



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U
NOVOM SADU



Mirjana Čeranić

**UTICAJ PROCESNIH PARAMETARA
NA PIROLIZU I GASIFIKACIJU
OKLASKA KUKURUZA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Novi Sad, 2015.



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U
NOVOM SADU



UTICAJ PROCESNIH PARAMETARA NA PIROLIZU I GASIFIKACIJU OKLASKA KUKURUZA

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor

Dr Slavko Đurić, vanredni profesor

Kandidat

MSc Mirjana Čeranić

Novi Sad, 2015.



UNIVERZITET U NOVOM SADU • FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj, RBR :	
Identifikacioni broj, IBR :	
Tip dokumentacije, TD :	Monografska dokumentacija
Tip zapisa, TZ :	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada, VR :	Doktorski rad
Autor, AU :	Mirjana Čeranić, dipl. inž. zaštite životne sredine - master
Mentor, MN :	Dr Slavko Đurić, vanredni profesor
Naslov rada, NR :	Uticaj procesnih parametara na pirolizu i gasifikaciju oklaska kukuruza
Jezik publikacije, JP :	Srpski
Jezik izvoda, JL :	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 : <small>(poglavlja/strana/ citata/tabela/slika/grafika/priloga)</small>	6/312/248/43/77/-/54
Naučna oblast, NO :	Inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu
Naučna disciplina, ND :	Inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu
Predmetna odrednica/Ključne reči, PO :	Oklasak kukuruza, piroliza, gasifikacija, matematički model
UDK	
Čuva se, ČU :	U biblioteci Fakulteta tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad
Važna napomena, VN :	
Izvod, IZ :	U doktorskoj disertaciji vršeno je ispitivanje procesa pirolize i gasifikacije oklaska kukuruza. Istraživanje procesa pirolize obuhvatalo je definisanje uticaja procesnih parametara (temperature pirolize, reakcionog vremena, brzine zagrevanja i veličine čestica) na prinos čvrstog ostatka i pirolitičkog gasa. Osim toga, vršeno je ispitivanje sastava gasa u zavisnosti od temperature. Utvrđeno je da ispitivani procesni parametri imaju uticaj na prinos čvrstog ostatka i bio-ulja, kao i na prinos i sastav pirolitičkog gasa. Tokom ispitivanja procesa gasifikacije razvijen je funkcionalni matematički model gasifikacije oklaska kukuruza u struji vazduha koji bi trebalo da omogući optimizaciju procesa gasifikacije goriva u cilju dobijanja gasovitog proizvoda.
Datum prihvatanja teme, DP :	
Datum odbrane, DO :	
Članovi komisije, KO :	
Predsednik:	Dr Vojin Grković, redovni profesor
Član:	Dr Aleksandar Jovović, redovni profesor
Član:	Dr Branka Nakomčić - Smaragdakis, vanredni profesor
Član:	Dr Dragana Štrbac, docent
Član, mentor:	Dr Slavko Đurić, vanredni profesor
	Potpis mentora



KEY WORDS 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 :	Mirjana Čeranić, Master of Environmental Engineering
Mentor, MN :	Ph.D. Slavko Đurić, associate professor
Title, TI :	Influence of process parameters on the pyrolysis and gasification of corncob
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian/English
Country of publication, CP :	Serbia
Locality of publication, LP :	Vojvodina
Publication year, PY :	2015
Publisher, PB :	Author's reprint
Publication place, PP :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Physical description, PD : <small>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)</small>	6/312/248/43/77/-/54
Scientific field, SF :	Environmental Engineering and Safety at Work
Scientific discipline, SD :	Environmental Engineering and Safety at Work
Subject/Key words, S/KW :	Corn cob, pyrolysis, gasification, mathematical model
UC	
Holding data, HD :	The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Note, N :	
Abstract, AB :	Doctoral dissertation investigates pyrolysis and gasification of corncob. Investigation of pyrolysis process included defining the influence of process parameters (pyrolysis temperature, reaction time, heating rate and particle size) on pyrolysis gas and char yield. Also, temperature dependence of pyrolysis gas composition was investigated. It was confirmed that process parameters influence char and bio-oil yield and pyrolysis gas yield and composition. A functional mathematical model of air-stream gasification of corncob was developed in order to enable optimization of gasification process with the objective of obtaining gaseous product.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	
President:	Ph.D. Vojin Grković, full professor
Member:	Ph. D. Aleksandar Jovović, full professor
Member:	Ph.D. Branka Nakomčić - Smaragdakis, associate professor
Member:	Ph.D. Dragana Štrbac, assistant professor
Member, Mentor:	Ph.D. Slavko Đurić, associate professor
	Mentor's sign

SADRŽAJ

Popis slika	1
Popis tabela	5
Popis oznaka i simbola	8
1. Uvod	11
1.1. Pregled vladajućih stavova i shvatanja u literaturi u području istraživanja	13
1.2. Predmet i cilj istraživanja	18
1.3. Polazne hipoteze	19
1.4. Metodologija istraživanja	19
1.5. Struktura rada	20
Literatura	22
2. Zakonska regulativa o obnovljivim izvorima energije	26
2.1. Zakonodavstvo Evropske unije	27
2.1.1. Zakonski okvir koji se odnosi na obnovljivu energiju	27
2.2. Zakonodavstvo Republike Srbije	29
2.2.1. Nacrt novog Zakona o energetici Republike Srbije	32
2.2.2. Važne institucije u elektro energetsom sektoru Srbije	33
2.3. Proces evropskih integracija Srbije u oblasti energetike	34
Literatura	36
3. Karakteristike oklaska kukuruza kao goriva	37
3.1. Poljoprivredna biomasa kao gorivo	38
3.2. Strukturni hemijski sastav oklaska kukuruza	38
3.3. Tehnička i elementarna analiza biomase	40
3.3.1. Ugljenik	42
3.3.2. Vodonik	42
3.3.3. Azot	43
3.3.4. Sumpor	43
3.3.5. Kiseonik	43
3.3.6. Isparljive materije (volatili)	43
3.3.7. Vlaga	44
3.3.8. Mineralne materije - pepeo	44
3.4. Uticaj hemijskog sastava oklaska kukuruza na toplotnu moć	45

3.5. Poređenje rezultata tehničke i elementarne analize oklaska kukuruza sa literaturnim podacima	48
3.6. Kvalitativna ocena karakteristika poljoprivredne biomase	50
Literatura	55
4. Termohemijski procesi prerade biomase	57
4.1. Piroliza	59
4.1.1. Spora piroliza	60
4.1.2. Brza piroliza	61
4.1.2.1. Konfiguracije reaktora za brzu pirolizu	63
4.1.3. Fleš piroliza	67
4.1.4. Prednosti pirolize poljoprivredne biomase	68
4.2. Gasifikacija	69
4.2.1. Predtretman biomase	69
4.2.2. Postupak gasifikacije	69
4.2.3. Oksidujućci agensi	70
4.2.4. Nečistoće gasovite smeše iz gasifikatora	72
4.2.5. Prečišćavanje gasovite smeše iz gasifikatora	72
4.2.5.1. Niskotemperaturni vlažni postupak	73
4.2.5.2. Visokotemperaturni suvi postupak	73
4.2.6. Tipovi gasifikatora	74
4.2.6.1. Gasifikatori sa fiksnim slojem	75
4.2.6.2. Gasifikatori sa fluidizovanim slojem	77
4.3. Sagorevanje	79
4.3.1. Tehnologija primene i konstrukcija industrijskih termoenergetskih postrojenja	81
4.3.1.1. Ložišta sa dodavanjem goriva odozdo (sistem retorte)	81
4.3.1.2. Ložišta sa pokretnom rešetkom	82
4.3.1.3. Ložišta za sagorevanje u fluidizovanom sloju	85
4.3.2. Sagorevanje biomase sa aspekta zaštite životne sredine	86
4.3.3. Stehiometrijske jednačine sagorevanja poljoprivredne biomase	88
4.3.3.1. Brojčani primer proračuna materijalnog bilansa procesa sagorevanja oklaska kukuruza	92
4.3.4. Određivanje adijabatske temperature sagorevanja oklaska kukuruza	94
4.3.4.1. Brojčani primer proračuna entalpije dimnih gasova	96
Literatura	99

5. Eksperimentalno ispitivanje procesa pirolize i gasifikacije oklaska kukuruza	102
5.1. Uzorkovanje i priprema oklaska kukuruza	103
5.2. Eksperimentalno ispitivanje procesa pirolize oklaska kukuruza	106
5.2.1. Šema i opis laboratorijskog postrojenja za pirolizu	106
5.2.2. Opis eksperimenta	110
5.2.3. Rezultati i diskusija eksperimentalnog ispitivanja	112
5.2.3.1. Uticaj temperature na proces pirolize	112
5.2.3.2. Promena mase uzorka u reaktoru u zavisnosti od reakcionog vremena	113
5.2.3.3. Uticaj veličine čestica uzorka	114
5.2.3.4. Uticaj brzine zagrevanja na prinos produkata pirolize	117
5.2.3.5. Poređenje prinosa produkata pirolize sa podacima iz literature	119
5.2.3.6. Sastav produkata pirolize	120
5.2.4. Obrada rezultata ispitivanja procesa pirolize oklaska kukuruza	127
5.2.4.1. Karakteristike proizvedenog gasa	127
5.2.4.2. Materijalni bilans	128
5.2.4.3. Toplotni bilans	132
5.2.4.4. Step en korisnosti pirolitičkog reaktora	135
5.2.5. Analiza greške merenja pri eksperimentalnom ispitivanju procesa pirolize	135
5.3. Eksperimentalno ispitivanje procesa gasifikacije oklaska kukuruza	144
5.3.1. Šema i opis laboratorijskog postrojenja za gasifikaciju	144
5.3.2. Opis eksperimenta	145
5.3.3. Rezultati i diskusija eksperimentalnog ispitivanja	146
5.3.3.1. Uticaj temperature na proces gasifikacije	146
5.3.3.2. Prinos gasa u zavisnosti od reakcionog vremena	146
5.3.3.3. Sastav gasa dobijenog procesom gasifikacije	147
5.3.4. Analiza greške merenja pri eksperimentalnom ispitivanju procesa gasifikacije	149
5.3.5. Matematički model proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza	151
5.3.5.1. Proračun termodinamičke ravnoteže hemijskih reakcija	152
5.3.5.2. Proračun ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza na osnovu odnosa ukupnih količina ugljenika, kiseonika, vodonika i azota koje stupaju u reaktorski prostor	155
5.3.5.3. Proračun homogenog ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza	157

5.3.5.4. Brojčani primer proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza pri uvođenju vazduha u gasifikator na osnovu odnosa količina ulaznih materija	158
5.3.6. Poređenje matematičkog modela gasifikacije sa rezultatima eksperimentalnog ispitivanja gasifikacije oklaska kukuruza	167
5.3.7. Poređenje matematičkog modela gasifikacije sa podacima iz literature	169
Literatura	172
6. Zaključak	176
Prilozi	181
Prilog 1. Mase i zapremine produkata sagorevanja oklaska kukuruza u zavisnosti od koeficijenta viška vazduha	182
Prilog 2. Zapreminski udeli gasova u vlažnom dimnom gasu	183
Prilog 3. Srednje specifične toplote	184
Prilog 4. i-t dijagram procesa sagorevanja oklaska kukuruza	185
Prilog 5. Piroliza oklaska kukuruza - ispitivanje 1	186
Prilog 6. Piroliza oklaska kukuruza - ispitivanje 2	196
Prilog 7. Piroliza oklaska kukuruza - ispitivanje 3	206
Prilog 8. Piroliza oklaska kukuruza - ispitivanje 4	216
Prilog 9. Piroliza oklaska kukuruza - ispitivanje 5	226
Prilog 10. Piroliza oklaska kukuruza - ispitivanje 6	236
Prilog 11. Piroliza oklaska kukuruza (frakcija 0.25 - 0.35 mm) pri brzini zagrevanja od 37 °C/min - ispitivanje 1	246
Prilog 12. Piroliza oklaska kukuruza (frakcija 0.35 - 0.50 mm) pri brzini zagrevanja od 37 °C/min - ispitivanje 2	248
Prilog 13. Piroliza oklaska kukuruza (frakcija 0.50 - 0.71 mm) pri brzini zagrevanja od 37 °C/min - ispitivanje 3	250
Prilog 14. Piroliza oklaska kukuruza (frakcija 0.71 - 1.0 mm) pri brzini zagrevanja od 37 °C/min - ispitivanje 4	252
Prilog 15. Piroliza oklaska kukuruza (frakcija 1.0 - 1.4 mm) pri brzini zagrevanja od 37 °C/min - ispitivanje 5	254
Prilog 16. Piroliza oklaska kukuruza u komadu pri brzini zagrevanja od 37 °C/min - ispitivanje 6	256
Prilog 17. Piroliza oklaska kukuruza (frakcija 0.25 - 0.35 mm) pri brzini zagrevanja od 60 °C/min - ispitivanje 1	258
Prilog 18. Piroliza oklaska kukuruza (frakcija 0.35 - 0.50 mm) pri brzini zagrevanja od 60 °C/min - ispitivanje 2	260
Prilog 19. Piroliza oklaska kukuruza (frakcija 0.50 - 0.71 mm) pri brzini zagrevanja od 60 °C/min - ispitivanje 3	262
Prilog 20. Piroliza oklaska kukuruza (frakcija 0.71 - 1.0 mm) pri brzini zagrevanja od 60 °C/min - ispitivanje 4	264

Prilog 21. Piroliza oklaska kukuruza (frakcija 1.0 - 1.4 mm) pri brzini zagrevanja od 60 °C/min - ispitivanje 5	266
Prilog 22. Piroliza oklaska kukuruza u komadu pri brzini zagrevanja od 60 °C/min - ispitivanje 6	268
Prilog 23. Gasifikacija oklaska kukuruza - ispitivanje 1	270
Prilog 24. Gasifikacija oklaska kukuruza - ispitivanje 2	272
Prilog 25. Gasifikacija oklaska kukuruza - ispitivanje 3	274
Prilog 26. Izvorni kod /*Proračun heterogenog sastava ravnotežne mešavine pri gasifikaciji oklaska kukuruza urađen na osnovu odnosa količina ulaznih materija sa dodavanjem vazduha (proračun urađen u programskom jeziku C)*/	276
Prilog 27. Izvorni kod /*Proračun homogenog sastava gasovite faze pri gasifikaciji oklaska kukuruza urađen na osnovu odnosa količina ulaznih materija sa dodavanjem vazduha (proračun urađen u programskom jeziku C)*/	281
Prilog 28. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.1 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 300 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	285
Prilog 29. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.1 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 350 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	286
Prilog 30. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.1 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 400 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	287
Prilog 31. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.1 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 450 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	288
Prilog 32. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.1 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 500 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	289
Prilog 33. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.1 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 550 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	290
Prilog 34. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.1 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 600 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	291
Prilog 35. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.1 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 622.5 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	292
Prilog 36. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.1 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 650 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	293
Prilog 37. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.3 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 300 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	294

Prilog 38. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.3 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 350 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	295
Prilog 39. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.3 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 400 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	296
Prilog 40. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.3 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 431.3 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	297
Prilog 41. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.3 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 450 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	298
Prilog 42. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.3 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 500 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	299
Prilog 43. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.3 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 550 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	300
Prilog 44. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.3 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 600 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	301
Prilog 45. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.3 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 650 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	302
Prilog 46. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.6 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 300 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	303
Prilog 47. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.6 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 306.6 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	304
Prilog 48. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.6 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 350 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	305
Prilog 49. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.6 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 400 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	306
Prilog 50. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.6 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 450 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	307
Prilog 51. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.6 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 500 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	308
Prilog 52. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka 0.6 m ³ /h u reakcionu prostor pri temperaturi 550 °C i pritisku 1.013 · 10 ⁵ Pa (merenje 1)	309

Prilog 53. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$ u reakcioni prostor pri temperaturi $600 \text{ }^\circ\text{C}$ i pritisku $1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ (merenje 1)	310
Prilog 54. Rezultati proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, sa uvođenjem vazduha protoka $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$ u reakcioni prostor pri temperaturi $650 \text{ }^\circ\text{C}$ i pritisku $1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ (merenje 1)	311

Popis slika

Naziv slike	Broj stranice
Slika 2.1. Politika Evropske unije „20-20-20” do 2020. godine	27
Slika 3.1. Struktura celuloze	38
Slika 3.2. Struktura hemiceluloze	39
Slika 3.3. Struktura lignina	39
Slika 3.4. Grafički prikaz analize sastava biomase kao goriva	41
Slika 3.5. Zavisnost donje toplotne moći oklaska kukuruza od masenog udela vlage i pepela	47
Slika 3.6. Zavisnost donje toplotne moći poljoprivredne biomase i ugljenika, svedeno na sagorljivu masu	52
Slika 3.7. Zavisnost donje toplotne moći poljoprivredne biomase i isparljivih materija, svedeno na sagorljivu masu	53
Slika 3.8. Zavisnost fiksnog ugljenika i koeficijenta M, svedeno na sagorljivu masu	53
Slika 3.9. Zavisnost isparljivih materija i koeficijenta M, svedeno na sagorljivu masu	54
Slika 4.1. Termohemijski procesi prerade biomase	58
Slika 4.2. Šematski prikaz šaržnog reaktora za sporu pirolizu	61
Slika 4.3. Rotirajući reaktor za ablativnu pirolizu	63
Slika 4.4. Pločasti reaktor za ablativnu pirolizu	64
Slika 4.5. Reaktor sa barbotажnim fluidizovanim slojem	64
Slika 4.6. Reaktor sa fluidizovanim i cirkulacionim slojem	65
Slika 4.7. Piroliza u vakuum reaktoru	66
Slika 4.8. Rotirajući konusni reaktor za pirolizu	67
Slika 4.9. Proces fleš pirolize sa ciklusom nosača toplote i reaktorom za mešanje	68
Slika 4.10. Korišćenje gasova dobijenih gasifikacijom biomase u zavisnosti od njihove toplotne moći	71
Slika 4.11. Niskotemperaturni vlažni postupak prečišćavanja gasovitog produkta gasifikatora	73
Slika 4.12. Visokotemperaturni suvi postupak prečišćavanja gasovitog produkta gasifikatora	73
Slika 4.13. Gasifikator sa uzlaznim tokom oksidanta	75
Slika 4.14. Gasifikator sa silaznim tokom oksidanta	76
Slika 4.15. Gasifikator sa fluidizovanim slojem i cirkulacijom izlaznih proizvoda	78
Slika 4.16. Gasifikator sa barbotажnim slojem	78

Slika 4.17.	Kotao za sagorevanje peleta biomase injektiranih odozgo sa automatskim radom	80
Slika 4.18.	Ložište sa dodavanjem goriva odozdo (sistem retorte)	81
Slika 4.19.	Ložište sa kosom pokretnom rešetkom	82
Slika 4.20.	Ložište sa horizontalnom pokretnom rešetkom	83
Slika 4.21.	Ložište sa horizontalnom ili kosom pokretnom - lančastom rešetkom	83
Slika 4.22.	Ložište sa vibrirajućom rešetkom	84
Slika 4.23.	Ložište sa rotirajućom rešetkom sa dodavanjem goriva odozdo	84
Slika 4.24.	Ložišta u obliku rotirajuće kupe	85
Slika 4.25.	Sagorevanje u fluidizovanom sloju	86
Slika 4.26.	Šematski prikaz materijalnog bilansa procesa sagorevanja oklaska kukuruza	93
Slika 4.27.	Zapremina dimnih gasova u zavisnosti od koeficijenta viška vazduha	94
Slika 4.28.	Sastav vlažnih dimnih gasova u zavisnosti od koeficijenta viška vazduha	94
Slika 4.29.	Zavisnost entalpije vlažnih dimnih gasova od temperature sagorevanja oklaska kukuruza i koeficijenta viška vazduha	97
Slika 5.1.	Poprečni presek oklaska kukuruza	103
Slika 5.2.	Fotografski izgled uzorka oklaska kukuruza korišćenog u eksperimentu	103
Slika 5.3.	Fotografski izgled sitovne analize oklaska kukuruza	104
Slika 5.4.	Funkcija raspodele zrna	106
Slika 5.5.	Šema eksperimentalnog postrojenja i mernih mesta za pirolizu biomase	107
Slika 5.6.	Fotografski izgled mernih instrumenata	107
Slika 5.7.	Šema električne peći	109
Slika 5.8.	Šema reaktorske posude	109
Slika 5.9.	Fotografski izgled električne peći i reaktorske posude	110
Slika 5.10.	Fotografski izgled laboratorijskog postrojenja za pirolizu biomase	110
Slika 5.11.	Promena mase uzorka oklaska kukuruza u zavisnosti od temperature pirolize	112
Slika 5.12.	Kriva promene mase uzorka oklaska kukuruza u zavisnosti od reakcionog vremena	114
Slika 5.13.	Uticaj veličine čestica na prinos čvrstog ostatka u funkciji temperature	115

Slika 5.14.	Uticaj veličine čestica na prinos krajnjih produkata pirolize	115
Slika 5.15.	Prikaz uzoraka oklaska kukuruza pre procesa pirolize, čvrstog ostatka i bio-ulja	117
Slika 5.16.	Kriva gubitka mase uzorka oklaska kukuruza u zavisnosti od brzine zagrevanja	118
Slika 5.17.	Uticaj temperature na prinos CO ₂ tokom procesa pirolize oklaska kukuruza	121
Slika 5.18.	Uticaj temperature na prinos CH ₄ tokom procesa pirolize oklaska kukuruza	122
Slika 5.19.	Poređenje zapreminskih udela CH ₄ i CO ₂ u pirolitičkom gasu sa podacima iz literature	123
Slika 5.20.	Šema materijalnog bilansa u pirolitičkom reaktoru	132
Slika 5.21.	Šema toplotnog bilansa u pirolitičkom reaktoru	134
Slika 5.22.	Šema eksperimentalnog postrojenja i mernih mesta za gasifikaciju biomase	145
Slika 5.23.	Promena mase uzorka oklaska kukuruza u zavisnosti od temperature za različite vrednosti protoka vazduha	146
Slika 5.24.	Prinos gasa u zavisnosti od reakcionog vremena za različite vrednosti protoka vazduha	147
Slika 5.25.	Zapreminski udeo CO ₂ u zavisnosti od temperature	148
Slika 5.26.	Zapreminski udeo CH ₄ u zavisnosti od temperature	148
Slika 5.27.	Zapreminski udeo O ₂ u zavisnosti od temperature	149
Slika 5.28.	Šematski prikaz procesa gasifikacije biomase sa dodavanjem vazduha	154
Slika 5.29.	Dijagram toka programa	159
Slika 5.30.	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 oklaska kukuruza od temperature gasifikacije (protok injektiranog vazduha 0.1 m ³ /h)	163
Slika 5.31.	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 oklaska kukuruza od temperature gasifikacije (količina injektiranog vazduha 0.1 m ³ /h)	163
Slika 5.32.	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 oklaska kukuruza od temperature gasifikacije (protok injektiranog vazduha 0.3 m ³ /h)	165

Slika 5.33.	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 oklaska kukuruza od temperature gasifikacije (protok injektiranog vazduha $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$)	165
Slika 5.34.	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 oklaska kukuruza od temperature gasifikacije (protok injektiranog vazduha $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$)	167
Slika 5.35.	Poređenje rezultata zapreminskog udela CO_2 dobijenog primenom matematičkog modela gasifikacije sa eksperimentalnim podacima pri protoku vazduha a) $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$, b) $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$ i c) $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$	168
Slika 5.36.	Poređenje rezultata zapreminskog udela CH_4 dobijenog primenom matematičkog modela gasifikacije sa eksperimentalnim podacima pri protoku vazduha a) $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$, b) $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$ i c) $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$	169
Slika 5.37.	Poređenje rezultata zapreminskih udela produkata gasifikacije dobijenih primenom matematičkog modela sa eksperimentalnim podacima iz literature ($\lambda = 0.3$, $W = 7\%$, $t = 1100 \text{ }^\circ\text{C}$, $p = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$)	170
Slika 5.38.	Poređenje rezultata zapreminskih udela produkata gasifikacije dobijenih primenom matematičkog modela sa podacima iz literature ($\lambda = 0.3$, $W = 10\%$, $t = 1100 \text{ }^\circ\text{C}$, $p = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$)	171

Popis tabela

Naziv tabele	Broj stranice
Tabela 1.1. Proizvodnja biljnih kultura u Republici Srbiji (izraženo u 10^3 t)	13
Tabela 3.1. Hemijski sastav oklaska kukuruza prema različitim autorima	40
Tabela 3.2. Faktori konverzije za elementarne analize goriva	42
Tabela 3.3. Karakteristike referentnih goriva - osnovni elementi (elementi koji formiraju pepeo) (ppm, suva osnova biomase)	45
Tabela 3.4. Tehnička i elementarna analiza oklaska kukuruza korišćenog u eksperimentalnom ispitivanju procesa pirolize i gasifikacije	48
Tabela 3.5. Rezultati tehničke i elementarne analize poljoprivredne biomase prema različitim istraživačima	49
Tabela 3.6. Kvalitativne karakteristike oklaska kukuruza	51
Tabela 4.1. Karakteristike različitih vrsta pirolize	60
Tabela 4.2. Prednosti i nedostaci reaktora za vakuum pirolizu	66
Tabela 4.3. Prednosti i nedostaci rotirajućeg konusnog reaktora	67
Tabela 4.4. Podela gasova iz gasifikatora prema toplotnoj moći	71
Tabela 4.5. Proticanje biomase i gasa oksidanta u različitim tipovima gasifikatora	75
Tabela 4.6. Prednosti i nedostaci gasifikatora sa fiksnim i fluidizovanim slojem	79
Tabela 4.7. Koeficijent emisije ugljen dioksida različitih goriva	86
Tabela 4.8. Zavisnost konstanti ravnoteža hemijskih reakcija od temperature	98
Tabela 5.1. Tehnička i elementarna analiza oklaska kukuruza korišćenog u eksperimentalnom ispitivanju procesa pirolize i gasifikacije	104
Tabela 5.2. Rezultati sitovne analize	105
Tabela 5.3. Opis mernih instrumenata korišćenih tokom eksperimentalnog ispitivanja	108
Tabela 5.4. Promena mase uzorka oklaska kukuruza (m/m_0) u zavisnosti od temperature pirolize	113
Tabela 5.5. Prinos bio-ulja pri različitim brzinama zagrevanja na kraju procesa pirolize	119
Tabela 5.6. Poređenje prinosa produkata pirolize sa podacima iz literature	120
Tabela 5.7. Poređenje zapreminskih udela sastavnih komponenata pirolitičkog gasa sa literaturom	123
Tabela 5.8. Karakteristike i elementarna analiza bio-ulja	124
Tabela 5.9. Elementarna analiza bio-ulja u zavisnosti od temperature pirolize	125

Tabela 5.10.	Osobine čvrstog ostatka oklaska kukuruza na kraju procesa pirolize	126
Tabela 5.11.	Osobine čvrstog ostatka dobijenog procesom pirolize oklaska kukuruza iz literature	126
Tabela 5.12.	Greške merenja prinosa produkata oklaska kukuruza na kraju procesa pirolize i zapreminskih udela gasova u pirolitičkom gasu na 650 °C (frakcija 0.25 - 0.35 mm, ispitivanje 1)	137
Tabela 5.13.	Greške merenja prinosa produkata oklaska kukuruza na kraju procesa pirolize i zapreminskih udela gasova u pirolitičkom gasu na 650 °C (frakcija 0.35 - 0.50 mm, ispitivanje 2)	138
Tabela 5.14.	Greške merenja prinosa produkata oklaska kukuruza na kraju procesa pirolize i zapreminskih udela gasova u pirolitičkom gasu na 650 °C (frakcija 0.50 - 0.71 mm, ispitivanje 3)	139
Tabela 5.15.	Greške merenja prinosa produkata oklaska kukuruza na kraju procesa pirolize i zapreminskih udela gasova u pirolitičkom gasu na 650 °C (frakcija 0.71 - 1.00 mm, ispitivanje 4)	140
Tabela 5.16.	Greške merenja prinosa produkata oklaska kukuruza na kraju procesa pirolize i zapreminskih udela gasova u pirolitičkom gasu na 650 °C (frakcija 1.00 - 1.40 mm, ispitivanje 5)	141
Tabela 5.17.	Greške merenja prinosa produkata oklaska kukuruza na kraju procesa pirolize i zapreminskih udela gasova u pirolitičkom gasu na 650 °C (komad, ispitivanje 6)	142
Tabela 5.18.	Rezultati eksperimentalnog ispitivanja procesa pirolize sa greškama merenja	143
Tabela 5.19.	Greške merenja prinosa čvrstog ostatka oklaska kukuruza na kraju procesa gasifikacije i zapreminskih udela CO ₂ , O ₂ i CH ₄ u gasu na 650 °C (ispitivanje 1, protok injektiranog vazduha 0.1 m ³ /h)	150
Tabela 5.20.	Greške merenja prinosa čvrstog ostatka oklaska kukuruza na kraju procesa gasifikacije i zapreminskih udela CO ₂ , O ₂ i CH ₄ u gasu na 650 °C (ispitivanje 2, protok injektiranog vazduha 0.3 m ³ /h)	150
Tabela 5.21.	Greške merenja prinosa čvrstog ostatka oklaska kukuruza na kraju procesa gasifikacije i zapreminskih udela CO ₂ , O ₂ i CH ₄ u gasu na 650 °C (ispitivanje 3, protok injektiranog vazduha 0.6 m ³ /h)	151
Tabela 5.22.	Rezultati eksperimentalnog ispitivanja procesa gasifikacije sa greškama merenja	151
Tabela 5.23.	Zavisnost ravnotežnog sastava (heterogena faza) produkata hemijskih reakcija (C+2H ₂ =CH ₄ , C+CO ₂ =2CO, C+H ₂ O=CO+H ₂) pri gasifikaciji oklaska kukuruza (protok injektiranog vazduha 0.1 m ³ /h, merenje 1)	162

Tabela 5.24.	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 oklaska kukuruza (protok injektiranog vazduha 0.1 m ³ /h, merenje 1)	162
Tabela 5.25.	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 oklaska kukuruza (protok injektiranog vazduha 0.3 m ³ /h, merenje 1)	164
Tabela 5.26.	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 oklaska kukuruza (protok injektiranog vazduha 0.3 m ³ /h, merenje 1)	164
Tabela 5.27.	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 oklaska kukuruza (protok injektiranog vazduha 0.6 m ³ /h, merenje 1)	166
Tabela 5.28.	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 oklaska kukuruza (protok injektiranog vazduha 0.6 m ³ /h, merenje 1)	166

Popis oznaka i simbola

A	maseni udeo pepela u gorivu, kg/kg ili %
A_p	poprečni presek reaktora, m^2
b	broj kilomolova i-te komponente reaktanta, kmol
C	maseni udeo ugljenika u gorivu, kg/kg ili %
C_{fix}	maseni udeo fiksnog ugljenika u gorivu, kg/kg ili %
C_v	koeficijent varijacije, %
c_p	specifični toplotni kapacitet, kJ/kg
ΣC	ukupan broj kilomolova ugljenika, kmol
D	broj ponovljenih direktnih merenja
d	unutrašnji prečnik reaktora, m
d_e	ekvivalentni prečnik čestice, mm
d_j	srednji prečnik u okviru j-te frakcije, mm
E_G	toplota (energija) grejača, kJ/kg
g_i	maseni udeo komponente i u dimnim gasovima, kg/kg
ΔG	slobodna entalpija reakcije, kJ
Δg	specifična slobodna entalpija, kJ/kmol
H	maseni udeo vodonika u gorivu, kg/kg ili %
H_d	donja toplotna moć goriva, kJ/kg
H_g	gornja toplotna moć goriva, kJ/kg
ΔH	entalpija hemijske reakcije, kmol
ΣH_2	ukupan broj kilomolova vodonika, kmol
Δh	entalpija veze, kJ/kmol
i	entalpija, kJ/kg
I	pomoćna veličina
i_f	fizička toplota, kJ/kg
K_p	konstanta ravnoteže hemijske reakcije
L_v	količina vazduha, kg/kg ili m^3/kg
L	pomoćna veličina
M_i	molarna masa, kg/kmol
M	pomoćna veličina
m	masa uzorka koja se menja tokom vremena, g
m_v	broj kmol vazduha po kmol goriva, kmol/kmol
m_0	početna masa uzorka, g

m_i	masa komponente i u dimnim gasovima, kg/kg
m_j	masa j-te frakcije, g
m_u	početna masa uzorka za sitovnu analizu, g
N	maseni udeo azota u gorivu, kg/kg ili %
n	broj uzoraka
ΣN_2	ukupan broj kilomolova azota, kmol
O	maseni udeo kiseonika u gorivu, kg/kg ili %
ΣO_2	ukupan broj kilomolova kiseonika, kmol
p	pritisak, Pa
R	raspon
R_u	univerzalna gasna konstanta, kJ/kmolK
S	maseni udeo sumpora u gorivu, kg/kg ili %
ΔS	entropija reakcije, kJ/K
s	specifična entropija komponente, kJ/kmolK
t	temperatura, °C
T	apsolutna temperatura, K
V_i	zapremina komponente i u dimnim gasovima, m ³ /kg
\dot{V}_L	zapreminski udeo vazduha, m ³ /h
VM	maseni udeo isparljivih materija u gorivu, kg/kg ili %
δx_i	relativna greška merenja
η_1	stepen korisnosti pirolitičkog reaktora, %
η_2	odnos hemijske energije gasa na izlazu iz reaktora i uložene hemijske energije na ulazu u reaktor, %
η_c	stepen konverzije ugljenika, %
η_{N_2}	stepen konverzije azota, %
η_{O_2}	stepen konverzije kiseonika, %
η_s	stepen konverzije sumpora, %
λ	koeficijent viška vazduha
ρ	gustina, kg/m ³
σ	standardno odstupanje
σ_x	srednja kvadratna greška merenja
τ	vreme, min ili h
φ_i	zapreminski udeo komponente i u dimnim gasovima
x	maseni udeo, kg/kg ili %
\bar{x}	srednja vrednost merenja

\bar{X}	aritmetička sredina
X_i	vrednosti razmatranih karakteristika (obeležja) oklaska kukuruza
X_j	maseni udeo j-te frakcije, g/g ili %
x_D	izmerena vrednost
$ \Delta x_i $	apsolutna greška merenja
y	molski udeo, kmol/kmol ili %
Q	toplotno opterećenje, kJ/m ³
W	maseni udeo vlage u gorivu, kg/kg ili %
w	broj kmol vlage po kmol goriva, kmol/kmol

1

UVOD

Dobro je poznata činjenica da sagorevanje fosilnih goriva predstavlja glavni veštački izvor emisije CO₂ u atmosferu i da dovodi do zagađenja životne sredine, kao i globalnih klimatskih promena, tj. efekta "staklene bašte". Iz navedenog razloga neophodno je detaljno opisati i proučiti moguće alternativne izvore energije koji bi znatno smanjili emisiju CO₂ i drugih gasova staklene bašte [1].

Biomasa predstavlja biljni materijal dobijen reakcijom ugljen dioksida iz vazduha, vode i sunčeve svetlosti, procesom fotosinteze, kako bi se proizveli ugljeni hidrati [2]. U procesu truljenja organskih materija iz ostataka biljaka, ugljenik se vraća u atmosferu u vidu ugljen dioksida i/ili metana. U atmosferi, tokom procesa oksidacije, od metana ponovo nastaje ugljen dioksid, čime se kruženje ugljenika u prirodi zatvara. Danas, biogorivo je jedino gorivo koje zadovoljava kriterijum zatvorenog sistema, u pogledu stvaranja ugljen dioksida i čvrstih materijalnih produkata sagorevanja. Najveći deo ugljenika koji se oslobađa u obliku ugljen dioksida, naredna generacija biljaka upija procesom fotosinteze ili preko minerala iz zemljišta. Stoga, biomasa postaje jedan od ključnih energetske resursa u borbi sa globalnim zagrevanjem i iscrpljivanjem rezervi fosilnih goriva.

Zamena fosilnog goriva biomasom povoljno utiče i na smanjenje emisije sumpor dioksida koji je odgovoran za nastajanje kiselih kiša. Treba istaći da primarna prednost biomase kao izvora energije nije u njenom značajnom potencijalu, već u obnovljivosti. Upravo obnovljivost daje suštinsku prednost biomasi nad klasičnim, fosilnim gorivima koja su neobnovljiva i samim tim ne mogu biti osnov za dugoročno planiranje održivog rasta koji podrazumeva racionalno korišćenje energije.

Kako fosilnih goriva ima sve manje obnovljiva biomasa postaje sve značajniji izvor energije. Potencijal biomase za snabdevanje velikim količinama energije, uz smanjen uticaj na životnu sredinu u poređenju sa fosilnim gorivima, podstakao je istraživanja i razvoj sistema za upravljanje, preradu i konverziju biomase u toplotnu i električnu energiju, čvrsta, tečna i gasovita goriva i druge hemijske supstance i produkte [3]. Još jedan značajan aspekt energije, goriva ili hemijskih supstanci dobijenih iz biomase jeste da smanjuju zavisnost i oslanjanje na uvozna fosilna goriva mnogih zemalja doprinoseći njihovoj energetskoj nezavisnosti. Pošto je Srbija uvoznik velike količine prirodnog gasa i tečnih derivata, istraživanje u ovoj oblasti ima veliki značaj za dobijanje energije koja bi se mogla koristiti u raznim granama industrije što bi pospešilo ukupan energetski sektor u Srbiji.

Biomasa se može podeliti na: biomasu iz drvne industrije, poljoprivrednu biomasu, energetske zasade, biomasu sa farmi životinja, biogoriva i gradski otpad.

Ukupna površina popisanog poljoprivrednog zemljišta u Srbiji je 3861477 hektara, od čega se koristi 64.3%. Struktura korišćenog poljoprivrednog zemljišta je sledeća: oranice i bašte (73.1%), livade i pašnjaci (20.7%), voćnjaci (4.8%), vinogradi (0.6%), okućnice (0.7%) i ostali stalni zasadi (0.1%). Kod oranica i bašta, najveće površine su pod žitima (68%) gde dominiraju površine pod kukuruzom (39%) i pšenicom (24%) [4]. U tabeli 1.1. prikazani su podaci o proizvodnji biljnih kultura u Republici Srbiji u periodu od 2008. do 2012. godine.

Tabela 1.1. Proizvodnja biljnih kultura u Republici Srbiji (izraženo u 10³ t) [4]

	2008	2009	2010	2011	2012
Pšenica	2095	2068	1630	2076	1921
Kukuruz	6158	6396	7207	6480	3533
Ječam	344	303	244	279	266
Ovas	96	74	68	71	66
Raž	14	13	10	12	10
Šećerna repa	2299	2798	3325	2822	2328
Suncokret	454	378	378	432	366
Soja	351	349	541	441	281

Analiza strukture biomase iz ostataka poljoprivredne proizvodnje pokazuje da više od polovine resursa leži u kukuruznoj biomasi, više od četvrtine u slami strnih žita, pre svega pšenice, a ostatak od približno 15% u žetvenim ostacima suncokreta, soje, uljane repice ili rezidbenim ostacima voćnjaka i vinograda. [5]

Prema Statističkom godišnjaku Srbije, u 2012. godini bilo je ukupno zasejano 1268544 ha pod kukuruzom. Ukupni prinos zrna iznosio je 3532602 t, a prosečni prinos po jedinici površine 2785 kg/ha. Na području Vojvodine bilo je zasejano ukupno 752350 ha. Ukupni prinos iznosio je 2283398 t, dok je prosečni prinos po jedinici površine bio 3035 kg/ha [6].

U praksi je uobičajeno da se na svakih 100 kg merkantilnog zrna od kukuruza dobija 18 do 20% oklaska [7]. Na osnovu navedenih podataka može se izračunati da u Srbiji može da se dobije 671194.4 t ili u Vojvodini 433845.6 t oklaska. Kod semenskog kukuruza odnos mase zrna i oklaska se kreće do 1/3.

1.1. Pregled vladajućih stavova i shvatanja u literaturi u području istraživanja

Piroliza biomase predstavlja osnovni proces termohemijske konverzije koji ima industrijski i ekološki značaj. Termičko razlaganje biomase odvija se u vidu veoma složenog niza paralelnih reakcija i stoga precizan mehanizam procesa pirolize biomase nije dovoljno razjašnjen [8]. Mnogi faktori mogu da utiču na kinetičke parametre, uključujući uslove u kojima se odvija proces, ograničenja transfera toplote i mase, fizičku i hemijsku heterogenost uzorka i sistemske greške. Piroliza biomase je složen proces zbog različite reaktivnosti njenih sastavnih komponenata. U zavisnosti od parametara procesa javljaju se različite reakcije vezane za termičku dekompoziciju svake komponente koje dovode do promena fizičkih osobina. Interakcije između komponenata i tragovi mineralnih materija prisutni u svim ostacima biomase, koji katalizuju brojne reakcije tokom procesa pirolize, čine proces još složenijim i otežavaju sticanje opšteg znanja o pirolizi lignoceluloznih ostataka [9, 10]. Analiza podataka koju su u svom radu izvršili *White i ostali* [8], a koji se odnose na termičko razlaganje dve vrste poljoprivrednih ostataka, ljuske oraha i otpatke u preradi šećerne trske, daje uvid u poteškoće i rizike uključene u modelovanje heterogenih sistema reakcija.

Gotovo polovinu veka veliki broj istraživača proučava kinetiku procesa pirolize biomase. Došli su do zaključka da termogravimetrija predstavlja odgovarajuću metodu za

objašnjavanje razlaganja različitih vrsta biomase. *Hu i ostali* [11] su u svom radu ispitivali sporu pirolizu šest vrsta biomase poreklom iz Kine pomoću termogravimetrijske analize. Proces pirolize kukuruzne slame pomoću termogravimetrijske analize, u svom radu istraživali su *Wang i ostali* [12]. Ustanovili su da je temperatura najznačajniji faktor koji utiče na pirolizu biomase. Rezultati su pokazali da kako raste temperatura reakcije, rastu i prinosi H₂ i CH₄, dok prinosi CO i CO₂ opadaju. Kada temperatura dostigne 300 °C, osnovni gasoviti produkti pirolize su CO₂ i CO, sa prinosima 37.2% i 36.8% (zapreminski udeo), respektivno. Kako temperatura raste, prinos H₂ i CH₄ takođe raste, dok prinos CO₂ i CO opada. Kada temperatura dostigne 800 °C, prinos H₂, CH₄, CO₂ i CO iznosi 35.4%, 32.7%, 12.7% i 16.7%, respektivno. Uticaj temperature pirolize na prinos proizvoda proučavali su i drugi autori [13-18]. Pokazali su da temperatura utiče kako na primarne tako i na sekundarne reakcije procesa pirolize [15, 16]. Optimalna temperatura reakcije za proces pirolize zavisi od vrste biomase. *Huynh i Kim* [19] su u svom radu ispitivali optimalnu temperaturu procesa pirolize ljuske pirinča pri sledećim uslovima: veličina uzorka je veća od 2 mm, brzina zagrevanja iznosi 5 °C/min, a protok azota 0.1 l/min. Rezultati su pokazali da kada temperatura pirolize raste (od 400 do 700 °C) prinos čvrstog ostatka pirolize opada (58.25 - 34.33%), dok prinos gasovitih produkata raste (20.88 - 45.30%). Dobijeni rezultati su u skladu sa ranijim proučavanjima procesa pirolize [14, 15, 17, 18]. Najmanji prinos tečne faze iznosio je 20.87% na 400 °C, a najveći 29.02% na 550 °C, nakon čega je došlo do smanjivanja prinosa tečne faze. Navedena raspodela prinosa objašnjava se činjenicom da je proizvedena energija na 550 °C dovoljna za reakciju krekovanja hemijskih veza unutar biomase, i pod takvim uslovima proizvodi su uglavnom u tečnom stanju. Kako temperatura reakcije procesa pirolize nastavlja da raste, dolazi do kontinualnog nastanka gasovitih proizvoda od tečnih proizvoda krekovanja, što predstavlja proces gasifikacije [19].

Oklasak kukuruza je široko rasprostranjen u svetu. Nažalost, male količine oklaska kukuruza se koriste za proizvodnju energetski vrednih proizvoda, već se većina odlaže kao otpad ili se smatra gorivom lošeg kvaliteta [20, 21]. Kako metoda proizvodnje aktivnog ugljenika iz oklaska kukuruza ima brojne prednosti jer je jednostavna, lako izvodljiva i ima za cilj dobijanje unapređenog goriva, termičku preradu oklaska kukuruza su poslednjih godina razmatrali mnogi istraživači. Međutim, gasovi i tečnost proizvedeni tokom procesa karbonizacije retko su bili predmet istraživanja u postojećoj literaturi. Kako bi se potpuno i efikasno iskoristili dobijeni proizvodi od suštinskog je značaja proučavanje sastava gasova i tečnosti proizvedenih tokom procesa pirolize i faktora koji utiču na kinetičku reakciju dekompozicije, koju su u svom radu prikazali *Cao i ostali* [22]. Eksperimentalnim ispitivanjem procesa pirolize oklaska kukuruza *Cao i ostali* utvrdili su da prinos gasova, tečne faze (bio-ulja) i čvrstog ostatka (koksa) iznosi 25 - 42%, 35 - 41% i 26 - 32% (maseni udeo) pri temperaturi od 350 do 600 °C, respektivno. Promena prinosa dobijenih proizvoda može se podeliti u dva dela: brža promena pri temperaturi 350 - 400 °C i sporija promena pri temperaturi 400 - 600 °C pri kojoj je prinos tečne faze bio gotovo konstantan. Moguć uzrok ove promene jeste što se većina komponenata koje se volatilizuju, oslobađa pri temperaturi 350 - 400 °C, i stoga dolazi do izraženije promene mase. Kada temperatura pređe 400 °C, samo deo komponenata počinje da se razlaže i dolazi do sporijeg gubitka mase. Ustanovili su da se gasovi uglavnom sastoje od ugljen dioksida i ugljen monoksida koji su činili gotovo 82 - 98% (zapreminski udeo) pri temperaturi 350 - 400 °C, dok su vodonik i ugljen monoksid činili oko 50% (zapreminski udeo) na temperaturi 450 - 500 °C.

Ateş i Işıkdağ [23] su u svom radu prikazali zavisnost prinosa produkata pirolize oklaska kukuruza od temperature. Došli su do zaključka da je mali prinos čvrstog ostatka ostvaren pri visokim temperaturama, i obratno, što se i pretpostavljalo. Kako je temperatura pirolize rasla od 300 do 800 °C, prinos čvrstog ostatka se smanjivao od 30.5% do 25.4%. *Worasuwannarak i ostali* [24] su eksperimentalnim ispitivanjem ustanovili da je najveće smanjenje mase uzoraka poljoprivredne biomase primećeno u opsegu temperature od 250 do 300 °C. Nakon toga, masa uzoraka se postepeno smanjivala sa daljim porastom temperature, od 400 do 600 °C. Na temperaturi od 600 °C, prinos čvrstog ostatka oklaska kukuruza iznosio je 19%. *Zhang i ostali* [25] su, između ostalog, razmatrali i uticaj temperature na prinos produkata pirolize oklaska kukuruza. Maseni udeo čvrstog ostatka iznosio je 34.2% na 400 °C i 20.2% na 700 °C. Najznačajnija promena masenog udela uzorka oklaska kukuruza kod *Raveendran-a i ostalih* [26] zabeležena je u opsegu temperature od 300 do 400 °C. Na krajnjoj temperaturi pirolize od 700 °C, prinos čvrstog ostatka iznosio je 26.5%.

Bridgewater [27] je u svom radu definisao proces pirolize kao termički proces za dobijanje upotrebljivog i vrednog biogoriva. Proučavao je proces brze pirolize u cilju dobijanja tečnog proizvoda (bio-ulja), koje se može skladištiti, transportovati i koristiti kao gorivo, za prenos energije i za dobijanje hemijskih supstanci. Bio-ulja su uspešno testirana u motorima, turbinama i ložištima, i unapređena su u visoko kvalitetna ugljovodonična goriva iako su njihovi energetski i finansijski troškovi trenutno neprihvatljivi. Maksimalni prinos bio-ulja dobija se brzom pirolizom biomase do temperature od 450 do 550 °C [28]. Maksimalni prinos čvrstog ostatka dobija se sporom pirolizom do istog temperaturnog opsega kao i kod brze pirolize, ali sa mnogo manjom brzinom zagrevanja [29]. Pomenuti proces koristi se još od davnina kako bi se dobio ugalj. Spora piroliza je umereno egzoterman proces koji pokreće autogene i samoodržive reakcije koje se javljaju pri niskim temperaturama [30, 31] što objašnjava zašto je metoda proizvodnje biougla koja se koristila u prošlosti i podrazumevala zakopavanja biomase pod zemljom mogla da traje danima. Torefakcija je forma pirolize kojom se biomasa zagreva do temperature od 200 - 320 °C [32]. Torefakcija zgušnjava biomasu, povećava njenu toplotnu moć uklanjanjem vode i poboljšava njenu sposobnost usitnjavanja [33]. Zgušnjavanje smanjuje troškove transporta biomase, a kao rezultat nastaje materija koja je pogodna za mešanje sa ugljem i kasnije za kosagorevanje [34, 35].

Sastav, veličina, oblik i fizička struktura biomase mogu da utiču na produkte pirolize tako što utiču na brzinu zagrevanja. Sitnije čestice biomase pružaju manji otpor oslobađanju kondenzibilnih gasova koji se zbog toga relativno lako oslobađaju u okolinu pre nego što dođe do sekundarnog krekovanja, usled čega je prinos tečne faze veći. Sa druge strane, veće čestice olakšavaju sekundarne reakcije krekovanja usled većeg otpora koji pružaju oslobađanju primarnog produkta pirolize [36]. *Sipilä i ostali*, *Beis i ostali*, *Pütün i ostali* [15, 18, 37] su pokazali da veličina čestice utiče na prinos produkata pirolize. *Encinar i ostali* [38] ispitivali su pirolizu karde (zeljaste biljke iz porodice artičoka) veličine čestica 0.43 - 2 mm sa hipotezom da povećanje veličine čestica dovodi do većih temperaturnih gradijenata unutar čestice tako da je u određenom trenutku temperatura unutrašnjosti niža nego površinska što može dovesti do porasta prinosa čvrstog ostatka i manjeg prinosa tečnosti i gasova. *Demirbas* je ispitivanjem pirolize oklaska kukuruza ustanovio da porast veličine čestica utiče na povećanje prinosa čvrstog ostatka [29]. Takođe, *Huynh i Kim* [19] su ustanovili da veličina

čestica utiče na produkte pirolize tako što sa porastom veličine čestica prinos čvrstog ostatka polako raste, dok prinos gasa opada, što je naročito izraženo kod čestica većih od 0.25 mm. Međutim, *Sukiran i ostali* [39] su u svom radu pokazali da veličina čestice nije imala značajan uticaj na proizvodnju bio-ulja tokom procesa pirolize. Došlo je samo do manjih razlika, verovatno usled greške u eksperimentu.

Pregledom literature iz oblasti pirolize biomase (uključujući oklasak kukuruza), može se zaključiti da je temperatura pirolize parametar koji ima značajan uticaj na prinos proizvoda pirolize, zbog čega je termogravimetrijska analiza najčešće zastupljena prilikom eksperimentalnog ispitivanja procesa pirolize. Pojedini autori su zaključili da povećanje veličine čestica utiče na povećanje prinosa čvrstog ostatka dok neki istraživači u svojim radovima pokazuju da veličina čestica nema značajan uticaj na prinos bio-ulja.

Proces gasifikacije biomase sve češće je predmet istraživanja u energetici i procesnoj tehnici. Iako je gasifikacija kao proces konverzije poznata duže od jednog veka, tek u poslednjih dvadesetak godina raste interesovanje za primenu gasifikacije biomase, što se ogleda u izgradnji većeg broja laboratorijskih, pilot i demonstracionih postrojenja. Gasifikacija biomase daje veći stepen efikasnosti procesa pri proizvodnji električne energije u gasnim turbinama u odnosu na klasična postrojenja sa sagorevanjem biomase i parnim ciklusom i omogućava znatno niže emisije štetnih gasova i čestica [40]. Razvijeni su različiti modeli procesa gasifikacije: kinetički model i model termodinamičke ravnoteže. Za razliku od kinetičkog modela koji predviđa udeo i sastav proizvoda u različitim zonama u reaktoru, ravnotežni model predviđa najveći mogući prinos određenog proizvoda.

Kinetički modeli gasifikacije sadrže određene parametre koji ograničavaju njihovu primenu u različitim postrojenjima. Stoga, model termodinamičke ravnoteže može biti pogodniji za ispitivanje uticaja različitih parametara procesa u cilju dobijanja sastava sinteznog gasa. Prednost ravnotežnog modela je da ne zavisi od konfiguracije i karakteristika gasifikatora. Pri hemijskoj ravnoteži, sistem reakcija je najstabilniji, entropija sistema je najveća, dok je Gibsova slobodna energija najmanja. Međutim, stanje termodinamičke ravnoteže je teško postići, uglavnom zbog niskih radnih temperatura (temperature izlaznog gasa kreću se od 750 do 1000 °C) [41]. Upotreba modela zasnovanih na termodinamičkoj ravnoteži je široko rasprostranjena kod velikog broja istraživača kao bi se analizirao proces gasifikacije: *Bacon i ostali* [42], *Ruggiero i Manfrida* [43], *Zainal i ostali* [44], *Schuster i ostali* [45], *Altafini i ostali* [46], *Li i ostali* [47, 48], *Melgar i ostali* [49], *Jarunghammachote i Dutta* [50], *Karamarkovic i Karamarkovic* [51], *Huang i Ramaswamy* [52] i *Haryanto i ostali* [53]. Ravnotežni modeli su značajni jer mogu predvideti termodinamička ograničenja, i mogu se koristiti kao vodič pri projektovanju, proceni i unapređenju procesa.

Postoje dva osnovna pristupa ravnotežnim modelima: stehiometrijski i nestehiometrijski. Stehiometrijski pristup zahteva jasno definisan mehanizam reakcija koji uključuje sve hemijske reakcije. Nestehiometrijski model ravnoteže zasniva se na minimiziranju Gibsove slobodne energije i jedini ulazni podatak koji je potreban predstavlja elementarni sastav goriva [47, 53]. Mnogi istraživački radovi pokazali su da su dva navedena pristupa u osnovi jednaka. Stehiometrijski model može takođe da koristi vrednosti slobodne energije kako bi se definisale konstante ravnoteže predloženog sistema reakcija.

Zainal i ostali [44] su razvili matematički model gasifikacije biomase zasnovan na stehiometrijskim jednačinama u uslovima termodinamičke ravnoteže. Predvideli su sastav proizvedenog gasa za različite vrste biomase. *Jarungthammachote i Dutta* [50] su razvili ravnotežni model gasifikacije koji pomoću konstante ravnoteže određuje sastav proizvedenog gasa u gasifikatoru sa silaznom strujom oksidanta. Razvijeni model su unapredili tako što su konstantu ravnoteže za hemijsku reakciju voda - gas i reakciju stvaranja metana množili sa koeficijentom koji su odredili upoređivanjem rezultata dobijenih modelom sa eksperimentalnim rezultatima drugih istraživača. Predviđeni rezultati modifikovanog modela dobro su se slagali sa eksperimentalnim rezultatima *Jayah-a i ostalih* [54]. *Li i ostali* [48] su koristili nestehiometrijski ravnotežni model kako bi predvideli sastav proizvedenog gasa u reaktoru sa cirkulacionim fluidizovanim slojem. U svom drugom radu *Li i ostali* [47] su primenili ravnotežni model kojim su pored sastava proizvedenog gasa predvideli i toplotnu moć proizvoda kao i produktivnost hladnog gasa pri procesu gasifikacije u cirkulacionom fluidizovanom sloju. Ustanovili su da realni procesi gasifikacije odstupaju od hemijske ravnoteže. Kako bi uzeli u obzir odstupanja, razvili su fenomenološki model u koji su uveli faktore koji se odnose na neravnotežno stanje. Eksperimentalnim ispitivanjem u pilot postrojenju dobili su podatke o konverziji ugljenika i prinosu metana, na osnovu kojih su smanjili udele ugljenika i vodonika u ravnotežnom sistemu.

Ruiz i ostali [55] su u svom radu zaključili da je temperatura reakcije jedan od najznačajnijih parametara u pogledu uticaja na proces gasifikacije, da veći sadržaj vlage u biomasi umanjuje energetska efikasnost gasifikacije i da je prisustvo katrana i pepela u sinteznom gasu jedna od osnovnih prepreka pri razvoju procesa gasifikacije. *Žbogar A. i ostali* [40] su u svom radu ispitivali eksperimentalno i teorijski proces gasifikacije biomase, kako bi odredili sastav produkata, kinetiku procesa i optimalne uslove odvijanja procesa. Poređenjem eksperimentalnih rezultata sa teorijskim proračunom utvrđeno je da je moguće predvideti sastav dobijenog gasa sa zadovoljavajućom tačnošću. Dobijeni rezultati mogu da se iskoriste za optimizaciju procesa gasifikacije biomase u cilju dobijanja kvalitativno i kvantitativno optimalnog prinosa gasovitog proizvoda.

Kako bi utvrdili uticaj parametara procesa gasifikacije kao što su temperatura, pritisak, vrsta biomase, količina vode i biomase koje se uvode, *Detournay i ostali* [56] uradili su proračun koji se odnosio na sistem biomase ($\text{CH}_{1.36}\text{O}_{0.67}$) i vode u stanju termodinamičke ravnoteže. Rezultati simulacije upoređeni su sa eksperimentalnim rezultatima. Došli su do zaključka da temperatura ima odlučujuću ulogu pri određivanju efikasnosti sistema. Maseni udeo vodene pare između 0 i 0.4 kilograma vodene pare po kilogramu suve biomase nije uticao na sastav dobijene smeše gasova, dok je veći maseni udeo od navedenog doveo do povećanja odnosa H_2/CO . Povećanje pritiska nije imalo značajan uticaj na proizvode gasifikacije, kao ni vrsta biomase.

Corella i ostali [57] prikazali su u svom radu jednodimenzioni model gasifikacije u fluidizovanom sloju. Razmatrali su devolatilizaciju goriva, redukciju vodene pare prilikom reakcije sa čvrstim ostatkom i ponovno nastajanje katrana. *Corella i Sanz* [58, 59] proširili su model kako bi predvideli sastav gasa i udeo katrana i čvrstog ostatka u funkciji parametara procesa koji se mogu kontrolisati. *Hamel i Krumm* [60] su pomoću modela gasifikacije odredili sastav gasa i temperaturu u različitim fazama procesa gasifikacije. *Tinaut i ostali* [61]

razvili su jednodimenzioni model gasifikacije u reaktoru sa fiksnim slojem sa tokom nadole. Model obuhvata osnovne procese značajne za termohemijsku transformaciju biomase u gasovito gorivo koje se može koristiti u motorima sa unutrašnjim sagorevanjem. Eksperimentalni rezultati bili su u saglasnosti sa rezultatima dobijenim proračunom. Stoga, model koji su razvili, može se uspešno koristiti za gasifikatore sa tokom nadole, jer određuje proizvedenu toplotnu energiju, protok i sastav proizvedenog gasa. Na osnovu postojećih modela, *Li i ostali*, kao i *Miao i ostali* [47, 62] razvili su novi matematički model radi proučavanja gasifikacije u cirkulacionom fluidizovanom sloju.

Gasifikatori sa fiksnim i pokretnim slojem proizvode sintezni gas kao i velike količine katrana i/ili čvrstog ostatka usled slabog i neujednačenog prenosa toplote i mase između čvrste biomase i gasifikacionog agensa. Za gasifikaciju biomase najčešće se koriste gasifikatori sa fluidizovanim slojem koji mogu da postignu veliku brzinu zagrevanja, ujednačeno zagrevanje i visoku produktivnost [63, 64]. Sintezni gas može se koristiti za generisanje toplote i električne energije kao i prirodni gas [65, 66], za sintezu drugih hemijskih supstanci i tečnih goriva [67] ili za proizvodnju vodonika [68].

Na osnovu pregleda literature može se zaključiti da su ravnotežni modeli gasifikacije veoma korisni jer mogu da predvide sastav proizvedenog gasa, ali ne sa velikom preciznošću i ne u svim slučajevima. Takođe, navedeni modeli ne zahtevaju poznavanje mehanizama transformacije i mogu da predvide termodinamička ograničenja procesa gasifikacije [69].

1.2. Predmet i cilj istraživanja

Istraživanje i izrada doktorske disertacije započeti su u okviru projekta Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, pod nazivom „Tehnologije korišćenja biomase za proizvodnju električne energije i za kogeneraciju“ i nastavljeni u okviru projekta Ministarstva za prosvetu i nauku Republike Srbije pod nazivom „Razvoj i izgradnja demonstracionog postrojenja za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije sa gasifikacijom biomase“.

Predmet istraživanja doktorske disertacije predstavlja ispitivanje procesa pirolize i gasifikacije oklaska kukuruza. Primenom navedenih termohemijskih procesa prerade biomase moguće je hemijsku energiju biomase (oklaska kukuruza) transformisati u toplotnu i električnu energiju. U okviru doktorske disertacije izvršena su teorijska i eksperimentalna istraživanja radnih parametara za uspešno vođenje procesa pirolize i gasifikacije oklaska kukuruza.

Istraživanje procesa pirolize obuhvatalo je definisanje uticaja procesnih parametara (temperature pirolize, reakcionog vremena, brzine zagrevanja i veličine čestica) na prinos čvrstog ostatka i pirolitičkog gasa. Osim toga, vršeno je ispitivanje sastava gasa u zavisnosti od temperature. Kako bi se odredio materijalni i toplotni bilans procesa pirolize, izvršena je tehnička i elementarna analiza oklaska kukuruza i dobijenog čvrstog (koksog) ostatka. Produkti pirolize mogu se koristiti kao gorivo, za proizvodnju električne i toplotne energije i raznih hemijskih jedinjenja.

Primarni cilj ispitivanja procesa gasifikacije predstavlja razvijanje funkcionalnog matematičkog modela gasifikacije oklaska kukuruza u struji vazduha koji bi trebalo da omogući optimizaciju procesa gasifikacije goriva u cilju dobijanja gasovitog proizvoda. Gasoviti produkti nastali tokom procesa gasifikacije mogu se direktno koristiti u motorima sa unutrašnjim sagorevanjem, za proizvodnju električne i toplotne energije i kao polazna sirovina za dobijanje različitih sintetičkih hemijskih jedinjenja ili tečnog goriva.

Uzimajući u obzir prethodno navedene činjenice, pažnja je bila usmerena na istraživanje optimalnih uslova pirolize i gasifikacije oklaska kukuruza u laboratorijskim postrojenjima koja su razvijena za datu namenu. Dobijeni rezultati upoređeni su sa dostupnim podacima u literaturi i diskutovani u smislu međusobne povezanosti radnih uslova, prinosa reaktora i kinetike procesa, kao i konfiguracije predloženog laboratorijskog postrojenja.

1.3. Polazne hipoteze

Pregled literature iz oblasti pirolize i gasifikacije biomase (uključujući oklasak kukuruza), predstavljao je polaznu osnovu za definisanje hipoteza u doktorskoj disertaciji. Pretpostavljeno je sledeće:

- Temperatura pirolize predstavlja parametar koji ima značajan uticaj na proces pirolize oklaska kukuruza.
- Povećanje temperature utiče na smanjenje prinosa čvrstog ostatka i povećanje prinosa volatila.
- Porast veličine čestica oklaska kukuruza utiče na povećanje prinosa čvrstog ostatka, dok prinos volatila opada.
- Povećanje brzine zagrevanja dovodi do smanjenja prinosa čvrstog ostatka, tj. prinos volatila raste. Maseni udeo bio-ulja raste sa povećanjem brzine zagrevanja.
- Zapreminski udeo metana u pirolitičkom gasu raste sa porastom temperature, dok zapreminski udeo ugljen dioksida opada. Veličina čestica utiče na prinos metana.
- Temperatura gasifikacije i količina injektiranog vazduha utiču na prinos produkata gasifikacije.
- Razvojem laboratorijskih postrojenja za pirolizu i gasifikaciju poljoprivredne biomase moguće je dati novi uvid u prirodu složenih procesa pirolize i gasifikacije koji se odvijaju u realnim uslovima rada laboratorijskih postrojenja.
- Pirolizom i gasifikacijom oklaska kukuruza u reaktoru moguće je dobiti toplotnu energiju i vredne produkte koji se dalje mogu koristiti kao energent ili kao polazna sirovina za druge procese.

1.4. Metodologija istraživanja

Kako bi se ispitali procesi pirolize i gasifikacije oklaska kukuruza sa ciljem dobijanja podataka koji bi doprineli optimizaciji navedenih procesa, korišćeno je više naučnih metoda istraživanja. Metode istraživanja su prilagođene pojedinim celinama u doktorskoj disertaciji, odnosno teorijskom razmatranju i eksperimentalnom istraživanju.

Izvor podataka pri izradi doktorske disertacije predstavljala je domaća i svetska stručna i naučna literatura iz oblasti termohemijske konverzije biomase, kao i statistički i drugi relevantni podaci objavljeni od strane relevantnih institucija.

Metode prikupljanja podataka, pored analize podataka iz objavljenih naučnih publikacija, predstavljale su: elementarna i tehnička analiza uzorka oklaska kukuruza i čvrstog (koksno) ostatka procesa pirolize, sitovna analiza, gravimetrijska metoda određivanja mase uzorka za ispitivanje, kao i eksperimentalna ispitivanja procesa pirolize i gasifikacije pomoću termogravimetrijske analize.

Za uspešnu obradu eksperimentalno dobijenih podataka korišćene su statističke metode i komparativna metoda analize, odnosno poređenje dobijenih rezultata sa teorijskim i eksperimentalnim rezultatima drugih istraživača.

Kako bi se što preciznije opisale fizičko - hemijske pojave procesa gasifikacije oklaska kukuruza, korišćena je teorijska analiza matematičkog modela sa definisanim procesnim parametrima. Rezultati dobijeni primenom matematičkog modela sastava ravnotežne mešavine gasifikacije poređeni su sa teorijskim i rezultatima merenja drugih istraživača i rezultatima dobijenim eksperimentalnim ispitivanjem procesa gasifikacije oklaska kukuruza. Matematički model rešen je odgovarajućom numeričkom metodom (Njutnov iterativni postupak). Numerička analiza izvršena je primenom programskog jezika C.

1.5. Struktura rada

Strukturu doktorske disertacije čini šest tematskih celina, koje imaju za cilj da pokažu opravdanost primene oklaska kukuruza kao energenta.

- *Uvodni deo* daje detaljan pregled dosadašnjih istraživanja u oblasti procesa pirolize i gasifikacije biomase, koji je doprineo definisanju predmeta i cilja doktorske disertacije. Na osnovu toga, postavljene su polazne hipoteze, za čije dokazivanje je korišćeno više naučnih metoda.
- *Drugo poglavlje* prikazuje najznačajnije zakone u oblasti obnovljivih izvora energije u Evropskoj uniji, kao i u Republici Srbiji. Dat je nacrt novog Zakona o energetici Republike Srbije kojim su definisani noviteti u funkcionisanju navedenog sektora. Predstavljen je i proces evropskih integracija Srbije u oblasti energetike u cilju smanjenja rizika i poboljšavanja održivosti sistema u kome živimo.
- *Treće poglavlje* opisuje karakteristike poljoprivredne biomase kao goriva. Kako bi se oklasak kukuruza uspešno koristio kao gorivo, izvršena je tehnička i elementarna analiza i prikazano je poređenje sa podacima sastava poljoprivredne biomase iz literature. Razmatran je uticaj sastava oklaska kukuruza na toplotnu moć, što je posebno značajno za termičku preradu poljoprivredne biomase, i prikazana je kvalitativna ocena poljoprivredne biomase kao goriva.

- *Četvrto poglavlje* objašnjava termohemijske postupke prerade poljoprivredne biomase: pirolizu, gasifikaciju i sagorevanje, sa prikazom tehnologija primene i konstrukcija postojećih rešenja za termohemijsku preradu biomase. Osim toga, prikazane su stehiometrijske jednačine sagorevanja biomase, sa brojčanim primerom proračuna materijalnog bilansa i određivanje teorijske temperature sagorevanja oklaska kukuruza.
- *Peto poglavlje* opisuje eksperimentalno ispitivanje procesa pirolize oklaska kukuruza različitih frakcija dobijenih sitovnom analizom: 0.25 - 0.35 mm, 0.35 - 0.50 mm, 0.50 - 0.71 mm, 0.71 - 1.0 mm, 1.0 - 1.4 mm, kao i oklaska kukuruza u komadu. Promena masenog udela uzorka oklaska kukuruza u zavisnosti od temperature, reakcionog vremena i veličine čestica prikazana je tabelarno i grafički. Uticaj brzine zagrevanja (19, 37 i 60 °C/min) na promenu masenog udela objašnjen je i prikazan grafički, kao i prinos proizvoda pirolize (gasa, tečne faze i čvrstog ostatka). Ispitan je sastav čvrstog ostatka. Takođe, u okviru navedenog poglavlja prikazan je materijalni i toplotni bilans pirolitičkog reaktora.

U petom poglavlju opisano je i eksperimentalno ispitivanje procesa gasifikacije oklaska kukuruza u komadu. Eksperimentalno ispitivanje procesa gasifikacije oklaska kukuruza vršeno je u gasifikatoru sa fiksnim slojem sa uzlaznom strujom oksidanta. Kao oksidujućii agens korišćen je vazduh protoka 0.1, 0.3 i 0.6 m³/h. Prikazana je promena mase uzorka oklaska kukuruza u zavisnosti od temperature, kao i maseni udeo gasa u zavisnosti od reakcionog vremena. Razvijen je matematički model proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije goriva (oklaska kukuruza) pri uvođenju vazduha u reakcioni prostor (gasifikator). Proračun je urađen Njutnovom iterativnom metodom u programskom jeziku C. Izvršeno je poređenje matematičkog modela gasifikacije sa rezultatima eksperimentalnog ispitivanja procesa gasifikacije oklaska kukuruza i poređenje matematičkog modela gasifikacije sa podacima iz literature.

- U zaključku su predstavljeni rezultati istraživanja procesa pirolize i gasifikacije oklaska kukuruza, data je ocena uspešnosti matematičkog modela gasifikacije. Takođe, predložene su smernice za dalji razvoj procesa pirolize i gasifikacije.

LITERATURA

- [1] Khanna M, Dhungana B, Clifton-Brown J. 2008. Costs of producing miscanthus and switchgrass for bioenergy in Illinois. *Biomass and Bioenergy* 32 (6): 482 - 493.
- [2] McKendry P. 2002. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* 83 (1): 37 - 46.
- [3] Gómez Díaz C. J. 2006. Understanding Biomass Pyrolysis Kinetics: Improved Modeling Based on Comprehensive Thermokinetic Analysis, Ph.D. diss, Departament d'Enginyeria Química, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- [4] <http://www.pks.rs/> (7.10.2014.)
- [5] Jovanović B, Parović M. 2009. Stanje i razvoj biomase u Srbiji. *Alternativna energija Srbije*, Beograd.
- [6] Statistički godišnjak Republike Srbije, 2012. Republički zavod za statistiku.
- [7] Bekrić V. 1997. Upotreba kukuruza. Institut za kukuruz, Zemun Polje.
- [8] White J. E, Catallo J. W, Legendre B. L. 2011. Biomass pyrolysis kinetics: A comparative critical review with relevant agricultural residue case studies. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 91 (1): 1 - 33.
- [9] Demirbas A. 2000. Biomass resources for energy and chemical industry. *Energy Education, Science and Technology* 5 (1): 21 - 45.
- [10] González J. F, Ramiro A, González - Garcia C. M, Gañán J, Encinar J. M, Sabio E, Rubiales J. 2005. Pyrolysis of Almond Shells. *Energy Applications of Fractions. Industrial and Engineering Chemistry Research* 44 (9): 3003 - 3012.
- [11] Hu S, Jess A, Xu M. 2007. Kinetic study of Chinese biomass slow pyrolysis: Comparison of different kinetic models. *Fuel* 86 (17 - 18): 2778 - 2788.
- [12] Wang L, Shen S, Jang S, Shi X. 2010. Experimental investigation of pyrolysis process of corn straw. *International Journal of Low-Carbon Technologies* 5 (4): 182 - 185.
- [13] Rejai B, Agblevor F. A, Evans R. J, Wang D. 1992. Catalyst and Feedstock Effects in the Thermochemical Conversion of Biomass to Liquid Transportation Fuel, Report. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado.
- [14] Luo, Z. Y, Wang S. R, Liao Y. F, Zhou J, Yueling G, Cen K. 2004. Research on Biomass Fast Pyrolysis For Liquid Fuel. *Biomass and Bioenergy* 26 (5): 455 - 462.
- [15] Beis S. H, Önay Ö, Koçkar Ö. M. 2002. Fixed - bed pyrolysis of safflower seed: influence of pyrolysis parameters on product yields and compositions. *Renewable Energy* 26 (1): 21 - 32.
- [16] Özçimen D, Karaosmanoğlu F. 2004. Production and characterization of bio-oil and biochar from rapeseed cake. *Renewable Energy* 29 (5): 779 - 787.
- [17] Zhang Q, Chang J, Wang T, Xu Y. 2007. Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. *Energy Conversion and Management* 48 (1): 87- 92.
- [18] Sipilä K, Kuoppala E, Fagernäs L, Oasmaa A. 1998. Characterization of biomass - based flash pyrolysis oils. *Biomass and Bioenergy* 14 (2): 103 - 113.
- [19] Huynh Q, Kim D. C. 2012. Investigation of Biomass Pyrolysis on Non-catalytic Process for Bio-oil Production. 4th International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering, IPCBEE vol.43, LACSIT Press, Singapore.

- [20] Lin J. L, Keener H. M, Essenhigh R. H. 1995. Pyrolysis and combustion of corn cobs in a fluidized bed: measurement and analysis of behavior. *Combustion and Flame* 100 (1 - 2): 271 - 282.
- [21] Muthukrishnan N, Porchezian T, Venugopal M. S, Janarthanan R. 2003. Recycling spent larval food of *Corcyra cephalonica* Stainton as a broiler feed ingredient. *Bioresource Technology* 86 (1): 39 - 44.
- [22] Cao Q, Xie K. C, Bao W. R, Shen S. G. 2004. Pyrolytic behavior of waste corn cob. *Bioresource Technology* 94 (1): 83 - 89.
- [23] Ateş F, Işıkdağ M. A. 2009. Influence of temperature and alumina catalyst on pyrolysis of corncob. *Fuel* 88 (10): 1991 - 1997.
- [24] Worasuwanarak N, Sonobe T, Tanthapanichakoon W. 2007. Pyrolysis behaviors of rice straw, rice husk, and corncob by TG-MS technique. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 78 (2): 265 - 271.
- [25] Zhang H, Xiao R, Huang H, Xiao G. 2009. Comparison of non-catalytic and catalytic fast pyrolysis of corncob in a fluidized bed reactor. *Bioresource Technology* 100 (3): 1428 - 1434.
- [26] Raveendran K, Ganesh A, Khilart K. C. 1995. Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics. *Fuel* 74 (12): 1812 - 1822.
- [27] Bridgwater A. V. 2004. Biomass fast pyrolysis. *Thermal Science* 8 (2): 21 - 49.
- [28] Diebold, J. P. 2002. A review of the chemical and physical mechanisms of the storage stability of fast pyrolysis bio-oils, In *Fast Pyrolysis of Biomass, A Handbook*, ed. Bridgwater A. V, CPL Press, Liberty House, Newbury, UK.
- [29] Demirbas A. 2004. Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 72 (2): 243 - 248.
- [30] Milosavljevic I, Oja V, Suuberg E. M. 1996. Thermal Effects in Cellulose Pyrolysis: Relationship to Char Formation Processes. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 35 (3): 653 - 662.
- [31] Mok W. S. L, Antal M. J. 1983. Effects of pressure on biomass pyrolysis II, heats of reaction of cellulose pyrolysis. *Thermochimica Acta* 68 (2 - 3): 165 - 186.
- [32] Prins M. J, Ptasinski K. J, Janssen F. J. J. G. 2006. Torrefaction of wood: Part 1. Weight loss kinetics. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 77 (1): 28 - 34.
- [33] Bourgois J, Guyonnet R. 1988. Characterization and analysis of torrefied wood. *WoodScience and Technology* 22 (2): 143 - 155.
- [34] Bridgeman T. G, Jones J. M, Williams A, Waldron D. J. 2010. An investigation of the grindability of two torrefied energy crops. *Fuel* 89 (12): 3911 - 3918.
- [35] Phanphanich M, Mani S. 2011. Impact of torrefaction on the grindability and fuel characteristics of forest biomass. *Bioresource Technology* 102 (2): 1246 - 1253.
- [36] Basu P. 2013. *Biomass Gasification, Pyrolysis, and Torrefaction*, Second Edition, Elsevier Inc, USA.
- [37] Pütün A. E, Apaydin E, Pütün E. 2004. Rice straw as a bio-oil source via pyrolysis and steam pyrolysis. *Energy* 29 (12 - 15): 2171 - 2180.
- [38] Encinar J. M, González J. F, González J. 2000. Fixed-bed pyrolysis of *Cynara cardunculus* L. Product yields and compositions. *Fuel Processing Technology* 68 (3): 209 - 222.

