa toplote u pirolitičkom reaktoru

6.6.4. Stepen korisnosti pirolitičkog reaktora

Odnos energije na izlazu iz reaktora i uložene energije na ulazu u reaktor (slika 6.15):

$$\eta_1 = \frac{IZLAZ}{ULAZ} = \frac{20401,92}{39406,52} = 0,5177 = 51,77 \%$$

Odnos hemijske energije na izlazu iz reaktora i uložene hemijske energije na ulazu u reaktor (slika 6.15):

$$\eta_2 = \frac{14791,89 + 4820,89}{27256,52} = 0,7196 = 71,96 \%$$

Toplotno opterećenje poprečnog presjeka reaktora:

$$Q = \frac{m_B \cdot H_{dB}}{A} = \frac{m_B \cdot H_{dB}}{\frac{d^2 \cdot \pi}{4}} = \frac{0,01 \cdot 27256,52}{\frac{(160 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3,14}{4}} = 1,36 \cdot 10^4 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2}$$

gdje su:

$m_B = 0,010$ kg masa goriva,

$H_d = 27256,52$ kJ/kg donja toplotna moć goriva,

A – poprečni presjek reaktora, m^2 ,

$d = 160$ mm – unutrašnji prečnik reaktora.

LITERATURA

- [1] Fabrika cementa "Lafarge" BFC AD Beočin, Studija o procjeni uticaja na životnu sredinu korišćenja guma kao alternativnog goriva u cementari LBFC, „Arhitekt“ Ad Beograd, ul Braće Jugovića br. 21, 2007.
- [2] P. T. Williams, S. Besler and D. T. Taylor, Fuel 69 (1474), (1990).
- [3] Y. M. Chang, Resources, Conservation and Recycling 17 (125), (1996).
- [4] M. Juma, Z. Korenova, J. Markoš, L. Jelemensky and M. Bafnec, Polymers for Advanced Technologies 18 (144), (2007).
- [5] S. Galvagno, S. Casu, T. Casabianca, A. Calabrese and G. Cornacchia, Waste Management 22 (917), (2002).
- [6] S. Ucar, S. Karagoz, A.R. Ozkan and J. Yanik, Fuel 84, 1884 (2005).
- [7] Y. Kar, Waste Management 31 (1772), (2011)
- [8] Izveštaj o ispitivanju fizičko-hemijskih karakteristika čvrstog ostatka otpadnih automobilskih guma, broj 72/14, Rudarski institit Beograd – Zemun, Septembar, 2014.
- [9] Y. Kar, Waste Management 31 (1772), (2011)
- [10] S. Boxiong, W. Chunfei, C. Liang, G. Binbin and W. Rui, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 78 (243), (2006).
- [11] I. M. Rodriguez, M.F. Laresgoiti, M. A. Cabrero, A. Torres, M. J. Chomon and B. Caballero, Fuel Processing Technology 72 (9), (2001).
- [12] M. F. Laresgoiti, I. de Marco. A. Torres, B. Caballero, B. A. Cabrero and M. J. Chomon, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 55 (43) (2000).

- [13] C. Berrueco, E. Esperanza, F. J. Mastral, J. Ceamanos and P. Garcia-Bacaicoa, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 74 (245), (2005).
- [14] M. Cordella, C. Berrueco, F. Santarelli, N. Paterson, R. Kandiyoti and M. Millan, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 104 (316), (2013).
- [15] Q. Cao, K. Xie, W. Bao and S. Shen, *Bioresource Technology* 94 (83), (2004).
- [16] W. K. Buah, A. M. Cunliffe, and P. T. Williams, *Process Safety and Environmental Protection*, 85 (450),(2007).
- [17] M. Inguanzo, A., Dominguez, J.A. Menendez, C.G. Blanco, J.J. Pis, On the pyrolysis of sewage sludge: the influence of pyrolysis conditions on solid, liquid and gas fractions, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 63 (2002) 209-222.

7. ZAKLJUČAK

U svijetu se godišnje sakupi preko 1,4 milijarde otpadnih automobilskih guma koje se u nerazvijenim zemljama odlažu na neuređene deponije. U Srbiji su do prije nekolioko godina otpadne gume odlagane na divlje deponije. Usaglašavanjem zakonske regulative u ovoj oblasti sa zakonima Evropske Unije u praksi se otpadne gume sve više koriste kao važan resurs za proizvodnju različitih gumenih proizvoda ili kao energent u cementarama. Sastav guma (tehnička i elementarna analiza) ukazuje da gume spadaju u visoko – energetske materijale. Prosječna toplotna moć otpadnih automobilskih guma (OAP) iznosi oko 34600 kJ/kg što je mnogo više nego kod drugih goriva kao na primer kod uglja (lignita Kolubara) donja toplotna moć iznosi oko 7771 kJ/kg, poljoprivredne biomase (na primjer kukuruzovina) 17723 kJ/kg, drvene biomase 13553 kJ/kg i komunalnog otpada oko 14353 kJ/kg. Visoke vrijednosti toplotne moći OAP pružaju mogućnost primjene otpadnih guma kao alternativnog ili osnovnog goriva. Posebno su značajni procesi pirolize, gasifikacije i sagorijevanja OAP.

U disertaciji je prikazana analiza OAP koji sagorijevaju u cementari „Beočin“ i koji su korišćeni kao uzorak za eksperimentalno ispitivanja procesa pirolize. Analiza (tehnička i elementarna) OAP urađena je u skladu sa ATSM standardima. Maseni udio ugljenika iznosi oko 64,20%, vodonika 5%, kiseonika 4,40% i ostalih komponenti < 1%. Pepeo se sastoji uglavnom od željeznih, silicijumovih i cinkovih oksida. U poređenju OAP korišćenih kao uzorak sa podacima iz literature uočene su veća odstupanja karakteristika C, H, volatila, A i toplotne moći od prosječne vrijednosti. Najveće odstupanje od prosječne vrijednosti uočeno je za maseni udio pepela od čak 60,76%, zatim za toplotnu moć od 15,06%, vodonik 14,47%, ugljenik 11,18% i volatile od 8,35%. Ovo ukazuje na neujednačenost karakteristika OAP korišćenih kao uzorak pri eksperimentalnom ispitivanju procesa pirolize sa karakteristikama OAP kod drugih istraživača, što može nepovoljno da utiče na rad postrojenja u kojima se vrši termička prerada otpada. Ovo takođe može nepovoljno da utiče na primjenu suvih postupaka odsumporavanja dimnih gasova kod postrojenja za sagorijevanje OAP zbog dodatne količine praha.

U disertaciji je razvijen matematički model gasifikacije OAP u struji vazduha i kiseonika. Podaci iz literature o pirolizi i gasifikaciji čvrstog goriva ne razmatraju udio čvrste faze (ugljenika) u ravnotežnoj mješavini. Zbog zadovoljavanja materijalnog bilansa na ulazu i izlazu iz reaktora za gasifikaciju potrebno je odrediti udio čvrste faze (ugljenika) u ravnotežnoj mješavini. Kako se udio čvrste faze (ugljenika) u heterogenoj ravnotežnoj mješavini određuje samo mjerenjem to izrada matematičkog modela i njegove primjene u inženjerskoj praksi ima veliki značaj.

U radu je prikazano eksperimentalno ispitivanje pirolize otpadne automobilske gume mase 10 g frakcija 3,5 i 7 mm. Otpadna automobilska guma korišćena kao eksperimentalni uzorak dobijena je iz cementare "Lafarge"Beočin (Republika Srbija). Eksperimentalni rezultati doveli su do sljedećih zaključaka:

- Sa povećanjem temperature pirolize razgradnja mase uzorka automobilske gume u reaktoru teče brže uz značajnu redukciju čvrstog ostatka i značajno povećanje prinosa pirolitičkog gasa. Najveći prinos pirolitičkog gasa od 83% utvrđen je pri temperaturi pirolize od 650 °C i pri tome je zabilježena masa čvrstog ostatka od 1,7 g (17%) i to granulacija gume prečnika 3mm. Pri veličini čestica od 7 mm zabilježena je masa čvrstog ostatka od 3.3 g (33%) . Srednja brzina izdvajanja pirolitičkog gasa iznosi 0,13-0,20 g/min za veličinu granula uzorka od 7 i 3 mm.
- Povećanje veličine (prečnika) granula uzorka gume sa 3 na 5 i 7 mm ima značajan uticaj na povećanje prinosa čvrstog (koksno) ostatka i smanjenje prinosa pirolitičkog gasa. Na primjer povećanje prečnika granula otpadne gume sa 3 na 7 mm i pri temperaturi pirolize od 300 °C povećanje prinosa čvrstog ostatka iznosi oko 50 %. Najmanji prinos čvrstog ostatka dobijen je za granulu veličine 3mm pri temperaturi pirolize od 650°C i iznosi 17% maksimizirajući pri tome prinos pirolitičkog gasa od 83%. Najveći prinos čvrstog ostatka uočen je za granule veličine 7 mm pri temperaturi pirolize od 200 °C i iznosi 88%.
- Povećanje brzine zagrijavanja uzorka u reaktoru sa 14 na 34 i 60 °C/min dovodi do smanjenja prinosa čvrstog ostatka a povećanje prinosa pirolitičkog gasa. U toku prvih 18 min. i pri brzinama zagrijavanja uzorka u reaktoru od 34 i 60 °C/min temperatura pirolize postiže vrijednost 650 °C pri čemu je zabilježeno značajnije smanjenje prinosa čvrstog ostatka oko 67 %. Nakon 18 min. dolazi do stabilizacije odnosa m/m_0 i brzina zagrijavanja nema značajnijeg uticaja na promjenu prinosa čvrstog ostatka i pirolitičkog gasa.

- Masa čvrstog ostatka dobijena mjerenjem poslije procesa pirolize otpadne gume kretala se u intervalu 1,7 g (17%) (granulacija gume prečnika 3mm) do 3,3 g (33%) (granulacija gume prečnika 7mm) a masa tečne faze u intervalu 2,9 g (29%) (otpadna guma prečnika granulata 7mm) do 4,5 g (45%) (otpadna guma prečnika granulata 3mm).
- Čvrsti ostatak je bogat ugljenikom, čiji sadržaj iznosi 81,60%. Toplotna moć čvrstog ostatka iznosi 28495 kJ/kg što je malo iznad toplotne moći goriva (otpadne gume). Visoke vrijednosti toplotne moći čvrstog ostatka doprinose ekonomskoj opravdanosti primjene procesa pirolize otpadnih automobilskih guma.
- Gas dobijen pirolizom otpadnih guma sastoji se iz ugljovodonika C₁-C₅ (osnovni produkti), H₂, CO i CO₂. Povećanje temperature pirolize dovelo je do povećanja zapreminskih udjela CO, H₂ i CH₄, dok zapreminski udjeli O₂ i CO₂ opadaju.

Ako se uzmu iskustva stranih zemalja u kojima su postrojenja za termičku preradu otpadnih materijala u eksploataciji, i s obzirom na ekonomske mogućnosti i sadašnju energetska situaciju u zemlji (nestašica tečnih i gasovitih goriva), realno se može očekivati da bi se dobri efekti mogli postići primjenom procesa gasifikacije i pirolize otpadnih materijala (poljoprivredne biomase, otpadnih automobilskih guma, drvnih otpadaka, komunalnog čvrstog otpada).

Visoki prinosi pirolitičkog gasa (67- 83 %) dobijeni procesom pirolize otpadne gume pri 650°C kao i velika zastupljenost otpadnih guma u Republici Srbiji pa i Bosni i Hercegovini obećavaju primjenu ovakvih tehnologija i mogućnost da Srbija pa i Bosna i Hercegovina nadoknadi svoj deficit iz obnovljivih izvora energije a posebno korišćenjem otpadnih guma.

Potpunija tehno-ekonomska analiza, a na osnovu toga i konkretan prijedlog rješenja korišćenja produkata gasifikacije i pirolize OAP može se dati tek nakon ispitivanja procesa termičke prerade OAP na poluindustrijskim i industrijskim postrojenjima. Izgradnja komercijalnih postrojenja za termičku preradu OAP trebalo bi vezati za domaću industriju, bez inostranih licenci i uvoza, jer se samo tako mogu naći najprihvatljivija rješenja koja odgovaraju našim energetska potrebama. Osim toga samo naša rješenja mogu nam omogućiti vremenski stalno nadograđivanje i razvoj izgrađenih sistema.

POPIS OZNAKA I SIMBOLA

- A – maseni udio pepela u gorivu, kg/kg, %
A – površina, m²
b – broj kilomolova komponente, kmol
C – maseni udio ugljenika u gorivu, kg/kg, %
C_{fix} – maseni udio fiksnog ugljenika u gorivu, kg/kg, %
Č̃ - zapreminska masena koncentracija, kg/m³
c_p – specifični toplotni kapacitet, kJ/kgK
ΣC – ukupan broj kilomolova ugljenika, kmol
C_v – koeficijent varijacije, %
d – prečnik, mm, m
E – emisija gasovitih komponenata, kg/h
E – energija aktivacije, kJ/mol
e_s – stepen emitovanja sumpora, %
g_i – maseni udio komponente "i" u gasovima, kg/kg,
ΔG – slobodna entalpija reakcije, kJ
Δg – specifična slobodna entalpija, kJ/kmol
H – maseni udio vodonika u gorivu, kg/kg, %
H_d – donja toplotna moć goriva, kJ/kg
H_g – gornja toplotna moć goriva, kJ/kg
ΔH – entalpija reakcije, kmol
Δh – entalpija veze, kJ/kmol
ΣH₂ – ukupan broj kilomolova vodonika, kmol
i – veličina intervala
i – entalpija, kJ/kg
I – pomoćna veličina
k_o – konstanta brzine hemijske reakcije
k – broj intervala
K_p – konstanta ravnoteže hemijske reakcije
L – količina vazduha, kg/kg
L – pomoćna veličina
l – broj stepeni slobode
m – masa komponente u dimnim gasovima, kg/kg
M – molarna masa, kg/kmol

M – pomoćna veličina

N – maseni udio azota u gorivu, kg/kg, %

n – red hemijske reakcije

n – broj čestica,

ΣN_2 – ukupan broj kilomolova azota, kmol

O – maseni udio kiseonika u gorivu, kg/kg, %

ΣO_2 – ukupan broj kilomolova kiseonika, kmol

p – pritisak, Pa

p_i – vjerovatnoća

R_u – univerzalna gasna konstanta, kJ/kmolK

R – raspon

S – maseni udio sumpora u gorivu, kg/kg, %

S – standardno odstupanje

ΔS – entropija reakcije, kJ/K

s_i – specifična entropija komponente, kJ/kmolK

u_i – zamjena varijabli

V_i – zapremina komponente u dimnim gasovima, m³/kg

v_s – stepen vezivanja sumpora za pepeo, %

v_{isp} – maseni udio isparljivih komponenti, kg/kg, %

T – apsolutna temperatura, K

t – temperatura, °C

α – nivo značajnosti

ε – poroznost

η – stepen korisnosti reaktora, %

η_C – stepen konverzije ugljenika, %

λ – koeficijent viška vazduha

ρ – gustina, kg/m³

τ – vreme, s, min, h

φ – sferičnost čestice

φ – zapreminski udeo, %

$\varnothing(u_i)$ – Laplasova funkcija

x – maseni udio, kg/kg, %

\bar{X} - srednja vrednost (aritmetička sredina)

y – molski udio, kmol/kmol, %

Q – toplotno opterećenje, kJ/m²

W – maseni udio vlage u gorivu, kg/kg, %

w_i – maseni udio, kg/kg, %

POPIS SLIKA

Slika 3.1.	Grafički prikaz analize OAP.....	25
Slika 3.2.	Zavisnost donje toplotne moći OAP od masenog udjela vlage i pepela.....	26
Slika 4.1.	Struktura OAP (1.gazeći sloj, 2. telo, 3. peza (stopa).....	35
Slika 4.2.	Veličine i oblici OAP koji se koriste pri termičkim postupcima prerade.....	36
Slika 4.3.	Termohemijska i biohemijska koverzija goriva.....	39
Slika 4.4.	Kriva gubitka mase uzoraka drvne biomase u opsegu temperature 25-650 °C (prosječna brzina zagrijavanja uzorka biomase je 21 °C/min).....	40
Slika 4.5.	Kriva gubitka mase uzorka mješavine drvne biomase u zavisnosti od reakcionog vremena i brzine zagrijavanja uzorka.....	41
Slika 4.6.	Zapreminski udjeli komponenata u gasnoj fazi produkata OAP.....	41
Slika 4.7.	Šema sistema „Destrugas“ za pirolizu otpada.....	42
Slika 4.8.	Uprošćena šema rotacione peći.....	43
Slika 4.9.	Šema sistema „Kiner Pirolize“.....	43
Slika 4.10.	Šema postrojenja „Konserterm“.....	44
Slika 4.11.	Šema sistema „Andko Toraks“ za gasifikaciju smeća.....	45
Slika 4.12.	Peć sa nepokretnim slojem za sagorijevanje otpada.....	48
Slika 4.13.	Kotlovsko postrojenje za sagorijevanje otpada u sloju.....	49
Slika 4.14.	Ložište za sagorijevanje otpadnih materijala u fluidizovanom sloju.....	50
Slika 4.15.	Šematski prikaz materijalnog bilansa procesa sagorijevanja OAP.....	57
Slika 4.16.	Zapremina dimnih gasova u zavisnosti od koeficijenta viška vazduha.....	57
Slika 4.17.	Sastav vlažnih dimnih gasova u zavisnosti od koeficijenta viška vazduha.....	58
Slika 4.18.	Zavisnost entalpije vlažnih dimnih gasova od temperature sagorijevanja OAP i koeficijenta viška vazduha.....	62
Slika 4.19.	Zavisnost stepena disocijacije produkata sagorijevanja goriva od temperature.....	63
Slika 4.20.	Emisija CO ₂ u zavisnosti od vrste goriva.....	66
Slika 4.21.	Emisija SO ₂ u zavisnosti od vrste goriva.....	66
Slika 5.1.	Šema reaktorskog prostora za gasifikaciju.....	70
Slika 5.2.	Određivanje reakcione oblasti pri gasifikaciji OAP.....	73
Slika 5.3.	Uticaj temperature gasifikacije OAP na konstantu ravnoteže hemijskih reakcija.....	73
Slika 5.4.	Dijagram toka programa.....	82

Slika 5.5.	Zavisnost ravnotežnog sastava produkata hemijskih reakcija ($C+2 \cdot H_2=CH_4$, $C+CO_2=2 \cdot CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP od temperature gasifikacije (količina ubačenog vazduha 0,1 m ³ /h).....	84
Slika 5.6.	Zavisnost ravnotežnog sastava (samo gasovita faza) produkata hemijskih reakcija($C+2 \cdot H_2=CH_4$, $C+CO_2=2 \cdot CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP od temperature gasifikacije (količina ubačenog vazduha 0,1 m ³ /h).....	84
Slika 5.7.	Zavisnost ravnotežnog sastava produkata hemijskih reakcija ($C+2 \cdot H_2=CH_4$, $C+CO_2=2 \cdot CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP od temperature gasifikacije (količina ubačenog vazduha 0,3 m ³ /h).....	86
Slika 5.8.	Zavisnost ravnotežnog sastava (samo gasovita faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2 \cdot H_2=CH_4$, $C+CO_2=2 \cdot CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP od temperature gasifikacije (količina ubačenog vazduha 0,3 m ³ /h).....	86
Slika 5.9.	Zavisnost ravnotežnog sastava produkata hemijskih reakcija ($C+2 \cdot H_2=CH_4$, $C+CO_2=2 \cdot CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP od temperature gasifikacije (količina ubačenog vazduha 0,6 m ³ /h).....	88
Slika 5.10.	Zavisnost ravnotežnog sastava (samo gasovita faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2 \cdot H_2=CH_4$, $C+CO_2=2 \cdot CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP od temperature gasifikacije (količina ubačenog vazduha 0,6 m ³ /h).....	88
Slika 5.11.	Molski udio ugljenika (C) u ravnotežnom sastavu pri gasifikaciji OAP u zavisnosti od reakcione temperature i količine injektiranog vazduha.....	89
Slika 5.12.	Molski udio metana (CH ₄) u ravnotežnom sastavu pri gasifikaciji OAP u zavisnosti od reakcione temperature i količine injektiranog vazduha.....	89
Slika 5.13.	Zavisnost ravnotežnog sastava (samo gasovita faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2 \cdot H_2=CH_4$, $C+CO_2=2 \cdot CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP od temperature gasifikacije (količina ubačenog kiseonika 0,1 m ³ /h).....	90
Slika 5.14.	Komparacija rezultata produkata gasifikacije dobijenih primjenom matematičkog modela sa podacima iz literature ($\lambda = 0.3$, $W= 7 \%$, $T=1373$ K, $p=1 \cdot 10^5$ Pa).....	92
Slika 5.15.	Komparacija rezultata produkata gasifikacije dobijenih primjenom matematičkog modela sa podacima iz literature ($\lambda = 0.3$, $W=10 \%$, $T=1373$ K, $p=1 \cdot 10^5$ Pa).....	93
Slika 5.16.	Komparacija produkata gasifikacije uglja pri temperaturi gasifikacije od 700° C ($H_2O/B=3.30$ kgH ₂ O/kgB, $\lambda = 0.0$).....	93

Slika 5.17.	Komparacija rezultata produkata gasifikacije otpadne gume dobijenih primjenom matematičkog modela sa podacima iz literature (H ₂ O/B = 0,3;0,5;0,7 , t = 600°C, p=1·10 ⁵ Pa).....	94
Slika 6.1.	Alat za isjecanje gume i formiranje granula.....	96
Slika 6.2.	Fotografije granula otpadnih automobilskih pneumatika.....	96
Slika 6.3.	Šema eksperimentalnog postrojenja (i mjernih mjesta) za pirolizu OAP.....	98
Slika 6.4.	Digitalna vaga METTLER P1000.....	99
Slika 6.5.	Digitalni pokazivač temperature Testo 925.....	99
Slika 6.6.	Gasni analizator G 750 POLYTECTOR II.....	100
Slika 6.7.	Eksperimentalno postrojenje za ispitivanje procesa pirolize OAP.....	100
Slika 6.8.	Reaktor za pirolizu.....	101
Slika 6.9.	Uticaj temperature pirolize na prinos gasa i čvrstog ostatka (koksa) (brzina zagrijavanja 14 °C/min).....	103
Slika 6.10.	Kriva gubitka mase uzorka otpadne gume u zavisnosti od reakcionog (brzina zagrijavanja 14 °C/min).....	104
Slika 6.11.	Uticaj veličine čestice otpadne gume na prinos čvrstog (koksno)g ostatka i prinos pirolitičkog gasa (brzina zagrijavanja 14 °C/min).....	104
Slika 6.12.	Kriva gubitka mase uzorka otpadne gume u zavisnosti od brzine zagrijavanja uzorka.....	105
Slika 6.13.	Zavisnost sastava pirolitičkog gasa od temperature pirolize.....	106
Slika 6.14.	Šema bilansa materije u pirolitičkom reaktoru.....	113
Slika 6.15.	Šema bilansa toplote u pirolitičkom reaktoru.....	115

POPIS TABELA

Tabela 3.1.	Rezultati tehničke analize OAP prema različitim autorima.....	22
Tabela 3.2.	Analiza pepela-šljake OAP.....	22
Tabela 3.3.	Analiza pepela-šljake. Studija cementare Beočin	22
Tabela 3.4.	Elementarni sastav pneumatika i toplotna moć.....	23
Tabela 3.5.	Elementarni sastav OAP i toplotna moć.....	23
Tabela 3.6.	Fizički sastav pneumatika.....	23
Tabela 3.7.	Faktori konverzije za elementarne analize.....	24
Tabela 3.8.	Statistički parametri pojedinih karakteristika OAP.....	31
Tabela 3.9.	Rezultati χ^2 testa za karakteristiku OAP „maseni udio ugljenika“	32
Tabela 3.10.	Rezultati proračuna intervala pouzdanosti za karakteristike OAP.....	32
Tabela 4.1.	Sferičnost raznih oblika čestica.....	37
Tabela 4.2.	Sastav uglja, OAP (cijelih) i OAP iz kojih je odstranjena čelična žica.....	46
Tabela 4.3.	Sastav pepela uglja, pepela OAP (cijelih) i pepela OAP iz kojih je odstranjena čelična žica.....	47
Tabela 4.4.	Zavisnost konstanti ravnoteža hemijskih reakcija od temperature.....	62
Tabela 4.5.	Podaci za upotrebu guma kao alternativnog goriva u nekim fabrikama cementa kompanije LBFC.....	64
Tabela 4.6.	Podaci mjerenja emisije pri korišćenju guma (rotaciona peć I).....	64
Tabela 5.1.	Entalpije veze, slobodne entalpije i entropije neorganskih komponenata pri $1.013 \cdot 10^5$ Pa i 298K.....	71
Tabela 5.2.	Zavisnost termohemijskih veličina reakcija koje se odvijaju pri procesima gasifikacije OAP od reakcione temperature.....	72
Tabela 5.3.	Zavisnost ravnotežnog sastava (heterogena faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2H_2=CH_4$, $C+CO_2=2CO$, $C+H_2O = O+H_2$) pri gasifikaciji OAP (količina ubačenog vazduha $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$).....	83
Tabela 5.4.	Zavisnost ravnotežnog sastava (gasovita faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2H_2=CH_4$, $C+CO_2=2CO$, $C+H_2O = CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP (količina ubačenog vazduha $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$).....	83
Tabela 5.5.	Zavisnost ravnotežnog sastava (heterogena faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2H_2=CH_4$, $C+CO_2=2CO$, $C+H_2O = CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP (količina ubačenog vazduha $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$).....	85

Tabela 5.6.	Zavisnost ravnotežnog sastava (gasovita faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2H_2=CH_4$, $C+CO_2=2CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP (količina ubačenog vazduha 0,3 m ³ /h).....	85
Tabela 5.7.	Zavisnost ravnotežnog sastava (heterogena faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2H_2=CH_4$, $C+CO_2=2CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP (količina ubačenog vazduha 0,6 m ³ /h).....	87
Tabela 5.8.	Zavisnost ravnotežnog sastava (gasovita faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2H_2=CH_4$, $C+CO_2=2CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP (količina ubačenog vazduha 0,6 m ³ /h).....	87
Tabela 5.9.	Zavisnost ravnotežnog sastava (gasovita faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2H_2=CH_4$, $C+CO_2=2CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji OAP (količina ubačenog kiseonika 0,1 m ³ /h).....	90
Tabela 6.1.	Elementarni sastav OAP i toplotna moć.....	97
Tabela 6.2.	Elementarni sastav OAP sveden na suhu osnovu.....	97
Tabela 6.3.	Elementarna analiza OAP nekih istraživača.....	97
Tabela 6.4.	Kvalitativne karakteristike otpadnih automobilskih guma.....	102
Tabela 6.5.	Sastav čvrstog ostatka (koksa) otpadne automobilske gume pri 650 °C korišćene pri izvođenju eksperimenta.....	106
Tabela 6.6.	Prinos produkata pirolize otpadne gume prikazan u ovom radu i poređenje sa podacima drugih autora.....	107
Tabela 6.7.	Uporedna analiza sastava pirolitičkog gasa dobijenog eksperimentalnim ispitivanjem sa podacima iz literature (zapreminski udjeli).....	108
Tabela 6.8.	Sastav čvrstog ostatka (koksa) produkata pirolize otpadne gume prikazan u ovom radu i poređenje sa podacima drugih autora.....	108

POPIS PRILOGA

Prilog P1.	Intervali podjele karakteristika OAP za χ^2 test.....	132
Prilog P2.	Rezultati χ^2 testa za karakteristiku OAP „maseni udio vodonika“.....	132
Prilog P3.	Rezultati χ^2 testa za karakteristiku OAP „maseni udio pepela“.....	133
Prilog P4.	Rezultati χ^2 testa za karakteristiku OAP „maseni udio isparljive komponente“.....	133
Prilog P5.	Rezultati χ^2 testa za karakteristiku OAP „donja toplotna moć“.....	134
Prilog P6.	Materijalni bilans procesa sagorijevanja OAP u zavisnosti od koeficijenta viška vazduha.....	134
Prilog P7.	Materijalni bilans procesa sagorijevanja OAP u zavisnosti od koeficijenta viška vazduha.....	135
Prilog P8.	Srednja masena specifična toplota nekih gasova.....	135
Prilog P9.	Entalpija dimnih gasova pri sagorijevanju OAP.....	136
Prilog P10.	Izvorni kod.....	136
	/*	
	PRORACUN SASTAVA HETEROGENE RAVNOTEZNE MESAVINE PRI GASIFIKACIJI OAP INJEKTIRANJEM VAZDUHA URADJEN NA OSNOVU ODNOSA KOLIČINA ULAZNIH MATERIJA U PROGRAMSKOM JEZIKU C	
	*/	
Prilog P11.	Izvorni kod.....	140
	/*	
	PRORACUN SASTAVA HOMOGENE RAVNOTEZNE MESAVINE PRI GASIFIKACIJI OAP INJEKTIRANJEM VAZDUHA URADJEN NA OSNOVU BROJA MOLOVA U PROGRAMSKOM JEZIKU C	
	*/	
Prilog P12.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m ³ /h u reakcionu prostor.....	144
Prilog P13.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m ³ /h u reakcionu prostor.....	147
Prilog P14.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m ³ /h u reakcionu prostor.....	159
Prilog P15.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m ³ /h u reakcionu prostor.....	151