- [39] Sukiran M. A, Chin C. M, Abu Bakar, N. K. 2009. Bio-oils from Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches. *American Journal of Applied Sciences* 6 (5): 869 - 875.
- [40] Žbogar A, Nemoda S, Erić A, Erić M, Komatina M. 2004. Ispitivanje procesa gasifikacije biomase u fluidizovanom sloju. *Termotehnika* 30 (1 - 4): 5 - 22.
- [41] Bridgwater A. V. 1995. The technical and economic feasibility of biomass gasification for power generation. *Fuel* 74 (5): 631 - 653.
- [42] Bacon D. W, Downie J, Hsu J. C, Peters J. 1985. Modeling of Fluidized Bed Wood Gasifiers. In: *Fundamentals of thermochemical biomass conversion*, eds. Overend R. P, Milne T. A, Mudge K. L. Elsevier Applied Science, London, UK.
- [43] Ruggiero M, Manfrida G. 1999. An equilibrium model for biomass gasification processes. *Renewable Energy* 16 (1 - 4): 1106 - 1109.
- [44] Zainal Z. A, Ali R, Lean C. H, Seetharamu K. N. 2001. Prediction of performance of a downdraft gasifier using equilibrium modeling for different biomass materials. *Energy Conversion and Management* 42 (12): 1499 - 1515.
- [45] Schuster G, Löffler G, Weigl K, Hofbauer H. 2001. Biomass steam gasification - an extensive parametric modeling study. *Bioresource Technology* 77 (1): 71 - 79.
- [46] Altafini C. R, Wander P. R, Barreto R. M. 2003. Prediction of the working parameters of a wood waste gasifier through an equilibrium model. *Energy Conversion and Management* 44 (17): 2763 - 2777.
- [47] Li X. T, Grace J. R, Lim C. J, Watkinson A. P, Chen H. P, Kim J. R. 2004. Biomass gasification in a circulating fluidized bed, *Biomass and Bioenergy* 26 (2): 171 - 193.
- [48] Li X, Grace J. R, Watkinson A. P, Lim C. J, Ergüdenler A. 2001. Equilibrium modeling of gasification: a free energy minimization approach and its application to circulating fluidized bed coal gasifier. *Fuel* 80 (2): 195 - 207.
- [49] Melgar A, Pérez J. F, Laget H, Horillo A. 2007. Thermochemical equilibrium modelling of gasifying process. *Energy Conversion Management* 48 (1): 59 - 67.
- [50] Jarunghammachote S, Dutta A. 2007. Thermodynamic equilibrium model and second law analysis of a downdraft waste gasifier. *Energy* 32 (9): 1660 - 1669.
- [51] Karamarkovic R, Karamarkovic V. 2010. Energy and exergy analysis of biomass gasification at different temperatures. *Energy* 35 (2): 537 - 549.
- [52] Huang H. J, Ramaswamy S. 2009. Modeling Biomass Gasification Using Thermodynamic Equilibrium Approach. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 154 (1 - 3): 14 - 25.
- [53] Haryanto A, Fernando S. D, Pordesimo L. O, Adhikari S. 2009. Upgrading of syngas derived from biomass gasification: A thermodynamic analysis. *Biomass and Bioenergy* 33 (5): 882 - 889.
- [54] Jayah T. H, Aye L, Fuller R. J, Stewart D. F. 2003. Computer simulation of a downdraft wood gasifier for tea drying. *Biomass and Bioenergy* 25 (4): 459 - 469.
- [55] Ruiz J. A, Juárez M. C, Morales M. P, Muñoz P, Mendivil M. A. 2013. Biomass gasification for electricity generation: Review of current technology barriers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 18: 174 - 183.
- [56] Detournay M, Hemati M, Andreux R. 2011. Biomass steam gasification in fluidized bed of inert or catalytic particles: Comparison between experimental results and thermodynamic equilibrium predictions. *Powder Technology* 208 (2): 558 - 567.

- [57] Corella J, Herguido J. M, Toledo J, Gómez I. 2000. Modelling fluidized bed gasifiers. Part II: gasification with steam in a bubbling fluidized bed. 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, vol. II, Sevilla, Spain.
- [58] Corella J, Sanz A. 2005. Modeling circulating fluidized bed biomass gasifiers. A pseudo-rigorous model for stationary state. *Fuel Processing Technology* 86 (9): 1021 - 1053.
- [59] Sanz A, Corella J. 2006. Modeling circulating fluidized bed biomass gasifiers. Results from a pseudo-rigorous 1-dimensional model for stationary state. *Fuel Processing Technology* 87 (3): 247 - 258.
- [60] Hamel S, Krumm W. 2001. Mathematical modelling and simulation of bubbling fluidised bed gasifiers. *Powder Technology* 120 (1 - 2): 105 - 112.
- [61] Tinaut F. V, Melgar A, Pérez J. F, Horrillo A. 2008. Effect of biomass particle size and air superficial velocity on the gasification process in a downdraft fixed bed gasifier. An experimental and modelling study. *Fuel Processing Technology* 89 (11): 1076 - 1089.
- [62] Miao Q, Zhu J, Barghi S, Wu C, Yin X, Zhou Z. 2013. Modeling biomass gasification in circulating fluidized beds. *Renewable Energy* 50: 655 - 661.
- [63] Basu P. 2006. *Combustion and gasification in fluidized beds*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- [64] Van der Drift A, Van Doorn J, Vermeulen J. W. 2001. Ten residual biomass fuels for circulating fluidized-bed gasification. *Biomass and Bioenergy* 20 (1): 45 - 56.
- [65] Rodrigues M, Walter A, Faaij A. 2003. Co-firing of natural gas and biomass gas in biomass integrated gasification/combined cycle systems. *Energy* 28 (11): 1115 - 1131.
- [66] Kinoshita C. M, Turn S. Q, Overend R. P, Bain R. L. 1997. Power generation potential of biomass gasification systems. *Journal of Energy Engineering* 123 (3): 88 - 99.
- [67] Tijmensen M. J. A, Faaij A. P. C, Hamelinck C. N, van Hardeveld M. R. M. 2002. Exploration of the possibilities for production of Fischer Tropsch liquids and power via biomass gasification. *Biomass and Bioenergy* 23 (2): 129 - 152.
- [68] Rapagnà S, Jand N, Kiennemann A, Foscolo P. U. 2000. Steam gasification of biomass in a fluidised-bed of olivine particles. *Biomass and Bioenergy* 19 (3): 187 - 191.
- [69] Puig-Arnavat M, Bruno J, Coronas A. 2010. Review and analysis of biomass gasification models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (9): 2841 - 2851.

2

ZAKONSKA REGULATIVA O OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE

Biomasa predstavlja najstariji obnovljivi izvor energije. Obnovljivi izvori energije smatraju se glavnim osloncem energetske samostalnosti Srbije u budućnosti. Sporazum o energetskoj zajednici jugoistočne Evrope obavezuje Srbiju da usvoji direktive Evropske unije usmerene na povećanje korišćenja obnovljivih izvora energije.

2.1. Zakonodavstvo Evropske unije

U oblasti energetike, Evropska unija (EU) je u cilju postizanja održivog razvoja okrenuta ka smanjenju emisija CO₂, a takođe i smanjenju zavisnosti od uvoznih goriva i promena u ceni energenata (nafta, gasa itd.). Jedan od načina smanjenja emisija CO₂ jeste povećanje udela obnovljivih izvora u ukupnoj proizvodnji energije. Cilj država EU je da do 2020. godine ostvare 20% uštede energije, 20% proizvodnje energije iz obnovljivih izvora, 20% smanjenje emisije CO₂ ("20-20-20-targets") (slika 2.1.). Naglašava se da se do cilja mora doći korišćenjem ekonomičnih, praktičnih i razumnih mera. Neke države su odabrale sistem privilegovanih nabavnih cena, takozvane „feed-in” tarife, gde su utvrđene otkupne cene za električnu energiju proizvedenu iz svakog od obnovljivih izvora, dok su druge uvele sistem trgovine zelenih sertifikata u kombinaciji sa obaveznim kvotama, gde svaki proizvođač za svaki MWh električne energije iz obnovljivih izvora dobija zeleni sertifikat sa kojim može trgovati na tržištu, tako da svaki proizvođač ili postrojenje može postići obavezan udeo zacrtan od strane države [1].



Slika 2.1. Politika Evropske unije „20-20-20” do 2020. godine [2]

U okviru složene slike energetske politike, sektor obnovljivih izvora energije predstavlja energetski segment koji se ističe u smislu mogućnosti za smanjenje emisija gasova staklene bašte i zagađenja, iskorišćavanja lokalnih i decentralizovanih energetskih resursa, i stimulacije visokotehnoloških industrija. Evropska unija ima ubedljive razloge za uspostavljanje okvira kojima se omogućava promovisanje obnovljivih izvora energije [2].

2.1.1. Zakonski okvir koji se odnosi na obnovljivu energiju

Zakonski okvir Evropske unije koji se odnosi na obnovljivu energiju obuhvata sledećih pet oblasti: osnovne smernice, električnu energiju, grejanje i hlađenje, biogoriva i energiju vetra [1].

Osnovne smernice

Direktiva 2009/28/EC Evropskog parlamenta i saveta o promovisanju upotrebe energije iz obnovljivih izvora, kojom se menjaju i dopunjavaju i na osnovu koje prestaju da važe direktive 2001/77/EC i 2003/30/EC, određuje osnovni okvir korišćenja energije iz obnovljivih izvora kako bi se ograničile emisije gasova staklene bašte i promovisao čistiji transport [3]. U tom cilju, definisani su nacionalni akcioni planovi kao i procedure za upotrebu biogoriva.

Navedena direktiva obuhvata i energiju iz biogoriva i biotečnosti. Energija dobijena iz biotečnosti trebalo bi da dovede do smanjenja emisije gasova staklene bašte za barem 35%, kako bi se uzela u obzir. Od 1. januara 2017., njihov udeo u smanjenju emisija trebalo bi da se poveća na 50%. Biogoriva i biotečnosti proizvode se korišćenjem sirovina iz zemalja van Evropske unije ili unutar Evropske zajednice. Biogoriva i biotečnosti ne bi trebalo proizvoditi iz sirovina koje potiču iz područja sa velikim biodiverzitetom ili sa velikim zalihama uglja [3].

Mapa puta za obnovljivu energiju procenjuje udeo obnovljive energije u ukupnoj energiji i napredak u toj oblasti. Takođe uvodi cilj da 20% od ukupne potrošnje energije u Evropskoj uniji bude proizvedeno iz obnovljivih izvora energije do 2020. godine, kao i mere promovisanja obnovljivih izvora energije u sektorima električne energije, biogoriva i grejanja i hlađenja. Navedeni dokument objavljen je 10. januara 2007. godine pod nazivom „Mapa puta obnovljive energije. Obnovljive energije u 21. veku: izgradnja održivije budućnosti”, koji nije dat u okviru Službenog glasnika Evropske unije [1].

Globalna energetska efikasnost i fond obnovljive energije (The Global Energy Efficiency and Renewable Energy Fund - GEEREF) je sastavni deo pristupa predstavljenog u Zelenoj knjizi „Evropska strategija za održivu, konkurentnu i sigurnu energiju”. GEEREF bi trebalo da pomogne u pokretanju privatnih investicija u oblasti energetske efikasnosti i u projekte obnovljive energije [1].

Električna energija

„Podrška proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije” (COM(2005) 627 final - Službeni glasnik C 49) analizira napredak u oblasti obnovljivih izvora energije, izveštava o porastu proizvodnje i opticanja obnovljive energije na unutrašnjem tržištu [4].

Grejanje i hlađenje

Akcioni plan za biomasu (COM(2005) 628 final - Službeni glasnik C 49) postavlja niz akcija Evropske zajednice posebno u cilju povećanja potražnje za biomasom, poboljšanja snabdevanja, prevazilaženja tehničkih prepreka i razvoja istraživanja. Biomasa, odnosno svi organski, biljni i životinjski proizvodi koji se koriste za proizvodnju energije ili u poljoprivredi, trenutno zauzima približno polovinu (44 do 65%) od ukupne obnovljive energije koja se koristi u EU [4].

Biogoriva

EU strategija za biogoriva (COM(2006)34 final - Službeni glasnik C 67) prikazuje sedam strateških oblasti za razvoj proizvodnje i upotrebe biogoriva od strane država članica i zemalja u razvoju [5].

Energija vetra

“Energija vetra sa pučine: akcija koju bi trebalo sprovesti kroz ciljeve energetske politike za 2020. godinu i kasnije” (COM(2008) 768 final - nije objavljena u Službenom glasniku) promovira razvoj morske i priobalne energije vetra u Evropskoj uniji [1].

2.2. Zakonodavstvo Republike Srbije

Korišćenje biomase kao obnovljivog izvora energije regulisano je velikim brojem zakona i propisa. Osnovni zakonski okvir korišćenja obnovljivih izvora energije definišu:

- **Zakon o energetici Republike Srbije** („Službeni glasnik RS”, broj 57/2011, 80/2011 - ispravka, 93/2012 i 124/2012)
- **Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2025. godine sa projekcijama do 2030. godine**
- **Program ostvarivanja strategije razvoja energetike Republike Srbije**
- **Zakon o planiranju i izgradnji Republike Srbije** („Službeni glasnik RS”, broj 72/2009, 81/2009 - ispravka, 64/2010, 24/2011, 121/2012, 42/2013, 50/2013, 98/2013)
- **Uredba o uslovima i postupku sticanja statusa povlašćenog proizvođača električne energije** („Službeni glasnik RS”, broj 8/2013 i 70/2014)
- **Uredba o merama podsticaja za povlašćene proizvođače električne energije** („Službeni glasnik RS”, broj 8/2013)
- **Uredba o načinu obračuna i načinu raspodele prikupljenih sredstava po osnovu naknade za podsticaj povlašćenih proizvođača električne energije** („Službeni glasnik RS”, broj 8/2013)
- **Uredba o visini posebne naknade za podsticaj u 2014. godini** („Službeni glasnik RS”, broj 3/2014)
- **Ugovor o energetske zajednici jugoistočne Evrope ili ECSEE**
- **Pravilnik o tehničkim i drugim zahtevima za tečna goriva bioporekla** („Službeni list SCG”, broj 23/2006)
- **Zakon o zaštiti životne sredine** („Službeni glasnik RS”, broj 135/2004, 36/2009, 72/2009, 43/2011)
- **Zakon o strateškoj proceni uticaja na životnu sredinu** („Službeni glasnik RS”, broj 135/2004 i 88/2010)
- **Zakon o proceni uticaja na životnu sredinu** („Službeni glasnik RS”, broj 135/2004 i 36/2009)
- **Zakon o integrisanom sprečavanju i kontroli zagađivanja životne sredine** („Službeni glasnik RS”, broj 135/2004)
- **Zakon o upravljanju otpadom** („Službeni glasnik RS”, broj 36/2009 i 88/2010)

- **Zakon o zaštiti vazduha** („Službeni glasnik RS”, broj 36/2009 i 10/2013)
- **Zakon o Fondu za zaštitu životne sredine** („Službeni glasnik RS”, broj 72/2009 i 101/2011)
- **Zakon o potvrđivanju Kjoto Protokola uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih nacija o promeni klime** („Službeni glasnik RS”, broj 88/2007)
- **Nacionalna strategija održivog razvoja od 2009. do 2017. godine** („Službeni glasnik RS”, broj 57/2008)
- **Strategija uvođenja čistije proizvodnje u Republici Srbiji** („Službeni glasnik RS”, broj 17/2009)

Prema *Zakonu o energetici*, energija iz obnovljivih izvora predstavlja energiju proizvedenu iz nefosilnih obnovljivih izvora, kao što su: vodotokovi, biomasa, vetar, sunce, biogas, deponijski gas, gas iz pogona za preradu kanalizacionih voda i izvori geotermalne energije.

Zakonom o energetici uređuju se ciljevi energetske politike i način njenog ostvarivanja, uslovi za pouzdanu, sigurnu i kvalitetnu isporuku energije i energenata, uslovi za sigurno snabdevanje kupaca, uslovi za izgradnju novih energetskih objekata, uslovi i način obavljanja energetskih delatnosti, način organizovanja i funkcionisanja tržišta električne energije i prirodnog gasa, prava i obaveze učesnika na tržištu, zaštita kupaca energije i energenata, način, uslovi i podsticaji za proizvodnju energije iz obnovljivih izvora i kombinovane proizvodnje električne i toplotne energije, prava i dužnosti državnih organa, položaj, način finansiranja, poslovi i druga pitanja od značaja za rad Agencije za energetiku Republike Srbije u izvršavanju ovog zakona, kao i nadzor nad sprovođenjem ovog zakona. Zakon o energetici Republike Srbije koji se primenjuje od 1. oktobra 2012. godine ima 208 članova.

U članu 2. navedenog Zakona definisani su sledeći pojmovi:

- Biomasa je biorazgradivi deo proizvoda, otpada i ostataka biološkog porekla iz poljoprivrede (uključujući biljne i životinjske materije), šumarstva i povezanih industrija, kao i biorazgradivi deo industrijskog i komunalnog otpada.
- Biogoriva su tečna ili gasovita goriva za saobraćaj, proizvedena iz biomase.
- Biotečnost je tečno gorivo za proizvodnju električne i toplotne energije i energije za grejanje i hlađenje, proizvedeno iz biomase, osim za saobraćaj.

Članovi 52. do 63. Zakona o energetici odnose se na energiju iz obnovljivih izvora energije i podsticajne mere. Pomenutim članovima obuhvaćeni su:

- Nacionalni ciljevi i plan korišćenja obnovljivih izvora (član 52.)
Vlada, na predlog Ministarstva, donosi Nacionalni akcioni plan kojim se utvrđuju ciljevi za korišćenje obnovljivih izvora energije za period od najmanje 10 godina.
- Garancija porekla (član 53., član 54. i član 55.)
Garanciju porekla izdaje operator prenosnog sistema na zahtev proizvođača električne energije iz obnovljivih izvora energije, proizvođača energije za grejanje i hlađenje iz obnovljivih izvora energije i proizvođača električne i toplotne energije iz kombinovane proizvodnje sa visokim stepenom iskorišćenja primarne energije, na

osnovu podataka operatora na čiji sistem je objekat proizvođača priključen, javnog snabdevača i izjave podnosioca zahteva o korišćenju investicione podrške.

- Povlašćeni proizvođači električne energije (član 56.)
Energetski subjekti mogu, u smislu ovog zakona, steći status povlašćenog proizvođača električne energije ako:
 - 1) u procesu proizvodnje električne energije u pojedinačnom proizvodnom objektu koriste obnovljive izvore energije, osim hidroelektrana instalisane snage veće od 30 MW
 - 2) u pojedinačnom proizvodnom objektu instalisane električne snage do 10 MW istovremeno proizvode električnu i toplotnu energiju sa visokim stepenom iskorišćenja primarne energije
 - 3) su priključeni na prenosni, odnosno distributivni sistem električne energije
 - 4) imaju posebno merno mesto odvojeno od mernih mesta na kojima se meri količina električne energije proizvedena u drugim tehnološkim procesima
 - 5) imaju zaključen ugovor o prodaji toplotne energije za elektrane sa kombinovanom proizvodnjom električne i toplotne energije osim ako toplotnu energiju koriste za sopstvene potrebe
 - 6) je za elektrane koje koriste energiju vetra i energiju sunca instalisana snaga manja od slobodnog kapaciteta, odnosno da je zahtev za sticanje statusa povlašćenog proizvođača podnet za deo instalisane snage koji je manji ili jednak slobodnom kapacitetu.
- Povlašćeni proizvođači toplotne energije (član 57. i član 58.)
Povlašćeni proizvođači toplotne energije su proizvođači koji u procesu proizvodnje toplotne energije koriste obnovljive izvore energije i pri tome ispunjavaju uslove u pogledu energetske efikasnosti.
- Podsticajne mere za korišćenje obnovljivih izvora za proizvodnju električne energije (član 59., član 60. i član 61.)
Podsticajne mere za korišćenje obnovljivih izvora za proizvodnju električne energije u smislu ovog zakona obuhvataju obavezu otkupa električne energije od povlašćenog proizvođača, cene po kojima se ta energija otkupljuje i period važenja obaveze otkupa električne energije i preuzimanje balansne odgovornosti.
- Podsticajne mere za korišćenje obnovljivih izvora za proizvodnju toplotne energije (član 62.)
Povlašćeni proizvođači toplotne energije, odnosno energije za grejanje i hlađenje imaju pravo na podsticajnu otkupnu cenu i druge podsticajne mere.
- Podsticajne mere za proizvodnju biogoriva (član 63.)
Vlada na predlog Ministarstva i ministarstva nadležnog za poslove životne sredine određuje kriterijume za održivu proizvodnju biogoriva.

Strategija održivog razvoja Republike Srbije predstavlja dokument u kome se velika pažnja posvećuje energetskej efikasnosti. Održivi razvoj u oblasti energetske efikasnosti ogledaće se u sledećim ciljevima:

- Znatno poboljšanje energetske efikasnosti, da bi se smanjila potrošnja energije, a samim tim i uvozna zavisnost i negativan uticaj sektora energetike na životnu sredinu,

povećala konkurentnost industrije i standard građana (Republika Srbija zaostaje u ovom domenu za okruženjem, a pogotovu za EU)

- Sigurnost i stabilnost snabdevanja, ostvarivanje ekonomski isplative proizvodnje dovoljnih količina energije usklađene sa standardima EU
- Usvajanje i primenu međunarodnih ugovora koji se odnose na zagađenje vazduha, klimatske promene i oštećenje ozonskog omotača
- Podsticanje korišćenja obnovljivih izvora energije
- Rešavanje problema postupanja sa otpadom u energetici
- Obrazovanje i razvijanje javne svesti i unapređenje pristupa javnosti informacijama o životnoj sredini u energetici.

Zakon o planiranju i izgradnji takođe po prvi put uvodi pojam energetske efikasnosti. U poglavlju Unapređenje energetske efikasnosti, u članu 4., navodi se da sertifikat o energetskim svojstvima objekta čini sastavni deo tehničke dokumentacije koja se prilaže uz zahtev za izdavanje upotrebne dozvole.

Zakon o zaštiti životne sredine nalaže da se obnovljivi prirodni resursi koriste pod uslovima koji obezbeđuju njihovu trajnu i efikasnu obnovu i stalno unapređivanje kvaliteta. Takođe, članom 101. pomenutog Zakona definisane su i ekonomske podsticajne mere za pravna i fizička lica koja primenjuju tehnologije, proizvode i stavljaju u promet proizvode čiji je uticaj povoljniji od drugih sličnih, odnosno koji koriste obnovljive izvore energije, opremu i uređaje koji neposredno služe zaštiti životne sredine, u vidu poreskih, carinskih i drugih olakšica ili oslobađanja od obaveze plaćanja, pod uslovima i na način utvrđen posebnim zakonom. Član 102. Zakona o zaštiti životne sredine određuje da je pravno i fizičko lice dužno da u obavljanju svoje aktivnosti obezbedi zaštitu životne sredine uvođenjem energetski efikasnijih tehnologija i korišćenjem obnovljivih prirodnih resursa.

2.2.1. Nacrt novog Zakona o energetici Republike Srbije

Novi Zakon o energetici Republike Srbije trebalo bi da donese reforme i sistemske promene u svim segmentima energetike, kojima se otklanjaju barijere u mnogim mehanizmima, između ostalog i u korišćenju obnovljivih izvora energije. Republika Srbija kao članica Energetske zajednice jugoistočne Evrope primenjuje model sistema održive energetike, odnosno paket mera i direktiva Evropske unije koje su implementirane u ovaj zakon.

Prema nacrtu novog Zakona o energetici, u skladu sa nacionalnim ciljevima, podsticajnim merama i planom korišćenja obnovljivih izvora energije definisani su noviteti u funkcionisanju ovog sektora:

- Mehanizmi saradnje
- Prvenstvo proizvođača električne energije iz obnovljivih izvora energije pri preuzimanju ukupno proizvedene električne energije u prenosni ili distributivni sistem, osim u slučaju kada je ugrožena sigurnost rada tih sistema
- Posebno su definisani uslovi za sticanje statusa povlašćenog proizvođača električne energije za elektrane koje proizvode električnu energiju i elektrane koje proizvode električnu i toplotnu energiju

- Odvojeno su definisani uslovi za svaku vrstu elektrana
- Definisan je privremeni status povlašćenog proizvođača električne energije za sve proizvođače električne energije iz obnovljivih izvora energije, za razliku od dosadašnjeg koji je bio namenjen samo za vetar i solar, što znači da sada sve tehnologije mogu da rezervišu unapred podsticajne mere i time planiraju poslovanje i proizvodnju
- Rok važenja privremenog statusa povlašćenog proizvođača električne energije sada iznosi tri godine, osim za solarne elektrane kod kojih taj rok iznosi jednu godinu i može se produžiti za još jednu godinu
- Bankarska garancija u visini od 2% od ukupne predračunske vrednosti investicije potrebna je samo za postrojenja instalisane snage 100 kW i više, u postupku sticanja privremenog statusa povlašćenog proizvođača električne energije
- Privremeni status, odnosno status povlašćenog proizvođača električne energije postaju prenosivi
- Ukinut je predugovor između javnog snabdevača i privremenog povlašćenog proizvođača, a najavljeno da će postojati Ugovor o otkupu energenata
- Definisano je pravo proizvođača električne i proizvođača kombinovane električne i toplotne energije da bira podsticajne mere ako u propisanom roku stekne status povlašćenog proizvođača električne energije, tj. ima pravo na izbor između skupa podsticajnih mera koje su važile na dan pravosnažnosti rešenja o sticanju privremenog statusa povlašćenog proizvođača električne energije i skupa podsticajnih mera koje važe na dan podnošenja zahteva za zaključenje ugovora o otkupu električne energije [6].

2.2.2. Važne institucije u elektro energetsom sektoru Srbije

Ministarstvo rudarstva i energetike odgovorno je za politiku Vlade u energetici, pripremanje i usvajanje energetske propisa i podzakonskih akata, energetske strategije i energetske bilansa.

Agencija za energetiku je regulatorno telo osnovano u junu 2005. na osnovu Zakona o energetici iz 2004. godine. Odobrava tarifne sisteme za tarifne potrošače struje i prirodnog gasa, kao i tarifne sisteme za pristup i korišćenje mreže u prenosu i prevozu energije; utvrđuje metodologiju za određivanje elemenata tarifnog sistema za izračunavanje sistema struje i zemnog gasa za tarifne potrošače, kao i metodologiju za izračunavanje cene toplotne energije proizvedene u termoelekttranama - toplanama; utvrđuje merila i postupke za izračunavanje troškova priključenja na sistem prenosa, prevoza i distribucije; izdaje licence za obavljanje energetske delatnosti i sprovodi postupak obnavljanja energetske licence propisan zakonom o energetici; i odobrava pravilnike za mreže, za tržište energije i za skladištenje prirodnog gasa.

Ministarstvo za zaštitu životne sredine je nacionalni organ, predviđen po Okvirnoj konvenciji UN o klimatskim promenama, odgovoran za aktivnosti u mehanizmu čistog razvoja.

Elektroprivreda Srbije (EPS) je vertikalno ustrojeno javno preduzeće za električnu energiju u svojoj državi.

Agencija za zaštitu životne sredine, osnovana 2004. godine, prikuplja i prati glavna energetska postrojenja i lokacije koje podležu zaštiti, i priprema godišnje izveštaje o stanju životne sredine i sprovođenju ekološke politike.

Agencija za energetske efikasnosti je nacionalna neprofitna organizacija osnovana u maju 2002. godine od strane Vlade Srbije uz finansijsku podršku Evropske agencije za rekonstrukciju (EAR). Glavni zadatak agencije je da sprovodi aktivnosti poboljšanja energetske efikasnosti i veće upotrebe obnovljivih energija.

Ministarstvo zaštite životne sredine i prostornog planiranja je odgovorno za sistem zaštite životne sredine i održivo korišćenje prirodnih resursa, praćenje životne sredine, klimatske promene i zaštitu ozonskog omotača, praćenje i zaštitu od prekograničnog zagađenja vode i vazduha, izdavanje dozvola i licenci u skladu sa procenama uticaja na životnu sredinu, zaštitu od jonizujućeg i nejonizujućeg zračenja [7].

2.3. Proces evropskih integracija Srbije u oblasti energetike

Proces evropskih integracija Srbije u oblasti energetike je kompleksan, dugoročan i neophodno planiran poduhvat za svaku državu koja ima energetska postrojenja utemeljena na korišćenju prirodnih resursa. Veza između kvaliteta upravljanja korišćenjem prirodnih resursa i kvaliteta državne uprave čini osnovu ovog procesa. Momenat kada će energetska infrastruktura i kvalitet uprave ostvariti neophodan nivo pouzdanosti i kvaliteta da bi se država kvalifikovala za članstvo u EU je „pokretna meta”. Države članice stalno unapređuju energetska tržišta, uvećavaju stepen integracije i pouzdanosti, primenjujući pri tome sve modernije tehnologije. Načelo najbolje raspoložive tehnologije nije samo tehnološki zahtev pri izboru opreme ili karaktera objekata već i opšte načelo energetske politike i kvaliteta državne vlasti.

Republika Srbija je zajedno sa drugim državama jugoistočne Evrope potpisala „Ugovor o osnivanju Energetske zajednice“ 25. oktobra 2005. u Atini sa Evropskom zajednicom, kojim su se zemlje jugoistočne Evrope pravno obavezale kako na proširenje unutrašnjeg tržišta energije EU na svoj region tako i na ispunjavanje i poboljšanje društvenog, ekonomskog i ekološkog standarda u regionu. Ugovor je stupio na snagu 1. jula 2006., a praktično u Srbiji ratifikacijom i usvajanjem u Skupštini („Službeni glasnik RS”, broj 62/2006), Ugovor je obavezujući počev od 1. septembra 2006. godine. Pomenuti ugovor je ključni dokument između Srbije i EU koji pokriva potrebne reforme energetske politike za proces pridruživanja EU, pripremu energetske politike za punu primenu evropskih pravila, primenu direktiva EU i učešće na jedinstvenom evropskom energetske politike tržištu. Sprovođenje Ugovora o osnivanju Energetske zajednice povereno je ministarstvu nadležnom za rudarstvo i energetiku. Postoji spisak propisa EU za koje postoji obaveza implementacije u skladu sa Ugovorom o osnivanju Energetske zajednice [8]:

Propisi o energetici:

- **Direktiva 2003/54/EC** - zajednička pravila za unutrašnje tržište električne energije
- **Direktiva 2003/55/EC** - zajednička pravila za unutrašnje tržište prirodnog gasa

- **Uredba 1228/2003/EC** - uslovi za pristup mreži radi prekogranične trgovine električnom energijom
- **Odluka komisije 2006-770-EC (CMG)** - smernice za upravljanje zagušenjima
- **Uredba 1775/2005/EC** - uslovi za pristup mrežama za prirodni gas
- **Direktiva 2005/89/EC** - sigurnost snabdevanja električnom energijom i investicije u infrastrukturu
- **Direktiva 2004/67/EC** - sigurnost snabdevanja prirodnim gasom.

Propisi o zaštiti životne sredine:

- **Direktiva 85/337/EC** - procena uticaja određenih javnih i privatnih projekata na životnu sredinu, sa izmenama i dopunama iz direktive 97/11/EC i direktive 2003/35/EC
- **Direktiva 1999/32/EC** - smanjenje sadržaja sumpora u pojedinim tečnim gorivima
- **Direktiva 2001/80/EC** - ograničenje emisija određenih zagađivača u vazduh iz velikih ložišta
- **Direktiva 79/409/EC** - očuvanje divljih ptica.

Propisi o obnovljivim izvorima energije:

- **Direktiva 2001/77/EC** - promocija električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije
- **Direktiva 2003/30/EC** - promocija upotrebe biogoriva ili drugog goriva proizvedenog iz obnovljivih izvora za transport.

Najnoviji dokument, **direktiva 2009/28/EC** promoviše korišćenje obnovljivih izvora energije (OIE). Ovom direktivom postavljeni su obavezujući nacionalni ciljevi za ukupno učešće energije iz obnovljivih izvora u finalnoj potrošnji energije, kao i u saobraćaju, i oni su: najmanje 20% učešća energije iz obnovljivih izvora u finalnoj potrošnji energije u EU i 10% učešća energije iz obnovljivih izvora u potrošnji energije za saobraćaj do 2020. godine [6]. Republika Srbija je prihvatila i obavezu da realizuje sopstveni plan primene direktive 2001/77/EC o promociji proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije.

Na kraju, može se zaključiti da su moderne energetske tehnologije znatno pogodnije za životnu sredinu i otvorenije za učešće javnosti, kako u komercijalnom tako i u socijalnom smislu. Učešće javnosti u donošenju odluka u oblasti energetske politike i korišćenja javnih dobara u oblasti energetike se smatra neophodnim preduslovom za održiv razvoj. Drugim rečima, društveni sistem koji omogućava učešće civilnog društva u demokratskim procesima donošenja kritičnih razvojnih odluka i formulaciji prioriteta, uz uvažavanje interesa međunarodnih partnera i regionalnu saradnju, nije postignuće koje se samo po sebi podrazumeva. To je rezultat aktivnog rada mnogobrojnih zainteresovanih učesnika. U tome iskustvo država članica EU predstavlja pomoć od neprocenjive vrednosti. Samo pristupanje EU je, dakle, alat kojim se smanjuju rizici i poboljšava održivost sistema u kome živimo.

LITERATURA

- [1] <http://eur-lex.europa.eu> (11.09.2014.)
- [2] Marković D, Čeperković B, Vlačić A, Resl S. 2011. Bela knjiga Elektroprivrede Srbije. JP „Elektroprivreda Srbije“, Beograd.
- [3] ***, 2009. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (1). Official Journal of the European Union 52 (L 140): 16 - 62.
- [4] ***, 2006. COM documents other than legislative proposals adopted by the Commission. Official Journal of the European Union 49 (C 49): 23 - 34.
- [5] ***, 2006. COM documents other than legislative proposals adopted by the Commission. Official Journal of the European Union 49 (C 67): 32 - 33.
- [6] www.merz.gov.rs (15.09.2014.)
- [7] Đereg N, Kalmar Krnajski Jović Z, Apostol I. 2008. Obnovljivi izvori energije u Srbiji, preporuke, potencijali i kriterijumi. Projekat “Towards sustainable energy in South East Europe” CEE Bankwatch Network u Srbiji. Centar za ekologiju i održivi razvoj, Subotica.
- [8] ***, 2011. Vodič za učešće javnosti u oblastima energetike i klimatskih promena, Projekat Evropske unije „Uključivanje organizacija civilnog društva u proces donošenja energetske i klimatske politike na lokalnom nivou“.

3

KARAKTERISTIKE OKLASKA KUKURUZA KAO GORIVA

3.1. Poljoprivredna biomasa kao gorivo

Srbija, posebno Vojvodina, bogata je biomasom koja može da se koristi u termohemijskim procesima konverzije za dobijanje toplotne energije i koja predstavlja biljne ostatke primarne poljoprivredne proizvodnje i prerađivačke industrije. Smatra se da od ukupnih potencijala biomase nastale iz poljoprivredne proizvodnje za dobijanje toplotne energije nesmetano može da se koristi oko 25 - 30%, što bi iznosilo oko 4 miliona tona (ekvivalentno sa oko 1.4 miliona tona ulja za loženje). Pored toga, raspolaže se i sa oko 300.000 t biomase iz prerađivačke industrije [1].

Biomasa kao biogorivo, ima svoje specifične karakteristike u odnosu na konvencionalne vrste goriva, u pogledu: hemijskog sastava, temperature sagorevanja, tačke topljenja pepela, toplotne moći goriva i stepena zagađivanja okoline.

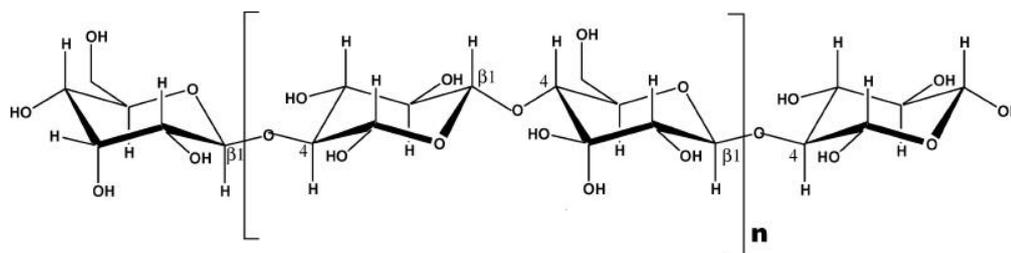
Kako bi se oklasak kukuruza uspešno koristio kao gorivo, potrebno je poznavati sledeće:

- Strukturni hemijski sastav oklaska kukuruza (celuloza, hemiceluloza, lignin)
- Karakteristike dobijene tehničkom analizom (maseni udeli isparljivih materija, fiksnog ugljenika, vlage, pepela, donja i gornja toplotna moć) i karakteristike dobijene elementarnom analizom (maseni udeli ugljenika, vodonika, azota, sumpora i kiseonika)
- Sastav i karakteristike pepela.

3.2. Strukturni hemijski sastav oklaska kukuruza

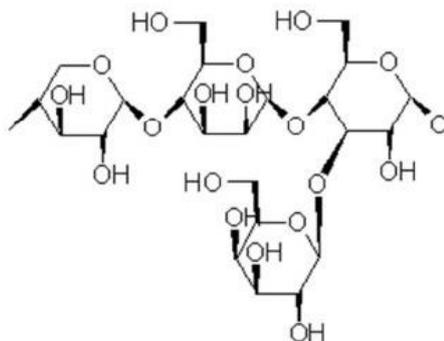
Hemijski sastav biomase svedene na čistu sagorljivu masu definisan je izrazom $CH_{1,4}O_{0,6}N_{0,1}$, ali postoje velike razlike u prirodi polimera, koji ulaze u njen sastav. Osnovne strukturne komponente biomase su: celuloza, hemiceluloza, lignin i ekstraktivna ulja [2].

Celuloza (slika 3.1.) je homopolisaharid sastavljen od β -D-glukopiranoznih jedinica koje su povezane (1 \rightarrow 4) glikozidnim vezama. Molekuli celuloze su linearni; β -D-glukopiranozne lančane jedinice su u konformaciji stolice, a supstituenti HO-2, HO-3 i CH₂OH su u ekvatorijalnom položaju. Celuloza pokazuje izraženu tendenciju ka formiranju intra- i intermolekularnih veza, što čini da molekuli formiraju mikrofibrile koji delom čine strukturu sa visokom uređenošću (kristalna) i sa manjom uređenošću (amorfna). Mikrofibrili grade fibrile, a zatim i celulozna vlakna. Vlaknasta struktura i jake vodonične veze daju celulozi visoku zateznu čvrstoću i čine vlakna nerastvorljivim u većini rastvarača.



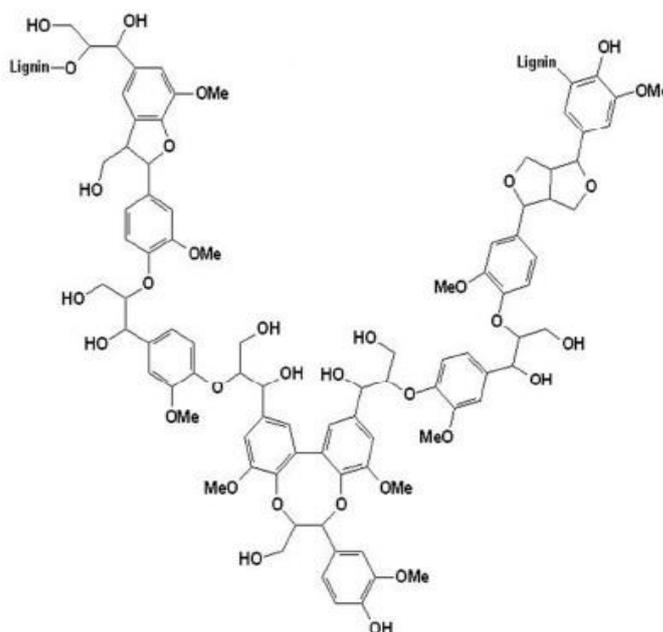
Slika 3.1. Struktura celuloze [3]

Nasuprot celulozi, koja je homopolisaharid, *hemiceluloza* je heteropolisaharid (slika 3.2.). Monomerske komponente hemiceluloze su uglavnom D-glukoza, D-manoza, D-galaktoza, D-ksiloza, L-arabinoza, ali u izvesnoj meri može biti i L-ramnoza uz D- glukoronsku kiselinu, D-galakturonsku kiselinu i 4-O-metil-D-glukoronsku kiselinu. Hemiceluloze mogu biti hidrolizovane kiselinama.



Slika 3.2. Struktura hemiceluloze [4]

Lignini su polimeri fenilpropanskih jedinica koji sadrže metoksil grupe, fenolne hidroksil grupe i neke aldehidne grupe koje su poslednje u lancu (slika 3.3.). Relativno malo fenolnih hidroksila su slobodni, većina ih je zauzeta vezama sa susednim fenilpropanom. Povezivanje fenilpropanskih jedinica može se izvršiti pomoću C-C ili C-O-C veza. Pomenute veze su dominantne i čine barem dve trećine veza. Makromolekul lignina je veoma složen i struktura varira za različita biogoriva.



Slika 3.3. Struktura lignina [4]

Ekstraktivi su dobili ime po tome što se većim delom mogu ukloniti iz biomase ekstrakcijom sa neutralnim rastvaračima. Ekstraktivi su komponente različitog hemijskog sastava, kao što su smole, šećeri, ulja, škrob, alkaloidi i tanin. Sastav varira u zavisnosti od vrste biomase. Ekstraktivi izazivaju karakterističnu boju i miris, ili kod nekih vrsta biomase otpornost na truljenje i napade insekata [5].

U tabeli 3.1. prikazani su maseni udeli celuloze, hemiceluloze, lignina i ekstraktiva u oklasku kukuruza, prema različitim autorima.

Tabela 3.1. Hemijski sastav oklaska kukuruza prema različitim autorima

Literatura	Hemijski sastav (maseni udeo, %)			
	Celuloza	Hemiceluloza	Lignin	Ekstraktivi
Garrote G i ostali [6]	34.30	40.53	18.80	-
Ateş F, Işikdağ M. A [7]	52.90 ^a	32.10 ^a	13.10 ^a	1.90 ^b
Demirbas A [8]	52.00 ^c	32.00 ^c	15.00 ^c	-
Huang Y i ostali [9]	36.47 ^d	39.85 ^d	13.52 ^d	-
Raveendran K i ostali [10]	40.30	28.70	16.60	15.40

^a Osnova bez ekstraktiva

^b Benzen/alkohol (2/1) (vol./vol.)

^c Suva osnova i bez ekstraktiva

^d Uzorak sušen na vazduhu

Može se primetiti da se maseni udeli strukturnih komponenata oklaska kukuruza razlikuju kod različitih autora, što bi se moglo objasniti različitim uslovima pri kojima je ispitivanje vršeno.

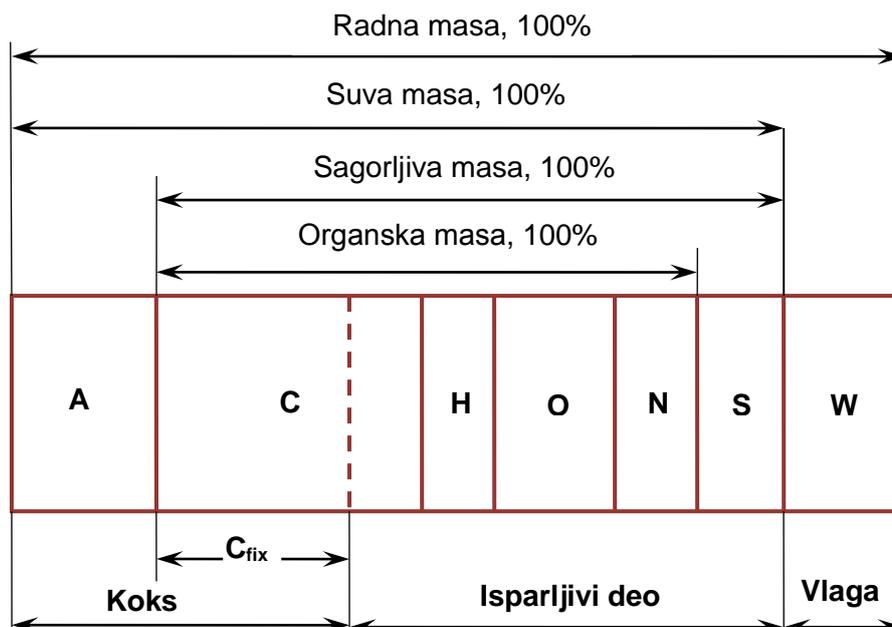
3.3. Tehnička i elementarna analiza biomase

Radi pravilnog dimenzionisanja delova termoenergetskih postrojenja, tačnije mogućnosti egzaktnog modelovanja procesa termohemijske konverzije biomase i samim tim nastanka emisije štetnih gasova, potrebno je izvršiti analizu sastava biomase kao goriva. Osnovni podaci o kvalitetu biomase kao goriva dobijaju se izradom tehničke i elementarne analize.

Tehnička analiza obuhvata određivanje masenih udela vlage, pepela, sumpora (ukupnog, u pepelu i sagorivog), koksa, fiksnog ugljenika, isparljivih i sagorljivih materija u biomasi - izraženih u % i toplotnu moć (gornju i donju) izraženu u kJ/kg.

Elementarna analiza goriva daje podatke o masenim udelima ugljenika, vodonika, sumpora, azota i kiseonika u biomasi, takođe izraženih u procentima.

U zavisnosti od elementarnog sastava, uslovno se definišu i različite mase biogoriva, što je prikazano na slici 3.4.



Slika 3.4. Grafički prikaz analize sastava biomase kao goriva

Elementarna analiza je hemijska analiza izvršena na uzorcima koji reprezentuju ukupnu raspoloživu količinu biomase. Ova analiza može se predstaviti izrazom [11]:

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

gde su:

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

Elementarna analiza suve biomase ($W = 0$) definiše hemijski sastav sveden na suhu masu biomase. Ova analiza određena je izrazom [11]:

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

gde su:

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

Elementarna analiza sagorljive mase biomase određena je izrazom [11]:

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

gde su:

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

Elementarna analiza organske mase biomase data je izrazom [12]:

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

gde su:

$C^{\circ}, H^{\circ}, O^{\circ}, N^{\circ}$ - maseni udeli ugljenika, vodonika, kiseonika i azota u organskoj masi biomase, izraženi u %.

Gorivo koje se troši u termoenergetskim postrojenjima naziva se radno gorivo. Ako se radnom gorivu oduzme sva vlaga, dobija se suva masa goriva, od koje se dobija sagorljiva masa daljim oduzimanjem mineralnih materija. U sagorljivoj masi inertni azot i kiseonik predstavljaju balastne materije jer njihovo prisustvo smanjuje stvarno sagorljive sastojke goriva. U inženjerskim proračunima, pri modelovanju procesa sagorevanja u ložištu neophodno je znati kako preračunati sa jedne mase goriva na drugu. Preračunavanje sa jedne uslovne mase na drugu vrši se odgovarajućim izrazima prikazanim u tabeli 3.2.

Tabela 3.2. Faktori konverzije za elementarne analize goriva [11]

Zadata masa goriva	Tražena masa goriva			
	Organska	Sagorljiva	Suva	Radna
Organska	1	$\frac{100 - S^g}{100}$	$\frac{100 - (S^s - A^s)}{100}$	$\frac{100 - (S + A + W)}{100}$
Sagorljiva	$\frac{100 - S^g}{100}$	1	$\frac{100 - A^s}{100}$	$\frac{100 - (A + W)}{100}$
Suva	$\frac{100}{100 - (S^s + A^s)}$	$\frac{100}{100 - A^s}$	1	$\frac{100 - W}{100}$
Radna	$\frac{100}{100 - (S + A + W)}$	$\frac{100}{100 - (A + W)}$	$\frac{100}{100 - W}$	1

3.3.1. Ugljenik

Ugljenik (C) predstavlja osnovnu komponentu organske i sagorljive mase goriva koji pri potpunom sagorevanju u ugljen-dioksid (CO_2) oslobađa toplotu od oko 33900 kJ/kg [12]. Međutim, ugljenik se u gorivu ne nalazi slobodan, nego u vidu složenih organskih jedinjenja sa vodonikom, kiseonikom, azotom i sumporom, čije raspadanje zahteva određenu količinu toplote, pa se pri sagorevanju goriva ne oslobađa teorijska količina toplote, već nešto manja. Pri nepotpunom sagorevanju ugljenika stvara se ugljen-monoksid (CO) pri čemu se oslobađa toplota od oko 10200 kJ/kg [12]. Količina ugljenika u gorivu određuje kvalitet goriva. Povećanjem sadržaja ugljenika, teorijski se poboljšava kvalitet, jer se osobine goriva približavaju osobini čistog ugljenika. Toplotna moć ugljenika iznosi oko 33900 kJ/kg [12].

3.3.2. Vodonik

Vodonik (H) je drugi značajan element sagorljive mase. Pri potpunom sagorevanju 1 kg vodonika oslobađa se količina toplote od 143200 kJ/kg ako se produkt sagorevanja (voda) nalazi u tečnoj fazi, odnosno 119600 kJ/kg ako se nalazi u parnoj fazi [12]. U gorivu se

takođe nalazi u vidu raznih jedinjenja, najčešće u obliku ugljovodonika i vode, tako da je količina vezanog vodonika određena količinom kiseonika. Toplotna moć vodonika iznosi oko 119 000 kJ/kg.

3.3.3. Azot

Azota (N) u gorivu po pravilu ima malo i ne učestvuje u sagorevanju. Predstavlja unutrašnji balast goriva, jer svojim prisustvom smanjuje procenat sagorljivih elemenata. Azot se izdvaja u slobodnom stanju pri sagorevanju goriva i udaljava se sa gasovitim produktima sagorevanja. Pri visokim temperaturama sagorevanja azot se jedini sa kiseonikom u azotne okside (NO_x) koji su veoma otrovni.

3.3.4. Sumpor

Sumpor (S) koji se nalazi u gorivu može biti organskog i neorganskog porekla. Neorganski sumpor može biti piritni ili sulfatni pa je ukupan sumpor:

$$S_{\text{ukupni}} = S_{\text{organski}} + S_{\text{piritni}} + S_{\text{sulfatni}} \quad (3.5)$$

Sagorljivoj masi pripadaju organski (ugljenik sulfid, CS_2) i piritni sumpor (gvožđe sulfid, FeS_2) koji sagorevaju u sumpor dioksid i pri tome oslobađaju izvesnu toplotu. Sulfatni sumpor ulazi u mineralni deo goriva u vidu sulfata CaSO_4 i FeSO_4 i zato u procesu sagorevanja dalje ne oksiduje. Sulfatna jedinjenja pri sagorevanju prelaze u pepeo. Pri oksidaciji sagorljivog sumpora u sumpor dioksid (SO_2) oslobađa se približno 10500 kJ/kg toplote, a ako oksiduje u sumpor trioksid (SO_3), oslobađa se približno 13800 kJ/kg toplote [12]. Sumpor trioksid u reakciji sa vodom stvara sumpornu kiselinu, koja u određenoj koncentraciji, vrlo agresivno deluje na metal. Zbog toga sumpor predstavlja nepoželjan sastojak goriva, iako je sagorljiv.

3.3.5. Kiseonik

Kiseonik (O) služi za oksidaciju sagorljivih elemenata u gorivu. Kiseonik nije sagorljivi deo goriva ali potpomaže i omogućava sagorevanje. U gorivima se javlja vezan sa drugim elementima. Kiseonik predstavlja balast jer nije sagorljiv, a vezuje se za ugljenik i vodonik iz goriva, tako da smanjuje količinu toplote koja se oslobađa pri sagorevanju.

3.3.6. Isparljive materije (volatili)

Isparljive materije (volatili) su materije sagorljive mase nastale termičkim razlaganjem suve mase goriva pri njenom zagrevanju bez prisustva kiseonika. Sadržaj isparljivih materija ima veliki značaj za ocenu kvaliteta goriva. Pri visokim temperaturama (od 200 do 800 °C) u odsustvu kiseonika iz goriva se izdvajaju isparljive materije kao što su vodonik, metan, teški ugljovodonici, oksidi ugljenika, malo sumpora, ugljene kiseline, katran itd. Ostatak čvrste mase posle isparavanja volatila naziva se koks i sastoji se od takozvanog fiksnog ugljenika i mineralnih primesa - pepela.

3.3.7. Vlaga

Vlaga (W) koja se nalazi u gorivu predstavlja štetnu komponentu, jer mu snižava toplotnu moć, povećava zapreminu produkata sagorevanja, usporava proces sagorevanja i snižava temperaturu sagorevanja.

Maseni udeo vlage u biomasi značajno varira i ima bitnu ulogu u odabiru odgovarajućeg procesa konverzije energije. Vlažni procesi konverzije kao što je fermentacija uglavnom su pogodniji za biomasu sa većim udelom vlage (šećerna trska, stabljika ječma itd.). Biomasa sa manjim udelom vlage (pšenična stabljika, bor itd.) podvrgava se suvim procesima konverzije, kao što su piroliza, gasifikacija i sagorevanje. Vlažni procesi se koriste kada udeo vlage u biomasi zahteva veći utrošak energije za sušenje u poređenju sa energetskom vrednošću krajnjeg proizvoda.

Prinos energije uglavnom se izražava u vidu donje toplotne moći. Vrednost donje toplotne moći raste sa smanjenjem masenog udela vlage. Udeo vlage u biomasi značajno utiče na projektovanje postrojenja i odabir tehnologija za proizvodnju energije. Udeo vlage u poljoprivrednoj biomasi zavisi od klimatskih uslova, doba godine kada se vrši žetva, dužine i načina skladištenja.

3.3.8. Mineralne materije - pepeo

Mineralne materije - pepeo predstavljaju balast goriva. Njihovo prisustvo smanjuje sadržaj sagorljivih sastojaka goriva, smanjujući na taj način i njegovu toplotnu moć. Sastojci pepela, tj. mineralnih materija posle sagorevanja su silikati (pesak, kvarc) - SiO_2 , oksidi metala (Al_2O_3 - glina, Fe_2O_3), sulfidi (FeS_2), karbonati (CaCO_3 , MgCO_3), sulfati (CaSO_4 , MgSO_4), kalcijumovi, magnezijumovi, natrijumovi, kalijumovi i titanovi oksidi (CaO , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2), sumpor trioksid (SO_3) i drugo.

Elementi koji formiraju pepeo, kao što su aluminijum (Al), silicijum (Si), kalcijum (Ca), gvožđe (Fe), kalijum (K), magnezijum (Mg), natrijum (Na) i fosfor (P) u biomasi, veoma su značajni za procese termohemijske konverzije. Relativno visok sadržaj alkalija može da dovede do ozbiljnih tehničkih problema kada se biomasa koristi kao gorivo za proizvodnju energije. Smatra se da su alkalni metali osnovni uzročnici formiranja šljake, nečistoća i sinterovanja. Tabela 3.3. pokazuje jasne razlike između karakteristika goriva za poljoprivrednu i šumsku biomasu. Može se uočiti da su koncentracije Al, Si, Ca, Fe, K, Mg, Na i P u poljoprivrednoj biomasi uglavnom veće nego u šumskoj biomasi [13].

Pepeo poljoprivredne biomase sadrži niže koncentracije kalcijuma i više koncentracije silicijuma i kalijuma u odnosu na šumsku biomasu i to je razlog formiranja naslaga pepela na visokim temperaturama sagorevanja biogoriva. Između silicijuma i alkalnih metala dolazi do formiranja alkalnih silikata, koji se tope ili omekšavaju na nižim temperaturama, kao i reakcije alkalnih metala sa sumporom i formiranja alkalnih sulfata na površinama razmenjivača toplote. Kalijum je alkalni metal dominantan kod većine goriva biomase [14]. Upravo visok sadržaj ovog elementa dovodi do problema sa slepljivanjem pepela nastalog sagorevanjem biogoriva i formiranjem naslaga.

Tabela 3.3. Karakteristike referentnih goriva - osnovni elementi (elementi koji formiraju pepeo) (ppm, suva osnova biomase) [13]

Vrsta biomase	Al	Si	Ca	Fe	K	Mg	Na	P
Pirinčana slama	967.36±	351.12±	4537.84±	1606.29±	21969.67±	2587.81±	869.37±	1458.21±
	724.22	217.73	1505.05	896.08	8063.72	957.97	609.40	536.02
Pšenična slama	2052.36±	170.10±	6527.86±	2918.81±	15659.31±	2491.50±	319.17±	1122.85±
	2459.83	97.55	3877.59	3096.33	3718.68	1308.89	271.10	1047.71
Kukuruzna stabljika	4111.26±	61.12±	9226.17±	4867.47±	14302.99±	4767.23±	571.28±	1849.33±
	4307.71	71.72	4213.50	5159.78	7683.98	2345.90	674.66	941.68
Sojina stabljika	1336.36±	14.66±	16159.42±	1500.30±	9986.00±	7613.40±	161.25±	1559.03±
	1012.86	12.57	1181.28	899.23	2773.25	996.06	73.17	579.33
Oklasak kukuruza	2214.28±	20.71±	9807.77±	3152.40±	14380.13±	2310.20±	268.88±	1299.59±
	2229.63	14.55	6793.73	3393.38	4441.44	1316.90	81.92	584.73
Stabljika repice	309.8141	6.4961	10773.54	382.27	10893.46	1266.74	3497.90	342.29
Drvo kaučuka	1900.12±	67.14±	11832.90±	4017.76±	7421.92±	3292.47±	242.05±	1386.22±
	2398.09	60.54	3680.17	3242.82	6365.41	2097.22	58.53	1480.24
Vrba	753.06±	16.47±	14591.46±	1796.94±	7239.40±	2075.16±	230.49±	1005.41±
	422.20	19.35	7421.08	1362.30	5117.17	1619.39	182.78	793.54
Topola	215.64±		13790.59±	826.95±	3250.32±	1145.96±	70.03±	347.37±
	62.09	1.63	1905.79	497.28	596.02	60.43	38.36	119.48
Bor	120.65±	1.61±	1757.27±	673.20±	826.00±	260.46±	30.72±	91.88±
	6.05	1.61	187.42	305.74	19.79	14.57	14.72	43.10
Jela	398.13±	3.99±	9331.73±	492.55±	1055.07±	305.42±	248.56±	94.43±
	10.40	2.02	7988.42	42.28	579.79	55.52	148.50	11.88
Bukva	273.38	5.75	7275.17	935.66	2063.54	757.15	44.09	210.76

3.4. Uticaj hemijskog sastava oklaska kukuruza na toplotnu moć

Sastav svakog goriva, tako i oklaska kukuruza, čine sagorivi deo i takozvani balast (nesagorivi deo). Sagorivi deo čine ugljenik, vodonik, kiseonik, azot i sumpor. Kiseonik ne gori, ali ja obavezan učesnik procesa sagorevanja. Balast je deo goriva unet u materiju pretežno u procesu njene transformacije i čine ga vlaga i minerali, od kojih nastaje pepeo ili šljaka (slika 3.4.).

Za ocenu kvaliteta oklaska kukuruza u pogledu toplotne vrednosti potrebno je poznavati njegovu toplotnu moć. Toplotna moć goriva se definiše kao odnos oslobođene količine toplote pri potpunom sagorevanju goriva i količine goriva iz koje je toplota oslobođena. Vlaga umanjuje toplotnu moć goriva jer se za njeno isparavanje troši deo toplote nastao sagorevanjem goriva. Shodno tome, razlikuju se donja i gornja toplotnu moć goriva.

Donja toplotna moć goriva (H_d) je količina toplote koja se oslobodi potpunim sagorevanjem jedinice mase goriva pod sledećim uslovima:

- voda u produktima sagorevanja ostaje u gasovitom stanju,
- produkti sagorevanja goriva dovedeni su na temperaturu koju je gorivo imalo na početku i
- sumpor (S) i ugljenik (C) iz gorive materije se nalaze u obliku svojih dioksida (SO_2 i CO_2), dok do sagorevanja azota (N_2) nije došlo.

Ako su poznati rezultati elementarne analize oklaska kukuruza, donja toplotna moć može se odrediti korišćenjem izraza [15]:

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

gde su:

C, H, O, S, W - maseni udeli ugljenika, vodonika, kiseonika, sumpora i vlage u oklasku kukuruza, (kg/kg).

Gornja toplotna moć goriva (H_g) je količina toplote koja se oslobodi potpunim sagorevanjem jedinice mase goriva pod sledećim uslovima:

- voda iz produkata sagorevanja, koja potiče od vlage iz goriva i od sagorelog vodonika (H_2), prevedena je u tečno stanje,
- produkti sagorevanja goriva dovedeni su na temperaturu koju je gorivo imalo na početku i
- sumpor (S) i ugljenik (C) iz gorive materije se nalaze u obliku svojih dioksida (SO_2 i CO_2), dok do sagorevanja azota (N_2) nije došlo.

Donja toplotna moć se razlikuje od gornje po tome što se voda nalazi u gasovitom stanju, pa je ona manja od gornje toplotne moći za latentnu toplotu isparavanja vode pri 0 °C. Veza između gornje i donje toplotne moći kod čvrstih goriva može se predstaviti relacijom [15]:

$$H_g = H_d + 2500 \cdot (9 \cdot H + W) \quad (\text{kJ/kg}), \quad (3.7)$$

gde su:

W - maseni udeo vlage u gorivu, (kg/kg),

H - maseni udeo vodonika u gorivu, (kg/kg).

Uticaj balasta (masenih udela pepela i vlage) na donju toplotnu moć vlažnog oklaska kukuruza može se proceniti pomoću izraza:

$$H_d = H_d^g \cdot (1 - A - W) - 2500 \cdot W \quad (\text{kJ/kg}), \quad (3.8)$$

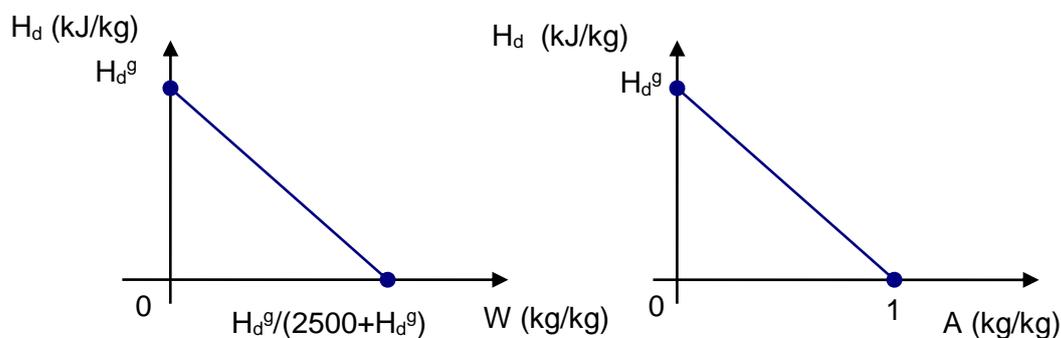
gde je H_d^g donja toplotna moć sagorljive mase oklaska kukuruza.

Definišući granične uslove $A = 0$ i $W = 0$ pri $H_d^g = \text{const.}$ jednačina (3.8) transformiše se u jednačine:

$$\frac{W}{\frac{H_d^g}{2500 + H_d^g}} + \frac{H_d}{H_d^g} = 1, \quad (3.9)$$

$$\frac{A}{1} + \frac{H_d}{H_d^g} = 1, \quad (3.10)$$

čiji grafici predstavljaju opadajuću linearnu funkciju kao što je prikazano na slici 3.5. Može se primetiti osetno smanjenje donje toplotne moći oklaska kukuruza sa povećanjem masenih udela vlage i pepela.



Slika 3.5. Zavisnost donje toplotne moći oklaska kukuruza od masenog udela vlage i pepela

Maseni udeo vlage utiče na gornju i donju toplotnu moć. Ukoliko sadržaj vlage iznosi približno 87% (vlažna osnova), donja toplotna moć je jednaka nuli [16]. U praksi, sadržaj vlage može biti maksimalno 55% (vlažna osnova), kako bi se gorivo moglo koristiti i iz njega dobiti energija [16]. Jedini uticaj koji sadržaj vlage ima na gornju toplotnu moć jeste niži sadržaj sagorive materije po kilogramu biomase koja se koristi kao gorivo. Toplota isparavanja u potpunosti se nadoknađuje kondenzacijom vodene pare. U praksi, toplotne moći se prikazuju za vlažnu osnovu, suhu osnovu i suhu osnovu bez pepela. Za sve vrste

biomase, vrednost gornje toplotne moći za suhu osnovu bez pepela je reda 20400 kJ/kg ($\pm 15\%$) [16].

3.5. Poređenje rezultata tehničke i elementarne analize oklaska kukuruza sa literaturnim podacima

U okviru doktorske disertacije, urađena je tehnička i elementarna analiza oklaska kukuruza od strane Instituta za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu i Instituta za ratarstvo i povrtarstvo iz Novog Sada (tabela 3.4.). U tabeli 3.5. dati su podaci tehničke i elementarne analize oklaska kukuruza prikazanih u literaturi.

Tabela 3.4. Tehnička i elementarna analiza oklaska kukuruza korišćenog u eksperimentalnom ispitivanju procesa pirolize i gasifikacije [17, 18]

Tehnička analiza	
	(maseni udeo, %)
Ispaljive materije (VM)	70.95
Fiksni ugljenik (C_{fix})	19.36
Vlaga (W)	8.55
Pepeo (A)	1.14
Donja toplotna moć, H_d (kJ/kg)	17087.47

Elementarna analiza	
	(maseni udeo, %)
Ugljenik (C)	46.74
Vodonik (H)	5.46
Azot (N)	3.83
Sumpor (S)	0.12
Kiseonik (O) ^a	34.16

^aDobijen proračunom

Tabela 3.5. Rezultati tehničke i elementarne analize poljoprivredne biomase prema različitim istraživačima

Literatura	Vrsta biomase	Tehnička analiza					Elementarna analiza				
		Isparljive materije VM	Fiksni ugljenik C _{fix}	Vlaga W	Pepeo A	Donja toplotna moć H _d	Ugljenik C	Vodonik H	Azot N	Sumpor S	Kiseonik O
		(maseni udeo, %)					(maseni udeo, %)				
Ateş F i Isikdağ M. A [7]	Oklasak kukuruza	76.70	15.70	6.40	1.20	20 466.51	52.70	6.40	0.30	0.00	33.00 ^a
Demirbas A [8]	Oklasak kukuruza	76.03	10.99	12.10	0.88	14 022.02	42.64	4.70	0.35	0.52 ^a	38.81
Huang Y i ostali [9]	Oklasak kukuruza	76.84	17.37	4.43	1.36	14 969.15	43.74	5.78	0.08	0.02	44.59 ^a
Tsai W. T i ostali [19]	Oklasak kukuruza	78.70	16.10	4.30	0.90	16 804.34	46.80	6.00	0.90	0.00	41.10 ^a
Lu Y. J i ostali [20]	Oklasak kukuruza	72.67	17.39	7.04	2.90	14 675.16	43.24	5.28	0.44	0.08	41.02 ^a
Bagheri N i Abedi J [21]	Oklasak kukuruza	58.50 ^a	18.50	20.00	3.00	12 542.31	36.80	4.64	1.92	0.16	33.48 ^a
Feng J i ostali [22]	Oklasak kukuruza	77.67	17.16	3.64	1.53	14 202.96	45.17	4.66	0.80	0.13	44.08 ^a
Morey R. V i ostali [23]	Kukuruzovina	62.48	25.01	6.15	6.32	14 693.16	42.68	5.18	0.65	0.04	38.97
Tortosa-Masiá A. A i ostali [24]	Kukuruzna slama	67.70	17.76	7.44	7.08	14 675.10	41.40	5.43	0.56	0.06	38.03 ^a
Zhao X i ostali [25]	Kukuruzna slama	70.20	17.50	7.50	4.35	14 294.68	40.25	5.76	1.33	0.15	40.66 ^a
Uzun B. B i Sarioğlu N [26]	Kukuruzna stablika	67.39	13.75	8.05	10.81	14 464.61	40.61	5.04	1.13	0.00	34.39
Đurić S. N i ostali [27]	Kukuruzna stablika	66.83	10.00	13.17	10.00	18 407.16	41.88	7.10	0.70	0.16	26.99 ^a
Wang Q i ostali [28]	Kukuruzna stablika	69.86	16.68	7.39	6.06	14 410.52	37.95	6.47	0.77	0.59	40.76
Li Z i ostali [29]	Lišće kukuruza	68.63	13.38	11.00	6.99	13 581.39	40.41	4.65	0.71	0.05	36.19

^a Dobijen proračunom

Upoređivanjem rezultata iz tabele 3.4. sa literaturnim podacima u tabeli 3.5. može se zaključiti sledeće:

- Prema rezultatima drugih istraživača, maseni udeli isparljivih materija kretali su se od 58.50 do 78.10%, fiksnog ugljenika od 10.00 do 25.01%, vlage od 3.64 do 20.00%, pepela od 0.88 do 10.81%, a vrednost donje toplotne moći kretala se od 12542.31 do 20466.51 kJ/kg. Rezultati tehničke analize oklaska kukuruza korišćenog za eksperimentalno istraživanje u doktorskoj disertaciji odgovaraju navedenim opsezima.
- Maseni udeli ugljenika i kiseonika ispitivanog oklaska kukuruza, koji iznose 46.74% i 34.16% respektivno, bili su u opsegu vrednosti masenih udela u razmatranoj literaturi (36.80 - 52.70% (ugljenik) i 26.99 - 44.59% (kiseonik)).
- Odstupanje je primećeno kod masenog udela azota, koji kod ispitivanog oklaska kukuruza iznosi 3.83%, dok u literaturi maseni udeo azota iznosi od 0.08 do 1.92%.
- Vrednost masenog udela sumpora ispitivanog oklaska nalazi se u opsegu vrednosti masenog udela drugih istraživača (od 0 do 0.59).
- Odnosi H/C i O/C iznosili su 1.40 i 0.55, respektivno, što je u opsegu navedenih odnosa u pregledanoj literaturi za poljoprivrednu biomasu iz različitih delova sveta (H/C=1.24 - 2.05 i O/C=0.47 - 0.80).

3.6. Kvalitativna ocena karakteristika poljoprivredne biomase

Poznavanje karakteristika poljoprivredne biomase značajno je za različite termohemijske procese. Tehnička i elementarna analiza poljoprivredne biomase predstavlja polaznu osnovu u raznim tehničkim proračunima. Kvalitativnom analizom obuhvaćene su karakteristike poljoprivredne biomase, i to maseni udeli: isparljivih materija (**VM**), vlage (**W**), pepela (**A**) i donja toplotna moć (**H_d**). Uzorci čije se karakteristike analiziraju su dostupni rezultati tehničkih i elementarnih analiza petnaest autora iz Srbije i drugih zemalja (tabele 3.4. i 3.5.). Od statističkih parametara određeni su [30]:

1. apsolutni raspon

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

2. aritmetička sredina

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (3.12)$$

3. standardno odstupanje

$$\sigma = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (3.13)$$

4. koeficijent varijacije

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{X}}, \quad (3.14)$$

gde su:

n - broj uzoraka,

X_i - vrednosti razmatranih karakteristika (obeležja) oklaska kukuruza.

Korišćenjem brojčanih vrednosti karakteristika oklaska kukuruza iz tabela 3.4. i 3.5., kao i izraza 3.11 do 3.14, vrednosti pojedinih statističkih parametara za karakteristiku oklaska kukuruza „maseni udeo vlage“ iznose:

$$R = \max X_i - \min X_i = 20.00 - 3.64 = 16.36 \frac{\text{kgW}}{\text{kgB}}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{4.30 + 6.40 + 7.04 + 20.00 + \dots + 7.39 + 11.00 + 8.55}{15} = 8.48 \frac{\text{kgW}}{\text{kgB}}$$

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

$$= \left(\frac{(4.30 - 8.48)^2 + (6.40 - 8.48)^2 + \dots + (11.00 - 8.48)^2 + (8.55 - 8.48)^2}{14} \right)^{\frac{1}{2}} = 4.20 \frac{\text{kgW}}{\text{kgB}}$$

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{X}} \cdot 100 = \frac{4.20}{8.48} \cdot 100 = 49.53\%$$

Na isti način su izračunati statistički parametri za maseni udeo isparljivih materija, pepela i donju toplotnu moć oklaska kukuruza. Rezultati proračuna prikazani su u tabeli 3.6.

Tabela 3.6. Kvalitativne karakteristike oklaska kukuruza

Karakteristike oklaska kukuruza	Statistički parametri oklaska kukuruza			
	R	\bar{X}	σ	C_v (%)
$W \left(\frac{\text{kgW}}{\text{kgB}} \right)$	16.36	8.48	4.20	49.53
$VM \left(\frac{\text{kgVM}}{\text{kgB}} \right)$	20.20	70.74	5.83	8.24
$A \left(\frac{\text{kgA}}{\text{kgB}} \right)$	9.93	4.30	3.38	78.60
$H_d \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	7924.20	15286.44	2052.11	13.42

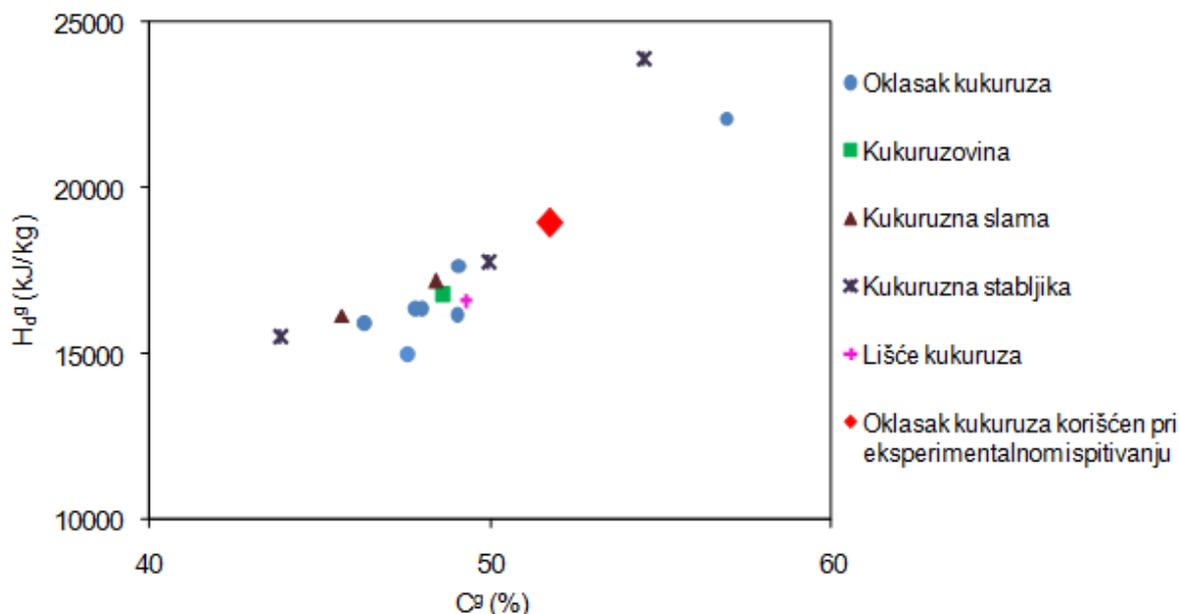
Analizom rezultata kvalitativnih karakteristika oklaska kukuruza može se zaključiti da postoje određena odstupanja razmatranih karakteristika: 49.53% (vlaga), 8.24% (isparljive materije), 78.60% (pepeo) i 13.76% (donja toplotna moć) od srednjih vrednosti, što pokazuje koeficijent varijacije C_v . Značajno odstupanje karakteristika pepela (78.60%) od srednje vrednosti može nepovoljno da utiče na primenu i rad postrojenja za suvo odsumporavanje dimnih gasova pri procesima sagorevanja zbog dodatne količine praha.

Na slikama 3.6. i 3.7. prikazana je zavisnost donje toplotne moći različitih vrsta poljoprivredne biomase od masenog udela ugljenika i isparljivih komponenata, svedeno na sagorljivu masu (masu bez vlage i pepela). Na slikama 3.8. i 3.9. prikazana je zavisnost C_{fix}^g i VM^g od koeficijenta M određenog sledećim izrazom:

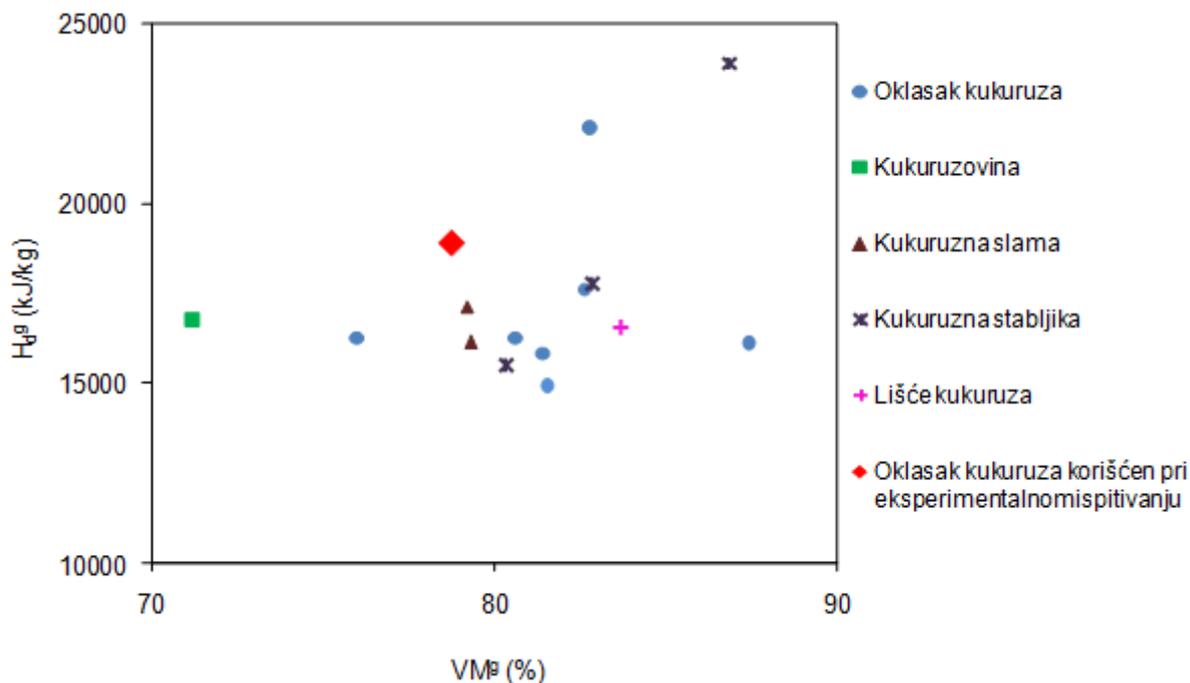
$$M = \frac{\left(H^g - \frac{O^g}{8} \right) \cdot 12}{C_{isp}^g} \quad (3.15)$$

Grafički prikaz pomenutih zavisnosti pruža mogućnost poređenja određenih karakteristika oklaska kukuruza iz Srbije, korišćenog pri eksperimentalnom ispitivanju, sa oklascima kukuruza sa drugih podneblja kao i sa drugim vrstama poljoprivredne biomase.

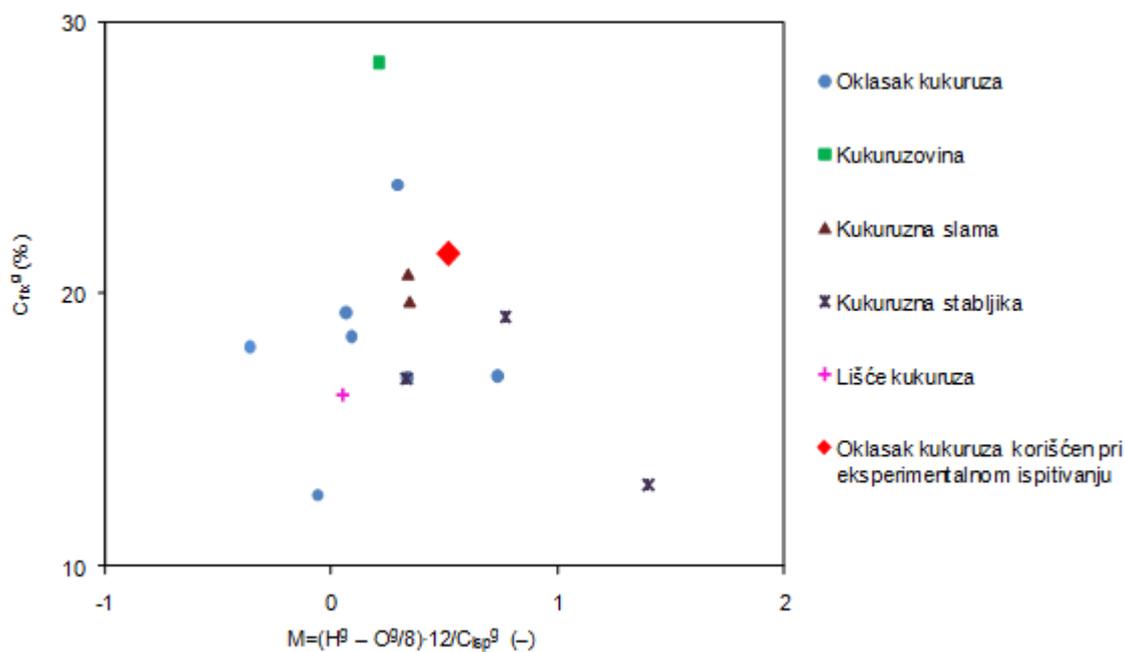
Zavisnost toplotne moći od vrednosti C^g (slika 3.6.) ukazuje na korelacionu vezu karakteristika poljoprivredne biomase. Može se uočiti prilična disperzija (rasutost) vrednosti toplotne moći od VM^g (slika 3.7.) i C_{fix}^g i VM^g od koeficijenta M (slike 3.8. i 3.9.), na osnovu čega se može zaključiti da je pri procesima termohemijske konverzije poljoprivredne biomase važno poznavati rezultate tehničke i elementarne analize konkretne biomase.



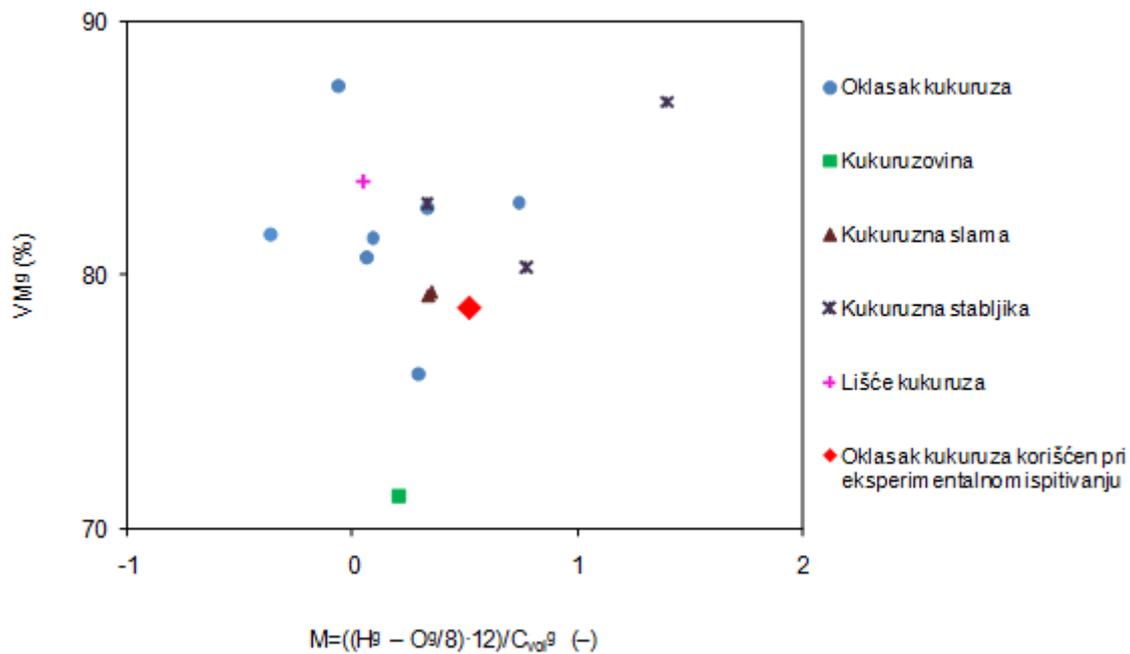
Slika 3.6. Zavisnost donje toplotne moći poljoprivredne biomase i ugljenika, svedeno na sagorljivu masu



Slika 3.7. Zavisnost donje toplotne moći poljoprivredne biomase i isparljivih materija, svedeno na sagorljivu masu



Slika 3.8. Zavisnost fiksnog ugljenika i koeficijenta M, svedeno na sagorljivu masu



Slika 3.9. Zavisnost isparljivih materija i koeficijenta M , svedeno na sagorljivu masu

LITERATURA

- [1] Brkić M, Janić T, Pejović G, Kostić B. 2012. Predstudija: Raspoloživost i troškovi biomase za potrebe sistema daljinskog grejanja na području opština Vrbasa i Kule. Eko produkt, Tehnološko - mašinski biro, Novi Sad.
- [2] Brkić M, Tešić M, Furman T, Martinov M, Janić T. 2007. Studija: Potencijali i mogućnosti briketiranja i peletiranja otpadne biomase na teritoriji Pokrajine Vojvodine. Pokrajinski sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine, Republika Srbija, Autonomna Pokrajina Vojvodina, Novi Sad.
- [3] Mohan D, Pittman C. U, Steele P. H. 2006. Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review. *Energy and Fuels* 20: 848 - 889.
- [4] Fivga A. Comparison of the effect of pre-treatment and catalysts on liquid quality from fast pyrolysis of biomass. Ph. D. diss, Aston University, Birmingham.
- [5] Vigouroux R. Z. 2001. Pyrolysis of Biomass. Ph. D. diss, Dept. of Chemical Engineering and Technology, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- [6] Garrote G, Falqu E, Dominguez H, Parajo J. C. 2007. Autohydrolysis of agricultural residues: study of reaction by products. *Bioresource Technology* 98: 1951 - 1957.
- [7] Ateş F, Işikdağ M. A. 2009. Influence of temperature and aluminium catalyst on pyrolysis of corncob. *Fuel* 88: 1991 - 1997.
- [8] Demirbas A. 1997. Calculation of higher heating values of biomass fuels. *Fuel* 76 (5): 431 - 434.
- [9] Huang Y, Wei Z, Qui Z, Yin X, Wu C. 2012. Study on structure and pyrolysis behavior of lignin derived from corncob acid hydrolysis residue. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 93: 153 - 159.
- [10] Raveendran K, Ganesh A, Khilar K.C. 1995. Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics. *Fuel* 74 (12): 1812 - 1822.
- [11] Bogner M. 2004. Termotehničar, Tom 1. Interklima-grafika, Vrnjačka banja.
- [12] Gulić M, Brkić Lj, Perunović P. 1991. Parni kotlovi. Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.
- [13] Cuiping L, Chuangzhi W, Yanyongjie, Haitao H. 2004. Chemical elemental characteristics of biomass fuels in China. *Biomass and Bioenergy* 27: 119 - 130.
- [14] Khan A. A, de Jong W, Jansens P. J, Spliethoff H. 2009. Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedie. *Fuel Processing Technology* 90 (1): 21 - 50.
- [15] Đorđević B, Valent V, Šerbanović S. 1987. Termodinamika i termotehnika. Građevinska knjiga, Beograd.
- [16] Quaak P, Knoef H, Stassen H. 1999. Energy from Biomass, A Review of Combustion and Gasification Technologies. The World Bank, Washington D. C., U.S.A.
- [17] ***, Institut za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu, Izveštaj, analiza peleta, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Republika Srbija, 2013.
- [18] ***, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Izveštaj, analiza peleta, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Republika Srbija, 2013.
- [19] Tsai W. T, Chang C. Y, Wang S. Y, Chang C. F, Chien S. F, Sun H. F. 2001. Cleaner production of carbon adsorbents by utilizing agricultural waste corn cob. *Resources, Conservation and Recycling* 32: 43 - 53.

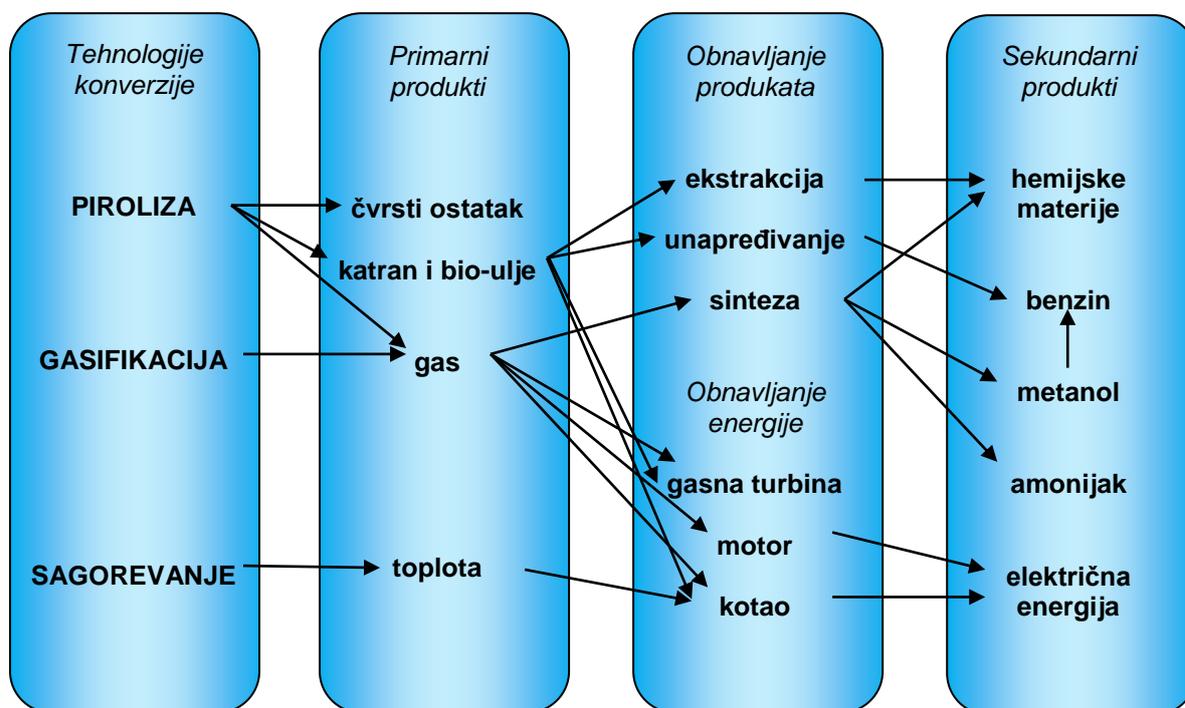
- [20] Lu Y. J, Guo L. J, Ji C. M, Zhang X. M, Hao X. H, Yan Q. H. 2006. Hydrogen production by biomass gasification in supercritical water: A parametric study. *International Journal of Hydrogen Energy* 31: 822 - 831.
- [21] Bagheri N, Abedi J. 2009. Preparation of high surface area activated carbon from corn by chemical activation using potassium hydroxide. *Chemical Engineering Research and Design* 87: 1059 - 1064.
- [22] Feng J, YuHong Q, Green A. E. S. 2006. Analytical model of corn cob Pyroprobe - FTIR data. *Biomass and Bioenergy* 30: 486 - 492.
- [23] Morey R. V, Hatfield D.L, Sears R, Haak D, Tiffany D. G, Kaliyan N. 2009. Fuel Properties of Biomass Feed Streams at Ethanol Plants. *Applied Engineering in Agriculture* 25 (1): 57 - 64.
- [24] Tortosa-Masiá A. A, Buhre B. J. P, Gupta R. P, Wall T. F. 2007. Characterising ash of biomass and waste. *Fuel Processing Technology* 88 (11-12): 1071 - 1081.
- [25] Zhao X, Zhang J, Song Z, Liu H, Li I, Ma C. 2011. Microwave pyrolysis of straw bale and energy balance analysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 92 (1): 43 - 49.
- [26] Uzun B. B, Sarioğlu N. 2009. Rapid and catalytic pyrolysis of corn stalks. *Fuel Processing Technology* 90 (5): 705 - 716.
- [27] Đurić S. N, Brankov S. D, Kosanić T. R, Čeranić M. B, Nakomčić-Smaragdakis B. B. 2014. The composition of gaseous products from corn stalk pyrolysis process. *Thermal Science* 18 (2): 533 - 542.
- [28] Wang Q, Xu H, Liu H, Jia C, Zbao W. 2012. Co-combustion Performance of Oil Shale Semi-coke with Corn Stalk. *Energy Procedia* 17 (Part A): 861 - 868.
- [29] Li Z, Zhao W, Meng B, Liu C, Zhu C, Zhao G. 2008. Kinetic study of corn straw pyrolysis: Comparison of two different three-pseudocomponent models. *Bioresource Technology* 99: 7616 - 7622.
- [30] Đurić S. N, Stanojević P. Č, Đuranović D. B, Brankov S. B, Milašinović S. M. 2012. Qualitative Analysis of Coal Combusted in Boilers of the Thermal Power Plants in Bosnia and Herzegovina. *Thermal Science* 16 (2): 605 - 612.

4

TERMOHEMIJSKI PROCESI PRERADE BIOMASE

Biomasa se može konvertovati u različite oblike energije brojnim procesima. Izbor procesa prerade zavisi od tipa i količine biomase, željenog oblika krajnjeg produkta, kao i drugih uslova propisanih standardima o zaštiti životne sredine, ekonomskih uslova i slično. Postupci prerade biomase se dele na: *direktne konverzije procese* (dobijanje toplotne energije sagorevanjem) i *indirektne konverzije procese*.

Direktnim sagorevanjem biomase se dobija toplota koja se kao toplotni izvor energije koristi za proizvodnju električne energije i vodene pare. Konverzionim procesima prerade dobijaju se gasoviti, tečni i čvrsti produkti sa širokom primenom, a dele se na termohemijske, biohemijske i hemijske. Termohemijski procesi prerade sirovina i dobijeni produkti šematski su prikazani na slici 4.1.



Slika 4.1. Termohemijski procesi prerade biomase [1]

Direktnim sagorevanjem biomase u prisustvu vazduha hemijska energija deponovana u gorivu prevodi se u toplotnu energiju koja se direktno koristi za zagrevanje ili proizvodnju pare za pokretanje turbina, turbo generatora i slično. U toku sagorevanja biomase prvo dolazi do dehidratacije na temperaturi iznad 100 °C, a zatim do gasifikacije na temperaturi 800 - 1000 °C, pri čemu se dobijaju gasoviti ugljovodonici, uglavnom CO i CH₄ koji sadrže 70% toplotne vrednosti biomase [2]. Kao krajnji proizvod dobija se čvrsti ostatak (koks) koji oksidacijom prelazi u pepeo.

Gasifikacija predstavlja proces termičke destrukcije goriva u prisustvu oksidanta dovedenog iz spoljašnje atmosfere. Gasifikacija je proces nepotpunog sagorevanja sa organizovanom redukcijom nastalog CO₂ i destrukcijom H₂O korišćenjem dobijenog čvrstog (koksno) ostatka. Dok se proces pirolize optimizira sa stanovišta maksimalnog dobijanja koksno ostatka, gasifikacija se optimizira, tako da se dobije maksimalna količina generisanog gasa

(generatorskog gasa). Gasifikacija može da se izvede sa vazduhom, kiseonikom, parom ili CO₂ kao oksidacionim agensima pa se u tom slučaju kao proizvod dobija generatorski gas, vazdušni gas, vodeni gas ili sintezni - mešani gas. U procesu gasifikacije vazduhom nastaju gasovi niske toplotne moći (gornja toplotna moć je od 4 do 7 MJ/m³, svedeno na suvi gas), dok se u procesu gasifikacije kiseonikom generišu gasovi koji imaju srednju gornju toplotnu moć (10 do 18 MJ/m³, svedeno na suvi gas) [3]. Pre upotrebe generisanih gasova u gasnim turbinama ili u postrojenjima sa unutrašnjim sagorevanjem, moraju se ukloniti kontaminanti (ter, čađ, leteće čestice pepela i koksno ostataka i alkalna jedinjenja). Topao gas iz gasne turbine može da se iskoristi za grejanje pare i njenu dalju primenu u parnim turbinama (integrisani gasifikacioni kombinovani ciklus).

Piroliza predstavlja proces termičke destrukcije goriva u odsustvu kiseonika. Glavni proizvodi su isparljive materije - volatili (gasovi malih molarnih masa, isparljivi teški ugljovodonici čija je osnova katran) i koksni ostatak (C_{fix} i pepeo). Kod goriva koja su bogata kiseonikom, kakva je biomasa, u volatilima se u većoj meri formiraju CO i CO₂. Na količinu i strukturu volatila utiču vrsta biomase, temperatura, pritisak, brzina zagrevanja i vreme reakcije. Koksni ostatak može da se preradi do nivoa aktivnog uglja za upotrebu u zaštitnim sredstvima i metalurgiji i u domaćinstvima kao ćumur. Pirolitički gas može da se koristi za proizvodnju toplotne i električne energije ili da se sintetiše kako bi se dobio metanol ili amonijak. Pirolitičko ulje se prerađuje u tečno gorivo koje može da se dalje upotrebi za proizvodnju električne energije i za sagorevanje [4].

Pored navedenih procesa, još jedan oblik termohemijske konverzije goriva jeste likvefakcija, kojom se čvrsto biogorivo prevodi u tečnu fazu na nižim temperaturama od 523 do 623 K i pri visokim pritiscima od 100 do 200 bara [4]. Najčešće se izvodi pri visokom parcijalnom pritisku vodonika i uz prisustvo katalizatora, kako bi se povećala brzina reakcije ili kako bi se unapredila selektivnost procesa. U poređenju sa pirolizom, likvefakcija ima veći prinos tečne faze i kao rezultat daje tečno gorivo sa većom toplotnom moći i nižim sadržajem kiseonika.

4.1. Piroliza

Proces pirolize predstavlja termički proces razlaganja koji se odvija u odsustvu kiseonika kako bi se biomasa prevela u čvrsti ostatak, tečnost (bio-ulje) i gas. Piroliza se smatra industrijski korisnim procesom za konverziju biomase [5, 6, 7].

Svaka komponenta lignocelulozne biomase (celuloza, hemiceluloza i lignin) pirolizuje se različitom brzinom uz pomoć različitih mehanizama i na različite načine. Lignin se razlaže pri širem temperaturskom opsegu u poređenju sa celulozom i hemicelulozom koje se brzo razlažu pri manjim temperaturskim opsezima. Stoga postoji vidljiva termička stabilnost lignina tokom procesa pirolize. Termogravimetrijska analiza biomase ukazuje da postoje tri faze standardnog procesa pirolize [5]. Prva faza pirolize odvija se između 120 i 200 °C sa neznatnim gubitkom mase, kada dolazi do unutrašnjih pregrupisanja, kao što su raskidanje veza, pojava slobodnih radikala i nastanak karbonilnih grupa, uz odgovarajuće oslobodanje malih količina vode, ugljen monoksida i ugljen dioksida. Druga faza predstavlja glavni proces pirolize, tokom koje dolazi do razlaganja čvrste faze, što je praćeno značajnim gubitkom mase u odnosu na početnu masu biomase. Poslednja faza je kontinualna devolatilizacija

čvrstog ostatka, uzrokovana daljim kidanjem C-H i C-O veza. U zavisnosti od reakcione temperature, brzine zagrevanja i vremena boravka, mogu se razlikovati:

- spora piroliza,
- brza piroliza i
- fleš piroliza.

U tabeli 4.1. prikazane su različite vrste pirolize i tipovi reaktora za navedene procese.

Tabela 4.1. Karakteristike različitih vrsta pirolize [8]

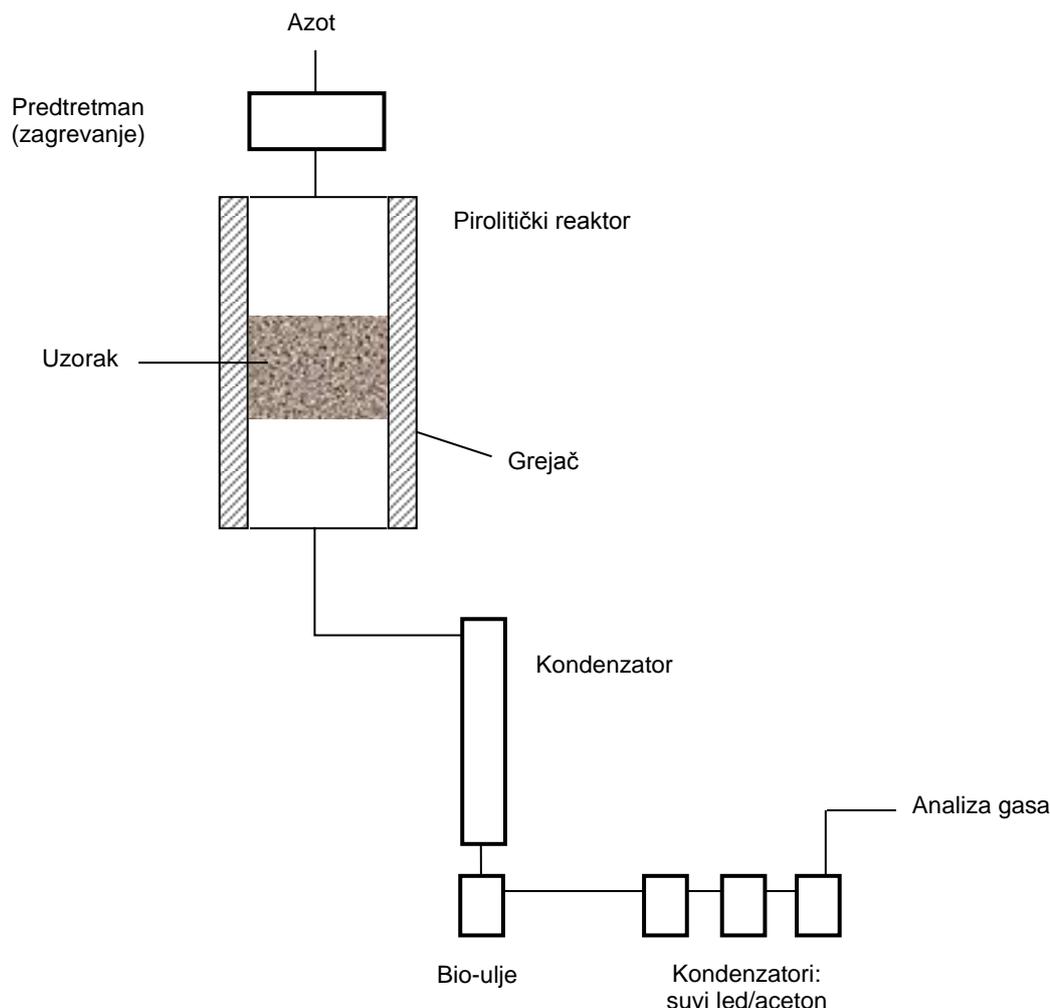
	Spora piroliza	Brza piroliza	Fleš piroliza
<i>Uslovi odvijanja procesa</i>			
Brzina zagrevanja (°C/s)	0.1 - 10	10 - 200	> 1000
Veličina čestice (mm)	5 - 50	< 1	< 0.2
Vreme boravka pare (s)	450 - 550	0.5 - 10	< 0.5
<i>Prinos produkata (% , maseni udeo, vlažna osnova)</i>			
Tečna faza	~ 30	60 - 75	~ 80
Čvrsti ostatak	~ 35	15 - 25	~ 15
Gas	~ 35	15	~ 5
<i>Tip reaktora</i>	-Reaktor sa fiksnim slojem -Vakuum reaktor	- Ablativni reaktor - Reaktor sa barbotaznim fluidizovanim slojem - Reaktor sa fluidizovanim i cirkulacionim slojem - Vakuum reaktor	- Reaktor sa fluidizovanim slojem - Reaktor sa fluidizovanim i cirkulacionim slojem

4.1.1. Spora piroliza

Sporna piroliza vekovima je korišćena radi proizvodnje uglja, tera, alkohola kao što su etanol, metanol i drugi rastvarači. Uglavnom se izvodi šaržnim procesima koristeći retortne peći [9, 10]. Sporu pirolizu karakterišu:

- dugo vreme boravka čvrste materije i volatila (obično duže od 5 sekundi za volatile, vreme boravka za čvrstu materiju može biti više minuta, sati ili dana),
- relativno niska temperatura u reaktoru (< 400 °C),
- atmosferski pritisak,
- veoma mala brzina zagrevanja od 0.01 °C/s do 10 °C/s,
- veoma male brzine smanjivanja toplote produkata (od nekoliko minuta do nekoliko sati).

Williams i Besler [11] ispitivali su sporu pirolizu biomase. Na slici 4.2. šematski je prikazan reaktor koji su koristili.



Slika 4.2. Šematski prikaz šaržnog reaktora za sporu pirolizu [11]

Šaržni reaktor za sporu pirolizu napravljen je od nerđajućeg čelika i zagrevan grejačem kružnog oblika. Proces se odvijao uz kontinualno uvođenje azota sa fiksnim protokom kako bi se pokrenuli nastali gasovi iz reakcione zone, čime se smanjuje odvijanje sekundarnih reakcija, kao što su termičko krekovanje, ponovljena polimerizacija i kondenzacija.

Čvrsti ostatak, bio-ulje i gasovi formiraju se sa približno jednakim masenim udelima zbog spore degradacije biomase i produženog trajanja međučestičnih reakcija i reakcija u gasnoj i parnoj fazi.

4.1.2. Brza piroliza

Brza piroliza je visokotemperaturni proces pri kome se biomasa zagreva velikom brzinom, od 10 do 200 °C/s [8] u odsustvu kiseonika. Stoga, značajnu ulogu ima ne samo kinetika hemijskih reakcija, već i procesi transfera mase i toplote i pojava faznih prelaza. Osnovni problem su uspostavljanje optimalne temperature procesa i minimizacija izlaganja reagujuće čestice biomase srednjoj temperaturi koja pospešuje formiranje čvrstog ostatka (koksa). Jedan od načina rešavanja pomenutog problema jeste korišćenje malih čestica, na primer u

procesima u fluidizovanom sloju. Druga mogućnost jeste da se prenos toplote izvrši veoma brzo samo na površinu čestice koja je u kontaktu sa izvorom toplote. Pomenuta metoda primenjuje se u ablativnim procesima.

Tokom procesa brze pirolize, biomasa se razlaže kako bi proizvela uglavnom gasovitu fazu i aerosoli i malo čvrstog ostatka. Nakon hlađenja i kondenzacije, nastaje tečnost tamno braon boje (bio-ulje) čija toplotna moć iznosi približno 50% u odnosu na konvencionalno loživo ulje. Dok su tradicionalni procesi pirolize uglavnom vezani za proizvodnju čvrstog ostatka, brza piroliza je napredan proces, sa pažljivo kontrolisanim parametrima koji daju visok prinos tečne faze.

Osnovne karakteristike brzog procesa pirolize za proizvodnju tečne faze su:

- velike brzine zagrevanja i prenosa toplote na reakcionu graničnu površinu, što uglavnom zahteva fino usitnjenu biomasu,
- pažljivo kontrolisana reakciona temperatura u okolini 500 °C i temperatura parne faze u opsegu 400 - 450 °C,
- kratko vreme boravka gasne faze u reakcionoj sredini, uglavnom manje od 2 sekunde i
- brzo hlađenje pirolitičkog gasa kako bi se dobio proizvod u vidu bio-ulja.

Prinos osnovnog proizvoda, bio-ulja, iznosi do 75% (maseni udeo, suva osnova), dok se nusproduktima smatraju čvrsti ostatak i gas koji se koriste u toku procesa, tako da nema otpadnih tokova izuzev dimnog gasa i pepela.

Proces brze pirolize obuhvata: sušenje goriva do masenog udela vlage manjeg od 10%, kako bi se minimizirao sadržaj vode u proizvedenom tečnom ulju (iako je 15% prihvatljivo), usitnjavanje goriva (do približno 2 mm u slučaju reaktora sa fluidizovanim slojem) kako bi se dobile značajno manje čestice zbog omogućavanja brze reakcije, reakciju pirolize, separaciju čvrstog ostatka i sakupljanje tečnog proizvoda (bio-ulja).

Bilo koji oblik biomase može se koristiti za brzu pirolizu. Većina eksperimenata vršena je na drvnoj biomasi zbog njene konzistentnosti i mogućnosti poređenja, ali mnoge laboratorije su vršile eksperimente na približno 100 različitih vrsta biomase, od poljoprivrednog otpada, kao što su slama, koštice maslina i orahove ljuske do energetske useve kao što su kineska trska i sirak ili na čvrstom otpadu kao što su kanalizacioni mulj i otpad iz industrije kože.

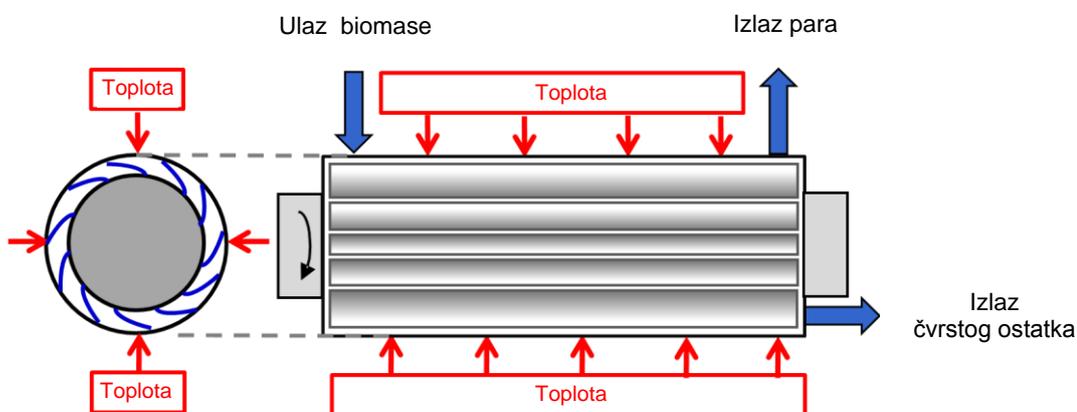
Od naftne krize sredinom sedamdesetih godina dvadesetog veka, značajni naponi usmereni su na razvoj procesa za proizvodnju tečnih proizvoda iz lignocelulozne biomase. Razvijeno je više tehnologija za brzu pirolizu. Predstavljeno je nekoliko konfiguracija reaktora da bi se utvrdili uslovi i postigao prinos tečnog proizvoda 70 - 80% od početne mase suve biomase [12].

4.1.2.1. Konfiguracije reaktora za brzu pirolizu

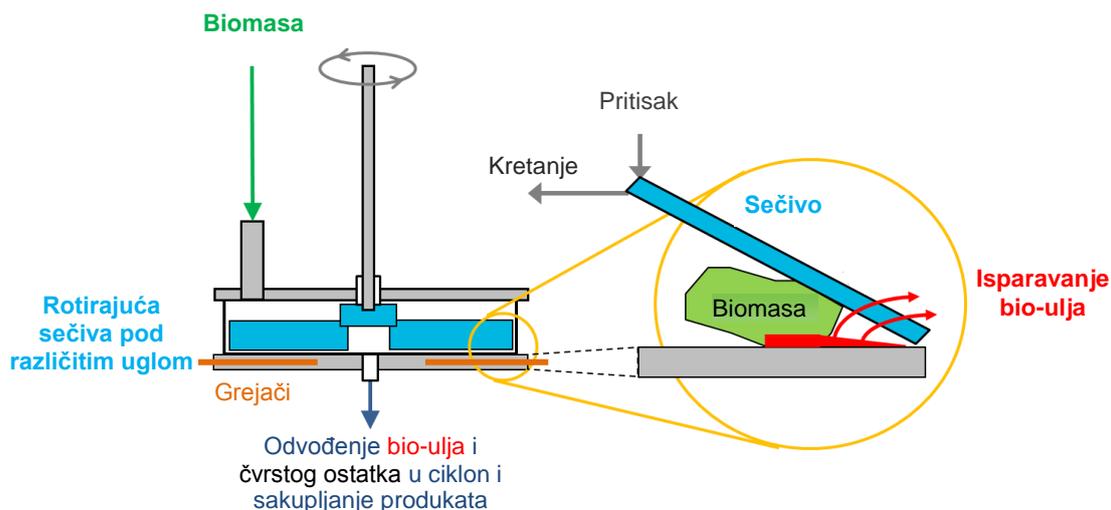
Tehnologije konverzije brzom pirolizom dovele su do projektovanja originalnih reaktorskih sistema. Postoje četiri osnovne metode za postizanje procesa brze pirolize: *ablativna piroliza*, *piroliza u reaktoru sa barbotажnim fluidizovanim slojem*, *piroliza u fluidizovanom i cirkulacionom sloju* i *vakuum piroliza*.

Ablativna piroliza se konceptualno značajno razlikuje u poređenju sa drugim metodama brze pirolize. Kod svih drugih metoda, brzinu reakcije ograničava brzina transfera toplote kroz česticu biomase, zbog čega su potrebne manje čestice. Kod ablativne pirolize toplota prelazi sa zagrejanog zida reaktora i "topi" biomasu koja je pod pritiskom u kontaktu sa reaktorom. Zona pirolize se stoga pomera jednosmerno kroz česticu biomase. Kako se biomasa mehanički uklanja, preostali sloj ulja obezbeđuje podmazivanje za naredne čestice biomase i takođe brzo isparava kako bi obezbedio prikupljanje pirolitičkih para na isti način kao i kod drugih procesa. Na brzinu reakcije značajno utiču pritisak, relativna brzina biomase na površini razmene toplote i temperatura na površini reaktora. Osnovne karakteristike ablativne pirolize su sledeće:

- visok pritisak čestice na zagrejani zid reaktora, postignut centrifugalnom silom (slika 4.3.) ili mehanički (slika 4.4.),
- izraženo relativno kretanje između čestice i zida reaktora,
- temperatura zida reaktora je manja od 600 °C.



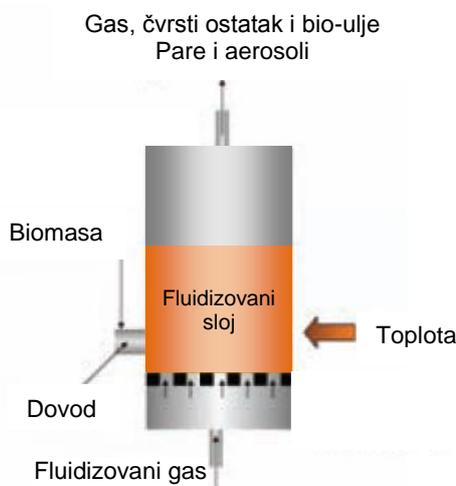
Slika 4.3. Rotirajući reaktor za ablativnu pirolizu [13]



Slika 4.4. Pločasti reaktor za ablativnu pirolizu [13]

Kako brzine reakcije nisu ograničene transferom toplote kroz česticu biomase, mogu se koristiti velike čestice i može se smatrati da ne postoji gornja granica za veličinu čestice. Postupak je ograničen brzinom snabdevanja reaktora toplotom u većoj meri nego brzinom apsorpcije toplote od strane biomase koja se pirolizuje, dok je kod drugih reaktora obratno. Nema potrebe za inertnim gasom i reakcioni sistem je intenzivniji. Međutim, razmatrani postupak podrazumeva kontrolisanje kontaktne površine, tako da razmera uslovljava veću cenu reaktora i mehaničko upravljanje što povećava složenost procesa [14].

Reaktor sa barbotажnim fluidizovanim slojem - se često koristi jer je jednostavniji za projektovanje i konstruisanje u poređenju sa projektovanjem ostalih reaktora. Pomenuti reaktor (slika 4.5.) ima dobar kontakt gasa i čvrste materije, transfer toplote, kontrolu temperature i veliki kapacitet skladištenja toplote.

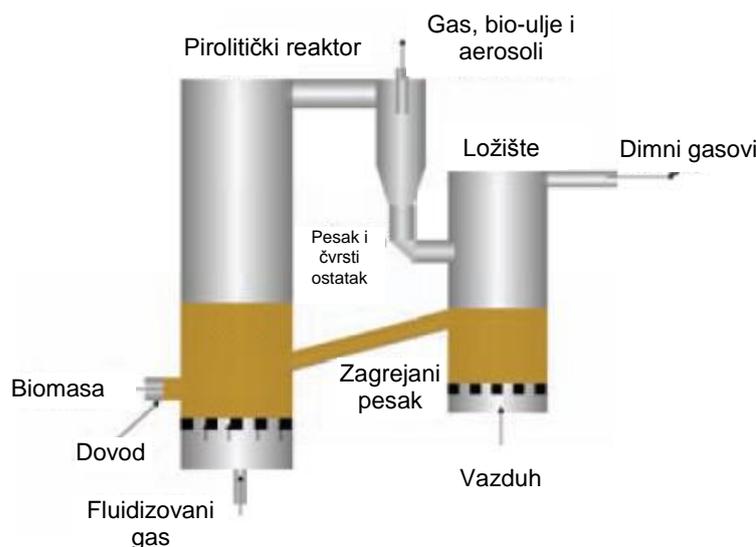


Slika 4.5. Reaktor sa barbotажnim fluidizovanim slojem [15]

Kod reaktora sa barbotажnim fluidizovanim slojem, reagujući gas se uvodi na dnu fluidizovanog sloja i prolazi kroz reaktor u formi mehurova. Kako veličina mehurova raste, prenos mase reagujućeg gasa dolazi do izražaja prilikom difuzije iz/u mehurove. Kontakt gasa sa čvrstom fazom dovodi do odvijanja reakcija i formiranja proizvoda. Nakon toga, proizvod sa čvrste faze prelazi u mehurove i napušta fluidizovani sloj na vrhu uređaja. Brzina kojom se vrši transfer reaktanta i produkta u/iz mehurova utiče na konverziju procesa, kao i vreme koje je potrebno mehurima da bi prošli kroz fluidizovani sloj.

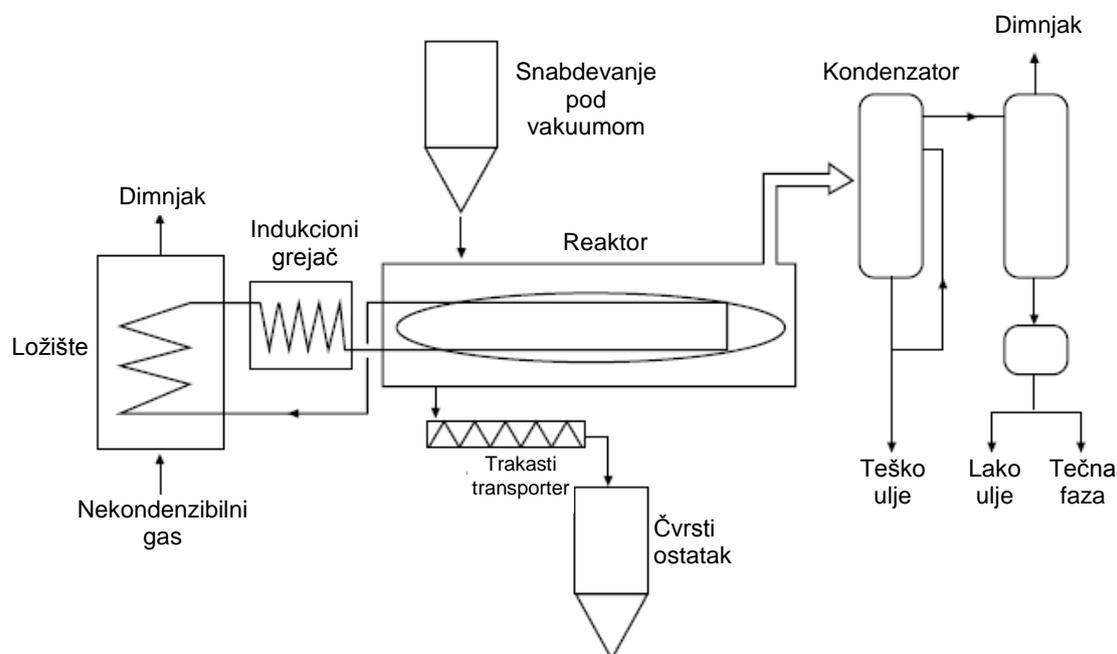
Zagrejani pesak u sredini bez kiseonika brzo zagreva biomasu do približno 450 °C, usled čega se ona razlaže na čvrsti ostatak, gas, pare i aerosoli koji izlaze iz reaktora sa strujom gasa za fluidizaciju. Nakon napuštanja reaktora, čvrsti ostatak može se ukloniti pomoću ciklonskog separatora nakon čega se skladišti. Prečišćeni gasovi, pare i aerosoli ulaze u rashladni sistem gde se naglo hlade do temperature manje od 50 °C, direktno, pomoću nemešljive tečnosti čime nastaje bio-ulje, ili indirektno, koristeći razmenjivače toplote. Kondenzovano bio-ulje se sakuplja i skladišti, a nekondenzovani gas (sintezni gas) može se reciklirati ili koristiti kao gorivo za zagrevanje reaktora. Dobija se visok prinos tečne faze, koji iznosi približno 60% (maseni udeo), računato na suhu materiju biomase. Male veličine čestica biomase (< 2-3 mm) omogućavaju veliku brzinu zagrevanja [15].

Reaktor sa fluidizovanim i cirkulacionim slojem sličan je barbotажnom reaktoru sa fluidizovanim slojem ali ima kraće vreme boravka za čvrsti ostatak i pare (slika 4.6.). Kratko vreme boravka u reaktoru dovodi do veće brzine gasa, bržeg odvođenja pare i čvrstog ostatka i većeg sadržaja čvrstog ostatka u bio-ulju nego kod barbotажnog reaktora sa fluidizovanim slojem. Međutim, reaktori sa fluidizovanim i cirkulacionim slojem imaju veći kapacitet, bolji kontakt gasa i čvrste materije, kao i unapređenu sposobnost da koriste čvrste materije koje je teško fluidizovati, usled čega se pomenute materije retko koriste. Snabdevanje toplotom uglavnom se vrši iz sekundarnog gorionika za čvrsti ostatak.



Slika 4.6. Reaktor sa fluidizovanim i cirkulacionim slojem [15]

Piroliza u **vakuum reaktoru** odvija se pri ukupnom pritisku od približno 15 kPa, uz kretanje biomase i pri temperaturi od približno 450 °C. Dugo vreme boravka čestica biomase omogućava potpunu reakciju (usled male brzine prenosa toplote), dok je vreme boravka organskih para veoma kratko usled boravka u vakuumu. Slika 4.7. prikazuje tehnologiju vakuum pirolize, dok su u tabeli 4.2. date prednosti i nedostaci pomenutog sistema [16].

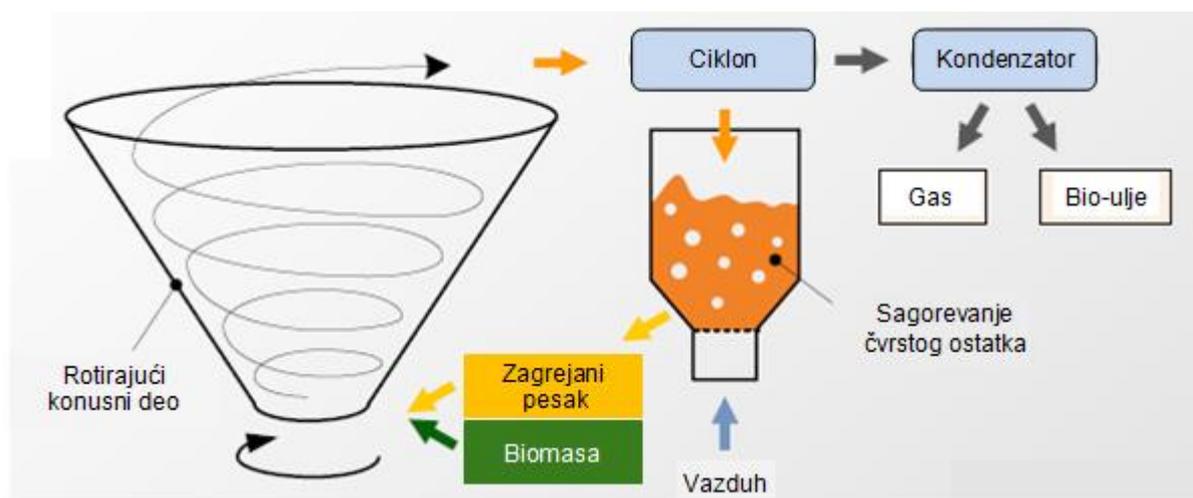


Slika 4.7. Piroliza u vakuum reaktoru [16]

Tabela 4.2. Prednosti i nedostaci reaktora za vakuum pirolizu [16]

Prednosti	Nedostaci
Fleksibilnost veličina čestica goriva	Mali prinos bio-ulja, povećana proizvodnja pirolitičke vode
Manje formiranih aerosoli	Manja efikasnost zagrevanja
Bio-ulje bez čvrstog ostatka	Apsorpcija tečnih efluenata u prstenastoj pumpi sa kompresorom
Bez dodavanja gasa nosača i bez razblaženih produkata	Veliki troškovi ulaganja i održavanja, zahtevno zaptivanje

Pored navedenih tipova reaktora, za proces brze pirolize može se koristiti i **rotirajući konusni reaktor** (slika 4.8.). Čestice biomase na sobnoj temperaturi i zagrejeni pesak istovremeno se uvode pri dnu konusnog dela reaktora. Mešaju se i prenose nagore uz pomoć rotacije konusnog dela. Pritisak materije u pokretu je malo iznad atmosferskog nivoa. U ovom reaktoru lako se postiže naglo zagrevanje i kratko vreme boravka gasne faze [15].



Slika 4.8. Rotirajući konusni reaktor za pirolizu [17]

Rotirajući konusni reaktor za pirolizu, projektovan zajedničkom saradnjom Univerziteta Twente i BTG, uvodi čestice biomase (120 kg/h) i čestice nosače toplote (pesak ili katalizator) pri dnu rotirajućeg konusnog dela, gde se čvrste materije mešaju i pod pritiskom naslanjaju na zagrejanu rotirajuću površinu usled čega dolazi do reakcije. Čvrste materije zatim odlaze nagore i izlaze iz rotirajućeg dela (vreme boravka može se kontrolisati brzinom rotacije). Nakon izlaska iz konusnog dela pare se usmeravaju u kondenzacionu komoru dok čvrste materije sagorevaju u fluidizovanom sloju (proizvedeći toplotu za proces). U tabeli 4.3 dati su prednosti i nedostaci razmatranog sistema [16].

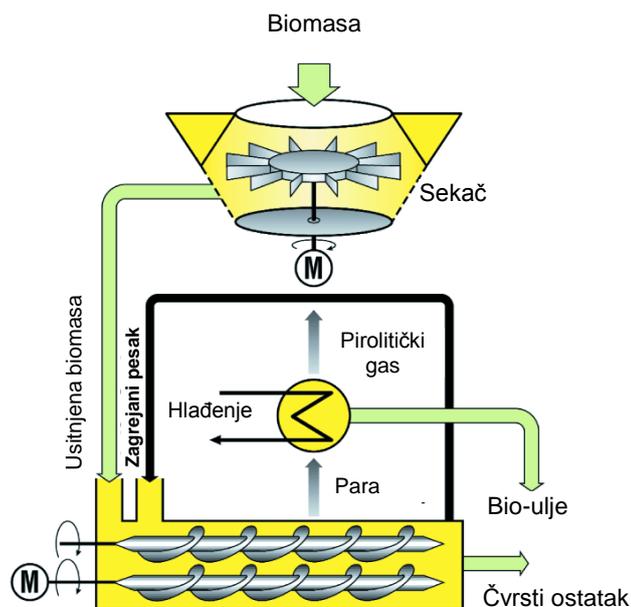
Tabela 4.3. Prednosti i nedostaci rotirajućeg konusnog reaktora [16]

Prednosti	Nedostaci
Centrifugalne sile pokreću zagrejani pesak i biomasu	Složen proces
Nije potreban gas nosač	Teško je povećati razmeru
Lako hlađenje	Veliki troškovi ulaganja
	Potrebne su male veličine čestica

4.1.3. Fleš piroliza

Fleš piroliza predstavlja proces termičkog razlaganja pri veoma velikoj brzini zagrevanja (> 1000 °C/s) i veoma kratkom vremenu boravka pare kako bi se minimizovale sekundarne reakcije krekovanja i održao visok prinos tečne faze. Kod fleš pirolize, veličina čestice mora biti mala da bi se ublažila ograničenja unutrašnjeg prenosa toplote. Razmatrana vrsta pirolize uglavnom se postiže samo u fluidizovanom sloju ili u fluidizovanom i cirkulacionom sloju.

Fleš piroliza najčešće se koristi za sintezu bio-ulja. Biomasa se na taj način može transformisati u oblik koji ima visoku energetska vrednost i daje mogućnost ekonomičnog transporta. Fleš piroliza može se odvijati u reaktoru sa dvostrukim vijkom za mešanje (slika 4.9.). Suva i usitnjena biomasa meša se sa zagrejanim materijalom koji predstavlja nosač toplote pri ambijentalnom pritisku u odsustvu vazduha. Nakon pirolitičke konverzije u roku od nekoliko sekundi dolazi do odvajanja produkata pirolize i materijala koji je nosač toplote. Nosač toplote se zatim ponovo zagreva i uvodi u proces [18].



Slika 4.9. Proces fleš pirolize sa ciklusom nosača toplote i reaktorom za mešanje [18]

4.1.4. Prednosti pirolize poljoprivredne biomase

Piroliza poljoprivrednih ostataka može da doprinese zacrtanim ciljevima u pogledu korišćenja obnovljivih izvora energije zamenjivanjem fosilnih goriva. Piroliza nudi više mogućnosti za dobijanje proizvoda iz poljoprivrednog otpada. Kada se poljoprivredni ostaci direktno spaljuju u peći/kotlu, jedini primenljiv proizvod je toplota; međutim, kada se poljoprivredni otpad prvo pirolizuje, bio-ulje, gasovi i čvrsti ostatak ne samo da se mogu koristiti kao gorivo, već se mogu prečistiti i unaprediti [15].

Piroliza se može izvesti u relativno malom postrojenju i na udaljenim lokacijama, što povećava energetska vrednost biomase i smanjuje troškove transporta i upravljanja. Kako je proces pirolize endotermni proces, problem predstavlja obezbeđivanje dovoljno velike površine za prenos toplote. Piroliza biomase nudi mogućnost fleksibilnog načina konverzije organske materije u energetska vredne proizvode koji se mogu uspešno koristiti za proizvodnju toplote, električne energije i hemijskih supstanci.

Pri procesu pirolize, kao gorivo se može koristiti širok opseg različitih vrsta biomase. Čvrsti ostatak dobijen pirolizom može se koristiti na poljoprivrednom zemljištu radi poboljšanja kvaliteta zemljišta, jer ima izuzetnu moć apsorpcije i stoga poboljšava sposobnost zemljišta da zadrži vodu, hranjive materije i poljoprivredne hemijske proizvode, sprečavajući zagađenje vode i eroziju zemljišta. Primena čvrstog ostatka u zemljištu može da poboljša kvalitet zemljišta i da predstavlja efikasno sredstvo uklanjanja velikih količina ugljenika, time doprinoseći sprečavanju globalnih klimatskih promena.

Piroliza biomase privlači pažnju zbog svoje korisnosti i dobrih karakteristika procesa sa stanovišta životne sredine i pruža mogućnost obrade poljoprivrednih ostataka u čistu energiju.

4.2. Gasifikacija

Gasifikacija je termohemijski proces delimične oksidacije biomase na visokoj temperaturi od 800 do 900 °C [2, 19]. Predstavlja endotermni proces kojim se organska materija (biomasa) termičkom razgradnjom i delimičnom oksidacijom u atmosferi gasifikacionog agensa (vazduha, vodene pare ili kiseonika), prevodi u gasovite produkte (H₂, CO, CO₂, CH₄), vodu, lake ugljovodonike i sporedne proizvode (katran, drveni ugalj, pepeo i druge nečistoće u tragovima) [20].

Faze procesa gasifikacije su [21]:

- predtretman sirovine,
- gasifikacija u različitim tipovima gasifikatora i
- prečišćavanje gasovitih proizvoda.

4.2.1. Predtretman biomase

Priprema sirovine (biomase) za proces gasifikacije zavisi od vrste biomase i tehnološkog postupka i obuhvata sušenje, sitnjenje, frakcionisanje i ispiranje [2].

Sušenje

Prisutna vlaga u biomasi u toku procesa sušenja mora se redukovati na 10 - 15% u zavisnosti od vrste gasifikatora, što zahteva značajnu količinu energije (za isparavanje 1 kg vode potrebno je 2444 kJ toplote na temperaturi od 25 °C) [20]. Sušenje se može postići direktno u rotirajućim sušionicama korišćenjem otpadnog gasa ili indirektno u sušionicama sa fluidizovanim slojem u kojima se koristi vodena para [2].

Sitnjenje i frakcionisanje

Za većinu tipova gasifikatora veličina čestica sirovine iznosi 20 - 80 mm. Kako biomasa sadrži alkalne metale i azotna jedinjenja koja mogu da se prenesu u gasovite produkte, postupkom frakcionisanja biomase smanjuje se njihov sadržaj u česticama i time se postiže smanjeno prisustvo nečistoća u gasovitom proizvodu [2].

Ispiranje

Sadržaj alkalnih metala i azotnih jedinjenja u biomasi se može smanjiti prethodnim ispiranjem vodom.

4.2.2. Postupak gasifikacije

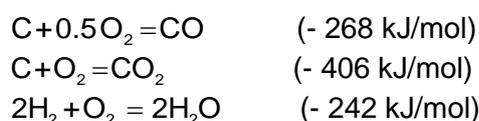
Nakon predtretmana, pripremljena sirovina se uvodi u gasifikator u kome se prevodi u gasovite i sporedne produkte (drveni ugalj, katran, pepeo i mineralne sastojke). Procesne zone u kojima se odvijaju termičke i hemijske reakcije [22, 23] su:

- zona sušenja - isparavanje vlage iz biomase,
- zona pirolize - nalazi se u temperaturnoj zoni od 280 do 500 °C, u kojoj se izdvaja velika količina katrana i gasova koji sadrže CO₂ i čvrsti ostatak (koks),
- zona sagorevanja - u kojoj dolazi do parcijalne oksidacije kokska i pirolize katrana i gasova i
- zona redukcije.

Glavne reakcione zone su zona sagorevanja i zona redukcije.

Zona sagorevanja

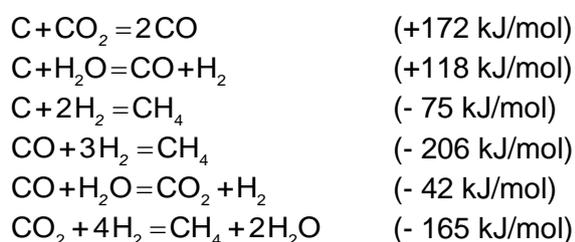
U zoni sagorevanja se odvijaju egzotermne oksidacione reakcije [2, 22]:



Na osnovu navedenih reakcija može se primetiti da se najveća količina toplote izdvaja kompletnom oksidacijom ugljenika iz biomase do CO₂.

Zona redukcije

U zoni redukcije produkti nepotpunog sagorevanja (nepotpune oksidacije) CO, H₂ i vodena para dalje reaguju na temperaturama od 800 do 1000 °C, [24] prema sledećim reakcijama:



Reakcije su povratne, a pravac odigravanja reakcija zavisi od temperature, pritiska i koncentracije reagujućih komponenata.

4.2.3. Oksidujućii agensi

Gasoviti produkti nastali gasifikacijom biomase zavise od vrste korišćenog oksidujućeg gasa kao i od postupka i procesnih uslova. Kao oksidujućii gas koriste se vazduh, vodena para, smeša vazduha i vodene pare, kiseonik i vodonik. U oksidacionim reakcijama u kojima se kao oksidant koristi vazduh ili kiseonik, izdvaja se dovoljna količina toplote za odvijanje endotermnih reakcija i nije potrebno dodatno dovođenje toplote za dalje reakcije, odnosno dolazi do autotermijske gasifikacije. Nedostatak korišćenja vazduha kao oksidanta je činjenica da vazduh sadrži azot zbog čega dobijeni gas ima povećan sadržaj azota i do 50% (zapreminski udeo). Sadržaj azota u gasovitoj smeši može se redukovati ako se kao oksidant

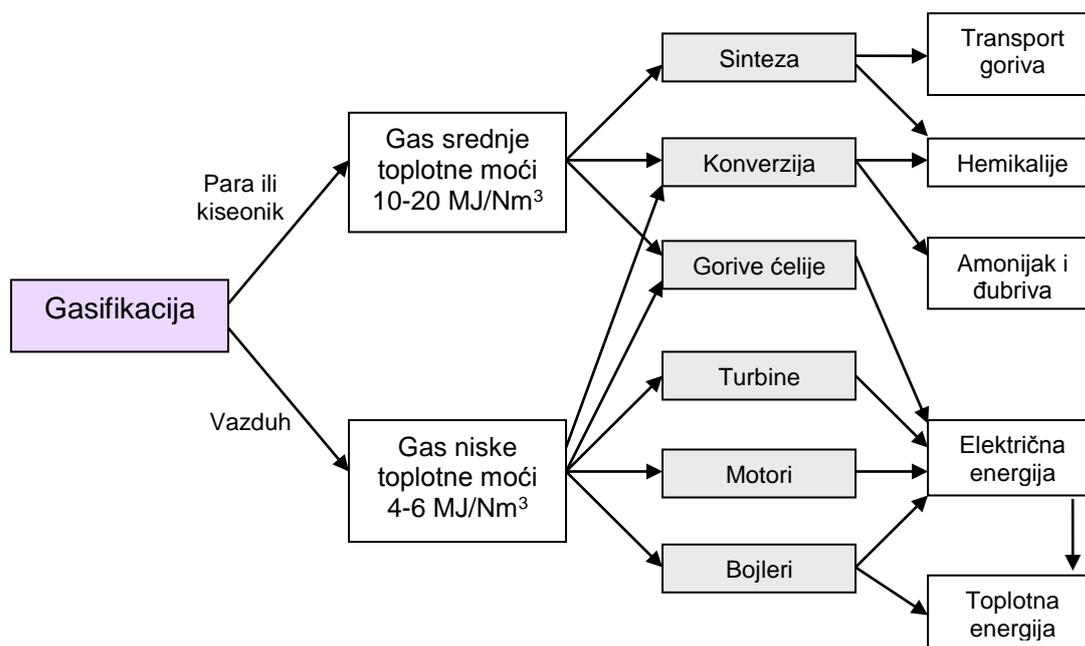
koristi smeša vazduha i vodene pare [25]. Korišćenje čistog kiseonika kao oksidanta je veoma skupo, ali dobre rezultate daje i vazduh obogaćen kiseonikom [26].

Dobijeni gasoviti produkti iz gasifikatora imaju različitu toplotnu moć u zavisnosti od korišćenog oksidanta [2] što je prikazano u tabeli 4.4.

Tabela 4.4. Podela gasova iz gasifikatora prema toplotnoj moći [2]

Vrsta gasa	Toplotna moć MJ/Nm ³	Oksidujući gas
Niskokaloričan	4 - 6	vazduh ili vazduh/vodena para
Srednjekaloričan	10 - 15	kiseonik
	13 - 20	kiseonik/vodena para
Visokokaloričan	> 40	vodonik

Gasoviti produkti iz gasifikatora mogu da se koriste za različite namene [23]. Niskokaloričan gas se koristi u gasifikatoru za sagorevanje ili za proizvodnju toplote i električne energije. Gasovi srednje i visoke toplotne moći koriste se kao sirovina za dobijanje hemijskih proizvoda, prvenstveno metana i metanola. Korišćenje gasova različite toplotne moći dobijenih gasifikacijom biomase, prikazano je na slici 4.10.



Slika 4.10. Korišćenje gasova dobijenih gasifikacijom biomase u zavisnosti od njihove toplotne moći [23]

Ukupna efikasnost prerade biomase u energetske produkte postupkom gasifikacije i pirolize je 75 - 80% [27].

4.2.4. Nečistoće gasovite smeše iz gasifikatora

Gasovita smeša iz gasifikatora, pored gasova H₂, CO, CO₂ i CH₄ sadrži i različite nečistoće [2] kao što su: čestice, katran, azotna jedinjenja, sumporna jedinjenja i alkalni metali.

Čestice sadrže pepeo i koks, a njihova količina zavisi od tipa gasifikatora. Kod gasifikatora sa fiksnim slojem dobija se manja količina čestica u odnosu na gasifikator sa fluidizovanim slojem.

U zavisnosti od veličine čestica koriste se različiti postupci njihovog uklanjanja iz gasne smeše gasifikatora. Čestice veličine preko 10 μm uklanjaju se ciklonima, a čestice manjih dimenzija keramičkim filterima. Efikasnost keramičkih filtera pri uklanjanju čestica je i do 99.8% [27]. Osnovni problem koji se javlja pri korišćenju keramičkih filtera je njihovo začepljenje česticama većih dimenzija koje se formiraju slepljivanjem čestica katrana i pepela. Takođe, može doći do njihovog začepljenja i usled kondenzacije pepela na njihovoj površini. Da bi se ovo sprečilo radna temperatura navedenih filtera trebalo bi da iznosi preko 500 °C.

Katran predstavljaju aromatična i poliaromatična jedinjenja, čije stvaranje zavisi od vrste biomase, tipa gasifikatora i radnih uslova [26]. Uklanjanje katrana iz gasne smeše gasifikatora može se postići termičkim krekovanjem (temperature od 900 do 1000 °C) ili katalitičkim krekovanjem (temperature od 800 do 900 °C) u toku postupka prečišćavanja gasova iz gasifikatora. Kao katalizatori se koriste dolomit (kalcijum magnezijum karbonat CaMg(CO₃)₂) i jedinjenja na bazi nikla.

Nečistoće prisutne u tragovima obično čine različiti elementi prisutni u biomasi kao što su N, S, Cl, F, Na i K.

Azot je prisutan u vidu amonijaka i uklanja se ispiranjem sa vodom ili vodenim rastvorima. Azotna jedinjenja se mogu umesto vlažnog postupka ukloniti korišćenjem postupka sagorevanja pri kojima se izdvaja mala količina NO_x ili selektivnom katalitičkom redukcijom NO_x u gorivi gas.

Halogeni elementi (F, Cl) iz gasne smeše iz gasifikatora, se uklanjaju vlažnim postupkom ili apsorpcijom pomoću CaO ili MgO.

Jedinjenja alkalnih metala (K, Na) se iz gasne smeše efikasno uklanjaju njihovom kondenzacijom što se postiže hlađenjem smeše do 500 °C, a zatim se njihov kondenzat uklanja filtracijom.

4.2.5. Prečišćavanje gasovite smeše iz gasifikatora

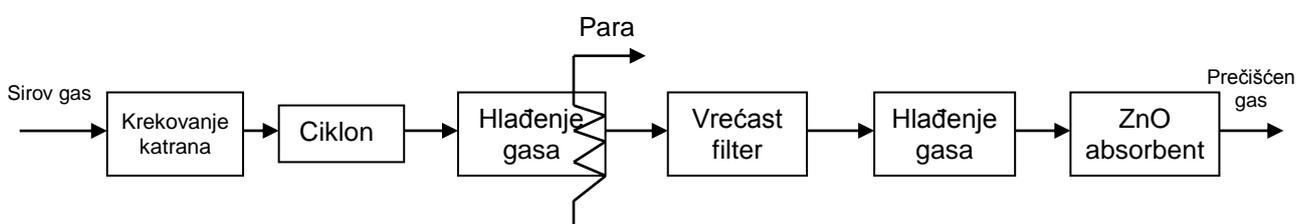
Za krajnje korišćenje gasovite smeše iz gasifikatora neophodno je gasovitu smešu prečistiti kako bi se zbog prisutnih nečistoća, sprečila korozija opreme ili trovanje katalizatora kod katalitičkih procesa u kojima se gasovita smeša gasifikatora koristi kao sirovina. Postupci prečišćavanja gasovite smeše se odigravaju na različitim temperaturama i da bi se smanjili

gubici toplote, temperatura pri prečišćavanju gasne smeše trebalo bi da bude jednaka temperaturi na kojoj gasna smeša napušta gasifikator. U upotrebi su dva postupka prečišćavanja [20, 28, 29] i to:

- niskotemperaturni vlažni postupak i
- visokotemperaturni suvi postupak.

4.2.5.1. Niskotemperaturni vlažni postupak

Niskotemperaturni vlažni postupak podrazumeva hlađenje gasne smeše iz gasifikatora, filtraciju i ispiranje na temperaturi od 100 - 250 °C [20, 28]. Faze niskotemperaturnog vlažnog postupka su prikazane na slici 4.11.

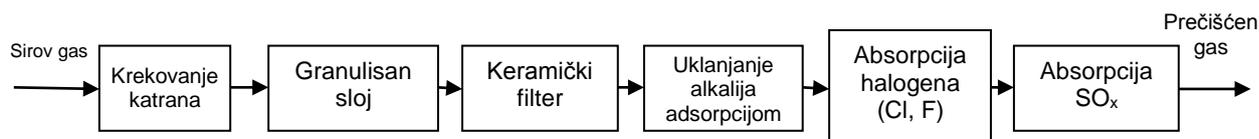


Slika 4.11. Niskotemperaturni vlažni postupak prečišćavanja gasovitog produkta gasifikatora [27]

Prva faza razmatranog procesa obuhvata uklanjanje katrana termičkim ili katalitičkim krekkingom. Nakon toga sledi izdvajanje čestica. Čestice većih dimenzija (> 10 μm) izdvajaju se ciklonima, dok se čestice manjih dimenzija izdvajaju pomoću vrećastih filtera pre kojih se gas hladi vodenom parom. Prisutna azotna jedinjenja kao i jedinjenja halogena uklanjaju se vlažnim postupkom (ispiranje vodom) čime se istovremeno postiže i hlađenje gasa do 50 °C. Prisutna sumporna jedinjenja se uklanjaju slojem ZnO kojim se postiže njihovo smanjenje ispod 0.1 ppm [20].

4.2.5.2. Visokotemperaturni suvi postupak

Kod visokotemperaturnog suvog postupka prečišćavanja, temperatura je iznad 500 °C, a pritisak iznosi 15 - 25 bara čime se postiže minimalan gubitak toplote pri filtraciji sa keramičkim filterima i kod sekcije krekovanja pri uklanjanju katrana, jer ove sekcije zahtevaju visoke ulazne temperature. Faze postupka uklanjanja prisutnih nečistoća u gasnoj smeši iz gasifikatora [28], date su na slici 4.12.



Slika 4.12. Visokotemperaturni suvi postupak prečišćavanja gasovitog produkta gasifikatora [28]

U prvoj fazi katran se uklanja termičkim ili katalitičkim krekovanjem. Nakon toga, čestice se uklanjaju na temperaturi iznad 400 °C prolaskom kroz granulisani sloj i ciklone, a fine čestice keramičkim filterom, čime se postiže uklanjanje 99.8% čestica [28]. Alkalna jedinjenja se uklanjaju fizičkom adsorpcijom ili hemisorpcijom tj. prolaskom gasa kroz fiksni sloj adsorbenta na temperaturi od 750 do 900 °C [28]. Iznad 600 °C alkalna jedinjenja se kondenzuju i lepe na čestice prisutne u gasu što omogućuje njihovo uklanjanje filtracijom [30]. Halogeni elementi (F, Cl) se uklanjaju praškastim apsorbcijama na bazi Na i Ca, koji se ubacuju u struju gasa i nakon apsorpcije se odvođe na filtere za uklanjanje čestica. Sumporna jedinjenja se takođe uklanjaju apsorpcijom.

Prednost vlažnog postupka prečišćavanja na niskim temperaturama je njegova jednostavnost. Međutim, otpadne vode sadrže katran koji predstavlja značajan ekološki problem. Postupak prečišćavanja na povišenim temperaturama ima prednost u odnosu na niskotemperaturni jer se potrebna toplotna energija obezbeđuje na račun energije gasa koji se prečišćava. Međutim, pomenuti postupak je tehnološki komplikovaniji [2].

4.2.6. Tipovi gasifikatora

Pripremljena sirovina (biomasa) se uvodi u gasifikator - reaktor u kom se konvertuje u proizvode na račun toplote koju nosi oksidujući gas koji se uvodi u gasifikator. Gasifikatori se dele na:

- gasifikatore sa fiksnim slojem i
- gasifikatore sa fluidizovanim slojem.

Gasifikatori sa fiksnim slojem imaju radnu temperaturu do 1000 °C i za njih je karakteristično da imaju jasno izdvojene zone sušenja, pirolize, redukcije i sagorevanja. U zavisnosti od mesta uvođenja oksidujućeg gasa gasifikatori sa fiksnim slojem se dele na:

- gasifikator sa uzlaznom strujom oksidanta,
- gasifikator sa silaznom strujom oksidanta i
- unakrsni gasifikator.

Gasifikatori sa fluidizovanim slojem se dele na:

- gasifikator sa cirkulacionim slojem i
- gasifikator sa barbotaznim slojem.

Međusoban kontakt biomase i oksidanta u navedenim tipovima gasifikatora [31] prikazan je u tabeli 4.5.