Prilog P16.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m ³ /h u reakcionu prostor.....	154
Prilog P17.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m ³ /h u reakcionu prostor.....	156
Prilog P18.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m ³ /h u reakcionu prostor.....	158
Prilog P19.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m ³ /h u reakcionu prostor.....	160
Prilog P20.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m ³ /h u reakcionu prostor.....	162
Prilog P21.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m ³ /h u reakcionu prostor.....	164
Prilog P22.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m ³ /h u reakcionu prostor.....	166
Prilog P23.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m ³ /h u reakcionu prostor.....	168
Prilog P24.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m ³ /h u reakcionu prostor.....	170
Prilog P25.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m ³ /h u reakcionu prostor.....	172
Prilog P26.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m ³ /h u reakcionu prostor.....	174
Prilog P27.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m ³ /h u reakcionu prostor.....	176
Prilog P28.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m ³ /h u reakcionu prostor.....	179
Prilog P29.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m ³ /h u reakcionu prostor.....	181
Prilog P30.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m ³ /h u reakcionu prostor.....	183
Prilog P31.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m ³ /h u reakcionu prostor.....	185
Prilog P32.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m ³ /h u reakcionu prostor.....	187
Prilog P33.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m ³ /h u reakcionu prostor.....	189

Prilog P34.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m ³ /h u reakcionu prostor.....	191
Prilog P35.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m ³ /h u reakcionu prostor.....	193
Prilog P36.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m ³ /h u reakcionu prostor.....	195
Prilog P37.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m ³ /h u reakcionu prostor.....	197
Prilog P38.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m ³ /h u reakcionu prostor.....	199
Prilog P39.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m ³ /h u reakcionu prostor.....	200
Prilog P40.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m ³ /h u reakcionu prostor.....	202
Prilog P41.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m ³ /h u reakcionu prostor.....	205
Prilog P42.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m ³ /h u reakcionu prostor.....	207
Prilog P43.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m ³ /h u reakcionu prostor.....	209
Prilog P44.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m ³ /h u reakcionu prostor.....	211
Prilog P45.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m ³ /h u reakcionu prostor.....	214
Prilog P46.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m ³ /h u reakcionu prostor.....	216
Prilog P47.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m ³ /h u reakcionu prostor.....	218
Prilog P48.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m ³ /h u reakcionu prostor.....	220
Prilog P49.	Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m ³ /h u reakcionu prostor.....	222
Prilog P50.	Izvorni kod.....	224

/*

PRORACUN SASTAVA GASOVITE FAZE PRI GASIFIKACIJI OAP URADJEN NA OSNOVU ODNOSA KOLICINA ULAZNIH MATERIJASA DODAVANJEM KISEONIKA (PRORACUN URAĐEN U PROGRAMSKOM JEZIKU C)*/

Prilog P51.	Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika.....	227
Prilog P52.	Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika.....	232
Prilog P53.	Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika.....	234
Prilog P54.	Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika.....	236
Prilog P55.	Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika.....	239
Prilog P56.	Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika.....	241
Prilog P57.	Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika.....	243
Prilog P58.	Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika.....	245
Prilog P59.	Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika.....	247

PRILOZI

Prilog P1. Intervali podjele karakteristika OAP za χ^2 test

	Karakteristika OAP			
	Vodonik (maseni udio.%)	Pepeo (maseni udio.%)	Ispaljive komponente (maseni udio.%)	Donja toplotna moć (kJ/kg)
$k = 1 + 3,3 \cdot \log n$	5	5	5	5
R	3.1	22.8	10	12144
$i = R/k$	0.62	4.56	2	2428.8
$u_{i \text{ min}}$	-1.99	-1.06	-1.21	-1.79
$u_{i \text{ max}}$	1.14	2.35	1.63	1.07

Prilog P2. Rezultati χ^2 testa za karakteristiku OAP „maseni udio vodonika“

Intervali [X_{i-1} ; X_i) [%]	Sredine intervala X_i^* [%]	Frekvencija f_i	$X_i^* - \bar{X}$ [%]	Normirani intervali [u_{i-1} ; u_i)	$p_i = \Phi(u_i) - \Phi(u_{i-1})$	$n \cdot p_i$	$(f_i - n \cdot p_i)^2$	$\frac{(f_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}$
[5,00;5,62)	5.31	2	-1.66	$(-\infty; -1,36)$	0.0869	1.5642	0.1899	0.1214
[5,62;6,24)	5.93	3	-1.04	$[-1,36; -0,74)$	0.1427	2.5686	0.1861	0.0725
[6,24;6,86)	6.55	1	-0.39	$[-0,74; -0,11)$	0.2266	4.0788	9.4790	2.3240
[6,86;7,48)	7.17	5	0.2	$[-0,11; 0,52)$	0.2423	4.3614	0.4078	0.0935
[7,48;8,10]	7.79	7	0.82	$[0,52; +\infty)$	0.3015	5.4270	2.4743	0.4560
Suma Σ		18			1	18		$\chi_{sr}^2 = 3,0674$

Za $\alpha = 0,05$ i $\nu = 4$ je: $\chi_{kr}^2_{0,05,4} = 9,49 \Rightarrow \chi_{sr}^2 = 3,0674 < \chi_{kr}^2 = 9,49$
 Usvaja se pretpostavka o normalnoj raspodjeli karakteristike OAP „maseni udio vodonika“.

Prilog P3. Rezultati χ^2 testa za karakteristiku OAP „maseni udio pepela“

Intervali [X_{i-1} ; X_i) [%]	Sredine intervala x_i^* [%]	Frekvencija f_i	$x_i^* - \bar{X}$ [%]	Normirani intervali [$u_{i-1}; u_i$)	$p_i = \Phi(u_i) - \Phi(u_{i-1})$	$n \cdot p_i$	$(f_i - n \cdot p_i)^2$	$\frac{(f_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}$
[2,40;6,96)	4.68	8	-4.83	$(-\infty; -0,38)$	0.3520	6.3360	2.769	0.437
[6,96;11,52)	9.24	5	-0.09	$[-0,38; 0,30)$	0.2659	4.7862	0.046	0.010
[11,52;16,08)	13.8	1	4.29	$[0,30; 0,98)$	0.2186	3.9348	8.613	2.189
[16,08;20,64)	18.36	3	8.85	$[0,98; 1,67)$	0.1160	2.088	0.832	0.398
[20,64;25,2]	22.92	1	13.41	$[1,67; +\infty)$	0.0475	0.855	0.021	0.025
Suma Σ		18			1	18		$\chi_{sr}^2 = 3,059$

Za $\alpha = 0,05$ i $v = 4$ je: $\chi_{kr005,4}^2 = 9,49 \Rightarrow \chi_{sr}^2 = 3,059 < \chi_{kr}^2 = 9,49$
Usvaja se pretpostavka o normalnoj raspodjeli karakteristike OAP „maseni udio pepela“.

Prilog P4. Rezultati χ^2 testa za karakteristiku OAP „maseni udio isparljive komponente“

Intervali [X_{i-1} ; X_i) [%]	Sredine intervala x_i^* [%]	Frekvencija f_i	$x_i^* - \bar{X}$ [%]	Normirani intervali [$u_{i-1}; u_i$)	$p_i = \Phi(u_i) - \Phi(u_{i-1})$	$n \cdot p_i$	$(f_i - n \cdot p_i)^2$	$\frac{(f_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}$
[58,7;60,7)	59.7	4	-3.25	$(-\infty; -0,64)$	0.2611	3.3943	0.367	0.108
[60,7;62,7)	61.7	4	-1.25	$[-0,64; -0,08)$	0.207	2.691	1.713	0.637
[62,7;64,7)	63.7	1	0.75	$[-0,08; 0,54)$	0.2373	3.0849	4.347	1.409
[64,7;66,7)	65.7	1	2.75	$[0,54; 1,07)$	0.1523	1.9799	0.960	0.485
[66,7;68,7]	67.7	3	4.75	$[1,07; +\infty)$	0.1423	1.8499	1.323	0.715
Suma Σ		13			1	13		$\chi_{sr}^2 = 3,354$

Za $\alpha = 0,05$ i $v = 4$ je: $\chi_{kr005,4}^2 = 9,49 \Rightarrow \chi_{sr}^2 = 3,354 < \chi_{kr}^2 = 9,49$
Usvaja se pretpostavka o normalnoj raspodjeli karakteristike OAP „maseni udio isparljive komponente“.

Prilog P5. Rezultati χ^2 testa za karakteristiku OAP „donja toplotna moć“

Intervali [X_{i-1} ; X_i] [%]	Sredine intervala X_i^* [%]	Frekv. f_i	$X_i^* - \bar{X}$ [%]	Normirani intervali [$u_{i-1}; u_i$)	$p_i = \Phi(u_i) - \Phi(u_{i-1})$	$n \cdot p_i$	$(f_i - n \cdot p_i)^2$	$\frac{(f_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}$
[27000;29428)	28214	3	-6398.5	$(-\infty; -1,22)$	0.1112	2.00	1	0.5
[29428;31857)	30642.5	3	-3970	$[-1,22; -0,65)$	0.1466	2.64	0.130	0.05
[31857;34286)	33071.5	1	-1541	$[-0,65; -0,08)$	0.2103	3.79	7.784	2.05
[34286;36715)	35500.5	3	888	$[-0,08; 0,50)$	0.2234	4.02	1.040	0.26
[36715;39144]	37929.5	8	3317	$[0,50; +\infty)$	0.3085	5.55	6.003	1.08
Suma Σ		18			1	18		$\chi_{sr}^2 = 3,94$

Za $\alpha = 0,05$ i $v = 4$ je: $\chi_{kr}^2_{0,05,4} = 9,49 \Rightarrow \chi_{sr}^2 = 3,94 < \chi_{kr}^2 = 9,49$
 Usvaja se pretpostavka o normalnoj raspodjeli karakteristike OAP „donja toplotna moć“.

Prilog P6. Materijalni bilans procesa sagorijevanja OAP u zavisnosti od koeficijenta viška vazduha

λ	Mase produkata sagorijevanja, kg/kg									
	$O_{min.}$	$L_{min.}$	L	m_{CO_2}	m_{H_2O}	m_{SO_2}	m_{N_2}	m_{O_2}	m_{sdg}	m_{vdg}
1.0	2.0773	9.0318	9.0318	2.3542	0.4519	0.0182	6.9555	0.0000	9.3279	9.7798
1.2	2.0773	9.0318	10.8382	2.3542	0.4519	0.0182	8.3464	0.4155	11.1343	11.5862
1.4	2.0773	9.0318	12.6445	2.3542	0.4519	0.0182	9.7373	0.8309	12.9406	13.3925
1.6	2.0773	9.0318	14.4509	2.3542	0.4519	0.0182	11.1282	1.2464	14.7470	15.1989
1.8	2.0773	9.0318	16.2572	2.3542	0.4519	0.0182	12.5191	1.6618	16.5533	17.0052
2.0	2.0773	9.0318	18.0636	2.3542	0.4519	0.0182	13.9099	2.0773	18.3597	18.8116

Prilog P7. Materijalni bilans procesa sagorijevanja OAP u zavisnosti od koeficijenta viška vazduha

λ	Zapremine produkata sagorijevanja, m ³ /kg									
	O _{min.}	L _{min.}	L	V _{CO₂}	V _{H₂O}	V _{SO₂}	V _{N₂}	V _{O₂}	V _{sdg}	V _{vdg}
1.0	1.4542	6.9247	6.9247	1.1986	0.5624	0.0064	5.4713	0.0000	6.6763	7.2387
1.2	1.4542	6.9247	8.3096	1.1986	0.5624	0.0064	6.5654	0.2908	8.0612	8.6236
1.4	1.4542	6.9247	9.6946	1.1986	0.5624	0.0064	7.6595	0.5817	9.4462	10.0086
1.6	1.4542	6.9247	11.0795	1.1986	0.5624	0.0064	8.7536	0.8725	10.8311	11.3935
1.8	1.4542	6.9247	12.4644	1.1986	0.5624	0.0064	9.8477	1.1633	12.2160	12.7784
2.0	1.4542	6.9247	13.8494	1.1986	0.5624	0.0064	10.9418	1.4542	13.6010	14.1634

Prilog P8. Srednja masena specifična toplota nekih gasova $|c_p|_0^t$, kJ(kg·K)^{*}

t, °C	H ₂	N ₂ čist	O ₂	CO	H ₂ O	CO ₂	SO ₂	Vazduh	N ₂ iz vazduha
0	14,38	1,039	0,9084	1,039	1,858	0,8205	0,607	1,004	1,026
100	14,40	1,041	0,9218	1,041	1,874	0,8689	0,637	1,007	1,031
200	14,42	1,044	0,9355	1,046	1,894	0,9122	0,663	1,013	1,035
400	14,48	1,057	0,9646	1,064	1,946	0,9852	0,707	1,029	1,048
600	14,55	1,076	0,9926	1,087	2,008	1,043	0,740	1,050	1,067
800	14,64	1,098	1,016	1,110	2,074	1,089	0,765	1,072	1,088
1000	14,78	1,118	1,035	1,131	2,142	1,126	0,784	1,092	1,108
1200	14,94	1,137	1,051	1,150	2,208	1,157	0,798	1,109	1,126
1400	15,12	1,153	1,065	1,166	2,271	1,183	0,810	1,124	1,142
1600	15,30	1,168	1,077	1,180	2,331	1,206	0,821	1,138	1,157
1800	15,48	1,181	1,089	1,193	2,386	1,225	0,829	1,151	1,169
2000	15,65	1,192	1,099	1,204	2,437	1,241	0,837	1,162	1,180
2200	15,82	1,202	1,109	1,214	2,485	1,256	-	1,172	1,191
2400	15,99	1,211	1,118	1,222	2,530	1,269	-	1,181	1,200
2600	16,14	1,219	1,127	1,230	2,573	1,281	-	1,189	1,207
2800	16,28	1,227	1,135	1,237	2,614	1,292	-	1,196	1,215
3000	16,42	1,233	1,143	1,243	2,652	1,301	-	1,203	1,221

*) $|c_v|_0^t = |c_p|_0^t - R_u$


```
REME,&MUZORKA,&t,&p,&xCO_0,&xH2_0,&xC_0);  
printf("C= %.4E\nH= %.4E\nO= %.4E\nN= %.4E\nS= %.4E\nW= %.4E\nA= %.4E\nVVAZDUHA=  
%.4E\nVREME= %.4E\nMUZORKA= %.4E\nt= %.4E\np=  
%.4E\nxC_0=%.4E\nxH2_0=%.4E\nxC_0=%.4E\n",C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZOR  
KA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0);
```

```
M1=-18.06361+4662.80/(t+273.0)-  
0.00209594*(t+273.0)+0.0000003862*pow((t+273.0),2)+3.034338*log10(t+273.0);  
M2=8.26730-8820.690/(t+273.0)-  
0.001208714*(t+273.0)+0.000000153734*pow((t+273.0),2)+2.295483*log10(t+273.0);  
M3=-28.45778-4825.986/(t+273.0)-  
0.005671122*(t+273.0)+0.0000008255488*pow((t+273.0),2)+14.515760*log10(t+273.0);
```

```
Kp_1=0.24*pow(10,M1);  
Kp_2=pow(10,M2);  
Kp_3=pow(10,M3);  
printf("M1= %.4E\nM2= %.4E\nM3= %.4E\nKp_1= %.4E\nKp_2= %.4E\nKp_3=  
%.4E\n",M1,M2,M3,Kp_1,Kp_2,Kp_3);
```

```
SUMAC=C/12.0;  
SUMAO2=O/32.0+W/36.0+(1.0/32.0)*1.4290*0.21*VVAZDUHA*VREME/MUZORKA;  
SUMAH2=H/2.0+W/18.0;  
SUMAN2=N/28.0+ (1.0/28.0)*1.251*0.79*VVAZDUHA*VREME/MUZORKA;  
printf("SUMAC= %.4E\nSUMAO2= %.4E\nSUMAH2= %.4E\nSUMAN2= %.4E\nKp_1=  
%.4E\nKp_2= %.4E\nKp_3=%.4E\n",SUMAC,SUMAO2,SUMAH2,SUMAN2,Kp_1,Kp_2,Kp_3);
```

```
L=SUMAC/SUMAO2;  
M=SUMAC/SUMAH2;  
I=SUMAN2/SUMAC;  
printf("L= %.4E\nM= %.4E\nI= %.4E\n",L,M,I);
```

```
A1=p*Kp_3*(1.0+I);  
B1=p*Kp_1*Kp_2*Kp_3*(1.0+I);  
C1=-Kp_2*Kp_3*(1.0+I);  
D1=p*Kp_2;  
E1=-Kp_2*Kp_3*(1.0+I);  
F1=-Kp_2*Kp_3;  
G1=Kp_2*Kp_3*(1.0+I);  
H1=Kp_2*Kp_3;  
I1=Kp_2*Kp_3*(2.0+I);
```

$$K1 = -Kp_2 * Kp_3;$$

$$A2 = 2.0 * p * Kp_3 * (1.0 - L);$$

$$B2 = 2.0 * p * Kp_1 * Kp_2 * Kp_3;$$

$$C2 = -2.0 * Kp_2 * Kp_3;$$

$$D2 = -L * p * Kp_2;$$

$$E2 = Kp_2 * Kp_3 * (L - 2.0);$$

$$G2 = Kp_2 * Kp_3 * (2.0 - L);$$

$$I2 = 2.0 * Kp_2 * Kp_3;$$

$$A3 = p * Kp_3;$$

$$B3 = p * Kp_1 * Kp_2 * Kp_3 * (1.0 - 2.0 * M);$$

$$C3 = -Kp_2 * Kp_3;$$

$$D3 = -M * p * Kp_2;$$

$$E3 = -Kp_2 * Kp_3;$$

$$F3 = M * Kp_2 * Kp_3;$$

$$G3 = Kp_2 * Kp_3;$$

$$H3 = -M * Kp_2 * Kp_3;$$

$$I3 = Kp_2 * Kp_3;$$

```
printf("A1= %.4E\nB1= %.4E\nC1= %.4E\nD1= %.4E\nE1= %.4E\nF1= %.4E\nG1= %.4E\nH1=
%.4E\nI1= %.4E\nK1= %.4E\n", A1,B1,C1,D1,E1,F1,G1,H1,I1,K1);
```

```
printf("A2= %.4E\nB2= %.4E\nC2= %.4E\nD2= %.4E\nE2= %.4E\nG2= %.4E\nI2= %.4E\n",
A2,B2,C2,D2,E2,G2,I2);
```

```
printf("A3= %.4E\nB3= %.4E\nC3= %.4E\nD3= %.4E\nE3= %.4E\nF3= %.4E\nG3= %.4E\nH3=
%.4E\nI3= %.4E\n", A3,B3,C3,D3,E3,F3,G3,H3,I3);
```

```
do {
```

```
FUN1=A1*pow(xCO_0,2.0)+B1*pow(xH2_0,2.0)+C1*pow(xC_0,2.0)+D1*xCO_0*xH2_0+E1*xCO_0*
xC_0+F1*xH2_0*xC_0+G1*xCO_0+H1*xH2_0+I1*xC_0+K1;
```

```
FUN2=A2*pow(xCO_0,2.0)+B2*pow(xH2_0,2.0)+C2*pow(xC_0,2.0)+D2*xCO_0*xH2_0+E2*xCO_0*
xC_0+G2*xCO_0+I2*xC_0;
```

```
FUN3=A3*pow(xCO_0,2.0)+B3*pow(xH2_0,2.0)+C3*pow(xC_0,2.0)+D3*xCO_0*xH2_0+E3*xCO_0*
xC_0+F3*xH2_0*xC_0+G3*xCO_0+H3*xH2_0+I3*xC_0;
```

```
FUN1_1=2*A1*xCO_0+D1*xH2_0+E1*xC_0+G1;
```

```
FUN1_2=2*B1*xH2_0+D1*xCO_0+F1*xC_0+H1;
```

```
FUN1_3=2*C1*xC_0+E1*xCO_0+F1*xH2_0+I1;
```

```
FUN2_1=2*A2*xCO_0+D2*xH2_0+E2*xC_0+G2;
```

```
FUN2_2=2*B2*xH2_0+D2*xCO_0;
```

```
FUN2_3=2*C2*xC_0+E2*xCO_0+I2;
```

FUN3_1=2*A3*xCO_0+D3*xH2_0+E3*xC_0+G3;

FUN3_2=2*B3*xH2_0+D3*xCO_0+F3*xC_0+H3;

FUN3_3=2*C3*xC_0+E3*xCO_0+F3*xH2_0+I3;

DELTA=FUN1_1*FUN2_2*FUN3_3+FUN1_2*FUN2_3*FUN3_1+FUN1_3*FUN2_1*FUN3_2-

FUN3_1*FUN2_2*FUN1_3-FUN3_2*FUN2_3*FUN1_1-FUN3_3*FUN2_1*FUN1_2;

DELTA1=-FUN1*FUN2_2*FUN3_3-FUN1_2*FUN2_3*FUN3-

FUN1_3*FUN2*FUN3_2+FUN3*FUN2_2*FUN1_3+FUN3_2*FUN2_3*FUN1+FUN3_3*FUN2*FUN1_2;

DELTA2=-FUN1_1*FUN2*FUN3_3-FUN1*FUN2_3*FUN3_1-

FUN1_3*FUN2_1*FUN3+FUN3_1*FUN2*FUN1_3+FUN3*FUN2_3*FUN1_1+FUN3_3*FUN2_1*FUN1;

DELTA3=-FUN1_1*FUN2_2*FUN3-FUN1_2*FUN2*FUN3_1-

FUN1*FUN2_1*FUN3_2+FUN3_1*FUN2_2*FUN1+FUN3_2*FUN2*FUN1_1+FUN3*FUN2_1*FUN1_2;

h1=DELTA1/DELTA;

k1=DELTA2/DELTA;

l1=DELTA3/DELTA;

xCO_1=xCO_0+h1;

xH2_1=xH2_0+k1;

xC_1=xC_0+l1;

RAZLIKA1=ABS(xCO_1-xCO_0);

RAZLIKA2=ABS(xH2_1-xH2_0);

RAZLIKA3=ABS(xC_1-xC_0);

printf("RAZLIKA1= %.4E\nRAZLIKA2= %.4E\nRAZLIKA3= %.4E\n",RAZLIKA1,RAZLIKA2,RAZLIKA3);

xCO_0=xCO_1;

xH2_0=xH2_1;

xC_0=xC_1;

} while (RAZLIKA1>=EPS && RAZLIKA2>=EPS && RAZLIKA3>=EPS);

rintf("FUN1= %.4E\nFUN2= %.4E\nFUN3= %.4E\nFUN1_1= %.4E\nFUN1_2= %.4E\nFUN1_3=

%.4E\nFUN2_1= %.4E\nFUN2_2= %.4E\nFUN2_3= %.4E\nFUN3_1= %.4E\nFUN3_2=

%.4E\nFUN3_3= %.4E\nDELTA= %.4E\nDELTA1= %.4E\nDELTA2= %.4E\nDELTA3= %.4E\nh1=

%.4E\nk1= %.4E\nl1=

%.4E\n",FUN1,FUN2,FUN3,FUN1_1,FUN1_2,FUN1_3,FUN2_1,FUN2_2,FUN2_3,FUN3_1,FUN3_2,

```
FUN3_3,DELTA,DELTA1,DELTA2,DELTA3,h1,k1,l1);
```

```
printf("xCO_1= %.4E\nxH2_1= %.4E\nxC_1= %.4E\n",xCO_1,xH2_1,xC_1);
```

```
xCO2_1=pow(xCO_1,2.0)*p/(Kp_2*(1-xC_1));
```

```
xCH4_1=Kp_1*pow(xH2_1,2.0)*p/(1-xC_1);
```

```
xH2O_1=xCO_1*xH2_1*p/(Kp_3*(1-xC_1));
```

```
xN2_1=1-xC_1-xCO_1-xCO2_1-xCH4_1-xH2O_1-xH2_1;
```

```
yCO_1=xCO_1/(1-xC_1);
```

```
yH2_1=xH2_1/(1-xC_1);
```

```
yCO2_1=xCO2_1/(1-xC_1);
```

```
yCH4_1=xCH4_1/(1-xC_1);
```

```
yH2O_1=xH2O_1/(1-xC_1);
```

```
yN2_1=xN2_1/(1-xC_1);
```

```
printf("xCO_1= %.4E\nxH2_1= %.4E\nxC_1= %.4E\nxCO2_1= %.4E\nxCH4_1= %.4E\nxH2O_1= %.4E\nxN2_1= %.4E\n",xCO_1,xH2_1,xC_1,xCO2_1,xCH4_1,xH2O_1,xN2_1);
```

```
printf("yCO_1= %.4E\nyH2_1= %.4E\nyCO2_1= %.4E\nyCH4_1= %.4E\nyH2O_1= %.4E\nyN2_1= %.4E\n",yCO_1,yH2_1,yCO2_1,yCH4_1,yH2O_1,yN2_1);
```

```
}
```

Prilog P11. Izvorni kod

```
/*
```

```
PRORACUN SASTAVA HOMOGENE RAVNOTEZNE MESAVINE PRI GASIFIKACIJI OAP  
INJEKTIRANJEM VAZDUHA URADJEN NA OSNOVU BROJA MOLOVA U PROGRAMSKOM  
JEZIKU C
```

```
*/
```

```
#define EPS 0.00000000001
```

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <math.h>
```

```
double ABS (double n)
```

```
{
```

```
if (n<0)
```

```
return -n;
```

```
else
```

```
return n;
```

```
}
```

```
void main()
```

```
{
```


$$G1 = -(4*b1*p*Kp_1 + b0 + d);$$

$$I1 = 2*b1*p*Kp_1;$$

$$J1 = b1*b1*p*Kp_1;$$

$$B2 = -(1 + 0.25*Kp_2/p);$$

$$C2 = -1.0;$$

$$D2 = 0.5*Kp_2/p;$$

$$F2 = -(0.5*Kp_2/p + 2);$$

$$G2 = -b2*Kp_2/p;$$

$$H2 = (-0.5*Kp_2/p)*(b0 - b2 + d);$$

$$I2 = b2*Kp_2/p;$$

$$J2 = b2*(b0 + d)*(Kp_2/p);$$

$$C3 = -(1 + Kp_3/p);$$

$$D3 = 2.0;$$

$$E3 = (2 + Kp_3/p);$$

$$F3 = -(1 + 0.5*Kp_3/p);$$

$$G3 = -b3*Kp_3/p;$$

$$H3 = (b3/2)*(Kp_3/p) - b1;$$

$$I3 = (b3 - b0 - d)*Kp_3/p - b1;$$

$$J3 = (b3*b0 + b3*d)*Kp_3/p;$$

```
printf("b1= %.4E\nb2= %.4E\nb3= %.4E\nb0= %.4E\nd= %.4E\n",b1,b2,b3,b0,d);
```

```
printf("A1= %.4E\nC1= %.4E\nD1= %.4E\nE1= %.4E\nG1= %.4E\nI1= %.4E\nJ1= %.4E\n",  
A1,C1,D1,E1,G1,I1,J1);
```

```
printf("B2= %.4E\nC2= %.4E\nD2= %.4E\nF2= %.4E\nG2= %.4E\nH2= %.4E\nI2= %.4E\nJ2=  
%.4E\n", B2,C2,D2,F2,G2,H2,I2,J2);
```

```
printf("C3= %.4E\nD3= %.4E\nE3= %.4E\nF3= %.4E\nG3= %.4E\nH3= %.4E\nI3= %.4E\nJ3=  
%.4E\n", C3,D3,E3,F3,G3,H3,I3,J3);
```

```
do {
```

```
FUN1=A1*pow(yCH4_0,2.0)+C1*pow(yH2_0,2.0)+D1*yCH4_0*yCO2_0+E1*yCH4_0*yH2_0+G1*yC  
H4_0+I1*yH2_0+J1;
```

```
FUN2=B2*pow(yCO2_0,2.0)+C2*pow(yH2_0,2.0)+D2*yCH4_0*yCO2_0+F2*yCO2_0*yH2_0+G2*yC  
H4_0+H2*yCO2_0+I2*yH2_0+J2;
```

```
FUN3=C3*pow(yH2_0,2.0)+D3*yCH4_0*yCO2_0+E3*yCH4_0*yH2_0+F3*yCO2_0*yH2_0+G3*yCH  
4_0+H3*yCO2_0+I3*yH2_0+J3;
```