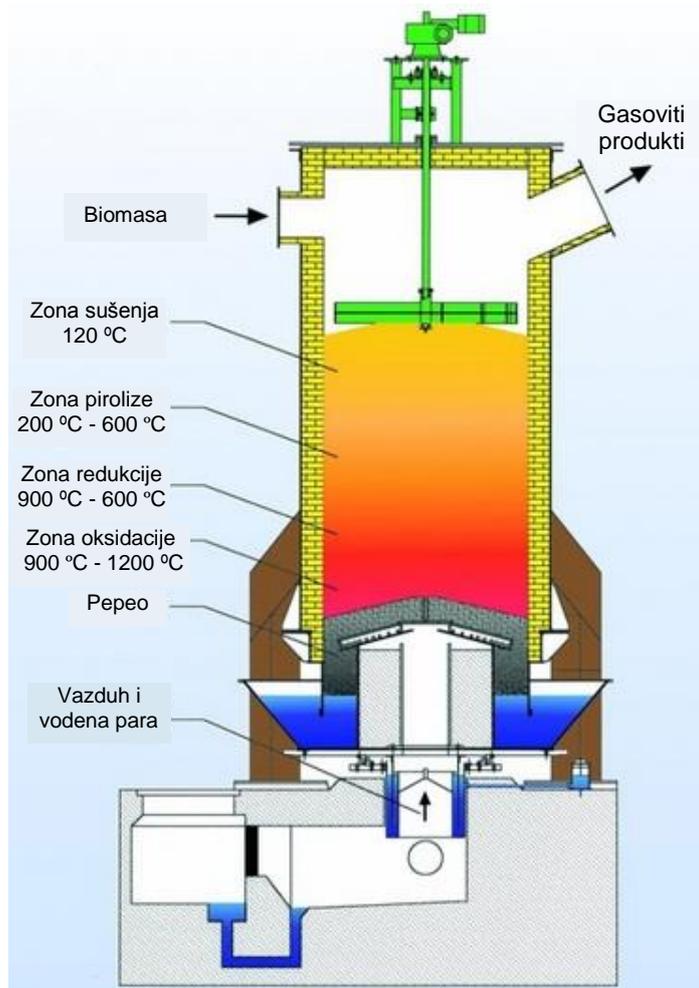
Tabela 4.5. Proticanje biomase i gasa oksidanta u različitim tipovima gasifikatora [31]

Tip gasifikatora	Smer strujanja		Nosač biomase
	Biogorivo	Oksidant	
Gasifikator sa uzlaznom strujom oksidanta - fiksni sloj	nadole	nagore	rešetka
Gasifikator sa silaznom strujom oksidanta - fiksni sloj	nadole	nadole	rešetka
Gasifikator sa cirkulacionim slojem - fluidizovani sloj	nagore	nagore	bez nosača
Gasifikator sa barbotaznim slojem - fluidizovani sloj	nagore	nagore	bez nosača

4.2.6.1. Gasifikatori sa fiksnim slojem

Gasifikatori sa uzlaznom strujom oksidanta

Kod gasifikatora sa uzlaznom strujom oksidanta (slika 4.13.) biomasa se uvodi odozgo kroz dozator a topao gas - oksidant odozdo kroz rešetku koja istovremeno predstavlja i nosač biomase.



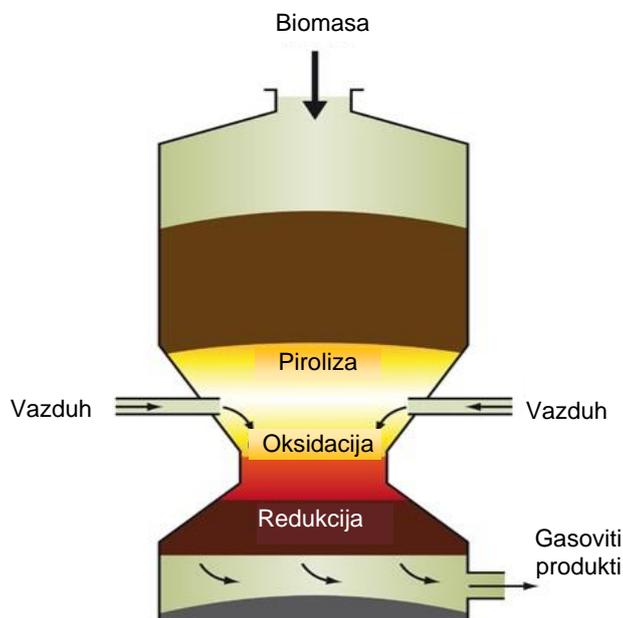
Slika 4.13. Gasifikator sa uzlaznim tokom oksidanta [32]

Tokom protivstrujnog kontakta biomase i gasa oksidanta (vazduh ili kiseonik; vodena para ili mešavina) u gasifikatoru se odigravaju sledeći procesi posmatrano vertikalno *odozgo na dole*. Biomasa se prvo suši, zatim pirolizuje, a dobijeni gasovi se dalje redukuju pri čemu se pored gasovitih proizvoda dobija i katran. Katran sagoreva do pepela iznad rešetke na dnu gasifikatora. Pepeo sa dna gasifikatora se uklanja posebnim uređajem.

Ako se procesi koji se odigravaju u gasifikatoru posmatraju *odozdo na gore*, nagomilan katran iz biomase sagoreva u struju uvedenog toplog oksidanta i pored pepela oslobađa i gasovite produkte CO₂ i vodenu paru čija je temperatura oko 1000 °C. Vreli gasovi na putu ka vrhu gasifikatora prolaskom kroz sloj nailazeće biomase, koja se uvodi odozgo, redukuju se do CO i H₂ i zatim hlade do 750 °C. Redukujući gasovi daljim proticanjem ka vrhu gasifikatora, pirolizuju silazeću prosušenu biomasu. U višim slojevima gasifikatora produkujući gasovi suše biomasu koja se uvodi kroz dozator i u međusobnom kontaktu se hlade tako da napuštaju gasifikator na temperaturi od 200 do 300 °C. Gasoviti produkti koji napuštaju gasifikator zbog niskih temperatura sadrže smolaste materije koje se postupkom prečišćavanja moraju ukloniti, kako bi se omogućilo njihovo dalje korišćenje [2].

Gasifikator sa silaznom strujom oksidanta

Kod gasifikatora sa silaznom strujom oksidanta, gas oksidant se uvodi sa strane a biomasa odozgo kako je prikazano na slici 4.14. Razmatrani tip gasifikatora konstrukciono je isti kao i gasifikator sa uzlaznom strujom oksidanta, s tom razlikom što oksidacioni gas i gasoviti produkti struje u istom pravcu na dole kao i biomasa koja se uvodi odozgo.



Slika 4.14. Gasifikator sa silaznim tokom oksidanta [33]

Osušena biomasa, sa sadržajem vlage < 20%, se pirolizuje pri vrhu gasifikatora u struji gasa koji se uvodi. Dobijeni proizvodi - gasovi i koks (5 - 15%), nastavljaju da struje ka dnu gasifikatora kroz zonu sagorevanja gde su temperature od 800 do 1200 °C. U zoni

sagorevanja topli gasovi reaguju sa katranom pri čemu se izdvajaju CO i H₂. Dobijeni gasoviti produkti nastavljaju strujanje na dole i napuštaju gasifikator na temperaturi od oko 1000 °C, tako da sadrže manje katrana u odnosu na gasove dobijene iz gasifikatora sa ulaznim tokom oksidanta. Međutim, zbog visokih temperatura izlaznih gasovitih produkata, ovaj tip gasifikatora ima manju energetska efikasnost [2]. Sporedni proizvodi, nesagoreli katran i dobijeni pepeo, sakupljaju se ispod rešetke na dnu gasifikatora i uklanjaju se kao kod uzlaznog tipa gasifikatora.

Unakrsni tip gasifikatora

Kod gasifikatora sa unakrsnim proticanjem biomasa se uvodi odozgo, a oksidacioni gas sa strane. Zone sagorevanja i gasifikacije formiraju se oko zone ulaska oksidanta a gasoviti produkti se izvode sa suprotne strane na istom nivou na kojem se uvodi ulazni gas. Zone pirolize i sušenja se formiraju u višim delovima gasifikatora. Gasoviti produkti koji se odvede su na visokoj temperaturi, od 800 do 900 °C, usled čega sadrže visok procenat katrana i energetska efikasnost nastalog gasa je mala.

4.2.6.2. Gasifikatori sa fluidizovanim slojem

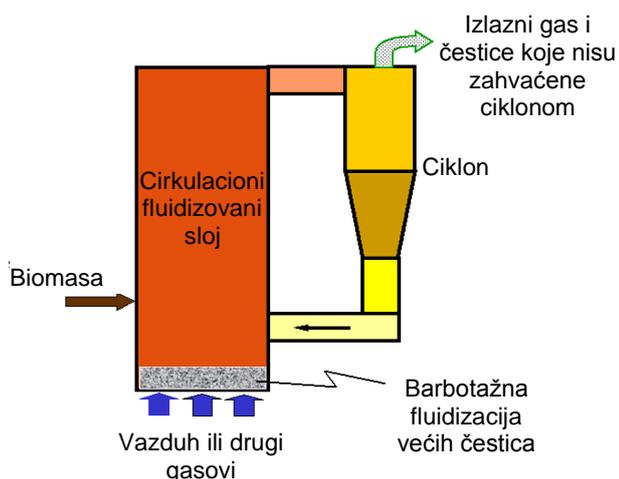
Gasifikator sa fluidizovanim slojem može se koristiti za različite vrste biomase velikog sadržaja vlage. Prednost ovog tipa gasifikatora u odnosu na gasifikator sa fiksnim slojem je uniformna distribucija temperature u gasifikacionoj zoni koja se postiže tokom fluidizacije usitnjene biomase i vazduha. Međutim, temperatura se mora održavati ispod temperature razmekšavanja pepela jer može doći do njegovog slepljivanja sa fluidizovanim česticama biomase i njihove aglomeracije što bi narušilo uslove fluidizacije [34]. Razlikuju se dva tipa gasifikatora sa fluidizovanim slojem:

- gasifikator sa cirkulacionim slojem i
- gasifikator sa barbotaznim slojem.

Gasifikator sa cirkulacionim slojem

Kod gasifikatora sa cirkulacionim slojem biomasa se uvodi pri dnu gasifikatora i vrlo brzo se meša sa fluidizujućim agensom (vazduh, kiseonik ili para), što doprinosi brzom zagrevanju biomase i njenoj pirolizi. Fluidizovan sloj cirkuliše između gasifikatora i ciklona u kome se izdvaja pepeo, a fluidizovan sloj i katran se ponovo vraćaju u gasifikator. Time se postiže konverzija katrana i smanjuje njegov sadržaj u izlaznim gasovima iz gasifikatora.

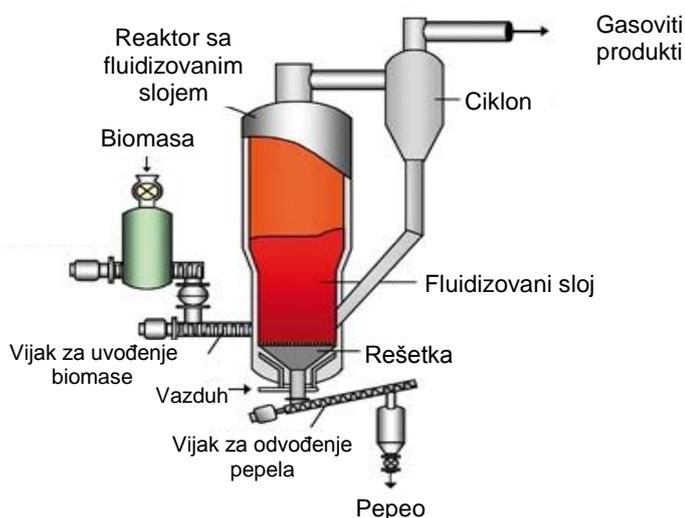
Razmatrani tip gasifikatora se koristi za konverziju drvenog otpada u papirnoj industriji, cementnoj industriji za sušenje, pri proizvodnji struje kod gasnih turbina kao i za kompresiju izlaznog gasa [23, 35]. Gasifikator sa fluidizovanim slojem cirkulacionog tipa prikazan je na slici 4.15.



Slika 4.15. Gasifikator sa fluidizovanim slojem i cirkulacijom izlaznih proizvoda [36]

Gasifikator sa barbotažnim slojem

Na dnu gasifikatora sa barbotažnim slojem [23] nalazi se rešetka kroz koju se uvodi vazduh ili drugi oksidant, koji fluidizuje inertni materijal (kvarcni pesak ili aluminijumski prah). U fluidizovan sloj se uvodi biomasa. Fluidizovan sloj podseća na ključalu tečnost i ima fizičke karakteristike fluida. Regulacijom odnosa biomasa/gas može se postići dobra regulacija temperature sloja koja se kreće od 700 do 900 °C. Na toj temperaturi dolazi do pirolize biomase na katran i gasovite proizvode, a katran se dalje krekuje tako da dobijeni gasoviti produkti imaju sadržaj katrana < 1 - 3 g/Nm³ [2]. Gasifikator sa barbotažnim slojem prikazan je na slici 4.16.



Slika 4.16. Gasifikator sa barbotažnim slojem [37]

Navedeni tipovi gasifikatora sa fiksnim i fluidizovanim slojem koriste se za različite vrste biomase širom sveta. U Evropi, SAD i Kanadi zastupljenost pojedinih tipova gasifikatora je različita. Najrasprostranjeniji su gasifikatori sa fiksnim slojem sa silaznim tokom gasne faze (75%), gasifikatori sa fluidizovanim slojem (20%), dok su gasifikatori sa ulaznim tokom gasa zastupljeni samo 2.5% kao i ostali tipovi gasifikatora koji su takođe rasprostranjeni sa 2.5%

[38]. Prednosti i nedostaci navedenih tipova gasifikatora sa fiksnim i fluidizovanim slojem [2] prikazani su u tabeli 4.6.

Tabela 4.6. Prednosti i nedostaci gasifikatora sa fiksnim i fluidizovanim slojem [2]

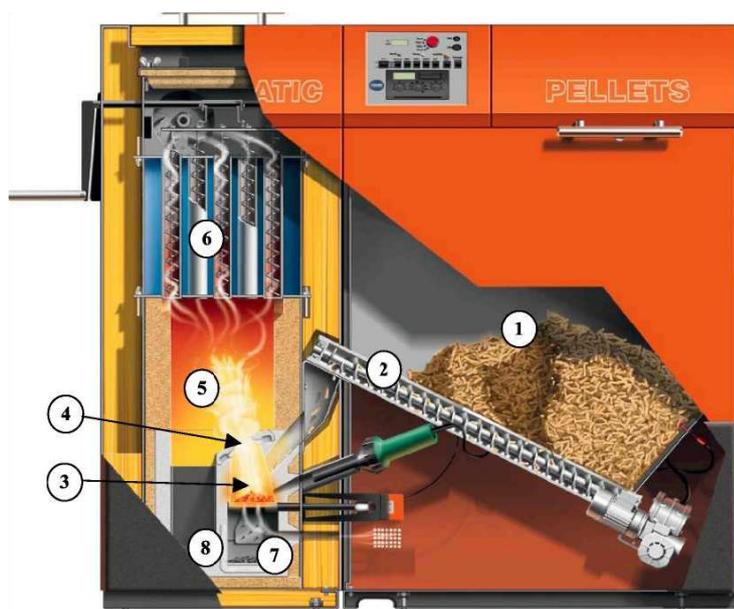
Prednosti	Nedostaci
Gasifikator sa fiksnim slojem - uzlazni protok	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jednostavna konstrukcija, niska cena procesa ▪ Mogućnost korišćenja biomase sa velikim sadržajem vlage ▪ Niska izlazna temperatura gasovitih produkata (oko 200 °C) ▪ Visoka efikasnost konverzije koksa ▪ Visoka toplotna efikasnost ▪ Mali sadržaj čestica u izlaznom gasu 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veliki sadržaj katrana 10 - 20% (maseni udeo) u izlaznom gasu ▪ Limitirana veličina čestica polazne biomase
Gasifikator sa fiksnim slojem - silazni protok	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jednostavna konstrukcija, niska cena procesa ▪ Maksimalno dozvoljen sadržaj vlage u sirovini 35% (maseni udeo) ▪ Izlazni gasoviti produkti sadrže katran u tragovima i nije potrebno njegovo uklanjanje 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ograničena veličina čestica sirovine i sadržaj pepela ▪ Visoka izlazna temperatura gasova (oko 1000 °C) što dovodi do potrebe za dodatnim hlađenjem ▪ Ostaje nekonvertovano 4 - 7% ugljenika
Gasifikator sa fluidizovanim cirkulacionim slojem	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Velike brzine prenosa toplote ▪ Radna temperatura iznad 850 °C 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Visoka cena i mali kapacitet ▪ Mogućnost pojave korozije i gubitaka usled trenja
Gasifikator sa fluidizovanim barbotaznim slojem	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fleksibilna brzina sirovine ▪ Mogućnost korišćenja sirovine sa većim sadržajem pepela ▪ Veliki sadržaj CH₄ u izlaznom gasovitom produktu ▪ Jednostavna kontrola temperature ▪ Korišćenje kapaciteta velikih zapremina 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperature procesa ograničene temperaturama slepljivanja pepela ▪ Visoke izlazne temperature gasovitih produkata ▪ Veliki sadržaj katrana u gasu ▪ Moguć visok sadržaj ugljenika u pepelu

4.3. Sagorevanje

Sagorevanje predstavlja tehnologiju transformacije hemijske energije iz goriva u toplotnu energiju, koja se koristi u svakodnevnom životu, industriji ili za dobijanje drugih vidova energije kako u industrijski razvijenim zemljama tako i u zemljama u razvoju. Danas se sve veći značaj pridaje usavršavanju tehnologija sagorevanja, povećanju obima korišćenja obnovljivih energenata i povećanju energetske efikasnosti svih činioca u proizvodnji i korišćenju toplote. Najvažniji faktori za izbor tehnologije sagorevanja se odnose na vrstu i formu raspoložive biomase, potrebnu snagu termoenergetskog postrojenja, tip ložišta za

sagorevanje biomase, sadržaj i osobine pepela u biomasi, zahteve o veličini štetnih uticaja na životnu i radnu sredinu, veličinu raspoloživih investicionih sredstava i drugo.

Savremena postrojenja manjih snaga koja koriste pelete biomase kao biogorivo su namenjena za domaćinstva ili manje potrošače toplotne energije. Termička snaga postrojenja namenjenih domaćinstvima iznosi do 120 kW, dok industrijska postrojenja slične konstrukcije imaju termičku snagu od nekoliko stotina kilovata. Navedena postrojenja (slika 4.17.) najčešće rade na principu primarne i sekundarne komore za sagorevanje sa gravitacionim ubacivanjem goriva. Primarna komora za sagorevanje je obložena šamotom i u njoj se peleti biomase sagorevaju na nižim temperaturama od približno 800 °C.



Slika 4.17. Kotao za sagorevanje peleta biomase injektiranih odozgo sa automatskim radom [39]

1. koš za gorivo, 2. puž za doziranje goriva, 3. primarna komora za sagorevanje gde se dodaje primarni vazduh za sagorevanje, 4. dodavanje sekundarnog vazduha, 5. komora za dogorevanje gasovitih produkata sagorevanja, 6. razmenjivač toplote sa sistemom za čišćenje, 7. pepeljara za sakupljanje pepela iz primarne komore za sagorevanje, 8. pepeljara letećeg pepela

Po izlasku iz primarne komore za sagorevanje, sagorivi gasovi se dodatno mešaju sa sekundarnim vazduhom i u sekundarnoj komori sagorevaju na temperaturama od 1200 do 1300 °C, što obezbeđuje visoku energetska efikasnost u radu takvih postrojenja. Peleti biomase se u primarnu komoru za sagorevanje dovode u kontinuitetu preko pužnog transportera za doziranje. Velika pažnja je usmerena na stalnost užarenog sloja u komori kojim se obezbeđuje dovoljno toplote za početak sagorevanja novo ubačenog goriva - peleta. U automatskoj sprezi foto ćelije, puža za dovod goriva, lambda sonde i ventilatora vazduha za sagorevanje omogućen je rad postrojenja u režimima od 30 do 100% deklariranih kapaciteta. Razmenjivačka komora je dimenzionisana da pored dobre razmene toplote između vrelih produkata sagorevanja i grejnog fluida omogući i dobro dogorevanje gorivih materija, kao i odvajanje pepela. Postrojenja funkcionišu sa mogućnošću varijabilnog

odvođenja toplote, što omogućava da se u radu postrojenja postigne fiksni režim izlaznih i ulaznih temperatura grejnog fluida od 80 °C do 38 °C. Čišćenje razmenjivačkih površina kotla se realizuje automatski, sa neophodnošću vađenja pepela iz postrojenja jednom do dva puta nedeljno. Ventilator izduvnih gasova obezbeđuje potpitisni režim rada postrojenja i tako sprečava opasnost od povratnog plamena od ložišta da koša sa gorivom. Kao dodatna sigurnost od povratnog plamena između ložišnog prostora i koša za gorivo se ugrađuje i čelična ustava. Koš za pelete kod manjih postrojenja za sagorevanje se nalazi u osnovnoj konstrukciji i ujedno je i ciklon koji odvaja prašinu od ubačenih peleta [39, 40].

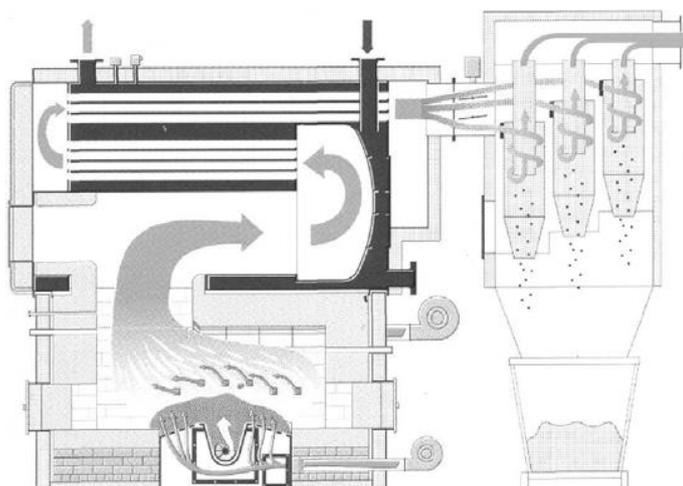
4.3.1. Tehnologija primene i konstrukcija industrijskih termoenergetskih postrojenja

Za sagorevanje biomase najčešće se koriste:

- ložišta sa nepokretnim rešetkama,
- ložišta sa dodavanjem goriva odozdo (sistem retorte),
- ložišta sa pokretnim rešetkama,
- ložišta za sagorevanje u ciklonima ili u vrtložnim ložištima i
- ložišta u fluidizovanom sloju.

4.3.1.1. Ložišta sa dodavanjem goriva odozdo (sistem retorte)

Ložišta sa dodavanjem goriva odozdo (slika 4.18.) najčešće se koristi za usitnjenu biomasu dimenzija manjih od 50 mm, koja u sebi ima malo pepela. Gorivo se najčešće potiskuje odozdo pužnim transporterima. Najbolje karakteristike razmatrana ložišta pokazuju do 6 MW [41]. Važno je istaći da su do navedene snage investicioni troškovi za realizaciju opisanog postrojenja niži u odnosu na postrojenja gde se primenjuju druge tehnologije, npr. ložišta za sagorevanje goriva na rešetkama.



Slika 4.18. Ložište sa dodavanjem goriva odozdo (sistem retorte) [41]

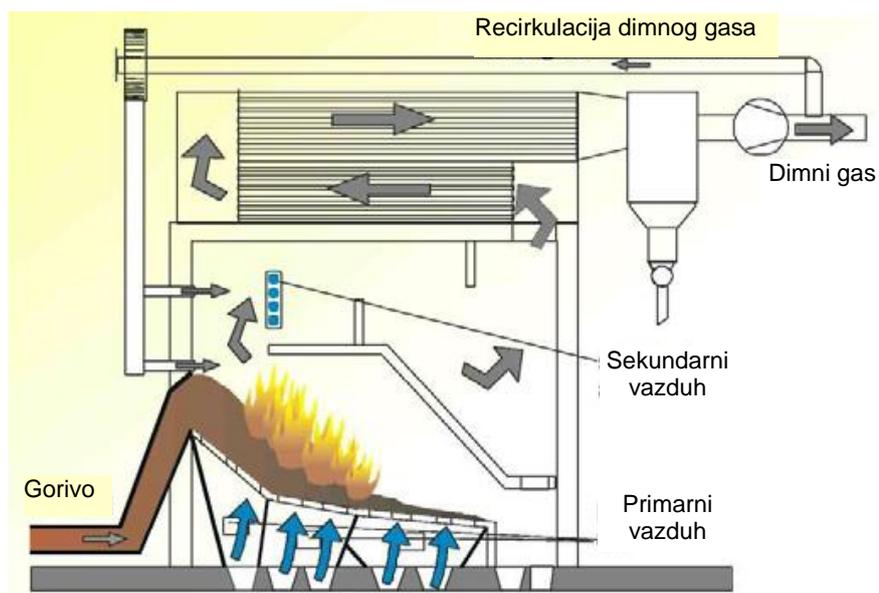
4.3.1.2. Ložišta sa pokretnom rešetkom

Ložišta sa pokretnom rešetkom koja se koriste za sagorevanje biomase dele se na:

- ložišta sa kosom pokretnom rešetkom,
- ložišta sa horizontalnom pokretnom rešetkom,
- ložišta sa puzećom (lančastom) rešetkom,
- ložišta sa vibrirajućom rešetkom i
- ložišta sa rotirajućom rešetkom.

Ložišta sa kosom pokretnom rešetkom

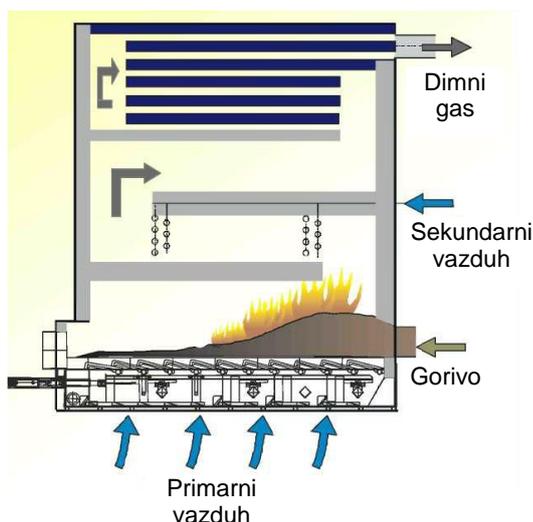
Kosa rešetka se sastoji od pokretnih i nepokretnih rešetnica, po kojima se gorivo pomera, spušta na dole, usled pomeranja rešetnica napred-nazad (slika 4.19.). Najčešće se pomeranje realizuje hidrauličkim ili električnim mehanizmima. Rešetka se sastoji od nekoliko sekcija, koje se mogu pomerati različitim brzinama u zavisnosti od zona sagorevanja goriva na njoj. Rešetnice kose pokretne rešetke su izrađene od vatrootporne legure čelika i u radu postrojenja se njihovo hlađenje obavlja vazduhom za sagorevanje ili vodom.



Slika 4.19. Ložište sa kosom pokretnom rešetkom [39]

Ložišta sa horizontalnom pokretnom rešetkom

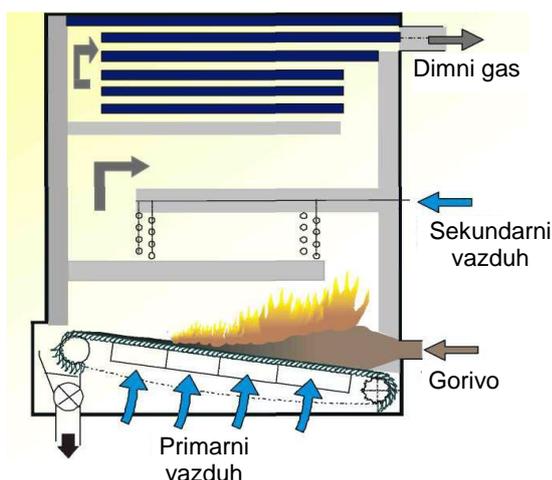
Gorivo se na horizontalnim pokretnim rešetkama nalazi sa gornje strane ukoso postavljenih rešetnica (slika 4.20.). Kod navedenih tehnologija sagorevanja, gorivo se u sloju dobro okreće i pokreće. Sprečava se nekontrolisano pomeranje goriva usled dejstva gravitacione sile, kao što je slučaj kod kosih rešetki, što uvek obezbeđuje ujednačenu debljinu sloja i njegovu homogenost. Takođe, velika prednost razmatranih rešetki je u tome što je ukupna visina ložišta značajno smanjena.



Slika 4.20. Ložište sa horizontalnom pokretnom rešetkom [41]

Ložišta sa horizontalnom pokretnom - lančastom rešetkom

Horizontalna pokretno-lančasta rešetka sačinjena je od beskrajnje, rotirajuće metalne gusenice - lanca. Gorivo se u odnosu na rešetku ne pomera, nego po dospevanju na rešetku putuje sagorevajući sa njom kroz ložište. Na kraju ložišta na rešetki ostaje samo pepeo koji se po obrtanju rešetke izbacuje u transporter za iznošenje pepela iz ložišta (slika 4.21.). Prednosti sagorevanja biomase na horizontalnoj ili kosoj pokretnoj - lančastoj rešetki su ujednačeno sagorevanje u pojedinim zonama sagorevanja. Održavanje razmatranih ložišta je lako, kao i zamena oštećenih rešetki. U poređenju sa pokretnim rešetkama, vreme sagorevanja je duže i dodavanje primarnog vazduha je intenzivnije.

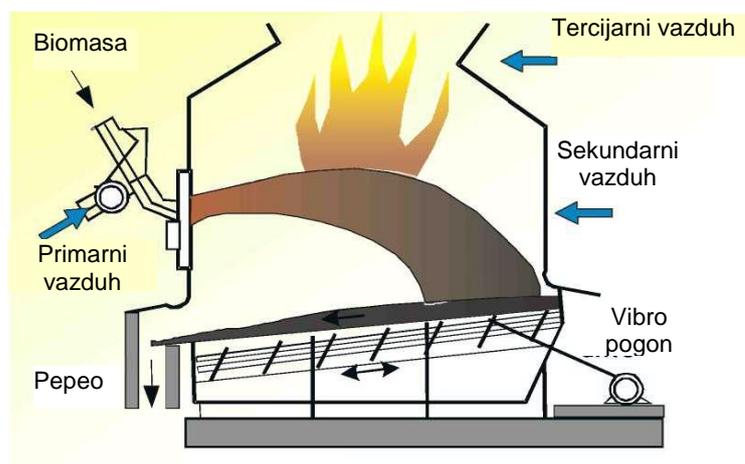


Slika 4.21. Ložište sa horizontalnom ili kosom pokretnom - lančastom rešetkom [39]

Ložišta sa vibrirajućom rešetkom

Rešetka koja se sastoji od dva ili više segmenata postavljena je na opruge, tako da se ljulja pokretana vibro pogonom. Ljuljanjem, tj. vibriranjem rešetke gorivo se pomera ka

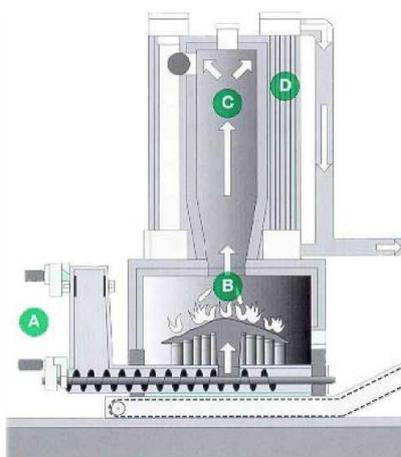
transporteru za uklanjanje pepela iz ložišta. Primarni vazduh se dodaje kroz otvore koji se nalaze na rebrima segmenata rešetke (slika 4.22.). Kod razmatrane tehnologije sagorevanja dolazi do zašljakivanja goriva usled njegovog sabijanja vibriranjem rešetke, pa nije poželjna kod goriva koja lako sintejuju, tj. omekšavaju i kod kojih dolazi do zašljakivanja, kao što je vlažna usitnjena biomasa. Nedostaci su visoka emisija letećeg pepela iz ložišta koju prouzrokuju vibracije i u čestim slučajevima povišena emisija ugljen monoksida.



Slika 4.22. Ložište sa vibrirajućom rešetkom [41]

Ložišta sa rotirajućom rešetkom i dovođenjem goriva odozdo

Rotirajuća rešetka se sastoji od segmenata koji imaju suprotno obrtanje i kroz koje se u središnjem delu dovodi biomasa, kao gorivo i primarni vazduh. Biomasa se najčešće potiskuje pužnim transporterom. Suprotno smerno obrtanje segmenata rešetke veoma dobro meša biomasu, što je od najvećeg značaja za sagorevanje vlažne biomase. U ovim ložištima se mogu sagorevati i vlažne mešavine čvrste biomase i životinjskih eskremenata. Sagorivi isparljivi produkti sagorevanja - volatili sagorevaju u gornjim horizontalnim ili vertikalnim komorama za sagorevanje, gde se mešaju sa sekundarnim vazduhom (slika 4.23.).



Slika 4.23. Ložište sa rotirajućom rešetkom sa dodavanjem goriva odozdo [41]

A - dovoz biomase, B - komora za primarno sagorevanje,
C - komora za sekundarno sagorevanje, D - ložište

Ložišta u obliku rotirajuće kupe

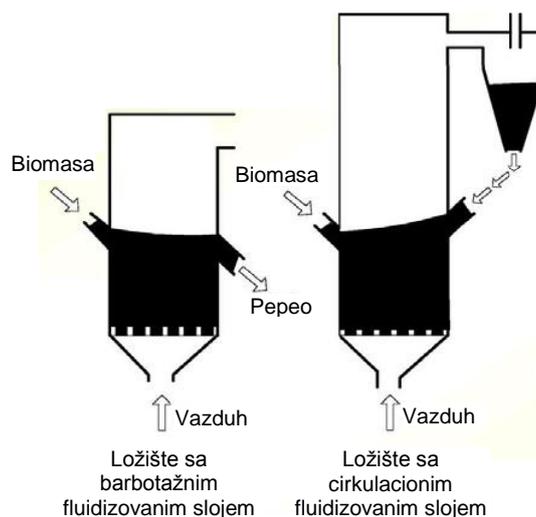
Ložišta u obliku rotirajuće kupe u osnovi se sastoje od sporo rotirajuće rešetke u obliku obrnutog kosog konusa (slika 4.24.). Primarni vazduh uvodi se u ložište kroz centralnu cev koja ulazi u donji deo konusa rešetke. Sekundarni vazduh ubacuje sa velikim brzinama pri vrhu cilindrične komore za sagorevanje i u njegov središnji deo. Rešetka u obliku rotirajuće kupe nije dovoljno ispitana kod sagorevanja biomase.



Slika 4.24. Ložišta u obliku rotirajuće kupe [42]

4.3.1.3. Ložišta za sagorevanje u fluidizovanom sloju

Ložišta za sagorevanje u fluidizovanom sloju mogu se podeliti na ložišta sa barbotажnim fluidizovanim slojem (BFB) i cirkulacionim fluidizovanim slojem (CFB) (slika 4.25.). Navedena ložišta su u obliku cilindričnog suda koji na dnu ima perforiranu ploču. U koritu suda na ploči se nalazi suspenzija vrućeg, inertnog i skupog materijala. Uobičajeni materijali u koritu su silicijumski pesak i dolomit. Primarni vazduh ulazi odozdo u cilindar ložišta i podiže do lebdenja fluidizovani sloj. Brzina kod fluidizacije iznosi za BFB tehnologiju od 1 do 2.5 m/s, a za CFB od 5 do 10 m/s. Intenzivan prenos toplote i mešanje obezbeđuju dobre uslove za potpuno sagorevanje biomase sa niskim koeficijentom viška vazduha. Temperatura sagorevanja se mora održavati nižom od uobičajenih 800 - 900 °C u cilju sprečavanja sinterovanja pepela u fluidizovanom sloju [41]. Navedena tehnologija sagorevanja je fleksibilna u pogledu korišćenja različitih mešavina goriva, ali se ograničenja ispoljavaju u pogledu veličine čestica gorive biomase i nečistoća koje se nalaze u biomasi koja se sagoreva. Odgovarajuća priprema biomase koja se sagoreva u pogledu veličina čestica je neophodna, kao i odvajanje metala iz biomase.



Slika 4.25. Sagorevanje u fluidizovanom sloju [41]

4.3.2. Sagorevanje biomase sa aspekta zaštite životne sredine

Sagorevanje biomase utiče na životnu sredinu najviše usled emisija u atmosferu. Zagađujuće materije koje se emituju mogu lokalno, regionalno ili globalno da utiču na životnu sredinu. Lokalno zagađenje životne sredine uglavnom je izazvano emisijama čestica i drugih komponenata koje nastaju usled nepotpunog sagorevanja. Regionalno zagađenje životne sredine izazvano je kiselinama koje nastaju uglavnom usled emisija NO_x i SO_2 , dok do globalnog zagađenja dolazi usled direktnih ili indirektnih emisija gasova staklene bašte. Najzastupljeniji gas staklene bašte je ugljen dioksid. Ne doprinose sva goriva u istoj meri emisiji ugljen dioksida. S obzirom na različit hemijski sastav, različite su i emisije nastale kao posledica sagorevanja različitih goriva, za ostvareni isti toplotni efekat. Da bi se različita goriva mogla međusobno porediti, uvodi se koeficijent emisije ugljen dioksida, koji predstavlja masu emitovanog ugljen dioksida u atmosferu svedenu na jedinicu energije. U tabeli 4.7. prikazani su koeficijenti emisije ugljen dioksida različitih goriva [43].

Tabela 4.7. Koeficijent emisije ugljen dioksida različitih goriva [43]

Gorivo	Emisija $\left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{GJ}}\right)$
Biomasa	109.60
Treset	106.00
Kameni ugalj	101.20
Mrki ugalj	97.09
Lignit	96.43
Dizel	77.40
Sirova nafta	74.10
Kerozin	73.30
Benzin	71.50
Tečni naftni gas	63.10
Prirodni gas	56.10

Biomasa spada u obnovljive izvore energije. Pri sagorevanju biomase emituje se tačno onoliko ugljen dioksida koliko biljka veže procesom fotosinteze u toku rasta, pa je u tom smislu koeficijent emisije ugljen dioksida biomase jednak nuli. Međutim taj podatak je validan samo onda kada seču prati pošumljavanje, u suprotnom usvaja se koeficijent emisije koji je prikazan u tabeli 4.7.

Azotni oksidi (NO_x) identifikovani su kao uzročnici mnogih neželjenih pojava. Njihovo štetno dejstvo vezuje se za:

- uticaj na zdravlje ljudi,
- smanjenje vidljivosti i stvaranje fotohemijskog smoga - posledica reakcija NO_x sa organskim materijama u prisustvu sunčeve svetlosti,
- razaranje ozona u višim slojevima atmosfere,
- stvaranje štetnog ozona u nižim slojevima atmosfere,
- stvaranje kiselih kiša.

U pogledu uticaja na životnu sredinu i zdravlje, najznačajniji azotni oksidi su azot monoksid (NO), azot dioksid (NO_2) i azot suboksid (N_2O). Više od 90% azotnih oksida emitovanih usled procesa sagorevanja čini azot monoksid NO , dok ostatak čini azot dioksid NO_2 . Međutim, kako se azot monoksid NO u atmosferi konvertuje u azot dioksid, većina propisa iz oblasti zaštite životne sredine tretira sve okside azota kao NO_2 . Azot suboksid N_2O je poznat kao gas staklene bašte, koji doprinosi globalnom zagrevanju, ali je takođe identifikovan kao činilac koji utiče na razaranje ozonskog omotača. Srećom, male količine azot suboksida se emituju procesima sagorevanja. Podaci o izvoru emisije oksida azota pokazuju da je oko dve trećine emisije posledica procesa sagorevanja. Prisustvo oksida sumpora u produktima sagorevanja posledica je oksidacije sumpora iz goriva, koji u procesu sagorevanja većim delom oksidiše u sumpor dioksid (SO_2), a sa vlagom iz vazduha formira fine kapljice sumporne kiseline. Ove kapljice raznošene vetrom padaju na zemlju, što dovodi do postepenog smanjenja njene pH vrednosti. Povećanje kiselosti zemlje usporava rast šuma i ostalog bilja, a povećanje kiselosti voda se štetno odražava na rast flore i faune u vodama. Kao posledica emisije SO_x nastaju i kisele kiše koje za posledicu imaju izraženo štetno dejstvo na biljke, a mogu da izazovu i koroziju. Istraživanja su pokazala da je sagorevanje uglja daleko najveći izvor emisije sumpor dioksida. Mazut i lož ulje sadrže sumpor ali u manjem procentu nego ugalj, tako da se sagorevanjem emituje manje SO_2 po jedinici proizvedene energije.

Sagorevanjem goriva, pored štetnih gasova koji se emituju dolazi i do emisije čestica. Čestice dalje iniciraju vezivanje drugih materija u atmosferi, utičući na stvaranje smoga u nižim slojevima atmosfere. Koliko će se čestica emitovati u atmosferu zavisi pre svega od vrste korišćenog energenta, a zatim u od sektora upotrebe, što uslovljava režim sagorevanja, postojanje filtera itd. Emisija čestica i pepela potrošnjom energije u industriji uslovljena je postojanjem manjeg broja kotlovskih postrojenja, koja obično nisu opremljena uređajima za upravljanje i regulaciju, kao i prakse da se u takva postrojenja ne ugrađuju efikasniji filteri. Postrojenja u industriji obično ne rade sa optimalnim opterećenjem, često menjaju opterećenje, ili se gase, pa sve to utiče na porast emisije.

Količina zagađujućih materija koja se emituje u atmosferu nakon sagorevanja različitih vrsta biomase zavisi od tehnologije koja se primenjuje, karakteristika goriva, uslova tokom procesa sagorevanja i primenjenih primarnih i sekundarnih mera smanjenja emisija.

Usled raznovrsnosti biomase koja se može koristiti kao gorivo (različit elementarni sastav, sadržaj vlage, gustina i termohemijsko ponašanje) razvijena su različita rešenja za sagorevanje biomase. U svim postrojenjima za sagorevanje biomase poželjno je izvršiti optimizaciju procesa sagorevanja, što može dovesti do smanjenja emisija iz procesa nepotpunog sagorevanja. Međutim, kako bi se emisije značajnije smanjile ili da bi se smanjile emisije iz potpunog sagorevanja, uglavnom je potrebno primeniti sekundarne mere.

Smanjenje štetnih emisija u vidu dimnih gasova i efluenta može se ostvariti ili izbegavanjem nastanka pomenutih materija (primarne mere) ili uklanjanjem datih materija iz dimnog gasa (sekundarne mere). Primarne mere smanjenja emisija imaju za cilj da spreče ili smanje nastajanje emisija unutar komore za sagorevanje. Kod nepotpunog sagorevanja najčešće se koriste mere kao što su: promena sastava goriva, promena udela vlage u gorivu, promena veličine čestica, odabir vrste opreme za sagorevanje, unapređena konstrukcija postrojenja za sagorevanje, sagorevanje sa stepenastim dovodom vazduha, sagorevanje sa stepenastim dovodom goriva i ponovnim sagorevanjem kao i katalitički konverteri [41].

4.3.3. Stehiometrijske jednačine sagorevanja poljoprivredne biomase

Sagorevanje je hemijski proces sjedinjavanja goriva sa kiseonikom uz intenzivno oslobađanje toplote. Proces sagorevanja može da otpočne samo u slučaju ako su molekuli kiseonika u bliskom kontaktu sa molekulima goriva i pod uslovom da se nastaloj smeši dovede izvesna količina energije spolja, koja će poslužiti za kidanje atomskih veza i koja se naziva energijom aktivacije.

Po završenom procesu sjedinjavanja goriva i kiseonika dobijaju se produkti sagorevanja koji se mogu odrediti jednostavnim hemijskim jednačinama. Pomenute jednačine prikazuju konačno stanje produkata sagorevanja. Međutim, tokom procesa sagorevanja se odvijaju veoma složene hemijske reakcije koje odstupaju od konačnih jednačina sagorevanja.

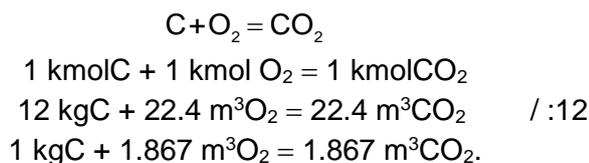
Za određivanje materijalnog bilansa procesa sagorevanja goriva potrebno je poznavati sastav goriva koji se dobija elementarnom i tehničkom analizom. Sastav po jedinici mase za čvrsta goriva prikazuje se pomoću jednačine:

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

gde su:

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

Potpuno sagorevanje ugljenika definiše se sledećom hemijskom reakcijom:



Da bi 1 kg ugljenika potpuno sagoreo, potrebno je dovesti 1.867 m³ kiseonika, pri čemu se dobija 1.867 m³ ugljen dioksida pri normalnim uslovima (1.013·10⁵ Pa i 0 °C). Ako je C maseni udeo ugljenika u gorivu dobija se:

$$m_{\text{CO}_2} = 3.667 \cdot C \left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{kgB}} \right), \quad (4.2)$$

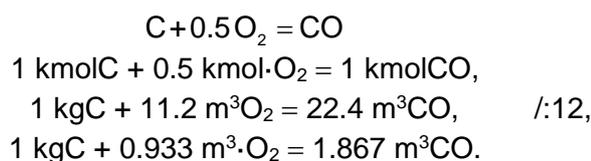
$$V_{\text{CO}_2} = 1.867 \cdot C \left(\frac{\text{m}^3 \text{CO}_2}{\text{kgB}} \right), \quad (4.3)$$

gde su:

m_{CO_2} - masa ugljen dioksida u dimnim gasovima $\left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{kgB}} \right)$,

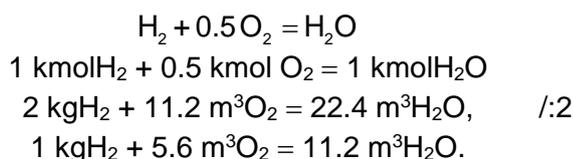
V_{CO_2} - zapremina ugljen dioksida u dimnim gasovima $\left(\frac{\text{m}^3 \text{CO}_2}{\text{kgB}} \right)$.

Zbog manjka kiseonika ugljenik delimično sagoreva u ugljen monoksid prema hemijskoj reakciji:



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

Vodonik sagoreva prema reakciji :



Ako su H i W maseni udeli vodonika i vlage u gorivu, iz prethodnih relacija se dobija:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 9 \cdot H + W \left(\frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgB}} \right), \quad (4.4)$$

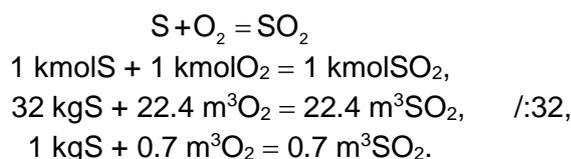
$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{22.4}{18} \cdot (9 \cdot H + W) \left(\frac{\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{\text{kgB}} \right), \quad (4.5)$$

gde su:

$m_{\text{H}_2\text{O}}$ – masa vode u dimnim gasovima $\left(\frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgB}} \right)$,

$V_{\text{H}_2\text{O}}$ – zapremina vode u dimnim gasovima $\left(\frac{\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{\text{kgB}} \right)$.

Sagorevanje sumpora odvija se prema reakciji:



Ako je S maseni udeo sumpora u gorivu dobija se:

$$m_{\text{SO}_2} = \frac{64}{32} \cdot S = 2 \cdot S \left(\frac{\text{kgSO}_2}{\text{kgB}} \right), \quad (4.6)$$

$$V_{\text{SO}_2} = \frac{22.4}{32} \cdot S = 0.7 \cdot S \left(\frac{\text{m}^3\text{SO}_2}{\text{kgB}} \right), \quad (4.7)$$

gde su:

m_{SO_2} – masa sumpor dioksida u dimnim gasovima $\left(\frac{\text{kgSO}_2}{\text{kgB}} \right)$,

V_{SO_2} – zapremina sumpor dioksida u dimnim gasovima $\left(\frac{\text{m}^3\text{SO}_2}{\text{kgB}} \right)$.

U dimnim gasovima prisutni su azot i kiseonik koji potiču od vazduha dovedenog radi sagorevanja goriva. Pri potpunom sagorevanju goriva i za poznati koeficijent viška vazduha ukupno će biti azota i kiseonika:

$$m_{\text{N}_2} = 0.77 \cdot L_v + N = 0.77 \cdot \lambda \cdot L_{\text{min}} + N \left(\frac{\text{kgN}_2}{\text{kgB}} \right), \quad (4.8)$$

$$V_{\text{N}_2} = 0.79 \cdot L_v + \frac{22.4}{28} \cdot N \left(\frac{\text{m}^3\text{N}_2}{\text{kgB}} \right), \quad (4.9)$$

$$m_{\text{O}_2} = 0.23 \cdot (\lambda - 1) \cdot L_{\text{min}} \left(\frac{\text{kgO}_2}{\text{kgB}} \right), \quad (4.10)$$

$$V_{\text{O}_2} = 0.21 \cdot (\lambda - 1) \cdot L_{\text{min}} \left(\frac{\text{m}^3\text{O}_2}{\text{kgB}} \right), \quad (4.11)$$

gde su:

$$m_{N_2} - \text{masa azota u dimnim gasovima} \left(\frac{\text{kgN}_2}{\text{kgB}} \right),$$

$$V_{N_2} - \text{zapremina azota u dimnim gasovima} \left(\frac{\text{m}^3\text{N}_2}{\text{kgB}} \right),$$

$$m_{O_2} - \text{masa kiseonika u dimnim gasovima} \left(\frac{\text{kgO}_2}{\text{kgB}} \right),$$

$$V_{O_2} - \text{zapremina kiseonika u dimnim gasovima} \left(\frac{\text{m}^3\text{O}_2}{\text{kgB}} \right),$$

λ – koeficijent viška vazduha (-),

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0.23} - \text{minimalna (teorijska) potrošnja vazduha} \left(\frac{\text{kgVAZDUHA}}{\text{kgB}} \right),$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0.21} - \text{minimalna (teorijska) potrošnja vazduha} \left(\frac{\text{m}^3\text{VAZDUHA}}{\text{kgB}} \right),$$

$$O_{\min} = 2.667 \cdot C + 8 \cdot H + S - O - \text{minimalna (teorijska) potrošnja kiseonika} \left(\frac{\text{kgO}_2}{\text{kgB}} \right),$$

$$O_{\min} = 1.867 \cdot C + 5.6 \cdot H + 0.7 \cdot (S - O) - \text{minimalna (teorijska) potrošnja kiseonika} \left(\frac{\text{m}^3\text{O}_2}{\text{kgB}} \right),$$

$$L_v = \lambda \cdot L_{\min} - \text{stvarna potrošnja vazduha} \left(\frac{\text{kgVAZDUHA}}{\text{kgB}} \right), \left(\frac{\text{m}^3\text{VAZDUHA}}{\text{kgB}} \right),$$

$$N - \text{maseni udeo azota u gorivu} \left(\frac{\text{kgN}}{\text{kgB}} \right).$$

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

$$m_{\text{vdg}} = m_{\text{CO}_2} + m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{SO}_2} + m_{\text{N}_2} + m_{\text{O}_2} \left(\frac{\text{kg}}{\text{kgB}} \right), \quad (4.12)$$

a masa suvih dimnih gasova:

$$m_{\text{sdg}} = m_{\text{CO}_2} + m_{\text{SO}_2} + m_{\text{N}_2} + m_{\text{O}_2} \left(\frac{\text{kg}}{\text{kgB}} \right), \quad (4.13)$$

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

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

$$V_{\text{sdg}} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kgB}} \right). \quad (4.15)$$

Zapreminski udeli 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:

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

gde je:

V_i – zapremina i-te komponente u vlažnim dimnim gasovima $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{kgB}} \right)$.

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

4.3.3.1. Brojčani primer proračuna materijalnog bilansa procesa sagorevanja oklaska kukuruza

Primer proračuna materijalnog bilansa procesa sagorevanja oklaska kukuruza izvršen je za sastav goriva prikazan u tabeli 3.4. i primenom izraza (4.2) do (4.17). Kako je sastav oklaska kukuruza: $A=0.0114$ kg/kg, $C=0.4674$ kg/kg, $H=0.0546$ kg/kg, $O=0.3416$ kg/kg, $N=0.0383$ kg/kg, $S=0.0012$ kg/kg, $W=0.0855$ kg/kg, proračun pojedinih veličina iznosi:

$$m_{\text{CO}_2} = 3.667 \cdot C = 3.667 \cdot 0.4674 = 1.7139 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kgB}},$$

$$V_{\text{CO}_2} = 1.867 \cdot C = 1.867 \cdot 0.4674 = 0.8726 \frac{\text{m}^3\text{CO}_2}{\text{kgB}},$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 9 \cdot H + W = 9 \cdot 0.0546 + 0.0855 = 0.5769 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgB}},$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{22.4}{18} \cdot (9 \cdot H + W) = \frac{22.4}{18} \cdot (9 \cdot 0.0546 + 0.0855) = 0.7179 \frac{\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{\text{kgB}},$$

$$m_{\text{SO}_2} = \frac{64}{32} \cdot S = 2 \cdot S = 2 \cdot 0.0012 = 0.0024 \frac{\text{kgSO}_2}{\text{kgB}},$$

$$V_{\text{SO}_2} = \frac{22.4}{32} \cdot S = 0.7 \cdot 0.0012 = 0.0008 \frac{\text{kgSO}_2}{\text{kgB}},$$

$$O_{\text{min}} = 2.667 \cdot C + 8 \cdot H + S - O = 2.667 \cdot 0.4674 + 8 \cdot 0.0546 + 0.0012 - 0.3416 = 1.3429 \frac{\text{kgO}_2}{\text{kgB}},$$

$$\begin{aligned} O_{\text{min}} &= 1.867 \cdot C + 5.6 \cdot H + 0.7 \cdot (S - O) = \\ &= 1.867 \cdot 0.4674 + 5.6 \cdot 0.0546 + 0.7 \cdot (0.0012 - 0.3416) = 0.9401 \frac{\text{m}^3\text{O}_2}{\text{kgB}}, \end{aligned}$$

$$L_{\text{min}} = \frac{O_{\text{min}}}{0.23} = \frac{1.3429}{0.23} = 5.8387 \frac{\text{kgVAZDUHA}}{\text{kgB}},$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0.21} = \frac{0.9401}{0.21} = 4.4767 \frac{\text{m}^3 \text{VAZDUHA}}{\text{kgB}},$$

$$L_v = \lambda \cdot L_{\min} = 1 \cdot 5.8387 = 5.8387 \frac{\text{kgVAZDUHA}}{\text{kgB}}, \text{ za } \lambda = 1,$$

$$L_v = \lambda \cdot L_{\min} = 1 \cdot 4.4767 = 4.4767 \frac{\text{m}^3 \text{VAZDUHA}}{\text{kgB}}, \text{ za } \lambda = 1,$$

$$m_{N_2} = 0.77 \cdot L_v + N = 0.77 \cdot 5.8387 + 0.0383 = 4.5341 \frac{\text{kgN}_2}{\text{kgB}}, \text{ za } \lambda = 1,$$

$$V_{N_2} = 0.79 \cdot L_v + \frac{22.4}{28} \cdot N = 0.79 \cdot 4.4767 + \frac{22.4}{28} \cdot 0.0383 = 3.5672 \frac{\text{m}^3 \text{N}_2}{\text{kgB}}, \text{ za } \lambda = 1,$$

$$m_{O_2} = 0.23 \cdot (\lambda - 1) \cdot L_{\min} = 0.23 \cdot (1 - 1) \cdot 5.8387 = 0 \frac{\text{kgO}_2}{\text{kgB}}, \text{ za } \lambda = 1,$$

$$V_{O_2} = 0.21 \cdot (\lambda - 1) \cdot L_{\min} = 0.21 \cdot (1 - 1) \cdot 4.4767 = 0 \frac{\text{m}^3 \text{O}_2}{\text{kgB}}, \text{ za } \lambda = 1,$$

$$m_{\text{sdg}} = m_{\text{CO}_2} + m_{\text{SO}_2} + m_{\text{N}_2} + m_{\text{O}_2} = 1.7139 + 0.0024 + 4.5341 + 0 = 6.2504 \frac{\text{kg}}{\text{kgB}}, \text{ za } \lambda = 1,$$

$$V_{\text{sdg}} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2} = 0.8726 + 0.0008 + 3.5672 + 0 = 4.4406 \frac{\text{m}^3}{\text{kgB}}, \text{ za } \lambda = 1,$$

$$m_{\text{vdg}} = m_{\text{CO}_2} + m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{SO}_2} + m_{\text{N}_2} + m_{\text{O}_2} = 1.7139 + 0.5769 + 0.0024 + 4.5341 + 0 =$$

$$= 6.8273 \frac{\text{kg}}{\text{kgB}}, \text{ za } \lambda = 1,$$

$$V_{\text{vdg}} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2} = 0.8726 + 0.7179 + 0.0008 + 3.5672 + 0 =$$

$$= 5.1585 \frac{\text{m}^3}{\text{kgB}}, \text{ za } \lambda = 1.$$

Prema bilansu mase (slika 4.26.) masa vlažnih dimnih gasova iznosi:

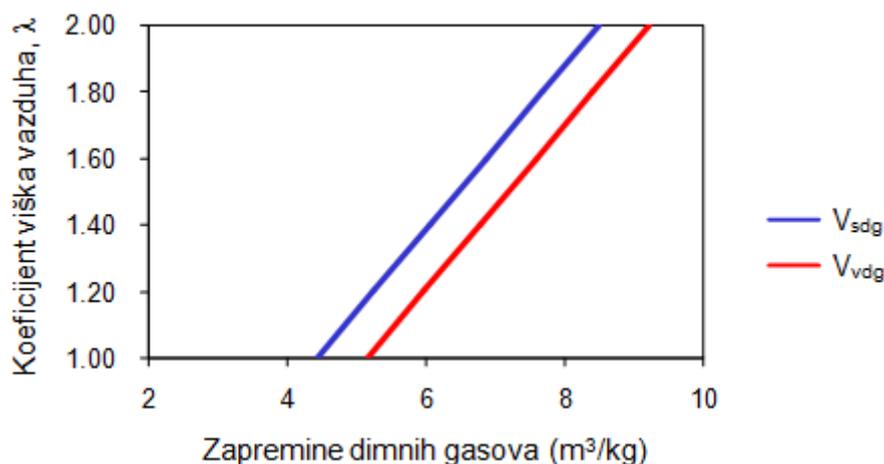
$$m_{\text{vdg}} = 1 - A + \lambda \cdot L_{\min} = 1 - 0.0114 + 1 \cdot 5.8387 = 6.8273 \frac{\text{kg}}{\text{kgB}}, \text{ za } \lambda = 1,$$

a izračunata vrednost iznosi $m_{\text{vdg}} = 6.8273 \frac{\text{kg}}{\text{kgB}}$. Neusklađenost bilansa iznosi $0 \frac{\text{kg}}{\text{kgB}}$ što je veoma bitno za praktične inženjerske proračune.



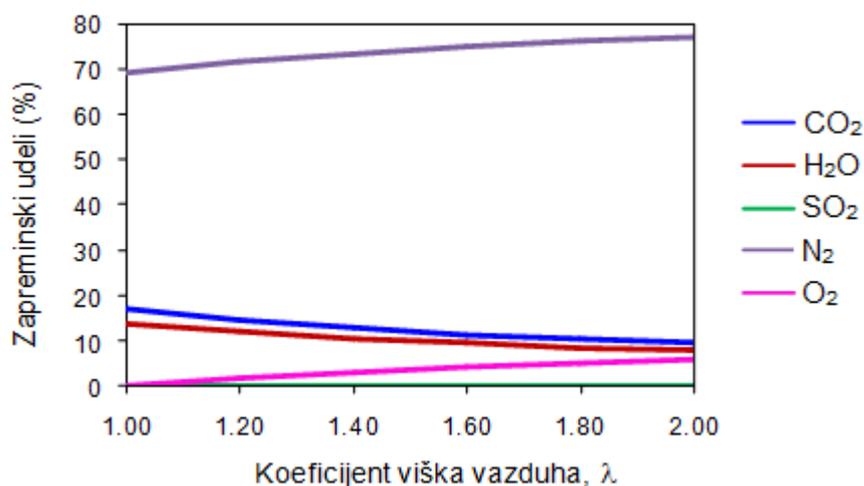
Slika 4.26. Šematski prikaz materijalnog bilansa procesa sagorevanja oklaska kukuruza

Proračun materijalnog bilansa procesa sagorevanja oklaska kukuruza u zavisnosti od koeficijenta viška vazduha prikazan je u *Prilogu 1*, a dijagram produkata sagorevanja prikazan je na slici 4.27.



Slika 4.27. Zapremina dimnih gasova u zavisnosti od koeficijenta viška vazduha

Zapreminski udeli gasova u vlažnom dimnom gasu prikazani su u *Prilogu 2*, a dijagram zavisnosti zapreminskih udela u dimnim gasovima od koeficijenta viška vazduha prikazan je na slici 4.28.



Slika 4.28. Sastav vlažnih dimnih gasova u zavisnosti od koeficijenta viška vazduha

4.3.4. Određivanje adijabatske temperature sagorevanja oklaska kukuruza

Teorijska temperatura sagorevanja goriva može se odrediti iz toplotnog bilansa procesa sagorevanja, po kome je suma toplotne moći goriva H_d , entalpije jedinice mase goriva i entalpije dovedenog vazduha jednaka entalpiji produkata sagorevanja (slika 4.26.). Ako se zanemare toplotni gubici, toplotni bilans procesa sagorevanja goriva može se prikazati izrazom:

$$H_d + c_{pg} \cdot t_g + \lambda \cdot L_{\min} \cdot c_{pL} \cdot t_L = (1 - A + \lambda \cdot L_{\min}) \cdot c_{pvdg} \cdot t_{\text{teor}} + A \cdot c_{pA} \cdot t_A, \quad (4.18)$$

odakle se dobija izraz za određivanje teorijske temperature sagorevanja goriva:

$$t_{\text{teor}} = \frac{H_d}{(1-A + \lambda \cdot L_{\text{min}}) \cdot c_{\text{pvdg}}} + \frac{\lambda \cdot L_{\text{min}} \cdot c_{\text{pL}} \cdot t_L + c_{\text{pg}} \cdot t_g}{(1-A + \lambda \cdot L_{\text{min}}) \cdot c_{\text{pvdg}}} - \frac{A \cdot c_{\text{pA}} \cdot t_A}{(1-A + \lambda \cdot L_{\text{min}}) \cdot c_{\text{pvdg}}} \quad (^\circ\text{C}), \quad (4.19)$$

gde su:

$$c_{\text{pvdg}} = \sum_i g_i c_{\text{pi}} = \frac{1}{m} \sum_i m_i c_{\text{pi}} - \text{specifični toplotni kapacitet vlažnih dimnih gasova} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right),$$

$$c_{\text{pL}} - \text{specifični toplotni kapacitet vazduha} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right),$$

$$c_{\text{pg}} - \text{specifični toplotni kapacitet goriva} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right),$$

$$c_{\text{pA}} - \text{specifični toplotni kapacitet pepela} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right),$$

t_L – temperatura vazduha ($^\circ\text{C}$),

t_g – temperatura goriva ($^\circ\text{C}$),

t_A – temperatura pepela ($^\circ\text{C}$).

Temperatura sagorevanja 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:

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

ili pomoću izraza:

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

gde su:

$$c_{\text{pvdg}} - \text{specifični toplotni kapacitet vlažnih dimnih gasova pri konstantnom pritisku} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right),$$

$$c_{\text{vvdg}} - \text{specifični toplotni kapacitet vlažnih dimnih gasova pri konstantnoj zapremini} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}} \right).$$

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 izraza:

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

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

gde su:

g_i – maseni udeli komponente i u vlažnim dimnim gasovima $\left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}}\right)$,

φ_i – zapreminski udeli komponente i u vlažnim dimnim gasovima $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}\right)$,

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 3 [44]).

4.3.4.1. Brojčani primer 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 vrednostima iz Priloga 1 i korišćenjem izraza (4.22) i (4.20) dobija se:

specifični toplotni kapacitet vlažnih dimnih gasova:

$$c_{p_{\text{vdg}}} = \frac{1}{m_{\text{vdg}}} \cdot (m_{\text{CO}_2} \cdot c_{p_{\text{CO}_2}} + m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{p_{\text{H}_2\text{O}}} + m_{\text{SO}_2} \cdot c_{p_{\text{SO}_2}} + m_{\text{N}_2} \cdot c_{p_{\text{N}_2}} + m_{\text{O}_2} \cdot c_{p_{\text{O}_2}}) =$$

$$= \frac{1}{6.8273} \cdot (1.7139 \cdot 0.8658 + 0.5769 \cdot 1.8690 + 0.0024 \cdot 0.6364 + 4.5341 \cdot 1.0404 + 0 \cdot 0.9232) =$$

$$= 1.0664 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}},$$

gde su:

$m_{\text{CO}_2} = 1.7139 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$ – masa ugljen dioksida u vlažnim dimnim gasovima za $\lambda = 1$,

$m_{\text{H}_2\text{O}} = 0.5769 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$ – masa vode u vlažnim dimnim gasovima za $\lambda = 1$,

$m_{\text{SO}_2} = 0.0024 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$ – masa sumpor dioksida u vlažnim dimnim gasovima za $\lambda = 1$,

$m_{\text{N}_2} = 4.5341 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$ – masa azota u vlažnim dimnim gasovima za $\lambda = 1$,

$m_{\text{O}_2} = 0 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$ – masa kiseonika u vlažnim dimnim gasovima za $\lambda = 1$,

$m_{\text{vdg}} = 6.8273 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$ – masa vlažnih dimnih gasova za $\lambda = 1$,

$c_{p_{\text{CO}_2}} = 0.8658 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ – izobarski specifični toplotni kapacitet ugljen dioksida pri temperaturi od 100 °C,

$c_{p_{\text{H}_2\text{O}}} = 1.8690 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ – izobarski specifični toplotni kapacitet vodene pare pri temperaturi od 100 °C,

$c_{pSO_2} = 0.6364 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ – izobarski specifični toplotni kapacitet sumpor dioksida pri temperaturi od 100 °C,

$c_{pN_2} = 1.0404 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ – izobarski specifični toplotni kapacitet azota pri temperaturi od 100 °C,

$c_{pO_2} = 0.9232 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ – izobarski specifični toplotni kapacitet kiseonika pri temperaturi od 100 °C,

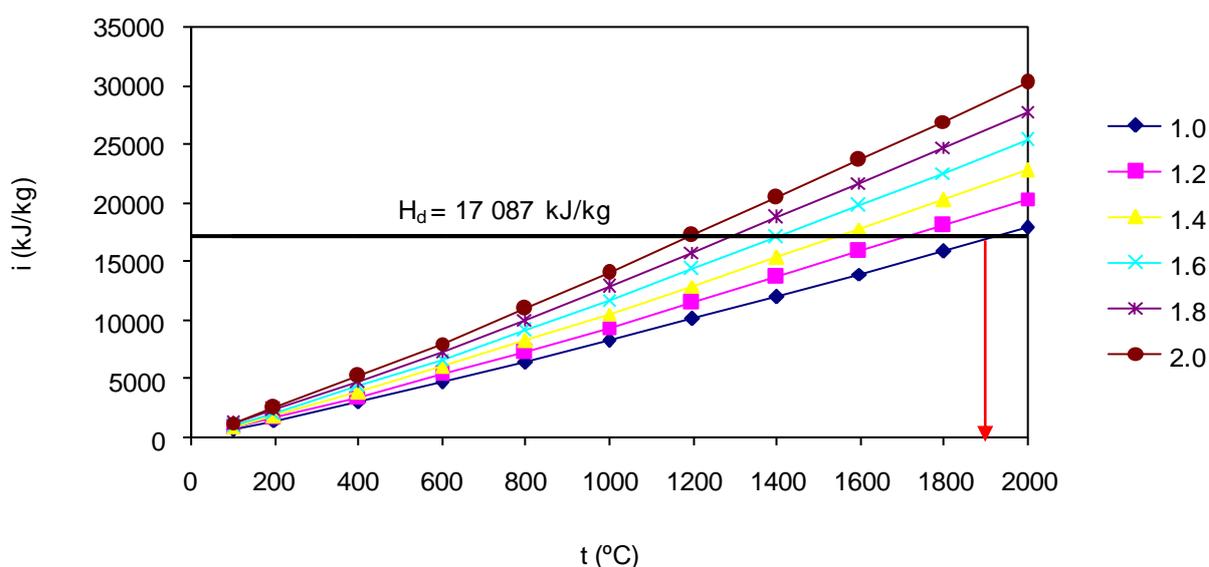
i entalpija dimnih gasova:

$$i = m_{\text{vdg}} \cdot c_{p\text{vdg}} \cdot t = 6.8273 \cdot 1.0664 \cdot 100 = 728.0925 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Na sličan način mogu se izračunati entalpije dimnih gasova za različite vrednosti temperatura i za različite vrednosti koeficijenta viška vazduha (*Prilog 4*). Donja toplotna moć oklaska kukuruza određuje se pomoću sledećeg izraza:

$$\begin{aligned} H_d &= 33900 \cdot C + 121400 \cdot \left(H - \frac{O}{8}\right) + 10460 \cdot S - 2510 \cdot W = \\ &= 33900 \cdot 0.4674 + 121400 \cdot \left(0.0546 - \frac{0.3416}{8}\right) + 10460 \cdot 0.0114 - 2510 \cdot 0.0855 = \\ &= 17087.47 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}. \end{aligned}$$

Grafička zavisnost entalpije dimnih gasova od temperature i koeficijenta viška vazduha prikazana je na slici 4.29.



Slika 4.29. Zavisnost entalpije vlažnih dimnih gasova od temperature sagorevanja oklaska kukuruza i koeficijenta viška vazduha

Kada koeficijent viška vazduha iznosi 1, teorijska (pirometrijska) temperatura sagorevanja iznosi 1900 °C pri normalnim uslovima za date karakteristike oklaska kukuruza toplotne moći $H_d = 17087$ kJ/kg. U slučaju potpunog sagorevanja pri $\lambda = 1$, jedan deo toplotne energije potreban je za disocijaciju produkata sagorevanja, tako da se ne može postići temperatura od 1900 °C. Na osnovu poznavanja toplotne energije koja se troši za disocijaciju produkata sagorevanja može se odrediti teorijska (adijabatska) temperatura pomoću izraza (4.19) ili pomoću $i - t$ dijagrama (slika 4.29.) za poznati koeficijent viška vazduha λ .

Određivanjem adijabatske temperature sagorevanja goriva moguće je proceniti temperaturu plamena u ložištu. Maksimalna temperatura plamena, radi očuvanja postojanosti materijala zidova ložišta, ne bi smela prelaziti 1700 - 1800 °C, što se postiže odabirom odgovarajućeg koeficijenta viška vazduha (za oklasak kukuruza $\lambda = 1.1 - 1.2$).

Kinetika hemijskih reakcija mnogo je složenija u realnim uslovima. Kako bi se opisao proces sagorevanja ugljovodonika, potrebne su desetine povratnih hemijskih reakcija. Tokom procesa sagorevanja gasovi disosuju stvarajući veliki broj jednostavnijih hemijskih komponenti koje dalje u nizu elementarnih hemijskih reakcija reaguju međusobno. U tabeli 4.8. [45] prikazana je zavisnost konstanti ravnoteža disocijacije produkata sagorevanja ugljovodonika sa vazduhom CO_2 , H_2O , O_2 i H_2 .

Tabela 4.8. Zavisnost konstanti ravnoteža hemijskih reakcija od temperature [45]

	$\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + \frac{1}{2}\text{O}_2$	$\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$	$\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{OH} + \frac{1}{2}\text{H}_2$	$\text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{O}$	$\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}$
T(K)	$K_p \left(\text{Pa}^{\frac{1}{2}} \right)$	$K_p \left(\text{Pa}^{\frac{1}{2}} \right)$	$K_p \left(\text{Pa}^{\frac{1}{2}} \right)$	$K_p \text{ (Pa)}$	$K_p \text{ (Pa)}$
500	$0.9886 \cdot 10^{-25}$	$0.1302 \cdot 10^{-22}$	$0.3518 \cdot 10^{-26}$	$0.2944 \cdot 10^{-45}$	$0.4899 \cdot 10^{-40}$
1000	$0.6331 \cdot 10^{-10}$	$0.8728 \cdot 10^{-10}$	$0.3604 \cdot 10^{-10}$	$0.3631 \cdot 10^{-19}$	$0.5148 \cdot 10^{-17}$
1500	$0.5870 \cdot 10^{-5}$	$0.1885 \cdot 10^{-5}$	$0.4016 \cdot 10^{-6}$	$0.2113 \cdot 10^{-10}$	$0.3087 \cdot 10^{-9}$
2000	$0.1371 \cdot 10^{-2}$	$0.2892 \cdot 10^{-3}$	$0.1378 \cdot 10^{-3}$	$0.5376 \cdot 10^{-6}$	$0.2631 \cdot 10^{-5}$
2500	$0.3810 \cdot 10^{-1}$	$0.6037 \cdot 10^{-2}$	$0.4625 \cdot 10^{-2}$	$0.2423 \cdot 10^{-1}$	$0.6284 \cdot 10^{-3}$
3000	0.3417	$0.4628 \cdot 10^{-1}$	$0.4841 \cdot 10^{-1}$	$0.1441 \cdot 10^{-1}$	$0.2475 \cdot 10^{-1}$
3500	1.6100	0.2000	0.2601	0.2680	0.3459

LITERATURA

- [1] Bridgwater A. V. 1994. Catalysis in thermal biomass conversion. *Applied Catalysis A: General* 116: 5 - 57.
- [2] McKendry P. 2002. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource Technology* 83 (1): 47 - 54.
- [3] Mihajlović E, Mitić D, Stanojević M. 2005. Gasogenerator kao izvor toplotne i električne energije. *Agronomska saznanja* 6: 19 - 22.
- [4] Mitić D, Stanković M, Protić M. 2009. Biomasa za toplotnu energiju. Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu, Niš.
- [5] Maschio G, Koufopoulos C, Lucchesi A. 1992. Pyrolysis, a promising route for biomass utilization. *Bioresource Technology* 42 (3): 219 - 231.
- [6] Marsh R, Hewlett S, Griffiths T, Williams K. 2007. Advanced thermal treatment for solid waste - a waste manager's guide. *Proceeding of the 22nd international conference on solid waste management and technology*. Philadelphia, USA.
- [7] Demirbas A. 2001. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion Management* 42: 1357 - 1378.
- [8] Marshall A. J. 2013. Commercial Application of Pyrolysis Technology in Agriculture, project by Ontario Federation of Agriculture.
- [9] Tillman D. A. 1977. Energy from Wastes: An Overview of Present Technologies and Programs. In *Fuels from Wastes*, eds. Anderson L. L, Tillman D. A, 17 - 40. Academic Press, London.
- [10] Luengo C. A, Cencig M. O. 1991. Biomass Pyrolysis in Brazil: Status Report. In *Biomass Pyrolysis Liquids Upgrading and Utilisation*, eds. Bridgwater A. V, Grassi G, ch. 8, 299 - 309. Elsevier Applied Science, London.
- [11] Williams T. P, Besler S. 1996. The influence of temperature and heating rate on the slow pyrolysis of biomass. *Renewable Energy* 7 (3): 233 - 250.
- [12] Bridgwater A. V, Peacocke G. V. C. 1999. Fast Pyrolysis Processes for Biomass. *Sustainable and Renewable Energy Reviews* 4 (1): 1 - 73.
- [13] www.pyne.co.uk (21.11.2014.)
- [14] Peacocke G. V. C, Bridgwater A. V. 1993. Design of a Novel Ablative Pyrolysis Reactor. In *Advances in Thermochemical Biomass Conversion*, ed. Bridgwater A. V, 1134 - 1150. Springer Science+Business Media, Dordrecht.
- [15] Sadaka S, Boateng A. A. 2009. Pyrolysis and bio-oil. University of Arkansas, United States Department of Agriculture, and County Governments Cooperating, Little Rock, Arkansas.
- [16] Marshall A. J. 2013. Commercial Application of Pyrolysis Technology in Agriculture, project by Ontario Federation of Agriculture.
- [17] Ronsse F, Dickinson D, Nachenius R, Prins W. 2013. Biomass pyrolysis and biochar characterization. 1st FOREBIOM Workshop, Vienna.
- [18] Fendt A, Streibel T, Sklorz M, Richter D, Dahmen N, Zimmermann R. 2012. On-Line Process Analysis of Biomass Flash Pyrolysis Gases Enabled by Soft Photoionization Mass Spectrometry. *Energy Fuels* 26 (1): 701 - 711.