```
FUN1_1=2*A1*yCH4_0+D1*yCO2_0+E1*yH2_0+G1;
```

```
FUN1_2=D1*yCH4_0;
```

FUN1_3=2*C1*yH2_0+E1*yCH4_0+I1;

FUN2_1=D2*yCO2_0+G2;

FUN2_2=2*B2*yCO2_0+D2*yCH4_0+F2*yH2_0+H2;

FUN2_3=2*C2*yH2_0+F2*yCO2_0+I2;

FUN3_1=D3*yCO2_0+E3*yH2_0+G3;

FUN3_2=D3*yCH4_0+F3*yH2_0+H3;

FUN3_3=2*C3*yH2_0+E3*yCH4_0+F3*yCO2_0+I3;

DELTA=FUN1_1*FUN2_2*FUN3_3+FUN1_2*FUN2_3*FUN3_1+FUN1_3*FUN2_1*FUN3_2-

FUN3_1*FUN2_2*FUN1_3-FUN3_2*FUN2_3*FUN1_1-FUN3_3*FUN2_1*FUN1_2;

DELTA1=-FUN1*FUN2_2*FUN3_3-FUN1_2*FUN2_3*FUN3-

FUN1_3*FUN2*FUN3_2+FUN3*FUN2_2*FUN1_3+FUN3_2*FUN2_3*FUN1+FUN3_3*FUN2*FUN1_2;

DELTA2=-FUN1_1*FUN2*FUN3_3-FUN1*FUN2_3*FUN3_1-

FUN1_3*FUN2_1*FUN3+FUN3_1*FUN2*FUN1_3+FUN3*FUN2_3*FUN1_1+FUN3_3*FUN2_1*FUN1

DELTA3=-FUN1_1*FUN2_2*FUN3-FUN1_2*FUN2*FUN3_1-

FUN1*FUN2_1*FUN3_2+FUN3_1*FUN2_2*FUN1+FUN3_2*FUN2*FUN1_1+FUN3*FUN2_1*FUN1_2;

h1=DELTA1/DELTA;

k1=DELTA2/DELTA;

l1=DELTA3/DELTA;

yCH4_1=yCH4_0+h1;

yCO2_1=yCO2_0+k1;

yH2_1=yH2_0+l1;

RAZLIKA1=ABS(yCH4_1-yCH4_0);

RAZLIKA2=ABS(yCO2_1-yCO2_0);

RAZLIKA3=ABS(yH2_1-yH2_0);

printf("RAZLIKA1= %.4E\nRAZLIKA2= %.4E\nRAZLIKA3= %.4E\n",RAZLIKA1,RAZLIKA2,RAZLIKA3);

yCH4_0=yCH4_1;

yCO2_0=yCO2_1;

yH2_0=yH2_1;

```
} while (RAZLIKA1>=EPS && RAZLIKA2>=EPS && RAZLIKA3>=EPS);
printf("FUN1= %.4E\nFUN2= %.4E\nFUN3= %.4E\nFUN1_1= %.4E\nFUN1_2= %.4E\nFUN1_3=
%.4E\nFUN2_1= %.4E\nFUN2_2= %.4E\nFUN2_3= %.4E\nFUN3_1= %.4E\nFUN3_2=
%.4E\nFUN3_3= %.4E\nDELTA= %.4E\nDELTA1= %.4E\nDELTA2= %.4E\nDELTA3= %.4E\nh1=
%.4E\nk1= %.4E\nl1=
%.4E\n",FUN1,FUN2,FUN3,FUN1_1,FUN1_2,FUN1_3,FUN2_1,FUN2_2,FUN2_3,FUN3_1,FUN3_2,
FUN3_3,DELTA,DELTA1,DELTA2,DELTA3,h1,k1,l1);

yCO=(yCO2_1+yH2_1)/(b0-yCH4_1+0.5*yCO2_1+yH2_1+d);
yH2=(b1-2*yCH4_1+yH2_1)/(b0-yCH4_1+0.5*yCO2_1+yH2_1+d);
yCO2=(b2-0.5*yCO2_1)/(b0-yCH4_1+0.5*yCO2_1+yH2_1+d);
yCH4=yCH4_1/(b0-yCH4_1+0.5*yCO2_1+yH2_1+d);
yH2O=(b3-yH2_1)/(b0-yCH4_1+0.5*yCO2_1+yH2_1+d);
yN2=d/(b0-yCH4_1+0.5*yCO2_1+yH2_1+d);