- [19] Goyal H. B, Diptendu S, Saxena R. C. 2008. Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review. *Renewable and sustainable energy reviews* 12: 504 - 517.
- [20] Cardenas Barrañon D. C. 2006. Methanol and Hydrogen Production. Master Thesis, Department of Applied Physics, Mechanical and Material Engineering, Luleå University of Technology, Luleå.
- [21] Hamelinck C, Faaij A. 2006. Outlook for advanced biofuels. *Energy Policy* 34 (17): 3268 - 3283.
- [22] Rajvanshi A. K. 1986. Biomass gasification. In *Alternative Energy in Agriculture*, vol II, ed. Goswami Y. CRC Press Inc., Boca Raton Florida.
- [23] Bridgwater A. V. 2003. Renewable fuels and chemical by thermal processing of biomass. *Chemical Engineering Journal* 91 (2-3): 87 - 102.
- [24] Sutton D. 2001. Review of literature on catalysts for biomass gasification. *Fuel Processing Technology* 73 (3): 155 - 173.
- [25] Seitarides T, Athanasiou C, Zabaniotou A. 2008. Modular biomass gasification-based solid oxide fuel cells (SOFC) for sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12 (5): 1251 - 1276.
- [26] Vessia Ø. 2005. Biofuels from lignocellulosic material, In the Norwegian context 2010. Project report NTNU, Norwegian University of Science and Technology. Faculty of information technology, mathematics and electrical engineering, Trondheim.
- [27] Predojević Z. 2010. Goriva iz biomase: bioetanol i biodizel. Tehnološki fakultet Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad.
- [28] Hemelinck C. N, Faaij A. P. C. 2002. Future prospects for production of methanol and hydrogen from biomass. *Journal of Power Sources* 111 (1): 1 - 22.
- [29] Björn A. 2007. Biomass and Coke Oven gas based Methanol Production, Master Thesis, Department of Applied Physics, Mechanical and Material Engineering, Luleå University of Technology, Luleå.
- [30] Turn S. Q, Kinoshita C. M, Ishimura D. M, Zhou J, Hiraki T. T, Masutani S. M. 1998. A review of sorbent materials for fixed bed alkali getter systems in biomass gasifier combined cycle power generation applications. *Journal of the Institute of Energy* 71: 163 - 177.
- [31] Ciferno J, Marano J. 2002. Benchmarking Biomass Gasification Technologies for Fuels, Chemicals and Hydrogen Production, Project Report. US Department of Energy, National Energy Technology Laboratory (NETL).
- [32] www.chamco.net/Gasification.htm (29.11.2014.)
- [33] www.gbgasified.com/model.html (30.11.2014.)
- [34] Henrich E, Weirich F. 2004. Pressurized Entrained Flow Gasifiers for Biomass. *Environmental Engineering Science* 21 (1): 53 - 64.
- [35] Bridgwater A. V. 1995. The Technical and Economic Feasibility of Biomass gasification for Power Generation. *Fuel* 74 (5): 631 - 653.
- [36] www.csymb.com (2.12.2014.)
- [37] www.andritz.com (2.12.2014.)
- [38] Knoef H. A. M. 2000. Inventory of biomass gasifier manufacturers and installation. Final report to European Commission. Contract DIS/1734/98-NL Biomass Technology Group B. V., University of Twente, Enschede.

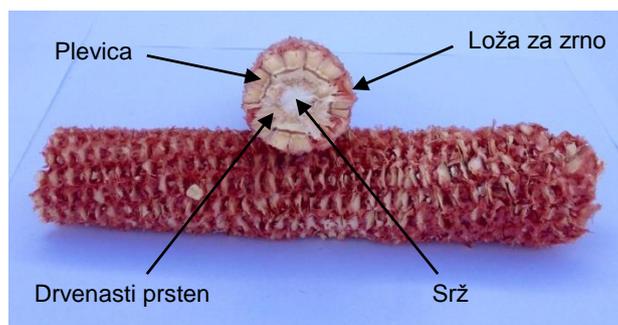
- [39] Brkić M, Janić T, Pejović G, Kostić B. 2012. Raspoloživost i troškovi biomase za potrebe sistema daljinskog grejanja na području opština Vrbasa i Kule, predstudija. CeSID, Novi Sad.
- [40] Janić T, Brkić M, Igić S, Dedović N. 2010. Biomasa - energetski resurs za budućnost. Savremena poljoprivredna tehnika 36 (2): 167 - 177.
- [41] Fletcher T. H. 2012. Handbook of Biomass and Co-Firing. Brigham Young University, Provo, Utah.
- [42] Lončar D, Krajačić G, Vujanović M. 2009. Podrška developerima - primjeri najbolje prakse za kogeneraciju na drvnu biomasu, projekat. Centar za transfer tehnologije, Zagreb.
- [43] Živković M. 2013. Ekologija sagorevanja, skripta. Rudarsko - geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- [44] Bogner M. Termotehničar. 2003. Interklima-grafika, Vrnjačka Banja. Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije, Beograd
- [45] Đorđević B, Valent V, Šerbanović S. 1990. Termodinamika i termotehnika, drugo dopunjeno izdanje. DIP "Građevinska knjiga", Beograd.

5

EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE PROCESA PIROLIZE I GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA

5.1. Uzorkovanje i priprema oklasa kukuruza

Klip kukuruza čine zrno i oklasak. Pojedinačnim merenjem velikog broja oklasaka najraširenijih hibrida merkantilnog kukuruza utvrđeno je da se prosečna masa suvog oklasa kreće između 35 i 45 grama [1]. Navedena masa čini 8 do 10% od ukupnog prinosa suve materije kukuruznih biljaka. Oklasak se sastoji od unutrašnjih (loža za zrno) i spoljašnjih plevica, drvenastog prstena i meke (šupljikave) srži (slika 5.1.). Plevice i lože zrna iznose od 35.1 do 43.1%, drvenasti deo 53.5 do 60.4% i srž 3.3 do 4.3% [1].



Slika 5.1. Poprečni presek oklasa kukuruza

Kao sirovina za ispitivanje procesa pirolize i gasifikacije korišćen je oklasak kukuruza, bez prethodnog tretmana (slika 5.2.).



Slika 5.2. Fotografski izgled uzorka oklasa kukuruza korišćenog u eksperimentu

Uzorci potiču sa poljoprivrednog zemljišta iz Siriga (Vojvodina). Dobijeno je 3 kg oklasa kukuruza, od čega je 1.75 kg utrošeno za potrebe eksperimentalnog ispitivanja procesa pirolize i gasifikacije.

Tehnička i elementarna analiza uzorka oklasa kukuruza urađena je u Institutu za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu i Institutu za ratarstvo i povrtarstvo iz Novog Sada [2, 3]. Rezultati tehničke i elementarne analize sastava oklasa kukuruza prikazani su u tabeli 5.1. Analiza je izvršena u skladu sa ASTM standardima [4, 5].

Tabela 5.1. Tehnička i elementarna analiza oklaska kukuruza korišćenog u eksperimentalnom ispitivanju procesa pirolize i gasifikacije [2, 3]

Tehnička analiza

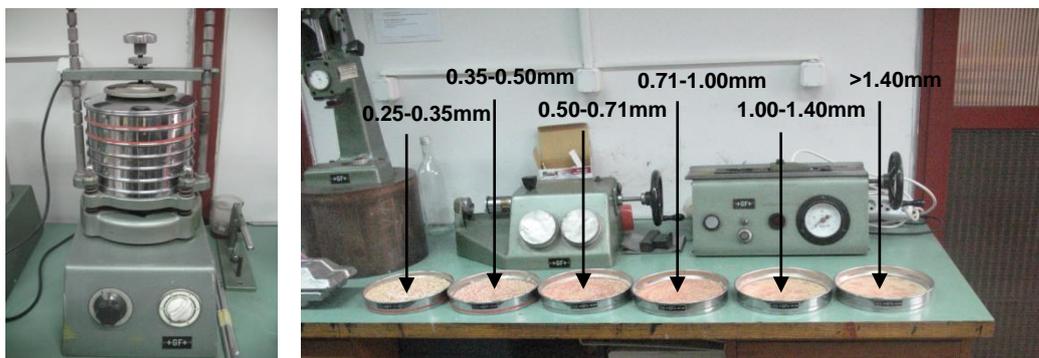
	(maseni udeo, %)
Isparljive materije (VM)	70.95
Fiksni ugljenik (C_{fix})	19.36
Vlaga (W)	8.55
Pepeo (A)	1.14
Donja toplotna moć, H_d (kJ/kg)	17087.47

Elementarna analiza

	(maseni udeo, %)
Ugljenik (C)	46.74
Vodonik (H)	5.46
Azot (N)	3.83
Sumpor (S)	0.12
Kiseonik (O) ^a	34.16

^aDobijen proračunom

Oklasci kukuruza usitnjeni su pomoću krupača. U cilju određivanja granulometrijskog sastava uzorka oklaska kukuruza izvršena je sitovna analiza u laboratoriji Departmana za proizvodno mašinstvo (Katedra za tehnologije oblikovanjem i inženjerstvo površina) (slika 5.3.).



Slika 5.3. Fotografski izgled sitovne analize oklaska kukuruza

Za granulometrijsku analizu korišćena su standardna sita kod kojih se veličina okaca menja prema određenom modulu i za koje je debljina žice tačno određena. Granulometrijska (sitovna) analiza se vrši tako što se tačno određena masa materijala prosejava kroz sve gušća sita. Prosejavanjem kroz seriju sita dobijaju se čestice približno iste veličine. Dobijene grupe čestica se nazivaju frakcijama. Sitovnom analizom usitnjenog oklaska kukuruza dobijene su sledeće frakcije: 0.25 - 0.35 mm, 0.35 - 0.50 mm, 0.50 - 0.71 mm, 0.71 - 1.00 mm, 1.00 - 1.40 mm. Jednu frakciju čine čestice koje prolaze kroz sito sa krupnijim otvorima, a zadržavaju se na situ sa manjim otvorima ispod njega. Nakon prosejavanja vrši se merenje mase svake frakcije (masa materijala na svakom situ).

Na osnovu izmerenih masa frakcija može se izračunati maseni udeo svake frakcije, a time i sastav materijala prema veličini čestica:

$$X_j = \frac{m_j}{m_u}, \quad (5.1)$$

gde su:

X_j - maseni udeo j-te frakcije (g/g),

m_j - masa j-te frakcije (g),

m_u - početna masa uzorka za sitovnu analizu (g).

Rezultati granulometrijske analize prikazani su tabelarno (tabela 5.2.) i mogu se iskoristiti za definisanje funkcije raspodele zrna, kao i za određivanje ekvivalentnog prečnika čestice.

Ekvivalentni prečnik čestice dobija se pomoću izraza:

$$d_e = \frac{1}{\sum \frac{X_j}{d_j}}, \quad (5.2)$$

gde su:

d_e - ekvivalentni prečnik čestice (mm),

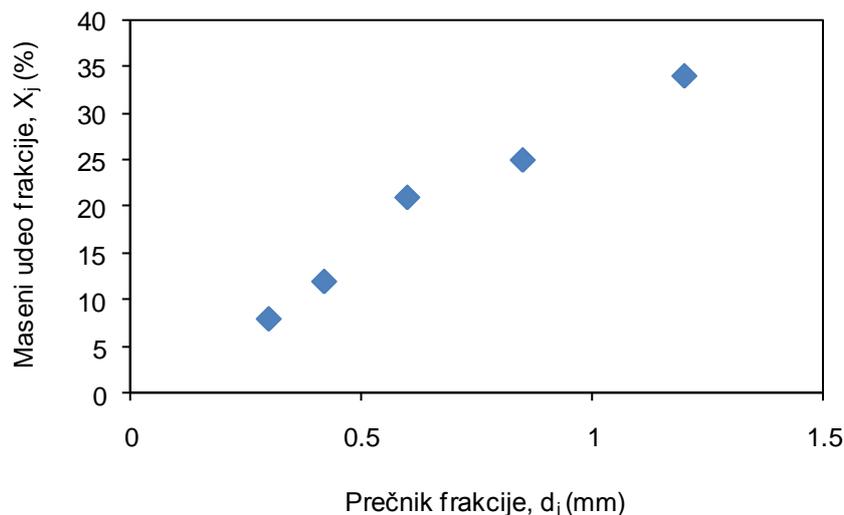
d_j - srednji prečnik u okviru j-te frakcije (mm),

X_j - maseni udeo j-te frakcije (%).

Tabela 5.2. Rezultati sitovne analize

Broj frakcije, j	Frakcije (veličina čestice) (mm)	Srednji prečnik frakcije, d_j (mm)	Masa frakcije, m_j (g)	Maseni udeo frakcije, X_j (%)	Kumulativna masena učestalost, (%)	X_j/d_j (1/mm)	d_e (mm)
1.	0.25-0.35	0.30	61	8	8	0.27	3.70
2.	0.35-0.50	0.42	92	12	20	0.29	1.79
3.	0.50-0.71	0.60	156	21	41	0.35	1.10
4.	0.71-1.00	0.85	189	25	66	0.29	0.83
5.	1.00-1.40	1.20	252	34	100	0.28	0.68
Suma			750	100			8.10

Na osnovu rezultata sitovne analize (tabela 5.2.) može se grafički predstaviti funkcija raspodele zrna, tj. zavisnost masenog udela frakcije od prečnika frakcije. Na slici 5.4. predstavljen je grafički prikaz funkcije raspodele zrna.



Slika 5.4. Funkcija raspodele zrna

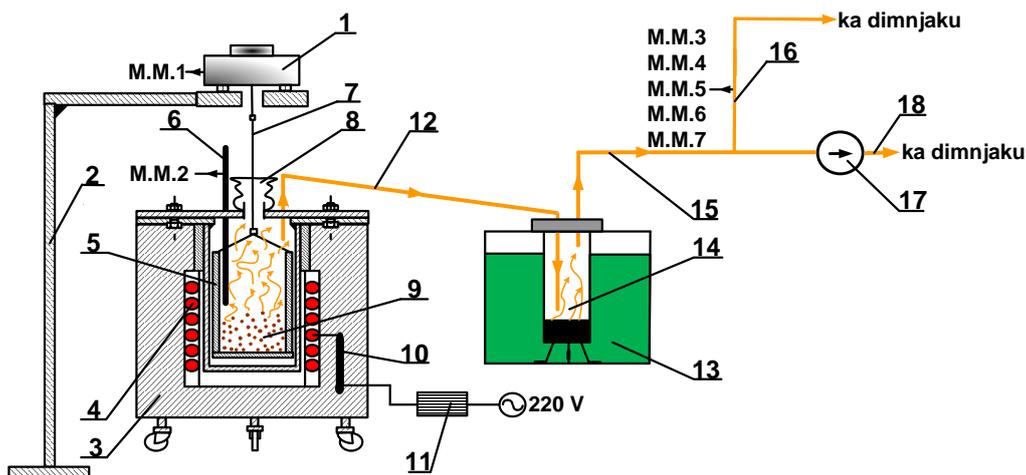
Nakon što je izvršena sitovna analiza, uzorci su stavljani u specijalne plastične kese koje su zatvorene hermetički, kako ne bi došlo do gubitka ili upijanja vlage iz vazduha. Svaka kesa sa uzorkom bila je označena spolja. Oznaka je sadržala: lokaciju mesta uzimanja, veličinu čestica, vremenske prilike (kiša, vetar, sunce) i ime uzorkivača.

5.2. Eksperimentalno ispitivanje procesa pirolize oklaska kukuruza

5.2.1. Šema i opis laboratorijskog postrojenja za pirolizu

Slika 5.5. prikazuje šemu laboratorijskog postrojenja na kome je vršeno eksperimentalno ispitivanje pirolize oklaska kukuruza, kao i spisak mernih mesta (M.M.). Laboratorijsko postrojenje je projektovano i napravljeno u laboratoriji Departmana za inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu i Departmana za energetiku i procesnu tehniku Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu. Pri izgradnji eksperimentalnog postrojenja korišćeni su materijali otporni na visoke temperature i materijali otporni na temperaturnu koroziju. Na slici 5.5. su označena merna mesta na kojima su merene sledeće procesne veličine:

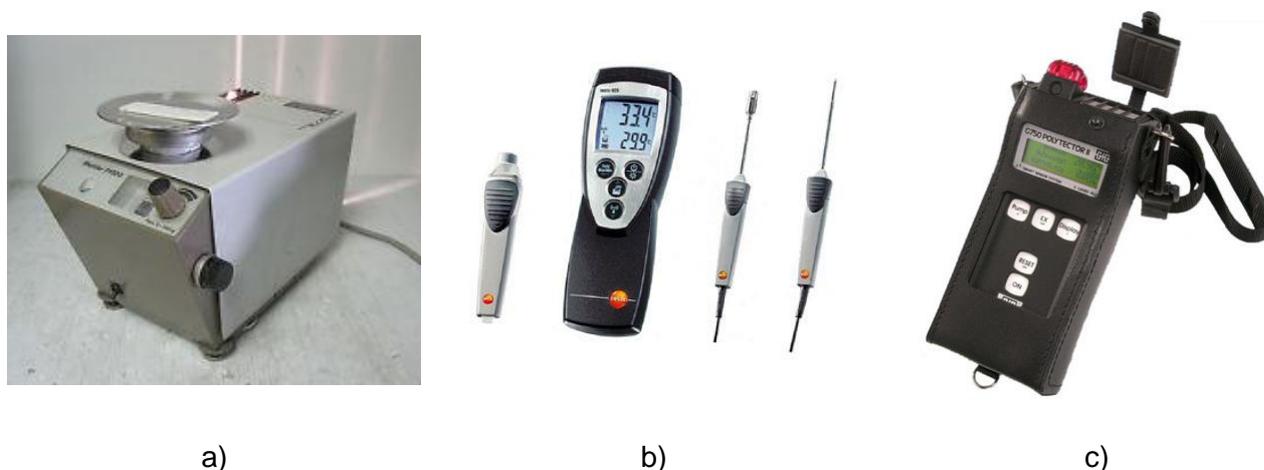
- M.M.1 - masa uzorka biomase (oklasak kukuruza),
- M.M.2 - temperatura pirolitičkog gasa u posudi za biomasu,
- M.M.3 - zapreminski udeo CO u pirolitičkom gasu na izlazu iz reaktora (%),
- M.M.4 - zapreminski udeo H₂ u pirolitičkom gasu na izlazu iz reaktora (%),
- M.M.5 - zapreminski udeo CO₂ u pirolitičkom gasu na izlazu iz reaktora (%),
- M.M.6 - zapreminski udeo O₂ u pirolitičkom gasu na izlazu iz reaktora (%),
- M.M.7 - zapreminski udeo CH₄ u pirolitičkom gasu na izlazu iz reaktora (%).



Slika 5.5. Šema eksperimentalnog postrojenja i mernih mesta za pirolizu biomase

1 - digitalna vaga, 2 - stalak za vagu, 3 - peć, 4 - električni grejači, 5 - reaktorski sud, 6 - termoelement (merač temperature u posudi za biomasu), 7 - fleksibilna veza između vage i posude za biomasu, 8 - fleksibilni teflonski omotač, 9 - uzorak biomase, 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 dimnjaku

Slika 5.6. prikazuje fotografski izgled mernih instrumenata korišćenih u eksperimentalnom ispitivanju, a u tabeli 5.3. prikazan je opis, opseg i greška merenja navedenih instrumenata.



Slika 5.6. Fotografski izgled mernih instrumenata

a - digitalna precizna vaga METTLER P1000, b - digitalni pokazivač temperature Testo 925 sa sondom tipa K (NiCr - Ni), c - gasni analizator G 750 POLYTECTOR II

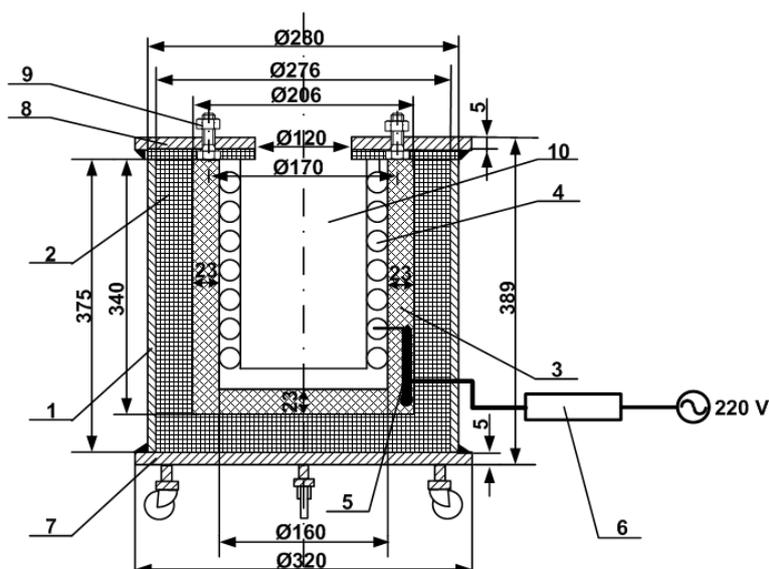
Tabela 5.3. Opis mernih instrumenata korišćenih tokom eksperimentalnog ispitivanja

MERNI INSTRUMENT	OPIS MERENJA	OPSEG MERENJA	GREŠKA MERENJA
Digitalna precizna vaga METTLER P1000	Merenje mase uzorka poljoprivredne biomase	0 - 1000 g	1000 g ± 1 g
Digitalni pokazivač temperature Testo 925 sa sondom tipa K (NiCr - Ni)	Merenje temperature pirolitičkog gasa	- 50 - 1000 °C	± 0.2%
Gasni analizator G 750 POLYTECTOR II	Merenje zapreminskog udela CO na izlazu iz reaktora	0 - 0.05%	± 0.0003%
	Merenje zapreminskog udela H ₂ na izlazu iz reaktora	0 - 4%	± 0.03%
	Merenje zapreminskog udela CO ₂ na izlazu iz reaktora	0 - 100%	± 0.03%
	Merenje zapreminskog udela O ₂ na izlazu iz reaktora	0 - 25%	± 0.2%
	Merenje zapreminskog udela CH ₄ na izlazu iz reaktora	0 - 100%	± 1.0%

Pri izradi električne peći i reaktorske posude korišćeni su sledeći materijali:

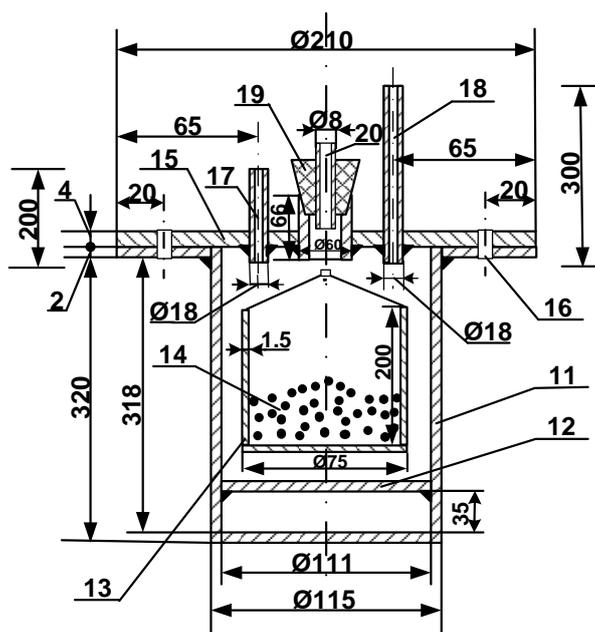
- crni lim - materijal Č. 0461, dimenzije 879 mm×375 mm, debljine 2 mm
- kamena mineralna vuna - površine 1m²
- šamotna cev - Ø 206 mm, debljine zida 3 mm, dužine 340 mm
- čelična ploča - materijal Č. 1531, dimenzije 320 mm×320 mm, debljina ploče 5 mm, 2 komada
- vijci M12×40 (JUS M.B1.054) ČV. 5.6, sa navrtkom M12 (JUS M.B1.601) i podloškom za M12, 8 komada
- cev od prohroma - materijal Č. 4970, Ø 115 mm, debljine zida 2 mm, dužine 322 mm
- cev od prohroma - materijal Č. 4970, Ø 75 mm, debljine zida 1.5mm, dužine 200 mm
- lim od prohroma - materijal Č. 4970, dimenzije 210mm×210mm, debljine 2 mm
- lim od prohroma - materijal Č. 4970, dimenzije 210mm×210mm, debljine 4 mm
- cev od prohroma - materijal Č. 4970, Ø 18 mm, debljine zida 1.5mm, dužine 600 mm
- cev od prohroma - materijal Č. 4970, Ø 60 mm, debljine zida 1.5 mm, dužine 66 mm
- teflonski čep za cev - Ø 60 mm, dužine 70 mm.

Slike 5.7. i 5.8. prikazuju šeme električne peći i reaktorske posude za pirolizu oklaska kukuruza, respektivno, dok slika 5.9. prikazuje fotografski izgled električne peći i reaktorske posude.



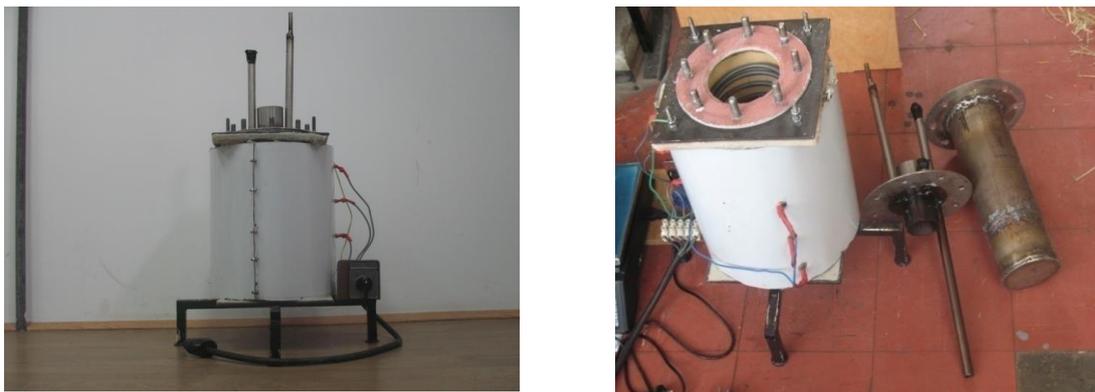
Slika 5.7. Šema električne peći

1 - čelični cilindar, 2 - kamena mineralna vuna (toplotna izolacija), 3 - šamot, 4 - električni grejači, 5 - senzor regulatora temperature, 6 - regulator temperature, 7 - postolje termičke peći, 8 - poklopac termičke peći, 9 - vijci za stezanje poklopca reaktorske posude, 10 - mesto za reaktorsku posudu



Slika 5.8. Šema reaktorske posude

1 - cilindrična posuda, 2 - dno reaktorske posude, 3 - posuda za uzorak biomase, 4 - uzorak oklaska kukuruza, 5 - poklopac reaktorske posude, 6 - otvor za vijke, 7 - cev za termoelement, 8 - cev za gasovite produkte pirolize, 9 - čep, 10 - cev za prolaz fleksibilne veze između vage i posude za uzorak biomase

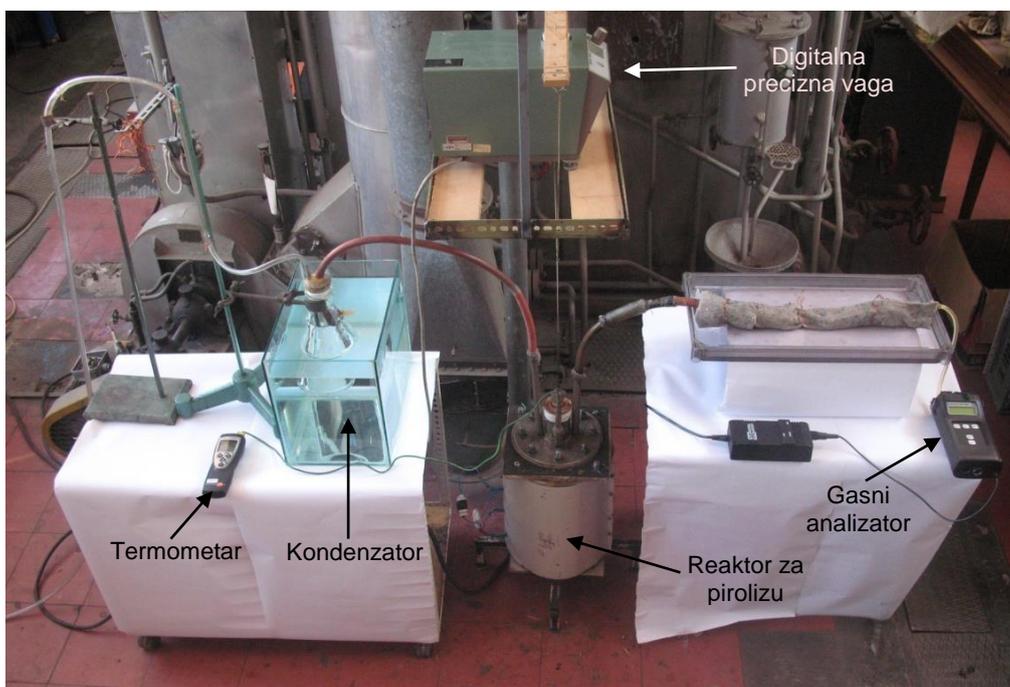


Slika 5.9. Fotografski izgled električne peći i reaktorske posude

Reaktor i električna peć konstruisani su tako da omogućavaju ispitivanje šaržnih procesa pirolize i gasifikacije goriva radne temperature do 700 °C. Laka izolacija peći i mala masa reaktora omogućava i merenje promene mase uzorka tokom ispitivanja. Izbor mernih mesta je urađen tako da realno oslikavaju stanje merenih parametara tokom procesa pirolize. Visina električne peći je 389 mm, spoljašnji prečnik iznosi 320 mm, a unutrašnji prečnik 150 mm. Električna peć je obložena izolacionim materijalom u vidu kamene mineralne vune i okružena sa tri zasebno kontrolisana električna grejača ukupne snage 4.5 kW koji greju reaktorsku posudu do željene temperature. Visina reaktorske posude za biomasa iznosi 200 mm, a unutrašnji prečnik 72 mm.

5.2.2. Opis eksperimenta

Laboratorijsko postrojenje korišćeno za eksperimentalno ispitivanje procesa pirolize oklaska kukuruza prikazano je na slici 5.10.



Slika 5.10. Fotografski izgled laboratorijskog postrojenja za pirolizu biomase

Ispitivanje procesa pirolize činile su dve serije eksperimenata. U prvoj seriji eksperimenata ispitivan je uticaj temperature, reakcionog vremena i veličine čestica na prinos produkata pirolize oklaska kukuruza. Tokom celog procesa zagrevanja, beležena je veza između promene mase, temperature i vremena i sastav gasovitih produkata pirolize. Postupak je ponovljen pet puta za svaku frakciju i za oklasak kukuruza u komadu. Rezultati merenja detaljno su prikazani u *Prilozima 5 - 10*. Brzina zagrevanja je izračunata nakon eksperimenata i kretala se u opsegu 17-20 °C/min. Pri ispitivanju uticaja brzine zagrevanja na prinos produkata pirolize korišćena je srednja vrednost brzine zagrevanja za sva izvršena merenja koja iznosi 19 °C/min.

Druga serija eksperimenata je izvedena kako bi se utvrdio uticaj brzine zagrevanja na prinos produkata pirolize oklaska kukuruza. Brzine zagrevanja izračunate su nakon izvođenja eksperimenata i iznosile su 37 i 60 °C/min. Beležena je promena mase u zavisnosti od temperature i vremena. Dobijeni rezultati poređeni su sa rezultatima iz prve serije eksperimenata, koji se odnose na prinos produkata pirolize oklaska kukuruza pri brzini zagrevanja od 19 °C/min. Rezultati merenja detaljno su prikazani u *Prilozima 11 - 22*.

Uzorak su predstavljale različite frakcije oklaska kukuruza dobijene sitovnom analizom: 0.25 - 0.35 mm, 0.35 - 0.50 mm, 0.50 - 0.71 mm, 0.71 - 1.0 mm, 1.0 - 1.4 mm, kao i oklasak kukuruza prosečne dužine 54.2 mm i prosečnog prečnika 24.6 mm. Inicijalna masa uzorka iznosila je 10 g. Pomenuti uzorci su stavljani u posudu za uzorak biomase, a potom zajedno sa posudom u reaktor. Zagrevanje je vršeno električnim grejačima, a nakon postizanja temperature od 650 °C, temperatura je održavana u intervalu 640 - 660 °C određeno vreme, dok se nije ustalila masa uzorka u reaktoru. Posuda sa uzorkom je okačena za vagu pomoću fleksibilne veze između vage i posude.

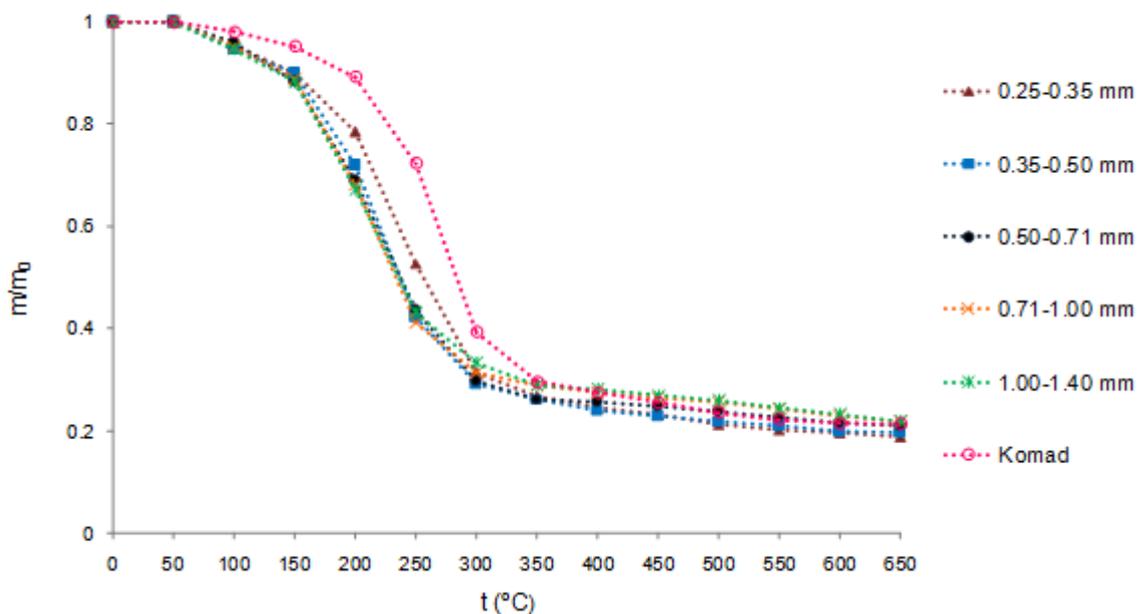
Digitalna precizna vaga METTLER P1000 korišćena je za merenje promene mase uzorka oklaska kukuruza. Promena mase beležena je na svakih 50 °C dok nije postignuta temperatura od 650 °C, kao i na svakih 30 sekundi sve dok se nije ustalila masa uzorka u reaktoru. Gasni analizator G 750 POLYTECTOR II korišćen je za merenje zapreminskog udela pirolitičkih gasova na izlazu iz reaktora. Mereni su zapreminski udeli ugljen monoksida, vodonika, ugljen dioksida, kiseonika i metana na svakih 50 °C do temperature od 650 °C. Temperatura u posudi sa biomasom merena je pomoću digitalnog pokazivača temperature Testo 925 sa sondom tipa K (NiCr - Ni). Nakon eksperimenata, vršeno je merenje mase čvrstog (koksno) ostatka, kao i mase tečne faze.

Svi podaci su unošeni u merne liste. Kod prve serije, za svaki eksperiment postojale su po tri merne liste; jedna je prikazivala promenu mase uzorka u zavisnosti od temperature, druga promenu mase uzorka u zavisnosti od vremena, dok je treća prikazivala promenu zapreminskih udela gasovitih produkata u zavisnosti od temperature. Kod druge serije eksperimenata postojale su dve merne liste, za beleženje promene mase uzorka u zavisnosti od temperature i promene mase uzorka u zavisnosti od vremena.

5.2.3. Rezultati i diskusija eksperimentalnog ispitivanja

5.2.3.1. Uticaj temperature na proces pirolize

Temperaturski opseg tokom ispitivanja procesa pirolize oklaska kukuruza iznosio je 0 do 650 °C. Promena mase uzorka m/m_0 , gde je m masa uzorka oklaska kukuruza koja se menja tokom vremena u reaktoru, a m_0 početna masa uzorka, u zavisnosti od reakcione temperature prikazana je na slici 5.11. Masa uzorka m predstavlja srednju vrednost pet merenja za svaku frakciju i oklasak kukuruza u komadu.



Slika 5.11. Promena mase uzorka oklaska kukuruza u zavisnosti od temperature pirolize (prosečna brzina zagrevanja uzorka 19 °C/min)

Može se primetiti da je pri temperaturi < 150 °C proces razgradnje bio prilično spor. Prinos čvrstog ostatka se značajno smanjivao kako je temperatura rasla, od 150 °C do 400 °C, nakon čega je razgradnja čvrstog ostatka tekla sporije, sve do kraja eksperimenta. Najmanji prinos čvrstog ostatka dobijen je za najmanju frakciju (0.25 - 0.35 mm) i iznosi 0.186 g/g (18.6%), dok je najveći prinos čvrstog ostatka dobijen pirolizom najveće frakcije (1.00 - 1.40 mm) i iznosi 0.218 g/g (21.8%), pri krajnjoj temperaturi od 650 °C.

Srednje vrednosti promene mase uzorka u odnosu na početnu masu, dobijene na osnovu pet merenja, prikazane su u tabeli 5.4.

Tabela 5.4. Promena mase uzorka oklaska kukuruza (m/m_0) u zavisnosti od temperature pirolize

t (°C)	100	200	300	400	450	500	550	600	650
m/m_0									
0.25 - 0.35 mm	0.954	0.784	0.312	0.244	0.230	0.212	0.200	0.194	0.186
0.35 - 0.50 mm	0.946	0.718	0.290	0.240	0.228	0.218	0.208	0.198	0.194
0.50 - 0.71 mm	0.958	0.688	0.296	0.254	0.246	0.236	0.226	0.214	0.208
0.71 - 1.00 mm	0.952	0.682	0.312	0.274	0.264	0.254	0.242	0.228	0.216
1.00 - 1.40 mm	0.946	0.672	0.332	0.280	0.268	0.258	0.244	0.232	0.218
Komad	0.980	0.892	0.392	0.274	0.254	0.234	0.220	0.214	0.212

Posmatranjem podataka u tabeli može se primetiti da je na temperaturi do 300 °C promena mase uzorka oklaska kukuruza u komadu bila manja u odnosu na frakcije, kod kojih nisu zabeležena značajna odstupanja. Najznačajnije promene mase uzoraka svih frakcija i oklaska kukuruza u komadu odvijale su se u opsegu temperature 200 - 400 °C. Na 200 °C prinos čvrstog ostatka kretao se od 0.672 do 0.892 g/g, dok je na 400 °C iznosio od 0.240 - 0.280 g/g. U pomenutom opsegu prinos čvrstog ostatka se smanjio za 58.33 - 69.28%, u zavisnosti od veličine čestice. Nakon toga, promena mase uzorka je bila sporija, tako da se prinos čvrstog ostatka u opsegu od 400 - 650 °C smanjio za 18.11 - 23.77%.

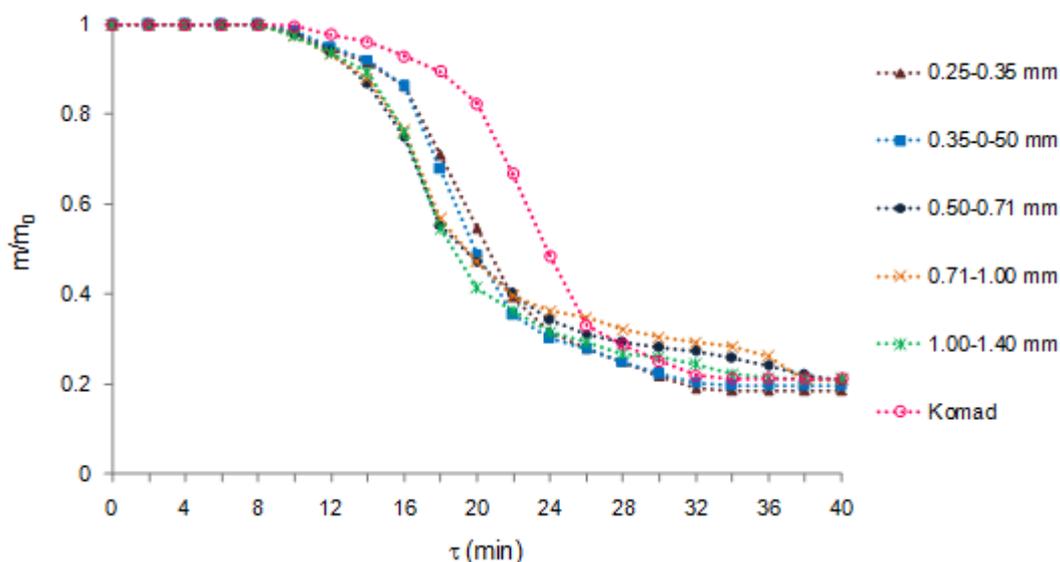
Veliki broj istraživača pokazao je u svojim radovima da temperatura ima veliki uticaj na prinos čvrstog ostatka. *Ateş i Işıkdağ* [6] su ispitivanjem procesa pirolize oklaska kukuruza zaključili da je mali prinos čvrstog ostatka ostvaren pri visokim temperaturama, i obratno, što se i pretpostavljalo. Kako je temperatura pirolize rasla od 300 do 800 °C, prinos čvrstog ostatka se smanjivao od 30.5% do 25.4%. *Worasuwannarak i ostali* [7] su ustanovili da je najveće smanjenje mase uzoraka oklaska kukuruza primećeno u opsegu temperature od 250 do 300 °C. Nakon toga, masa uzoraka se postepeno smanjivala sa daljim porastom temperature, od 400 do 600 °C. Na temperaturi od 600 °C, prinos čvrstog ostatka oklaska kukuruza iznosio je 19%. U eksperimentalnom ispitivanju pirolize oklaska kukuruza *Zhang-a i ostalih* [8] maseni udeo čvrstog ostatka iznosio je 34.2% na 400 °C i 20.2% na 700 °C. Najznačajnija promena mase uzorka oklaska kukuruza kod *Raveendran-a i ostalih* [9] zabeležena je u opsegu temperature od 300 do 400 °C. Na krajnjoj temperaturi pirolize od 700 °C, prinos čvrstog ostatka iznosio je 26.5%. *Carrier i ostali* [10] smatraju da do značajnog gubitka mase u opsegu temperature od 400 do 500 °C dolazi usled oslobađanja volatila i u manjoj meri usled gubitka vode.

Pregledom literature [6-15] i rezultata dobijenih eksperimentalnim istraživanjem u okviru doktorske disertacije, može se zaključiti da prinos čvrstog ostatka konstantno opada sa porastom temperature do 650 °C, nakon čega dolazi do stabilizacije usled potpune devolatilizacije.

5.2.3.2. Promena mase uzorka u reaktoru u zavisnosti od reakcionog vremena

Slika 5.12. prikazuje promenu mase uzorka m/m_0 u zavisnosti od reakcionog vremena. Masa uzorka m predstavlja srednju vrednost pet merenja za svaku frakciju i oklasak kukuruza u komadu. U toku prvih 8 minuta ispitivanja procesa pirolize masa uzorka u reaktoru ostaje nepromenjena i iznosi 10 g. Daljim tokom procesa pirolize od 16 do 26 minuta zabeležen je

značajniji gubitak mase uzorka oklaska kukuruza u reaktoru. U navedenom intervalu vremena kriva promene m/m_0 za oklasak kukuruza u komadu pokazuje značajnije odstupanje u odnosu na ostale krive.



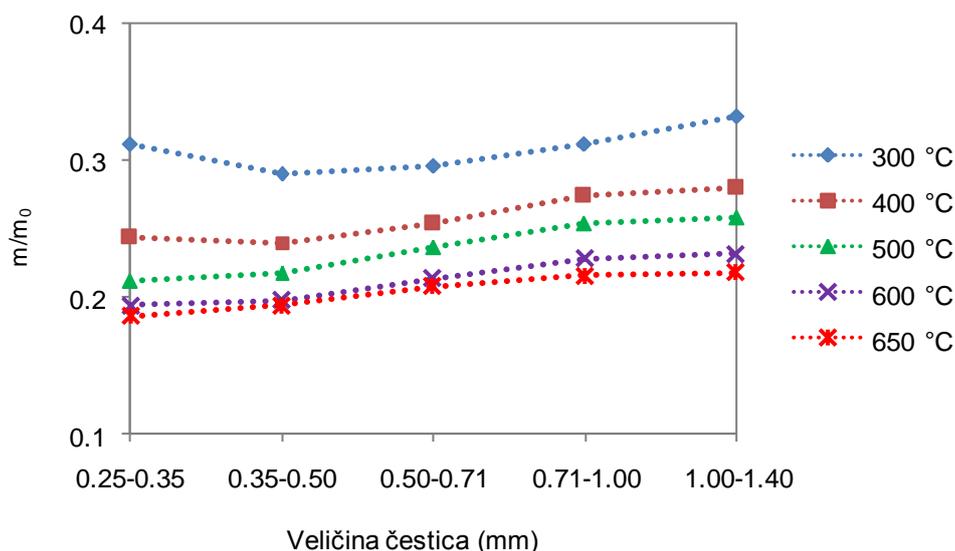
Slika 5.12. Kriva promene mase uzorka oklaska kukuruza u zavisnosti od reakcionog vremena (prosečna brzina zagrevanja uzorka 19 °C/min)

Može se zaključiti da se proces razgradnje najsporije odvijao pri pirolizi oklaska kukuruza u komadu. Na kraju procesa pirolize odnos mase čvrstog (koksno)g ostatka i mase uzorka kretao se u granicama od 0.186 do 0.212 g/g.

5.2.3.3. Uticaj veličine čestica uzorka

Veličina čestica predstavlja parametar koji utiče na prinos produkata pirolize [16 - 22]. Uticaj veličine čestica na krajnje produkte pirolize povezan je sa transferom toplote između zagrejanog zida reaktora i biomase unutar reaktora. Veće čestice zagrevaju se sporije nego manje čestice. Prosečna temperatura većih čestica je manja i oslobađa se manje isparljivih materija [19]. *Encinar i ostali* [20] ispitivali su proces pirolize karde (zeljaste biljke iz porodice artičoka) veličine čestica 0.43 - 2 mm. Postavili su hipotezu da povećanje veličine čestica dovodi do većih temperaturnih gradijenata unutar čestice tako da je u određenom trenutku temperatura unutrašnjosti niža nego površinska što može dovesti do porasta čvrstog ostatka i manjeg prinosa tečnosti i gasova. Dobijeni eksperimentalni rezultati opovrgnuli su postavljenu hipotezu. *Demirbas* je ispitivanjem pirolize oklaska kukuruza ustanovio da porast veličine čestica utiče na povećanje prinosa čvrstog ostatka [21]. Takođe, *Huynh i Kim* [22] su ustanovili da veličina čestica utiče na produkte pirolize tako što sa porastom veličine čestica prinos čvrstog ostatka polako raste, dok prinos gasa opada, što je naročito izraženo kod čestica većih od 0.25 mm. Međutim, *Sukiran i ostali* [23] su u svom radu pokazali da veličina čestice nije imala značajan uticaj na proizvodnju bio-ulja tokom procesa pirolize. Došlo je do manjih odstupanja, koja su objasnili greškom merenja.

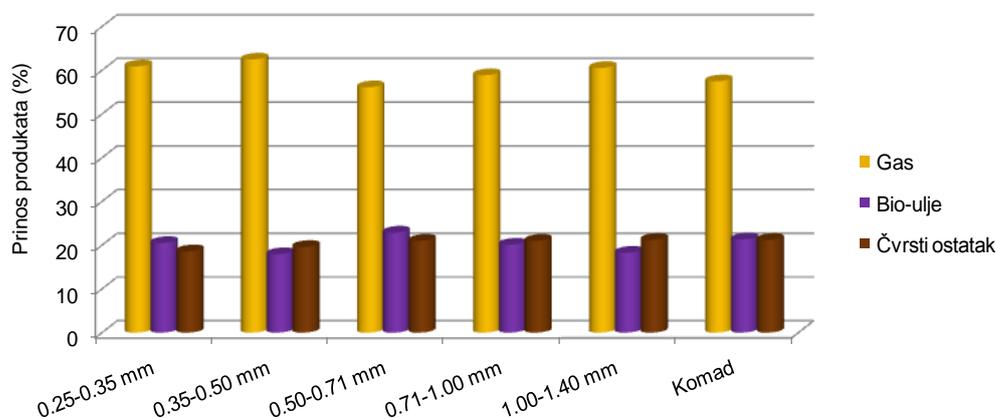
Oklasak kukuruza koji je ispitivan prethodno je usitnjen i sitovnom analizom dobijeno je pet različitih frakcija, kako bi se ispitaio uticaj veličine čestica na prinos produkata pirolize. Proučavan je uticaj sledećih veličina čestica: 0.25 - 0.35 mm, 0.35 - 0.50 mm, 0.50 - 0.71 mm, 0.71 - 1.00 mm, 1.00 - 1.40 mm. Uticaj veličine čestice na prinos čvrstog ostatka u zavisnosti od temperature prikazan je na slici 5.13. Masa uzorka m predstavlja srednju vrednost pet merenja za svaku frakciju oklaska kukuruza.



Slika 5.13. Uticaj veličine čestica na prinos čvrstog ostatka u funkciji temperature (prosečna brzina zagrevanja uzorka 19 °C/min)

U opsegu temperature od 300 do 650 °C, za čestice veće od 0.35 mm, dokazana je hipoteza da sa porastom veličine čestica raste prinos čvrstog ostatka, dok prinos volatila opada. Čestice veličine 0.25 - 0.35 mm potvrđuju navedenu hipotezu za temperature veće od 400 °C.

Na slici 5.14. prikazane su srednje vrednosti prinosa suvog pirolitičkog gasa, bio-ulja i čvrstog ostatka za sve frakcije oklaska kukuruza na kraju procesa pirolize (650 °C).

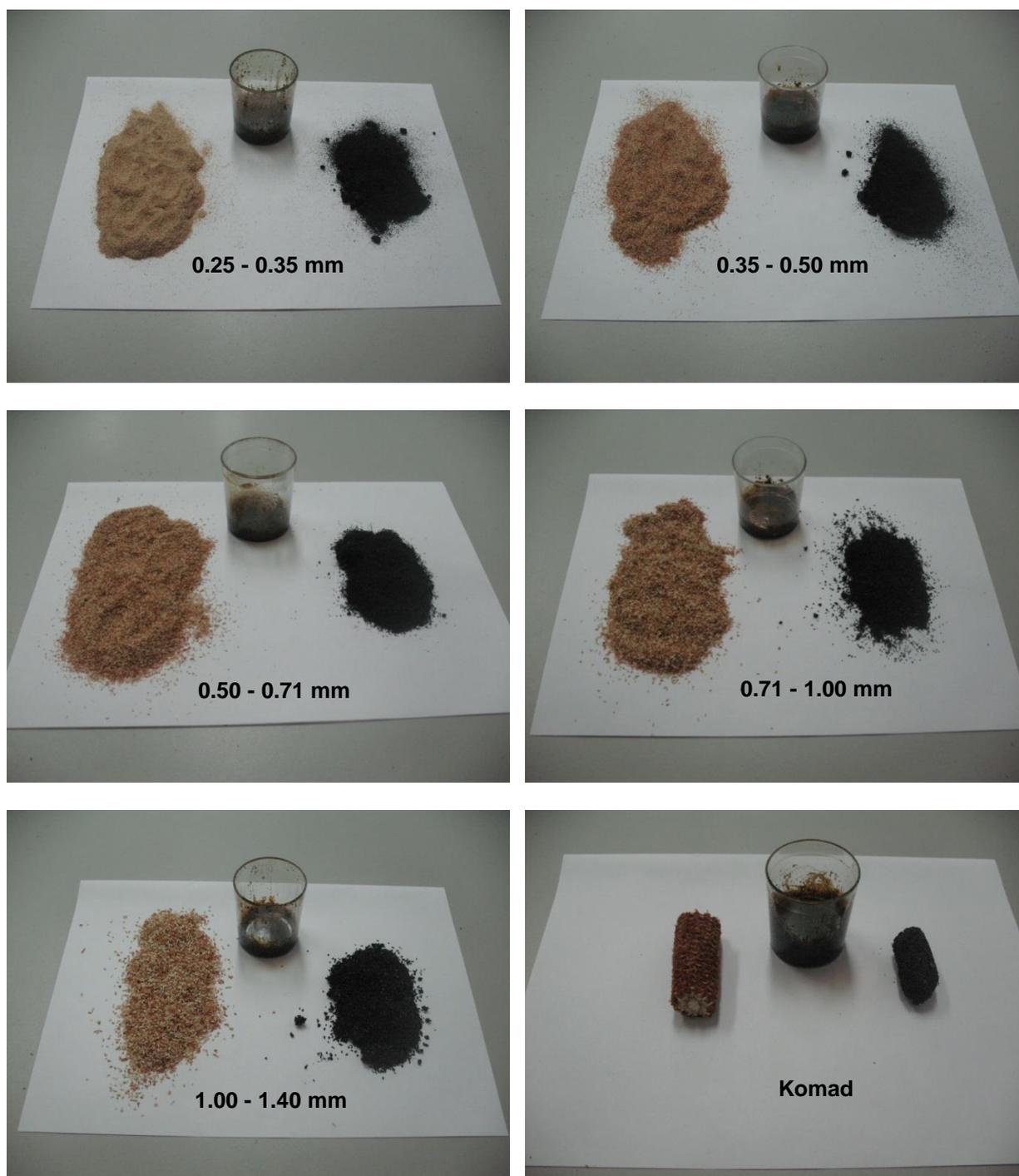


Slika 5.14. Uticaj veličine čestica na prinos krajnjih produkata pirolize (prosečna brzina zagrevanja uzorka 19 °C/min)

Dobijeni rezultati poređeni su sa prinosom produkata pirolize oklaska kukuruza u komadu. Za najmanju frakciju 0.25 - 0.35 mm prinos bio-ulja iznosio je 20.5%, što je samo 2.24% više u odnosu na najveću frakciju 1.00 - 1.40 mm, dok su prinos čvrstog ostatka i gasa iznosili 18.6% i 60.9%, respektivno. Prinos bio-ulja, čvrstog ostatka i gasa za najveću frakciju (1.00 - 1.40 mm) iznosio je 18.26%, 21.2 % i 60.54%, respektivno.

Utvrđeno je da veličina čestica nije imala značajan uticaj na prinos bio-ulja. Maksimalan prinos bio-ulja dobijen je za čestice veličine 0.50 - 0.71 mm i iznosio je 22.88%, dok je najmanji prinos bio-ulja dobijen je za čestice veličine 0.35 - 0.50 mm i iznosio je 17.94%.

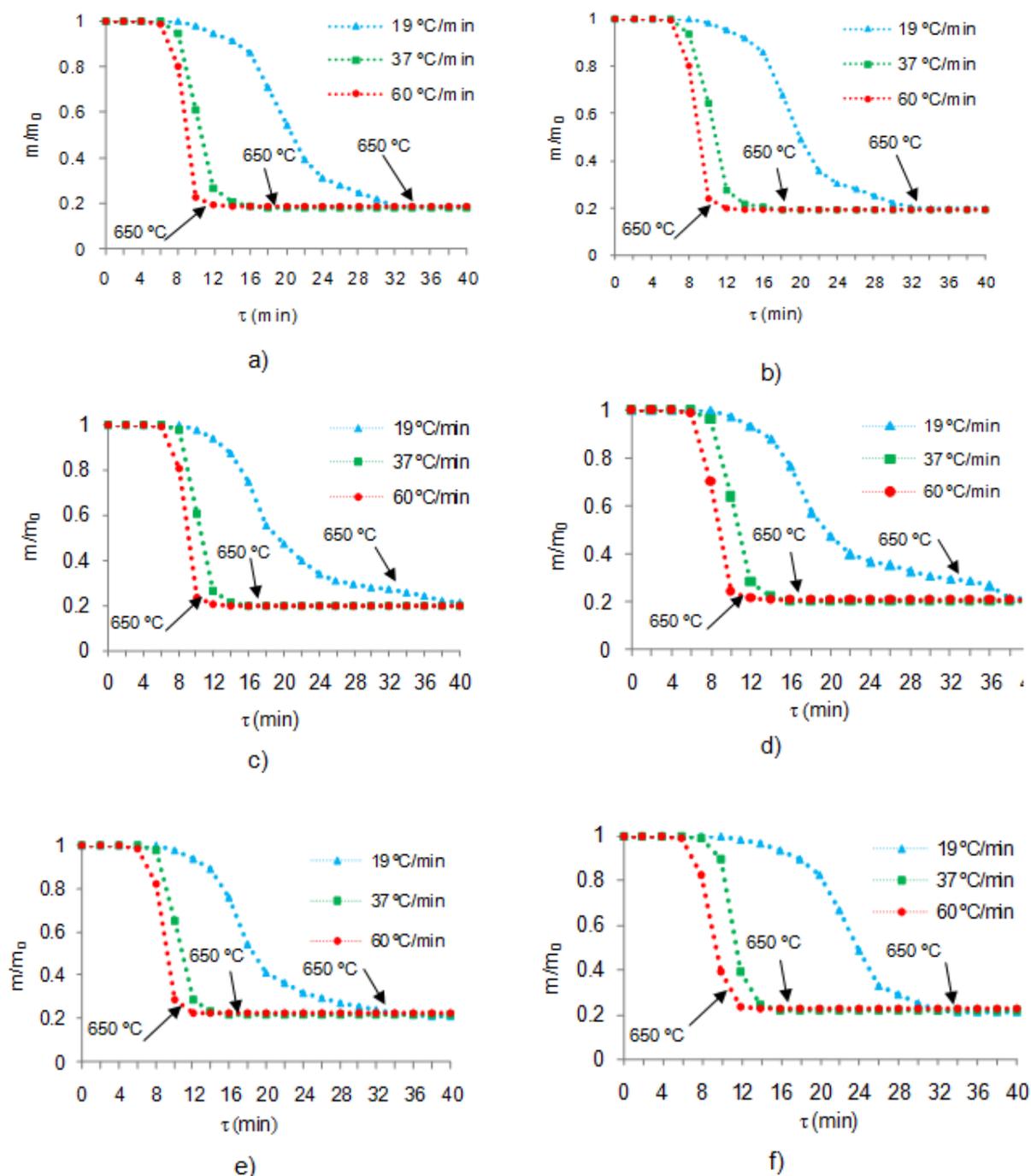
Kada se posmatra prinos produkata pirolize oklaska kukuruza u komadu u odnosu na frakcije, može se uočiti da je prinos bio-ulja iznosio 21.32%, što je samo 1.56% manje u odnosu na frakciju koja je dala najveći prinos bio-ulja (0.50 - 0.71 mm), dok je prinos čvrstog ostatka iznosio 21.20%, što je jednako prinosu čvrstog ostatka najveće frakcije. Prinos gasa iznosio je 57.48%, što je za 5% manje od frakcije koja je dala najveći prinos pirolitičkog gasa (0.35 - 0.50 mm). Na slici 5.15. dat je fotografski prikaz uzoraka oklaska kukuruza pre i nakon procesa pirolize, kao i izgled tečne faze (bio-ulja).



Slika 5.15. Prikaz uzoraka oklaska kukuruza pre procesa pirolize, čvrstog ostatka i bio-ulja

5.2.3.4. Uticaj brzine zagrevanja na prinos produkata pirolize

Eksperimenti su izvođeni pri brzinama zagrevanja od 19, 37 i 60 °C/min za različite frakcije: 0.25 - 0.35 mm, 0.35 - 0.50 mm, 0.50 - 0.71 mm, 0.71 - 1.00 mm, 1.00 - 1.40 mm i oklasak kukuruza u komadu. Na slici 5.16. prikazane su srednje vrednosti promene mase uzorka oklaska kukuruza u zavisnosti od vremena pri različitim brzinama zagrevanja. Na slikama je obeleženo vreme kada je postignuta maksimalna vrednost temperature pirolize od 650 °C koja je održavana do stabilizacije mase čvrstog ostatka.



Slika 5.16. Kriva gubitka mase uzorka oklasa kukuruza u zavisnosti od brzine zagrevanja:

a - frakcija 0.25 - 0.35 mm, b - frakcija 0.35 - 0.50 mm, c - frakcija 0.50 - 0.71 mm, d - frakcija 0.71 - 1.00 mm, e - frakcija 1.00 - 1.40 mm i f - komad

Posmatrajući grafički prikaz gubitka mase (slika 5.16.) za sve veličine čestica i oklasak kukuruza u komadu, može se primetiti da masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize ima približno istu vrednost za sve brzine zagrevanja. Gubitak mase uzorka oklasa kukuruza pri brzinama zagrevanja 37 i 60 °C/min približno je jednak nakon 14 minuta, što važi za sve veličine čestica, kao i oklasak kukuruza u komadu. Za veličine čestica 0.25 - 0.35 mm, 0.35 - 0.50 mm, 1.00 - 1.40 mm i oklasak kukuruza u komadu, masa uzorka pri brzini

zagrevanja od 19 °C/min približava se vrednostima mase uzorka pri većim brzinama zagrevanja nakon približno 32 minuta, dok se za veličine čestica 0.50 - 0.71 mm i 0.71 - 1.00 mm pomenuta pojava uočava nakon približno 38 minuta.

Posmatrajući vremenski period procesa pirolize u kome postoje razlike u gubitku mase uzorka u zavisnosti od brzine zagrevanja, zaključuje se da do većeg gubitka mase uzorka dolazi sa porastom brzine zagrevanja, tj. prinos volatila raste, što se objašnjava činjenicom da pri malim brzinama zagrevanja volatili imaju dovoljno vremena da napuste zonu odvijanja reakcija pre nego što dođe do reakcije krekanja.

Cao i ostali [24] ispitivali su pirolizu oklaska kukuruza pri tri različite brzine zagrevanja: 5, 10 i 30 K/min. Ustanovili su da se prinos čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize kretao od 20 do 20.2% i stoga nije bilo značajnijeg uticaja brzine zagrevanja na krajnji prinos čvrstog ostatka. Prikazane vrednosti mase uzorka u zavisnosti od brzine zagrevanja (slika 5.16.) potvrđuju njihov zaključak, odnosno, kod svih frakcija i oklaska kukuruza u komadu brzina zagrevanja nije imala značajan uticaj na prinos čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize.

U tabeli 5.5. prikazane su srednje vrednosti masenog udela bio-ulja dobijenog pri različitim brzinama zagrevanja na kraju procesa pirolize za različite veličine čestica i oklasak kukuruza u komadu.

Tabela 5.5. Prinos bio-ulja pri različitim brzinama zagrevanja na kraju procesa pirolize

Brzina zagrevanja (°C/min)	0.25 - 0.35 mm	0.35 - 0.50 mm	0.50 - 0.71 mm	0.71 - 1.00 mm	1.00 - 1.40 mm	Komad
	maseni udeo, (%)					
19	20.50	17.94	22.88	20.12	18.26	21.32
37	23.65	23.25	23.90	23.70	22.20	24.15
60	24.00	24.45	24.35	24.00	24.05	25.40

Prinos bio-ulja raste sa porastom brzine zagrevanja za sve frakcije i oklasak kukuruza u komadu. Maksimalan prinos bio-ulja dobijen je za oklasak kukuruza u komadu i iznosio je 25.40%, pri brzini zagrevanja od 60 °C/min.

5.2.3.5. Poređenje prinosa produkata pirolize sa podacima iz literature

Kako bi se potvrdila validnost rezultata eksperimentalnog ispitivanja pirolize oklaska kukuruza, izvršeno je poređenje prinosa produkata dobijenih na kraju procesa pirolize sa podacima iz literature (tabela 5.6.). Prinos čvrstog ostatka dobijen eksperimentalnim ispitivanjem u saglasnosti je sa rezultatima drugih istraživača [24, 26, 27]. Veće odstupanje je primećeno jedino kod *Ioannidou-a i ostalih* [25], što se može objasniti različitim uslovima odvijanja procesa. Maseni udeli bio-ulja dobijeni eksperimentalnim ispitivanjem su uporedivi sa podacima iz literature.

Tabela 5.6. Poređenje prinosa produkata pirolize sa podacima iz literature

	Vrsta biomase	Vrsta reaktora	Temperatura (°C)	Veličina čestica (mm)	Produkti pirolize (maseni udeo, %)			
					Čvrsti ostatak	Bio-ulje	Gas	Voda i gubici
Eksperiment	oklasak kukuruza	šaržni reaktor	650	0.25 - 0.35	18.6	20.5	60.9 ^a	-
				0.35 - 0.50	19.8	17.8	62.4 ^a	-
				0.50 - 0.71	20.8	22.9	56.3 ^a	-
				0.71 - 1.00	21.0	20.1	58.9 ^a	-
				1.00 - 1.40	21.2	18.3	60.5 ^a	-
				Komad	21.2	21.3	57.5 ^a	-
Cao Q i ostali [24]	oklasak kukuruza	cevasti reaktor	600	0.25	24.0	34.0	42.0	-
Ioannidou O i ostali [25]	oklasak kukuruza	reaktor sa fiksnim slojem	500 – 700	< 1	37 - 55	22 - 40	16 - 40	-
Capunitan i Capareda [26]	kukuruzovina	šaržni reaktor	600	3	31.7	27.9	21.2	19.2
Demiral i ostali [27]	oklasak kukuruza	reaktor sa fiksnim slojem	550	0.42-0.60	27.0	20.0	38.0	-

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

5.2.3.6. Sastav produkata pirolize

Piroliza predstavlja termičko razlaganje goriva na tečnu fazu (bio-ulje), čvrsti (koksni) ostatak i pirolitički gas u odsustvu kiseonika. Proizvodi pirolize mogu se koristiti kao gorivo, sa ili bez prethodnog unapređivanja, ili se mogu koristiti kao sirovine u hemijskoj ili industriji robe široke potrošnje. Zbog prirode procesa, prinos korisnih proizvoda je visok u poređenju sa drugim procesima. Uopšteno gledano, proizvodi pirolize su čistiji u odnosu na druga goriva i stoga se mogu koristiti sa većom efikasnošću.

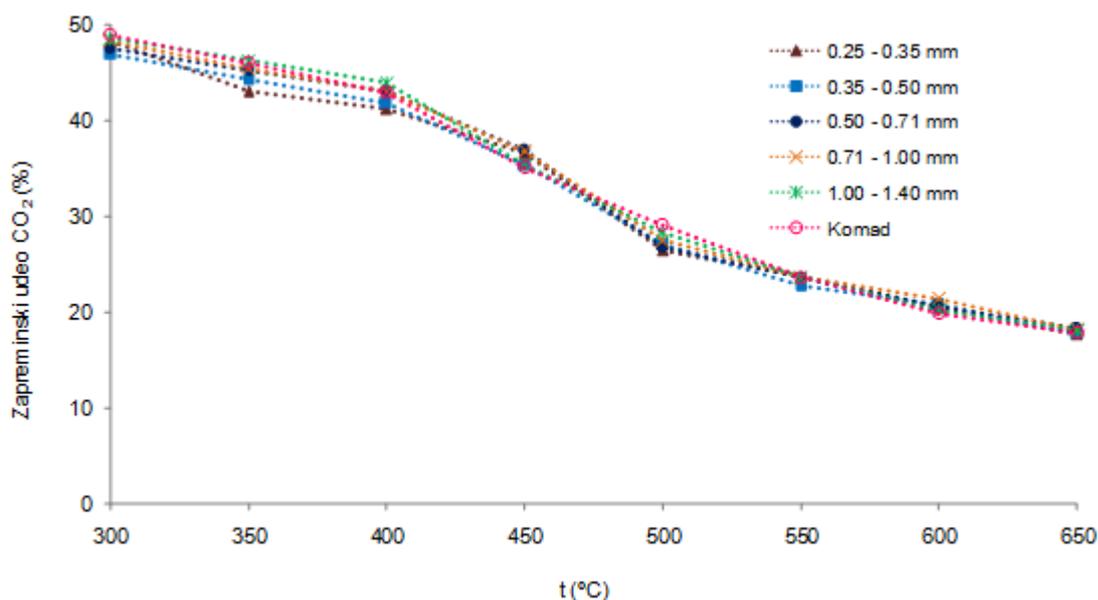
Sastav pirolitičkog gasa

Eksperimentalnim ispitivanjem pirolize oklaska kukuruza, *Cao i ostali* [18] su ustanovili da se pirolitički gas na temperaturi 350 - 400 °C primarno sastojao od ugljen dioksida i ugljen monoksida sa zapreminskim udelima približno 82 - 98%. Veći prinos ugljen dioksida i ugljen monoksida usko je povezan sa oksigenovanom funkcionalnom grupom u gorivu čija se veza lako kida i zbog toga navedena grupa formira stabilnija jedinjenja u odnosu na druge funkcionalne grupe. Porastom temperature zapreminski udeli ostalih komponenata gasa: vodonika, metana, etilena, propilena i propana, postepeno rastu. Kako se ugljen dioksid lako

uklanja, tokom procesa pirolize nastaju gasovi koji se koriste za proizvodnju sinteznog gasa koji ima široku primenu u industriji.

Sa porastom temperature pirolize raste prinos pirolitičkog gasa zbog sekundarnih reakcija volatila. Proizvedeni gas se sastoji uglavnom od CO, CO₂, H₂, CH₄, C₂H₄ i C₂H₆ [19, 20]. Sa povećanjem temperature zapreminski udeli CO, H₂ i CH₄ rastu, dok zapreminski udeo CO₂ opada. U proizvedenom gasu, etilen i etan su prisutni u tragovima [19].

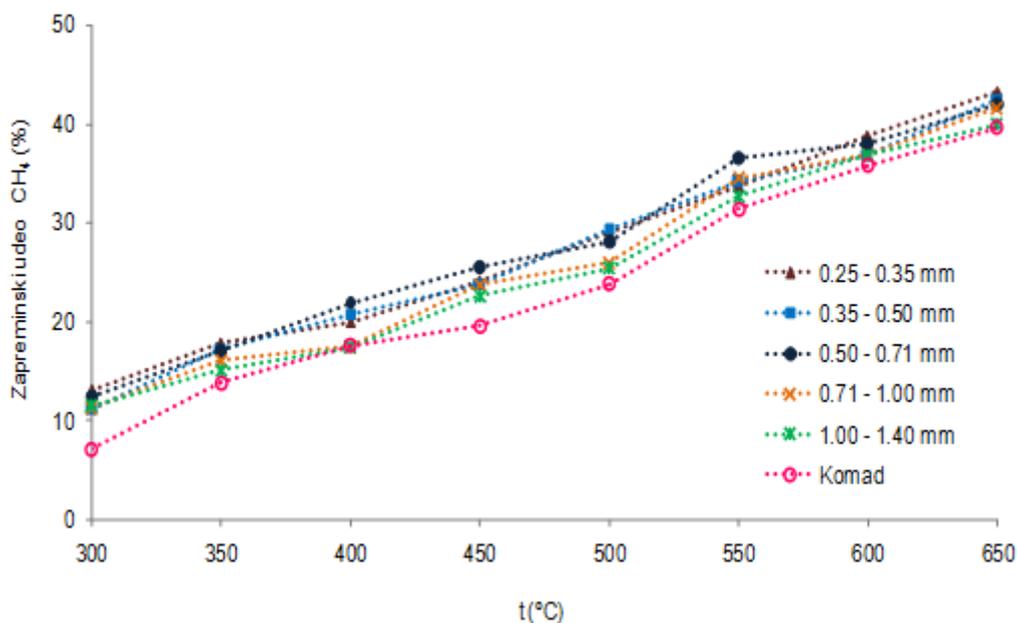
Na slici 5.17. prikazane su srednje vrednosti zapreminskog udela CO₂ u zavisnosti od temperature za sve frakcije i oklasak kukuruza u komadu tokom procesa pirolize u šaržnom reaktoru, pri brzini zagrevanja od 19 °C/min.



Slika 5.17. Uticaj temperature na prinos CO₂ tokom procesa pirolize oklasak kukuruza (prosečna brzina zagrevanja uzorka 19 °C/min)

Pri temperaturi od 300 °C osnovna komponenta u gasu dobijenom pirolizom oklasak kukuruza je ugljen dioksid. Zapreminski udeo CO₂ pri pomenutoj temperaturi kretao se u opsegu od 46.9% (0.35 - 0.50 mm) do 48.9% (komad). Porast temperature utiče na smanjenje zapreminskog udela CO₂. Pri najvišoj zabeleženoj temperaturi koja je iznosila 650 °C, zapreminski udeo CO₂ kretao se u opsegu od 17.7% (0.25 - 0.35 mm) do 18.3% (0.50 - 0.71 mm). Slika 5.17. ukazuje da zapreminski udeo CO₂ ne zavisi od veličine čestica.

Na slici 5.18. prikazane su srednje vrednosti zapreminskog udela CH₄ u zavisnosti od temperature za sve frakcije i oklasak kukuruza u komadu tokom procesa pirolize u šaržnom reaktoru, pri brzini zagrevanja od 19 °C/min.



Slika 5.18. Uticaj temperature na prinos CH_4 tokom procesa pirolize oklaska kukuruza (prosečna brzina zagrevanja uzorka $19\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$)

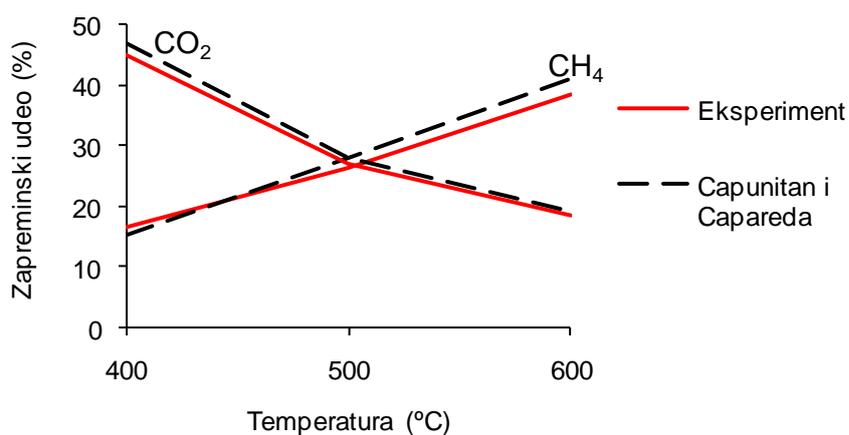
Zapreminski udeo metana u pirolitičkom gasu raste sa porastom temperature (slika 5.18.). Takođe, veličina čestica je imala uticaj na prinos metana. Pokazalo se da sa porastom veličine čestica zapreminski udeo metana u pirolitičkom gasu opada. Za najmanju frakciju $0.25 - 0.35\text{ mm}$ zapreminski udeo CH_4 kretao se od 13.1% do 43.3% , dok se zapreminski udeo metana za oklasak kukuruza u komadu kretao od 7.1% do 39.6% .

U tabeli 5.7. prikazano je poređenje sastava pirolitičkog gasa dobijenog eksperimentom za različite frakcije oklaska kukuruza sa sastavom gasa drugih istraživača.

Određivanje sastava gasa dobijenog eksperimentalnim ispitivanjem procesa pirolize oklaska kukuruza u šaržnom reaktoru vršeno je gasnim analizatorom POLYTECTOR G750i. Zapreminski udeli ugljen monoksida i vodonika bili su izvan opsega merenja navedenog analizatora. Zapreminski udeli metana i ugljen dioksida u pirolitičkom gasu za frakciju $1.00 - 1.40\text{ mm}$ (Prilog 9) prikazani su i na slici 5.19. i upoređeni su sa rezultatima Capunitana i Caparede [26], koji su koristili isti tip reaktora. Usled dobre saglasnosti rezultata, može se zaključiti da se najmanja odstupanja prinosa CO_2 i CH_4 beleže kod istraživača koji su koristili isti tip reaktora i kod kojih se proces pirolize odvija pod sličnim uslovima.

Tabela 5.7. Poređenje zapreminskih udela sastavnih komponenta pirolitičkog gasa sa literaturom

		Eksperiment					Cao Q i ostali [24]	Ioannidou O i ostali [25]	Capunitan i Capareda [26]
Vrsta biomase		oklasak kukuruza					oklasak kukuruza	oklasak kukuruza	kukuruzovina
Vrsta reaktora		šaržni reaktor					cevasti reaktor	reaktor sa fiksnim slojem	šaržni reaktor
Temperatura (°C)		300 – 650					350 - 600	500 - 700	400 - 600
Veličina čestica		0.25 - 0.35 mm	0.35 - 0.50 mm	0.50 - 0.71 mm	0.71 - 1.00 mm	1.00 - 1.40 mm	0.25 mm	< 1 mm	3 mm
Sastav gasa (zapreminski udeo, %)									
CO	-	-	-	-	-	28 - 40	37 - 44	4 - 8	
CO ₂	17.7-48.3	17.9-46.9	18.3-47.5	18.2-48.3	18.1-48.5	52 - 71	31 - 52	19 - 47	
H ₂	-	-	-	-	-	1 - 7	2 - 13	5 - 27	
CH ₄	13.1-43.3	11.2-42.5	12.4-42.0	11.3-41.6	11.5-39.9	0 - 3	4 - 13	15 - 41	
C _x H _y	-	-	-	-	-	0 - 1	1 - 4	3 - 7	



Slika 5.19. Poređenje zapreminskih udela CH₄ i CO₂ u pirolitičkom gasu sa podacima iz literature

Karakteristike i sastav tečne faze (bio-ulja)

U svetu postoji sve veća potreba da se proizvedu obnovljiva goriva i hemijske supstance zbog ekonomskih, političkih, ekoloških razloga i zabrinutosti u vezi sa korišćenjem fosilnih goriva. Jedna od najperspektivnijih metoda za konverziju biomase u tečno gorivo jeste brza piroliza [28]. Tečan proizvod dobijen procesom brze pirolize biomase naziva se *pirolitičko ulje* ili *bio-ulje*.

Bio-ulje (koje se vrlo često označava kao $C_6H_8O_4$) je složena mešavina vode (~ 15 - 30%, maseni udeo) i više od 300 jedinjenja (na primer kiselina, alkohola, aldehida, estara, furana, ketona, šećera, fenola i mnogih multifunkcionalnih jedinjenja) koja nastaju depolimerizacijom celuloze, hemiceluloze i lignina. Posmatrajući elementarni sastav, može se zaključiti da je bio-ulje slično biomasi od koje se dobija, stoga se ponekad naziva "tečna biljna materija". Uobičajeni sadržaj kiseonika u bio-ulju iznosi 40 - 50%, usled čega bio-ulje ima nisku toplotnu moć koja iznosi 16 - 18 MJ/kg (na primer dva puta je manja od toplotne moći mazuta) ali sadrži manje količine metala i sumpora što ga čini pogodnim kao gorivo za sagorevanje sa malim emisijama štetnih jedinjenja. Bio-ulje ima visok sadržaj vlage, kiselo je po prirodi (pH vrednost iznosi približno 2.5), sadrži čvrste čestice, razlikuje se od postojećih naftnih derivata, termički je nestabilno i degradira vremenom [29]. Takođe, ne može se koristiti direktno u motorima sa unutrašnjim sagorevanjem koji koriste dizel gorivo ili benzin.

Bio-ulje se proizvodi korišćenjem savremenih reaktora koji mogu da postignu velike brzine zagrevanja i vreme boravka pare od nekoliko sekundi. Reaktori sa fluidizovanim slojem se uglavnom koriste za brzu pirolizu. Augerovi reaktori se takođe koriste zbog svoje jednostavnosti i lakog kontrolisanja, ali ne mogu da postignu velike brzine zagrevanja kao reaktori sa fluidizovanim slojem [30]. Osnovne karakteristike i elementarni sastav bio-ulja dobijen pirolizom oklaska kukuruza preuzet je iz literature i prikazan je u tabeli 5.8.

Tabela 5.8. Karakteristike i elementarna analiza bio-ulja

Elementarna analiza (maseni udeo, %)	Mullen C. A i ostali [31]	Yanik J i ostali [32]	Demiral i i ostali [27]
C	55.14 ^a	45.01	66.78
H	7.56 ^a	8.48	7.43
N	0.56 ^a	1.1	0.83
S	< 0.05 ^a	0.15	-
O	36.90 ^a	45.26	24.96
Ukupna voda (maseni udeo, %)	-	14.32	-
Gornja toplotna moć (MJ/kg)	19.5 26.2 ^a	-	26.22

^a Suva osnova

Ateş i Işıkdağ [6] ispitivali su sastav bio-ulja dobijen pirolizom oklaska kukuruza u zavisnosti od temperature. Rezultati dobijeni ispitivanjem prikazani su u tabeli 5.9.

Tabela 5.9. Elementarna analiza bio-ulja u zavisnosti od temperature pirolize [6]

Elementarna analiza (maseni udeo %, suva osnova bez pepela)	Temperatura pirolize (°C)					
	300	400	500	600	700	800
C	65.8	68.6	69.9	71.0	70.7	72.0
H	7.4	7.9	8.0	8.0	7.8	8.0
N	0.3	0.3	0.6	0.8	0.3	0.3
O	26.5	23.2	21.5	20.2	21.2	19.7
Gornja toplotna moć (MJ/kg)	28.15	30.41	31.30	31.91	31.34	32.34

Kako temperatura pirolize raste, maseni udeo kiseonika opada, dok se maseni udeli ugljenika i vodonika povećavaju. Sa porastom temperature od 300 do 800 °C maseni udeo ugljenika u bio-ulju povećava se sa 65.8% na 72.0%, a maseni udeo vodonika sa 7.4% na 8.0%. Visok sadržaj kiseonika u biomasi negativno utiče na proizvodnju bio-ulja i smanjuje toplotnu moć. Između 300 i 800 °C, maseni udeo kiseonika opada sa 26.5% na 19.7%, što doprinosi povećanju toplotne moći bio-ulja [6].

Iako bio-ulje fizički podseća na sirovu naftu, ono nije mešljivo sa naftnim derivatima. Bio-ulje sadrži velike koncentracije reaktivnih komponenata koje izazivaju reakcije kondenzacije i polimerizacije tokom skladištenja. Nakon izvesnog vremena, pomenute reakcije povećavaju prosečnu molekulsku masu, viskoznost i sadržaj vode u bio-ulju. Ph vrednost bio-ulja čini ga nestabilnim i korozivnim. Nestabilnost se može rešiti poboljšavanjem karakteristika bio-ulja što podrazumeva ili obradu ulja do stabilnog međuproizvoda ili potpuno konvertovanje u ugljovodonična goriva nakon završetka pirolize. Svrha poboljšanja karakteristika jeste smanjenje stepena porasta viskoznosti bio-ulja koje se javlja sa njegovim starenjem. Najefikasnija metoda je smanjenje sadržaja kiseonika u brojnim organskim jedinjenjima od kojih se bio-ulje sastoji, po mogućstvu uz postizanje ekonomski optimalnog bilansa između oksida ugljenika i vode. Uklanjanje kiseonika u obliku karboksilnih kiselih grupa smanjuje kiselost što poboljšava stabilnost bio-ulja. Druge tehnike stabilizacije uključuju sprečavanje dospevanja ili uklanjanje suspendovanih čestica čvrstog ostatka u bio-ulju. Nestabilnost je osnovni uzrok ograničavanja prerade bio-ulja u postojećim rafinerijama nafte i komercijalizacije bio-ulja kao transportnog goriva [33]. Uspešan razvoj tehnologija za unapređivanje bio-ulja mogao bi da dovede do prevazilaženja navedenog ograničenja.

Sastav čvrstog (koksno) ostatka

Devolatilizacijom biomase tokom procesa pirolize nastaje čvrsti ostatak. Povećanje temperature pirolize smanjuje udeo isparljivih materija i teži da dovede do smanjenja odnosa O/C i H/C, povećavajući stoga prinos čvrstog ostatka, maseni udeo fiksnog ugljenika, sadržaj pepela i gornju toplotnu moć. Lehmann i Joseph [34] definisali su čvrsti ostatak kao poroznu materiju bogatu ugljenikom sastavljenu od finih čestica, koja nastaje termičkom dekompozicijom biomase u uslovima bez kiseonika i pri relativno niskoj temperaturi (< 700 °C).

U tabeli 5.10. prikazani su rezultati elementarne analize, maseni udeo pepela i gornja toplotna moć čvrstog ostatka dobijenog nakon procesa pirolize oklaska kukuruza korišćenog

u eksperimentalnom ispitivanju. Analiza sastava čvrstog ostatka i određivanje donje toplotne moći izvršeni su u Laboratoriji za čvrsta goriva na Rudarskom institutu u Beogradu [35].

Tabela 5.10. Osobine čvrstog ostatka oklaska kukuruza na kraju procesa pirolize [35]

Tehnička analiza		(maseni udeo %, suva osnova)
Pepeo (A)		10.21
Donja toplotna moć, H_d (kJ/kg)		26182.09
Elementarna analiza		(maseni udeo %, suva osnova)
Ugljenik (C)		74.80
Vodonik (H)		2.11
Azot (N)		1.25
Sumpor (S)		0.11
Kiseonik (O)		11.52
H/C (kmolH/kmolC)		0.34
O/C (kmolO/kmolC)		0.11

Na osnovu sastava čvrstog ostatka dobijenog nakon procesa pirolize oklaska kukuruza potvrđeno je da je čvrsti ostatak proizvod bogat ugljenikom (74.80%). Maseni udeo ugljenika u ulaznoj biomasi iznosio je 51.11% (suva osnova). Maseni udeo vodonika se smanjio sa 5.97% na 2.11% (suva osnova), dok se maseni udeo pepela povećao sa 1.25% na 10.21% (suva osnova). Osim toga, čvrsti ostatak ima veću donju toplotnu moć (26182.09 kJ/kg) u odnosu na ulaznu biomasu (17087.47 kJ/kg). Poređenje navedenih osobina čvrstog ostatka sa osobinama čvrstog ostatka oklaska kukuruza iz literature prikazano je u tabeli 5.11. Razlike u sastavu čvrstog ostatka mogu se objasniti različitim uslovima odvijanja procesa i različitim sastavom ulazne biomase.

Tabela 5.11. Osobine čvrstog ostatka dobijenog procesom pirolize oklaska kukuruza iz literature

Literatura	Vrsta biomase	Elementarni sastav							Pepeo (maseni udeo %, suva osnova)	H_d (kJ/kg)
		C	H	N	S	O	H/C	O/C		
		(maseni udeo %, suva osnova)					$\left(\frac{\text{kmolH}}{\text{kmolC}}\right)$	$\left(\frac{\text{kmolO}}{\text{kmolC}}\right)$		
Mullen C. A i ostali [31]	Oklasak kukuruza	77.60	3.05	0.85	0.02	5.11	0.47	0.05	13.34	29232
Danje S [36]	Oklasak kukuruza	66.96	0.03	2.30	0	16.04	0.005	0.18	14.70	20302

Čvrsti (koksni) ostatak je veoma efikasan u poboljšavanju osobina zemljišta i useva i može da poveća otpornost useva. U poslednje vreme, čvrsti ostatak se koristi za remedijaciju zemljišta koje sadrži teške metale i organske zagađujuće materije. Međutim, pokazalo se da

primena čvrstog ostatka u zemljištu dovodi do smanjene efikasnosti pesticida. Čvrsti ostatak je bogat ugljenikom i zahvaljujući poroznoj strukturi ima veliku specifičnu površinu, zbog čega poboljšava sposobnost zemljišta da zadržava vodu i hranljive materije [37]. Široko je rasprostranjeno mišljenje da upotreba čvrstog ostatka dobijenog procesom pirolize može da ublaži klimatske promene, poboljša prinos useva, doprinese remedijaciji zagađene životne sredine i reciklaži poljoprivrednog otpada. Neophodna su dalja istraživanja kako bi se odredio ukupan potencijal upotrebe čvrstog ostatka koji bi životnoj sredini mogao da donese višestruku korist.

5.2.4. Obrada rezultata ispitivanja procesa pirolize oklaska kukuruza

5.2.4.1. Karakteristike proizvedenog gasa

Gas proizveden procesom pirolize oklaska kukuruza činili su: ugljen monoksid, ugljen dioksid, kiseonik, vodonik i metan. Za proračun su korišćeni zapreminski udeli metana, vodonika i kiseonika za oklasak kukuruza frakcije 1.0 - 1.4 mm (*Prilog 9*), dok su vrednosti zapreminskih udela CO i H₂ preuzete iz literature [24, 26]. Zbir navedenih zapreminskih udela u gasu manji je od 100%, te je u cilju vršenja analize proizvedenog gasa pretpostavljeno da ostatak gasa čini azot. Zapreminski udeli komponenata u proizvedenom kondenzibilnom gasu na kraju procesa pirolize su:

$$\varphi_{\text{CO}} = 6\%$$

$$\varphi_{\text{H}_2} = 7.5\%$$

$$\varphi_{\text{CO}_2} = 18.5\%$$

$$\varphi_{\text{CH}_4} = 38.5\%$$

$$\varphi_{\text{O}_2} = 0.8\%$$

$$\varphi_{\text{N}_2} = 28.7\% \quad (\text{dobijen proračunom})$$

Gustina pirolitičkog kondenzibilnog gasa je:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{wg}} &= \sum \varphi_i \cdot \rho_i = \varphi_{\text{CO}} \cdot \rho_{\text{CO}} + \varphi_{\text{CO}_2} \cdot \rho_{\text{CO}_2} + \varphi_{\text{O}_2} \cdot \rho_{\text{O}_2} + \varphi_{\text{H}_2} \cdot \rho_{\text{H}_2} + \varphi_{\text{CH}_4} \cdot \rho_{\text{CH}_4} + \varphi_{\text{N}_2} \cdot \rho_{\text{N}_2} = \\ &= 0.060 \cdot 1.250 + 0.185 \cdot 1.976 + 0.008 \cdot 1.429 + 0.075 \cdot 0.08985 + 0.385 \cdot 0.717 + \\ &+ 0.287 \cdot 1.251 = 1.09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \end{aligned}$$

gde su:

$$\rho_{\text{CO}} = 1.250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{- gustina CO pri normalnim uslovima,}$$

$$\rho_{\text{CO}_2} = 1.976 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{- gustina CO}_2 \text{ pri normalnim uslovima,}$$

$$\rho_{\text{O}_2} = 1.429 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{- gustina O}_2 \text{ pri normalnim uslovima,}$$

$$\rho_{\text{H}_2} = 0.08985 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{- gustina H}_2 \text{ pri normalnim uslovima,}$$

$$\rho_{\text{CH}_4} = 0.717 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{- gustina CH}_4 \text{ pri normalnim uslovima,}$$

$$\rho_{N_2} = 1.251 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - \text{gustina } N_2 \text{ pri normalnim uslovima.}$$

Molarna masa vlažnog kondenzibilnog gasa može se izračunati na sledeći način:

$$\begin{aligned} M_{\text{wg}} &= \sum \varphi_i \cdot M_i = \varphi_{\text{CO}} \cdot M_{\text{CO}} + \varphi_{\text{CO}_2} \cdot M_{\text{CO}_2} + \varphi_{\text{O}_2} \cdot M_{\text{O}_2} + \varphi_{\text{H}_2} \cdot M_{\text{H}_2} + \varphi_{\text{CH}_4} \cdot M_{\text{CH}_4} + \varphi_{\text{N}_2} \cdot M_{\text{N}_2} = \\ &= 0.060 \cdot 28 + 0.185 \cdot 44 + 0.008 \cdot 32 + 0.075 \cdot 2 + 0.385 \cdot 16 + 0.287 \cdot 28 = \\ &= 24.42 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}, \end{aligned}$$

gde su:

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

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

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

$$M_{\text{H}_2} = 2 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} - \text{molarna masa H}_2,$$

$$M_{\text{CH}_4} = 16 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} - \text{molarna masa CH}_4,$$

$$M_{\text{N}_2} = 28 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} - \text{molarna masa N}_2.$$

Donja toplotna moć vlažnog kondenzibilnog gasa iznosi:

$$\begin{aligned} H_{\text{d, wg}} &= 12644 \cdot \varphi_{\text{CO}} + 10760 \cdot \varphi_{\text{H}_2} + 35797 \cdot \varphi_{\text{CH}_4} = 12644 \cdot 0.060 + 10760 \cdot 0.075 + \\ &\quad + 35797 \cdot 0.385 = 15347.48 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}, \\ H_{\text{d, wg}} &= \frac{15347.48}{1.09} = 14080.26 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}. \end{aligned}$$

5.2.4.2. Materijalni bilans

Materijalni bilans u pirolitičkom reaktoru određen je na osnovu sastava oklaska kukuruza korišćenog za eksperimentalno ispitivanje procesa pirolize: C=46.74%, H=5.46%, O=34.16%, N=3.83%, S=0.12%, W=8.55%, A=1.14% i sastava čvrstog (koksno) ostatka: C=74.80%, H=2.11%, O=11.52%, N=1.25%, S=0.11%, W=0.00%, A=10.21%.

Empirijska formula goriva $\text{CH}_x\text{O}_y\text{N}_z\text{S}_w$ pogodna je za različite vrste biomase. Koristeći elementarnu analizu i masene udele ugljenika, vodonika, kiseonika, azota i sumpora, x, y, z i w se mogu odrediti na sledeći način:

$$x = \frac{H}{C} \cdot \frac{M_C}{M_H} = \frac{5.46}{46.74} \cdot \frac{12}{1} = 1.4018,$$

$$y = \frac{O}{C} \cdot \frac{M_C}{M_O} = \frac{34.16}{46.74} \cdot \frac{12}{16} = 0.5481,$$

$$z = \frac{N}{C} \cdot \frac{M_C}{M_N} = \frac{3.83}{46.74} \cdot \frac{12}{14} = 0.0702,$$

$$w = \frac{S}{C} \cdot \frac{M_C}{M_S} = \frac{0.12}{46.74} \cdot \frac{12}{32} = 0.0010.$$

Stoga, empirijska formula oklaska kukuruza zasnovana na jednom atomu ugljenika je $CH_{1.4018}O_{0.5481}N_{0.0702}S_{0.0010}$.

Na isti način mogu se odrediti x, y, z i w za empirijsku formulu čvrstog (koksno) ostatka:

$$x = \frac{H}{C} \cdot \frac{M_C}{M_H} = \frac{2.11}{74.80} \cdot \frac{12}{1} = 0.3385,$$

$$y = \frac{O}{C} \cdot \frac{M_C}{M_O} = \frac{11.52}{74.80} \cdot \frac{12}{16} = 0.1155,$$

$$z = \frac{N}{C} \cdot \frac{M_C}{M_N} = \frac{1.25}{74.80} \cdot \frac{12}{14} = 0.0143,$$

$$w = \frac{S}{C} \cdot \frac{M_C}{M_S} = \frac{0.11}{74.80} \cdot \frac{12}{32} = 0.0005.$$

Nakon toga se može odrediti empirijska formula čvrstog (koksno) ostatka oklaska kukuruza: $CH_{0.3385}O_{0.1155}N_{0.0143}S_{0.0005}$.

Bilans ugljenika

Masa ugljenika po jedinici goriva iznosi:

$$C_B = 0.4674 \frac{\text{kgC}}{\text{kgB}}.$$

Masa ugljenika u čvrstom ostatku (koku) po jedinici goriva je:

$$C_{KB} = 0.7480 \cdot \frac{m_K}{m_B} = 0.7480 \cdot \frac{0.0021}{0.0100} = 0.1571 \frac{\text{kgC}}{\text{kgB}},$$

gde su:

m_K - masa čvrstog (koksno) ostatka nakon procesa pirolize (kgK),

m_B - masa goriva (oklasak kukuruza) u pirolitičkom reaktoru (kgB).

Masa ugljenika u vlažnom pirolitičkom gasu po jedinici goriva iznosi:

$$C_{wgB} = C_B - C_{KB} = 0.4674 - 0.1571 = 0.3103 \frac{\text{kgC}}{\text{kgB}}.$$

Stepen konverzije ugljenika je:

$$\eta_c = \left(1 - \frac{C_{KB}}{C_B}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{0.1517}{0.4674}\right) \cdot 100 = 67.54\%.$$

Bilans vodonika

Masa vodonika po jedinici goriva iznosi:

$$H_{2B} = 0.0546 \frac{\text{kgH}_2}{\text{kgB}}.$$

Masa vodonika u čvrstom ostatku (koku) po jedinici goriva je:

$$H_{2KB} = 0.0211 \cdot \frac{m_K}{m_B} = 0.0211 \cdot \frac{0.0021}{0.0100} = 0.0044 \frac{\text{kgH}_2}{\text{kgB}}.$$

Masa vodonika u vlažnom pirolitičkom gasu po jedinici goriva iznosi:

$$H_{2wgB} = H_{2B} - H_{2KB} = 0.0546 - 0.0044 = 0.0502 \frac{\text{kgH}_2}{\text{kgB}}$$

Stepen konverzije vodonika je:

$$\eta_{H_2} = \left(1 - \frac{H_{2KB}}{H_{2B}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{0.0044}{0.0546}\right) \cdot 100 = 91.94\%.$$

Bilans kiseonika

Masa kiseonika u gorivu iznosi:

$$O_{2B} = 0.3416 \frac{\text{kgO}_2}{\text{kgB}}.$$

Masa kiseonika u čvrstom ostatku (koku) po jedinici goriva je:

$$O_{2K} = 0.1152 \cdot \frac{m_K}{m_B} = 0.1152 \cdot \frac{0.0021}{0.0100} = 0.0242 \frac{\text{kgO}_2}{\text{kgB}}.$$

Masa kiseonika u vlažnom pirolitičkom gasu po jedinici goriva iznosi:

$$O_{2wgB} = O_{2B} - O_{2KB} = 0.3416 - 0.0242 = 0.3174 \frac{\text{kgO}_2}{\text{kgB}}.$$

Stepen konverzije kiseonika je:

$$\eta_{O_2} = \left(1 - \frac{O_{2KB}}{O_{2B}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{0.0242}{0.3416}\right) \cdot 100 = 92.92\%.$$

Bilans azota

Masa azota u gorivu iznosi:

$$N_{2B} = 0.0383 \frac{\text{kgN}_2}{\text{kgB}}.$$

Masa azota u čvrstom ostatku (koku) po jedinici goriva je:

$$N_{2K} = 0.0125 \cdot \frac{m_K}{m_B} = 0.0125 \cdot \frac{0.0021}{0.0100} = 0.0026 \frac{\text{kgN}_2}{\text{kgB}}.$$

Masa azota u vlažnom pirolitičkom gasu po jedinici goriva iznosi:

$$N_{2wgB} = N_{2B} - N_{2KB} = 0.0383 - 0.0026 = 0.0357 \frac{\text{kgN}_2}{\text{kgB}}.$$

Stepen konverzije azota je:

$$\eta_{N_2} = \left(1 - \frac{N_{2KB}}{N_{2B}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{0.0026}{0.0383}\right) \cdot 100 = 93.21\%.$$

Bilans sumpora

Masa sumpora u gorivu iznosi:

$$S_B = 0.0012 \frac{\text{kgS}}{\text{kgB}}.$$

Masa sumpora u čvrstom ostatku (koku) po jedinici goriva je:

$$S_{KB} = 0.0011 \cdot \frac{m_K}{m_B} = 0.0011 \cdot \frac{0.0021}{0.0100} = 0.0002 \frac{\text{kgS}}{\text{kgB}}.$$

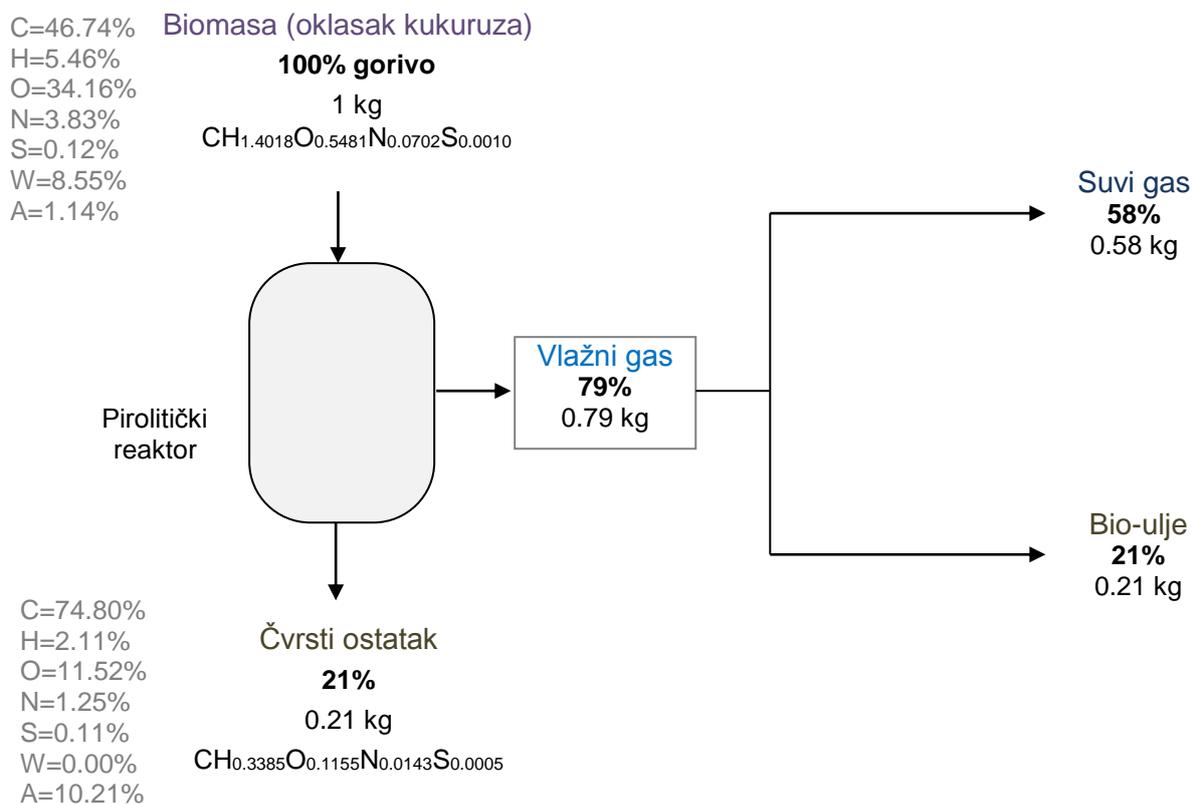
Masa sumpora u vlažnom pirolitičkom gasu po jedinici goriva iznosi:

$$S_{wgB} = S_B - S_{KB} = 0.0012 - 0.0002 = 0.0010 \frac{\text{kgS}}{\text{kgB}}.$$

Stepen konverzije sumpora je:

$$\eta_s = \left(1 - \frac{S_{KB}}{S_B}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{0.0002}{0.0012}\right) \cdot 100 = 83.33\%.$$

Šema materijalnog bilansa u pirolitičkom reaktoru prikazana je na slici 5.20.



Slika 5.20. Šema materijalnog bilansa u pirolitičkom reaktoru

5.2.4.3. Toplotni bilans

Donja toplotna moć oklaska kukuruza određuje se pomoću sledećeg izraza:

$$\begin{aligned} H_{db} &= 33900 \cdot C + 121400 \cdot \left(H - \frac{O}{8}\right) + 10460 \cdot S - 2510 \cdot W = \\ &= 33900 \cdot 0.4674 + 121400 \cdot \left(0.0546 - \frac{0.3416}{8}\right) + 10460 \cdot 0.0012 - 2510 \cdot 0.0855 = \\ &= 17087.47 \frac{\text{kJ}}{\text{kgB}}. \end{aligned}$$

Za određivanje toplote (energije) grejača korišćenih za zagrevanje pirolitičkog reaktora neophodno je poznavati njihovu snagu i vreme trajanja procesa pirolize. Zagrevanje je vršeno pomoću dva električna grejača. Snaga jednog grejača iznosila je 1.5 kW, a vreme

trajanja procesa pirolize iznosilo je 40 min. Koristeći navedene podatke dobija se toplota (energija) grejača u reaktoru:

$$E_G = 1.5 \cdot 2 \cdot 40 \cdot 60 = 7200 \frac{\text{kJ}}{\text{kgB}}.$$

Na osnovu rezultata elementarne analize čvrstog ostatka može se izračunati njegova donja toplotna moć:

$$\begin{aligned} H_{\text{ok}} &= 33900 \cdot C + 121400 \cdot \left(H - \frac{O}{8} \right) + 10460 \cdot S - 2510 \cdot W = \\ &= 33900 \cdot 0.7480 + 121400 \cdot \left(0.0211 - \frac{0.1152}{8} \right) + 10460 \cdot 0.0011 - 2510 \cdot 0 = \\ &= 26182.09 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}. \end{aligned}$$

Svedena na jedinicu mase goriva, donja toplotna moć čvrstog ostatka iznosi:

$$H_{\text{dkB}} = \frac{26182.09 \cdot m_{\text{ok}}}{m_{\text{B}}} = \frac{26182.09 \cdot 0.0021}{0.0100} = 5498.24 \frac{\text{kJ}}{\text{kgB}},$$

gde su:

m_{ok} - masa čvrstog ostatka (koksa) (kg),

m_{B} - masa goriva (uzorka oklaska kukuruza) (kg).

Donja toplotna moć vlažnog kondenzibilnog gasa, svedena na jedinicu mase goriva iznosi:

$$H_{\text{dwbB}} = \frac{H_{\text{dwb}} \cdot m_{\text{wg}}}{m_{\text{B}}} = \frac{14080.26 \cdot 0.0079}{0.0100} = 11123.40 \frac{\text{kJ}}{\text{kgB}},$$

gde je:

m_{wg} - masa vlažnog gasa (kg).

Fizička toplota pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize može se odrediti na sledeći način:

$$\begin{aligned} i_{\text{fwb}} &= \sum \varphi_i \cdot i_i = \varphi_{\text{CO}} \cdot i_{\text{CO}} + \varphi_{\text{CO}_2} \cdot i_{\text{CO}_2} + \varphi_{\text{O}_2} \cdot i_{\text{O}_2} + \varphi_{\text{H}_2} \cdot i_{\text{H}_2} + \varphi_{\text{CH}_4} \cdot i_{\text{CH}_4} + \varphi_{\text{N}_2} \cdot i_{\text{N}_2} = \\ &= 0.060 \cdot 887.39 + 0.185 \cdot 1343.20 + 0.008 \cdot 926.96 + 0.075 \cdot 851.60 + \\ &+ 0.385 \cdot 1510.15 + 0.287 \cdot 879.23 = 1206.77 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}, \end{aligned}$$

$$i_{\text{fwb}} = \frac{1206.77}{\rho_{\text{wg}}} = \frac{1206.77}{1.09} = 1107.13 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}},$$

gde su:

$$i_{\text{CO}} = 887.39 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} - \text{specifična entalpija CO pri temperaturi od } 650 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$i_{\text{CO}_2} = 1343.20 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} - \text{specifična entalpija CO}_2 \text{ pri temperaturi od } 650 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$i_{\text{O}_2} = 926.96 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} - \text{specifična entalpija O}_2 \text{ pri temperaturi od } 650 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$i_{\text{H}_2} = 851.60 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} - \text{specifična entalpija H}_2 \text{ pri temperaturi od } 650 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$i_{\text{CH}_4} = 1510.15 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} - \text{specifična entalpija CH}_4 \text{ pri temperaturi od } 650 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$i_{\text{N}_2} = 879.23 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} - \text{specifična entalpija N}_2 \text{ pri temperaturi od } 650 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Fizička toplota pirolitičkog gasa svedena na jedinicu mase goriva na kraju procesa pirolize iznosi:

$$i_{\text{fwgB}} = \frac{1107.13 \cdot m_{\text{wg}}}{m_{\text{B}}} = \frac{1107.13 \cdot 0.0079}{0.0100} = 874.63 \frac{\text{kJ}}{\text{kgB}}.$$

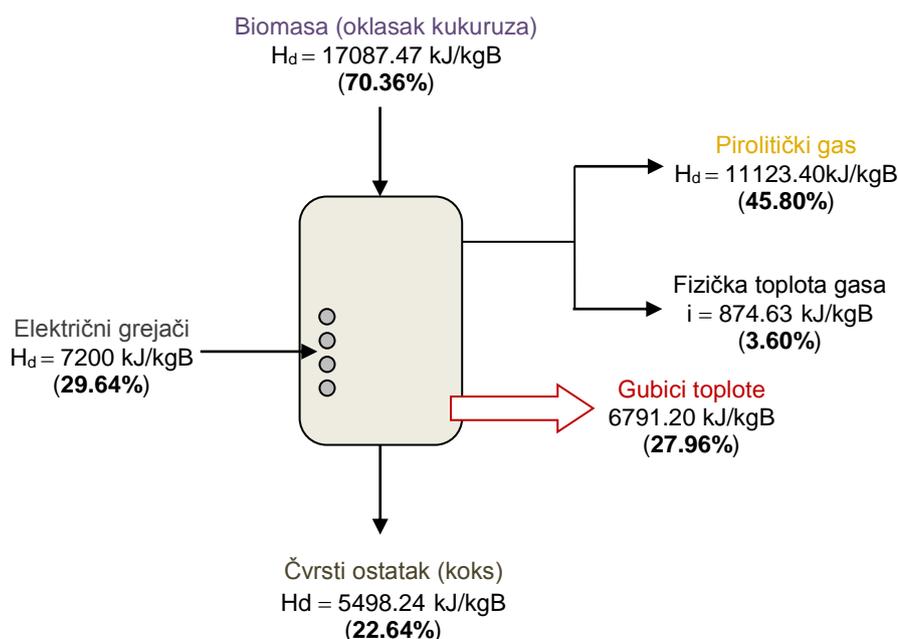
Gubici toplote izračunavaju se na sledeći način:

$$\text{Ulaz} = 17087.47 + 7200 = 24287.47 \text{ kJ/kgB}$$

$$\text{Izlaz} = 11123.40 + 5498.24 + 874.63 = 17496.27 \text{ kJ/kgB}$$

$$\text{GUBICI} = \text{Ulaz} - \text{Izlaz} = 6791.20 \text{ kJ/kgB}.$$

Šema toplotnog bilansa prikazana je na slici 5.21.



Slika 5.21. Šema toplotnog bilansa u pirolitičkom reaktoru

5.2.4.4. Stepenn korisnosti pirolitičkog reaktora

Odnos energije na izlazu iz reaktora i uložene energije na ulazu u reaktor (slika 5.21.) iznosi:

$$\eta_1 = \frac{\text{Izlaz}}{\text{Ulaz}} = \frac{17496.27}{24287.47} = 0.7204 = 72.04\%$$

Odnos hemijske energije gasa na izlazu iz reaktora i uložene hemijske energije na ulazu u reaktor je:

$$\eta_2 = \frac{11123.40}{17087.47} = 0.6510 = 65.10\%$$

Toplotno opterećenje poprečnog preseka reaktora:

$$Q = \frac{m_B \cdot H_{dB}}{A_p} = \frac{m_B \cdot H_{dB}}{\frac{d^2 \cdot \pi}{4}} = \frac{0.01 \cdot 17087.47}{\frac{(160 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3.14}{4}} = 8.50 \cdot 10^3 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2},$$

gde su:

- m_B - masa goriva (kg),
- H_{dB} - donja toplotna moć goriva (kJ/kgB),
- A_p - poprečni presek reaktora (m²),
- d - unutrašnji prečnik reaktora (m).

5.2.5. Analiza greške merenja pri eksperimentalnom ispitivanju procesa pirolize

Svaki eksperimentalni rad praćen je merenjem neke fizičke veličine. Svako merenje je samo aproksimacija prave ili apsolutne vrednosti merene veličine. Razlika između rezultata merenja i prosečne vrednosti kojom zamenjujemo pravu vrednost fizičke veličine, naziva se greška merenja.

Neka je prilikom D ponovljenih direktnih merenja fizičke veličine x izmereno D vrednosti x_1, x_2, \dots, x_D . Srednja vrednost merenja je:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_D}{D} \quad (5.3)$$

Kada se izračuna srednja vrednost, apsolutna greška merenja predstavlja apsolutnu vrednost odstupanja izmerene vrednosti od njene srednje vrednosti:

$$|\Delta x|_i = |x_i - \bar{x}| \quad (5.4)$$

dok je relativna greška količnik apsolutne greške i srednje vrednosti veličine:

$$\delta x_i = \frac{|\Delta x_i|}{\bar{x}} \quad (5.5)$$

Takođe, relativna greška može da se izrazi i u procentima:

$$\delta x_i (\%) = \frac{|\Delta x_i|}{\bar{x}} \cdot 100. \quad (5.6)$$

Ako se izvrši veliki broj merenja, značajnu informaciju o grešci merenja daje srednja kvadratna greška koja se određuje kao:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^D \Delta x_i^2}{D-1}}, \quad (5.7)$$

gde je:

$\Delta x_i = x_i - \bar{x}$ - greška približnog broja x_i .

Primenom izraza od 5.3 do 5.7 i brojevnih vrednosti iz *Priloga 5* urađen je primer proračuna pojedinih parametara za prinos čvrstog ostatka:

$$\text{srednja vrednost: } \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_D}{D} = \frac{1.8 + 1.9 + 1.8 + 1.8 + 2.0}{5} = 1.86 \text{ g,}$$

$$\text{apsolutna greška: } |\Delta x_i| = |x_i - \bar{x}| = |1.8 - 1.86| = 0.06 \text{ g}$$

$$\text{relativna greška: } \delta x_i = \frac{|\Delta x_i|}{\bar{x}} = \frac{0.06}{1.86} = 0.03 \text{ g,}$$

$$\text{relativna greška u procentima: } \delta x_i (\%) = \frac{|\Delta x_i|}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{0.06}{1.86} \cdot 100 = 3.23\%,$$

srednja kvadratna greška:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^D \Delta x_i^2}{D-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (-0.06)^2 + (0.04)^2 + (-0.06)^2 + (-0.06)^2 + (0.14)^2}{4}} = 0.09 \text{ g.}$$

U tabelama 5.12. do 5.17. dati su rezultati proračuna greške merenja prinosa produkata na kraju procesa pirolize i zapreminskih udela gasova u pirolitičkom gasu na 650 °C za sve frakcije (ispitivanje 1 - 5) i oklasak kukuruza u komadu (ispitivanje 6).

Tabela 5.12. Greške merenja prinosa produkata oklaska kukuruza na kraju procesa pirolize i zapreminskih udela gasova u pirolitičkom gasu na 650 °C (frakcija 0.25 - 0.35 mm, ispitivanje 1)

Broj merenja i	Rezultat merenja (g)	Apsolutna greška $ \Delta x_i $ (g)	Relativna greška δx_i (g)	Relativna greška δx_i (%)
<i>Prinos čvrstog ostatka</i>				
1.	1.80	0.06	0.03	3.23
2.	1.90	0.04	0.02	2.15
3.	1.80	0.06	0.03	3.23
4.	1.80	0.06	0.03	3.23
5.	2.00	0.14	0.08	7.53
<i>Prinos bio-ulja</i>				
1.	2.030	0.020	0.010	0.976
2.	1.92	0.13	0.06	6.34
3.	1.96	0.09	0.04	4.39
4.	2.19	0.14	0.07	6.83
5.	2.15	0.10	0.05	4.88
Broj merenja i	Rezultat merenja $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Apsolutna greška $ \Delta x_i \left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Relativna greška $\delta x_i \left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Relativna greška δx_i (%)
<i>CO₂</i>				
1.	0.1750	0.0020	0.0113	1.1300
2.	0.170	0.007	0.040	3.955
3.	0.1750	0.0020	0.0113	1.1300
4.	0.180	0.003	0.017	1.695
5.	0.185	0.008	0.046	4.520
<i>O₂</i>				
1.	0.0060	0.0004	0.0625	6.2500
2.	0.0070	0.0006	0.0937	9.3750
3.	0.0060	0.0004	0.0625	6.2500
4.	0.0070	0.0006	0.0937	9.3750
5.	0.0060	0.0004	0.0625	6.2500
<i>CH₄</i>				
1.	0.440	0.007	0.016	1.617
2.	0.4350	0.0020	0.0046	0.4619
3.	0.425	0.008	0.018	1.848
4.	0.4350	0.0020	0.0046	0.4619
5.	0.430	0.003	0.007	0.693

Tabela 5.13. Greške merenja prinosa produkata oklaska kukuruza na kraju procesa pirolize i zapreminskih udela gasova u pirolitičkom gasu na 650 °C (frakcija 0.35 - 0.50 mm, ispitivanje 2)

Broj merenja <i>i</i>	Rezultat merenja (g)	Apsolutna greška $ \Delta x_i $ (g)	Relativna greška δx_i (g)	Relativna greška δx_i (%)
<i>Prinos čvrstog ostatka</i>				
1.	2.000	0.020	0.010	1.010
2.	2.000	0.020	0.010	1.010
3.	1.90	0.08	0.04	4.04
4.	2.000	0.020	0.010	1.010
5.	2.000	0.020	0.010	1.010
<i>Prinos bio-ulja</i>				
1.	1.4	0.4	0.2	19.8
2.	1.59	0.19	0.11	10.87
3.	1.94	0.16	0.09	8.74
4.	1.810	0.026	0.015	1.457
5.	2.2	0.4	0.2	20.5
Broj merenja <i>i</i>	Rezultat merenja $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Apsolutna greška $ \Delta x_i \left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Relativna greška $\delta x_i \left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Relativna greška δx_i (%)
<i>CO₂</i>				
1.	0.165	0.014	0.078	7.821
2.	0.175	0.004	0.022	2.235
3.	0.185	0.006	0.034	3.352
4.	0.1800	0.0010	0.0056	0.5586
5.	0.190	0.011	0.061	6.145
<i>O₂</i>				
1.	0.00600	0.00020	0.03226	3.22581
2.	0.00600	0.00020	0.03226	3.22581
3.	0.0070	0.0008	0.1290	12.9032
4.	0.00600	0.00020	0.03226	3.22581
5.	0.00600	0.00020	0.03226	3.22581
<i>CH₄</i>				
1.	0.425	0	0	0
2.	0.420	0.005	0.012	1.176
3.	0.430	0.005	0.012	1.176
4.	0.425	0	0	0
5.	0.425	0	0	0

Tabela 5.14. Greške merenja prinosa produkata oklaska kukuruza na kraju procesa pirolize i zapreminskih udela gasova u pirolitičkom gasu na 650 °C (frakcija 0.50 - 0.71 mm, ispitivanje 3)

Broj merenja i	Rezultat merenja (g)	Apsolutna greška $ \Delta x_i $ (g)	Relativna greška δx_i (g)	Relativna greška δx_i (%)
<i>Prinos čvrstog ostatka</i>				
1.	2.100	0.020	0.010	0.961
2.	2.100	0.020	0.010	0.961
3.	2.100	0.020	0.010	0.961
4.	2.00	0.08	0.04	3.85
5.	2.100	0.020	0.010	0.961
<i>Prinos bio-ulja</i>				
1.	2.33	0.04	0.02	1.84
2.	2.9	0.6	0.3	28.1
3.	2.11	0.18	0.08	7.78
4.	1.9	0.4	0.2	16.5
5.	2.16	0.13	0.06	5.59
Broj merenja i	Rezultat merenja $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Apsolutna greška $ \Delta x_i \left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Relativna greška $\delta x_i \left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Relativna greška δx_i (%)
<i>CO₂</i>				
1.	0.175	0.008	0.044	4.372
2.	0.180	0.003	0.016	1.639
3.	0.1850	0.0020	0.0109	1.0928
4.	0.190	0.007	0.038	3.825
5.	0.1850	0.0020	0.0109	1.0928
<i>O₂</i>				
1.	0.0060	0.0006	0.0909	9.0909
2.	0.0070	0.0004	0.0606	6.0606
3.	0.0060	0.0006	0.0909	9.0909
4.	0.0060	0.0006	0.0909	9.0909
5.	0.0080	0.0014	0.2121	21.2121
<i>CH₄</i>				
1.	0.42	0	0	0
2.	0.415	0.005	0.012	1.190
3.	0.425	0.005	0.012	1.190
4.	0.42	0	0	0
5.	0.42	0	0	0

Tabela 5.15. Greške merenja prinosa produkata oklaska kukuruza na kraju procesa pirolize i zapreminskih udela gasova u pirolitičkom gasu na 650 °C (frakcija 0.71 - 1.00 mm, ispitivanje 4)

Broj merenja <i>i</i>	Rezultat merenja (g)	Apsolutna greška $ \Delta x_i $ (g)	Relativna greška δx_i (g)	Relativna greška δx_i (%)
<i>Prinos čvrstog ostatka</i>				
1.	2.00	0.10	0.05	4.76
2.	2.00	0.10	0.05	4.76
3.	2.20	0.10	0.05	4.76
4.	2.1	0	0	0
5.	2.20	0.10	0.05	4.76
<i>Prinos bio-ulja</i>				
1.	1.88	0.13	0.07	6.56
2.	2.28	0.27	0.13	13.32
3.	1.95	0.06	0.03	3.08
4.	1.990	0.022	0.011	1.093
5.	1.96	0.05	0.03	2.58
Broj merenja <i>i</i>	Rezultat merenja $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Apsolutna greška $ \Delta x_i $ $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Relativna greška δx_i $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Relativna greška δx_i (%)
<i>CO₂</i>				
1.	0.185	0.003	0.016	1.648
2.	0.175	0.007	0.038	3.846
3.	0.190	0.008	0.044	4.396
4.	0.190	0.008	0.044	4.396
5.	0.170	0.012	0.066	6.593
<i>O₂</i>				
1.	0.0070	0.0004	0.0606	6.0606
2.	0.0060	0.0006	0.0909	9.0909
3.	0.0070	0.0004	0.0606	6.0606
4.	0.0070	0.0004	0.0606	6.0606
5.	0.0060	0.0006	0.0909	9.0909
<i>CH₄</i>				
1.	0.420	0.004	0.010	0.961
2.	0.4150	0.0010	0.0024	0.2404
3.	0.410	0.006	0.014	1.442
4.	0.420	0.004	0.010	0.961
5.	0.4150	0.0010	0.0024	0.2404

Tabela 5.16. Greške merenja prinosa produkata oklaska kukuruza na kraju procesa pirolize i zapreminskih udela gasova u pirolitičkom gasu na 650 °C (frakcija 1.00 - 1.40 mm, ispitivanje 5)

Broj merenja i	Rezultat merenja (g)	Apsolutna greška $ \Delta x_i $ (g)	Relativna greška δx_i (g)	Relativna greška δx_i (%)
<i>Prinos čvrstog ostatka</i>				
1.	2.00	0.12	0.06	5.66
2.	2.20	0.08	0.04	3.77
3.	2.100	0.020	0.009	0.943
4.	2.20	0.08	0.04	3.77
5.	2.100	0.020	0.009	0.943
<i>Prinos bio-ulja</i>				
1.	1.850	0.024	0.013	1.314
2.	1.66	0.17	0.09	9.09
3.	1.71	0.12	0.06	6.35
4.	2.10	0.27	0.15	15.00
5.	1.810	0.016	0.009	0.876
Broj merenja i	Rezultat merenja $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Apsolutna greška $ \Delta x_i \left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Relativna greška $\delta x_i \left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Relativna greška δx_i (%)
<i>CO₂</i>				
1.	0.1800	0.0010	0.0055	0.5525
2.	0.170	0.011	0.061	6.077
3.	0.185	0.004	0.022	2.210
4.	0.195	0.014	0.077	7.735
5.	0.175	0.006	0.033	3.315
<i>O₂</i>				
1.	0.0080	0.0008	0.1111	11.1111
2.	0.00700	0.00020	0.02778	2.77778
3.	0.00700	0.00020	0.02778	2.77778
4.	0.00700	0.00020	0.02778	2.77778
5.	0.00700	0.00020	0.02778	2.77778
<i>CH₄</i>				
1.	0.380	0.019	0.048	4.762
2.	0.385	0.014	0.035	3.509
3.	0.385	0.014	0.035	3.509
4.	0.420	0.021	0.053	5.263
5.	0.425	0.026	0.065	6.516

Tabela 5.17. Greške merenja prinosa produkata oklaska kukuruza na kraju procesa pirolize i zapreminskih udela gasova u pirolitičkom gasu na 650 °C (komad, ispitivanje 6)

Broj merenja i	Rezultat merenja (g)	Apsolutna greška $ \Delta x_i $ (g)	Relativna greška δx_i (g)	Relativna greška δx_i (%)
<i>Prinos čvrstog ostatka</i>				
1.	2.100	0.020	0.009	0.943
2.	2.20	0.08	0.04	3.77
3.	2.100	0.020	0.009	0.943
4.	2.00	0.12	0.06	5.66
5.	2.20	0.08	0.04	3.77
<i>Prinos bio-ulja</i>				
1.	2.26	0.13	0.06	6.00
2.	2.41	0.28	0.13	13.04
3.	2.1300	0.0020	0.0009	0.0938
4.	2.04	0.09	0.04	4.31
5.	1.8	0.3	0.1	14.6
Broj merenja i	Rezultat merenja $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Apsolutna greška $ \Delta x_i \left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Relativna greška $\delta x_i \left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Relativna greška δx_i (%)
<i>CO₂</i>				
1.	0.175	0.004	0.022	2.235
2.	0.1800	0.0010	0.0056	0.5587
3.	0.185	0.006	0.034	3.352
4.	0.170	0.009	0.050	5.028
5.	0.185	0.006	0.034	3.352
<i>O₂</i>				
1.	0.0080	0.0010	0.1429	14.2857
2.	0.0080	0.0010	0.1429	14.2857
3.	0.007	0	0	0
4.	0.0060	0.0010	0.1429	14.2857
5.	0.0060	0.0010	0.1429	14.2857
<i>CH₄</i>				
1.	0.415	0.019	0.048	4.798
2.	0.375	0.021	0.053	5.303
3.	0.390	0.006	0.015	1.515
4.	0.420	0.024	0.061	6.061
5.	0.380	0.016	0.040	4.040

Ako je izvršeno 5 i više merenja veličine x, onda se rezultat merenja može izraziti kao:

$$x = \bar{x} \pm \sigma_x \quad (5.8)$$

U tabeli 5.18 primenjen je navedeni način izražavanja rezultata merenja za prinose čvrstog ostatka i bio-ulja na kraju procesa pirolize i zapreminskih udela gasova u pirolitičkom gasu na 650 °C.

Tabela 5.18. Rezultati eksperimentalnog ispitivanja procesa pirolize sa srednjom kvadratnom greškom merenja

Frakcija (mm)	0.25 - 0.35	0.35 - 0.50	0.50 - 0.71	0.71 - 1.00	1.00 - 1.40	Komad
<i>Prinos čvrstog ostatka (g)</i>	1.86 ± 0.09	1.98 ± 0.04	2.08 ± 0.04	2.10 ± 0.10	2.12 ± 0.08	2.12 ± 0.08
<i>Prinos bio-ulja (g)</i>	2.05 ± 0.12	1.78 ± 0.28	2.3 ± 0.4	2.01 ± 0.16	1.83 ± 0.17	2.13 ± 0.22
<i>Zapreminski udeo CO₂ (kmol/kmol)</i>	0.177 ± 0.006	0.179 ± 0.008	0.183 ± 0.006	0.182 ± 0.009	0.181 ± 0.010	0.179 ± 0.006
<i>Zapreminski udeo O₂ (kmol/kmol)</i>	0.0064 ± 0.0005	0.0062 ± 0.0004	0.0066 ± 0.0009	0.0066 ± 0.0005	0.0072 ± 0.0004	0.0070 ± 0.0010
<i>Zapreminski udeo CH₄ (kmol/kmol)</i>	0.433 ± 0.006	0.425 ± 0.004	0.420 ± 0.004	0.416 ± 0.004	0.399 ± 0.022	0.396 ± 0.020

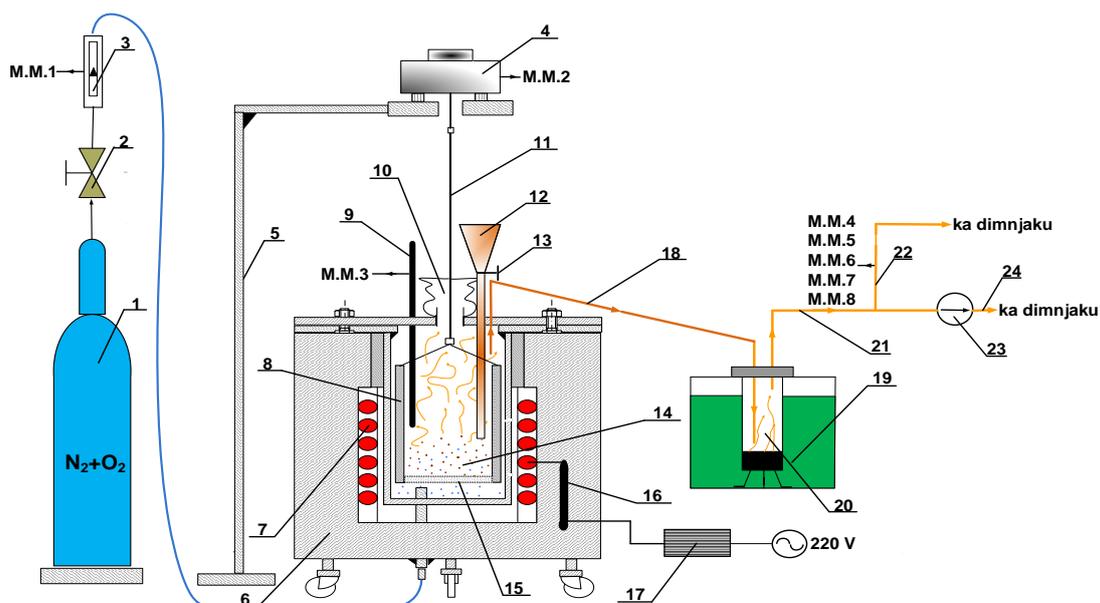
5.3. Eksperimentalno ispitivanje procesa gasifikacije oklaska kukuruza

Gasifikacija biomase predstavlja kontrolisanu delimičnu oksidaciju koja se postiže dodavanjem manje količine kiseonika nego što je neophodno za proces potpunog sagorevanja. Količina proizvedenih volatila u procesu gasifikacije i njihov sastav zavise od vrste reaktora i karakteristika biomase. Pri procesu gasifikacije mogu se koristiti različiti agensi: vazduh, kiseonik, vodonik ili vodena para. Na osnovu pregleda literature može se zaključiti da su ravnotežni modeli gasifikacije veoma korisni jer mogu da predvide sastav proizvedenog gasa, ali ne sa velikom preciznošću i ne u svim slučajevima, tako da je poželjno eksperimentalnim ispitivanjem odrediti sastav proizvedenog gasa.

5.3.1. Šema i opis laboratorijskog postrojenja za gasifikaciju

Projektovanje i upotreba gasifikatora zahtevaju razumevanje procesa gasifikacije jer njegova konfiguracija, veličina, vrsta goriva i radni uslovi utiču na rad postrojenja za gasifikaciju. Eksperimentalno ispitivanje procesa gasifikacije oklaska kukuruza vršeno je u gasifikatoru sa fiksnim slojem sa uzlaznom strujom oksidanta. Kao oksidujući agens korišćen je vazduh protoka 0.1, 0.3 i 0.6 m³/h. Merna oprema obuhvata aparaturu za merenje protoka vazduha (rotametar), merenje promene mase uzorka (digitalna precizna vaga METTLER P1000), praćenje temperature u reaktoru (digitalni pokazivač temperature Testo 925 sa sondom tipa K (NiCr - Ni)) i uređaj za analizu gasova (gasni analizator G 750 POLYTECTOR II). Detaljan opis karakteristika reaktora i merne opreme prikazan je u poglavlju 5.2.1. Na prikazanim mernim mestima (slika 5.22.) merene su sledeće procesne veličine:

- M.M.1 - protok vazduha,
- M.M.2 - masa uzorka biomase (oklasak kukuruza),
- M.M.3 - temperatura pirolitičkog gasa u posudi za biomasu,
- M.M.4 - zapreminski udeo CO u gasu na izlazu iz reaktora (%),
- M.M.5 - zapreminski udeo H₂ u gasu na izlazu iz reaktora (%),
- M.M.6 - zapreminski udeo CO₂ u gasu na izlazu iz reaktora (%),
- M.M.7 - zapreminski udeo O₂ u gasu na izlazu iz reaktora (%),
- M.M.8 - zapreminski udeo CH₄ u gasu na izlazu iz reaktora (%).



Slika 5.22. Šema eksperimentalnog postrojenja i mernih mesta za gasifikaciju biomase
 1 - boca sa vazduhom, 2 - ventil, 3 - rotametar, 4 - digitalna vaga, 5 - stalak za vagu, 6 - peć,
 7 - električni grejači, 8 - reaktorski sud, 9 - termoelement (merač temperature u posudi za biomasu),
 10 - fleksibilni teflonski omotač, 11 - fleksibilna veza između vage i posude za biomasu, 12 - dozator
 za biomasu, 13 - klapna, 14 - uzorak oklaska kukuruza, 15 - rešetka, 16 - senzor regulatora
 temperature, 17 - regulator temperature, 18 - vod gasovitih produkata gasifikacije, 19 - hladnjak,
 20 - boca za izdvajanje tečne faze, 21 - suvi gasoviti produkti gasifikacije, 22 - uzorkovani gas,
 23 - pumpa, 24 - odvod gasa ka dimnjaku

5.3.2. Opis eksperimenta

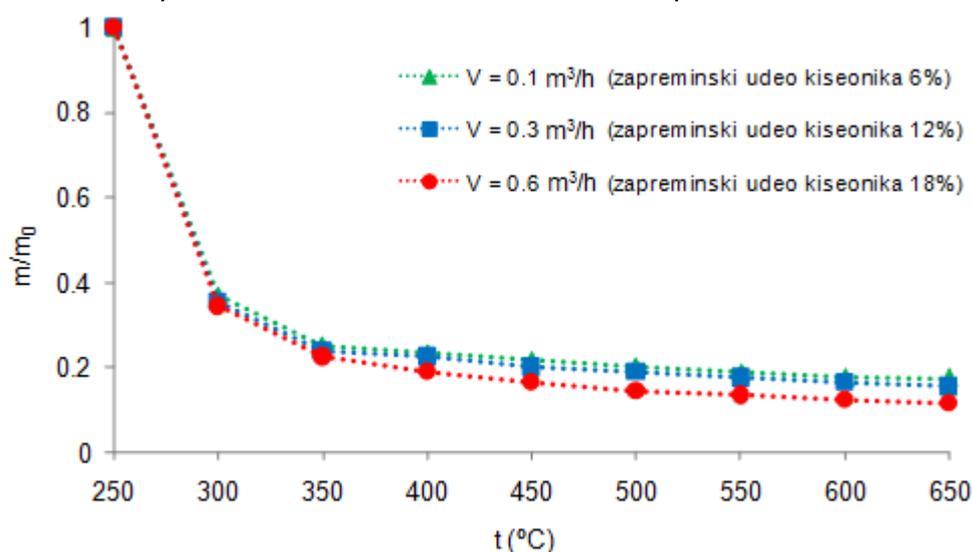
Pri eksperimentalnom ispitivanju procesa gasifikacije korišćen je uzorak oklaska kukuruza prosečne dužine 54.2 mm i prosečnog prečnika 24.6 mm. Inicijalna masa uzorka iznosila je 10 g, a protok injektiranog vazduha iznosio je 0.1, 0.3 i 0.6 m³/h. Vazduh se uvodi na dnu reaktora, a protok vazduha se kontroliše pomoću merača protoka (rotametra). Reaktor se zagreva pomoću dva električna grejača ukupne snage 3 kW. Uzorak oklaska kukuruza stavlja se u dozator. Nakon postizanja temperature od 250 °C, pokreće se klapna i uzorak se injektira u reaktor. Kada temperatura u reaktoru dostigne 650 °C, održava se dok se ne ustali masa uzorka u reaktoru.

Merenje promene mase uzorka oklaska kukuruza vršeno je pomoću digitalne precizne vage METTLER P1000. Posuda sa uzorkom je okačena za vagu pomoću fleksibilne veze između vage i posude. Promena mase uzorka beležena je na svakih 50 °C dok nije postignuta temperatura od 650 °C. Gasni analizator G 750 POLYTECTOR II korišćen je za merenje zapreminskih udela gasova na izlazu iz reaktora. Mereni su zapreminski udeli ugljen monoksida, vodonika, ugljen dioksida, kiseonika i metana na svakih 50 °C od 300 do 650 °C. Temperatura u posudi sa biomasom merena je pomoću digitalnog pokazivača temperature Testo 925 sa sondom tipa K (NiCr - Ni). Nakon eksperimenta, vršeno je merenje mase čvrstog ostatka. Svi podaci su unošeni u merne liste. Eksperiment je ponovljen po dva puta za svaku vrednost protoka vazduha (0.1, 0.3 i 0.6 m³/h). Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru iznosila je 31 °C/min. Rezultati ispitivanja prikazani su u *Prilozima 23 - 25*.

5.3.3. Rezultati i diskusija eksperimentalnog ispitivanja

5.3.3.1. Uticaj temperature na proces gasifikacije

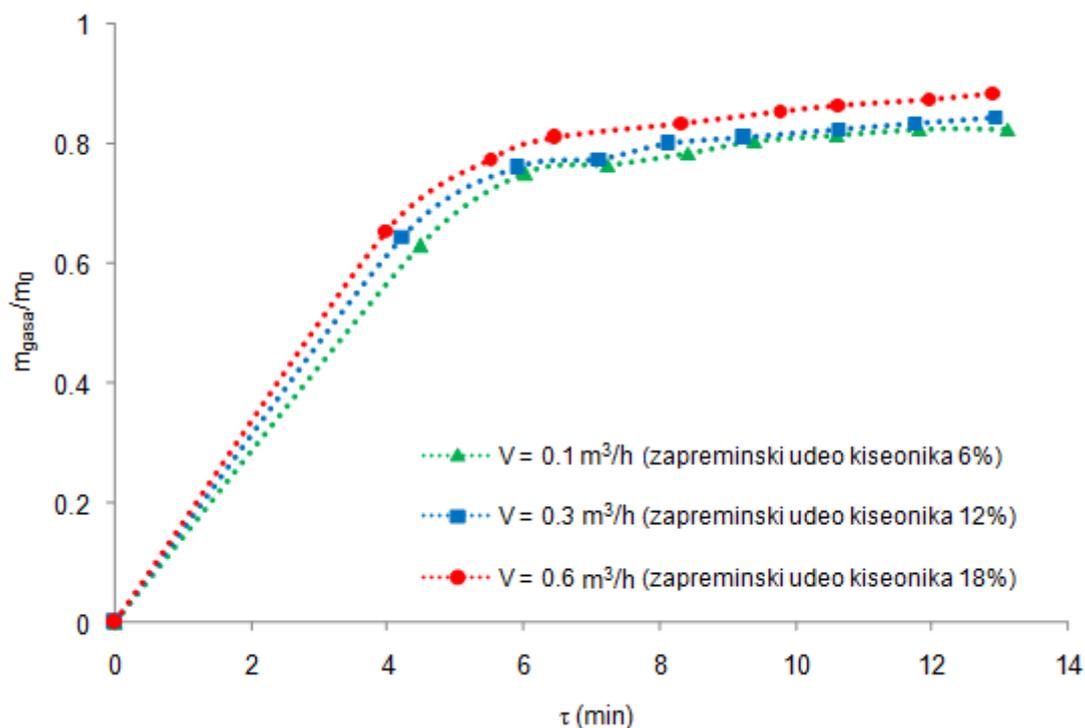
Na slici 5.23. prikazana je promena mase m/m_0 , gde je m masa uzorka oklaska kukuruza koja se menja tokom vremena, a m_0 početna masa uzorka, u zavisnosti od reakcione temperature. Nagli gubitak mase uzorka zabeležen je u opsegu temperature od 250 do 300 °C. Može se uočiti da se masa čvrstog ostatka smanjuje sa porastom količine injektiranog vazduha. To se može objasniti većim zapreminskim udelom kiseonika pri većim protocima vazduha. Prinos čvrstog ostatka na kraju procesa gasifikacije iznosio je 17.5, 15.5 i 11.5% za vrednosti protoka vazduha 0.1, 0.3 i 0.6 m³/h, respektivno.



Slika 5.23. Promena mase uzorka oklaska kukuruza u zavisnosti od temperature za različite vrednosti protoka vazduha (srednja vrednost merenja 1 i 2)

5.3.3.2. Prinos gasa u zavisnosti od reakcionog vremena

Na slici 5.24. predstavljen je promena mase gasa (m_{gas}/m_0) u zavisnosti od reakcionog vremena. Može se primetiti da sa povećanjem protoka vazduha prinos gasa raste. Na kraju procesa gasifikacije masa gasa iznosi 8.25, 8.45 i 8.85 g za vrednosti protoka vazduha 0.1, 0.3 i 0.6 m³/h, respektivno.

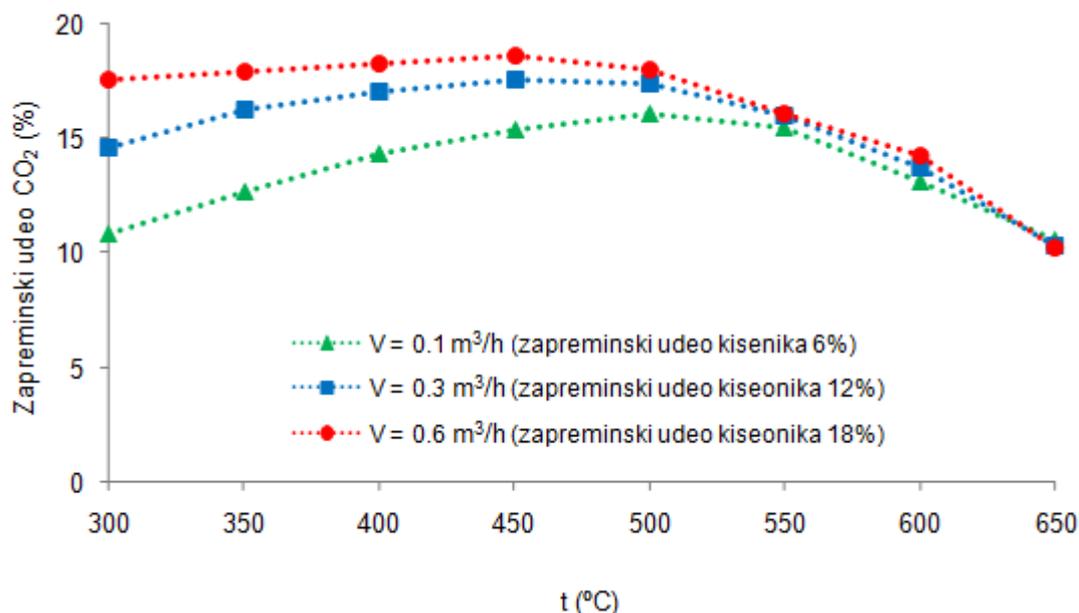


Slika 5.24. Prinos gasa u zavisnosti od reakcionog vremena za različite vrednosti protoka vazduha (srednja vrednost merenja 1 i 2)

5.3.3.3. Sastav gasa dobijenog procesom gasifikacije

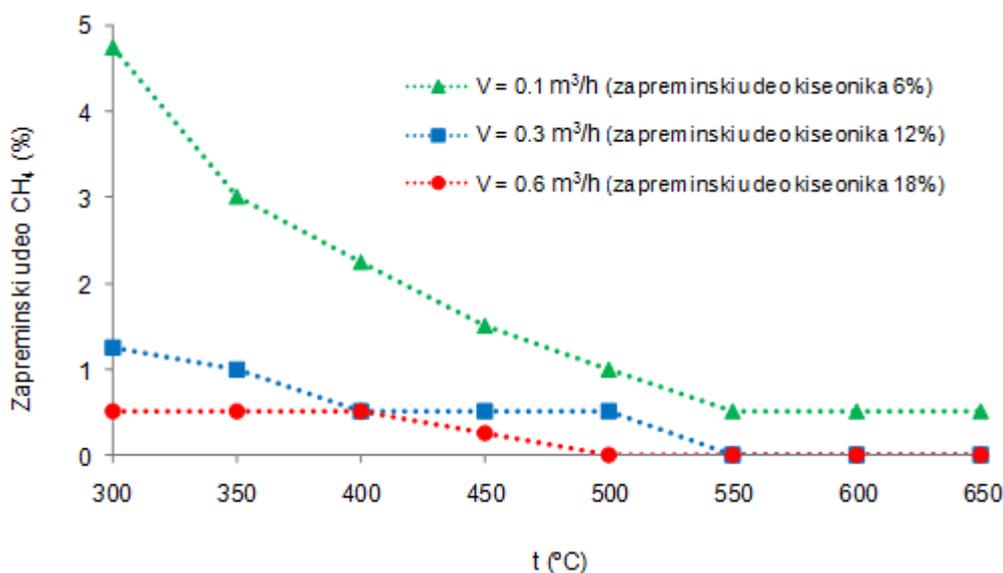
Sastav gasa dobijenog procesom gasifikacije zavisi od vrste procesa gasifikacije, gasifikacionog agensa i temperature. Gas proizveden gasifikacijom pri niskoj temperaturi (ispod 1000 °C) sadrži CO, CO₂, H₂O, H₂, CH₄, N₂.

Na slici 5.25. prikazana je promena zapreminskog udela CO₂ u gasu u zavisnosti od temperature i protoka injektiranog vazduha. Kada protok injektiranog vazduha iznosi 0.1 m³/h zapreminski udeo CO₂ raste sa porastom temperature do 500 °C, nakon čega opada, dok je za protoke injektiranog vazduha 0.3 i 0.6 m³/h najveća vrednost zapreminskog udela CO₂ zabeležena na 450 °C. Tokom celog procesa gasifikacije zapreminski udeo CO₂ raste sa povećanjem količine injektiranog vazduha. Zapreminski udeo CO₂ u gasu pri 650 °C iznosio je 10.55, 10.35 i 10.25% za protok vazduha 0.1, 0.3 i 0.6 m³/h, respektivno.



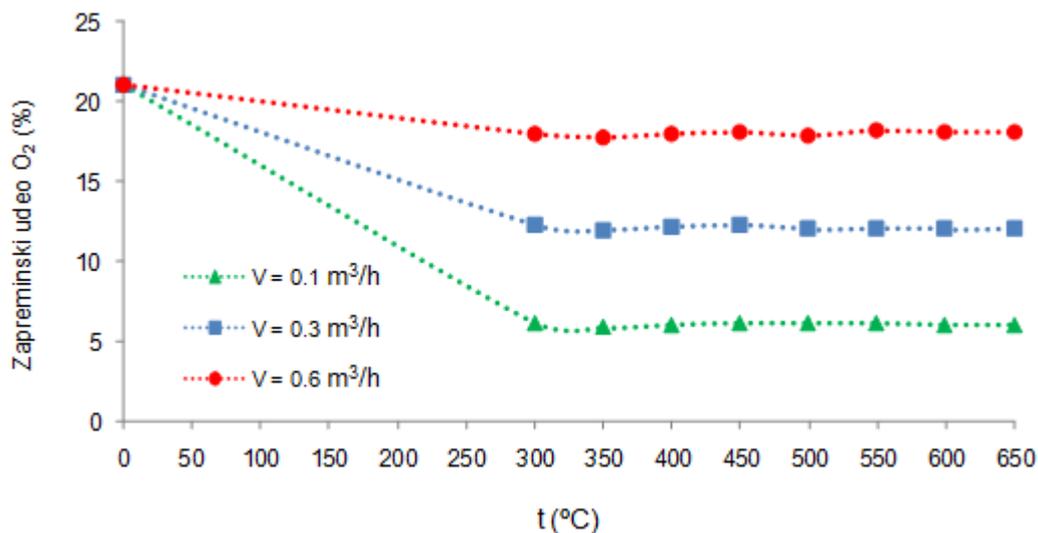
Slika 5.25. Zapreminski udeo CO₂ u zavisnosti od temperature (srednja vrednost merenja 1 i 2)

Slika 5.26. prikazuje promene zapreminskog udela CH₄ u funkciji temperature pri različitim količinama injektiranog vazduha. Sa porastom temperature i količine injektiranog vazduha, zapreminski udeo CH₄ opada. Pri temperaturi gasifikacije 300 °C zapreminski udeo metana iznosi 4.75, 1.25 i 0.5% za protok vazduha 0.1, 0.3 i 0.6 m³/h, respektivno. Zapreminski udeo metana iznosi 0 pri protoku vazduha 0.3 m³/h u opsegu temperature od 550 do 650 °C i pri protoku vazduha 0.6 m³/h u opsegu temperature od 550 do 650 °C. Za protok vazduha 0.1 m³/h zapreminski udeo metana na 650 °C iznosio je 0.5%.



Slika 5.26. Zapreminski udeo CH₄ u zavisnosti od temperature (srednja vrednost merenja 1 i 2)

U temperaturskom opsegu od 300 do 650 °C zapreminski udeli kiseonika u reaktoru iznosili su približno 6, 12 i 18% pri protocima vazduha 0.1, 0.3 i 0.6 m³/h, respektivno (slika 5.27.).



Slika 5.27. Zapreminski udeo O₂ u zavisnosti od temperature (srednja vrednost merenja 1 i 2)

5.3.4. Analiza greške merenja pri eksperimentalnom ispitivanju procesa gasifikacije

Primenom izraza od 5.3 do 5.6 i vrednosti mase čvrstog ostatka na kraju procesa gasifikacije prikazanih u *Prilogu 23* urađen je primer proračuna greške merenja pojedinih parametara:

$$\text{srednja vrednost: } \bar{x} = \frac{x_1 + x_2}{2} = \frac{1.8 + 1.7}{2} = 1.75 \text{ g,}$$

$$\text{apsolutna greška: } |\Delta x_i| = |x_i - \bar{x}| = |1.8 - 1.75| = 0.05 \text{ g,}$$

$$\text{relativna greška: } \delta x_i = \frac{|\Delta x_i|}{\bar{x}} = \frac{0.05}{1.75} = 0.03 \text{ g,}$$

$$\text{relativna greška u procentima: } \delta x_i(\%) = \frac{|\Delta x_i|}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{0.05}{1.75} \cdot 100 = 2.86\%.$$

U tabelama 5.19. do 5.21. dati su rezultati proračuna greške merenja pri eksperimentalnom ispitivanju procesa gasifikacije oklaska kukuruza u komadu, koji su dobijeni za prinos čvrstog ostatka na kraju procesa gasifikacije i za zapreminske udele CO₂, O₂ i CH₄ u gasu na 650 °C pri različitim protocima injektiranog vazduha (0.1, 0.3 i 0.6 m³/h).

Tabela 5.19. Greške merenja prinosa čvrstog ostatka oklaska kukuruza na kraju procesa gasifikacije i zapreminskih udela CO₂, O₂ i CH₄ u gasu na 650 °C (ispitivanje 1, protok injektiranog vazduha 0.1 m³/h)

Broj merenja i	Rezultat merenja (g)	Apsolutna greška $ \Delta x_i $ (g)	Relativna greška δx_i (g)	Relativna greška δx_i (%)
<i>Prinos čvrstog ostatka</i>				
1.	1.80	0.05	0.03	2.86
2.	1.70	0.05	0.03	2.86
Broj merenja i	Rezultat merenja $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Apsolutna greška $ \Delta x_i \left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Relativna greška $\delta x_i \left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Relativna greška δx_i (%)
CO ₂				
1.	0.1060	0.0005	0.0047	0.4739
2.	0.1050	0.0005	0.0047	0.4739
O ₂				
1.	0.0600	0.0005	0.0083	0.8264
2.	0.0610	0.0005	0.0083	0.8264
CH ₄				
1.	0.005	0	0	0
2.	0.005	0	0	0

Tabela 5.20. Greške merenja prinosa čvrstog ostatka oklaska kukuruza na kraju procesa gasifikacije i zapreminskih udela CO₂, O₂ i CH₄ u gasu na 650 °C (ispitivanje 2, protok injektiranog vazduha 0.3 m³/h)

Broj merenja i	Rezultat merenja (g)	Apsolutna greška $ \Delta x_i $ (g)	Relativna greška δx_i (g)	Relativna greška δx_i (%)
<i>Prinos čvrstog ostatka</i>				
1.	1.50	0.05	0.03	3.23
2.	1.60	0.05	0.03	3.23
Broj merenja i	Rezultat merenja $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Apsolutna greška $ \Delta x_i \left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Relativna greška $\delta x_i \left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Relativna greška δx_i (%)
CO ₂				
1.	0.1030	0.0005	0.0048	0.4831
2.	0.1040	0.0005	0.0048	0.4831
O ₂				
1.	0.1200	0.0005	0.0041	0.4149
2.	0.1210	0.0005	0.0041	0.4149
CH ₄				
1.	0	0	0	0
2.	0	0	0	0

Tabela 5.21. Greške merenja prinosa čvrstog ostatka oklaska kukuruza na kraju procesa gasifikacije i zapreminskih udela CO₂, O₂ i CH₄ u gasu na 650 °C (ispitivanje 3, protok injektiranog vazduha 0.6 m³/h)

Broj merenja i	Rezultat merenja (g)	Apsolutna greška $ \Delta x_i $ (g)	Relativna greška δx_i (g)	Relativna greška δx_i (%)
<i>Prinos čvrstog ostatka</i>				
1.	1.10	0.25	0.19	18.52
2.	1.60	0.25	0.19	18.52
Broj merenja i	Rezultat merenja $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Apsolutna greška $ \Delta x_i \left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Relativna greška $\delta x_i \left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	Relativna greška δx_i (%)
CO ₂				
1.	0.1030	0.0005	0.0049	0.4878
2.	0.1020	0.0005	0.0049	0.4878
O ₂				
1.	0.1810	0.0005	0.0028	0.2770
2.	0.1800	0.0005	0.0028	0.2770
CH ₄				
1.	0	0	0	0
2.	0	0	0	0

U tabeli 5.22 prikazani su rezultati merenja sa greškama merenja za prinose čvrstog ostatka na kraju procesa gasifikacije i zapreminskih udela CO₂, O₂ i CH₄ u proizvedenom gasu na 650 °C za protoke injektiranog vazduha 0.1, 0.3 i 0.6 m³/h.