printf("yCO= %.4E\nyH2= %.4E\nyCO2= %.4E\nyCH4= %.4E\nyH2O= %.4E\nyN2=
%.4E\n",yCO,yH2,yCO2,yCH4,yH2O,yN2);
}
```

PRILOG P12. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m³/h u reakcioni prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI:
C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:
C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 1.0000E-001
VREME= 1.9140E-002
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 3.0000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -2.6311E+000
M2= -1.4374E+000
M3= 1.7812E-001
Kp_1= 5.6121E-004

Kp_2= 3.6526E-002
Kp_3= 1.5070E+000
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 3.2227E-003
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 6.7914E-003
Kp_1= 5.6121E-004
Kp_2= 3.6526E-002
Kp_3= 1.5070E+000
L= 1.6601E+001
M= 2.1310E+000
I= 1.2694E-001
A1= 1.7204E+005
B1= 3.5266E+000
C1= -6.2033E-002
D1= 3.7001E+003
E1= -6.2033E-002
F1= -5.5045E-002
G1= 6.2033E-002
H1= 5.5045E-002
I1= 1.1708E-001
K1= -5.5045E-002
A2= -4.7633E+006
B2= 6.2587E+000
C2= -1.1009E-001
D2= -6.1426E+004
E2= 8.0372E-001
G2= -8.0372E-001
I2= 1.1009E-001
A3= 1.5266E+005
B3= -1.0208E+001
C3= -5.5045E-002
D3= -7.8849E+003
E3= -5.5045E-002
F3= 1.1730E-001
G3= 5.5045E-002
H3= -1.1730E-001
I3= 5.5045E-002
RAZLIKA1= 1.5000E-001
RAZLIKA2= 1.4999E-001
RAZLIKA3= 2.3922E-001
RAZLIKA1= 7.5000E-002
RAZLIKA2= 7.4994E-002
RAZLIKA3= 1.1022E-001
RAZLIKA1= 3.7500E-002
RAZLIKA2= 3.7490E-002
RAZLIKA3= 4.7068E-002
RAZLIKA1= 1.8750E-002
RAZLIKA2= 1.8730E-002
RAZLIKA3= 2.0114E-002
RAZLIKA1= 9.3752E-003
RAZLIKA2= 9.3339E-003
RAZLIKA3= 9.4412E-003
RAZLIKA1= 4.6879E-003
RAZLIKA2= 4.6051E-003
RAZLIKA3= 4.6439E-003
RAZLIKA1= 2.3445E-003
RAZLIKA2= 2.1789E-003
RAZLIKA3= 2.2529E-003
RAZLIKA1= 1.1733E-003

RAZLIKA2= 8.4206E-004
RAZLIKA3= 9.7912E-004
RAZLIKA1= 5.8888E-004
RAZLIKA2= 7.5782E-005
RAZLIKA3= 1.4485E-004
RAZLIKA1= 2.9885E-004
RAZLIKA2= 1.0506E-003
RAZLIKA3= 8.2822E-004
RAZLIKA1= 1.5831E-004
RAZLIKA2= 2.7202E-003
RAZLIKA3= 3.2063E-003
RAZLIKA1= 9.6726E-005
RAZLIKA2= 7.3270E-003
RAZLIKA3= 1.3538E-002
RAZLIKA1= 2.6039E-005
RAZLIKA2= 2.0722E-002
RAZLIKA3= 6.9572E-002
RAZLIKA1= 1.4121E-005
RAZLIKA2= 5.9379E-003
RAZLIKA3= 1.0115E-002
RAZLIKA1= 2.4946E-006
RAZLIKA2= 2.7851E-004
RAZLIKA3= 1.1641E-003
RAZLIKA1= 5.3507E-009
RAZLIKA2= 6.6903E-006
RAZLIKA3= 3.1759E-005
RAZLIKA1= 8.9056E-013
RAZLIKA2= 9.1011E-010
RAZLIKA3= 2.9718E-009
FUN1= 2.4437E-010
FUN2= -2.1663E-009
FUN3= -8.1524E-010
FUN1_1= 1.0759E+002
FUN1_2= 2.7487E-001
FUN1_3= 3.4192E-002
FUN2_1= -1.8498E+003
FUN2_2= -6.8224E-001
FUN2_3= -3.4305E-002
FUN3_1= -2.1185E+002
FUN3_2= -7.3396E-001
FUN3_3= -1.3932E-002
DELTA= 3.4707E+001
DELTA1= -3.0909E-011
DELTA2= -3.1587E-008
DELTA3= 1.0314E-007
h1= -8.9056E-013
k1= -9.1011E-010
l1= 2.9718E-009

Ravnatežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 1.6714E-005
xH2_1= 2.7518E-002
xC_1= 6.5586E-001
xCO2_1= 2.2514E-003
xCH4_1= 1.2509E-001
xH2O_1= 8.9839E-002
xN2_1= 9.9423E-002

Ravnatežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 4.8569E-005
yH2_1= 7.9961E-002
yCO2_1= 6.5421E-003
yCH4_1= 3.6349E-001
yH2O_1= 2.6105E-001
yN2_1= 2.8891E-001

Prilog P13. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m³/h u reakcioni prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI:

C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001

H= 5.0000E-002

O= 4.4000E-002

N= 1.0000E-003

S= 9.1000E-003

W= 1.9000E-003

A= 2.5200E-001

VVAZDUHA= 1.0000E-001

VREME= 3.7200E-002

MUZORKA= 1.0000E-002

t= 3.5000E+002

p= 1.0130E+005

xCO_0= 3.0000E-001

xH2_0= 3.0000E-001

xC_0= 3.0000E-001

M1= -3.2556E+000

M2= -1.6977E-001

M3= 1.1473E+000

Kp_1= 1.3322E-004

Kp_2= 6.7644E-001

Kp_3= 1.4037E+001

SUMAC= 5.3500E-002

SUMAO2= 4.9163E-003

SUMAH2= 2.5106E-002

SUMAN2= 1.3166E-002

Kp_1= 1.3322E-004

Kp_2= 6.7644E-001

Kp_3= 1.4037E+001

L= 1.0882E+001

M= 2.1310E+000

I= 2.4609E-001

A1= 1.7719E+006

B1= 1.5968E+002

C1= -1.1832E+001

D1= 6.8523E+004

E1= -1.1832E+001

F1= -9.4953E+000

G1= 1.1832E+001

H1= 9.4953E+000

I1= 2.1327E+001

K1= -9.4953E+000

A2= -2.8104E+007

B2= 2.5629E+002

C2= -1.8991E+001

D2= -7.4568E+005

E2= 8.4339E+001

G2= -8.4339E+001
I2= 1.8991E+001
A3= 1.4220E+006
B3= -4.1801E+002
C3= -9.4953E+000
D3= -1.4602E+005
E3= -9.4953E+000
F3= 2.0235E+001
G3= 9.4953E+000
H3= -2.0235E+001
I3= 9.4953E+000
RAZLIKA1= 1.5000E-001
RAZLIKA2= 1.4996E-001
RAZLIKA3= 1.9719E-001
RAZLIKA1= 7.5001E-002
RAZLIKA2= 7.4939E-002
RAZLIKA3= 9.0100E-002
RAZLIKA1= 3.7501E-002
RAZLIKA2= 3.7386E-002
RAZLIKA3= 4.0367E-002
RAZLIKA1= 1.8752E-002
RAZLIKA2= 1.8524E-002
RAZLIKA3= 1.8900E-002
RAZLIKA1= 9.3783E-003
RAZLIKA2= 8.9243E-003
RAZLIKA3= 9.1335E-003
RAZLIKA1= 4.6940E-003
RAZLIKA2= 3.7876E-003
RAZLIKA3= 4.1835E-003
RAZLIKA1= 2.3565E-003
RAZLIKA2= 5.4523E-004
RAZLIKA3= 1.2547E-003
RAZLIKA1= 1.1968E-003
RAZLIKA2= 2.4492E-003
RAZLIKA3= 1.4040E-003
RAZLIKA1= 6.3249E-004
RAZLIKA2= 6.9648E-003
RAZLIKA3= 6.3824E-003
RAZLIKA1= 3.5666E-004
RAZLIKA2= 1.7034E-002
RAZLIKA3= 2.2807E-002
RAZLIKA1= 1.1962E-005
RAZLIKA2= 1.9861E-002
RAZLIKA3= 4.5109E-002
RAZLIKA1= 9.5624E-006
RAZLIKA2= 3.4434E-003
RAZLIKA3= 4.2343E-003
RAZLIKA1= 6.9064E-007
RAZLIKA2= 7.5399E-005
RAZLIKA3= 3.1439E-005
RAZLIKA1= 5.7604E-010
RAZLIKA2= 3.2221E-008
RAZLIKA3= 1.8180E-007
RAZLIKA1= 5.5587E-016
RAZLIKA2= 9.2079E-015
RAZLIKA3= 2.3204E-014
FUN1= 1.6929E-012
FUN2= -2.3537E-011
FUN3= -3.1042E-012
FUN1_1= 3.8044E+003

FUN1_2= 2.8367E+001
FUN1_3= 6.9102E+000
FUN2_1= -4.3676E+004
FUN2_2= -7.1976E+001
FUN2_3= -3.3932E+000
FUN3_1= -6.7414E+003
FUN3_2= -6.8024E+001
FUN3_3= -7.1738E-001
DELTA= 1.6256E+007
DELTA1= -9.0363E-009
DELTA2= 1.4972E-007
DELTA3= 3.7797E-007
h1= -5.5587E-016
k1= 9.2101E-015
l1= 2.3251E-014

Ravnatežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 1.3002E-004
xH2_1= 4.8725E-002
xC_1= 5.8963E-001
xCO2_1= 6.1689E-003
xCH4_1= 7.8077E-002
xH2O_1= 1.1141E-001
xN2_1= 1.6587E-001

Ravnatežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 3.1683E-004
yH2_1= 1.1873E-001
yCO2_1= 1.5032E-002
yCH4_1= 1.9026E-001
yH2O_1= 2.7147E-001
yN2_1= 4.0418E-001

Prilog P14. Rezultati proračuna ravnatežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI:

C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 1.0000E-001
VREME= 5.5300E-002
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 4.0000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -3.7897E+000
M2= 9.0860E-001
M3= 1.9794E+000
Kp_1= 3.8948E-005
Kp_2= 8.1022E+000

Kp_3= 9.5368E+001
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 6.6137E-003
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 1.9554E-002
Kp_1= 3.8948E-005
Kp_2= 8.1022E+000
Kp_3= 9.5368E+001
L= 8.0893E+000
M= 2.1310E+000
I= 3.6550E-001
A1= 1.3192E+007
B1= 4.1629E+003
C1= -1.0551E+003
D1= 8.2075E+005
E1= -1.0551E+003
F1= -7.7269E+002
G1= 1.0551E+003
H1= 7.7269E+002
I1= 1.8278E+003
K1= -7.7269E+002
A2= -1.3698E+008
B2= 6.0972E+003
C2= -1.5454E+003
D2= -6.6393E+006
E2= 4.7051E+003
G2= -4.7051E+003
I2= 1.5454E+003
A3= 9.6608E+006
B3= -9.9446E+003
C3= -7.7269E+002
D3= -1.7490E+006
E3= -7.7269E+002
F3= 1.6466E+003
G3= 7.7269E+002
H3= -1.6466E+003
I3= 7.7269E+002
RAZLIKA1= 1.5000E-001
RAZLIKA2= 1.4975E-001
RAZLIKA3= 1.5351E-001
RAZLIKA1= 7.5005E-002
RAZLIKA2= 7.4559E-002
RAZLIKA3= 7.5440E-002
RAZLIKA1= 3.7509E-002
RAZLIKA2= 3.6650E-002
RAZLIKA3= 3.7018E-002
RAZLIKA1= 1.8766E-002
RAZLIKA2= 1.7073E-002
RAZLIKA3= 1.7790E-002
RAZLIKA1= 9.4061E-003
RAZLIKA2= 6.0602E-003
RAZLIKA3= 7.5137E-003
RAZLIKA1= 4.7445E-003
RAZLIKA2= 1.8325E-003
RAZLIKA3= 7.2522E-004
RAZLIKA1= 2.4347E-003
RAZLIKA2= 1.0378E-002
RAZLIKA3= 6.7694E-003
RAZLIKA1= 1.2276E-003
RAZLIKA2= 2.2440E-002

RAZLIKA3= 2.0584E-002
RAZLIKA1= 2.3048E-004
RAZLIKA2= 2.2238E-002
RAZLIKA3= 2.9195E-002
RAZLIKA1= 4.6732E-005
RAZLIKA2= 7.5695E-004
RAZLIKA3= 1.0047E-003
RAZLIKA1= 2.5900E-007
RAZLIKA2= 3.0091E-005
RAZLIKA3= 4.1694E-005
RAZLIKA1= 7.8794E-011
RAZLIKA2= 2.0242E-009
RAZLIKA3= 6.8133E-010
RAZLIKA1= 5.4210E-019
RAZLIKA2= 9.7145E-017
RAZLIKA3= 2.2204E-016
FUN1= 0.0000E+000
FUN2= 0.0000E+000
FUN3= 2.8422E-013
FUN1_1= 7.8607E+004
FUN1_2= 1.5497E+003
FUN1_3= 6.4364E+002
FUN2_1= -6.7758E+005
FUN2_2= -3.8922E+003
FUN2_3= -1.0296E+002
FUN3_1= -1.1182E+005
FUN3_2= -3.4570E+003
FUN3_3= 6.4952E+001
DELTA= 1.2657E+012
DELTA1= -6.6667E-007
DELTA2= 1.2165E-004
DELTA3= -2.1147E-004
h1= -5.2670E-019
k1= 9.6110E-017
l1= -1.6708E-016

Ravnotežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 7.1862E-004
xH2_1= 7.2075E-002
xC_1= 5.3441E-001
xCO2_1= 1.3868E-002
xCH4_1= 4.4020E-002
xH2O_1= 1.1816E-001
xN2_1= 2.1675E-001

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 1.5435E-003
yH2_1= 1.5480E-001
yCO2_1= 2.9785E-002
yCH4_1= 9.4547E-002
yH2O_1= 2.5379E-001
yN2_1= 4.6553E-001

Prilog P15. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m³/h u reakcioni prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI:

C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 1.0000E-001
VREME= 6.5500E-002
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 4.5000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -4.2523E+000
M2= 1.8367E+000
M3= 2.7012E+000
Kp_1= 1.3426E-005
Kp_2= 6.8666E+001
Kp_3= 5.0252E+002
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 7.5702E-003
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 2.3155E-002
Kp_1= 1.3426E-005
Kp_2= 6.8666E+001
Kp_3= 5.0252E+002
L= 7.0671E+000
M= 2.1310E+000
I= 4.3280E-001
A1= 7.2937E+007
B1= 6.7241E+004
C1= -4.9440E+004
D1= 6.9558E+006
E1= -4.9440E+004
F1= -3.4506E+004
G1= 4.9440E+004
H1= 3.4506E+004
I1= 8.3946E+004
K1= -3.4506E+004
A2= -6.1770E+008
B2= 9.3860E+004
C2= -6.9012E+004
D2= -4.9158E+007
E2= 1.7485E+005
G2= -1.7485E+005
I2= 6.9012E+004
A3= 5.0906E+007
B3= -1.5309E+005
C3= -3.4506E+004
D3= -1.4823E+007
E3= -3.4506E+004
F3= 7.3533E+004
G3= 3.4506E+004
H3= -7.3533E+004
I3= 3.4506E+004
RAZLIKA1= 1.5003E-001
RAZLIKA2= 1.4878E-001
RAZLIKA3= 1.2751E-001

RAZLIKA1= 7.5036E-002
RAZLIKA2= 7.2655E-002
RAZLIKA3= 6.9053E-002
RAZLIKA1= 3.7556E-002
RAZLIKA2= 3.3002E-002
RAZLIKA3= 3.4314E-002
RAZLIKA1= 1.8843E-002
RAZLIKA2= 1.0127E-002
RAZLIKA3= 1.3934E-002
RAZLIKA1= 9.4985E-003
RAZLIKA2= 6.7006E-003
RAZLIKA3= 8.4957E-005
RAZLIKA1= 4.6861E-003
RAZLIKA2= 2.2601E-002
RAZLIKA3= 1.3778E-002
RAZLIKA1= 1.6065E-003
RAZLIKA2= 2.7994E-002
RAZLIKA3= 2.2803E-002
RAZLIKA1= 3.5746E-006
RAZLIKA2= 5.4130E-003
RAZLIKA3= 6.2287E-003
RAZLIKA1= 1.1369E-006
RAZLIKA2= 8.8490E-005
RAZLIKA3= 5.7415E-005
RAZLIKA1= 6.9066E-010
RAZLIKA2= 9.1697E-009
RAZLIKA3= 7.8370E-009
RAZLIKA1= 1.3444E-017
RAZLIKA2= 1.1380E-015
RAZLIKA3= 8.8818E-016
FUN1= -1.4552E-011
FUN2= 2.1828E-011
FUN3= 1.1278E-010
FUN1_1= 1.1077E+006
FUN1_2= 4.9491E+004
FUN1_3= 3.0792E+004
FUN2_1= -8.3031E+006
FUN2_2= -1.1671E+005
FUN2_3= 2.0863E+002
FUN3_1= -1.1565E+006
FUN3_2= -1.0739E+005
FUN3_3= 6.9797E+003
DELTA= 2.5278E+016
DELTA1= -3.3826E-001
DELTA2= 2.8753E+001
DELTA3= -2.2101E+001
h1= -1.3382E-017
k1= 1.1375E-015
l1= -8.7430E-016

Ravnatežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 2.7486E-003
xH2_1= 9.8059E-002
xC_1= 5.0197E-001
xCO2_1= 2.2379E-002
xCH4_1= 2.6259E-002
xH2O_1= 1.0909E-001
xN2_1= 2.3949E-001

Ravnatežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 5.5190E-003
yH2_1= 1.9689E-001
yCO2_1= 4.4935E-002
yCH4_1= 5.2725E-002
yH2O_1= 2.1905E-001
yN2_1= 4.8088E-001

Prilog P16. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 1.0000E-001
VREME= 8.2200E-002
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 5.0000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -4.6572E+000
M2= 2.6436E+000
M3= 3.3327E+000
Kp_1= 5.2845E-006
Kp_2= 4.4016E+002
Kp_3= 2.1511E+003
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 9.1363E-003
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 2.9049E-002
Kp_1= 5.2845E-006
Kp_2= 4.4016E+002
Kp_3= 2.1511E+003
L= 5.8557E+000
M= 2.1310E+000
I= 5.4297E-001
A1= 3.3623E+008
B1= 7.8206E+005
C1= -1.4609E+006
D1= 4.4588E+007
E1= -1.4609E+006
F1= -9.4683E+005
G1= 1.4609E+006
H1= 9.4683E+005
I1= 2.4078E+006
K1= -9.4683E+005
A2= -2.1162E+009
B2= 1.0137E+006
C2= -1.8937E+006
D2= -2.6110E+008
E2= 3.6507E+006
G2= -3.6507E+006

I2= 1.8937E+006
A3= 2.1791E+008
B3= -1.6534E+006
C3= -9.4683E+005
D3= -9.5017E+007
E3= -9.4683E+005
F3= 2.0177E+006
G3= 9.4683E+005
H3= -2.0177E+006
I3= 9.4683E+005
RAZLIKA1= 1.5012E-001
RAZLIKA2= 1.4572E-001
RAZLIKA3= 8.3247E-002
RAZLIKA1= 7.5108E-002
RAZLIKA2= 6.5454E-002
RAZLIKA3= 6.1361E-002
RAZLIKA1= 3.7563E-002
RAZLIKA2= 2.0333E-002
RAZLIKA3= 2.7240E-002
RAZLIKA1= 1.8494E-002
RAZLIKA2= 9.3261E-003
RAZLIKA3= 2.8586E-003
RAZLIKA1= 7.8960E-003
RAZLIKA2= 2.5388E-002
RAZLIKA3= 1.2499E-002
RAZLIKA1= 1.5840E-003
RAZLIKA2= 1.4412E-002
RAZLIKA3= 9.5541E-003
RAZLIKA1= 1.5673E-005
RAZLIKA2= 7.9334E-004
RAZLIKA3= 6.8182E-004
RAZLIKA1= 5.6748E-008
RAZLIKA2= 6.9453E-007
RAZLIKA3= 2.4945E-007
RAZLIKA1= 1.5972E-014
RAZLIKA2= 1.1423E-012
RAZLIKA3= 1.2739E-012
FUN1= -2.4494E-007
FUN2= 3.8986E-006
FUN3= 3.2273E-006
FUN1_1= 1.2279E+007
FUN1_2= 1.1151E+006
FUN1_3= 9.6158E+005
FUN2_1= -7.1932E+007
FUN2_2= -2.1668E+006
FUN2_3= 2.1555E+005
FUN3_1= -6.7145E+006
FUN3_2= -2.3732E+006
FUN3_3= 3.2113E+005
DELTA= 1.7204E+020
DELTA1= 2.7478E+006
DELTA2= 1.9652E+008
DELTA3= -2.1917E+008
h1= 1.5972E-014
k1= 1.1423E-012
l1= -1.2739E-012

Ravnatežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 9.2182E-003
xH2_1= 1.1841E-001
xC_1= 4.5197E-001
xCO2_1= 3.5686E-002
xCH4_1= 1.3695E-002
xH2O_1= 9.3794E-002
xN2_1= 2.7723E-001

Ravnatežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 1.6821E-002
yH2_1= 2.1606E-001
yCO2_1= 6.5117E-002
yCH4_1= 2.4990E-002
yH2O_1= 1.7115E-001
yN2_1= 5.0586E-001

Prilog P17. Rezultati proračuna ravnatežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m³/h u reakcioni prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI:

C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001

H= 5.0000E-002

O= 4.4000E-002

N= 1.0000E-003

S= 9.1000E-003

W= 1.9000E-003

A= 2.5200E-001

VVAZDUHA= 1.0000E-001

VREME= 9.9400E-002

MUZORKA= 1.0000E-002

t= 5.5000E+002

p= 1.0130E+005

xCO_0= 3.0000E-001

xH2_0= 3.0000E-001

xC_0= 3.0000E-001

M1= -5.0151E+000

M2= 3.3512E+000

M3= 3.8894E+000

Kp_1= 2.3182E-006

Kp_2= 2.2448E+003

Kp_3= 7.7518E+003

SUMAC= 5.3500E-002

SUMAO2= 1.0749E-002

SUMAH2= 2.5106E-002

SUMAN2= 3.5120E-002

Kp_1= 2.3182E-006

Kp_2= 2.2448E+003

Kp_3= 7.7518E+003

L= 4.9771E+000

M= 2.1310E+000

I= 6.5645E-001

A1= 1.3007E+009

B1= 6.7689E+006

C1= -2.8824E+007

D1= 2.2740E+008

E1= -2.8824E+007
F1= -1.7401E+007
G1= 2.8824E+007
H1= 1.7401E+007
I1= 4.6226E+007
K1= -1.7401E+007
A2= -6.2460E+009
B2= 8.1728E+006
C2= -3.4803E+007
D2= -1.1318E+009
E2= 5.1805E+007
G2= -5.1805E+007
I2= 3.4803E+007
A3= 7.8526E+008
B3= -1.3330E+007
C3= -1.7401E+007
D3= -4.8459E+008
E3= -1.7401E+007
F3= 3.7082E+007
G3= 1.7401E+007
H3= -3.7082E+007
I3= 1.7401E+007
RAZLIKA1= 1.5019E-001
RAZLIKA2= 1.3905E-001
RAZLIKA3= 3.4202E-002
RAZLIKA1= 7.4537E-002
RAZLIKA2= 4.7871E-002
RAZLIKA3= 5.4378E-002
RAZLIKA1= 3.5338E-002
RAZLIKA2= 2.5835E-004
RAZLIKA3= 1.5913E-002
RAZLIKA1= 1.3023E-002
RAZLIKA2= 1.6462E-002
RAZLIKA3= 3.2468E-003
RAZLIKA1= 1.9509E-003
RAZLIKA2= 5.9326E-003
RAZLIKA3= 2.6824E-003
RAZLIKA1= 3.2278E-005
RAZLIKA2= 1.8372E-004
RAZLIKA3= 1.0547E-004
RAZLIKA1= 2.8668E-009
RAZLIKA2= 5.2713E-008
RAZLIKA3= 3.8518E-008
RAZLIKA1= 2.8449E-016
RAZLIKA2= 1.5821E-015
RAZLIKA3= 5.5511E-016
FUN1= -1.4901E-008
FUN2= 9.4995E-008
FUN3= -5.9605E-008
FUN1_1= 1.1310E+008
FUN1_2= 1.7976E+007
FUN1_3= 2.0171E+007
FUN2_1= -4.9639E+008
FUN2_2= -2.5992E+007
FUN2_3= 8.3592E+006
FUN3_1= -1.6244E+007
FUN3_2= -3.8010E+007
FUN3_3= 8.1401E+006
DELTA= 4.5428E+023
DELTA1= 1.2852E+008

DELTA2= -7.1356E+008
DELTA3= 2.5090E+008
h1= 2.8292E-016
k1= -1.5708E-015
l1= 5.5230E-016

Ravnatežni sastav
(heterogena faza)

Ravnatežni sastav
(homogena faza)

xCO_1= 2.4928E-002
xH2_1= 1.3591E-001
xC_1= 3.9846E-001
xCO2_1= 4.6617E-002
xCH4_1= 7.2114E-003
xH2O_1= 7.3603E-002
xN2_1= 3.1327E-001

yCO_1= 4.1441E-002
yH2_1= 2.2594E-001
yCO2_1= 7.7497E-002
yCH4_1= 1.1988E-002
yH2O_1= 1.2236E-001
yN2_1= 5.2077E-001

Prilog P18. Rezultati proračuna ravnatežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI:

C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 1.0000E-001
VREME= 1.2190E-001
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 6.0000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -5.3339E+000
M2= 3.9764E+000
M3= 4.3835E+000
Kp_1= 1.1126E-006
Kp_2= 9.4716E+003
Kp_3= 2.4183E+004
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 1.2859E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 4.3062E-002
Kp_1= 1.1126E-006
Kp_2= 9.4716E+003
Kp_3= 2.4183E+004
L= 4.1604E+000
M= 2.1310E+000
I= 8.0489E-001

A1= 4.4215E+009
B1= 4.6594E+007
C1= -4.1342E+008
D1= 9.5947E+008
E1= -4.1342E+008
F1= -2.2905E+008
G1= 4.1342E+008
H1= 2.2905E+008
I1= 6.4247E+008
K1= -2.2905E+008
A2= -1.5484E+010
B2= 5.1631E+007
C2= -4.5811E+008
D2= -3.9918E+009
E2= 4.9485E+008
G2= -4.9485E+008
I2= 4.5811E+008
A3= 2.4498E+009
B3= -8.4210E+007
C3= -2.2905E+008
D3= -2.0446E+009
E3= -2.2905E+008
F3= 4.8811E+008
G3= 2.2905E+008
H3= -4.8811E+008
I3= 2.2905E+008
RAZLIKA1= 1.4868E-001
RAZLIKA2= 1.3310E-001
RAZLIKA3= 3.0939E-002
RAZLIKA1= 6.8025E-002
RAZLIKA2= 2.5575E-002
RAZLIKA3= 5.1839E-002
RAZLIKA1= 2.3242E-002
RAZLIKA2= 4.0862E-003
RAZLIKA3= 9.5684E-003
RAZLIKA1= 3.1134E-003
RAZLIKA2= 2.3804E-003
RAZLIKA3= 2.3067E-004
RAZLIKA1= 5.0903E-005
RAZLIKA2= 6.5362E-005
RAZLIKA3= 1.1939E-005
RAZLIKA1= 1.1926E-008
RAZLIKA2= 2.0981E-008
RAZLIKA3= 6.3897E-009
RAZLIKA1= 5.6899E-016
RAZLIKA2= 1.1935E-015
RAZLIKA3= 6.1062E-016
FUN1= 4.4703E-007
FUN2= -1.1623E-006
FUN3= 7.1526E-007
FUN1_1= 9.2162E+008
FUN1_2= 2.2167E+008
FUN1_3= 3.1166E+008
FUN2_1= -2.6831E+009
FUN2_2= -2.1181E+008
FUN2_3= 1.8328E+008
FUN3_1= 1.2970E+008
FUN3_2= -4.6791E+008
FUN3_3= 1.3671E+008
DELTA= 5.3877E+026

DELTA1= -3.0638E+011
DELTA2= 6.4379E+011
DELTA3= -3.2466E+011
h1= -5.6868E-016
k1= 1.1949E-015
l1= -6.0261E-016

Ravnotežni sastav
(heterogena faza)

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

xCO_1= 5.6885E-002
xH2_1= 1.4786E-001
xC_1= 3.3069E-001
xCO2_1= 5.1708E-002
xCH4_1= 3.6815E-003
xH2O_1= 5.2641E-002
xN2_1= 3.5654E-001

yCO_1= 8.4991E-002
yH2_1= 2.2092E-001
yCO2_1= 7.7255E-002
yCH4_1= 5.5004E-003
yH2O_1= 7.8649E-002
yN2_1= 5.3269E-001

Prilog P19. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 1.0000E-001
VREME= 1.4390E-001
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 6.5000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -5.6199E+000
M2= 4.5327E+000
M3= 4.8247E+000
Kp_1= 5.7581E-007
Kp_2= 3.4092E+004
Kp_3= 6.6781E+004
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 1.4922E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 5.0827E-002
Kp_1= 5.7581E-007
Kp_2= 3.4092E+004
Kp_3= 6.6781E+004
L= 3.5852E+000
M= 2.1310E+000

I= 9.5003E-001
A1= 1.3192E+010
B1= 2.5896E+008
C1= -4.4396E+009
D1= 3.4535E+009
E1= -4.4396E+009
F1= -2.2767E+009
G1= 4.4396E+009
H1= 2.2767E+009
I1= 6.7163E+009
K1= -2.2767E+009
A2= -3.4977E+010
B2= 2.6560E+008
C2= -4.5534E+009
D2= -1.2382E+010
E2= 3.6090E+009
G2= -3.6090E+009
I2= 4.5534E+009
A3= 6.7649E+009
B3= -4.3319E+008
C3= -2.2767E+009
D3= -7.3595E+009
E3= -2.2767E+009
F3= 4.8517E+009
G3= 2.2767E+009
H3= -4.8517E+009
I3= 2.2767E+009
RAZLIKA1= 1.4071E-001
RAZLIKA2= 1.3640E-001
RAZLIKA3= 9.5064E-002
RAZLIKA1= 4.5909E-002
RAZLIKA2= 7.5558E-003
RAZLIKA3= 5.1382E-002
RAZLIKA1= 6.9015E-003
RAZLIKA2= 5.6166E-004
RAZLIKA3= 4.8249E-003
RAZLIKA1= 1.4478E-004
RAZLIKA2= 4.3793E-005
RAZLIKA3= 5.9771E-005
RAZLIKA1= 5.7841E-008
RAZLIKA2= 2.7150E-008
RAZLIKA3= 1.5053E-008
RAZLIKA1= 8.6320E-015
RAZLIKA2= 5.0515E-015
RAZLIKA3= 1.4988E-015
FUN1= 4.1008E-005
FUN2= -1.0157E-004
FUN3= 3.7313E-005
FUN1_1= 6.6264E+009
FUN1_2= 2.1304E+009
FUN1_3= 3.5683E+009
FUN2_1= -1.2044E+010
FUN2_2= -1.2333E+009
FUN2_3= 2.5584E+009
FUN3_1= 1.9678E+009
FUN3_2= -4.5026E+009
FUN3_3= 1.6052E+009
DELTA= 3.1730E+029
DELTA1= -2.7380E+015
DELTA2= 1.6040E+015

DELTA3= 4.8027E+014
h1= -8.6289E-015
k1= 5.0552E-015
l1= 1.5136E-015

Ravnatežni sastav
(heterogena faza)

Ravnatežni sastav
(homogena faza)

xCO_1= 1.0633E-001
xH2_1= 1.5664E-001
xC_1= 2.6120E-001
xCO2_1= 4.5473E-002
xCH4_1= 1.9373E-003
xH2O_1= 3.4199E-002
xN2_1= 3.9421E-001

yCO_1= 1.4393E-001
yH2_1= 2.1203E-001
yCO2_1= 6.1550E-002
yCH4_1= 2.6222E-003
yH2O_1= 4.6290E-002
yN2_1= 5.3359E-001

Prilog P20. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m³/h u reakcioni prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 1.0000E-001
VREME= 1.6590E-001
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 7.0000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -5.8782E+000
M2= 5.0305E+000
M3= 5.2206E+000
Kp_1= 3.1770E-007
Kp_2= 1.0727E+005
Kp_3= 1.6619E+005
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 1.6986E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 5.8592E-002
Kp_1= 3.1770E-007
Kp_2= 1.0727E+005
Kp_3= 1.6619E+005
L= 3.1497E+000
M= 2.1310E+000
I= 1.0952E+000
A1= 3.5273E+010
B1= 1.2021E+009

C1= -3.7351E+010
D1= 1.0866E+010
E1= -3.7351E+010
F1= -1.7827E+010
G1= 3.7351E+010
H1= 1.7827E+010
I1= 5.5179E+010
K1= -1.7827E+010
A2= -7.2383E+010
B2= 1.1475E+009
C2= -3.5655E+010
D2= -3.4226E+010
E2= 2.0497E+010
G2= -2.0497E+010
I2= 3.5655E+010
A3= 1.6835E+010
B3= -1.8715E+009
C3= -1.7827E+010
D3= -2.3156E+010
E3= -1.7827E+010
F3= 3.7990E+010
G3= 1.7827E+010
H3= -3.7990E+010
I3= 1.7827E+010
RAZLIKA1= 1.2021E-001
RAZLIKA2= 1.5154E-001
RAZLIKA3= 1.6280E-001
RAZLIKA1= 1.4270E-002
RAZLIKA2= 1.1972E-002
RAZLIKA3= 5.2789E-002
RAZLIKA1= 9.0359E-004
RAZLIKA2= 7.9841E-004
RAZLIKA3= 3.3781E-003
RAZLIKA1= 3.6861E-006
RAZLIKA2= 3.4225E-006
RAZLIKA3= 1.3946E-005
RAZLIKA1= 6.2005E-011
RAZLIKA2= 6.0317E-011
RAZLIKA3= 2.3770E-010
RAZLIKA1= 0.0000E+000
RAZLIKA2= 5.5511E-017
RAZLIKA3= 2.7756E-017
FUN1= 0.0000E+000
FUN2= -1.9073E-006
FUN3= -1.9073E-006
FUN1_1= 4.3493E+010
FUN1_2= 1.6556E+010
FUN1_3= 3.1710E+010
FUN2_1= -4.5882E+010
FUN2_2= -5.2640E+009
FUN2_3= 2.5239E+010
FUN3_1= 1.6189E+010
FUN3_2= -3.5059E+010
FUN3_3= 1.4123E+010
DELTA= 1.0645E+032
DELTA1= -1.4510E+015
DELTA2= -4.6762E+015
DELTA3= 4.4318E+015
h1= -1.3630E-017
k1= -4.3928E-017

I1= 4.1631E-017

Ravnotežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 1.6461E-001
xH2_1= 1.6124E-001
xC_1= 1.9338E-001
xCO2_1= 3.1725E-002
xCH4_1= 1.0372E-003
xH2O_1= 2.0057E-002
xN2_1= 4.2795E-001

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 2.0408E-001
yH2_1= 1.9989E-001
yCO2_1= 3.9331E-002
yCH4_1= 1.2859E-003
yH2O_1= 2.4865E-002
yN2_1= 5.3055E-001

Prilog P21. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m³/h u reakcioni prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI:

C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 1.0000E-001
VREME= 1.8790E-001
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 7.5000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -6.1126E+000
M2= 5.4784E+000
M3= 5.5778E+000
Kp_1= 1.8517E-007
Kp_2= 3.0090E+005
Kp_3= 3.7824E+005
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 1.9049E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 6.6357E-002
Kp_1= 1.8517E-007
Kp_2= 3.0090E+005
Kp_3= 3.7824E+005
L= 2.8086E+000
M= 2.1310E+000
I= 1.2403E+000
A1= 8.5840E+010
B1= 4.7827E+009
C1= -2.5497E+011
D1= 3.0481E+010

E1= -2.5497E+011
F1= -1.1381E+011
G1= 2.5497E+011
H1= 1.1381E+011
I1= 3.6879E+011
K1= -1.1381E+011
A2= -1.3860E+011
B2= 4.2697E+009
C2= -2.2762E+011
D2= -8.5608E+010
E2= 9.2027E+010
G2= -9.2027E+010
I2= 2.2762E+011
A3= 3.8316E+010
B3= -6.9639E+009
C3= -1.1381E+011
D3= -6.4954E+010
E3= -1.1381E+011
F3= 2.4253E+011
G3= 1.1381E+011
H3= -2.4253E+011
I3= 1.1381E+011
RAZLIKA1= 8.9304E-002
RAZLIKA2= 1.7346E-001
RAZLIKA3= 2.3736E-001
RAZLIKA1= 5.3666E-003
RAZLIKA2= 3.2746E-002
RAZLIKA3= 6.6666E-002
RAZLIKA1= 5.7778E-005
RAZLIKA2= 2.1630E-003
RAZLIKA3= 5.4143E-003
RAZLIKA1= 2.1207E-006
RAZLIKA2= 1.2086E-005
RAZLIKA3= 3.5198E-005
RAZLIKA1= 1.3552E-010
RAZLIKA2= 4.4621E-010
RAZLIKA3= 1.4694E-009
RAZLIKA1= 2.7756E-017
RAZLIKA2= 2.7756E-017
RAZLIKA3= 2.7756E-017
FUN1= 1.5259E-005
FUN2= 3.8147E-006
FUN3= 1.9073E-006
FUN1_1= 2.6262E+011
FUN1_2= 1.0660E+011
FUN1_3= 2.2662E+011
FUN2_1= -1.5332E+011
FUN2_2= -1.7113E+010
FUN2_3= 1.8615E+011
FUN3_1= 1.0454E+011
FUN3_2= -2.2613E+011
FUN3_3= 9.7713E+010
DELTA= 2.2550E+034
DELTA1= -4.2683E+017
DELTA2= -3.7355E+017
DELTA3= -8.4799E+017
h1= -1.8928E-017
k1= -1.6565E-017
l1= -3.7605E-017

Ravnatežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 2.1600E-001
xH2_1= 1.6146E-001
xC_1= 1.3476E-001
xCO2_1= 1.8154E-002
xCH4_1= 5.6514E-004
xH2O_1= 1.0795E-002
xN2_1= 4.5827E-001

Ravnatežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 2.4964E-001
yH2_1= 1.8660E-001
yCO2_1= 2.0981E-002
yCH4_1= 6.5316E-004
yH2O_1= 1.2476E-002
yN2_1= 5.2964E-001

Prilog P22. Rezultati proračuna ravnatežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m³/h u reakcioni prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 1.0000E-001
VREME= 2.0990E-001
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 8.0000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -6.3265E+000
M2= 5.8835E+000
M3= 5.9014E+000
Kp_1= 1.1317E-007
Kp_2= 7.6463E+005
Kp_3= 7.9687E+005
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 2.1112E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 7.4122E-002
Kp_1= 1.1317E-007
Kp_2= 7.6463E+005
Kp_3= 7.9687E+005
L= 2.5341E+000
M= 2.1310E+000
I= 1.3855E+000
A1= 1.9256E+011
B1= 1.6663E+010
C1= -1.4535E+012
D1= 7.7457E+010
E1= -1.4535E+012

F1= -6.0931E+011
G1= 1.4535E+012
H1= 6.0931E+011
I1= 2.0628E+012
K1= -6.0931E+011
A2= -2.4768E+011
B2= 1.3971E+010
C2= -1.2186E+012
D2= -1.9629E+011
E2= 3.2545E+011
G2= -3.2545E+011
I2= 1.2186E+012
A3= 8.0723E+010
B3= -2.2786E+010
C3= -6.0931E+011
D3= -1.6506E+011
E3= -6.0931E+011
F3= 1.2984E+012
G3= 6.0931E+011
H3= -1.2984E+012
I3= 6.0931E+011
RAZLIKA1= 5.7731E-002
RAZLIKA2= 1.9816E-001
RAZLIKA3= 3.1449E-001
RAZLIKA1= 9.8295E-003
RAZLIKA2= 5.1625E-002
RAZLIKA3= 9.3092E-002
RAZLIKA1= 4.2983E-004
RAZLIKA2= 4.7700E-003
RAZLIKA3= 9.7019E-003
RAZLIKA1= 3.0064E-008
RAZLIKA2= 4.7297E-005
RAZLIKA3= 1.0651E-004
RAZLIKA1= 4.1672E-010
RAZLIKA2= 5.1857E-009
RAZLIKA3= 1.2750E-008
RAZLIKA1= 0.0000E+000
RAZLIKA2= 2.7756E-017
RAZLIKA3= 1.8041E-016
FUN1= -2.4414E-004
FUN2= -1.9836E-004
FUN3= -6.1035E-005
FUN1_1= 1.4345E+012
FUN1_2= 5.8028E+011
FUN1_3= 1.3423E+012
FUN2_1= -4.5284E+011
FUN2_2= -4.5145E+010
FUN2_3= 1.0853E+012
FUN3_1= 5.7008E+011
FUN3_2= -1.2325E+012
FUN3_3= 5.5322E+011
DELTA= 3.1713E+036
DELTA1= -2.9231E+019
DELTA2= 8.5721E+019
DELTA3= 5.7098E+020
h1= -9.2175E-018
k1= 2.7031E-017
l1= 1.8005E-016

Ravnotežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 2.5253E-001
xH2_1= 1.5828E-001
xC_1= 8.8406E-002
xCO2_1= 9.2678E-003
xCH4_1= 3.1507E-004
xH2O_1= 5.5739E-003
xN2_1= 4.8563E-001

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 2.7702E-001
yH2_1= 1.7363E-001
yCO2_1= 1.0167E-002
yCH4_1= 3.4562E-004
yH2O_1= 6.1145E-003
yN2_1= 5.3272E-001

Prilog P23. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m³/h u reakcioni prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI:

C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001

H= 5.0000E-002

O= 4.4000E-002

N= 1.0000E-003

S= 9.1000E-003

W= 1.9000E-003

A= 2.5200E-001

VVAZDUHA= 1.0000E-001

VREME= 2.3190E-001

MUZORKA= 1.0000E-002

t= 8.5000E+002

p= 1.0130E+005

xCO_0= 3.0000E-001

xH2_0= 3.0000E-001

xC_0= 3.0000E-001

M1= -6.5223E+000

M2= 6.2513E+000

M3= 6.1958E+000

Kp_1= 7.2092E-008

Kp_2= 1.7837E+006

Kp_3= 1.5698E+006

SUMAC= 5.3500E-002

SUMAO2= 2.3175E-002

SUMAH2= 2.5106E-002

SUMAN2= 8.1887E-002

Kp_1= 7.2092E-008

Kp_2= 1.7837E+006

Kp_3= 1.5698E+006

L= 2.3085E+000

M= 2.1310E+000

I= 1.5306E+000

A1= 4.0242E+011

B1= 5.1746E+010

C1= -7.0857E+012
D1= 1.8068E+011
E1= -7.0857E+012
F1= -2.8000E+012
G1= 7.0857E+012
H1= 2.8000E+012
I1= 9.8857E+012
K1= -2.8000E+012
A2= -4.1617E+011
B2= 4.0896E+010
C2= -5.6000E+012
D2= -4.1711E+011
E2= 8.6389E+011
G2= -8.6389E+011
I2= 5.6000E+012
A3= 1.5902E+011
B3= -6.6702E+010
C3= -2.8000E+012
D3= -3.8504E+011
E3= -2.8000E+012
F3= 5.9668E+012
G3= 2.8000E+012
H3= -5.9668E+012
I3= 2.8000E+012
RAZLIKA1= 3.0597E-002
RAZLIKA2= 2.2412E-001
RAZLIKA3= 3.9045E-001
RAZLIKA1= 6.9357E-003
RAZLIKA2= 6.8749E-002
RAZLIKA3= 1.2565E-001
RAZLIKA1= 4.9241E-004
RAZLIKA2= 8.4688E-003
RAZLIKA3= 1.6369E-002
RAZLIKA1= 2.2538E-006
RAZLIKA2= 1.4071E-004
RAZLIKA3= 2.8688E-004
RAZLIKA1= 1.0035E-009
RAZLIKA2= 4.1072E-008
RAZLIKA3= 8.8007E-008
RAZLIKA1= 2.2204E-016
RAZLIKA2= 3.6915E-015
RAZLIKA3= 8.2781E-015
FUN1= -6.4453E-002
FUN2= -4.3396E-002
FUN3= 9.1553E-005
FUN1_1= 6.9687E+012
FUN1_2= 2.7207E+012
FUN1_3= 6.7601E+012
FUN2_1= -1.1134E+012
FUN2_2= -1.0294E+011
FUN2_3= 5.2583E+012
FUN3_1= 2.6838E+012
FUN3_2= -5.7844E+012
FUN3_3= 2.6488E+012
DELTA= 3.0188E+038
DELTA1= -6.8189E+022
DELTA2= 1.1174E+024
DELTA3= 2.4989E+024
h1= -2.2588E-016
k1= 3.7014E-015

I1= 8.2775E-015

Ravnotežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 2.7683E-001
xH2_1= 1.5324E-001
xC_1= 5.1864E-002
xCO2_1= 4.5906E-003
xCH4_1= 1.8086E-004
xH2O_1= 2.8871E-003
xN2_1= 5.1041E-001

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 2.9198E-001
yH2_1= 1.6162E-001
yCO2_1= 4.8417E-003
yCH4_1= 1.9075E-004
yH2O_1= 3.0451E-003
yN2_1= 5.3833E-001

Prilog P24. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m³/h u reakcioni prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI:

C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001

H= 5.0000E-002

O= 4.4000E-002

N= 1.0000E-003

S= 9.1000E-003

W= 1.9000E-003

A= 2.5200E-001

VVAZDUHA= 1.0000E-001

VREME= 2.5390E-001

MUZORKA= 1.0000E-002

t= 9.0000E+002

p= 1.0130E+005

xCO_0= 3.0000E-001

xH2_0= 3.0000E-001

xC_0= 3.0000E-001

M1= -6.7024E+000

M2= 6.5868E+000

M3= 6.4649E+000

Kp_1= 4.7626E-008

Kp_2= 3.8615E+006

Kp_3= 2.9165E+006

SUMAC= 5.3500E-002

SUMAO2= 2.5238E-002

SUMAH2= 2.5106E-002

SUMAN2= 8.9652E-002

Kp_1= 4.7626E-008

Kp_2= 3.8615E+006

Kp_3= 2.9165E+006

L= 2.1198E+000

M= 2.1310E+000

I= 1.6757E+000

A1= 7.9052E+011

B1= 1.4538E+011

C1= -3.0134E+013

D1= 3.9117E+011
E1= -3.0134E+013
F1= -1.1262E+013
G1= 3.0134E+013
H1= 1.1262E+013
I1= 4.1396E+013
K1= -1.1262E+013
A2= -6.6167E+011
B2= 1.0867E+011
C2= -2.2524E+013
D2= -8.2921E+011
E2= 1.3494E+012
G2= -1.3494E+012
I2= 2.2524E+013
A3= 2.9544E+011
B3= -1.7724E+011
C3= -1.1262E+013
D3= -8.3359E+011
E3= -1.1262E+013
F3= 2.3999E+013
G3= 1.1262E+013
H3= -2.3999E+013
I3= 1.1262E+013
RAZLIKA1= 7.3025E-003
RAZLIKA2= 2.5092E-001
RAZLIKA3= 4.6524E-001
RAZLIKA1= 1.2512E-003
RAZLIKA2= 8.5051E-002
RAZLIKA3= 1.6097E-001
RAZLIKA1= 5.5216E-005
RAZLIKA2= 1.3029E-002
RAZLIKA3= 2.5327E-002
RAZLIKA1= 7.8747E-006
RAZLIKA2= 3.3010E-004
RAZLIKA3= 6.5935E-004
RAZLIKA1= 9.4270E-009
RAZLIKA2= 2.1811E-007
RAZLIKA3= 4.4727E-007
RAZLIKA1= 6.1062E-015
RAZLIKA2= 9.7811E-014
RAZLIKA3= 2.0575E-013
FUN1= -6.9941E+000
FUN2= -4.5050E+000
FUN3= 1.2891E-001
FUN1_1= 3.0002E+013
FUN1_2= 1.1175E+013
FUN1_3= 2.9570E+013
FUN2_1= -1.8313E+012
FUN2_2= -2.1164E+011
FUN2_3= 2.1942E+013
FUN3_1= 1.1068E+013
FUN3_2= -2.3775E+013
FUN3_3= 1.1003E+013
DELTA= 1.9877E+040
DELTA1= -1.2112E+026
DELTA2= 1.9440E+027
DELTA3= 4.0897E+027
h1= -6.0932E-015
k1= 9.7801E-014
l1= 2.0575E-013

Ravnatežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 2.9389E-001
xH2_1= 1.4749E-001
xC_1= 2.1723E-002
xCO2_1= 2.3160E-003
xCH4_1= 1.0727E-004
xH2O_1= 1.5389E-003
xN2_1= 5.3294E-001

Ravnatežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 3.0041E-001
yH2_1= 1.5076E-001
yCO2_1= 2.3675E-003
yCH4_1= 1.0966E-004
yH2O_1= 1.5731E-003
yN2_1= 5.4478E-001

Prilog P25. Rezultati proračuna ravnatežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,1 m³/h u reakcioni prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI:

C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001

H= 5.0000E-002

O= 4.4000E-002

N= 1.0000E-003

S= 9.1000E-003

W= 1.9000E-003

A= 2.5200E-001

VVAZDUHA= 1.0000E-001

VREME= 2.7210E-001

MUZORKA= 1.0000E-002

t= 9.4130E+002

p= 1.0130E+005

xCO_0= 3.0000E-001

xH2_0= 3.0000E-001

xC_0= 3.0000E-001

M1= -6.8405E+000

M2= 6.8422E+000

M3= 6.6701E+000

Kp_1= 3.4654E-008

Kp_2= 6.9542E+006

Kp_3= 4.6785E+006

SUMAC= 5.3500E-002

SUMAO2= 2.6945E-002

SUMAH2= 2.5106E-002

SUMAN2= 9.6076E-002

Kp_1= 3.4654E-008

Kp_2= 6.9542E+006

Kp_3= 4.6785E+006

L= 1.9855E+000

M= 2.1310E+000

I= 1.7958E+000

A1= 1.3250E+012

B1= 3.1933E+011

C1= -9.0964E+013

D1= 7.0446E+011
E1= -9.0964E+013
F1= -3.2536E+013
G1= 9.0964E+013
H1= 3.2536E+013
I1= 1.2350E+014
K1= -3.2536E+013
A2= -9.3417E+011
B2= 2.2843E+011
C2= -6.5071E+013
D2= -1.3987E+012
E2= -4.7045E+011
G2= 4.7045E+011
I2= 6.5071E+013
A3= 4.7394E+011
B3= -3.7257E+011
C3= -3.2536E+013
D3= -1.5012E+012
E3= -3.2536E+013
F3= 6.9333E+013
G3= 3.2536E+013
H3= -6.9333E+013
I3= 3.2536E+013
RAZLIKA1= 1.0329E-002
RAZLIKA2= 2.7366E-001
RAZLIKA3= 5.2709E-001
RAZLIKA1= 4.4341E-003
RAZLIKA2= 9.8347E-002
RAZLIKA3= 1.9154E-001
RAZLIKA1= 9.6085E-004
RAZLIKA2= 1.7378E-002
RAZLIKA3= 3.4364E-002
RAZLIKA1= 3.8912E-005
RAZLIKA2= 5.8830E-004
RAZLIKA3= 1.1821E-003
RAZLIKA1= 5.2861E-008
RAZLIKA2= 6.8682E-007
RAZLIKA3= 1.4021E-006
RAZLIKA1= 8.3489E-014
RAZLIKA2= 9.5118E-013
RAZLIKA3= 1.9721E-012
FUN1= -2.0328E+002
FUN2= -1.2773E+002
FUN3= 5.1013E+000
FUN1_1= 9.1873E+013
FUN1_2= 3.2842E+013
FUN1_3= 9.1124E+013
FUN2_1= -2.9873E+011
FUN2_2= -3.6129E+011
FUN2_3= 6.4929E+013
FUN3_1= 3.2611E+013
FUN3_2= -6.9898E+013
FUN3_3= 3.2507E+013
DELTA= 4.8871E+041
DELTA1= -4.0805E+028
DELTA2= 4.6485E+029
DELTA3= 9.6379E+029
h1= -8.3495E-014
k1= 9.5119E-013
l1= 1.9721E-012

Ravnotežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 3.0490E-001
xH2_1= 1.4266E-001
xC_1=0.0000
xCO2_1= 1.3541E-003
xCH4_1= 7.1442E-005
xH2O_1= 9.4176E-004
xN2_1= 5.5009E-001

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 3.0489E-001
yH2_1= 1.4266E-001
yCO2_1= 1.3541E-003
yCH4_1= 7.1442E-005
yH2O_1= 9.4176E-004
yN2_1= 5.5008E-001

Prilog P26. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m³/h u reakcioni prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 3.0000E-001
VREME= 1.9140E-002
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 3.0000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -2.6311E+000
M2= -1.4374E+000
M3= 1.7812E-001
Kp_1= 5.6121E-004
Kp_2= 3.6526E-002
Kp_3= 1.5070E+000
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 6.8125E-003
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 2.0303E-002
Kp_1= 5.6121E-004
Kp_2= 3.6526E-002
Kp_3= 1.5070E+000
L= 7.8532E+000
M= 2.1310E+000
I= 3.7949E-001
A1= 2.1059E+005
B1= 4.3169E+000
C1= -7.5934E-002
D1= 3.7001E+003

E1= -7.5934E-002
F1= -5.5045E-002
G1= 7.5934E-002
H1= 5.5045E-002
I1= 1.3098E-001
K1= -5.5045E-002
A2= -2.0924E+006
B2= 6.2587E+000
C2= -1.1009E-001
D2= -2.9058E+004
E2= 3.2219E-001
G2= -3.2219E-001
I2= 1.1009E-001
A3= 1.5266E+005
B3= -1.0208E+001
C3= -5.5045E-002
D3= -7.8849E+003
E3= -5.5045E-002
F3= 1.1730E-001
G3= 5.5045E-002
H3= -1.1730E-001
I3= 5.5045E-002
RAZLIKA1= 1.5000E-001
RAZLIKA2= 1.5000E-001
RAZLIKA3= 1.4901E-001
RAZLIKA1= 7.5000E-002
RAZLIKA2= 7.4993E-002
RAZLIKA3= 7.4712E-002
RAZLIKA1= 3.7500E-002
RAZLIKA2= 3.7486E-002
RAZLIKA3= 3.7416E-002
RAZLIKA1= 1.8750E-002
RAZLIKA2= 1.8723E-002
RAZLIKA3= 1.8709E-002
RAZLIKA1= 9.3751E-003
RAZLIKA2= 9.3211E-003
RAZLIKA3= 9.3347E-003
RAZLIKA1= 4.6878E-003
RAZLIKA2= 4.5797E-003
RAZLIKA3= 4.6247E-003
RAZLIKA1= 2.3443E-003
RAZLIKA2= 2.1284E-003
RAZLIKA3= 2.2218E-003
RAZLIKA1= 1.1731E-003
RAZLIKA2= 7.4151E-004
RAZLIKA3= 9.0916E-004
RAZLIKA1= 5.8826E-004
RAZLIKA2= 2.7468E-004
RAZLIKA3= 3.1715E-005
RAZLIKA1= 2.9750E-004
RAZLIKA2= 1.4372E-003
RAZLIKA3= 1.3262E-003
RAZLIKA1= 1.5479E-004
RAZLIKA2= 3.4152E-003
RAZLIKA3= 4.7275E-003
RAZLIKA1= 8.3442E-005
RAZLIKA2= 7.6657E-003
RAZLIKA3= 1.7101E-002
RAZLIKA1= 9.1129E-006
RAZLIKA2= 9.3593E-003

RAZLIKA3= 3.8509E-002
RAZLIKA1= 4.3059E-006
RAZLIKA2= 1.3255E-003
RAZLIKA3= 1.0435E-003
RAZLIKA1= 1.6375E-007
RAZLIKA2= 2.8774E-006
RAZLIKA3= 1.6783E-004
RAZLIKA1= 1.0853E-010
RAZLIKA2= 2.0088E-008
RAZLIKA3= 3.6840E-008
RAZLIKA1= 3.9451E-017
RAZLIKA2= 9.7075E-015
RAZLIKA3= 7.7827E-014
FUN1= -3.8927E-015
FUN2= 4.1092E-014
FUN3= 1.4704E-014
FUN1_1= 1.0184E+002
FUN1_2= 3.7413E-001
FUN1_3= 4.8299E-002
FUN2_1= -8.3545E+002
FUN2_2= -9.0143E-001
FUN2_3= -7.9393E-003
FUN3_1= -1.6775E+002
FUN3_2= -8.4339E-001
FUN3_3= -1.2969E-003
DELTA= ,4E
DELTA1= 2.6258E+001
DELTA2= 1.0359E-015
DELTA3= 2.5488E-013
h1= -2.0422E-012
k1= 3.9451E-017
l1= 9.7066E-015

Ravnotežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 4.0870E-005
xH2_1= 2.2860E-002
xC_1= 5.3612E-001
xCO2_1= 9.9862E-003
xCH4_1= 6.4047E-002
xH2O_1= 1.3539E-001
xN2_1= 2.3156E-001

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 8.8104E-005
yH2_1= 4.9281E-002
yCO2_1= 2.1528E-002
yCH4_1= 1.3807E-001
yH2O_1= 2.9185E-001
yN2_1= 4.9918E-001

Prilog P27. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:
C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003

A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 3.0000E-001
VREME= 3.7200E-002
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 3.5000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -3.2556E+000
M2= -1.6977E-001
M3= 1.1473E+000
Kp_1= 1.3322E-004
Kp_2= 6.7644E-001
Kp_3= 1.4037E+001
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 1.1893E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 3.9426E-002
Kp_1= 1.3322E-004
Kp_2= 6.7644E-001
Kp_3= 1.4037E+001
L= 4.4983E+000
M= 2.1310E+000
I= 7.3694E-001
A1= 2.4699E+006
B1= 2.2258E+002
C1= -1.6493E+001
D1= 6.8523E+004
E1= -1.6493E+001
F1= -9.4953E+000
G1= 1.6493E+001
H1= 9.4953E+000
I1= 2.5988E+001
K1= -9.4953E+000
A2= -9.9489E+006
B2= 2.5629E+002
C2= -1.8991E+001
D2= -3.0824E+005
E2= 2.3722E+001
G2= -2.3722E+001
I2= 1.8991E+001
A3= 1.4220E+006
B3= -4.1801E+002
C3= -9.4953E+000
D3= -1.4602E+005
E3= -9.4953E+000
F3= 2.0235E+001
G3= 9.4953E+000
H3= -2.0235E+001
I3= 9.4953E+000
RAZLIKA1= 1.5000E-001
RAZLIKA2= 1.4998E-001
RAZLIKA3= 1.0754E-002
RAZLIKA1= 7.5000E-002
RAZLIKA2= 7.4927E-002
RAZLIKA3= 7.2727E-002
RAZLIKA1= 3.7500E-002
RAZLIKA2= 3.7358E-002
RAZLIKA3= 3.7063E-002

RAZLIKA1= 1.8750E-002
RAZLIKA2= 1.8468E-002
RAZLIKA3= 1.8517E-002
RAZLIKA1= 9.3753E-003
RAZLIKA2= 8.8129E-003
RAZLIKA3= 9.0409E-003
RAZLIKA1= 4.6879E-003
RAZLIKA2= 3.5706E-003
RAZLIKA3= 4.0426E-003
RAZLIKA1= 2.3441E-003
RAZLIKA2= 1.3894E-004
RAZLIKA3= 9.5041E-004
RAZLIKA1= 1.1705E-003
RAZLIKA2= 3.1040E-003
RAZLIKA3= 2.0815E-003
RAZLIKA1= 5.7269E-004
RAZLIKA2= 7.2370E-003
RAZLIKA3= 7.3460E-003
RAZLIKA1= 2.2552E-004
RAZLIKA2= 1.0641E-002
RAZLIKA3= 1.5896E-002
RAZLIKA1= 1.3127E-005
RAZLIKA2= 4.3466E-003
RAZLIKA3= 1.0597E-002
RAZLIKA1= 1.4926E-006
RAZLIKA2= 7.7868E-005
RAZLIKA3= 1.5024E-004
RAZLIKA1= 3.0024E-010
RAZLIKA2= 1.9297E-007
RAZLIKA3= 4.8762E-007
RAZLIKA1= 2.5191E-015
RAZLIKA2= 2.2519E-013
RAZLIKA3= 1.2751E-013
FUN1= 1.5081E-012
FUN2= 2.1993E-011
FUN3= -1.1140E-011
FUN1_1= 3.9904E+003
FUN1_2= 4.4586E+001
FUN1_3= 1.1923E+001
FUN2_1= -1.7080E+004
FUN2_2= -9.5187E+001
FUN2_3= 3.1601E+000
FUN3_1= -3.6372E+003
FUN3_2= -9.1409E+001
FUN3_3= 2.2198E+000
DELTA= ,4E
DELTA1= 1.5974E+007
DELTA2= 4.0240E-008
DELTA3= -3.5972E-006
h1= -2.0364E-006
k1= 2.5191E-015
l1= -2.2520E-013

Ravnatežni sastav
(heterogena faza)
xCO_1= 3.6202E-004
xH2_1= 3.1997E-002
xC_1= 4.1703E-001
xCO2_1= 3.3666E-002
xCH4_1= 2.3700E-002

Ravnatežni sastav
(homogena faza)
yCO_1= 6.2098E-004
yH2_1= 5.4885E-002
yCO2_1= 5.7749E-002
yCH4_1= 4.0653E-002
yH2O_1= 2.4596E-001

xH2O_1= 1.4339E-001 yN2_1= 6.0013E-001
xN2_1= 3.4986E-001

Prilog P28. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 3.0000E-001
VREME= 5.5300E-002
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 4.0000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -3.7897E+000
M2= 9.0860E-001
M3= 1.9794E+000
Kp_1= 3.8948E-005
Kp_2= 8.1022E+000
Kp_3= 9.5368E+001
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 1.6986E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 5.8592E-002
Kp_1= 3.8948E-005
Kp_2= 8.1022E+000
Kp_3= 9.5368E+001
L= 3.1497E+000
M= 2.1310E+000
I= 1.0952E+000
A1= 2.0241E+007
B1= 6.3874E+003
C1= -1.6189E+003
D1= 8.2075E+005
E1= -1.6189E+003
F1= -7.7269E+002
G1= 1.6189E+003
H1= 7.7269E+002
I1= 2.3916E+003
K1= -7.7269E+002
A2= -4.1536E+007
B2= 6.0972E+003
C2= -1.5454E+003
D2= -2.5852E+006
E2= 8.8839E+002

G2= -8.8839E+002
I2= 1.5454E+003
A3= 9.6608E+006
B3= -9.9446E+003
C3= -7.7269E+002
D3= -1.7490E+006
E3= -7.7269E+002
F3= 1.6466E+003
G3= 7.7269E+002
H3= -1.6466E+003
I3= 7.7269E+002
RAZLIKA1= 1.5000E-001
RAZLIKA2= 1.4998E-001
RAZLIKA3= 1.4140E-001
RAZLIKA1= 7.4995E-002
RAZLIKA2= 7.4478E-002
RAZLIKA3= 1.1605E-001
RAZLIKA1= 3.7492E-002
RAZLIKA2= 3.6544E-002
RAZLIKA3= 4.2987E-002
RAZLIKA1= 1.8733E-002
RAZLIKA2= 1.6867E-002
RAZLIKA3= 1.7982E-002
RAZLIKA1= 9.3394E-003
RAZLIKA2= 5.7137E-003
RAZLIKA3= 7.2729E-003
RAZLIKA1= 4.6070E-003
RAZLIKA2= 2.1391E-003
RAZLIKA3= 4.3638E-004
RAZLIKA1= 2.1504E-003
RAZLIKA2= 8.9159E-003
RAZLIKA3= 5.9486E-003
RAZLIKA1= 7.5085E-004
RAZLIKA2= 1.1195E-002
RAZLIKA3= 1.0430E-002
RAZLIKA1= 7.7686E-005
RAZLIKA2= 3.6800E-003
RAZLIKA3= 4.7343E-003
RAZLIKA1= 8.0331E-007
RAZLIKA2= 5.7220E-005
RAZLIKA3= 1.4322E-004
RAZLIKA1= 1.6565E-010
RAZLIKA2= 2.3212E-008
RAZLIKA3= 2.5549E-008
RAZLIKA1= 8.4568E-018
RAZLIKA2= 2.6507E-015
RAZLIKA3= 4.9960E-016
FUN1= 6.5938E-012
FUN2= -8.8107E-012
FUN3= -1.3301E-011
FUN1_1= 1.1115E+005
FUN1_2= 2.5911E+003
FUN1_3= 1.3130E+003
FUN2_1= -2.6463E+005
FUN2_2= -4.2882E+003
FUN2_3= 5.5160E+002
FUN3_1= -3.7723E+004
FUN3_2= -5.2107E+003
FUN3_3= 3.4336E+002
DELTA= ,4E

DELTA1= 1.9355E+012
DELTA2= 1.6541E-005
DELTA3= -5.1266E-003
h1= -1.0032E-003
k1= 8.5464E-018
l1= -2.6487E-015

Ravnotežni sastav
(heterogena faza)

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

xCO_1= 1.8588E-003
xH2_1= 4.2401E-002
xC_1= 3.2207E-001
xCO2_1= 6.3720E-002
xCH4_1= 1.0463E-002
xH2O_1= 1.2349E-001
xN2_1= 4.3600E-001

yCO_1= 2.7418E-003
yH2_1= 6.2545E-002
yCO2_1= 9.3992E-002
yCH4_1= 1.5434E-002
yH2O_1= 1.8216E-001
yN2_1= 6.4313E-001

Prilog P29. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP
injektiranjem vazduha od 0,3 m³/h u reakcioni prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 3.0000E-001
VREME= 6.5500E-002
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 4.5000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -4.2523E+000
M2= 1.8367E+000
M3= 2.7012E+000
Kp_1= 1.3426E-005
Kp_2= 6.8666E+001
Kp_3= 5.0252E+002
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 1.9855E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 6.9392E-002
Kp_1= 1.3426E-005
Kp_2= 6.8666E+001
Kp_3= 5.0252E+002
L= 2.6945E+000
M= 2.1310E+000
I= 1.2971E+000

A1= 1.1693E+008
B1= 1.0780E+005
C1= -7.9263E+004
D1= 6.9558E+006
E1= -7.9263E+004
F1= -3.4506E+004
G1= 7.9263E+004
H1= 3.4506E+004
I1= 1.1377E+005
K1= -3.4506E+004
A2= -1.7252E+008
B2= 9.3860E+004
C2= -6.9012E+004
D2= -1.8743E+007
E2= 2.3965E+004
G2= -2.3965E+004
I2= 6.9012E+004
A3= 5.0906E+007
B3= -1.5309E+005
C3= -3.4506E+004
D3= -1.4823E+007
E3= -3.4506E+004
F3= 7.3533E+004
G3= 3.4506E+004
H3= -7.3533E+004
I3= 3.4506E+004
RAZLIKA1= 1.4995E-001
RAZLIKA2= 1.5032E-001
RAZLIKA3= 2.3304E-001
RAZLIKA1= 7.4934E-002
RAZLIKA2= 7.2248E-002
RAZLIKA3= 1.5184E-001
RAZLIKA1= 3.7378E-002
RAZLIKA2= 3.2884E-002
RAZLIKA3= 4.8967E-002
RAZLIKA1= 1.8489E-002
RAZLIKA2= 1.0261E-002
RAZLIKA3= 1.4807E-002
RAZLIKA1= 8.7845E-003
RAZLIKA2= 4.6198E-003
RAZLIKA3= 9.8655E-004
RAZLIKA1= 3.4471E-003
RAZLIKA2= 1.2010E-002
RAZLIKA3= 6.7432E-003
RAZLIKA1= 6.4666E-004
RAZLIKA2= 6.3992E-003
RAZLIKA3= 4.8698E-003
RAZLIKA1= 1.5079E-005
RAZLIKA2= 4.0950E-004
RAZLIKA3= 4.0512E-004
RAZLIKA1= 1.0119E-008
RAZLIKA2= 2.8302E-007
RAZLIKA3= 5.3926E-007
RAZLIKA1= 9.6772E-015
RAZLIKA2= 3.7025E-013
RAZLIKA3= 3.8031E-013
FUN1= 2.3174E-008
FUN2= -8.4026E-008
FUN3= -7.0571E-008
FUN1_1= 1.9462E+006

FUN1_2= 8.1807E+004
FUN1_3= 6.8226E+004
FUN2_1= -3.2932E+006
FUN2_2= -1.0833E+005
FUN2_3= 3.1685E+004
FUN3_1= -1.8329E+005
FUN3_2= -1.6548E+005
FUN3_3= 1.9792E+004
DELTA= ,4E
DELTA1= 4.6715E+016
DELTA2= -4.5206E+002
DELTA3= -1.7296E+004
h1= 1.7767E+004
k1= -9.6769E-015
l1= -3.7025E-013

Ravnatežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 6.3579E-003
xH2_1= 5.7730E-002
xC_1= 2.7155E-001
xCO2_1= 8.1864E-002
xCH4_1= 6.2224E-003
xH2O_1= 1.0157E-001
xN2_1= 4.7471E-001

Ravnatežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 8.7279E-003
yH2_1= 7.9250E-002
yCO2_1= 1.1238E-001
yCH4_1= 8.5420E-003
yH2O_1= 1.3943E-001
yN2_1= 6.5167E-001

Prilog P30. Rezultati proračuna ravnatežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI:

C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 3.0000E-001
VREME= 8.2200E-002
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 5.0000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -4.6572E+000
M2= 2.6436E+000
M3= 3.3327E+000
Kp_1= 5.2845E-006
Kp_2= 4.4016E+002
Kp_3= 2.1511E+003

SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 2.4553E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 8.7076E-002
Kp_1= 5.2845E-006
Kp_2= 4.4016E+002
Kp_3= 2.1511E+003
L= 2.1789E+000
M= 2.1310E+000
I= 1.6276E+000
A1= 5.7257E+008
B1= 1.3318E+006
C1= -2.4879E+006
D1= 4.4588E+007
E1= -2.4879E+006
F1= -9.4683E+005
G1= 2.4879E+006
H1= 9.4683E+005
I1= 3.4347E+006
K1= -9.4683E+005
A2= -5.1379E+008
B2= 1.0137E+006
C2= -1.8937E+006
D2= -9.7154E+007
E2= 1.6941E+005
G2= -1.6941E+005
I2= 1.8937E+006
A3= 2.1791E+008
B3= -1.6534E+006
C3= -9.4683E+005
D3= -9.5017E+007
E3= -9.4683E+005
F3= 2.0177E+006
G3= 9.4683E+005
H3= -2.0177E+006
I3= 9.4683E+005
RAZLIKA1= 1.4945E-001
RAZLIKA2= 1.5419E-001
RAZLIKA3= 3.8911E-001
RAZLIKA1= 7.4288E-002
RAZLIKA2= 6.3713E-002
RAZLIKA3= 2.1980E-001
RAZLIKA1= 3.6184E-002
RAZLIKA2= 2.2814E-002
RAZLIKA3= 6.4334E-002
RAZLIKA1= 1.6007E-002
RAZLIKA2= 1.0685E-003
RAZLIKA3= 9.5397E-003
RAZLIKA1= 4.8320E-003
RAZLIKA2= 7.2276E-003
RAZLIKA3= 2.0447E-003
RAZLIKA1= 4.7595E-004
RAZLIKA2= 1.7379E-003
RAZLIKA3= 9.1252E-004
RAZLIKA1= 3.8210E-006
RAZLIKA2= 2.6864E-005
RAZLIKA3= 1.7871E-005
RAZLIKA1= 1.4230E-010
RAZLIKA2= 2.3952E-009
RAZLIKA3= 2.0313E-009

RAZLIKA1= 3.4694E-018
RAZLIKA2= 0.0000E+000
RAZLIKA3= 2.7756E-017
FUN1= 0.0000E+000
FUN2= 1.1642E-010
FUN3= 0.0000E+000
FUN1_1= 2.6558E+007
FUN1_2= 1.7770E+006
FUN1_3= 2.3193E+006
FUN2_1= -2.6146E+007
FUN2_2= -1.6817E+006
FUN2_3= 1.1333E+006
FUN3_1= 2.3418E+006
FUN3_2= -3.6225E+006
FUN3_3= 6.8723E+005
DELTA= ,4E
DELTA1= 3.4379E+020
DELTA2= 1.1202E+003
DELTA3= -1.4924E+003
h1= -1.1684E+004
k1= 3.2585E-018
l1= -4.3411E-018

Ravnotežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 1.8757E-002
xH2_1= 6.9342E-002
xC_1= 2.0159E-001
xCO2_1= 1.0142E-001
xCH4_1= 3.2239E-003
xH2O_1= 7.6716E-002
xN2_1= 5.2895E-001

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 2.3493E-002
yH2_1= 8.6851E-002
yCO2_1= 1.2702E-001
yCH4_1= 4.0379E-003
yH2O_1= 9.6087E-002
yN2_1= 6.6251E-001

Prilog P31. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI:

C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 3.0000E-001
VREME= 9.9400E-002
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 5.5000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001

xC_0= 3.0000E-001
M1= -5.0151E+000
M2= 3.3512E+000
M3= 3.8894E+000
Kp_1= 2.3182E-006
Kp_2= 2.2448E+003
Kp_3= 7.7518E+003
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 2.9392E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 1.0529E-001
Kp_1= 2.3182E-006
Kp_2= 2.2448E+003
Kp_3= 7.7518E+003
L= 1.8202E+000
M= 2.1310E+000
I= 1.9680E+000
A1= 2.3307E+009
B1= 1.2129E+007
C1= -5.1647E+007
D1= 2.2740E+008
E1= -5.1647E+007
F1= -1.7401E+007
G1= 5.1647E+007
H1= 1.7401E+007
I1= 6.9049E+007
K1= -1.7401E+007
A2= -1.2881E+009
B2= 8.1728E+006
C2= -3.4803E+007
D2= -4.1391E+008
E2= -3.1288E+006
G2= 3.1288E+006
I2= 3.4803E+007
A3= 7.8526E+008
B3= -1.3330E+007
C3= -1.7401E+007
D3= -4.8459E+008
E3= -1.7401E+007
F3= 3.7082E+007
G3= 1.7401E+007
H3= -3.7082E+007
I3= 1.7401E+007
RAZLIKA1= 1.4628E-001
RAZLIKA2= 1.7328E-001
RAZLIKA3= 5.4568E-001
RAZLIKA1= 7.0025E-002
RAZLIKA2= 4.0426E-002
RAZLIKA3= 2.8785E-001
RAZLIKA1= 2.9604E-002
RAZLIKA2= 9.4678E-003
RAZLIKA3= 8.3176E-002
RAZLIKA1= 7.6140E-003
RAZLIKA2= 1.6003E-003
RAZLIKA3= 8.8282E-003
RAZLIKA1= 5.2778E-004
RAZLIKA2= 4.6184E-004
RAZLIKA3= 5.9566E-005
RAZLIKA1= 2.3343E-006
RAZLIKA2= 3.6532E-006

RAZLIKA3= 9.9751E-007
RAZLIKA1= 4.1286E-011
RAZLIKA2= 9.6204E-011
RAZLIKA3= 3.9337E-011
RAZLIKA1= 6.9389E-018
RAZLIKA2= 0.0000E+000
RAZLIKA3= 2.7756E-017
FUN1= -3.7253E-009
FUN2= 0.0000E+000
FUN3= -4.6566E-010
FUN1_1= 2.7683E+008
FUN1_2= 2.7428E+007
FUN1_3= 5.1437E+007
FUN2_1= -1.4832E+008
FUN2_2= -1.7729E+007
FUN2_3= 2.5316E+007
FUN3_1= 4.8997E+007
FUN3_2= -5.6474E+007
FUN3_3= 1.4856E+007
DELTA= ,4E
DELTA1= 8.9285E+023
DELTA2= 5.0928E+006
DELTA3= 6.0130E+006
h1= 3.4049E+007
k1= 5.7039E-018
l1= 6.7346E-018

Ravnatežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 4.5948E-002
xH2_1= 7.8892E-002
xC_1= 1.3423E-001
xCO2_1= 1.1004E-001
xCH4_1= 1.6882E-003
xH2O_1= 5.4714E-002
xN2_1= 5.7448E-001

Ravnatežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 5.3072E-002
yH2_1= 9.1124E-002
yCO2_1= 1.2710E-001
yCH4_1= 1.9499E-003
yH2O_1= 6.3198E-002
yN2_1= 6.6355E-001

Prilog P32. Rezultati proračuna ravnatežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m³/h u reakcioni prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 3.0000E-001
VREME= 1.2190E-001
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 6.0000E+002

p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -5.3339E+000
M2= 3.9764E+000
M3= 4.3835E+000
Kp_1= 1.1126E-006
Kp_2= 9.4716E+003
Kp_3= 2.4183E+004
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 3.5722E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 1.2911E-001
Kp_1= 1.1126E-006
Kp_2= 9.4716E+003
Kp_3= 2.4183E+004
L= 1.4977E+000
M= 2.1310E+000
I= 2.4133E+000
A1= 8.3619E+009
B1= 8.8117E+007
C1= -7.8184E+008
D1= 9.5947E+008
E1= -7.8184E+008
F1= -2.2905E+008
G1= 7.8184E+008
H1= 2.2905E+008
I1= 1.0109E+009
K1= -2.2905E+008
A2= -2.4383E+009
B2= 5.1631E+007
C2= -4.5811E+008
D2= -1.4370E+009
E2= -1.1506E+008
G2= 1.1506E+008
I2= 4.5811E+008
A3= 2.4498E+009
B3= -8.4210E+007
C3= -2.2905E+008
D3= -2.0446E+009
E3= -2.2905E+008
F3= 4.8811E+008
G3= 2.2905E+008
H3= -4.8811E+008
I3= 2.2905E+008
RAZLIKA1= 1.3177E-001
RAZLIKA2= 2.3403E-001
RAZLIKA3= 7.3187E-001
RAZLIKA1= 5.3016E-002
RAZLIKA2= 1.1997E-002
RAZLIKA3= 3.6352E-001
RAZLIKA1= 1.6478E-002
RAZLIKA2= 4.8362E-003
RAZLIKA3= 1.1022E-001
RAZLIKA1= 1.9225E-003
RAZLIKA2= 7.5284E-004
RAZLIKA3= 1.2392E-002
RAZLIKA1= 2.6041E-005
RAZLIKA2= 1.3302E-005

RAZLIKA3= 1.6024E-004
RAZLIKA1= 4.5969E-009
RAZLIKA2= 3.0064E-009
RAZLIKA3= 2.6691E-008
RAZLIKA1= 1.3878E-016
RAZLIKA2= 1.2490E-016
RAZLIKA3= 7.3552E-016
FUN1= -3.2783E-007
FUN2= -3.3900E-007
FUN3= -5.5879E-009
FUN1_1= 2.4381E+009
FUN1_2= 3.2418E+008
FUN1_3= 8.3099E+008
FUN2_1= -4.8327E+008
FUN2_2= -1.3045E+008
FUN2_3= 3.9711E+008
FUN3_1= 5.1993E+008
FUN3_2= -6.7352E+008
FUN3_3= 2.2275E+008
DELTA= ,4E
DELTA1= 1.0099E+027
DELTA2= -1.3473E+011
DELTA3= 1.3296E+011
h1= 7.4185E+011
k1= -1.3341E-016
l1= 1.3165E-016

Ravnatežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 9.6786E-002
xH2_1= 8.3569E-002
xC_1= 5.4417E-002
xCO2_1= 1.0595E-001
xCH4_1= 8.3240E-004
xH2O_1= 3.5831E-002
xN2_1= 6.2261E-001

Ravnatežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 1.0236E-001
yH2_1= 8.8378E-002
yCO2_1= 1.1205E-001
yCH4_1= 8.8031E-004
yH2O_1= 3.7893E-002
yN2_1= 6.5844E-001

Prilog P33. Rezultati proračuna ravnatežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI:

C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:
C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 3.0000E-001
VREME= 1.3700E-001
MUZORKA= 1.0000E-002

t= 6.3422E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -5.5329E+000
M2= 4.3639E+000
M3= 4.6906E+000
Kp_1= 7.0362E-007
Kp_2= 2.3114E+004
Kp_3= 4.9051E+004
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 3.9971E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 1.4510E-001
Kp_1= 7.0362E-007
Kp_2= 2.3114E+004
Kp_3= 4.9051E+004
L= 1.3385E+000
M= 2.1310E+000
I= 2.7122E+000
A1= 1.8445E+010
B1= 2.9998E+008
C1= -4.2087E+009
D1= 2.3414E+009
E1= -4.2087E+009
F1= -1.1337E+009
G1= 4.2087E+009
H1= 1.1337E+009
I1= 5.3424E+009
K1= -1.1337E+009
A2= -3.3637E+009
B2= 1.6162E+008
C2= -2.2675E+009
D2= -3.1340E+009
E2= -7.4999E+008
G2= 7.4999E+008
I2= 2.2675E+009
A3= 4.9688E+009
B3= -2.6360E+008
C3= -1.1337E+009
D3= -4.9896E+009
E3= -1.1337E+009
F3= 2.4160E+009
G3= 1.1337E+009
H3= -2.4160E+009
I3= 1.1337E+009
RAZLIKA1= 1.0692E-001
RAZLIKA2= 3.0220E-001
RAZLIKA3= 8.4813E-001
RAZLIKA1= 3.3460E-002
RAZLIKA2= 6.7649E-002
RAZLIKA3= 4.0374E-001
RAZLIKA1= 1.2165E-002
RAZLIKA2= 1.8155E-002
RAZLIKA3= 1.2810E-001
RAZLIKA1= 1.6740E-003
RAZLIKA2= 1.9149E-003
RAZLIKA3= 1.6048E-002
RAZLIKA1= 2.8721E-005

RAZLIKA2= 2.6484E-005
RAZLIKA3= 2.5920E-004
RAZLIKA1= 7.7993E-009
RAZLIKA2= 5.9905E-009
RAZLIKA3= 6.7519E-008
RAZLIKA1= 5.2736E-016
RAZLIKA2= 3.4694E-016
RAZLIKA3= 4.5634E-015
FUN1= -1.6451E-005
FUN2= -9.9650E-006
FUN3= -3.1049E-006
FUN1_1= 9.7859E+009
FUN1_2= 1.5263E+009
FUN1_3= 4.6319E+009
FUN2_1= -4.9868E+008
FUN2_2= -4.2913E+008
FUN2_3= 2.1581E+009
FUN3_1= 2.1553E+009
FUN3_2= -3.1883E+009
FUN3_3= 1.1751E+009
DELTA= ,4E
DELTA1= 8.2042E+028
DELTA2= -4.3739E+013
DELTA3= 2.8528E+013
h1= 3.7439E+014
k1= -5.3313E-016
l1= 3.4773E-016

Ravnatežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 1.4575E-001
xH2_1= 8.5547E-002
xC_1= 1.8335E-005
xCO2_1= 9.3107E-002
xCH4_1= 5.2164E-004
xH2O_1= 2.5751E-002
xN2_1= 6.4930E-001

Ravnatežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 1.4576E-001
yH2_1= 8.5549E-002
yCO2_1= 9.3109E-002
yCH4_1= 5.2165E-004
yH2O_1= 2.5752E-002
yN2_1= 6.4931E-001

Prilog P34. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:
C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 3.0000E-001
VREME= 1.4390E-001
MUZORKA= 1.0000E-002

t= 6.5000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -5.6199E+000
M2= 4.5327E+000
M3= 4.8247E+000
Kp_1= 5.7581E-007
Kp_2= 3.4092E+004
Kp_3= 6.6781E+004
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 4.1912E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 1.5241E-001
Kp_1= 5.7581E-007
Kp_2= 3.4092E+004
Kp_3= 6.6781E+004
L= 1.2765E+000
M= 2.1310E+000
I= 2.8488E+000
A1= 2.6037E+010
B1= 5.1111E+008
C1= -8.7625E+009
D1= 3.4535E+009
E1= -8.7625E+009
F1= -2.2767E+009
G1= 8.7625E+009
H1= 2.2767E+009
I1= 1.1039E+010
K1= -2.2767E+009
A2= -3.7409E+009
B2= 2.6560E+008
C2= -4.5534E+009
D2= -4.4084E+009
E2= -1.6472E+009
G2= 1.6472E+009
I2= 4.5534E+009
A3= 6.7649E+009
B3= -4.3319E+008
C3= -2.2767E+009
D3= -7.3595E+009
E3= -2.2767E+009
F3= 4.8517E+009
G3= 2.2767E+009
H3= -4.8517E+009
I3= 2.2767E+009
RAZLIKA1= 8.9194E-002
RAZLIKA2= 3.3882E-001
RAZLIKA3= 9.0568E-001
RAZLIKA1= 2.5453E-002
RAZLIKA2= 9.6497E-002
RAZLIKA3= 4.2416E-001
RAZLIKA1= 1.2122E-002
RAZLIKA2= 2.5573E-002
RAZLIKA3= 1.3800E-001
RAZLIKA1= 1.9279E-003
RAZLIKA2= 2.8037E-003
RAZLIKA3= 1.8245E-002
RAZLIKA1= 3.8371E-005

RAZLIKA2= 4.3069E-005
RAZLIKA3= 3.2820E-004
RAZLIKA1= 1.3195E-008
RAZLIKA2= 1.2115E-008
RAZLIKA3= 1.0591E-007
RAZLIKA1= 1.4433E-015
RAZLIKA2= 1.1102E-015
RAZLIKA3= 1.1015E-014
FUN1= -8.4877E-005
FUN2= -4.8727E-005
FUN3= -1.3813E-005
FUN1_1= 1.8197E+010
FUN1_2= 3.0130E+009
FUN1_3= 9.7795E+009
FUN2_1= 2.7379E+007
FUN2_2= -7.0927E+008
FUN2_3= 4.4984E+009
FUN3_1= 4.0170E+009
FUN3_2= -6.3077E+009
FUN3_3= 2.4181E+009
DELTA= ,4E
DELTA1= 5.6553E+029
DELTA2= -8.1495E+014
DELTA3= 6.3092E+014
h1= 6.2303E+015
k1= -1.4410E-015
l1= 1.1156E-015

Ravnatežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 1.7126E-001
xH2_1= 8.6100E-002
xC_1= -2.4938E-002
xCO2_1= 8.5034E-002
xCH4_1= 4.2188E-004
xH2O_1= 2.1824E-002
xN2_1= 6.6029E-001

Ravnatežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 1.6710E-001
yH2_1= 8.4005E-002
yCO2_1= 8.2965E-002
yCH4_1= 4.1162E-004
yH2O_1= 2.1293E-002
yN2_1= 6.4423E-001

Prilog P35. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m³/h u reakcioni prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,yCH4_0,yCO2_0,yH2_0:
C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 3.0000E-001
VREME= 1.6590E-001
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 7.0000E+002

p= 1.0130E+005
yCH4_0= 1.0000E-001
yCO2_0= 1.0000E-001
yH2_0= 1.0000E-001
M1= -5.8782E+000
M2= 5.0305E+000
M3= 5.2206E+000
Kp_1= 3.1770E-007
Kp_2= 1.0727E+005
Kp_3= 1.6619E+005
b1= 2.5000E-002
b2= 4.8048E-002
b3= 1.0556E-004
b0= 7.3154E-002
d= 1.7570E-001
A1= 1.1287E+000
C1= 3.2183E-002
D1= -5.0000E-001
E1= -1.1287E+000
G1= -2.5208E-001
I1= 1.6091E-003
J1= 2.0114E-005
B2= -1.2647E+000
C2= -1.0000E+000
D2= 5.2946E-001
F2= -2.5295E+000
G2= -5.0879E-002
H2= -1.0632E-001
I2= 5.0879E-002
J2= 1.2662E-002
C3= -2.6406E+000
D3= 2.0000E+000
E3= 3.6406E+000
F3= -1.8203E+000
G3= -1.7318E-004
H3= -2.4913E-002
I3= -4.3311E-001
J3= 4.3096E-005
RAZLIKA1= 9.6409E-002
RAZLIKA2= 8.5806E-003
RAZLIKA3= 1.1345E-001
RAZLIKA1= 3.5016E-003
RAZLIKA2= 3.7108E-002
RAZLIKA3= 9.3482E-003
RAZLIKA1= 3.4719E-005
RAZLIKA2= 3.6767E-003
RAZLIKA3= 1.1094E-003
RAZLIKA1= 1.2015E-007
RAZLIKA2= 3.3284E-005
RAZLIKA3= 9.1564E-006
RAZLIKA1= 1.6030E-011
RAZLIKA2= 2.9569E-009
RAZLIKA3= 7.1906E-010
RAZLIKA1= 1.2197E-019
RAZLIKA2= 2.7756E-017
RAZLIKA3= 4.7705E-018
FUN1= 2.7105E-020
FUN2= -6.9389E-018
FUN3= 2.1413E-018
FUN1_1= -2.8246E-001

FUN1_2= -2.7601E-005
FUN1_3= 1.3546E-003