Tabela 5.22. Rezultati eksperimentalnog ispitivanja procesa gasifikacije sa greškama merenja

Protok injektiranog vazduha (m ³ /h)	0.1	0.3	0.6
<i>Prinos čvrstog ostatka (g)</i>	1.75±0.05	1.55±0.05	1.35±0.25
<i>Zapreminski udeo CO₂ (kmol/kmol)</i>	0.1055±0.0005	0.1035±0.0005	0.1025±0.0005
<i>Zapreminski udeo O₂ (kmol/kmol)</i>	0.0605±0.0005	0.1205±0.0005	0.1805±0.0005
<i>Zapreminski udeo CH₄ (kmol/kmol)</i>	0.005±0	0	0

5.3.5. Matematički model proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza

Matematičkim modelovanjem procesa gasifikacije ne može se izvršiti precizno predviđanje rada gasifikatora, ali se mogu dobiti značajni podaci o uticaju koji osobine goriva, dizajn i način rada gasifikatora imaju na tok procesa gasifikacije. Matematički model omogućava optimizaciju rada ili konfiguracije postrojenja koristeći eksperimentalne podatke dobijene pomoću pilot postrojenja. U okviru doktorske disertacije razvijen je matematički model proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije goriva. Prednost navedenog matematičkog modela jeste u tome što određuje udeo čvrste faze (ugljenika) u ravnotežnoj mešavini, za razliku od matematičkih modela prikazanih u literaturi koji razmatraju samo gasovitu (homogenu) fazu. Poznavanje udela čvrste faze u produktima gasifikacije je neophodno za

pravilno određivanje materijalnog i toplotnog bilansa procesa gasifikacije i projektovanje reaktora za gasifikaciju.

5.3.5.1. Proračun termodinamičke ravnoteže hemijskih reakcija

Entalpija hemijske reakcije može se definisati na sledeći način:

$$\Delta H = \sum_j b_j \cdot \Delta h_j - \sum_i b_i \cdot \Delta h_i, \quad (5.9)$$

gde 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:

$$\Delta H_T = \Delta H_{298} + \int_{298}^T \Delta c_{mp}(T) dT, \quad (5.10)$$

gde je:

$$\Delta c_{mp} = \sum_j b_j \cdot c_{mpj} - \sum_i b_i \cdot c_{mpi}, \quad (5.11)$$

i predstavlja zbir specifičnih molarnih toplotnih kapaciteta komponenata.

Zavisnost molarnog toplotnog kapaciteta od temperature može se prikazati u obliku polinoma [38]:

$$c_{mp}(T) = a + b \cdot 10^{-3} \cdot T + c \cdot 10^5 \cdot T^{-2} + d \cdot 10^{-6} \cdot T^2, \quad (5.12)$$

gde su:

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

T - apsolutna temperatura.

Entropija reakcije može se definisati pomoću sledećeg izraza:

$$\Delta S = \sum_j b_j \cdot s_j - \sum_i b_i \cdot s_i, \quad (5.13)$$

gde 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:

$$\Delta S_T = \Delta S_{298} + \int_{298}^T \frac{\Delta c_{mp}(T)}{T} dT. \quad (5.14)$$

Slobodna entalpija reakcije definiše se izrazom:

$$\Delta G = \sum_j b_j \cdot \Delta g_j - \sum_i b_i \cdot \Delta g_i \quad (5.15)$$

gde 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:

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S. \quad (5.16)$$

Kada je $\Delta G > 0$ reakcija se odvija sa desna na levo, tj. u smeru stvaranja reaktanata reakcije, a kada je $\Delta G < 0$ reakcija se odvija sa leva na desno, tj. u smeru stvaranja proizvoda reakcije.

Za hemijsku reakciju:

$$\sum_i a_i \cdot A_i = \sum_j b_j \cdot B_j, \quad (5.17)$$

konstanta hemijske ravnoteže izražena preko parcijalnih pritisaka iznosi:

$$K_p = \frac{\prod_j (p_{B_j})^{b_j}}{\prod_i (p_{A_i})^{a_i}}. \quad (5.18)$$

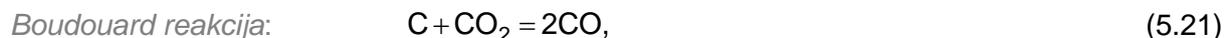
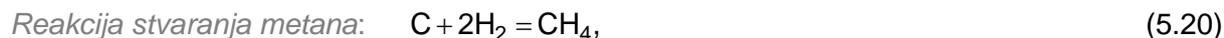
Vrednost konstante hemijske ravnoteže K'_p svedena na pritisak $p_0 = 1.013 \cdot 10^5$ Pa može se odrediti pomoću sledećeg izraza:

$$K'_p = e^{-\frac{\Delta G}{R_u \cdot T}} = K_p \cdot p_0^{-(\sum_j b_j - \sum_i a_i)}, \quad (5.19)$$

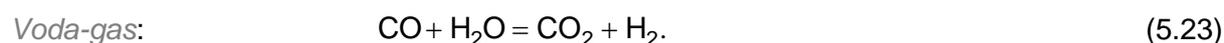
gde je:

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

Pretpostavlja se da se pri procesu gasifikacije biomase odvijaju sledeće hemijske reakcije [39]:

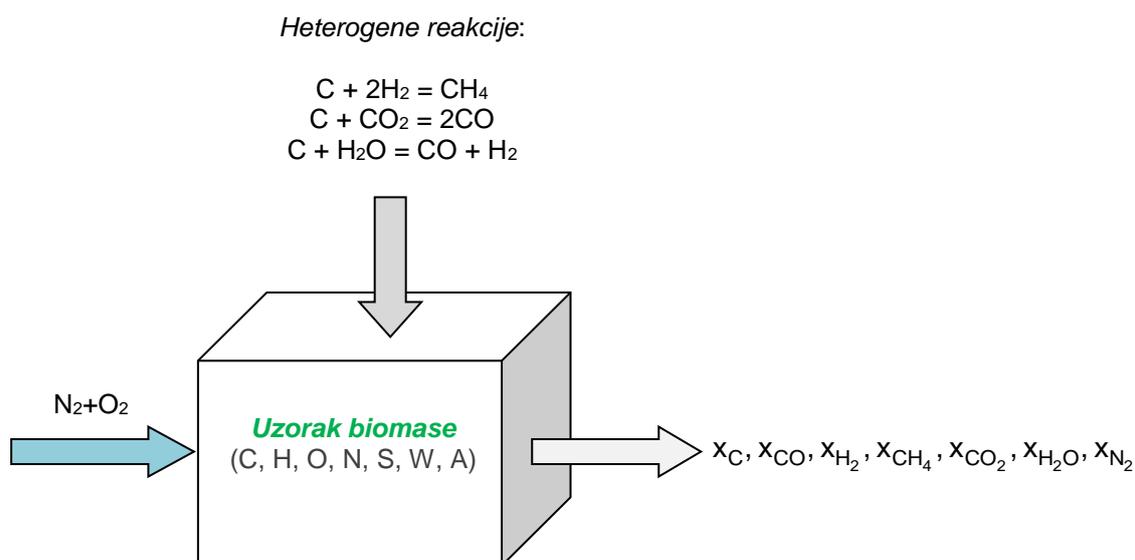


Kombinacijom jednačina (5.20) i (5.21) dobija se sledeća reakcija [40, 41]:



Literaturni podaci [39, 42, 43] ukazuju da se pri proračunu gasifikacije goriva u struji vazduha koriste pretpostavljene hemijske reakcije (5.20) - (5.22). Pri uvođenju vodene pare tokom procesa gasifikacije uglavnom se koristi i jednačina voda - gas (5.23).

Zona odvijanja hemijskih reakcija prikazana je na slici 5.28.



Slika 5.28. Šematski prikaz procesa gasifikacije biomase sa dodavanjem vazduha

Konstante ravnoteže ($K_{p_1}, K_{p_2}, K_{p_3}$) hemijskih reakcija (5.20), (5.21) i (5.22) u zavisnosti od temperature mogu se odrediti pomoću sledećih izraza [42]:

$$\log K_{p_1} = -18.06361 + \frac{4662.80}{T} - 2.09594 \cdot 10^{-3} T + 0.38620 \cdot 10^{-6} T^2 + 3.034338 \log T, \quad (5.24)$$

$$\log K_{p_2} = 8.26730 - \frac{8820.690}{T} - 1.208714 \cdot 10^{-3} T + 0.153734 \cdot 10^{-6} T^2 + 2.295483 \log T, \quad (5.25)$$

$$\log K_{p_3} = -28.45778 - \frac{4825.986}{T} - 5.671122 \cdot 10^{-3} T + 0.8255488 \cdot 10^{-6} T^2 + 14.515760 \log T, \quad (5.26)$$

gde su:

$$K_{p_1} = \frac{p_{\text{CH}_4}}{p_{\text{H}_2}^2} - \text{konstanta ravnoteže hemijske reakcije (5.20),}$$

$$K_{p_2} = \frac{p_{\text{CO}}^2}{p_{\text{CO}_2}} - \text{konstanta ravnoteže hemijske reakcije (5.21),}$$

$$K_{p_3} = \frac{p_{\text{CO}} \cdot p_{\text{H}_2}}{p_{\text{H}_2\text{O}}} - \text{konstanta ravnoteže hemijske reakcije (5.22),}$$

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 mešavini.

Vrednosti konstanti ravnoteža $K_{p_1}, K_{p_2}, K_{p_3}$ reakcija (5.20), (5.21) i (5.22) dobijene primenom izraza (5.24) do (5.26) u saglasnosti su sa vrednostima dobijenim primenom izraza (5.9) do (5.19).

Eksperimentalna istraživanja [42] ukazuju da se ravnotežno stanje reakcije stvaranja metana ($\text{C} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_4$) ne postiže u potpunosti, pa bi trebalo koristiti modifikovanu konstantu ravnoteže koja se može odrediti množenjem stvarne konstante ravnoteže sa odgovarajućim koeficijentom. Po *Gumz-u* [42] se konstanta ravnoteže K_{p_1} (jednačina (5.20)) množi koeficijentom 0.24.

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

Odvijanjem hemijskih reakcija (5.20), (5.21) i (5.22), u ravnotežnoj mešavini (heterogena faza) nastaje sedam komponenata čiji su moljski udeli nepoznati ($x_{\text{C}}, x_{\text{H}_2}, x_{\text{CH}_4}, x_{\text{CO}_2}, x_{\text{CO}}, x_{\text{H}_2\text{O}}, x_{\text{N}_2}$). Za određivanje navedenih moljskih udela, potrebno je postaviti sedam jednačina materijalnog bilansa sa sedam nepoznatih (slika 5.28):

$$x_{\text{C}} + x_{\text{H}_2} + x_{\text{CH}_4} + x_{\text{CO}_2} + x_{\text{CO}} + x_{\text{H}_2\text{O}} + x_{\text{N}_2} = 1, \quad (5.27)$$

$$\frac{\sum \text{C}}{\sum \text{O}_2} = \frac{x_{\text{C}} + x_{\text{CH}_4} + x_{\text{CO}_2} + x_{\text{CO}}}{x_{\text{CO}_2} + 0.5 x_{\text{CO}} + 0.5 x_{\text{H}_2\text{O}}} = L, \quad (5.28)$$

$$\frac{\sum \text{C}}{\sum \text{H}_2} = \frac{x_{\text{C}} + x_{\text{CH}_4} + x_{\text{CO}_2} + x_{\text{CO}}}{x_{\text{H}_2} + 2 x_{\text{CH}_4} + x_{\text{H}_2\text{O}}} = M, \quad (5.29)$$

$$\frac{\Sigma C}{\Sigma N_2} = \frac{x_C + x_{CH_4} + x_{CO_2} + x_{CO}}{x_{N_2}} = \frac{1}{l}, \quad (5.30)$$

$$K_{p1} = \frac{p_{CH_4}}{p_{H_2}^2} = \frac{1}{p} \cdot \frac{x_{CH_4} \cdot (1 - x_C)}{x_{H_2}^2}, \quad (5.31)$$

$$K_{p2} = \frac{p_{CO}^2}{p_{CO_2}} = p \cdot \frac{x_{CO}^2}{x_{CO_2} \cdot (1 - x_C)}, \quad (5.32)$$

$$K_{p3} = \frac{p_{CO} \cdot p_{H_2}}{p_{H_2O}} = p \cdot \frac{x_{CO} \cdot x_{H_2}}{x_{H_2O} \cdot (1 - x_C)}, \quad (5.33)$$

gde 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, l - pomoćni parametri,

p - ukupan pritisak u reaktorskom prostoru.

Sistem od sedam jednačina (5.27) do (5.33) 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:

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

$$a_1 x_{CO}^2 + b_1 x_{H_2}^2 + c_1 x_C^2 + d_1 x_{CO} x_{H_2} + e_1 x_{CO} x_C + f_1 x_{H_2} x_C + g_1 x_{CO} + h_1 x_{H_2} + i_1 x_C + k_1 = 0, \quad (5.34)$$

$$a_2 x_{CO}^2 + b_2 x_{H_2}^2 + c_2 x_C^2 + d_2 x_{CO} x_{H_2} + e_2 x_{CO} x_C + g_2 x_{CO} + i_2 x_C = 0, \quad (5.35)$$

$$a_3 x_{CO}^2 + b_3 x_{H_2}^2 + c_3 x_C^2 + d_3 x_{CO} x_{H_2} + e_3 x_{CO} x_C + f_3 x_{H_2} x_C + g_3 x_{CO} + h_3 x_{H_2} + i_3 x_C = 0. \quad (5.36)$$

Koeficijenti jednačina su:

$$\begin{aligned} a_1 &= p \cdot K_{p3} \cdot (1+l), & b_1 &= p \cdot K_{p1} \cdot K_{p2} \cdot K_{p3} \cdot (1+l), & c_1 &= -K_{p2} \cdot K_{p3} \cdot (1+l), & d_1 &= p \cdot K_{p2}, \\ e_1 &= -K_{p2} \cdot K_{p3} \cdot (1+l), & f_1 &= -K_{p2} \cdot K_{p3}, & g_1 &= K_{p2} \cdot K_{p3} \cdot (1+l), & h_1 &= K_{p2} \cdot K_{p3}, \\ i_1 &= K_{p2} \cdot K_{p3} \cdot (2+l), & k_1 &= -K_{p2} \cdot K_{p3}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_2 &= 2 \cdot p \cdot K_{p3} \cdot (1-L), & b_2 &= 2 \cdot p \cdot K_{p1} \cdot K_{p2} \cdot K_{p3}, & c_2 &= -2 \cdot K_{p2} \cdot K_{p3}, & d_2 &= -L \cdot p \cdot K_{p2}, \\ e_2 &= K_{p2} \cdot K_{p3} \cdot (L-2), & g_2 &= K_{p2} \cdot K_{p3} \cdot (2-L), & i_2 &= 2 \cdot K_{p2} \cdot K_{p3}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_3 &= p \cdot K_{p_3}, & b_3 &= p \cdot K_{p_1} \cdot K_{p_2} \cdot K_{p_3} \cdot (1-2M), & c_3 &= -K_{p_2} \cdot K_{p_3}, & d_3 &= -M \cdot p \cdot K_{p_2}, \\
 e_3 &= -K_{p_2} \cdot K_{p_3}, & f_3 &= M \cdot K_{p_2} \cdot K_{p_3}, & g_3 &= K_{p_2} \cdot K_{p_3}, & h_3 &= -M \cdot K_{p_2} \cdot K_{p_3}, \\
 i_3 &= K_{p_2} \cdot K_{p_3}.
 \end{aligned}$$

Nelinearni sistem jednačina (jednačine (5.34), (5.35) i (5.36)) može se rešiti Njutnovom iterativnom metodom. Izvorni kod u programskom jeziku C korišćen za rešavanje navedenog sistema jednačina prikazan je u *Prilogu 26*.

5.3.5.3. Proračun homogenog ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza

U ravnotežnoj mešavini (gasovita faza) pri odvijanju hemijskih reakcija (5.20), (5.21) i (5.22) postoji šest komponenta čije molske udele treba odrediti ($y_{H_2}, y_{CH_4}, y_{CO_2}, y_{CO}, y_{H_2O}, y_{N_2}$), stoga je potrebno postaviti šest jednačina materijalnog bilansa:

$$y_{H_2} + y_{CH_4} + y_{CO_2} + y_{CO} + y_{H_2O} + y_{N_2} = 1, \quad (5.37)$$

$$\frac{\Sigma H_2}{\Sigma O_2} = \frac{y_{H_2} + 2 y_{CH_4} + y_{H_2O}}{y_{CO_2} + 0.5 y_{CO} + 0.5 y_{H_2O}} = L, \quad (5.38)$$

$$\frac{\Sigma N_2}{\Sigma O_2} = \frac{y_{N_2}}{y_{CO_2} + 0.5 y_{CO} + 0.5 y_{H_2O}} = M, \quad (5.39)$$

$$K_{p_1} = \frac{p_{CH_4}}{p_{H_2}^2} = \frac{1}{p} \cdot \frac{y_{CH_4}}{y_{H_2}^2}, \quad (5.40)$$

$$K_{p_2} = \frac{p_{CO}^2}{p_{CO_2}} = p \cdot \frac{y_{CO}^2}{y_{CO_2}}, \quad (5.41)$$

$$K_{p_3} = \frac{p_{CO} \cdot p_{H_2}}{p_{H_2O}} = p \cdot \frac{y_{CO} \cdot y_{H_2}}{y_{H_2O}}. \quad (5.42)$$

Sistem od šest jednačina (5.37 - 5.42) sa šest nepoznatih veličina ($y_{H_2}, y_{CH_4}, y_{CO_2}, y_{CO}, y_{H_2O}, y_{N_2}$) može se transformisati u sistem od dve nelinearne jednačine:

$$F_1(y_{CO}, y_{H_2}) = 0, \quad F_2(y_{CO}, y_{H_2}) = 0$$

$$a_1 y_{CO}^2 + b_1 y_{CO} + c_1 y_{CO} y_{H_2} + d_1 y_{H_2}^2 + e_1 y_{H_2} + f_1 = 0, \quad (5.43)$$

$$a_2 y_{CO}^2 + b_2 y_{CO} + c_2 y_{CO} y_{H_2} + d_2 y_{H_2}^2 + e_2 y_{H_2} = 0. \quad (5.44)$$

Koeficijenti jednačina su:

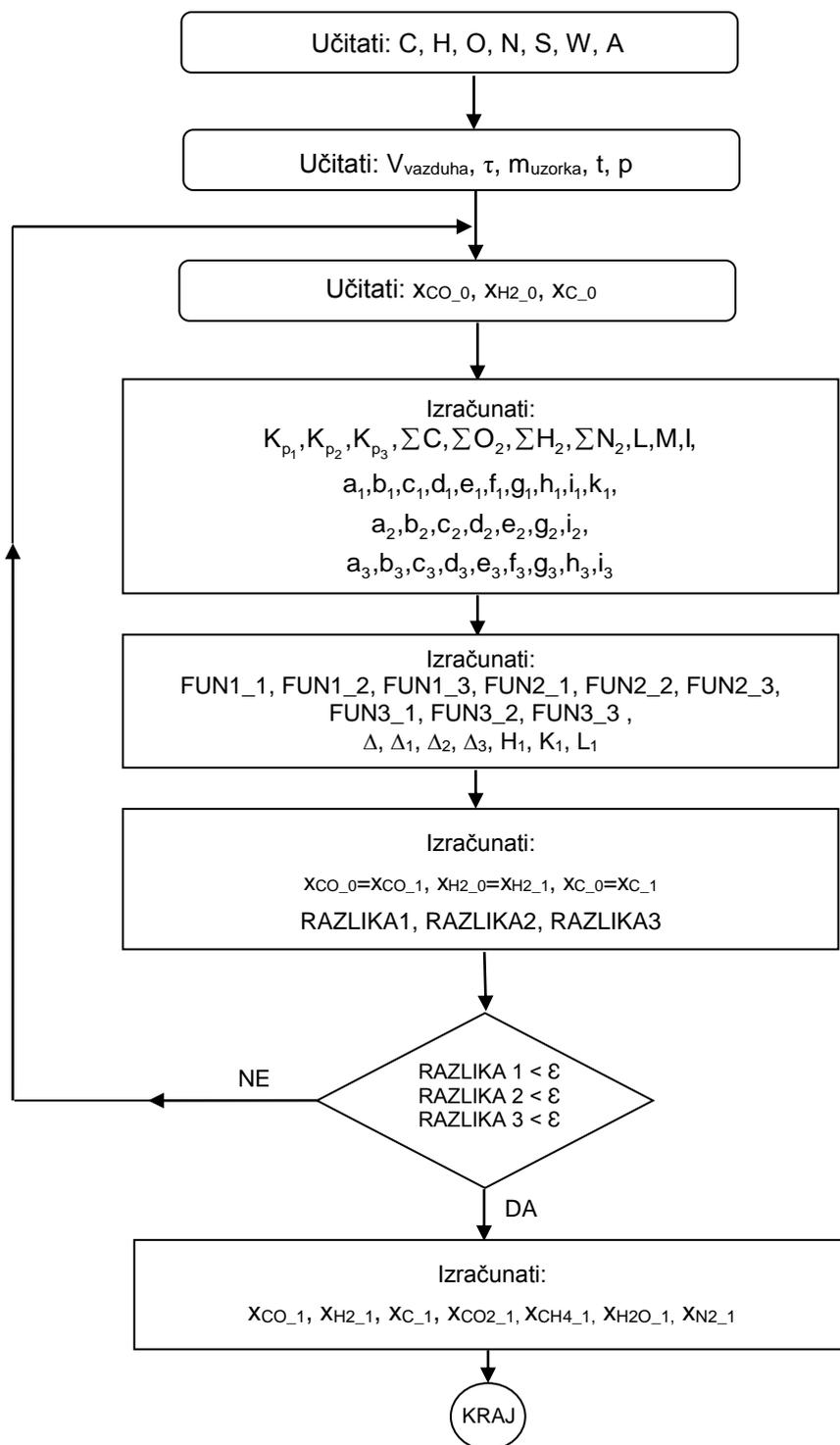
$$a_1 = (1+M) \cdot \frac{p}{K_{p_2}}, \quad b_1 = 1 + 0.5 M, \quad c_1 = (1+0.5 M) \cdot \frac{p}{K_{p_3}}, \quad d_1 = p \cdot K_{p_1}, \quad e_1 = 1, \quad f_1 = -1,$$

$$a_2 = -L \cdot \frac{p}{K_{p_2}}, \quad b_2 = -0.5 L, \quad c_2 = (1-0.5 L) \cdot \frac{p}{K_{p_3}}, \quad d_2 = 2 \cdot p \cdot K_{p_1}, \quad e_2 = 1.$$

Nelinearan sistem jednačina (jednačine (5.43) i (5.44)) može se takođe rešiti Njutnovom iterativnom metodom. Izvorni kod u programskom jeziku C korišćen za rešavanje navedenog sistema jednačina prikazan je u *Prilogu 27*.

5.3.5.4. Brojčani primer proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza pri uvođenju vazduha u gasifikator na osnovu odnosa količina ulaznih materija

Primer proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije oklaska kukuruza pri uvođenju vazduha u gasifikator urađen je na osnovu odnosa količina ulaznih materija (poglavlje 5.3.5.2.). Blok dijagram rešavanja 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 5.29.



Slika 5.29. Dijagram toka programa

Za proračun je korišćeno *reakciono vreme* ($\tau = 0.1567$ h), koje je zabeleženo prilikom eksperimentalnog ispitivanja procesa gasifikacije (*Prilog 23*, merenje 1), pri *temperaturi* 500 °C i *pritisku* $1.013 \cdot 10^5$ Pa u reaktorskom prostoru, i *količini injektiranog vazduha* 0.1 m³/h. Pored navedenih podataka kao ulazni podatak korišćen je i:

Sastav goriva (oklasak kukuruza) (maseni udeli kg/kg, tabela 3.4.):

$$C = 0.4674$$

$$H = 0.0546$$

$$O = 0.3416$$

$$N = 0.0383$$

$$S = 0.0012$$

$$W = 0.0855$$

$$A = 0.0114$$

$$\Sigma = 1.0000$$

Ukupne količine ugljenika, kiseonika, vodonika i azota koje stupaju u reaktorski prostor određuju se pomoću sledećih izraza:

količina ugljenika:

$$\Sigma C = \frac{C}{12} = \frac{0.4674}{12} = 0.0389 \text{ kmolC/kgB,}$$

gde je:

C = 0.4674 kgC/kgB - maseni udeo ugljenika u gorivu (oklasak kukuruza),

količina kiseonika:

$$\begin{aligned} \Sigma O_2 &= \frac{1}{32} \cdot \left(O + \frac{16}{18} \cdot W + \frac{\rho_{O_2} \cdot 0.21 \cdot \dot{V}_L \cdot \tau}{m_B} \right) = \\ &= \frac{1}{32} \cdot \left(0.3416 + \frac{16}{18} \cdot 0.0855 + \frac{1.429 \cdot 0.21 \cdot 0.1 \cdot 0.1567}{0.010} \right) = 0.0277 \text{ kmolO}_2 / \text{kgB,} \end{aligned}$$

gde su:

O = 0.3416 kgO/kgB - maseni udeo kiseonika u gorivu (oklasak kukuruza),

W = 0.0855 kgW/kgB - maseni udeo vlage u gorivu (oklasak kukuruza),

$\rho_{O_2} = 1.429 \text{ kg/m}^3$ - gustina kiseonika pri normalnim uslovima (0 °C i $1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$),

$\dot{V}_L = 0.1 \text{ m}^3 / \text{h}$ - zapreminski protok vazduha koji se injektira u gasifikator,

$\tau = 0.1567 \text{ h}$ - reakciono vreme, potrebno za zagrevanje uzorka u reaktoru od 250 do 500 °C,

$m_B = 10 \text{ g} = 0.010 \text{ kg}$ - masa goriva (oklasak kukuruza) u reaktoru (gasifikatoru),

količina vodonika:

$$\Sigma H_2 = \frac{1}{2} \cdot \left(H + \frac{2}{18} \cdot W \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(0.0546 + \frac{2}{18} \cdot 0.0855 \right) = 0.0320 \text{ kmolH}_2 / \text{kgB,}$$

gde je:

H = 0.0546 kgH₂ / kgB - maseni udeo vodonika u gorivu (oklasak kukuruza),

količina azota:

$$\begin{aligned}\Sigma N_2 &= \frac{1}{28} \cdot \left(N + \frac{\rho_{N_2} \cdot 0.79 \cdot \dot{V}_L \cdot \tau}{m_B} \right) = \\ &= \frac{1}{28} \cdot \left(0.0383 + \frac{1.251 \cdot 0.79 \cdot 0.1 \cdot 0.1567}{0.010} \right) = 0.0567 \text{ kmolN}_2 / \text{kgB},\end{aligned}$$

gde su:

$N = 0.0383 \text{ kgN}_2/\text{kgB}$ - maseni udeo azota u gorivu (oklasak kukuruza),

$\rho_{N_2} = 1.251 \text{ kg/m}^3$ - gustina azota pri normalnim uslovima ($0 \text{ }^\circ\text{C}$ i $1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$).

Rešavanjem sistema jednačina (5.27) - (5.33) dobijaju se vrednosti molskih udela komponenata na $500 \text{ }^\circ\text{C}$ (za protok injektiranog vazduha $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$, merenje 1) u ravnotežnoj mešavini. Proračun je urađen Njutnovom iterativnom metodom u programskom jeziku C. Sastav produkata gasifikacije je:

Ravnotežni sastav (heterogena faza):

$$x_{\text{CO}} = 0.0231 \text{ kmol/kmol}$$

$$x_{\text{H}_2} = 0.1065 \text{ kmol/kmol}$$

$$x_{\text{C}} = 0.1374 \text{ kmol/kmol}$$

$$x_{\text{CO}_2} = 0.1418 \text{ kmol/kmol}$$

$$x_{\text{CH}_4} = 0.0070 \text{ kmol/kmol}$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = 0.1340 \text{ kmol/kmol}$$

$$x_{\text{N}_2} = 0.4501 \text{ kmol/kmol}$$

Ravnotežni sastav (homogena faza):

$$y_{\text{CO}} = 0.0267 \text{ kmol/kmol}$$

$$y_{\text{H}_2} = 0.1234 \text{ kmol/kmol}$$

$$y_{\text{CO}_2} = 0.1644 \text{ kmol/kmol}$$

$$y_{\text{CH}_4} = 0.0082 \text{ kmol/kmol}$$

$$y_{\text{H}_2\text{O}} = 0.1554 \text{ kmol/kmol}$$

$$y_{\text{N}_2} = 0.5219 \text{ kmol/kmol}$$

Za svaki protok injektiranog vazduha (0.1 , 0.3 i $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$) vršena su po dva merenja. Detaljan proračun ravnotežnog sastava produkata gasifikacije u programskom jeziku C za različite protoke injektiranog vazduha i za sve vrednosti ispitivanih temperatura (merenje 1) dat je u *Prilozima 28 - 54*.

Rezultati proračuna sastava ravnotežne mešavine (heterogena i gasovita faza) pri gasifikaciji oklaska kukuruza za vrednosti protoka injektiranog vazduha 0.1 , 0.3 i $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$ (merenje 1) i za različite vrednosti temperature gasifikacije, dobijeni u programskom jeziku C, prikazani su u tabelama 5.23. - 5.28. i na slikama 5.31. - 5.35.

Kada protok injektiranog vazduha iznosi $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$ u ravnotežnoj mešavini ne postoji čvrsta faza ugljenika ($x_{\text{C}} = 0$) pri reakcionoj temperaturi od $622.5 \text{ }^\circ\text{C}$ (tabela 5.23.).

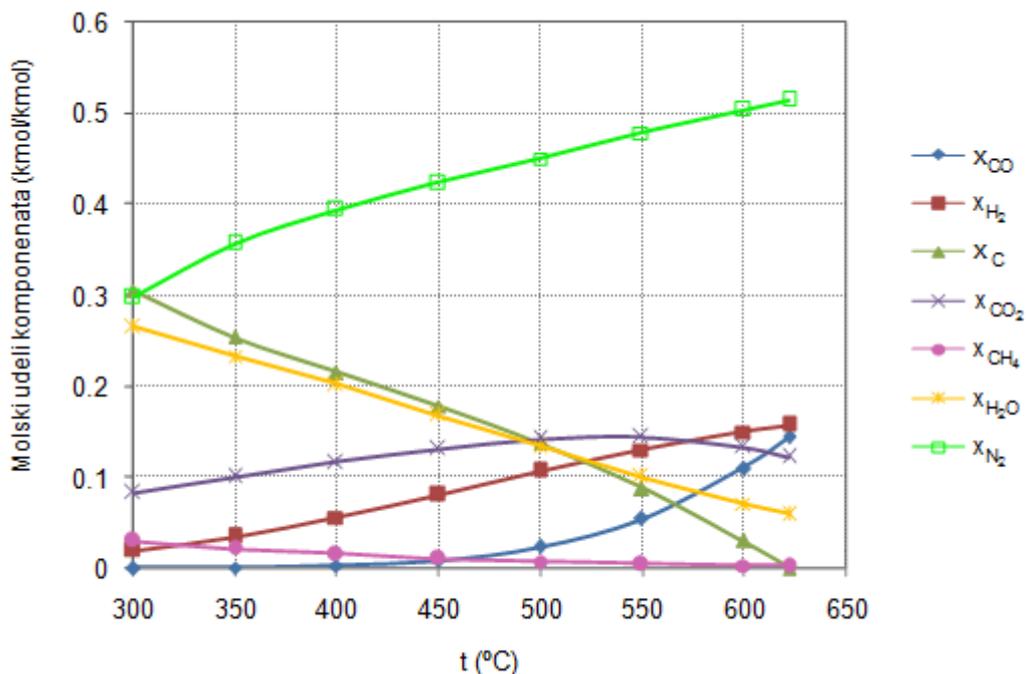
Tabela 5.23. Zavisnost ravnotežnog sastava (heterogena faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2H_2=CH_4$, $C+CO_2=2CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji oklaska kukuruza (protok injektiranog vazduha $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$, merenje 1)

t (°C)	x_{CO} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	x_{H_2} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	x_C $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	x_{CO_2} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	x_{CH_4} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	x_{H_2O} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	x_{N_2} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$
300	0.0001	0.0191	0.3056	0.0825	0.0298	0.2653	0.2976
350	0.0007	0.0341	0.2537	0.1004	0.0210	0.2331	0.3571
400	0.0027	0.0552	0.2151	0.1162	0.0153	0.2017	0.3938
450	0.0085	0.0803	0.1779	0.1309	0.0107	0.1683	0.4233
500	0.0231	0.1065	0.1374	0.1418	0.0070	0.1340	0.4501
550	0.0540	0.1300	0.0879	0.1445	0.0043	0.1006	0.4785
600	0.1098	0.1500	0.0296	0.1330	0.0026	0.0711	0.5039
622.5	0.1440	0.1575	0.0000	0.1225	0.0021	0.0593	0.5145

Tabela 5.24. 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 oklaska kukuruza (protok injektiranog vazduha $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$, merenje 1)

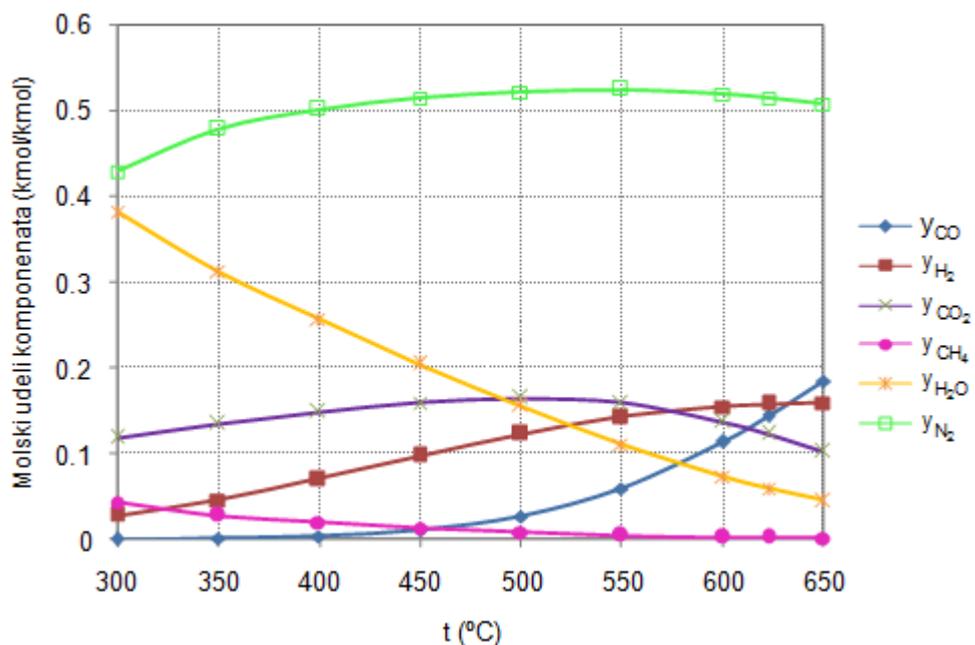
t (°C)	y_{CO} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	y_{H_2} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	y_{CO_2} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	y_{CH_4} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	y_{H_2O} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	y_{N_2} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$
300	0.0002	0.0275	0.1188	0.0429	0.3821	0.4286
350	0.0009	0.0457	0.1345	0.0281	0.3123	0.4785
400	0.0034	0.0703	0.1481	0.0195	0.2570	0.5017
450	0.0104	0.0977	0.1593	0.0130	0.2047	0.5149
500	0.0267	0.1234	0.1644	0.0082	0.1554	0.5219
550	0.0593	0.1425	0.1585	0.0048	0.1103	0.5247
600	0.1132	0.1545	0.1370	0.0027	0.0733	0.5192
622.5	0.1440	0.1575	0.1225	0.0021	0.0593	0.5145
650	0.1851	0.1593	0.1018	0.0015	0.0447	0.5075

Grafička zavisnost sastava produkata hemijskih reakcija pri gasifikaciji oklaska kukuruza u zavisnosti od reakcione temperature i protoka injektiranog vazduha od $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$ (merenje 1) prikazana je na slikama 5.30. i 5.31. U heterogenoj mešavini, sa porastom temperature moljski udeli CO, H₂ i N₂ rastu, dok moljski udeli C, CH₄ i H₂O opadaju. Moljski udeo CO₂ raste do temperature od 550 °C, nakon čega opada (slika 5.30.).



Slika 5.30. 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 oklaska kukuruza od temperature gasifikacije (protok injektiranog vazduha 0.1 m³/h)

U gasovitoj fazi, porast temperature utiče na povećanje moljskih udela CO i H₂, i smanjenje moljskih udela CH₄ i H₂O. Moljski udeli CO₂ i N₂ rastu do temperatura od 500 °C i 550 °C, respektivno, nakon čega opadaju (slika 5.31.).



Slika 5.31. 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 oklaska kukuruza od temperature gasifikacije (količina injektiranog vazduha 0.1 m³/h)

U ravnotežnoj mešavini ne postoji čvrsta faza ugljenika ($x_C = 0$) pri reakcionoj temperaturi od 431.3 °C, kada je protok injektiranog vazduha 0.3 m³/h (tabela 5.25.).

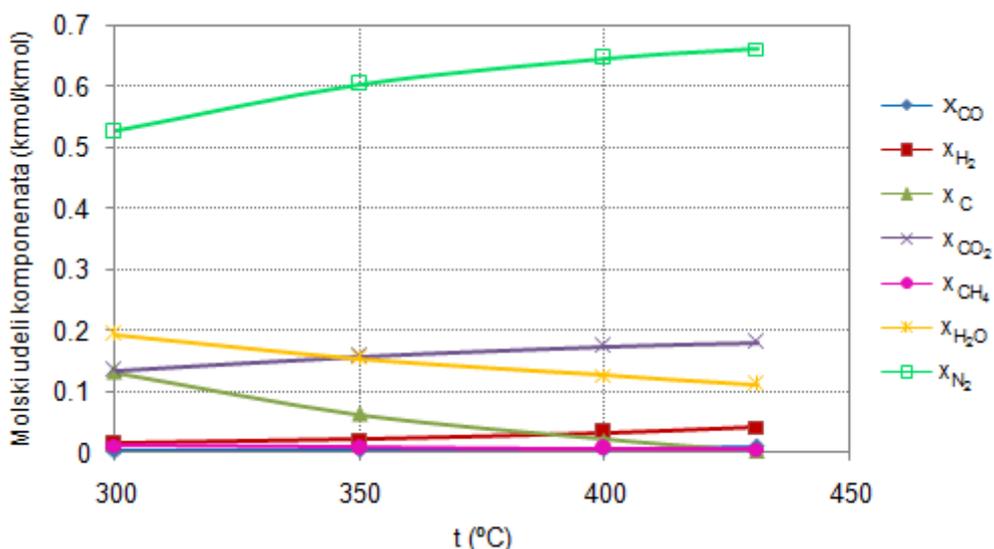
Tabela 5.25. Zavisnost ravnotežnog sastava (heterogena faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2H_2=CH_4$, $C+CO_2=2CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji oklaska kukuruza (protok injektiranog vazduha 0.3 m³/h, merenje 1)

t (°C)	x_{CO} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	x_{H_2} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	x_C $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	x_{CO_2} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	x_{CH_4} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	x_{H_2O} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	x_{N_2} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$
300	0.0002	0.0122	0.1291	0.1320	0.0097	0.1915	0.5253
350	0.0010	0.0201	0.0613	0.1562	0.0058	0.1529	0.6026
400	0.0037	0.0313	0.0192	0.1721	0.0039	0.1245	0.6452
431.3	0.0075	0.0399	0.0000	0.1788	0.0032	0.1096	0.6610

Tabela 5.26. 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 oklaska kukuruza (protok injektiranog vazduha 0.3 m³/h, merenje 1)

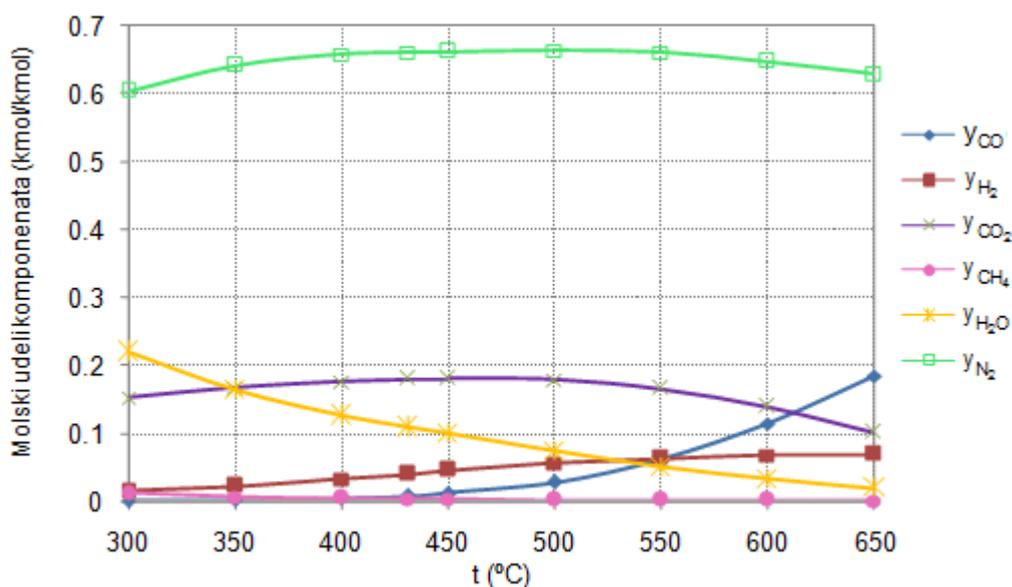
t (°C)	y_{CO} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	y_{H_2} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	y_{CO_2} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	y_{CH_4} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	y_{H_2O} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	y_{N_2} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$
300	0.0002	0.0140	0.1516	0.0111	0.2200	0.6032
350	0.0010	0.0214	0.1664	0.0062	0.1629	0.6420
400	0.0037	0.0319	0.1755	0.0040	0.1270	0.6579
431.3	0.0075	0.0399	0.1788	0.0032	0.1096	0.6610
450	0.0110	0.0447	0.1799	0.0027	0.0996	0.6620
500	0.0278	0.0555	0.1782	0.0016	0.0728	0.6639
550	0.0606	0.0628	0.1656	0.0009	0.0497	0.6604
600	0.1139	0.0676	0.1387	0.0005	0.0323	0.6469
650	0.1838	0.0687	0.1003	0.0003	0.0192	0.6277

Grafička zavisnost sastava produkata hemijskih reakcija pri gasifikaciji oklaska kukuruza u zavisnosti od reakcione temperature i protoka injektiranog vazduha od 0.3 m³/h (merenje 1) prikazana je na slikama 5.32. i 5.33. Sa porastom temperature (heterogena faza) molnski udeli CO, H₂, CO₂ i N₂ rastu, dok molnski udeli C, CH₄ i H₂O opadaju (slika 5.32.).



Slika 5.32. 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 oklaska kukuruza od temperature gasifikacije (protok injektiranog vazduha $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$)

Slika 5.33. ukazuje da sa porastom temperature molski udeli CO i H₂ konstantno rastu, dok CH₄ i H₂O opadaju. Molski udeli CO₂ i N₂ rastu do temperatura od 450 °C i 500 °C, respektivno, nakon čega opadaju.



Slika 5.33. 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 oklaska kukuruza od temperature gasifikacije (protok injektiranog vazduha $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$)

Pri temperaturi 306.6 °C i protoku injektiranog vazduha $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$, u ravnotežnoj mešavini ne postoji čvrsta faza ugljenika ($x_C = 0$) (tabela 5.27.).

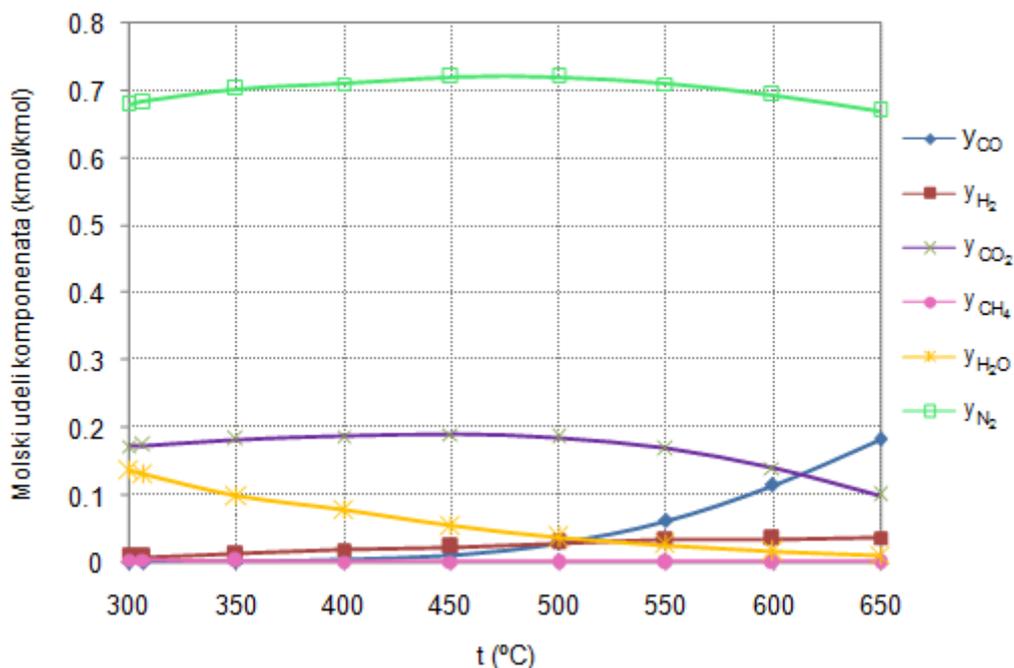
Tabela 5.27. Zavisnost ravnotežnog sastava (heterogena faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2H_2=CH_4$, $C+CO_2=2CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji oklaska kukuruza (protok injektiranog vazduha $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$, merenje 1)

t (°C)	x_{CO} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	x_{H_2} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	x_C $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	x_{CO_2} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	x_{CH_4} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	x_{H_2O} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	x_{N_2} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$
300	0.0002	0.0081	0.0090	0.1706	0.0037	0.1355	0.6727
306.6	0.0003	0.0086	0.0000	0.1739	0.0035	0.1306	0.6831

Tabela 5.28. 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 oklaska kukuruza (protok injektiranog vazduha $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$, merenje 1)

t (°C)	y_{CO} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	y_{H_2} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	y_{CO_2} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	y_{CH_4} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	y_{H_2O} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$	y_{N_2} $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}\right)$
300	0.0002	0.0082	0.1722	0.0038	0.1368	0.6788
306.6	0.0003	0.0086	0.1739	0.0035	0.1306	0.6831
350	0.0011	0.0123	0.1827	0.0020	0.0983	0.7036
400	0.0039	0.0188	0.1875	0.0014	0.0774	0.7110
450	0.0113	0.0234	0.1901	0.0007	0.0536	0.7208
500	0.0283	0.0282	0.1848	0.0004	0.0376	0.7205
550	0.0611	0.0330	0.1687	0.0003	0.0264	0.7105
600	0.1142	0.0352	0.1396	0.0001	0.0168	0.6940
650	0.1833	0.0366	0.0998	0.0001	0.0102	0.6700

Na slici 5.34. prikazana je grafička zavisnost ravnotežnog sastava (gasovita faza) produkata hemijskih reakcija pri gasifikaciji oklaska kukuruza u zavisnosti od reakcione temperature i protoka injektiranog vazduha od $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$. Kao i kod protoka injektiranog vazduha od 0.1 i $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$, molski udeli CO i H_2 rastu sa povećanjem temperature, dok molski udeli CH_4 i H_2O opadaju. Molski udeli CO_2 i N_2 rastu do temperature od $450 \text{ }^\circ\text{C}$, nakon čega opadaju.

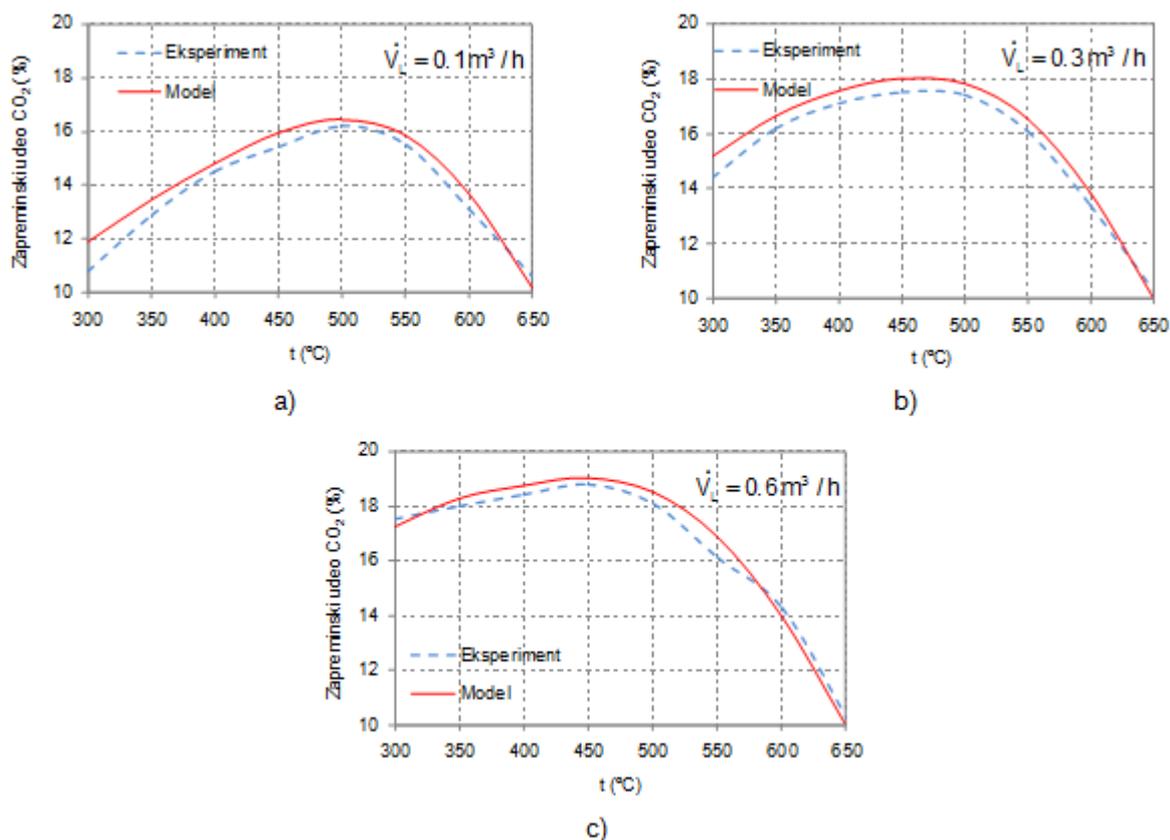


Slika 5.34. Zavisnost ravnotežnog sastava (gasovita faza) produkata hemijskih reakcija ($C+2H_2=CH_4$, $C+CO_2=2CO$, $C+H_2O=CO+H_2$) pri gasifikaciji oklaska kukuruza od temperature gasifikacije (protok injektiranog vazduha $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$)

5.3.6. Poređenje matematičkog modela gasifikacije sa rezultatima eksperimentalnog ispitivanja gasifikacije oklaska kukuruza

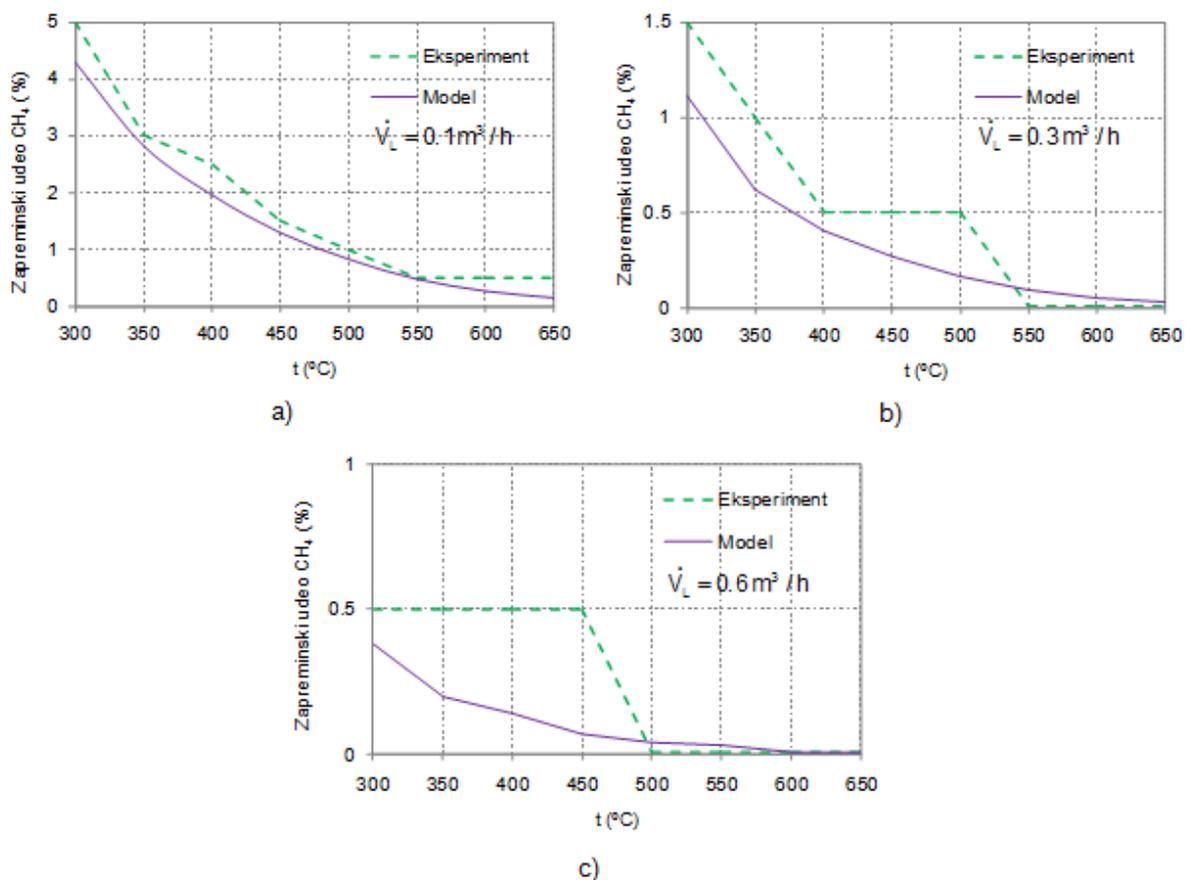
Kako bi se ispitala validnost matematičkog modela gasifikacije razvijenog u doktorskoj disertaciji, izvršeno je poređenje rezultata dobijenih proračunom sa eksperimentalnim podacima. Vrednosti zapreminskih udela CO_2 i CH_4 koje su zabeležene pri eksperimentalnom ispitivanju gasifikacije oklaska kukuruza (Prilozi 23 - 25, merenje 1) korišćene su za poređenje sa rezultatima dobijenim razvijenim matematičkim modelom. Poređenje je prikazano na slikama 5.35. i 5.36. za sve vrednosti protoka injektiranog vazduha.

Slika 5.35. ukazuje da su rezultati modela u dobroj saglasnosti sa eksperimentalno dobijenim zapreminskim udelima CO_2 . Razvijeni matematički model gasifikacije uglavnom je predvideo malo veće vrednosti zapreminskog udela CO_2 u odnosu na eksperiment. U opsegu temperature $600 - 650 \text{ }^\circ\text{C}$, vrednosti zapreminskih udela CO_2 su približno jednake.



Slika 5.35. Poređenje rezultata zapreminskog udela CO₂ dobijenog primenom matematičkog modela gasifikacije sa eksperimentalnim podacima pri protoku vazduha a) 0.1 m³/h, b) 0.3 m³/h i c) 0.6 m³/h

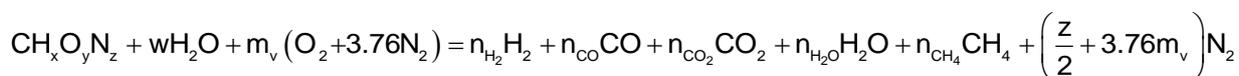
Matematički model predvideo je uglavnom manje vrednosti zapreminskog udela CH₄ u odnosu na rezultate dobijene eksperimentom. Pri protoku vazduha 0.1 m³/h (slika 5.36. a)) najveća odstupanja javljaju se u opsegu temperature 350 - 450 °C, dok je na temperaturi od 550 °C model predvideo vrednost jednaku vrednosti zapreminskog udela CH₄ koja je dobijena eksperimentom. Pri protocima vazduha 0.3 i 0.6 m³/h (slika 5.36 b) i c)), model je predvideo vrednost približno jednaku vrednosti zapreminskog udela metana dobijenog eksperimentom pri višim temperaturama.



Slika 5.36. Poređenje rezultata zapreminskog udela CH₄ dobijenog primenom matematičkog modela gasifikacije sa eksperimentalnim podacima pri protoku vazduha a) 0.1 m³/h, b) 0.3 m³/h i c) 0.6 m³/h

5.3.7. Poređenje matematičkog modela gasifikacije sa podacima iz literature

Veliki broj istraživača [39, 40, 44-54] analizirao je proces gasifikacije pomoću matematičkih modela zasnovanih na termodinamičkoj ravnoteži. Kod izvođenja matematičkog modela najčešće se polazi od globalne reakcije gasifikacije:



gde su:

x, y, z - brojevi atoma vodonika, kiseonika i azota po broju atoma ugljenika u gorivu,
 w, m_v - broj kmol vlage i vazduha po kmol goriva, respektivno.

Pri procesu gasifikacije goriva pretpostavlja se da se odvijaju sledeće hemijske reakcije:

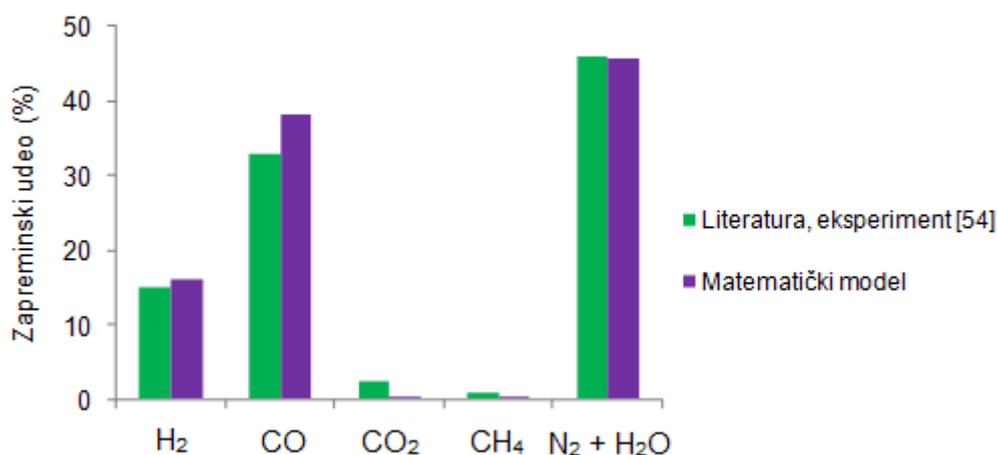


Kombinacijom poslednje dve reakcije dobija se reakcija:



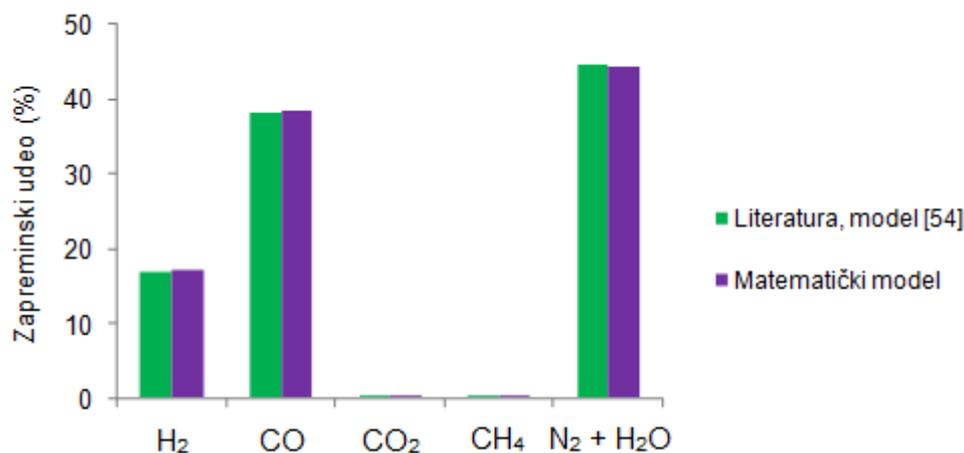
Postavljanjem jednačina bilansa za C, H, O, N, w i m iz globalne reakcije gasifikacije i konstanti ravnoteža pretpostavljenih hemijskih reakcija mogu se odrediti zapreminski udeli komponenata u gasovitim produktima gasifikacije.

Venkata Ramanan i ostali [54] ispitivali su proces gasifikacije ljuske indijskog oraha, eksperimentalno i razvijanjem matematičkog modela. Elementarni sastav ljuske indijskog oraha koji su ispitivali sveden na sagorljivu masu je: $C^g=0.630$, $H^g=0.036$, $O^g=0.270$, $N^g=0.064$, $S^g=0.000$, izraženo u kg/kg. Kako je udeo vlage $W=0.07$ kg/kg, a pepela $A=0.06$ kg/kg, može se izračunati sastav radne mase goriva: $C=0.5481$ kg/kg, $H=0.0313$ kg/kg, $O=0.2349$ kg/kg, $N=0.0557$ kg/kg, $S=0.0000$ kg/kg, $W=0.0700$ kg/kg, $A=0.0600$ kg/kg. Pomoću navedenih vrednosti i matematičkog modela razvijenog u doktorskoj disertaciji izračunat je sastav produkata gasifikacije i upoređen sa eksperimentalnim rezultatima koje su dobili Venkata Ramanan i ostali [54] (slika 5.37.).



Slika 5.37. Poređenje rezultata zapreminskih udela produkata gasifikacije dobijenih primenom matematičkog modela sa eksperimentalnim podacima iz literature [54] ($\lambda = 0.3$, $W = 7\%$, $t = 1100$ °C, $p = 1.013 \cdot 10^5$ Pa)

Matematičkim modelom razvijenim u doktorskoj disertaciji proračunat je sastav proizvedenog gasa na osnovu sastava goriva koje su koristili Venkata Ramanan i ostali [54] sa masenim udelom vlage 10%. Dobijeni rezultati su zatim upoređeni sa rezultatima koje su matematičkim modelom dobili Venkata Ramanan i ostali za iste ulazne podatke (slika 5.38.)



Slika 5.38. Poređenje rezultata zapreminskih udela produkata gasifikacije dobijenih primenom matematičkog modela sa podacima iz literature [54]
($\lambda = 0.3$, $W = 10\%$, $t = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = 1.013 \cdot 10^5\text{ Pa}$)

Vrednosti sastava produkata gasifikacije dobijenih matematičkim modelom u dobroj su saglasnosti sa podacima prikazanim u literaturi [54]. Neznatne razlike u zapreminskim udelima CO i CO₂ pri 7% vlage u gorivu (slika 5.37.) mogle bi se 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.

LITERATURA

- [1] Brkić M. 2013. Oklasak kukuruza kao biogorivo i izvor sirovina. *Sremska poljoprivreda* 2 (26): 14.
- [2] ***, Institut za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu, Izveštaj, analiza peleta, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Republika Srbija, 2013.
- [3] ***, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Izveštaj, analiza peleta, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Republika Srbija, 2013.
- [4] ASTM Standard. ASTM standards-D5142-04 standard test methods for proximate analysis of the analysis sample of coal and coke by instrumental procedures. In: Annual book of ASTM standards, Section 5, Vol. 05.06. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials; 2002.
- [5] ASTM Standard. ASTM standards-D3176-89(2002) standard practice for ultimate analysis of coal and coke. In: Annual book of ASTM standards, Section 5, Vol. 05.06. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials; 2002.
- [6] Ateş F, Işıkdağ M. A. 2009. Influence of temperature and alumina catalyst on pyrolysis of corncob. *Fuel* 88 (10): 1991 - 1997.
- [7] Worasuwannarak N, Sonobe T, Tanthapanichakoon W. 2007. Pyrolysis behaviors of rice straw, rice husk, and corncob by TG-MS technique. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 78 (2): 265 - 271.
- [8] Zhang H, Xiao R, Huang H, Xiao G. 2009. Comparison of non-catalytic and catalytic fast pyrolysis of corncob in a fluidized bed reactor. *Bioresource Technology* 100 (3): 1428 - 1434.
- [9] Raveendran K, Ganesh A, Khilart K. C. 1995. Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics. *Fuel* 74 (12): 1812 - 1822.
- [10] Carrier M, Hugo T, Gorgens J, Knoetze H. 2011. Comparison of slow and vacuum pyrolysis of sugar cane bagasse. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 90 (1): 18 - 26.
- [11] Salehi E, Abedi J, Harding T. 2009. Bio-oil from sawdust: pyrolysis of sawdust in a fixed-bed system. *Energy and Fuels* 23: 3767 - 3772.
- [12] Gerçel H. F. 2011. Bio-oil production from *Onopordum acanthium* L. by slow pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 92 (1): 233 - 238.
- [13] Şen N, Kar Y. 2011. Pyrolysis of black cumin seed cake in a fixed-bed reactor. *Biomass and Bioenergy* 35 (10): 4297 - 4304.
- [14] Phan A. N, Ryu C, Sharifi V. N, Swithenbank J. 2008. Characterisation of slow pyrolysis products from segregated wastes for energy production. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 81 (1): 65 - 71.
- [15] Ateş F, Işıkdağ M. A. 2008. Evaluation of the Role of the Pyrolysis Temperature in Straw Biomass Samples and Characterization of the Oils by GC/MS. *Energy and Fuels* 22: 1936 - 1943.
- [16] Sipilä K, Kuoppala E, Fagernäs L, Oasmaa A. 1998. Characterization of biomass - based flash pyrolysis oils. *Biomass and Bioenergy* 14 (2): 103 - 113.
- [17] Beis S. H, Önay Ö, Koçkar Ö. M. 2002. Fixed - bed pyrolysis of safflower seed: influence of pyrolysis parameters on product yields and compositions. *Renewable Energy* 26 (1): 21 - 32.
- [18] Pütün A. E, Apaydin E, Pütün E. 2004. Rice straw as a bio-oil source via pyrolysis and steam pyrolysis. *Energy* 29 (12 - 15): 2171 - 2180.

- [19] Zajec L. 2009. Slow pyrolysis in a rotary kiln reactor: Optimization and experiment, Master's thesis. School for Renewable Energy Science in affiliation with University of Iceland and University of Akureyri, Akureyri.
- [20] Encinar J. M, González J. F, González J. 2000. Fixed-bed pyrolysis of *Cynara cardunculus* L. Product yields and compositions. *Fuel Processing Technology* 68 (3): 209 - 222.
- [21] Demirbas A. 2004. Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 72 (2): 243 - 248.
- [22] Huynh Q, Kim D. C. 2012. Investigation of Biomass Pyrolysis on Non-catalytic Process for Bio-oli Production. 4th International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering, IPCBEE vol.43, LACSIT Press, Singapore.
- [23] Sukiran M. A, Chin C. M, Abu Bakar, N. K. 2009. Bio-oils from Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches. *American Journal of Applied Sciences* 6 (5): 869 - 875.
- [24] Cao Q, Xie K. C, Bao W. R, Shen S. G. 2004. Pyrolytic behavior of waste corn cob. *Bioresource Technology* 94 (1): 83 - 89.
- [25] Ioannidou O, Zabaniotou A, Antonakou E. V, Papazisi K. M, Lappas A. A, Athanassiou C. 2009. Investigating the potential for energy, fuel, materials and chemicals production from corn residues (cobs and stalks) by non-catalytic and catalytic pyrolysis in two reactor configurations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (4): 750 - 762.
- [26] Capunitan J. A, Capareda S. C. 2012. Assessing the potential for biofuel production of corn stover pyrolysis using a pressurized batch reactor. *Fuel* 95: 563 - 572.
- [27] Demiral İ, Eryazıcı A, Şensöz S. 2012. Bio-oil production from pyrolysis of corncob (*Zea mays* L.). *Biomass and Bioenergy* 36: 43-49.
- [28] Lu Q, Li W. Z, Zhu X. F. 2009. Overview of fuel properties of biomass fast pyrolysis oils. *Energy Conservation & Management* 50 (5): 1376 - 1383.
- [29] Vispute T. 2011. Pyrolysis Oils: Characterization, Stability Analysis, and Catalytic Upgrading to Fuels and Chemicals, Ph.D. diss, Chemical Engineering Dept, University of Massachusetts, Amherst.
- [30] Sadaka S, Boateng A. A. 2009. Pyrolysis and Bio-oil. University of Arkansas publication-FSA1052, http://www.uaex.edu/Other_Areas/publications/PDF/FSA1052.pdf (4.05.2015.)
- [31] Mullen C. A, Boateng A .A, Goldberg N. M, Lima I. M, Laird D. A, Hicks K. B. 2010. Bio-oil and bio-char production from corn cobs and stover by fast pyrolysis. *Biomass and Bioenergy* 34(1): 67-74.
- [32] Yanik J, Kornmayer C, Saglam M, Yüksel M.2007. Fast pyrolysis of agricultural wastes: Characterization of pyrolysis products, *Fuel Processing Technology* 88(10): 942–947.
- [33] Schwietzke S, Ladisch M, Russo L, Kwant K, Makinen T, Kavalov B, Maniatia K, Zwart R, Shananan G, Sipila K, Grabowski P, Telenius B, White M, Brown A. 2008. Analysis and identification of gaps in research for the production of second-generation liquid transportation biofuels. Report of the IEA Bioenergy Task 41, Project 2, IEA Bioenergy Secretariat, Rotorua.

- [34] Lehmann J, Joseph S. 2009. Biochar for environmental management: an introduction. In: Biochar for environmental management-science and technology, eds. Lehmann J, Joseph S, 1-9. London and Sterling, UK and USA: Earthscan Publisher.
- [35] ***Rudarski institut Beograd, Laboratorija za čvrsta goriva, Izveštaj o ispitivanju br. 72/14, Beograd-Zemun.
- [36] Danje S. 2011. Fast pyrolysis of corn residues for energy production. Master Thesis, Faculty of Engineering, Stellenbosch University, Stellenbosch, South Africa.
- [37] Laird D. A. 2008. The charcoal vision: a win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agronomy Journal* 100 (1): 178 - 181.
- [38] Barin I, Knacke O, Kubarschewski O. 1977. *Thermochemical Properties of Inorganic Substances*, suppl.- Berlin, Dusseldorf, Springer-Verlag.
- [39] Jarungthammachote S, Dutta A. 2007. Thermodynamic equilibrium model and second law analysis of a downdraft waste gasifier. *Energy* 32 (9): 1660 - 1669.
- [40] Zainal Z. A, Ali R, Lean C. H, Seetharamu K. N. 2001. Prediction of performance of a downdraft gasifier using equilibrium modeling for different biomass materials. *Energy Conversion and Management* 42 (12): 1499 - 1515.
- [41] Higman C, Van der Burgt M. J. 2008. *Gasification (Second Edition)*, Elsevier.
- [42] Gumz W. 1962. *Kurzes Handbuch der Brennstoff und Feuerungstechnik*, Springer-Verlag, Berlin.
- [43] Kozaczka J. 1994. *Procesy zgazowania. Inzynierskie metody obliczen. Gasification processes. Engineering calculation methods*. Krakow: Wydaw. AGH.
- [44] Bacon D. W, Downie J, Hsu J. C, Peters J. 1985. Modeling of Fluidized Bed Wood Gasifiers. In: *Fundamentals of thermochemical biomass conversion*, eds. Overend R. P, Milne T. A, Mudge K. L. Elsevier Applied Science, London, UK.
- [45] Ruggiero M, Manfrida G. 1999. An equilibrium model for biomass gasification processes. *Renewable Energy* 16 (1 - 4): 1106 - 1109.
- [46] Schuster G, Löffler G, Weigl K, Hofbauer H. 2001. Biomass steam gasification - an extensive parametric modeling study. *Bioresource Technology* 77 (1): 71 - 79.
- [47] Altafini C. R, Wander P. R, Barreto R. M. 2003. Prediction of the working parameters of a wood waste gasifier through an equilibrium model. *Energy Conversion and Management* 44 (17): 2763 - 2777.
- [48] Li X. T, Grace J. R, Lim C. J, Watkinson A. P, Chen H. P, Kim J. R. 2004. Biomass gasification in a circulating fluidized bed, *Biomass and Bioenergy* 26 (2): 171 - 193.
- [49] Li X, Grace J. R, Watkinson A. P, Lim C. J, Ergüdenler A. 2001. Equilibrium modeling of gasification: a free energy minimization approach and its application to circulating fluidized bed coal gasifier. *Fuel* 80 (2): 195 - 207.
- [50] Melgar A, Pérez J. F, Laget H, Horillo A. 2007. Thermochemical equilibrium modelling of gasifying process. *Energy Conversion Management* 48 (1): 59 - 67.
- [51] Karamarkovic R, Karamarkovic V. 2010. Energy and exergy analysis of biomass gasification at different temperatures. *Energy* 35 (2): 537 - 549.
- [52] Huang H. J, Ramaswamy S. 2009. Modeling Biomass Gasification Using Thermodynamic Equilibrium Approach. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 154 (1 - 3): 14 - 25.

- [53] Haryanto A, Fernando S. D, Pordesimo L. O, Adhikari S. 2009. Upgrading of syngas derived from biomass gasification: A thermodynamic analysis. *Biomass and Bioenergy* 33 (5): 882 - 889.
- [54] Venkata Ramanan M, Lakshmanan E, Sethumadhavan R, Renganarayanan S. 2008. Performance prediction and validation of equilibrium modeling for gasification of cashew nut shell char. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 25 (3): 585 - 601.

6

ZAKLJUČAK

Sporazum o energetske zajednici jugoistočne Evrope obavezuje Srbiju da usvoji direktive Evropske unije usmerene na povećanje korišćenja obnovljivih izvora energije. Srbija, posebno Vojvodina, bogata je biomasom koja može da se koristi u termohemijskim procesima za dobijanje toplotne energije. Smatra se da od ukupnih potencijala biomase nastale iz poljoprivredne proizvodnje za dobijanje toplotne energije može da se koristi oko 25 - 30%, što bi iznosilo oko 4 miliona tona (ekvivalentno sa oko 1.4 miliona tona ulja za loženje). Analiza strukture biomase iz ostataka poljoprivredne proizvodnje pokazuje da više od polovine resursa leži u kukuruznoj biomasi.