FUN2_1= -1.5002E-002
FUN2_2= -2.7014E-001
FUN2_3= -1.1455E-001
FUN3_1= 1.2448E-001
FUN3_2= -1.9367E-002
FUN3_3= -5.4048E-001
DELTA= -4.0568E-002
DELTA1= -4.9732E-021
DELTA2= 1.1281E-018
DELTA3= -2.0229E-019
h1= 1.2259E-019
k1= -2.7808E-017
l1= 4.9865E-018

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

yCO= 2.3159E-001
yH2= 7.8310E-002
yCO2= 5.0651E-002
yCH4= 1.9736E-004
yH2O= 1.1055E-002
yN2= 6.2819E-001

Prilog P36. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,yCH4_0,yCO2_0,yH2_0:
C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 3.0000E-001
VREME= 1.8790E-001
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 7.5000E+002
p= 1.0130E+005
yCH4_0= 1.0000E-001
yCO2_0= 1.0000E-001
yH2_0= 1.0000E-001
M1= -6.1126E+000
M2= 5.4784E+000
M3= 5.5778E+000
Kp_1= 1.8517E-007
Kp_2= 3.0090E+005
Kp_3= 3.7824E+005
b1= 2.5000E-002
b2= 5.4238E-002
b3= 1.0556E-004

b0= 7.9343E-002
d= 1.9900E-001
A1= 1.0750E+000
C1= 1.8758E-002
D1= -5.0000E-001
E1= -1.0750E+000
G1= -2.8022E-001
I1= 9.3789E-004
J1= 1.1724E-005
B2= -1.7426E+000
C2= -1.0000E+000
D2= 1.4852E+000
F2= -3.4852E+000
G2= -1.6110E-001
H2= -3.3283E-001
I2= 1.6110E-001
J2= 4.4842E-002
C3= -4.7339E+000
D3= 2.0000E+000
E3= 5.7339E+000
F3= -2.8669E+000
G3= -3.9413E-004
H3= -2.4803E-002
I3= -1.0639E+000
J3= 1.0970E-004
RAZLIKA1= 9.9183E-002
RAZLIKA2= 7.8953E-003
RAZLIKA3= 1.0732E-001
RAZLIKA1= 7.8465E-004
RAZLIKA2= 1.6062E-002
RAZLIKA3= 5.5975E-003
RAZLIKA1= 7.8083E-007
RAZLIKA2= 2.5104E-004
RAZLIKA3= 8.7200E-005
RAZLIKA1= 4.2472E-010
RAZLIKA2= 6.8360E-008
RAZLIKA3= 2.1520E-008
RAZLIKA1= 4.6404E-017
RAZLIKA2= 5.8425E-015
RAZLIKA3= 1.6363E-015
FUN1= 1.3573E-017
FUN2= -3.5250E-015
FUN3= 2.0195E-015
FUN1_1= -3.2418E-001
FUN1_2= -1.5792E-005
FUN1_3= 8.4259E-004
FUN2_1= -2.5089E-002
FUN2_2= -6.4627E-001
FUN2_3= -1.5480E-001
FUN3_1= 1.7339E-001
FUN3_2= -2.0052E-002
FUN3_3= -1.3108E+000
DELTA= -2.7353E-001
DELTA1= -1.2693E-017
DELTA2= 1.5996E-015
DELTA3= -4.4757E-016
h1= 4.6405E-017
k1= -5.8481E-015
l1= 1.6363E-015

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

yCO= 2.7893E-001
yH2= 7.2261E-002
yCO2= 2.6194E-002
yCH4= 9.7945E-005
yH2O= 5.3981E-003
yN2= 6.1712E-001

Prilog P37. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m³/h u reakcioni prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,yCH4_0,yCO2_0,yH2_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 3.0000E-001
VREME= 2.0990E-001
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 8.0000E+002
p= 1.0130E+005
yCH4_0= 1.0000E-001
yCO2_0= 1.0000E-001
yH2_0= 1.0000E-001
M1= -6.3265E+000
M2= 5.8835E+000
M3= 5.9014E+000
Kp_1= 1.1317E-007
Kp_2= 7.6463E+005
Kp_3= 7.9687E+005
b1= 2.5000E-002
b2= 6.0427E-002
b3= 1.0556E-004
b0= 8.5533E-002
d= 2.2230E-001
A1= 1.0459E+000
C1= 1.1464E-002
D1= -5.0000E-001
E1= -1.0459E+000
G1= -3.0897E-001
I1= 5.7321E-004
J1= 7.1652E-006
B2= -2.8870E+000
C2= -1.0000E+000
D2= 3.7741E+000
F2= -5.7741E+000
G2= -4.5611E-001
H2= -9.3371E-001
I2= 4.5611E-001

J2= 1.4040E-001
C3= -8.8664E+000
D3= 2.0000E+000
E3= 9.8664E+000
F3= -4.9332E+000
G3= -8.3034E-004
H3= -2.4585E-002
I3= -2.4457E+000
J3= 2.5560E-004
RAZLIKA1= 1.0174E-001
RAZLIKA2= 1.7539E-002
RAZLIKA3= 1.0533E-001
RAZLIKA1= 1.7580E-003
RAZLIKA2= 5.6815E-003
RAZLIKA3= 4.4912E-003
RAZLIKA1= 5.5192E-007
RAZLIKA2= 2.5814E-006
RAZLIKA3= 1.7204E-006
RAZLIKA1= 1.9840E-013
RAZLIKA2= 1.3213E-012
RAZLIKA3= 7.5580E-013
FUN1= 7.1800E-014
FUN2= -1.9318E-012
FUN3= 2.1846E-012
FUN1_1= -3.6399E-001
FUN1_2= -9.1971E-006
FUN1_3= 5.3488E-004
FUN2_1= -3.3965E-002
FUN2_2= -1.5747E+000
FUN2_3= -1.8808E-001
FUN3_1= 2.1466E-001
FUN3_2= -2.0439E-002
FUN3_3= -2.9825E+000
DELTA= -1.7079E+000
DELTA1= -3.3885E-013
DELTA2= 2.2567E-012
DELTA3= -1.2908E-012
h1= 1.9840E-013
k1= -1.3213E-012
l1= 7.5580E-013

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

yCO= 3.0593E-001
yH2= 6.6492E-002
yCO2= 1.2399E-002
yCH4= 5.0686E-005
yH2O= 2.5859E-003
yN2= 6.1255E-001

Prilog P38. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,yCH4_0,yCO2_0,yH2_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 3.0000E-001
VREME= 2.3190E-001
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 8.5000E+002
p= 1.0130E+005
yCH4_0= 1.0000E-001
yCO2_0= 1.0000E-001
yH2_0= 1.0000E-001
M1= -6.5223E+000
M2= 6.2513E+000
M3= 6.1958E+000
Kp_1= 7.2092E-008
Kp_2= 1.7837E+006
Kp_3= 1.5698E+006
b1= 2.5000E-002
b2= 6.6616E-002
b3= 1.0556E-004
b0= 9.1722E-002
d= 2.4559E-001
A1= 1.0292E+000
C1= 7.3029E-003
D1= -5.0000E-001
E1= -1.0292E+000
G1= -3.3804E-001
I1= 3.6514E-004
J1= 4.5643E-006
B2= -5.4019E+000
C2= -1.0000E+000
D2= 8.8038E+000
F2= -1.0804E+001
G2= -1.1730E+000
H2= -2.3832E+000
I2= 1.1730E+000
J2= 3.9565E-001
C3= -1.6497E+001
D3= 2.0000E+000
E3= 1.7497E+001
F3= -8.7484E+000
G3= -1.6358E-003
H3= -2.4182E-002
I3= -5.2506E+000
J3= 5.5176E-004

RAZLIKA1= 1.0384E-001
RAZLIKA2= 3.1396E-002
RAZLIKA3= 1.0538E-001
RAZLIKA1= 3.8465E-003
RAZLIKA2= 2.8112E-003
RAZLIKA3= 4.9741E-003
RAZLIKA1= 2.7987E-006
RAZLIKA2= 3.3502E-006
RAZLIKA3= 4.4125E-006
RAZLIKA1= 4.5275E-013
RAZLIKA2= 8.3392E-013
RAZLIKA3= 8.7647E-013
FUN1= 1.8165E-013
FUN2= -2.9348E-012
FUN3= 5.4464E-012
FUN1_1= -4.0190E-001
FUN1_2= -5.4975E-006
FUN1_3= 3.4797E-004
FUN2_1= -4.0953E-002
FUN2_2= -3.7679E+000
FUN2_3= -2.1541E-001
FUN3_1= 2.4851E-001
FUN3_2= -2.0651E-002
FUN3_3= -6.3620E+000
DELTA= -9.6320E+000
DELTA1= -4.3608E-012
DELTA2= 8.0324E-012
DELTA3= -8.4421E-012
h1= 4.5275E-013
k1= -8.3393E-013
l1= 8.7647E-013

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

yCO= 3.1950E-001
yH2= 6.1260E-002
yCO2= 5.7975E-003
yCH4= 2.7406E-005
yH2O= 1.2630E-003
yN2= 6.1215E-001

Prilog P39. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,3 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,yCH4_0,yCO2_0,yH2_0:
C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001

VVAZDUHA= 3.0000E-001
VREME= 2.5390E-001
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 9.0000E+002
p= 1.0130E+005
yCH4_0= 1.0000E-001
yCO2_0= 1.0000E-001
yH2_0= 1.0000E-001
M1= -6.7024E+000
M2= 6.5868E+000
M3= 6.4649E+000
Kp_1= 4.7626E-008
Kp_2= 3.8615E+006
Kp_3= 2.9165E+006
b1= 2.5000E-002
b2= 7.2806E-002
b3= 1.0556E-004
b0= 9.7911E-002
d= 2.6889E-001
A1= 1.0193E+000
C1= 4.8245E-003
D1= -5.0000E-001
E1= -1.0193E+000
G1= -3.6728E-001
I1= 2.4122E-004
J1= 3.0153E-006
B2= -1.0530E+001
C2= -1.0000E+000
D2= 1.9060E+001
F2= -2.1060E+001
G2= -2.7753E+000
H2= -5.6034E+000
I2= 2.7753E+000
J2= 1.0180E+000
C3= -2.9791E+001
D3= 2.0000E+000
E3= 3.0791E+001
F3= -1.5395E+001
G3= -3.0390E-003
H3= -2.3481E-002
I3= -1.0582E+001
J3= 1.1147E-003
RAZLIKA1= 1.0549E-001
RAZLIKA2= 4.6051E-002
RAZLIKA3= 1.0613E-001
RAZLIKA1= 5.4809E-003
RAZLIKA2= 2.8794E-003
RAZLIKA3= 5.9411E-003
RAZLIKA1= 1.2523E-005
RAZLIKA2= 7.8013E-006
RAZLIKA3= 1.4602E-005
RAZLIKA1= 5.3234E-011
RAZLIKA2= 3.8951E-011
RAZLIKA3= 6.6719E-011
RAZLIKA1= 8.4703E-022
RAZLIKA2= 2.7756E-017
RAZLIKA3= 5.4210E-020
FUN1= 4.2352E-022
FUN2= 2.2204E-016
FUN3= 0.0000E+000

FUN1_1= -4.3867E-001
FUN1_2= -3.3887E-006
FUN1_3= 2.3262E-004
FUN2_1= -4.6658E-002
FUN2_2= -8.6146E+000
FUN2_3= -2.3932E-001
FUN3_1= 2.7788E-001
FUN3_2= -2.0763E-002
FUN3_3= -1.2776E+001
DELTA= -4.8276E+001
DELTA1= -3.5923E-020
DELTA2= -1.2444E-015
DELTA3= 2.0216E-018
h1= 7.4413E-022
k1= 2.5777E-017
l1= -4.1876E-020

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

yCO= 3.2631E-001
yH2= 5.6620E-002
yCO2= 2.7933E-003
yCH4= 1.5467E-005
yH2O= 6.4173E-004
yN2= 6.1362E-001

Prilog P40. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:
C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 6.0000E-001
VREME= 1.9140E-002
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 3.0000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -2.6311E+000
M2= -1.4374E+000
M3= 1.7812E-001
Kp_1= 5.6121E-004
Kp_2= 3.6526E-002
Kp_3= 1.5070E+000

SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 1.2197E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 4.0570E-002
Kp_1= 5.6121E-004
Kp_2= 3.6526E-002
Kp_3= 1.5070E+000
L= 4.3862E+000
M= 2.1310E+000
I= 7.5831E-001
A1= 2.6842E+005
B1= 5.5024E+000
C1= -9.6787E-002
D1= 3.7001E+003
E1= -9.6787E-002
F1= -5.5045E-002
G1= 9.6787E-002
H1= 5.5045E-002
I1= 1.5183E-001
K1= -5.5045E-002
A2= -1.0339E+006
B2= 6.2587E+000
C2= -1.1009E-001
D2= -1.6230E+004
E2= 1.3135E-001
G2= -1.3135E-001
I2= 1.1009E-001
A3= 1.5266E+005
B3= -1.0208E+001
C3= -5.5045E-002
D3= -7.8849E+003
E3= -5.5045E-002
F3= 1.1730E-001
G3= 5.5045E-002
H3= -1.1730E-001
I3= 5.5045E-002
RAZLIKA1= 1.5000E-001
RAZLIKA2= 1.5000E-001
RAZLIKA3= 2.2677E-003
RAZLIKA1= 7.5000E-002
RAZLIKA2= 7.4992E-002
RAZLIKA3= 7.4429E-002
RAZLIKA1= 3.7500E-002
RAZLIKA2= 3.7485E-002
RAZLIKA3= 3.7375E-002
RAZLIKA1= 1.8750E-002
RAZLIKA2= 1.8719E-002
RAZLIKA3= 1.8697E-002
RAZLIKA1= 9.3750E-003
RAZLIKA2= 9.3140E-003
RAZLIKA3= 9.3263E-003
RAZLIKA1= 4.6875E-003
RAZLIKA2= 4.5657E-003
RAZLIKA3= 4.6146E-003
RAZLIKA1= 2.3438E-003
RAZLIKA2= 2.1005E-003
RAZLIKA3= 2.2035E-003
RAZLIKA1= 1.1719E-003
RAZLIKA2= 6.8676E-004
RAZLIKA3= 8.6858E-004

RAZLIKA1= 5.8599E-004
RAZLIKA2= 3.7810E-004
RAZLIKA3= 1.3264E-004
RAZLIKA1= 2.9281E-004
RAZLIKA2= 1.6037E-003
RAZLIKA3= 1.5836E-003
RAZLIKA1= 1.4465E-004
RAZLIKA2= 3.4531E-003
RAZLIKA3= 5.1400E-003
RAZLIKA1= 6.1935E-005
RAZLIKA2= 5.6167E-003
RAZLIKA3= 1.3473E-002
RAZLIKA1= 6.1433E-006
RAZLIKA2= 3.2786E-003
RAZLIKA3= 1.3892E-002
RAZLIKA1= 8.9725E-007
RAZLIKA2= 5.9976E-005
RAZLIKA3= 5.8655E-004
RAZLIKA1= 1.6005E-009
RAZLIKA2= 6.1280E-007
RAZLIKA3= 2.1099E-006
RAZLIKA1= 3.3361E-014
RAZLIKA2= 4.1099E-014
RAZLIKA3= 3.2102E-011
FUN1= -1.2352E-012
FUN2= 1.5130E-011
FUN3= 3.8943E-012
FUN1_1= 1.0432E+002
FUN1_2= 5.1293E-001
FUN1_3= 7.0593E-002
FUN2_1= -4.3413E+002
FUN2_2= -1.1111E+000
FUN2_3= 1.8732E-002
FUN3_1= -1.0459E+002
FUN3_2= -1.0432E+000
FUN3_3= 1.1281E-002
DELTA= 2.6006E+001
DELTA1= 8.6760E-013
DELTA2= 1.0688E-012
DELTA3= -8.3485E-010
h1= 3.3361E-014
k1= 4.1099E-014
l1= -3.2102E-011

Ravnatežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 8.1116E-005
xH2_1= 1.6410E-002
xC_1= 4.1497E-001
xCO2_1= 3.1192E-002
xCH4_1= 2.6167E-002
xH2O_1= 1.5294E-001
xN2_1= 3.5824E-001

Ravnatežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 1.3865E-004
yH2_1= 2.8049E-002
yCO2_1= 5.3317E-002
yCH4_1= 4.4728E-002
yH2O_1= 2.6143E-001
yN2_1= 6.1234E-001

Prilog P41. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 6.0000E-001
VREME= 3.7200E-002
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 3.5000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -3.2556E+000
M2= -1.6977E-001
M3= 1.1473E+000
Kp_1= 1.3322E-004
Kp_2= 6.7644E-001
Kp_3= 1.4037E+001
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 2.2359E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 7.8817E-002
Kp_1= 1.3322E-004
Kp_2= 6.7644E-001
Kp_3= 1.4037E+001
L= 2.3928E+000
M= 2.1310E+000
I= 1.4732E+000
A1= 3.5168E+006
B1= 3.1693E+002
C1= -2.3484E+001
D1= 6.8523E+004
E1= -2.3484E+001
F1= -9.4953E+000
G1= 2.3484E+001
H1= 9.4953E+000
I1= 3.2979E+001
K1= -9.4953E+000
A2= -3.9610E+006
B2= 2.5629E+002
C2= -1.8991E+001
D2= -1.6396E+005
E2= 3.7295E+000
G2= -3.7295E+000
I2= 1.8991E+001
A3= 1.4220E+006

B3= -4.1801E+002
C3= -9.4953E+000
D3= -1.4602E+005
E3= -9.4953E+000
F3= 2.0235E+001
G3= 9.4953E+000
H3= -2.0235E+001
I3= 9.4953E+000
RAZLIKA1= 1.5000E-001
RAZLIKA2= 1.5002E-001
RAZLIKA3= 3.1913E-001
RAZLIKA1= 7.4999E-002
RAZLIKA2= 7.4915E-002
RAZLIKA3= 1.9338E-001
RAZLIKA1= 3.7499E-002
RAZLIKA2= 3.7361E-002
RAZLIKA3= 6.2935E-002
RAZLIKA1= 1.8747E-002
RAZLIKA2= 1.8474E-002
RAZLIKA3= 2.0572E-002
RAZLIKA1= 9.3695E-003
RAZLIKA2= 8.8218E-003
RAZLIKA3= 9.0891E-003
RAZLIKA1= 4.6764E-003
RAZLIKA2= 3.5916E-003
RAZLIKA3= 4.0485E-003
RAZLIKA1= 2.3211E-003
RAZLIKA2= 2.1251E-004
RAZLIKA3= 9.9763E-004
RAZLIKA1= 1.1249E-003
RAZLIKA2= 2.7563E-003
RAZLIKA3= 1.7898E-003
RAZLIKA1= 4.8959E-004
RAZLIKA2= 5.4594E-003
RAZLIKA3= 5.4008E-003
RAZLIKA1= 1.3347E-004
RAZLIKA2= 4.8406E-003
RAZLIKA3= 6.8807E-003
RAZLIKA1= 6.9462E-006
RAZLIKA2= 8.5382E-004
RAZLIKA3= 1.8553E-003
RAZLIKA1= 4.9068E-008
RAZLIKA2= 3.2399E-006
RAZLIKA3= 2.0362E-005
RAZLIKA1= 2.1075E-012
RAZLIKA2= 1.9426E-010
RAZLIKA3= 5.3632E-010
FUN1= 1.3600E-008
FUN2= -4.0789E-008
FUN3= -2.9440E-008
FUN1_1= 5.8808E+003
FUN1_2= 6.3495E+001
FUN1_3= 2.0748E+001
FUN2_1= -8.3874E+003
FUN2_2= -9.3384E+001
FUN2_3= 9.2719E+000
FUN3_1= -1.1871E+003
FUN3_2= -1.2475E+002
FUN3_3= 5.0440E+000
DELTA= 2.5428E+007

DELTA1= -5.3588E-005
DELTA2= -4.9396E-003
DELTA3= 1.3637E-002
h1= -2.1075E-012
k1= -1.9426E-010
l1= 5.3632E-010

Ravnotežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 6.3370E-004
xH2_1= 2.0520E-002
xC_1= 2.5595E-001
xCO2_1= 8.0825E-002
xCH4_1= 7.6373E-003
xH2O_1= 1.2612E-001
xN2_1= 5.0832E-001

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 8.5169E-004
yH2_1= 2.7579E-002
yCO2_1= 1.0863E-001
yCH4_1= 1.0264E-002
yH2O_1= 1.6950E-001
yN2_1= 6.8317E-001

Prilog P42. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI:

C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 6.0000E-001
VREME= 5.5300E-002
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 4.0000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -3.7897E+000
M2= 9.0860E-001
M3= 1.9794E+000
Kp_1= 3.8948E-005
Kp_2= 8.1022E+000
Kp_3= 9.5368E+001
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 3.2543E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 1.1715E-001
Kp_1= 3.8948E-005
Kp_2= 8.1022E+000
Kp_3= 9.5368E+001
L= 1.6440E+000

M= 2.1310E+000
I= 2.1897E+000
A1= 3.0815E+007
B1= 9.7241E+003
C1= -2.4646E+003
D1= 8.2075E+005
E1= -2.4646E+003
F1= -7.7269E+002
G1= 2.4646E+003
H1= 7.7269E+002
I1= 3.2373E+003
K1= -7.7269E+002
A2= -1.2442E+007
B2= 6.0972E+003
C2= -1.5454E+003
D2= -1.3493E+006
E2= -2.7511E+002
G2= 2.7511E+002
I2= 1.5454E+003
A3= 9.6608E+006
B3= -9.9446E+003
C3= -7.7269E+002
D3= -1.7490E+006
E3= -7.7269E+002
F3= 1.6466E+003
G3= 7.7269E+002
H3= -1.6466E+003
I3= 7.7269E+002
RAZLIKA1= 1.4998E-001
RAZLIKA2= 1.5044E-001
RAZLIKA3= 7.1274E-001
RAZLIKA1= 7.4981E-002
RAZLIKA2= 7.4291E-002
RAZLIKA3= 3.8866E-001
RAZLIKA1= 3.7470E-002
RAZLIKA2= 3.6636E-002
RAZLIKA3= 1.3981E-001
RAZLIKA1= 1.8689E-002
RAZLIKA2= 1.7150E-002
RAZLIKA3= 3.3382E-002
RAZLIKA1= 9.2499E-003
RAZLIKA2= 6.2679E-003
RAZLIKA3= 8.1565E-003
RAZLIKA1= 4.4332E-003
RAZLIKA2= 8.4941E-004
RAZLIKA3= 1.2880E-003
RAZLIKA1= 1.8587E-003
RAZLIKA2= 5.4799E-003
RAZLIKA3= 3.1776E-003
RAZLIKA1= 4.7329E-004
RAZLIKA2= 4.6608E-003
RAZLIKA3= 3.8606E-003
RAZLIKA1= 2.9305E-005
RAZLIKA2= 7.2284E-004
RAZLIKA3= 7.9335E-004
RAZLIKA1= 5.2244E-008
RAZLIKA2= 4.8788E-006
RAZLIKA3= 7.9905E-006
RAZLIKA1= 1.6818E-012
RAZLIKA2= 8.0154E-012

RAZLIKA3= 1.3809E-010
FUN1= -2.1899E-008
FUN2= 3.5630E-007
FUN3= 1.2161E-007
FUN1_1= 1.9885E+005
FUN1_2= 3.5059E+003
FUN1_3= 2.4666E+003
FUN2_1= -1.0662E+005
FUN2_2= -3.4953E+003
FUN2_3= 1.0788E+003
FUN3_1= 8.3104E+003
FUN3_2= -6.8906E+003
FUN3_3= 5.8193E+002
DELTA= 3.2064E+012
DELTA1= 5.3926E+000
DELTA2= 2.5701E+001
DELTA3= -4.4278E+002
h1= 1.6818E-012
k1= 8.0154E-012
l1= -1.3809E-010

Ravnotežni sastav
(heterogena faza)

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

xCO_1= 2.8339E-003
xH2_1= 2.6930E-002
xC_1= 1.5072E-001
xCO2_1= 1.1823E-001
xCH4_1= 3.3690E-003
xH2O_1= 9.5447E-002
xN2_1= 6.0248E-001

yCO_1= 3.3368E-003
yH2_1= 3.1709E-002
yCO2_1= 1.3921E-001
yCH4_1= 3.9669E-003
yH2O_1= 1.1239E-001
yN2_1= 7.0940E-001

Prilog P43. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI:

C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 6.0000E-001
VREME= 6.5500E-002
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 4.5000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001

M1= -4.2523E+000
M2= 1.8367E+000
M3= 2.7012E+000
Kp_1= 1.3426E-005
Kp_2= 6.8666E+001
Kp_3= 5.0252E+002
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 3.8283E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 1.3875E-001
Kp_1= 1.3426E-005
Kp_2= 6.8666E+001
Kp_3= 5.0252E+002
L= 1.3975E+000
M= 2.1310E+000
I= 2.5934E+000
A1= 1.8293E+008
B1= 1.6864E+005
C1= -1.2400E+005
D1= 6.9558E+006
E1= -1.2400E+005
F1= -3.4506E+004
G1= 1.2400E+005
H1= 3.4506E+004
I1= 1.5850E+005
K1= -3.4506E+004
A2= -4.0470E+007
B2= 9.3860E+004
C2= -6.9012E+004
D2= -9.7208E+006
E2= -2.0790E+004
G2= 2.0790E+004
I2= 6.9012E+004
A3= 5.0906E+007
B3= -1.5309E+005
C3= -3.4506E+004
D3= -1.4823E+007
E3= -3.4506E+004
F3= 7.3533E+004
G3= 3.4506E+004
H3= -7.3533E+004
I3= 3.4506E+004
RAZLIKA1= 1.4978E-001
RAZLIKA2= 1.5344E-001
RAZLIKA3= 9.6393E-001
RAZLIKA1= 7.4797E-002
RAZLIKA2= 7.0922E-002
RAZLIKA3= 5.1577E-001
RAZLIKA1= 3.7190E-002
RAZLIKA2= 3.3435E-002
RAZLIKA3= 1.9951E-001
RAZLIKA1= 1.8118E-002
RAZLIKA2= 1.2346E-002
RAZLIKA3= 4.7754E-002
RAZLIKA1= 8.1041E-003
RAZLIKA2= 4.5100E-004
RAZLIKA3= 5.0575E-003
RAZLIKA1= 2.6197E-003
RAZLIKA2= 4.8836E-003
RAZLIKA3= 1.9045E-003

RAZLIKA1= 3.2009E-004
RAZLIKA2= 1.6440E-003
RAZLIKA3= 1.0255E-003
RAZLIKA1= 4.2184E-006
RAZLIKA2= 4.5474E-005
RAZLIKA3= 3.6049E-005
RAZLIKA1= 4.7377E-010
RAZLIKA2= 1.2614E-008
RAZLIKA3= 1.3314E-008
RAZLIKA1= 8.6736E-018
RAZLIKA2= 2.2204E-016
RAZLIKA3= 4.7184E-016
FUN1= 7.2760E-012
FUN2= 5.2751E-011
FUN3= 5.8208E-011
FUN1_1= 3.6839E+006
FUN1_2= 1.0650E+005
FUN1_3= 1.3101E+005
FUN2_1= -1.0735E+006
FUN2_2= -8.1180E+004
FUN2_3= 5.4856E+004
FUN3_1= 4.0704E+005
FUN3_2= -2.1173E+005
FUN3_3= 2.9922E+004
DELTA= 7.3744E+016
DELTA1= 6.0539E-001
DELTA2= 1.6551E+001
DELTA3= -3.4573E+001
h1= 8.2093E-018
k1= 2.2444E-016
l1= -4.6883E-016

Ravnatežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 9.0635E-003
xH2_1= 3.6885E-002
xC_1= 1.0120E-001
xCO2_1= 1.3483E-001
xCH4_1= 2.0587E-003
xH2O_1= 7.4978E-002
xN2_1= 6.4098E-001

Ravnatežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 1.0084E-002
yH2_1= 4.1038E-002
yCO2_1= 1.5002E-001
yCH4_1= 2.2905E-003
yH2O_1= 8.3420E-002
yN2_1= 7.1315E-001

Prilog P44. Rezultati proračuna ravnatežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI:

C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001

H= 5.0000E-002

O= 4.4000E-002

N= 1.0000E-003

S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 6.0000E-001
VREME= 8.2200E-002
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 5.0000E+002
p= 1.0130E+005
xCO_0= 3.0000E-001
xH2_0= 3.0000E-001
xC_0= 3.0000E-001
M1= -4.6572E+000
M2= 2.6436E+000
M3= 3.3327E+000
Kp_1= 5.2845E-006
Kp_2= 4.4016E+002
Kp_3= 2.1511E+003
SUMAC= 5.3500E-002
SUMAO2= 4.7679E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 1.7412E-001
Kp_1= 5.2845E-006
Kp_2= 4.4016E+002
Kp_3= 2.1511E+003
L= 1.1221E+000
M= 2.1310E+000
I= 3.2545E+000
A1= 9.2709E+008
B1= 2.1564E+006
C1= -4.0283E+006
D1= 4.4588E+007
E1= -4.0283E+006
F1= -9.4683E+005
G1= 4.0283E+006
H1= 9.4683E+005
I1= 4.9751E+006
K1= -9.4683E+005
A2= -5.3206E+007
B2= 1.0137E+006
C2= -1.8937E+006
D2= -5.0031E+007
E2= -8.3123E+005
G2= 8.3123E+005
I2= 1.8937E+006
A3= 2.1791E+008
B3= -1.6534E+006
C3= -9.4683E+005
D3= -9.5017E+007
E3= -9.4683E+005
F3= 2.0177E+006
G3= 9.4683E+005
H3= -2.0177E+006
I3= 9.4683E+005
RAZLIKA1= 1.4801E-001
RAZLIKA2= 1.7250E-001
RAZLIKA3= 1.4101E+000
RAZLIKA1= 7.3227E-002
RAZLIKA2= 5.5415E-002
RAZLIKA3= 7.4040E-001
RAZLIKA1= 3.5177E-002

RAZLIKA2= 2.3794E-002
RAZLIKA3= 3.1169E-001
RAZLIKA1= 1.4656E-002
RAZLIKA2= 5.7608E-003
RAZLIKA3= 8.6408E-002
RAZLIKA1= 3.6525E-003
RAZLIKA2= 9.7665E-004
RAZLIKA3= 7.9256E-003
RAZLIKA1= 2.4140E-004
RAZLIKA2= 2.9915E-004
RAZLIKA3= 2.4931E-006
RAZLIKA1= 9.8938E-007
RAZLIKA2= 2.4298E-006
RAZLIKA3= 1.0297E-006
RAZLIKA1= 1.5054E-011
RAZLIKA2= 6.1956E-011
RAZLIKA3= 3.4724E-011
RAZLIKA1= 0.0000E+000
RAZLIKA2= 0.0000E+000
RAZLIKA3= 1.3878E-017
FUN1= 0.0000E+000
FUN2= -2.9104E-011
FUN3= 0.0000E+000
FUN1_1= 5.2265E+007
FUN1_2= 2.2179E+006
FUN1_3= 4.5403E+006
FUN2_1= -4.0555E+006
FUN2_2= -1.1640E+006
FUN2_3= 1.7354E+006
FUN3_1= 7.6626E+006
FUN3_2= -4.4686E+006
FUN3_3= 9.4278E+005
DELTA= 5.0869E+020
DELTA1= -6.5134E+002
DELTA2= 4.2153E+002
DELTA3= 7.2918E+003
h1= -1.2804E-018
k1= 8.2866E-019
l1= 1.4335E-017

Ravnotežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 2.5040E-002
xH2_1= 4.3812E-002
xC_1= 3.6300E-002
xCO2_1= 1.4974E-001
xCH4_1= 1.0662E-003
xH2O_1= 5.3609E-002
xN2_1= 6.9043E-001

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 2.5984E-002
yH2_1= 4.5462E-002
yCO2_1= 1.5538E-001
yCH4_1= 1.1064E-003
yH2O_1= 5.5628E-002
yN2_1= 7.1644E-001

Prilog P45. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI:

C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,xCO_0,xH2_0,xC_0:

C= 6.4200E-001

H= 5.0000E-002

O= 4.4000E-002

N= 1.0000E-003

S= 9.1000E-003

W= 1.9000E-003

A= 2.5200E-001

VVAZDUHA= 6.0000E-001

VREME= 9.2400E-002

MUZORKA= 1.0000E-002

t= 5.2960E+002

p= 1.0130E+005

xCO_0= 3.0000E-001

xH2_0= 3.0000E-001

xC_0= 3.0000E-001

M1= -4.8742E+000

M2= 3.0733E+000

M3= 3.6704E+000

Kp_1= 3.2065E-006

Kp_2= 1.1839E+003

Kp_3= 4.6821E+003

SUMAC= 5.3500E-002

SUMAO2= 5.3418E-002

SUMAH2= 2.5106E-002

SUMAN2= 1.9572E-001

Kp_1= 3.2065E-006

Kp_2= 1.1839E+003

Kp_3= 4.6821E+003

L= 1.0015E+000

M= 2.1310E+000

I= 3.6583E+000

A1= 2.2094E+009

B1= 8.3869E+006

C1= -2.5821E+007

D1= 1.1993E+008

E1= -2.5821E+007

F1= -5.5430E+006

G1= 2.5821E+007

H1= 5.5430E+006

I1= 3.1363E+007

K1= -5.5430E+006

A2= -1.4496E+006

B2= 3.6009E+006

C2= -1.1086E+007

D2= -1.2011E+008

E2= -5.5345E+006

G2= 5.5345E+006

I2= 1.1086E+007
A3= 4.7430E+008
B3= -5.8730E+006
C3= -5.5430E+006
D3= -2.5556E+008
E3= -5.5430E+006
F3= 1.1812E+007
G3= 5.5430E+006
H3= -1.1812E+007
I3= 5.5430E+006
RAZLIKA1= 1.4383E-001
RAZLIKA2= 2.0687E-001
RAZLIKA3= 1.6697E+000
RAZLIKA1= 6.9721E-002
RAZLIKA2= 3.1020E-002
RAZLIKA3= 8.6786E-001
RAZLIKA1= 3.1763E-002
RAZLIKA2= 1.2381E-002
RAZLIKA3= 3.7611E-001
RAZLIKA1= 1.0894E-002
RAZLIKA2= 2.6443E-003
RAZLIKA3= 1.1310E-001
RAZLIKA1= 1.5582E-003
RAZLIKA2= 5.3259E-005
RAZLIKA3= 1.2459E-002
RAZLIKA1= 3.0246E-005
RAZLIKA2= 1.3459E-005
RAZLIKA3= 1.5321E-004
RAZLIKA1= 1.0261E-008
RAZLIKA2= 1.0302E-008
RAZLIKA3= 2.1424E-008
RAZLIKA1= 1.0617E-015
RAZLIKA2= 1.7972E-015
RAZLIKA3= 7.0743E-017
FUN1= 2.1327E-007
FUN2= 8.9912E-009
FUN3= 7.7604E-008
FUN1_1= 2.1795E+008
FUN1_2= 1.1395E+007
FUN1_3= 3.0012E+007
FUN2_1= -2.5141E+005
FUN2_2= -4.7290E+006
FUN2_3= 1.0852E+007
FUN3_1= 3.3523E+007
FUN3_2= -2.3151E+007
FUN3_3= 5.8660E+006
DELTA= 5.7806E+022
DELTA1= -6.1428E+007
DELTA2= 1.0379E+008
DELTA3= -4.0894E+006
h1= -1.0627E-015
k1= 1.7954E-015
l1= -7.0743E-017

Ravnatežni sastav
(heterogena faza)

xCO_1= 4.2200E-002

Ravnatežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 4.2200E-002

xH2_1= 4.7154E-002	yH2_1= 4.7154E-002
xC_1= 1.9615E-006	yCO2_1= 1.5238E-001
xCO2_1= 1.5238E-001	yCH4_1= 7.2222E-004
xCH4_1= 7.2222E-004	yH2O_1= 4.3053E-002
xH2O_1= 4.3052E-002	yN2_1= 7.1449E-001
xN2_1= 7.1449E-001	

Prilog P46. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,yCO_0,yH2_0:

C= 6.4200E-001

H= 5.0000E-002

O= 4.4000E-002

N= 1.0000E-003

S= 9.1000E-003

W= 1.9000E-003

A= 2.5200E-001

VVAZDUHA= 6.0000E-001

VREME= 9.9400E-002

MUZORKA= 1.0000E-002

t= 5.5000E+002

p= 1.0130E+005

yCO_0= 1.0000E-001

yH2_0= 1.0000E-001

M1= -5.0151E+000

M2= 3.3512E+000

M3= 3.8894E+000

Kp_1= 2.3182E-006

Kp_2= 2.2448E+003

Kp_3= 7.7518E+003

SUMAO2= 5.7357E-002

SUMAH2= 2.5106E-002

SUMAN2= 2.1054E-001

Kp_1= 2.3182E-006

Kp_2= 2.2448E+003

Kp_3= 7.7518E+003

L= 4.3771E-001
M= 3.6707E+000
a1= 2.1077E+002
b1= 2.8354E+000
c1= 3.7052E+001
d1= 2.3483E-001
e1= 1.0000E+000
f1= -1.0000E+000
a2= -1.9752E+001
b2= -2.1885E-001
c2= 1.0208E+001
d2= 4.6967E-001
e2= 1.0000E+000
RAZLIKA1= 3.3934E-002
RAZLIKA2= 4.4550E-002
RAZLIKA1= 8.3670E-003
RAZLIKA2= 7.2698E-003
RAZLIKA1= 5.6201E-004
RAZLIKA2= 2.3898E-004
RAZLIKA1= 2.4870E-006
RAZLIKA2= 6.1292E-008
RAZLIKA1= 4.7404E-011
RAZLIKA2= 1.6242E-011
RAZLIKA1= 0.0000E+000
RAZLIKA2= 6.9389E-018
FUN1= 0.0000E+000
FUN2= 1.3878E-017
FUN1_1= 2.8696E+001
FUN1_2= 3.1395E+000
FUN2_1= -1.9865E+000
FUN2_2= 1.6283E+000
DELTA= 5.2962E+001
DELTA1= 4.3569E-017
DELTA2= -3.9824E-016
h1= 8.2265E-019
k1= -7.5194E-018

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 5.7134E-002
yH2_1= 4.7941E-002
yCO2_1= 1.4731E-001
yCH4_1= 5.3974E-004
yH2O_1= 3.5794E-002
yN2_1= 7.1128E-001

Prilog P47. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m³/h u reakcioni prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,yCO_0,yH2_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 6.0000E-001
VREME= 1.2190E-001
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 6.0000E+002
p= 1.0130E+005
yCO_0= 1.0000E-001
yH2_0= 1.0000E-001
M1= -5.3339E+000
M2= 3.9764E+000
M3= 4.3835E+000
Kp_1= 1.1126E-006
Kp_2= 9.4716E+003
Kp_3= 2.4183E+004

SUMAO2= 7.0017E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 2.5819E-001
Kp_1= 1.1126E-006
Kp_2= 9.4716E+003
Kp_3= 2.4183E+004
L= 3.5856E-001
M= 3.6875E+000
a1= 5.0134E+001
b1= 2.8438E+000
c1= 1.1912E+001
d1= 1.1270E-001
e1= 1.0000E+000
f1= -1.0000E+000
a2= -3.8349E+000
b2= -1.7928E-001
c2= 3.4379E+000
d2= 2.2541E-001
e2= 1.0000E+000
RAZLIKA1= 8.1291E-003
RAZLIKA2= 5.4331E-002
RAZLIKA1= 1.3490E-005
RAZLIKA2= 7.8640E-004
RAZLIKA1= 1.3829E-008
RAZLIKA2= 6.4980E-008
RAZLIKA1= 2.4980E-016
RAZLIKA2= 1.9082E-015
FUN1= -7.7716E-016
FUN2= -2.8727E-015
FUN1_1= 1.4238E+001
FUN1_2= 2.2984E+000
FUN2_1= -8.4880E-001
FUN2_2= 1.3926E+000
DELTA= 2.1779E+001
DELTA1= -5.5202E-015
DELTA2= 4.1560E-014
h1= -2.5347E-016
k1= 1.9083E-015

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 1.0812E-001
yH2_1= 4.6456E-002
yCO2_1= 1.2502E-001
yCH4_1= 2.4323E-004
yH2O_1= 2.1039E-002
yN2_1= 6.9913E-001

Prilog P48. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m³/h u reakcionu prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,yCO_0,yH2_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 6.0000E-001
VREME= 1.4380E-001
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 6.5000E+002
p= 1.0130E+005
yCO_0= 1.0000E-001
yH2_0= 1.0000E-001
M1= -5.6199E+000
M2= 4.5327E+000
M3= 4.8247E+000
Kp_1= 5.7581E-007
Kp_2= 3.4092E+004
Kp_3= 6.6781E+004

SUMAO2= 8.2340E-002
SUMAH2= 2.5106E-002
SUMAN2= 3.0457E-001
Kp_1= 5.7581E-007
Kp_2= 3.4092E+004
Kp_3= 6.6781E+004
L= 3.0490E-001
M= 3.6990E+000
a1= 1.3962E+001
b1= 2.8495E+000
c1= 4.3224E+000
d1= 5.8329E-002
e1= 1.0000E+000
f1= -1.0000E+000
a2= -9.0598E-001
b2= -1.5245E-001
c2= 1.2856E+000
d2= 1.1666E-001
e2= 1.0000E+000
RAZLIKA1= 8.5936E-002
RAZLIKA2= 6.2587E-002
RAZLIKA1= 1.1212E-002
RAZLIKA2= 6.5726E-003
RAZLIKA1= 2.0330E-004
RAZLIKA2= 9.6958E-005
RAZLIKA1= 6.8269E-008
RAZLIKA2= 2.7184E-008
RAZLIKA1= 7.7716E-015
RAZLIKA2= 2.6854E-015
FUN1= 5.6843E-014
FUN2= -6.5226E-015
FUN1_1= 7.9134E+000
FUN1_2= 1.7595E+000
FUN2_1= -4.1200E-001
FUN2_2= 1.2347E+000
DELTA= 1.0495E+001
DELTA1= -8.1659E-014
DELTA2= 2.8196E-014
h1= -7.7805E-015
k1= 2.6866E-015

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 1.7452E-001
yH2_1= 4.4082E-002
yCO2_1= 9.0500E-002
yCH4_1= 1.1335E-004
yH2O_1= 1.1670E-002
yN2_1= 6.7911E-001

Prilog P49. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije OAP injektiranjem vazduha od 0,6 m³/h u reakcioni prostor

Unesi sastav goriva (tehnička i elementarna analiza, kg/kg), zapreminski protok vazduha m³/h, vrijeme trajanja procesa h, masa uzorka kg, reakciona temperatura °C, pritisak u reaktorskom prostoru Pa, pretpostavljene početne vrijednosti kmol/kmol.

UNESI: C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,VREME,MUZORKA,t,p,yCO_0,yH2_0:

C= 6.4200E-001
H= 5.0000E-002
O= 4.4000E-002
N= 1.0000E-003
S= 9.1000E-003
W= 1.9000E-003
A= 2.5200E-001
VVAZDUHA= 6.0000E-001
VREME= 1.6590E-001
MUZORKA= 1.0000E-002
t= 7.0000E+002
p= 1.0130E+005
yCO_0= 1.0000E-001
yH2_0= 1.0000E-001
M1= -5.8782E+000
M2= 5.0305E+000
M3= 5.2206E+000
Kp_1= 3.1770E-007
Kp_2= 1.0727E+005
Kp_3= 1.6619E+005
SUMAO2= 9.4775E-002
SUMAH2= 2.5106E-002

SUMAN2= 3.5137E-001
Kp_1= 3.1770E-007
Kp_2= 1.0727E+005
Kp_3= 1.6619E+005
L= 2.6490E-001
M= 3.7075E+000
a1= 4.4456E+000
b1= 2.8537E+000
c1= 1.7394E+000
d1= 3.2183E-002
e1= 1.0000E+000
f1= -1.0000E+000
a2= -2.5016E-001
b2= -1.3245E-001
c2= 5.2880E-001
d2= 6.4365E-002
e2= 1.0000E+000
RAZLIKA1= 1.6066E-001
RAZLIKA2= 6.5084E-002
RAZLIKA1= 2.0136E-002
RAZLIKA2= 5.9463E-003
RAZLIKA1= 3.3610E-004
RAZLIKA2= 7.4858E-005
RAZLIKA1= 9.5374E-008
RAZLIKA2= 1.6933E-008
RAZLIKA1= 7.7993E-015
RAZLIKA2= 1.1657E-015
FUN1= 3.7748E-014
FUN2= -3.1156E-015
FUN1_1= 5.0605E+000
FUN1_2= 1.4204E+000
FUN2_1= -2.3097E-001
FUN2_2= 1.1323E+000
DELTA= 6.0580E+000
DELTA1= -4.7166E-014
DELTA2= 7.0476E-015
h1= -7.7858E-015
k1= 1.1634E-015

Ravnotežni sastav
(homogena faza)

yCO_1= 2.4019E-001
yH2_1= 4.0937E-002
yCO2_1= 5.4481E-002
yCH4_1= 5.3934E-005
yH2O_1= 5.9933E-003
yN2_1= 6.5834E-001

Prilog P50. Izvorni kod

/*

PRORACUN SASTAVA GASOVITE FAZE PRI GASIFIKACIJI OAP URADJEN NA OSNOVU
ODNOSA KOLICINA ULAZNIH MATERIJA SA DODAVANJEM KISEONIKA (PRORACUN URAĐEN
U PROGRAMSKOM JEZIKU C)*/

```
#define EPS 0.00000000001
```

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <math.h>
```

```
double ABS (double n)
```

```
{
```

```
if (n<0)
```

```
return -n;
```

```
else
```

```
return n;
```

```
}
```

```
void main()
```

```
{
```

```
double
```

```
C,H,O,N,S,W,A,VKISEONIKA,VREME,MUZORKA,t,p,yCO_0,yH2_0,yCO_1,yH2_1,yCO2_1,yCH4_1,yH2O_1,yN2_1,Kp_1,Kp_2,Kp_3;
```

```
double SUMAH2,SUMAO2,SUMAN2,a1,b1,c1,d1,e1,f1;
```

```
double a2,b2,c2,d2,e2,L,M,M1,M2,M3;
```

```
double FUN1,FUN2;
```

```
double FUN1_1,FUN1_2,FUN2_1,FUN2_2;
```

```
double DELTA,DELTA1,DELTA2,h1,k1,RAZLIKA1,RAZLIKA2;
```

```
printf("unesi C,H,O,N,S,W,A,VKISEONIKA,VREME,MUZORKA,t,p,yCO_0,yH2_0:\n");
```



```
scanf("%lf%lf%lf%lf%lf%lf%lf%lf%lf%lf%lf%lf%lf%lf%lf%lf%le",&C,&H,&O,&N,&S,&W,&A,&VKISEONIKA,&VR
EME,&MUZORKA,&t,&p,&yCO_0,&yH2_0);
```

```
printf("C= %.4E\nH= %.4E\nO= %.4E\nN= %.4E\nS= %.4E\nW= %.4E\nA= %.4E\nVKISEONIKA=
%.4E\nVREME= %.4E\nMUZORKA= %.4E\nt= %.4E\np= %.4E\nyCO_0= %.4E\nyH2_0=
%.4E\n",C,H,O,N,S,W,A,VKISEONIKA,VREME,MUZORKA,t,p,yCO_0,yH2_0);
```

```
M1=-18.06361+4662.80/(t+273.0)
```

```
0.00209594*(t+273.0)+0.0000003862*pow((t+273.0),2)+3.034338*log10(t+273.0);
```

```
M2=8.26730-8820.690/(t+273.0)-
```

```
0.001208714*(t+273.0)+0.000000153734*pow((t+273.0),2)+2.295483*log10(t+273.0);
```

```
M3=-28.45778-4825.986/(t+273.0)-
```

```
0.005671122*(t+273.0)+0.0000008255488*pow((t+273.0),2)+14.515760*log10(t+273.0);
```

```
Kp_1=0.24*pow(10,M1);
```

```
Kp_2=pow(10,M2);
```

```
Kp_3=pow(10,M3);
```

```
printf("M1= %.4E\nM2= %.4E\nM3= %.4E\nKp_1= %.4E\nKp_2= %.4E\nKp_3=
%.4E\n",M1,M2,M3,Kp_1,Kp_2,Kp_3);
```

```
SUMAO2=O/32.0+W/36.0+(1.0/32.0)*1.4290*VKISEONIKA*VREME/MUZORKA;
```

```
SUMAH2=H/2.0+W/18.0;
```

```
SUMAN2=N/28.0;
```

```
printf("SUMAO2= %.4E\nSUMAH2= %.4E\nSUMAN2= %.4E\nKp_1= %.4E\nKp_2= %.4E\nKp_3=
%.4E\n",SUMAO2,SUMAH2,SUMAN2,Kp_1,Kp_2,Kp_3);
```

```
L=SUMAH2/SUMAO2;
```

```
M=SUMAN2/SUMAO2;
```

```
printf("L= %.4E\nM= %.4E\n",L,M);
```

```
a1=(1.0+M)*p/Kp_2;
```

```
b1=1.0+0.5*M;
```

```
c1=(1.0+0.5*M)*p/Kp_3;
```

```
d1=p*Kp_1;
```

```
e1=1.0;
```

```
f1=-1.0;
```

```
a2=-L*p/Kp_2;
```

```
b2=-0.5*L;
```

```
c2=(1.0-0.5*L)*p/Kp_3;
```

```
d2=2*p*Kp_1;
```

```
e2=1.0;
printf("a1= %.4E\nb1= %.4E\nc1= %.4E\nd1= %.4E\ne1= %.4E\nf1= %.4E\n", a1,b1,c1,d1,e1,f1);
printf("a2= %.4E\nb2= %.4E\nc2= %.4E\nd2= %.4E\ne2= %.4E\n", a2,b2,c2,d2,e2);

do {
FUN1=a1*pow(yCO_0,2.0)+b1*yCO_0+c1*yCO_0*yH2_0+d1*pow(yH2_0,2.0)+e1*yH2_0+f1;
FUN2=a2*pow(yCO_0,2.0)+b2*yCO_0+c2*yCO_0*yH2_0+d2*pow(yH2_0,2.0)+e2*yH2_0;
FUN1_1=2*a1*yCO_0+b1+c1*yH2_0;
FUN1_2=c1*yCO_0+2*d1*yH2_0+e1;
FUN2_1=2*a2*yCO_0+b2+c2*yH2_0;
FUN2_2=c2*yCO_0+2*d2*yH2_0+e2;
DELTA=FUN1_1*FUN2_2-FUN1_2*FUN2_1;
DELTA1=-FUN1*FUN2_2+FUN2*FUN1_2;
DELTA2=-FUN1_1*FUN2+FUN2_1*FUN1;

h1=DELTA1/DELTA;
k1=DELTA2/DELTA;

yCO_1=yCO_0+h1;
yH2_1=yH2_0+k1;

RAZLIKA1=ABS(yCO_1-yCO_0);
RAZLIKA2=ABS(yH2_1-yH2_0);
printf("RAZLIKA1= %.4E\nRAZLIKA2= %.4E\n",RAZLIKA1,RAZLIKA2);

yCO_0=yCO_1;
yH2_0=yH2_1;

} while (RAZLIKA1>=EPS && RAZLIKA2>=EPS);
printf("FUN1= %.4E\nFUN2= %.4E\nFUN1_1= %.4E\nFUN1_2= %.4E\nFUN2_1= %.4E\nFUN2_2=
%.4E\nDELTA= %.4E\nDELTA1= %.4E\nDELTA2= %.4E\nh1= %.4E\nk1=
%.4E\n",FUN1,FUN2,FUN1_1,FUN1_2,FUN2_1,FUN2_2,DELTA,DELTA1,DELTA2,h1,k1);

yCO2_1=p*pow(yCO_1,2.0)/Kp_2;
yCH4_1=p*Kp_1*pow(yH2_1,2.0);
yH2O_1=p*yCO_1*yH2_1/Kp_3;
yN2_1=1.0-yCO_1-yH2_1-yCO2_1-yCH4_1-yH2O_1;
printf("yCO_1= %.4E\nyH2_1= %.4E\nyCO2_1= %.4E\nyCH4_1= %.4E\nyH2O_1= %.4E\nyN2_1=
%.4E\n",yCO_1,yH2_1,yCO2_1,yCH4_1,yH2O_1,yN2_1);
}
```

Prilog P51. Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 3 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 1. (19.06.2014)

Masa praznog suda (g):	200	Masa uzorka (g/%)	10	100
Masa punog suda (g)	210	Masa volatila (g/%)	8,3	83
Masa suda sa koksom(g)	201,7	Masa koksa (g/%)	1,7	17
Prosječna brzina zagrijavanja uzorka u reaktoru	14 °C/min	Masa tečne faze (g/%)	4,5	45
Vrijeme početka ispitivanja procesa pirolize (h/min)	9/13			
Vrijeme završetka ispitivanja (h/min)	9/58			
Interval trajanja ispitivanja (h/min)	0/45			

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
26	0/0	210	10	0,0	0,0	1,0
50	12/20	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
100	17/40	209,6	9,6	0,4	0,04	0,96
150	21/38	208,7	8,7	0,3	0,03	0,87
200	25/13	207,9	7,9	2,1	0,21	0,79
250	19/41	205,6	5,6	4,4	0,44	0,56
300	32/58	204,1	4,1	5,9	0,59	0,41
350	35/15	202,9	2,9	7,1	0,71	0,29
400	37/33	202,2	2,2	7,8	0,78	0,22
450	39/22	201,9	1,9	8,1	0,81	0,19
500	40/31	201,8	1,8	8,2	0,82	0,18
550	42/02	201,7	1,7	8,3	0,83	0,17
600	43/29	201,7	1,7	8,3	0,83	0,17
650	45/07	201,7	1,7	8,3	0,83	0,17

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g

ZAPREMINSKI SASTAV PIROLITIČKOG GASA*

Temperatura u reaktoru (°C)	O ₂ (%)	CO (%)	H ₂ (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)
300	5,2	1,8	2,3	14,0	2,6
400	0,3	4,0	4,3	10,5	4,5
500	0,0	5,0	5,5	9,0	20,0
600	0,8	7,0	8,0	8,5	21,2
650	1,1	8,5	9,0	8,0	22,0

* C_xH_y kao C₂₋₅ = 100 - 48,6 = 51,4 % pri 650 °C

Prilog P51. - Nastavak

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 3 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 2. (20.06.2014)

Masa praznog suda (g):	200	Masa uzorka (g/%)	10	100
Masa punog suda (g)	210	Masa volatila (g/%)	8,2	82
Masa suda sa koksom(g)	201,8	Masa koksa (g/%)	1,8	18
Prosječna brzina zagrijavanja uzorka u reaktoru	14 °C/min	Masa tečne faze (g/%)	4,4	44
Vrijeme početka ispitivanja procesa pirolize (h/min)	8/52			
Vrijeme završetka ispitivanja (h/min)	9/37			
Interval trajanja ispitivanja (h/min)	0/45			

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
25	0/0	210	10	0,0	0,0	1,0
50	12/24	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
100	17/48	209,5	9,5	0,5	0,05	0,95
150	21/40	208,5	8,5	1,5	0,15	0,85
200	25/14	207,8	7,8	2,2	0,22	0,78
250	29/45	205,7	5,7	4,3	0,43	0,57
300	33/01	204,1	4,1	5,9	0,59	0,41
350	35/20	203,0	3,0	7,0	0,70	0,30
400	37/39	202,1	2,1	7,9	0,79	0,21
450	39/25	201,9	1,9	8,1	0,81	0,19
500	40/41	201,9	1,9	8,1	0,81	0,19
550	42/15	201,8	1,8	8,2	0,82	0,18
600	53/33	201,8	1,8	8,2	0,82	0,18
650	45/11	201,8	1,8	8,2	0,82	0,18

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru, g

ZAPREMINSKI SASTAV PIROLITIČKOG GASA*

Temperatura u reaktoru (°C)	O ₂ (%)	CO (%)	H ₂ (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)
300	3,8	1,5	2,5	15,0	2,5
400	0,5	4,0	5,0	11,0	4,7
500	0,2	4,8	6,0	9,2	19,5
600	0,7	6,7	8,2	8,4	21,0
650	1,0	8,5	9,5	8,6	21,70

* C_xH_y kao C₂₋₅ = 100- 49,3 = 50,7 % pri 650 °C

Prilog P51. - Nastavak

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 3 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 3. (21.06.2014)

Masa praznog suda (g):	200	Masa uzorka (g/%)	10	100
Masa punog suda (g)	210	Masa volatila (g/%)	8,0	80
Masa suda sa koksom(g)	202,0	Masa koksa (g/%)	2,0	20
Prosječna brzina zagrijavanja uzorka u reaktoru	14 °C/min	Masa tečne faze (g/%)	4,3	43

Vrijeme početka ispitivanja

procesa pirolize (h/min) 16/08

Vrijeme završetka ispitivanja (h/min) 16/50

Interval trajanja ispitivanja (h/min) 0/42

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
22,9	0/0	210	10	0	0	1,0
50	10/20	210	10	0	0	1,0
100	14/15	209,8	9,8	0,2	0,02	0,98
150	17/57	209,3	9,3	0,7	0,07	0,93
200	21/59	209,0	9,0	1,0	0,10	0,90
250	26/10	208,7	8,7	1,3	0,13	0,87
300	30/45	208,1	8,1	1,9	0,19	0,81
350	32/47	206,9	6,9	3,1	0,31	0,69
400	33/53	206,3	6,3	3,7	0,37	0,63
450	35/41	205,8	5,8	4,2	0,42	0,58
500	36/52	205,5	5,5	4,5	0,45	0,55
550	38/03	202,0	2,0	8,0	0,80	0,20
600	39/41	202,0	2,0	8,0	0,80	0,20
650	42/20	202,0	2,0	8,0	0,80	0,20

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g

ZAPREMINSKI SASTAV PIROLITIČKOG GASA*

Temperatura u reaktoru (°C)	O ₂ (%)	CO (%)	H ₂ (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)
300	2,6	1,7	2,7	14,7	2,0
400	0,8	3,9	5,2	11,0	4,8
500	0,1	4,8	6,0	9,5	20,1
600	0,3	6,6	8,4	8,9	22,0
650	0,4	10,0	9,2	8,7	22,7

* C_xH_y kao C₂₋₅ = 100 - 41 = 49% pri 650 °C

Prilog P52. Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 3 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 1. (25.06.2014)

Masa praznog suda (g):	200	Masa uzorka (g/%)	10	100
Masa punog suda (g)	210	Masa volatila (g/%)	6,8	68
Masa suda sa koksom(g)	203,2	Masa koksa (g/%)	3,2	32
Prosječna brzina zagrijavanja uzorka u reaktoru	34 °C/min	Masa tečne faze (g/%)	3,5	35

Vrijeme početka ispitivanja

procesa pirolize (h/min) 10/19

Vrijeme završetka ispitivanja (h/min) 10/37

Interval trajanja ispitivanja (h/min) 0/18

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
20	0/0	210	10	0	0	1
50	4/44	210	10	0	0	1
100	5/59	210	10	0	0	1
150	6/50	210	10	0	0	1
200	7/25	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
250	8/05	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
300	8/42	209,8	9,8	0,2	0,02	0,98
350	9/29	209,6	9,6	0,4	0,04	0,96
400	10/08	208,9	8,9	1,1	0,11	0,89
450	12/20	205,5	5,5	4,5	0,45	0,55
500	13/32	203,7	3,7	6,3	0,63	0,37
550	14/45	203,2	3,2	6,8	0,68	0,32
600	16/19	203,2	3,2	6,8	0,68	0,32
650	18/14	203,2	3,2	6,8	0,68	0,32

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g

Prilog P52. Nastavak

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 3 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 2. (27.06.2014)

Masa praznog suda (g):	200	Masa uzorka (g/%)	10	100
Masa punog suda (g)	210	Masa volatila (g/%)	6,7	67
Masa suda sa koksom(g)	203,3	Masa koksa (g/%)	3,3	33
Prosječna brzina zagrijavanja uzorka u reaktoru	34 °C/min	Masa tečne faze (g/%)	3,4	34

Vrijeme početka ispitivanja

procesa pirolize (h/min) 19/41

Vrijeme završetka ispitivanja (h/min) 19/59

Interval trajanja ispitivanja (h/min) 0/18

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
20,5	0/0	210	10	0	0	1
50	4/50	210	10	0	0	1
100	6/02	210	10	0	0	1
150	6/55	210	10	0	0	1
200	7/31	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
250	8/11	209,8	9,8	0,2	0,02	0,98
300	8/49	209,7	9,7	0,3	0,03	0,97
350	9/35	209,4	9,4	0,6	0,06	0,94
400	10/15	208,7	8,7	1,3	0,13	0,87
450	12/28	205,0	5,0	5,0	0,50	0,50
500	13/37	203,8	3,8	6,2	0,62	0,38
550	14/51	203,4	3,4	6,6	0,66	0,34
600	16/24	203,3	3,3	6,7	0,67	0,33
650	18/24	203,3	3,3	6,7	0,67	0,33

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g

Prilog P53. Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 3 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 1. (2.07.2014)

Masa praznog suda (g): 200 Masa uzorka (g/%): 10 100

Masa punog suda (g) 210 Masa volatila (g/%) 6,4 64

Masa suda sa koksom(g) 203,6 Masa koksa (g/%) 3,6 36

Prosječna brzina zagrijavanja Masa tečne fate (g/%) 2,9 29

uzorka u reaktoru 60 °C/min

Vrijeme početka ispitivanja

procesa pirolize (h/min) 11/15

Vrijeme završetka ispitivanja (h/min) 11/26

Interval trajanja ispitivanja (h/min) 0/11

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
25	0/0	210	10	0	0	1,0
50	3/45	210	10	0	0	1,0
100	4/36	210	10	0	0	1,0
150	5/10	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
200	5/38	209,5	9,5	0,5	0,05	0,95
250	5/45	209,4	9,4	0,6	0,06	0,94
300	6/25	209,3	9,3	0,7	0,07	0,93
350	6/49	209,1	9,1	0,9	0,09	0,91
400	7/14	208,9	8,9	1,1	0,11	0,89
450	7/41	208,7	8,7	1,3	0,13	0,87
500	8/10	208,5	8,5	1,5	0,15	0,85
550	8/46	205,2	5,2	4,8	0,48	0,52
600	9/34	204,8	4,8	5,2	0,52	0,48
650	10/26	203,6	3,6	6,4	0,64	0,36

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g

Prilog P53. Nastavak

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 3 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 2. (10.07.2014)

Masa praznog suda (g): 200 Masa uzorka (g/%): 10 100

Masa punog suda (g) 210 Masa volatila (g/%) 6,5 65

Masa suda sa koksom(g) 203,5 Masa koksa (g/%) 3,5 35

Prosječna brzina zagrijavanja Masa tečne faze (g/%) 3,1 31

uzorka u reaktoru 60 °C/min

Vrijeme početka ispitivanja

procesa pirolize (h/min) 20/32

Vrijeme završetka ispitivanja (h/min) 20/42

Interval trajanja ispitivanja (h/min) 0/10

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
23	0/0	210	10	0	0	1
50	3/50	210	10	0	0	1
100	4/29	210	10	0	0	1
150	5/15	210	10	0	0	1
200	5/43	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
250	6/01	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
300	6/31	209,7	9,7	0,3	0,03	0,97
350	6/55	209,4	9,4	0,6	0,06	0,94
400	7/25	209,2	9,2	0,8	0,08	0,92
450	7/56	208,5	8,5	1,5	0,15	0,85
500	8/15	208,0	8,0	2,0	0,20	0,80
550	8/51	205,3	5,3	4,7	0,47	0,53
600	9/42	203,8	3,8	6,2	0,62	0,38
650	10/33	203,5	3,5	6,5	0,65	0,35

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g

Prilog P54. Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 5 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 1. (15.07.2014)

Masa praznog suda (g):	200	Masa uzorka (g/%)	10	100
Masa punog suda (g)	210	Masa volatila (g/%)	7,0	70
Masa suda sa koksom(g)	203	Masa koksa (g/%)	3,0	30
Prosječna brzina zagrijavanja uzorka u reaktoru	14 °C/min	Masa tečne faze (g/%)	3,7	37

Vrijeme početka ispitivanja

procesa pirolize (h/min) 10/19

Vrijeme završetka ispitivanja (h/min) 11/04

Interval trajanja ispitivanja (h/min) 0/45

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
23	0/0	210	10	0	0	1
50	12/45	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
100	17/55	209,6	9,6	0,4	0,04	0,96
150	21/46	209,3	9,3	0,7	0,07	0,93
200	25/29	208,5	8,5	1,5	0,15	0,85
250	29/52	206,7	6,7	3,3	0,33	0,67
300	33/18	205,0	5,0	5,0	0,50	0,50
350	35/33	203,9	3,9	6,1	0,61	0,39
400	37/53	203,5	3,5	6,5	0,65	0,35
450	39/33	203,3	3,3	6,7	0,67	0,33
500	41/03	203,2	3,2	6,8	0,68	0,32
550	42/31	203,1	3,1	6,9	0,69	0,31
600	43/54	203,0	3,0	7,0	0,70	0,30
650	45/43	203,0	3,0	7,0	0,70	0,30

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g

Prilog P54. Nastavak

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 5 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 2. (16.07.2014)

Masa praznog suda (g): 200 Masa uzorka (g/%): 10 100

Masa punog suda (g) 210 Masa volatila (g/%) 7,1 71

Masa suda sa koksom (g) 202,9 Masa koksa (g/%) 2,9 29

Prosječna brzina zagrijavanja Masa tečne faze (g/%) 3,8 38

uzorka u reaktoru 14 °C/min

Vrijeme početka ispitivanja

procesa pirolize (h/min) 9/17

Vrijeme završetka ispitivanja (h/min) 10/03

Interval trajanja ispitivanja (h/min) 0/46

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
25	0/0	210	10	0	0	1
50	12/38	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
100	18/01	209,6	9,6	0,4	0,04	0,96
150	21/55	209,1	9,1	0,9	0,09	0,91
200	25/31	208,3	8,3	1,7	0,17	0,83
250	30/02	206,6	6,6	3,4	0,34	0,66
300	33/20	205,0	5,0	5,0	0,50	0,50
350	35/35	204,4	4,4	5,6	0,56	0,44
400	27/58	203,3	3,3	6,7	0,67	0,33
450	39/43	203,1	3,1	6,9	0,69	0,31
500	41/07	203,0	3,0	7,0	0,70	0,30
550	42/35	202,9	2,9	7,1	0,71	0,29
600	43/57	202,9	2,9	7,1	0,71	0,29
650	45/54	202,9	2,9	7,1	0,71	0,29

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g

Prilog P54. Nastavak

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 5 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 3. (17.07.2014)

Masa praznog suda (g): 200 Masa uzorka (g/%): 10 100

Masa punog suda (g) 210 Masa volatila (g/%): 7,0 70

Masa suda sa koksom (g) 203 Masa koksa (g/%): 3,0 30

Prosječna brzina zagrijavanja Masa tečne faze (g/%): 3,7 37

uzorka u reaktoru 14 °C/min

Vrijeme početka ispitivanja

procesa pirolize (h/min) 11/32

Vrijeme završetka ispitivanja (h/min) 12/13

Interval trajanja ispitivanja (h/min) 0/41

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
22	0/0	210	10	0	0	1
50	9/33	210	10	0	0	1
100	14/09	209,8	9,8	0,2	0,02	0,98
150	17/47	209,4	9,4	0,6	0,06	0,94
200	21/49	209,1	9,1	0,9	0,09	0,91
250	25/54	208,9	8,9	1,1	0,11	0,89
300	30/20	208,2	8,2	1,8	0,18	0,82
350	32/25	207,1	7,1	2,9	0,29	0,71
400	33/20	206,7	6,7	3,3	0,33	0,67
450	35/04	206,0	6,0	4,0	0,40	0,60
500	36/32	205,7	5,7	4,3	0,43	0,57
550	37/44	204,5	4,5	5,5	0,55	0,45
600	39/09	203,5	3,5	6,5	0,65	0,35
650	41/04	203,0	3,0	7,0	0,70	0,30

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g

Prilog P55. Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 5 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 1. (20.07.2014)

Masa praznog suda (g):	200	Masa uzorka (g/%)	10	100
Masa punog suda (g)	210	Masa volatila (g/%)	6,7	67
Masa suda sa koksom (g)	203,3	Masa koksa (g/%)	3,3	33
Prosječna brzina zagrijavanja uzorka u reaktoru	34 °C/min	Masa tečne faze (g/%)	3,6	36

Vrijeme početka ispitivanja

procesa pirolize (h/min) 11/11

Vrijeme završetka ispitivanja (h/min) 11/30

Interval trajanja ispitivanja (h/min) 0/19

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
25	0/0	210	10	0	0	1
50	4/46	210	10	0	0	1
100	5/55	210	10	0	0	1
150	6/44	210	10	0	0	1
200	7/27	210	10	0	0	1
250	8/08	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
300	8/49	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
350	9/36	209,8	9,8	0,2	0,02	0,98
400	10/18	209,1	9,1	0,9	0,09	0,91
450	12/24	205,1	5,1	4,9	0,49	0,51
500	13/40	203,8	3,8	6,2	0,62	0,38
550	14/56	203,3	3,3	6,7	0,67	0,33
600	16/27	203,3	3,3	6,7	0,67	0,33
650	18/33	203,3	3,3	6,7	0,67	0,33

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g

Prilog P55. nastavak

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 5 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 2. (21.07.2014)

Masa praznog suda (g): 200 Masa uzorka (g/%): 10 100

Masa punog suda (g) 210 Masa volatila (g/%) 6,8 68

Masa suda sa koksom (g) 203,2 Masa koksa (g/%) 3,2 32

Prosječna brzina zagrijavanja Masa tečne faze (g/%) 3,5 35

uzorka u reaktoru 34 °C/min

Vrijeme početka ispitivanja

procesa pirolize (h/min) 20/08

Vrijeme završetka ispitivanja (h/min) 20/27

Interval trajanja ispitivanja (h/min) 0/19

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
20	0/0	210	10	0	0	1
50	4/51	210	10	0	0	1
100	6/01	210	10	0	0	1
150	6/52	210	10	0	0	1
200	7/35	210	10	0	0	1
250	8/12	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
300	8/56	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
350	9/40	209,8	9,8	0,2	0,02	0,98
400	10/20	209,5	9,5	0,5	0,05	0,95
450	12/31	205,2	5,2	4,8	0,48	0,52
500	13/45	203,8	3,8	6,2	0,62	0,38
550	15/02	203,3	3,3	6,7	0,67	0,33
600	16/31	203,2	3,2	6,8	0,68	0,32
650	18/37	203,2	3,2	6,8	0,68	0,32

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g

Prilog P56. Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 5 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 1. (25.07.2014)

Masa praznog suda (g):	200	Masa uzorka (g/%)	10	100
Masa punog suda (g)	210	Masa volatila (g/%)	6,8	68
Masa suda sa koksom (g)	203,2	Masa koksa (g/%)	3,2	32
Prosječna brzina zagrijavanja uzorka u reaktoru	60 °C/min	Masa tečne faze (g/%)	3,6	36

Vrijeme početka ispitivanja

procesa pirolize (h/min) 10/42

Vrijeme završetka ispitivanja (h/min) 10/54

Interval trajanja ispitivanja (h/min) 0/12

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
25	0/0	210	10	0	0	1
50	4/09	210	10	0	0	1
100	5/06	210	10	0	0	1
150	5/43	210	10	0	0	1
200	6/14	210	10	0	0	1
250	6/42	210	10	0	0	1
300	7/11	210	10	0	0	1
350	7/39	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
400	8/07	209,8	9,8	0,2	0,02	0,98
450	8/39	209,7	9,7	0,3	0,03	0,97
500	9/16	209,1	9,1	0,9	0,09	0,91
550	10/17	205,1	5,1	4,9	0,49	0,51
600	11/12	203,4	3,4	6,6	0,66	0,34
650	12/10	203,2	3,2	6,8	0,68	0,32

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g

Prilog P56. nastavak

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 5 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 2. (26.07.2014)

Masa praznog suda (g):	200	Masa uzorka (g/%)	10	100
Masa punog suda (g)	210	Masa volatila (g/%)	6,6	66
Masa suda sa koksom (g)	203,4	Masa koksa (g/%)	3,4	34
Prosječna brzina zagrijavanja uzorka u reaktoru	60 °C/min	Masa tečne faze (g/%)	3,5	35

Vrijeme početka ispitivanja

procesa pirolize (h/min) 21/20

Vrijeme završetka ispitivanja (h/min) 21/32

Interval trajanja ispitivanja (h/min) 0/12

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
18	0/0	210	10	0	0	1
50	4/15	210	10	0	0	1
100	5/20	210	10	0	0	1
150	5/59	210	10	0	0	1
200	6/17	210	10	0	0	1
250	6/47	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
300	7/14	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
350	7/40	209,8	9,8	0,2	0,02	0,98
400	8/10	209,7	9,7	0,3	0,03	0,97
450	8/41	209,6	9,6	0,4	0,04	0,96
500	9/19	209,3	9,3	0,7	0,07	0,93
550	10/20	205,0	5,0	5,0	0,5	0,50
600	11/15	203,6	3,6	6,4	0,64	0,36
650	12/20	203,4	3,4	6,6	0,66	0,34

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g

Prilog P57. Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 7 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 1. (27.07.2014)

Masa praznog suda (g):	200	Masa uzorka (g/%)	10	100
Masa punog suda (g)	210	Masa volatila (g/%)	6,7	67
Masa suda sa koksom (g)	203,3	Masa koksa (g/%)	3,3	33
Prosječna brzina zagrijavanja uzorka u reaktoru	14 °C/min	Masa tečne faze (g/%)	3,6	36

Vrijeme početka ispitivanja

procesa pirolize (h/min) 10/01

Vrijeme završetka ispitivanja (h/min) 10/52

Interval trajanja ispitivanja (h/min) 0/51

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
24	0/0	210	10	0	0	1
50	13/46	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
100	19/23	209,7	9,7	0,3	0,03	0,97
150	24/02	209,5	9,5	0,5	0,05	0,95
200	28/52	208,7	8,7	1,3	0,13	0,87
250	33/50	207,1	7,1	2,9	0,29	0,71
300	37/58	206,0	6,0	4,0	0,40	0,60
350	39/20	205,0	5,0	5,0	0,50	0,50
400	42/14	204,0	4,0	6,0	0,60	0,40
450	44/16	203,9	3,9	6,1	0,61	0,39
500	45/45	203,7	3,7	6,3	0,63	0,37
550	47/22	203,6	3,6	6,4	0,64	0,36
600	48/54	203,4	3,4	6,6	0,66	0,34
650	50/45	203,3	3,3	6,7	0,67	0,33

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g

Prilog P57. nastavak

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 7 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 2. (27.07.2014)

Masa praznog suda (g): 200 Masa uzorka (g/%): 10 100

Masa punog suda (g) 210 Masa volatila (g/%) 7,5 75

Masa suda sa koksom (g) Masa koksa (g/%) 2,5 25

Prosječna brzina zagrijavanja Masa tečne faze (g/%) 4 40

uzorka u reaktoru 14 °C/min

Vrijeme početka ispitivanja

procesa pirolize (h/min) 10/22

Vrijeme završetka ispitivanja (h/min) 11/09

Interval trajanja ispitivanja (h/min) 0/47

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
25	0/0	210	10	0	0	1
50	13/07	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
100	19/07	209,7	9,7	0,3	0,03	0,97
150	22/36	209,5	9,5	0,5	0,05	0,95
200	26/55	208,8	8,8	1,2	0,12	0,88
250	30/32	208,7	8,7	1,3	0,13	0,87
300	34/10	207,9	7,9	2,1	0,21	0,79
350	36/53	206,9	6,9	3,1	0,31	0,69
400	38/56	206,0	6,0	4,0	0,40	0,60
450	40/50	204,0	4,0	6,0	0,60	0,40
500	42/26	203,1	3,1	6,9	0,69	0,31
550	44/46	202,8	2,8	7,2	0,72	0,28
600	46/21	202,6	2,6	7,4	0,74	0,26
650	47/19	202,5	2,5	7,5	0,75	0,25

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g

Prilog P58. Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 7 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 1. (28.07.2014)

Masa praznog suda (g):	200	Masa uzorka (g/%)	10	100
Masa punog suda (g)	210	Masa volatila (g/%)	6,9	69
Masa suda sa koksom (g)	203,3	Masa koksa (g/%)	3,1	31
Prosječna brzina zagrijavanja uzorka u reaktoru	30 °C/min	Masa tečne faze (g/%)	3,7	37

Vrijeme početka ispitivanja

procesa pirolize (h/min) 11/22

Vrijeme završetka ispitivanja (h/min) 11/43

Interval trajanja ispitivanja (h/min) 0/21

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
23	0/0	210	10	0	0	1
50	4/51	210	10	0	0	1
100	6/11	210	10	0	0	1
150	7/10	210	10	0	0	1
200	8/04	210	10	0	0	1
250	8/55	210	10	0	0	1
300	9/51	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
350	10/41	209,8	9,8	0,2	0,02	0,98
400	11/36	209,2	9,2	0,8	0,08	0,92
450	12/04	208,8	8,8	1,2	0,12	0,88
500	14/56	204,1	4,1	5,9	0,59	0,41
550	16/41	203,2	3,2	6,8	0,68	0,32
600	18/53	203,2	3,2	6,8	0,68	0,32
650	21/12	203,1	3,1	6,9	0,69	0,31

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g

Prilog P58. nastavak

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 7 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 2. (29.07.2014)

Masa praznog suda (g): 200 Masa uzorka (g/%): 10 100

Masa punog suda (g) 210 Masa volatila (g/%) 6,8 68

Masa suda sa koksom (g) 203,2 Masa koksa (g/%) 3,2 32

Prosječna brzina zagrijavanja Masa tečne faze (g/%) 3,7 37

uzorka u reaktoru 30 °C/min

Vrijeme početka ispitivanja

procesa pirolize (h/min) 20/12

Vrijeme završetka ispitivanja (h/min) 20/33

Interval trajanja ispitivanja (h/min) 0/21

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
17	0/0	210	10	0	0	1
50	5/02	210	10	0	0	1
100	6/15	210	10	0	0	1
150	7/16	210	10	0	0	1
200	8/10	210	10	0	0	1
250	9/02	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
300	10/03	209,8	9,8	0,2	0,02	0,98
350	10/55	209,5	9,5	0,5	0,05	0,95
400	11/41	209,3	9,3	0,7	0,07	0,93
450	12/15	208,0	8,0	2,0	0,20	0,80
500	15/02	204,1	4,1	5,9	0,59	0,41
550	16/45	203,4	3,4	6,6	0,66	0,34
600	18/55	203,2	3,2	6,8	0,68	0,32
650	21/05	203,2	3,2	6,8	0,68	0,32

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g

Prilog P59. Piroliza otpadnih automobilskih pneumatika

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 7 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 1. (29.07.2014)

Masa praznog suda (g):	200	Masa uzorka (g/%)	10	100
Masa punog suda (g)	210	Masa volatila (g/%)	6,8	68
Masa suda sa koksom (g)	203,2	Masa koksa (g/%)	3,2	32
Prosječna brzina zagrijavanja uzorka u reaktoru	60 °C/min	Masa tečne faze (g/%)	3,7	37

Vrijeme početka ispitivanja

procesa pirolize (h/min) 11/28

Vrijeme završetka ispitivanja (h/min) 11/40

Interval trajanja ispitivanja (h/min) 0/12

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
24	0/0	210	10	0	0	1
50	4/00	210	10	0	0	1
100	4/55	210	10	0	0	1
150	5/33	210	10	0	0	1
200	6/03	210	10	0	0	1
250	6/33	210	10	0	0	1
300	7/00	210	10	0	0	1
350	7/27	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
400	7/58	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
450	8/31	209,8	9,8	0,2	0,02	0,98
500	9/08	209,7	9,7	0,3	0,03	0,97
550	9/58	207,1	7,1	2,9	0,29	0,71
600	10/58	204,0	4,0	6,0	0,60	0,40
650	12/00	203,2	3,2	6,8	0,68	0,32

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g

Prilog P59. nastavak

UZORAK: Otpadna automobilska guma (prečnik granule 7 mm)

ISPITIVANJE BROJ: 2. (1.08.2014)

Masa praznog suda (g): 200 Masa uzorka (g/%): 10 100

Masa punog suda (g) 210 Masa volatila (g/%) 6,6 66

Masa suda sa koksom (g) 203,4 Masa koksa (g/%) 3,4 34

Prosječna brzina zagrijavanja Masa tečne faze (g/%) 3,5 35

uzorka u reaktoru 60 °C/min

Vrijeme početka ispitivanja

procesa pirolize (h/min) 10/41

Vrijeme završetka ispitivanja (h/min) 11/54

Interval trajanja ispitivanja (h/min) 0/13

TGA ANALIZA (termogravimetrijska analiza)

Temperatura u reaktoru (°C)	Mjerenje vremena od početka ispitivanja (min/s)	Masa suda sa masom uzorka (g)	Masa uzorka u reaktoru (g)	Masa volatila (g)	m_{vol} / m_0 (-)	m / m_0 (-)
20	0/0	210	10	0	0	1
50	4/16	210	10	0	0	1
100	5/12	210	10	0	0	1
150	5/49	210	10	0	0	1
200	6/23	209,9	9,9	0,1	0,01	0,99
250	6/53	209,8	9,8	0,2	0,02	0,98
300	7/22	209,8	9,8	0,2	0,02	0,98
350	7/53	209,7	9,7	0,3	0,03	0,97
400	8/23	209,7	9,7	0,3	0,03	0,97
450	8/57	209,7	9,7	0,3	0,03	0,97
500	9/42	208,8	8,8	1,2	0,12	0,88
550	10/42	204,1	4,1	5,9	0,59	0,41
600	11/32	203,7	3,7	6,3	0,63	0,37
650	12/41	203,4	3,4	6,6	0,66	0,34

m_0 – početna masa uzorka, g, m_{vol} - masa volatila, g, m – masa uzorka u reaktoru ,g