Radi uspešnog modelovanja procesa termohemijske konverzije biomase, a samim tim i nastanka emisije štetnih gasova, potrebno je izvršiti detaljnu analizu sastava biomase. Osnovni podaci o kvalitetu biomase kao goriva dobijaju se izradom tehničke i elementarne analize. Maseni udeli ugljenika i kiseonika ispitivanog oklaska kukuruza, koji iznose 46.74% i 34.16% respektivno, bili su u opsegu vrednosti masenih udela u literaturi (36.80 - 52.70% (ugljenik) i 26.99 - 44.59% (kiseonik)). Odstupanje je primećeno kod masenog udela azota, koji kod ispitivanog oklaska kukuruza iznosi 3.83%, dok u literaturi maseni udeo azota iznosi od 0.08 do 1.92%. Vrednost masenog udela sumpora ispitivanog oklaska nalazi se u opsegu vrednosti masenog udela drugih istraživača (od 0 do 0.59). Odnosi H/C i O/C iznosili su 1.40 i 0.55, respektivno, što je u opsegu navedenih odnosa u pregledanoj literaturi za poljoprivrednu biomasu iz različitih delova sveta (H/C=1.24 - 2.05 i O/C=0.47 - 0.80).

Na osnovu rezultata tehničke i elementarne analize oklaska kukuruza korišćenog pri eksperimentalnom ispitivanju i četrnaest različitih vrsti poljoprivredne biomase preuzetih iz literature, izvršena je analiza kvalitativnih karakteristika poljoprivredne biomase. Može se zaključiti da postoje određena odstupanja razmatranih karakteristika: 49.53% (vlaga), 8.24% (isparljive materije), 78.60% (pepeo) i 13.76% (donja toplotna moć) od srednjih vrednosti, što pokazuje koeficijent varijacije C_v . Značajno odstupanje karakteristika pepela (78.60%) od srednje vrednosti može nepovoljno da utiče na primenu i rad postrojenja za suvo odsumporavanje dimnih gasova pri procesima sagorevanja zbog dodatne količine praha.

Zavisnost toplotne moći od vrednosti C^g ukazuje na korelacionu vezu karakteristika poljoprivredne biomase. Može se uočiti prilična disperzija (rasutost) vrednosti toplotne moći od VM^g i C_{fix}^g i VM^g od koeficijenta M, na osnovu čega se može zaključiti da je pri procesima termohemijske konverzije poljoprivredne biomase važno poznavati rezultate tehničke i elementarne analize konkretne biomase.

Pregledom literature iz oblasti pirolize poljoprivredne biomase i rezultata dobijenih eksperimentalnim istraživanjem u okviru doktorske disertacije, može se zaključiti da je temperatura procesni parametar koji ima najznačajniji uticaj na prinos čvrstog ostatka. Prinos čvrstog ostatka konstantno opada sa porastom temperature do 650 °C, nakon čega dolazi do stabilizacije usled potpune devolatilizacije. Najznačajnije promene mase uzoraka svih frakcija i oklaska kukuruza u komadu odvijale su se u opsegu temperature 200 - 400 °C. Na 200 °C prinos čvrstog ostatka kretao se od 0.672 do 0.892 g/g, dok je na 400 °C iznosio od 0.240 - 0.280 g/g. Nakon toga, promena mase uzorka je bila sporija, tako da se prinos čvrstog ostatka u opsegu od 400 - 650 °C smanjio za 18.11 - 23.77%.

U opsegu temperature od 300 do 650 °C, za čestice veće od 0.35 mm, dokazana je hipoteza da sa porastom veličine čestica raste prinos čvrstog ostatka, dok prinos volatila opada. Čestice veličine 0.25 - 0.35 mm potvrđuju navedenu hipotezu za temperature veće od 400 °C. Maksimalan prinos bio-ulja dobijen je za čestice veličine 0.50 - 0.71 mm i iznosio je 22.88%, dok je najmanji prinos bio-ulja dobijen za čestice veličine 0.35 - 0.50 mm i iznosio je 17.94%, na osnovu čega se može zaključiti da nije postojao trend rasta prinosa bio-ulja sa porastom ili smanjenjem veličine čestica.

Za sve veličine čestica i oklasak kukuruza u komadu, može se zaključiti da masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize ima približno istu vrednost za sve brzine zagrevanja (19, 37 i 60 °C/min). Posmatrajući vremenski period procesa pirolize u kome postoje razlike u gubitku mase uzorka u zavisnosti od brzine zagrevanja, zaključuje se da do većeg gubitka mase uzorka dolazi sa porastom brzine zagrevanja, tj. prinos volatila raste, što se objašnjava činjenicom da pri malim brzinama zagrevanja volatili imaju dovoljno vremena da napuste zonu odvijanja reakcija pre nego što dođe do reakcije krekovanja. Maseni udeo bio-ulja raste sa porastom brzine zagrevanja za sve frakcije i oklasak kukuruza u komadu. Maksimalan prinos bio-ulja dobijen je za oklasak kukuruza u komadu i iznosio je 25.40%, pri brzini zagrevanja od 60 °C/min.

Porast temperature utiče na smanjenje zapreminskog udela CO₂. Pri najvišoj zabeleženoj temperaturi koja je iznosila 650 °C, zapreminski udeo CO₂ kretao se u opsegu od 17.7% (frakcija 0.25 - 0.35 mm) do 18.3% (frakcija 0.50 - 0.71 mm). Rezultati su pokazali da zapreminski udeo CO₂ ne zavisi od veličine čestica. Zapreminski udeo metana u pirolitičkom gasu raste sa porastom temperature. Veličina čestica je imala uticaj na prinos metana. Pokazalo se da sa porastom veličine čestica zapreminski udeo metana u pirolitičkom gasu opada. Za najmanju frakciju 0.25 - 0.35 mm zapreminski udeo CH₄ kretao se od 13.1% do 43.3%, u opsegu temperature 300 - 650 °C, dok se zapreminski udeo metana za oklasak kukuruza u komadu kretao od 7.1% do 39.6% u navedenom opsegu temperature.

Zapreminski udeli metana i ugljen dioksida u pirolitičkom gasu upoređeni su sa rezultatima iz literature. Može se zaključiti da se najmanja odstupanja prinosa CO₂ i CH₄ beleže kod istraživača koji su koristili isti tip reaktora i kod kojih se proces pirolize odvija pri sličnim uslovima.

Prinos čvrstog ostatka dobijen eksperimentalnim ispitivanjem je u saglasnosti sa rezultatima drugih istraživača. Određena odstupanja mogu se objasniti različitim uslovima odvijanja procesa pirolize. Na osnovu sastava čvrstog ostatka dobijenog nakon procesa pirolize oklasak kukuruza potvrđeno je da je čvrsti ostatak proizvod bogat ugljenikom (74.80%). Donja toplotna moć čvrstog ostatka iznosila je 26182.09 kJ/kg. Visoka vrednost toplotne moći čvrstog ostatka doprinosi ekonomskoj opravdanosti primene procesa pirolize oklasak kukuruza. Poređenjem sastava čvrstog ostatka dobijenog eksperimentalnim ispitivanjem pirolize oklasak kukuruza sa podacima iz literature može se zaključiti da postoje razlike u sastavu čvrstog ostatka usled različitih uslova odvijanja procesa i različitog sastava ulazne biomase. Maseni udeli bio-ulja dobijeni eksperimentalnim ispitivanjem su uporedivi sa podacima iz literature.

Na osnovu toplotnog bilansa u reaktoru za pirolizu oklaska kukuruza izračunati su gubici toplote koji iznose 6791.20 kJ/kgB (27.96%), tako da je stepen korisnosti reaktora 72.04%. Piroliza biomase privlači pažnju zbog svoje korisnosti i dobrih karakteristika procesa sa stanovišta životne sredine i pruža mogućnost obrade poljoprivrednih ostataka u čistu energiju.

Eksperimentalno ispitivanje procesa gasifikacije oklaska kukuruza vršeno je u gasifikatoru sa fiksnim slojem sa uzlaznom strujom oksidanta. Kao oksidujući agens korišćen je vazduh protoka 0.1, 0.3 i 0.6 m³/h. Zaključeno je da se tokom procesa gasifikacije masa čvrstog ostatka smanjivala sa porastom količine injektiranog vazduha, što se može objasniti većim zapreminskim udelom kiseonika pri većim protocima vazduha.

Kada protok injektiranog vazduha iznosi 0.1 m³/h zapreminski udeo CO₂ raste sa porastom temperature do 500 °C, nakon čega opada, dok je za protoke injektiranog vazduha 0.3 i 0.6 m³/h najveća vrednost zapreminskog udela CO₂ zabeležena na 450 °C. Može se zaključiti da tokom celog procesa gasifikacije zapreminski udeo CO₂ raste sa povećanjem količine injektiranog vazduha. Sa porastom temperature i količine injektiranog vazduha, zapreminski udeo CH₄ opada.

U doktorskoj disertaciji razvijen je matematički model gasifikacije oklaska kukuruza u struju vazduha. Prednost navedenog matematičkog modela jeste u tome što određuje udeo čvrste faze (ugljenika) u ravnotežnoj mešavini, za razliku od matematičkih modela prikazanih u literaturi koji razmatraju samo gasovitu (homogenu) fazu. Poznavanje udela čvrste faze u produktima gasifikacije je neophodno za pravilno određivanje materijalnog i toplotnog bilansa procesa gasifikacije i projektovanje reaktora za gasifikaciju.

Rezultati modela bili su u dobroj saglasnosti sa eksperimentalno dobijenim zapreminskim udelima CO₂. Razvijeni matematički model gasifikacije uglavnom je predvideo malo veće vrednosti zapreminskog udela CO₂ i manje vrednosti zapreminskog udela CH₄ u odnosu na rezultate dobijene eksperimentalnim ispitivanjem gasifikacije u doktorskoj disertaciji.

Kako bi se potvrdila validnost matematičkog modela razvijenog u doktorskoj disertaciji izračunat je sastav produkata gasifikacije drugih istraživača pomoću navedenog modela. Rezultati su bili uporedivi sa njihovim eksperimentalnim rezultatima kao i sa rezultatima proračunatim njihovim matematičkim modelom.

Matematički model omogućava optimizaciju rada i konfiguracije postrojenja koristeći eksperimentalne podatke dobijene pomoću pilot postrojenja.

Dalja istraživanja procesa pirolize oklaska kukuruza trebalo bi da obuhvate ispitivanja masenih udela strukturnih komponenata oklaska kukuruza (celuloze, hemiceluloze i lignina). Optimizaciji postrojenja za pirolizu doprinelo bi ispitivanje procesa pirolize pri većim brzinama zagrevanja, kako bi se dobio veći prinos bio-ulja. Takođe, trebalo bi izvršiti tehničku i elementarnu analizu bio-ulja.

Kako bi tačnost matematičkog modela bila u potpunosti potvrđena, trebalo bi eksperimentalnim putem odrediti zapreminske udele svih komponenata u gasu nastalom procesom gasifikacije i izvršiti poređenje sa rezultatima razvijenog modela.

PRILOZI

PRILOG 1. Mase i zapremine produkata sagorevanja oklaska kukuruza u zavisnosti od koeficijenta viška vazduha

λ	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00
$m_{\text{CO}_2} \left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{kgB}} \right)$	1.7139	1.7139	1.7139	1.7139	1.7139	1.7139
$m_{\text{H}_2\text{O}} \left(\frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgB}} \right)$	0.5769	0.5769	0.5769	0.5769	0.5769	0.5769
$m_{\text{SO}_2} \left(\frac{\text{kgSO}_2}{\text{kgB}} \right)$	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024
$m_{\text{N}_2} \left(\frac{\text{kgN}_2}{\text{kgB}} \right)$	4.5341	5.4332	6.3324	7.2316	8.1307	9.0299
$m_{\text{O}_2} \left(\frac{\text{kgO}_2}{\text{kgB}} \right)$	0	0.1512	0.3025	0.4537	0.6049	0.7562
$m_{\text{sdg}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{kgB}} \right)$	6.2504	7.3008	8.3512	9.4016	10.4520	11.5024
$m_{\text{vdg}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{kgB}} \right)$	6.8273	7.8777	8.9281	9.9785	11.0289	12.0793
$V_{\text{CO}_2} \left(\frac{\text{m}^3\text{CO}_2}{\text{kgB}} \right)$	0.8726	0.8726	0.8726	0.8726	0.8726	0.8726
$V_{\text{H}_2\text{O}} \left(\frac{\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{\text{kgB}} \right)$	0.7179	0.7179	0.7179	0.7179	0.7179	0.7179
$V_{\text{SO}_2} \left(\frac{\text{m}^3\text{SO}_2}{\text{kgB}} \right)$	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
$V_{\text{N}_2} \left(\frac{\text{m}^3\text{N}_2}{\text{kgB}} \right)$	3.5672	4.2745	4.9819	5.6892	6.3965	7.1038
$V_{\text{O}_2} \left(\frac{\text{m}^3\text{O}_2}{\text{kgB}} \right)$	0	0.1059	0.2118	0.3176	0.4235	0.5294
$V_{\text{sdg}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kgB}} \right)$	4.4406	5.2538	6.0670	6.8802	7.6934	8.5066
$V_{\text{vdg}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kgB}} \right)$	5.1585	5.9717	6.7849	7.5981	8.4113	9.2245

PRILOG 2. Zapreminski udeli gasova u vlažnom dimnom gasu

λ	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00
CO ₂ (%)	16.91	14.61	12.86	11.48	10.37	9.46
H ₂ O (%)	13.91	12.02	10.58	9.45	8.53	7.78
SO ₂ (%)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
N ₂ (%)	69.15	71.58	73.42	74.88	76.05	77.01
O ₂ (%)	0	1.77	3.12	4.18	5.03	5.74

PRILOG 3. Srednje specifične toplote [44]

Temperatura	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂ O	SO ₂
t (°C)	c _p $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}\right)$				
0	1.0392	0.9148	0.8148	1.8594	0.6071
100	1.0404	0.9232	0.8658	1.8690	0.6364
200	1.0434	0.9353	0.9102	1.8937	0.6615
400	1.0567	0.9651	0.9826	1.9477	0.7076
600	1.0760	0.9927	1.0396	2.0092	0.7369
800	1.0947	1.0157	1.0852	2.0754	0.7620
1000	1.1179	1.0350	1.1225	2.1436	0.7829
1200	1.1359	1.0509	1.1530	2.2106	0.7976
1400	1.1526	1.0647	1.1782	2.2743	0.8039
1600	1.1673	1.0773	1.1995	2.3346	0.8164
1800	1.1798	1.0886	1.2179	2.3970	0.8248
2000	1.1911	1.0990	1.2334	2.4422	0.8332

PRILOG 4. i-t dijagram procesa sagorevanja oklaska kukuruza

λ	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00
t = 100 °C						
$i \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	728.0925	835.6034	943.1144	1050.6253	1158.1363	1265.6472
t = 200 °C						
$i \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	1476.9868	1692.9142	1908.8416	2124.7690	2340.6963	2556.6237
t = 400 °C						
$i \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	3040.2348	3478.6759	3917.1170	4355.5580	4793.9991	5232.4402
t = 600 °C						
$i \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	4692.8022	5363.3806	6033.9590	6704.5375	7375.1159	8045.6943
t = 800 °C						
$i \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	6418.0236	7328.3624	8239.7012	9149.0400	10059.3788	10969.7175
t = 1000 °C						
$i \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	8231.0438	9392.7467	10554.4496	11716.1525	12877.8554	14039.5583
t = 1200 °C						
$i \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	10084.3430	11500.6939	12917.0449	14333.3959	15749.7468	17166.0978
t = 1400 °C						
$i \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	11983.0095	13659.3633	15335.7170	17012.0708	18688.4245	20364.7783
t = 1600 °C						
$i \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	13915.6271	15855.6571	17795.6872	19735.7173	21675.7473	23615.7774
t = 1800 °C						
$i \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	15878.6957	18084.5369	20290.3780	22496.2191	24702.0602	26907.9013
t = 2000 °C						
$i \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	17850.7889	20325.1902	22799.5916	25273.9930	27748.3943	30222.7957

PRILOG 5. PIROLIZA OKLASKA KUKURUZA - ISPITIVANJE 1

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.25 - 0.35 mm
 MERENJE BR. 1
 DATUM MERENJA: 27.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 19:56 - 20:36

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.8

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.2
 MASA KOKSA (g): 1.8

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g		10													
Temperatura u reaktoru	°C		21.5	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
Vreme odvijanja procesa pirolize	min		0	7.92	11.73	14.88	17.52	20.50	24.95	28.52	29.33	30.37	31.05	32.07	33.02	33.83
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g		10.0	10.0	9.6	8.9	7.3	4.5	2.8	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.8
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g		0	0	0.4	1.1	2.7	5.5	7.2	7.9	8.0	8.0	8.1	8.2	8.2	8.2
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05
	H ₂	%	0	0.18	0.26	0.40	0.70	1.08	1.24	1.38	2.96	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00
	CO ₂	%	0	2.70	3.85	6.20	11.60	29.50	49.00	44.00	42.50	34.00	26.50	23.50	20.00	17.50
	O ₂	%	21.0	19.4	14.2	10.8	2.2	1.8	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.5	7.0	13.0	17.0	19.5	23.5	29.5	33.0	38.0	44.0
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g		1.80													
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g		2.03													
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g		6.17													
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min		19.0													

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 1 - nastavak
 DATUM MERENJA: 27.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 19:56 - 20:36

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.7	9.5	9.3	9.1	8.9	8.5	7.7	6.7	5.8	5.0	4.1	3.6	3.2	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.5	2.3	3.3	4.2	5.0	5.9	6.4	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	8.0	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

PRILOG 5. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.25 - 0.35 mm
 MERENJE BR. 2
 DATUM MERENJA: 28.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 9:50 - 10:30

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.9

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.1
 MASA KOKSA (g): 1.9

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	17.3	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	8.65	12.65	16.20	19.13	22.50	27.53	30.20	31.32	32.27	33.28	34.48	36.00	37.97	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.3	8.6	6.6	3.9	3.0	2.6	2.2	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.7	1.4	3.4	6.1	7.0	7.4	7.8	8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.21	0.29	0.45	0.77	0.94	1.25	1.56	3.02	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	2.95	4.05	6.40	11.70	28.50	48.00	43.50	42.00	35.00	26.00	23.00	20.50	17.00
	O ₂	%	21.0	19.7	16.5	12.1	3.3	1.2	1.4	1.0	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.0	6.5	14.0	17.5	19.0	24.0	30.0	34.5	39.5	43.5
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	1.90														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	1.92														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	6.18														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	17														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 2 - nastavak
 DATUM MERENJA: 28.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 9:50 - 10:30

Naziv veličina	Jedinica																																											
Masa uzorka	g	10																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.8	9.6	9.3	9.2	9.1	8.9	8.7	8.0	7.4	6.7	5.8	5.0	4.1	3.6	3.4	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.7	2.3	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	2.0	2.6	3.3	4.2	5.0	5.9	6.4	6.6	6.8	6.9	7.0	7.0	7.1	7.3	7.7	8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 5. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.25 - 0.35 mm
 MERENJE BR. 3
 DATUM MERENJA: 28.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 20:11 - 20:51

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.8

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.2
 MASA KOKSA (g): 1.8

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	19.8	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	7.93	11.58	14.22	16.17	18.88	23.38	25.38	26.80	27.37	28.38	29.50	30.35	31.78	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.5	9.0	8.6	5.9	3.0	2.8	2.6	2.5	2.2	2.0	1.9	1.9	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.5	1.0	1.4	4.1	7.0	7.2	7.4	7.5	7.8	8.0	8.1	8.1	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.25	0.32	0.50	0.75	1.05	1.29	1.66	2.93	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	2.50	5.10	7.20	10.60	27.50	48.50	42.00	40.50	37.00	26.50	24.00	20.00	17.50
	O ₂	%	21.0	19.2	15.4	10.6	2.4	1.4	1.2	1.1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.0	6.5	13.0	18.0	19.5	23.5	28.0	33.0	38.5	42.5
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	1.80														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	1.96														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	6.24														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	20														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 3 - nastavak
 DATUM MERENJA: 28.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 20:11 - 20:51

Naziv veličina	Jedinica																																											
Masa uzorka	g	10																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.8	9.6	9.4	9.2	9.0	8.9	8.7	8.1	7.1	5.9	4.9	4.4	3.7	3.0	2.9	2.8	2.7	2.5	2.3	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.1	1.3	1.9	2.9	4.1	5.1	5.6	6.3	7.0	7.1	7.2	7.3	7.5	7.7	8.0	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 5. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.25 - 0.35 mm
 MERENJE BR. 4
 DATUM MERENJA: 1.03.2013.
 VREME MERENJA (h): 9:39 - 10:19

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.8

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.2
 MASA KOKSA (g): 1.8

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	16.7	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	7.57	11.10	14.33	16.55	19.60	23.58	25.53	27.12	28.02	29.05	30.03	31.25	32.47	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.7	9.3	8.8	6.2	3.6	3.0	2.8	2.6	2.3	2.1	2.0	1.8	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.3	0.7	1.2	3.8	6.4	7.0	7.2	7.4	7.7	7.9	8.0	8.2	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.21	0.36	0.46	0.80	1.21	1.42	1.71	3.10	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	2.70	4.50	6.95	11.20	29.50	47.50	43.00	41.00	38.00	25.50	23.50	20.50	18.00
	O ₂	%	21.0	19.4	16.0	10.2	3.2	1.8	1.4	1.2	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
	CH ₄	%	0	0	0	0	2.0	5.5	13.5	18.5	20.0	24.5	28.5	34.5	39.0	43.5
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	1.80														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.19														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	6.01														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	19														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 4 - nastavak
 DATUM MERENJA: 1.03.2013.
 VREME MERENJA (h): 9:39 - 10:19

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.7	9.6	9.5	9.4	9.1	8.9	8.4	7.5	6.8	6.0	5.2	4.5	3.9	3.5	3.2	2.9	2.8	2.6	2.3	2.1	2.0	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.9	1.1	1.6	2.5	3.2	4.0	4.8	5.5	6.1	6.5	6.8	7.1	7.2	7.4	7.7	7.9	8.0	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 5. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.25 - 0.35 mm

MERENJE BR. 5

DATUM MERENJA: 1.03.2013.

VREME MERENJA (h): 19:42 - 20:22

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 8.0

MASA KOKSA (g): 2.0

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	18.5	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	7.72	11.18	14.30	16.58	19.48	23.47	25.40	26.98	27.95	28.92	29.83	30.85	32.23	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.6	9.1	7.9	5.8	3.2	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.4	0.9	1.1	4.2	6.8	7.2	7.4	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.18	0.32	0.47	0.78	1.33	1.55	1.88	2.98	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	2.00	4.05	6.11	12.50	28.00	48.50	42.50	40.00	38.50	27.50	24.50	21.50	18.50
	O ₂	%	21.0	18.9	15.4	11.3	4.0	1.6	1.3	1.1	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.0	4.5	12.0	18.5	22.0	25.0	29.0	33.5	39.0	43.0
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.00														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.15														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.85														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	20														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 5 - nastavak
 DATUM MERENJA: 1.03.2013.
 VREME MERENJA (h): 19:42 - 20:22

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.8	9.6	9.5	9.4	9.2	9.0	8.3	7.4	6.8	6.2	5.6	4.7	3.8	3.4	3.0	2.9	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.7	1.6	3.2	3.8	4.4	5.3	6.2	6.6	7.0	7.1	7.3	7.4	7.6	7.7	7.8	7.9	7.9	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

PRILOG 6. PIROLIZA OKLASKA KUKURUZA - ISPITIVANJE 2

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.35 - 0.50 mm
 MERENJE BR. 1
 DATUM MERENJA: 23.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 10:24 - 11:04

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.0

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.0
 MASA KOKSA (g): 2.0

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g		10													
Temperatura u reaktoru	°C		19.6	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
Vreme odvijanja procesa pirolize	min		0	8.12	12.13	15.27	18.13	21.08	25.58	28.32	29.28	30.03	30.82	31.98	33.10	33.93
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g		10.0	10.0	9.8	9.0	6.6	3.8	2.9	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g		0	0	0.2	1.0	3.4	6.2	7.1	7.5	7.6	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05
	H ₂	%	0	0.32	0.42	0.51	0.69	0.90	1.21	1.39	2.92	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00
	CO ₂	%	0	1.92	3.83	6.90	12.00	27.50	46.50	42.50	40.00	36.50	26.50	22.00	21.00	16.50
	O ₂	%	21.0	19.6	15.2	10.0	4.2	1.9	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	0.6	0.7	0.6
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.5	5.5	12.0	17.0	20.0	23.5	29.5	34.0	37.0	42.5
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g		2.00													
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g		1.43													
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g		6.57													
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min		19													

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 1 - nastavak
 DATUM MERENJA: 23.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 10:24 - 11:04

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.9	9.8	9.7	9.6	9.1	8.6	7.8	6.6	5.6	4.7	3.8	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	2.8	2.6	2.4	2.4	2.4	2.2	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.9	1.4	2.2	3.4	4.4	5.3	6.2	6.9	7.0	7.1	7.1	7.2	7.2	7.4	7.6	7.6	7.6	7.8	7.9	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 6. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.35 - 0.50 mm
 MERENJE BR. 2
 DATUM MERENJA: 23.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 20:14 - 20:54

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.0

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.0
 MASA KOKSA (g): 2.0

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	19.2	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	8.50	13.08	14.67	17.53	20.98	25.47	27.97	28.95	29.92	30.35	31.38	32.83	33.48	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.5	9.1	7.2	3.9	2.9	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.5	0.9	1.8	6.1	7.1	7.4	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.0	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.34	0.39	0.55	0.74	0.98	1.11	1.42	2.95	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	1.88	3.55	5.88	11.20	25.50	45.50	43.00	41.00	35.50	27.50	22.50	21.00	17.50
	O ₂	%	21.0	18.2	14.4	10.2	3.8	1.6	1.2	1.1	1.0	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.0	6.5	13.0	17.5	21.0	24.5	29.0	35.0	38.0	42.0
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.00														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	1.59														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	6.41														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	19														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 2 - nastavak
 DATUM MERENJA: 23.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 20:14 - 20:54

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.8	9.6	9.5	9.3	9.0	8.6	7.7	6.6	5.6	4.6	3.9	3.5	3.2	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.4	2.3	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.4	0.5	0.7	1.0	1.4	2.3	3.4	4.4	5.4	6.1	6.5	6.8	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.6	7.7	7.9	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

PRILOG 6. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.35 - 0.50 mm
 MERENJE BR. 3
 DATUM MERENJA: 25.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 9:50 - 10:30

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.9

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.1
 MASA KOKSA (g): 1.9

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	16.1	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	8.35	12.90	14.65	17.47	20.78	25.27	27.75	28.73	29.72	30.22	31.17	32.32	33.03	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.3	9.0	7.5	4.2	2.8	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.7	1.0	2.5	5.8	7.2	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.0	8.1	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.39	0.48	0.59	0.80	1.02	1.28	1.54	3.13	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	1.34	2.98	6.12	10.80	24.50	46.00	44.50	42.00	36.00	25.50	22.00	20.50	18.50
	O ₂	%	21.0	19.6	14.9	7.8	1.8	1.2	1.3	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.0	4.5	10.5	16.5	20.5	24.0	30.0	33.5	37.5	43.0
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	1.90														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	1.94														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	6.16														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	19														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 3 - nastavak
 DATUM MERENJA: 25.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 9:50 - 10:30

Naziv veličina	Jedinica																																											
Masa uzorka	g	10																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.8	9.7	9.5	9.3	9.1	8.9	8.7	8.0	7.1	5.9	4.8	4.0	3.5	3.1	3.0	2.8	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	2.0	2.9	4.1	5.2	6.0	6.5	6.9	7.0	7.2	7.3	7.5	7.7	7.8	7.9	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 6. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.35 - 0.50 mm
 MERENJE BR. 4
 DATUM MERENJA: 25.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 20:11 - 20:51

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8
 MASA KOKSA (g): 2

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	18.5	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	8.15	12.25	14.18	17.03	20.35	24.98	27.05	28.10	29.13	30.02	30.92	32.03	32.90	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.5	9.1	7.6	4.5	3.0	2.6	2.4	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.5	0.9	3.4	5.5	7.0	7.4	7.6	7.8	7.8	7.9	8.0	8.0	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.31	0.42	0.58	0.79	1.10	1.33	1.67	2.98	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	1.05	2.53	5.56	11.10	23.50	48.00	45.50	43.50	35.00	28.00	23.50	20.00	
	O ₂	%	21.0	17.8	13.8	7.6	2.8	1.4	1.2	0.9	0.8	0.8	0.9	0.7	0.6	
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.5	5.5	10.0	18.0	21.0	23.0	29.5	34.5	36.5	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.00														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	1.81														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	6.19														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	19														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 4 - nastavak
 DATUM MERENJA: 25.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 20:11 - 20:51

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.7	9.5	9.3	9.1	8.9	8.5	7.6	6.5	5.7	4.7	4.0	3.6	3.4	3.2	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.5	2.4	3.5	4.3	5.3	6.0	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	7.8	7.9	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 6. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.35 - 0.50 mm
 MERENJE BR. 5
 DATUM MERENJA: 26.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 9:12 - 9:52

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.8

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.2
 MASA KOKSA (g): 1.8

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	18.1	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	8.32	12.42	15.97	18.35	21.33	25.28	27.38	28.40	29.28	30.18	31.33	32.62	34.22	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.2	8.7	7.0	4.7	2.9	2.7	2.5	2.3	2.1	2.0	1.8	1.8	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.8	1.3	3.0	5.3	7.1	7.3	7.5	7.7	7.9	8.0	8.2	8.2	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.29	0.38	0.51	0.72	0.98	1.29	1.53	2.95	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	1.20	2.78	6.10	11.50	24.50	48.50	46.00	42.50	34.00	27.50	24.00	21.00	
	O ₂	%	21.0	19.5	15.1	11.2	3.6	2.2	1.1	1.0	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.0	6.0	10.5	17.5	21.5	24.0	29.0	33.5	35.5	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.00														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.15														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.85														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	20														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 5 - nastavak
 DATUM MERENJA: 26.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 9:12 - 9:52

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.8	9.6	9.2	9.1	9.0	8.9	8.7	8.0	7.1	6.1	5.7	4.9	4.0	3.4	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.1	2.0	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.4	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	2.0	2.9	3.9	4.3	5.1	6.0	6.6	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.9	8.0	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

PRILOG 7. PIROLIZA OKLASKA KUKURUZA - ISPITIVANJE 3

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.50 - 0.71 mm
 MERENJE BR. 1
 DATUM MERENJA: 20.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 20:06 - 20:46

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.1

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 7.9
 MASA KOKSA (g): 2.1

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g		10													
Temperatura u reaktoru	°C		16.4	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
Vreme odvijanja procesa pirolize	min		0	7.32	10.08	12.52	15.18	18.02	21.58	24.13	25.17	26.02	27.87	29.18	31.03	31.95
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g		10.0	10.0	9.8	9.3	8.5	6.6	3.7	2.9	2.8	2.7	2.5	2.4	2.2	2.1
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g		0	0	0.2	0.7	1.5	3.4	6.3	7.1	7.2	7.3	7.5	7.6	7.8	7.9
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05
	H ₂	%	0	0.29	0.32	0.58	0.79	1.00	1.13	1.50	3.01	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00
	CO ₂	%	0	1.96	4.02	5.96	12.40	26.50	46.50	44.00	42.50	36.50	27.00	23.50	21.00	17.50
	O ₂	%	21.0	18.6	15.2	10.8	6.2	1.8	1.1	1.1	0.9	1.0	0.9	0.7	0.6	0.6
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.5	5.5	12.5	16.5	20.0	25.5	28.0	35.5	37.0	42.0
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g		2.10													
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g		2.33													
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g		5.57													
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min		20													

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 1 - nastavak
 DATUM MERENJA: 20.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 20:06 - 20:46

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.8	9.6	9.4	9.1	8.9	8.6	8.2	7.5	6.6	5.7	4.7	3.7	3.3	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.6	0.9	1.1	1.4	1.8	2.5	3.4	4.3	5.3	6.3	6.7	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.8	7.8	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 7. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.50 - 0.71 mm
 MERENJE BR. 2
 DATUM MERENJA: 21.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 9:48 - 10:28

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.1

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 7.9
 MASA KOKSA (g): 2.1

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	15.7	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	7.65	10.82	13.65	16.45	19.30	23.08	25.63	25.67	27.48	28.33	29.32	30.48	32.12	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.5	8.2	6.5	3.5	2.8	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.5	1.8	3.5	6.5	7.2	7.5	7.6	7.7	7.7	7.8	7.9	7.9	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.25	0.36	0.49	0.82	1.05	1.23	1.48	2.91	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	1.57	3.66	6.05	12.10	28.50	47.00	44.50	43.00	37.50	27.50	23.00	20.50	
	O ₂	%	21.0	19.8	16.5	13.4	7.3	1.6	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	
	CH ₄	%	0	0	0	0	2.0	6.0	11.5	17.5	21.0	25.0	27.0	36.5	38.0	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.10														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.93														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	4.97														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	20														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 2 - nastavak
 DATUM MERENJA: 21.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 9:48 - 10:28

Naziv veličina	Jedinica	10																																									
Masa uzorka	g																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.8	9.6	9.4	9.1	8.7	8.1	7.8	7.0	5.9	4.8	3.7	3.2	2.9	2.8	2.8	2.7	2.6	2.4	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.6	0.9	1.3	1.9	2.2	3.0	4.1	5.2	6.3	6.8	6.1	7.2	7.2	7.3	7.4	7.6	7.6	7.7	7.8	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

PRILOG 7. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.50 - 0.71 mm
 MERENJE BR. 3
 DATUM MERENJA: 21.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 19:32 - 20:12

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.1

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 7.9
 MASA KOKSA (g): 2.1

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	16.2	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	7.68	10.87	13.50	16.53	19.35	23.25	25.52	26.58	27.57	28.40	29.37	30.55	32.18	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.5	8.9	6.6	4.4	3.0	2.8	2.7	2.6	2.5	2.3	2.2	2.1	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.5	1.1	3.4	5.6	7.0	7.2	7.3	7.4	7.5	7.7	7.8	7.9	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.23	0.40	0.52	0.73	0.97	1.12	1.25	2.94	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	1.66	3.83	6.65	11.50	29.00	47.50	45.50	43.50	37.00	26.50	24.00	21.00	18.50
	O ₂	%	21.0	18.2	14.2	10.8	4.2	2.0	1.4	1.2	0.9	0.9	0.8	0.9	0.7	0.6
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.0	6.5	12.5	17.0	22.0	25.5	27.5	36.0	38.5	42.5
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.10														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.11														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.79														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	20														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 3 - nastavak
 DATUM MERENJA: 21.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 19:32 - 20:12

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.7	9.5	9.3	9.1	8.6	7.8	7.1	6.0	5.0	4.5	4.1	3.5	3.2	3.0	2.9	2.9	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.4	2.2	2.9	4.0	5.0	5.5	5.9	6.5	6.8	7.0	7.1	7.1	7.2	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 7. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.50 - 0.71 mm
 MERENJE BR. 4
 DATUM MERENJA: 22.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 10:03 - 10:43

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.0

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.0
 MASA KOKSA (g): 2.0

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g		10													
Temperatura u reaktoru	°C		15.2	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
Vreme odvijanja procesa pirolize	min		0	8.57	13.95	15.78	18.78	22.05	26.05	28.93	29.83	30.72	31.72	33.03	34.32	35.32
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g		10.0	10.0	9.5	8.7	5.2	3.0	2.3	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g		0	0	0.5	1.3	4.8	7.0	7.7	7.8	7.8	7.8	7.9	7.9	8.0	8.0
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05
	H ₂	%	0	0.33	0.49	0.62	0.79	1.05	1.22	1.33	2.98	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00
	CO ₂	%	0	1.23	3.98	6.15	12.50	29.50	48.00	46.00	44.00	36.50	27.00	24.50	20.50	19.00
	O ₂	%	21.0	19.4	13.8	10.1	3.4	1.6	1.1	1.1	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.5	7.5	13.0	17.5	22.5	26.0	28.5	37.0	38.0	42.0
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g		2.00													
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g		1.91													
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g		6.09													
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min		18													

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 4 - nastavak
 DATUM MERENJA: 22.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 10:03 - 10:43

Naziv veličina	Jedinica																																									
Masa uzorka	g	10																																								
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.8	9.7	9.5	9.2	9.0	8.0	7.3	6.2	5.1	4.0	3.3	3.0	2.8	2.7	2.5	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.0	2.0	2.7	3.8	4.9	6.0	6.7	7.0	7.2	7.3	7.5	7.7	7.7	7.7	7.8	7.8	7.9	7.9	7.9	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

PRILOG 7. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.50 - 0.71 mm
 MERENJE BR. 5
 DATUM MERENJA: 22.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 19:56 - 20:36

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.1

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 7.9
 MASA KOKSA (g): 2.1

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	17.2	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	7.98	11.02	13.55	15.48	19.53	23.30	25.47	26.67	27.68	28.58	29.60	30.68	32.97	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.6	9.0	7.6	4.2	3.0	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.4	1.0	2.4	5.8	7.0	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.28	0.41	0.59	0.83	1.11	1.34	1.42	3.10	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	1.13	3.85	6.11	11.50	30.00	48.50	46.00	42.00	37.00	26.00	23.50	20.00	18.50
	O ₂	%	21.0	18.9	15.4	12.2	6.8	2.0	1.4	1.3	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8
	CH ₄	%	0	0	0	0	0.5	5.5	12.5	17.0	23.5	25.5	29.0	37.5	38.5	42.0
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.10														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.16														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.74														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	19														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 5 - nastavak
 DATUM MERENJA: 22.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 19:56 - 20:36

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.8	9.6	9.4	9.2	8.7	7.9	7.2	6.1	5.1	4.6	4.0	3.7	3.3	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.3	2.1	2.8	3.9	4.9	5.4	6.0	6.3	6.7	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.6	7.7	7.8	7.8	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

PRILOG 8. PIROLIZA OKLASKA KUKURUZA - ISPITIVANJE 4

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.71 - 1.00 mm
 MERENJE BR. 1
 DATUM MERENJA: 16.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 12:06 - 12:46

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.2

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.0
 MASA KOKSA (g): 2.0

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g		10													
Temperatura u reaktoru	°C		15.9	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
Vreme odvijanja procesa pirolize	min		0	7.92	11.53	14.50	17.02	19.60	23.32	25.98	26.97	27.83	28.77	29.75	31.05	32.68
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g		10.0	10.0	9.5	9.0	6.9	4.5	3.3	2.9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g		0	0	0.5	1.0	3.1	5.5	6.7	7.1	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05
	H ₂	%	0	0.29	0.40	0.55	0.92	1.20	1.43	1.78	3.09	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00
	CO ₂	%	0	1.02	3.22	6.11	11.50	29.50	48.00	45.50	43.50	37.50	28.00	23.50	21.00	18.50
	O ₂	%	21.0	18.4	12.4	6.9	3.2	1.8	1.3	1.2	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.0	6.5	11.0	16.5	20.5	24.5	26.0	35.5	37.0	42.0
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g		2.00													
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g		1.88													
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g		6.12													
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min		19													

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 1 - nastavak
 DATUM MERENJA: 16.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 12:06 - 12:46

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.7	9.6	9.4	9.3	9.1	8.7	8.0	6.9	6.1	5.1	4.1	3.9	3.7	3.4	3.2	3.0	2.9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	2.0
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	1.3	2.0	3.1	3.9	4.9	5.9	6.1	6.3	6.6	6.8	7.0	7.1	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.9	8.0	8.0	8.0

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 8. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.71 - 1.00 mm
 MERENJE BR. 2
 DATUM MERENJA: 16.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 20:27 - 21:07

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.1

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.0
 MASA KOKSA (g): 2.0

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	16.2	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	8.25	11.65	14.32	17.02	20.03	23.57	25.47	26.97	27.83	29.05	30.07	30.95	32.52	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.6	8.9	6.9	4.0	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.4	2.2	2.1	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.4	1.1	3.1	6.0	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.6	7.8	7.9	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.25	0.36	0.51	0.81	1.11	1.31	1.56	2.89	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	1.52	3.63	5.95	11.10	29.00	48.50	46.50	44.00	36.00	27.00	23.00	21.50	
	O ₂	%	21.0	18.2	13.4	7.9	4.0	2.0	1.2	1.1	1.0	0.8	0.8	0.7	0.7	
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.5	6.0	12.0	15.5	19.5	23.5	25.5	34.5	36.5	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.00														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.28														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.72														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	19														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 2 - nastavak
 DATUM MERENJA: 16.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 20:27 - 21:07

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.7	9.5	9.3	9.0	8.8	7.9	6.9	5.9	4.9	4.0	3.7	3.6	3.2	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.6	2.4	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.5	0.7	1.0	1.2	2.1	3.1	4.1	5.1	6.0	6.3	6.4	6.8	7.0	7.1	7.1	7.2	7.3	7.4	7.6	7.8	7.8	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	8.0	8.0	8.0	

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 8. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.71 - 1.00 mm
 MERENJE BR. 3
 DATUM MERENJA: 18.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 10:18 - 10:58

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.2

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 7.8
 MASA KOKSA (g): 2.2

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	15.2	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	8.32	11.72	14.42	17.17	20.05	23.65	25.58	27.07	28.03	29.23	30.23	31.20	32.68	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.5	8.8	6.8	4.1	3.2	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.5	1.2	3.2	5.9	6.8	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.29	0.40	0.61	0.82	1.15	1.37	1.57	2.92	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	1.22	3.23	5.66	11.20	29.50	47.50	45.00	42.50	37.00	28.50	24.00	22.50	19.00
	O ₂	%	21.0	18.4	11.9	8.4	3.4	1.8	1.4	1.3	1.1	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
	CH ₄	%	0	0	0	0	2.0	6.5	11.5	15.0	18.5	23.0	26.5	35.0	37.0	41.0
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.20														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	1.95														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.85														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	19														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 3 - nastavak
 DATUM MERENJA: 18.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 10:18 - 10:58

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.8	9.6	9.4	9.2	9.0	8.6	7.9	6.9	5.9	4.9	4.1	3.7	3.5	3.3	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.4	2.1	3.1	4.1	5.1	5.9	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 8. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.71 - 1.00 mm
 MERENJE BR. 4
 DATUM MERENJA: 18.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 20:08 - 20:48

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.1

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 7.9
 MASA KOKSA (g): 2.1

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	15.4	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	8.03	11.57	14.35	16.97	20.07	23.53	25.52	26.92	27.93	28.97	30.12	31.03	32.65	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.5	8.9	6.8	3.9	3.0	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.5	1.1	3.2	6.1	7.0	7.2	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.32	0.45	0.61	0.88	1.06	1.27	1.43	2.94	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	1.23	3.05	5.85	12.20	29.00	48.50	44.00	42.00	36.50	27.50	24.50	21.50	19.00
	O ₂	%	21.0	17.4	14.0	8.2	4.4	2.4	1.3	1.1	1.1	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.5	6.0	10.5	16.0	20.0	24.0	27.0	34.0	37.5	42.0
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.10														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	1.99														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.91														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	19														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 4 - nastavak
 DATUM MERENJA: 18.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 20:08 - 20:48

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.8	9.6	9.4	9.2	8.9	8.7	8.0	6.8	6.0	4.8	3.9	3.6	3.5	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.1	1.3	2.0	3.2	4.0	5.2	6.1	6.4	6.5	6.9	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.8	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 8. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.71 - 1.00 mm

MERENJE BR. 5

DATUM MERENJA: 19.02.2013.

VREME MERENJA (h): 9:35 - 10:15

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.2

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 7.8

MASA KOKSA (g): 2.2

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	15.7	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	6.27	10.07	13.15	15.75	18.58	22.73	25.40	26.42	27.27	28.18	29.35	30.90	32.70	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.5	8.8	6.7	4.0	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.4	2.2	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.5	1.2	3.3	6.0	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.6	7.8	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.19	0.30	0.42	0.65	0.98	1.14	1.68	2.93	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	1.15	3.52	5.78	12.00	29.00	49.00	46.00	43.00	37.00	26.50	23.00	20.50	17.00
	O ₂	%	21.0	18.2	13.6	9.1	3.8	2.5	1.4	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6
	CH ₄	%	0	0	0	0	0.5	7.0	11.5	17.5	19.0	23.5	25.0	33.5	36.0	41.5
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.20														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	1.96														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.84														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	19														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 5 - nastavak
 DATUM MERENJA: 19.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 9:35 - 10:15

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.8	9.5	9.2	9.0	8.8	8.0	7.1	6.4	5.4	4.5	3.9	3.7	3.2	3.1	3.1	3.0	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.5	0.8	1.0	1.2	2.0	2.9	3.6	4.6	5.5	6.1	6.3	6.8	6.9	6.9	7.0	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

PRILOG 9. PIROLIZA OKLASKA KUKURUZA - ISPITIVANJE 5

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 1.00 - 1.40 mm
 MERENJE BR. 1
 DATUM MERENJA: 12.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 12:55 - 13:39

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8
 MASA KOKSA (g): 2

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g		10													
Temperatura u reaktoru	°C		14.8	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
Vreme odvijanja procesa pirolize	min		0	7.92	11.48	14.50	16.95	19.37	22.83	25.42	26.43	27.27	28.08	29.12	30.32	31.73
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g		10.0	10.0	9.8	9.6	8.0	5.1	3.0	2.4	2.4	2.4	2.3	2.1	2.1	2.1
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g		0	0	0.2	0.4	2.0	4.9	7.0	7.6	7.6	7.6	7.7	7.9	7.9	7.9
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05
	H ₂	%	0	0.26	0.40	0.55	0.85	1.20	1.41	1.66	2.95	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00
	CO ₂	%	0	1.98	3.53	5.45	12.80	26.00	49.50	46.00	44.50	35.00	29.00	24.00	20.00	18.00
	O ₂	%	21.0	17.2	11.1	8.8	4.2	2.8	1.8	1.4	1.1	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8
	CH ₄	%	0	0	0	0	0.5	5.0	11.0	16.0	17.5	22.5	25.0	33.0	36.5	38.0
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g		2.00													
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g		1.85													
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g		6.15													
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min		20													

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 1 - nastavak
 DATUM MERENJA: 12.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 12:55 - 13:39

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.9	9.8	9.8	9.7	9.6	9.5	9.0	8.0	6.8	5.8	4.7	3.7	3.5	2.9	2.7	2.4	2.4	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	1.0	2.0	3.2	4.2	5.3	6.3	6.5	7.1	7.3	7.6	7.6	7.6	7.7	7.8	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 9. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 1.00 - 1.40 mm
 MERENJE BR. 2
 DATUM MERENJA: 13.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 9:41 - 10:21

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.2

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 7.8
 MASA KOKSA (g): 2.2

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	16.6	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	7.48	11.43	14.12	16.57	18.98	22.83	25.43	26.50	27.40	28.17	29.23	30.45	32.18	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.5	8.9	6.8	4.1	3.3	3.0	3.0	2.9	2.8	2.7	2.5	2.2	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.5	1.1	3.2	5.9	6.7	7.0	7.0	7.1	7.2	7.3	7.5	7.8	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.22	0.31	0.58	0.75	1.06	1.35	1.66	2.99	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	1.67	3.98	6.07	11.70	27.00	48.00	46.50	43.00	33.00	26.50	22.50	19.50	17.00
	O ₂	%	21.0	17.8	11.6	6.8	4.4	2.6	1.6	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.5	6.5	12.5	15.5	18.0	23.5	25.5	33.5	36.0	38.5
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.20														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	1.66														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	6.14														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	20														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 2 - nastavak
 DATUM MERENJA: 13.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 9:41 - 10:21

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.7	9.6	9.3	9.2	8.9	8.1	7.1	6.0	4.9	4.1	3.9	3.8	3.6	3.3	3.1	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.4	0.7	0.8	1.1	1.9	2.9	4.0	5.1	5.9	6.1	6.2	6.4	6.7	6.9	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.5	7.6	7.7	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 9. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 1.00 - 1.40 mm
 MERENJE BR. 3
 DATUM MERENJA: 13.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 20:15 - 20:55

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.1

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 7.9
 MASA KOKSA (g): 2.1

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	14.2	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	7.73	11.42	14.17	16.63	19.03	22.87	25.42	26.53	27.48	28.20	29.33	30.52	32.27	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.4	8.6	6.4	4.2	3.4	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.2	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.6	1.4	3.6	5.8	6.6	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.8	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.31	0.44	0.60	0.87	1.13	1.43	1.74	2.98	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	1.22	3.11	5.23	12.10	28.00	48.50	47.00	45.00	37.00	27.00	23.50	20.00	18.50
	O ₂	%	21.0	17.1	12.2	7.3	4.8	2.2	1.6	1.3	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.0	6.0	11.5	15.0	16.5	22.0	26.5	32.5	36.5	38.5
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.10														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	1.71														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	6.19														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	20														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 3 - nastavak
 DATUM MERENJA: 13.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 20:15 - 20:55

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.7	9.5	9.2	9.0	8.7	8.0	6.9	6.1	4.9	4.2	4.0	3.8	3.6	3.4	3.2	3.0	2.9	2.7	2.6	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	2.0	3.1	3.9	5.1	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.1	7.3	7.4	7.4	7.6	7.7	7.8	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 9. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 1.00 - 1.40 mm
 MERENJE BR. 4
 DATUM MERENJA: 14.02.2013.
 VREME MERENJA(h): 19:37 - 20:17

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.2

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 7.8
 MASA KOKSA (g): 2.2

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	16.1	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	8.35	12.30	15.33	17.77	21.02	24.95	27.93	28.87	29.88	30.75	31.48	32.82	34.80	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.2	8.3	6.0	3.9	3.5	3.1	3.0	2.8	2.7	2.5	2.3	2.2	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.8	1.7	4.0	6.1	6.5	6.9	7.0	7.2	7.3	7.5	7.7	7.8	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.31	0.52	0.61	0.80	1.12	1.32	1.64	2.91	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	2.02	3.78	6.34	11.80	26.50	47.50	46.50	44.00	36.00	29.50	25.00	20.50	19.50
	O ₂	%	21.0	17.4	12.8	9.6	3.2	2.4	1.8	1.4	1.1	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.0	5.5	10.5	15.5	17.0	23.0	24.5	32.5	37.0	42.0
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.20														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.10														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.70														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	18														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 4 - nastavak
 DATUM MERENJA: 14.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 19:37 - 20:17

Naziv veličina		Jedinica																																									
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.7	9.5	9.2	9.1	8.7	8.4	8.0	6.8	5.8	4.8	4.1	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.1	3.0	2.8	2.6	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	1.3	1.6	2.0	3.2	4.2	5.2	5.9	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.9	7.0	7.2	7.4	7.7	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 9. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 1.00 - 1.40 mm
 MERENJE BR. 5
 DATUM MERENJA: 15.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 10:16 - 10:56

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.1

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 7.9
 MASA KOKSA (g): 2.1

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	15.5	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	8.02	11.45	14.22	16.68	19.08	23.00	25.50	26.48	27.45	28.22	29.35	30.53	32.35	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.4	8.7	6.4	4.2	3.4	3.0	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.6	1.3	3.6	5.8	6.6	7.0	7.2	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.21	0.32	0.49	0.71	1.11	1.33	1.59	2.90	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	1.15	3.12	5.22	11.90	25.50	49.00	45.00	43.00	35.50	29.50	23.00	21.00	17.50
	O ₂	%	21.0	18.2	12.4	8.2	4.2	2.2	1.4	1.3	1.0	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7
	CH ₄	%	0	0	0	0	1.5	6.0	12.0	16.5	18.0	22.0	25.5	32.0	38.0	42.5
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.10														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	1.81														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	6.09														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	20														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 5 - nastavak
 DATUM MERENJA: 15.02.2013.
 VREME MERENJA (h): 10:16 - 10:56

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.7	9.5	9.3	9.0	8.8	8.1	7.0	6.1	4.9	4.2	4.0	3.8	3.6	3.4	3.2	3.0	2.9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.5	0.7	1.0	1.2	1.9	3.0	3.9	5.1	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.1	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 10. PIROLIZA OKLASKA KUKURUZA - ISPITIVANJE 6

UZORAK: Oklasak kukuruza u komadu, dužine 50 mm i prečnika 29 mm

MERENJE BR. 1

DATUM MERENJA: 4.03.2013.

VREME MERENJA (h): 20:44 - 21:24

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.1

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 7.9

MASA KOKSA (g): 2.1

Naziv veličina		Jedinica															
Masa uzorka	g	10															
Temperatura u reaktoru	°C	29.5	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650		
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	6.32	10.48	13.90	17.07	20.00	23.67	26.27	27.30	28.22	28.98	30.02	30.88	32.70		
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.9	9.8	9.1	8.0	4.6	2.9	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1		
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.1	0.2	0.9	2.0	5.4	7.1	7.2	7.4	7.6	7.7	7.8	7.9		
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05		
	H ₂	%	0	0.30	0.41	0.53	0.92	1.12	1.15	1.30	2.93	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00		
	CO ₂	%	0	2.75	5.30	7.20	10.60	28.40	48.00	45.00	43.00	35.00	30.00	23.50	20.50	17.50	
	O ₂	%	21.0	20.5	18.7	17.4	15.5	3.5	1.0	0.8	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	
	CH ₄	%	0	0	0	0	0	0	6.0	14.0	18.0	19.5	25.0	32.0	38.0	41.5	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.10															
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.26															
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.64															
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	19															

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 1 - nastavak
 DATUM MERENJA: 4.03.2013.
 VREME MERENJA (h): 20:44 - 21:24

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.9	9.8	9.8	9.6	9.3	9.1	9.0	8.8	8.0	6.9	6.0	5.0	4.1	3.2	2.9	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.7	0.9	1.0	1.2	2.0	3.1	4.0	5.0	5.9	6.8	7.1	7.2	7.4	7.6	7.7	7.8	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 10. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza u komadu, dužine 50 mm i prečnika 26 mm

MERENJE BR. 2

DATUM MERENJA: 5.03.2013.

VREME MERENJA (h): 8:47 - 9:27

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.2

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 7.8

MASA KOKSA (g): 2.2

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g		10													
Temperatura u reaktoru	°C		25.7	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
Vreme odvijanja procesa pirolize	min		0	7.45	11.82	15.52	18.78	22.20	25.93	28.82	29.88	30.78	31.56	33.10	34.55	36.50
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g		10.0	10.0	9.9	9.5	9.0	6.5	3.3	2.9	2.8	2.7	2.4	2.2	2.2	2.2
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g		0	0	0.1	0.5	1.0	3.5	6.7	7.1	7.2	7.3	7.6	7.8	7.8	7.8
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	0.0452	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05
	H ₂	%	0	0.32	0.45	0.50	0.86	1.09	1.18	1.33	2.91	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00
	CO ₂	%	0	2.60	3.70	5.20	10.20	28.60	49.00	47.00	44.50	34.00	26.50	23.00	19.50	18.00
	O ₂	%	21.0	20.4	19.2	18.4	15.8	1.8	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8
	CH ₄	%	0	0	0	0	0	0	6.5	13.0	17.0	19.0	24.0	32.0	36.0	37.5
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g		2.20													
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g		2.41													
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g		5.39													
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min		17													

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 2 - nastavak
 DATUM MERENJA: 5.03.2013.
 VREME MERENJA (h): 8:47 - 9:27

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.8	9.8	9.7	9.6	9.4	9.3	9.1	8.9	8.4	7.8	6.8	5.8	5.0	4.0	3.3	3.0	3.0	2.9	2.8	2.6	2.4	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	1.1	1.6	2.2	3.2	4.2	5.0	6.0	6.7	7.0	7.0	7.1	7.2	7.4	7.6	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 10. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza u komadu dužine 55 mm i prečnika 25 mm

MERENJE BR. 3

DATUM MERENJA: 5.03.2013.

VREME MERENJA (h): 19:53 - 20:33

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.1

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 7.9

MASA KOKSA (g): 2.1

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	26.8	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	7.22	11.57	15.33	18.50	22.03	25.68	28.37	29.40	30.45	31.32	32.47	33.55	34.53	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.8	9.5	8.8	6.7	3.4	2.9	2.7	2.4	2.3	2.1	2.1	2.1	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.2	0.5	1.2	3.3	6.6	7.1	7.3	7.6	7.7	7.9	7.9	7.9	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.36	0.42	0.53	0.76	1.05	1.22	1.38	2.90	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	2.85	5.10	7.60	11.60	29.80	49.50	46.50	43.50	35.00	31.50	23.50	20.00	18.50
	O ₂	%	21.0	20.2	18.8	17.6	14.5	2.6	0.9	0.9	1.0	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7
	CH ₄	%	0	0	0	0	0	0	7.0	13.5	18.5	19.5	23.5	31.5	35.5	39.0
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.10														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.13														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.77														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	18														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 3 - nastavak
 DATUM MERENJA: 5.03.2013.
 VREME MERENJA (h): 19:53 - 20:33

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.8	9.7	9.6	9.5	9.3	9.1	8.9	8.7	8.3	7.7	6.7	5.7	4.9	3.9	3.2	3.0	2.9	2.7	2.6	2.3	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.7	2.3	3.3	4.3	5.1	6.1	6.8	7.0	7.1	7.3	7.4	7.7	7.8	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9		

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 10. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza u komadu dužine 61 mm i prečnika 20 mm

MERENJE BR. 4

DATUM MERENJA: 6.03.2013.

VREME MERENJA (h): 9:18 - 9:58

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 8

MASA KOKSA (g): 2

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	23.4	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	7.65	12.02	15.13	18.50	21.53	25.20	27.87	28.88	29.85	30.43	31.25	32.68	34.87	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10.0	10.0	9.7	9.4	9.0	7.9	4.0	2.9	2.7	2.5	2.2	2.1	2.0	2.0	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0.3	0.6	1.0	2.1	6.0	7.1	7.3	7.5	7.8	7.9	8.0	8.0	
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	0	0.37	0.44	0.57	0.74	1.07	1.25	1.34	2.94	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	0	2.65	3.95	4.85	8.60	27.40	48.50	46.00	42.50	36.00	28.00	22.50	18.00	
	O ₂	%	21.0	20.2	19.1	18.8	16.2	3.1	0.8	0.6	0.7	0.9	0.6	0.7	0.6	
	CH ₄	%	0	0	0	0	0	0	7.5	14.0	17.0	19.0	22.0	30.5	35.0	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.00														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.04														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.96														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	18														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 4 - nastavak
 DATUM MERENJA: 6.03.2013.
 VREME MERENJA (h): 9:18 - 9:58

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.8	9.7	9.6	9.5	9.4	9.3	9.2	9.0	9.0	8.8	8.1	7.5	6.8	5.4	4.1	3.4	3.1	2.9	2.7	2.5	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.0	1.2	1.9	2.5	3.2	4.6	5.9	6.6	6.9	7.1	7.3	7.5	7.9	7.9	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 10. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza u komadu dužine 55 mm i prečnika 23 mm

MERENJE BR. 5

DATUM MERENJA: 6.03.2013.

VREME MERENJA (h): 19:57 - 20:37

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.2

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 7.8

MASA KOKSA (g): 2.2

Naziv veličina		Jedinica														
Masa uzorka		g	10													
Temperatura u reaktoru		°C	24.5	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
Vreme odvijanja procesa pirolize		min	0	7.72	11.97	15.18	18.25	21.20	24.78	27.37	28.47	29.68	30.27	31.02	32.12	33.17
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)		g	10.0	10.0	9.7	9.4	8.7	7.0	4.3	3.2	2.7	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2
Prinos pirolitičkog gasa ^a		g	0	0	0.3	0.6	1.3	3.0	5.7	6.8	7.3	7.5	7.6	7.7	7.8	7.8
Zapreminski udeo pirolitičkih gasova u reaktoru	CO	%	0	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05
	H ₂	%	0	0.27	0.39	0.49	0.68	1.12	1.28	1.40	2.92	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00
	CO ₂	%	0	2.15	3.80	6.30	9.40	29.60	49.50	45.50	41.00	35.50	29.50	25.50	21.50	18.50
	O ₂	%	21.0	20.1	19.4	18.2	15.8	2.9	0.9	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6
	CH ₄	%	0	0	0	0	0	0	8.5	14.5	17.5	21.0	24.5	31.0	34.5	38.0
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize		g	2.20													
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize		g	1.82													
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize		g	5.98													
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru		°C/min	19													

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

MERENJE BR. 5 - nastavak
 DATUM MERENJA: 6.03.2013.
 VREME MERENJA (h): 19:57 - 20:37

Naziv veličina	Jedinica																																										
Masa uzorka	g	10																																									
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.8	9.7	9.6	9.5	9.4	9.2	9.0	8.8	8.3	7.7	7.1	6.4	5.6	4.9	4.1	3.7	3.3	3.0	2.6	2.4	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.7	2.3	2.9	3.6	4.4	5.1	5.9	6.3	6.7	7.0	7.4	7.6	7.7	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 11. PIROLIZA OKLASKA KUKURUZA (FRAKCIJA 0.25 - 0.35 mm) PRI BRZINI ZAGREVANJA OD 37 °C/min - ISPITIVANJE 1

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.25 - 0.35 mm

MERENJE BR. 1

DATUM MERENJA: 6.02.2014.

VREME MERENJA (h): 12:51 - 13:31

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.8

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 8.2

MASA KOKSA (g): 1.8

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	16.4	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.80	5.98	7.02	7.75	8.53	9.25	10.05	10.97	12.37	13.52	14.72	16.42	18.47	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	9.8	9.6	8.6	7.7	6.2	3.8	2.6	2.2	2.0	1.8	1.8	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0.2	0.4	1.4	2.3	3.8	6.2	7.4	7.8	8.0	8.2	8.2	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	1.80														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.41														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.79														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	37														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																											
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	9.8	9.5	8.0	6.2	3.8	2.7	2.3	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.5	2	3.8	6.2	7.3	7.7	8.0	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

PRILOG 11. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.25 - 0.35 mm
 MERENJE BR. 2
 DATUM MERENJA: 6.02.2014.
 VREME MERENJA (h): 21:03 - 21:43

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.8

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.2
 MASA KOKSA (g): 1.8

Naziv veličina	Jedinica																
Masa uzorka	g	10															
Temperatura u reaktoru	°C	17.5	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650		
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.83	6.03	7.07	7.77	8.58	9.32	10.18	11.08	12.43	13.53	14.83	16.33	18.63		
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	9.9	9.5	8.8	7.8	5.4	4.0	2.4	2.3	2.1	1.9	1.8		
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0.1	0.5	1.2	2.2	4.6	6.0	7.6	7.7	7.9	8.1	8.2		
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	1.80															
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.32															
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.88															
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	37															

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.4	8.2	6.0	4.0	2.6	2.3	2.2	2.1	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.6	1.8	4.0	6.0	7.4	7.7	7.8	7.9	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 12. PIROLIZA OKLASKA KUKURUZA (FRAKCIJA 0.35 - 0.50 mm) PRI BRZINI ZAGREVANJA OD 37 °C/min - ISPITIVANJE 2

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.35 - 0.50 mm

MERENJE BR. 1

DATUM MERENJA: 4.02.2014.

VREME MERENJA (h): 10:11 - 10:51

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.9

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 8.1

MASA KOKSA (g): 1.9

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	16.5	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.85	6.07	6.90	7.72	8.47	9.20	9.98	11.02	12.32	13.42	14.68	16.35	18.55	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	9.9	9.5	9.0	8.0	6.5	4.0	2.5	2.3	2.1	2.0	1.9	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0.1	0.5	1.0	2.0	3.5	6.0	7.5	7.7	7.9	8.0	8.1	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	1.90														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.29														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.81														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	37														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.3	8.3	6.5	4.0	2.8	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.7	1.7	3.5	6.0	7.2	7.7	7.8	7.9	7.9	8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 12. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.35 - 0.50 mm
 MERENJE BR. 2
 DATUM MERENJA: 4.02.2014.
 VREME MERENJA (h): 20:32 - 21:12

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.9

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.1
 MASA KOKSA (g): 1.9

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	17.9	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.88	6.17	7.02	7.83	8.45	9.17	10.03	11.05	12.35	13.52	14.82	16.42	18.67	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	9.9	9.5	8.9	7.8	6.4	3.8	2.5	2.2	2.1	1.9	1.9	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0.1	0.5	1.1	2.2	3.6	6.2	7.5	7.8	7.9	8.1	8.1	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	1.90														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.36														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.74														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	37														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																											
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.4	8.3	6.4	3.8	2.7	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.6	1.7	3.6	6.2	7.3	7.8	7.9	8.0	8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 13. PIROLIZA OKLASKA KUKURUZA (FRAKCIJA 0.50 - 0.71 mm) PRI BRZINI ZAGREVANJA OD 37 °C/min - ISPITIVANJE 3

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.50 - 0.71 mm

MERENJE BR. 1

DATUM MERENJA: 31.01.2014.

VREME MERENJA (h): 10:51 - 11:31

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.0

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 8.0

MASA KOKSA (g): 2.0

Naziv veličina	Jedinica																
Masa uzorka	g	10															
Temperatura u reaktoru	°C	15.6	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650		
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.95	6.18	7.08	8.02	8.48	9.03	9.75	10.48	11.47	12.43	13.52	15.03	17.07		
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	9.9	9.7	9.2	8.4	6.7	5.2	3.1	2.4	2.2	2.1	2.0		
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0.1	0.3	0.8	1.6	3.3	4.8	6.9	7.6	7.8	7.9	8.0		
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.00															
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.35															
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.65															
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	37															

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.7	8.4	6.0	4.0	2.7	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	1.6	4.0	6.0	7.3	7.8	7.9	7.9	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 13. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.50 - 0.71 mm
 MERENJE BR. 2
 DATUM MERENJA: 31.01.2014.
 VREME MERENJA (h): 20:26 - 21:06

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.9

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.1
 MASA KOKSA (g): 1.9

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	16.9	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	5.03	6.25	6.98	7.97	8.52	9.08	9.85	10.53	11.57	12.55	13.48	14.97	16.93	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	9.8	9.3	8.5	6.2	5.1	3.2	2.4	2.2	2.0	1.9	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0.2	0.7	1.5	3.8	4.9	6.8	7.6	7.8	8.0	8.1	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	1.90														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.43														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.67														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	37														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	10	9.8	8.5	6.1	4.0	2.6	2.3	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	1.5	3.9	6.0	7.4	7.7	7.9	8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

PRILOG 14. PIROLIZA OKLASKA KUKURUZA (FRAKCIJA 0.71 - 1.0 mm) PRI BRZINI ZAGREVANJA OD 37 °C/min - ISPITIVANJE 4

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.71 - 1.0 mm
 MERENJE BR. 1
 DATUM MERENJA: 28.01.2014.
 VREME MERENJA (h): 12:02 - 12:42

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.0

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.0
 MASA KOKSA (g): 2.0

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	16.5	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.88	6.10	7.03	7.85	8.37	8.98	9.68	10.53	11.52	12.55	13.48	14.97	16.93	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	9.9	9.6	9.2	8.5	7.0	5.4	3.0	2.5	2.3	2.1	2.0	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0.1	0.4	0.8	1.5	3.0	4.6	7.0	7.5	7.7	7.9	8.0	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.00														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.34														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.66														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	37														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.6	8.5	6.3	4.1	2.8	2.4	2.2	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	1.5	3.7	5.9	7.2	7.6	7.8	7.9	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 14. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.71 - 1.0 mm
 MERENJE BR. 2
 DATUM MERENJA: 28.01.2014.
 VREME MERENJA (h): 20:13 - 20:53

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.0

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.0
 MASA KOKSA (g): 2.0

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	17.9	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.83	5.98	6.97	8.02	8.52	9.03	9.75	10.48	11.47	12.43	13.53	15.05	17.08	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	9.8	9.6	9.5	9.0	7.1	5.4	3.2	2.4	2.2	2.1	2.0	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0.2	0.4	0.5	1.0	2.9	4.6	6.8	7.6	7.8	7.9	8.0	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.00														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.40														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.60														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	37														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	9.8	9.6	9.0	6.4	4.2	2.8	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	1.0	3.6	5.8	7.2	7.7	7.8	7.9	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 15. PIROLIZA OKLASKA KUKURUZA (FRAKCIJA 1.0 - 1.4 mm) PRI BRZINI ZAGREVANJA OD 37 °C/min - ISPITIVANJE 5

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 1.0 - 1.4 mm

MERENJE BR. 1

DATUM MERENJA: 22.01.2014.

VREME MERENJA (h): 12:00 - 12:40

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.2

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 7.8

MASA KOKSA (g): 2.2

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	19.3	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.80	6.05	6.93	7.77	8.33	9.00	9.67	10.43	11.35	12.43	13.60	15.15	17.10	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	9.9	9.8	9.2	8.5	7.1	5.3	3.3	2.7	2.4	2.3	2.2	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0.1	0.2	0.8	1.5	2.9	4.7	6.7	7.3	7.6	7.7	7.8	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.20														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.05														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.75														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	37														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.8	8.5	6.6	4.0	2.9	2.6	2.4	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	1.5	3.4	6.0	7.1	7.4	7.6	7.7	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 15. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 1.0 – 1.4 mm
 MERENJE BR. 2
 DATUM MERENJA: 22.01.2014.
 VREME MERENJA (h): 19:53 - 20:33

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.1

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 7.9
 MASA KOKSA (g): 2.1

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	19.6	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.75	5.98	7.03	7.83	8.37	9.08	9.77	10.52	11.50	12.53	13.48	15.03	16.97	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	9.9	9.8	9.2	8.6	7.0	5.4	3.2	2.6	2.4	2.2	2.1	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0.1	0.2	0.8	1.4	3.0	4.6	6.8	7.4	7.6	7.8	7.9	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.10														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.39														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.51														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	37														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.7	8.6	6.5	4.1	2.8	2.5	2.3	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	1.4	3.5	5.9	7.2	7.5	7.7	7.8	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 16. PIROLIZA OKLASKA KUKURUZA U KOMADU PRI BRZINI ZAGREVANJA OD 37 °C/min - ISPITIVANJE 6

UZORAK: Oklasak kukuruza u komadu, dužine 53 mm i prečnika 26 mm

MERENJE BR. 1

DATUM MERENJA: 11.02.2014.

VREME MERENJA (h): 10:24 - 11:04

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.2

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 7.8

MASA KOKSA (g): 2.2

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	20.2	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.63	5.90	6.55	7.20	7.73	8.45	9.13	9.80	10.72	11.60	12.98	14.70	16.78	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	9.9	9.8	9.7	9.6	9.4	8.9	7.8	5.8	2.5	2.3	2.2	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	1.1	2.2	4.2	7.5	7.7	7.8	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.20														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.45														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.35														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	37														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.7	9.6	8.9	7.7	4.0	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.4	1.1	2.3	6.0	7.5	7.6	7.7	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 16. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza u komadu, dužine 51 mm i prečnika 29 mm

MERENJE BR. 2

DATUM MERENJA: 11.02.2014.

VREME MERENJA (h): 20:46 - 21:26

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.2

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 7.8

MASA KOKSA (g): 2.2

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	20.9	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.53	5.92	6.48	7.25	7.82	8.53	9.18	9.87	10.78	11.67	13.05	14.78	16.97	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	9.9	9.8	9.7	9.6	9.0	8.4	5.4	2.6	2.3	2.2	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0.1	0.2	0.3	0.4	1.0	1.6	4.6	7.4	7.7	7.8	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.20														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.38														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.42														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	37														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																											
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	9.9	9.8	9.6	9.0	7.8	3.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.4	1.0	2.2	6.2	7.4	7.6	7.7	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 17. PIROLIZA OKLASKA KUKURUZA (FRAKCIJA 0.25 - 0.35 mm) PRI BRZINI ZAGREVANJA OD 60 °C/min - ISPITIVANJE 1

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.25 - 0.35 mm

MERENJE BR. 1

DATUM MERENJA: 05.02.2014.

VREME MERENJA (h): 10:16 - 10:56

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.9

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 8.1

MASA KOKSA (g): 1.9

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	17.7	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.07	4.90	5.47	5.92	6.32	6.72	7.07	7.45	7.90	8.50	9.05	9.72	10.53	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	9.9	9.9	9.8	9.7	9.3	8.9	8.0	6.3	3.6	2.4	2.2	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.7	1.1	2.0	3.7	6.4	7.6	7.8	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	1.90														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.42														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.68														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	60														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																											
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	9.9	9.6	8.0	3.6	2.3	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9		
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	2.0	6.4	7.7	7.9	8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 17. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.25 - 0.35 mm
 MERENJE BR. 2
 DATUM MERENJA: 05.02.2014.
 VREME MERENJA (h): 19:46 - 20:26

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.8

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.2
 MASA KOKSA (g): 1.8

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	18.5	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	3.98	5.02	5.52	6.05	6.42	6.82	7.18	7.53	8.03	8.55	9.17	9.85	10.62	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	9.9	9.7	9.6	9.3	9.0	8.1	6.1	3.0	2.4	2.1	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0.1	0.3	0.4	0.7	1.0	1.9	3.9	7.0	7.6	7.9	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	1.80														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.38														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.82														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	60														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																												
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40			
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	9.9	9.6	8.1	3.5	2.3	2.0	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8		
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	1.9	6.5	7.7	8.0	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 18. PIROLIZA OKLASKA KUKURUZA (FRAKCIJA 0.35 - 0.50 mm) PRI BRZINI ZAGREVANJA OD 60 °C/min - ISPITIVANJE 2

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.35 - 0.50 mm

MERENJE BR. 1

DATUM MERENJA: 01.02.2014.

VREME MERENJA (h): 10:11 - 10:51

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.9

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 8.1

MASA KOKSA (g): 1.9

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	16.9	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.08	4.98	5.48	5.97	6.52	6.88	7.25	7.60	7.95	8.47	9.18	9.87	10.43	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	9.9	9.8	9.6	9.4	9.2	8.1	5.8	3.0	2.5	2.1	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.9	4.2	7.0	7.5	7.9	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	1.90														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.32														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.78														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	60														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																											
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	9.9	9.6	8.1	3.4	2.4	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9		
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	1.9	6.6	7.6	7.9	8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 18. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.35 - 0.50 mm
 MERENJE BR. 2
 DATUM MERENJA: 01.02.2014.
 VREME MERENJA (h): 20:33 - 21:13

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.9

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.1
 MASA KOKSA (g): 1.9

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	18.1	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.12	5.13	5.53	6.02	6.48	6.92	7.23	7.62	7.97	8.53	9.20	9.97	10.70	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	9.8	9.6	9.3	8.9	8.0	5.5	3.0	2.4	2.2	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.7	1.1	2.0	4.5	7.0	7.6	7.8	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	1.90														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.57														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.53														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	60														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	9.5	8.0	3.3	2.4	2.2	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0.5	2.0	6.7	7.6	7.8	8.0	8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 19. PIROLIZA OKLASKA KUKURUZA (FRAKCIJA 0.50 - 0.71 mm) PRI BRZINI ZAGREVANJA OD 60 °C/min - ISPITIVANJE 3

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.50 - 0.71 mm

MERENJE BR. 1

DATUM MERENJA: 29.01.2014.

VREME MERENJA (h): 11:04 - 11:44

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.0

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 8.0

MASA KOKSA (g): 2.0

Naziv veličina	Jedinica																
Masa uzorka	g	10															
Temperatura u reaktoru	°C	15.9	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650		
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.58	5.27	5.75	6.02	6.27	6.62	6.92	7.33	7.92	8.27	8.97	9.48	10.48		
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	9.9	9.8	9.8	9.3	8.3	7.0	3.8	2.8	2.3		
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2	0.7	1.7	3.0	6.2	7.2	7.7		
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.00															
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.41															
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.59															
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	60															

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	10	9.8	8.2	3.8	2.4	2.2	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0	0.2	1.8	6.2	7.6	7.8	7.9	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 19. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.50 - 0.71 mm
 MERENJE BR. 2
 DATUM MERENJA: 29.01.2014.
 VREME MERENJA (h): 20:31 - 21:11

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.0

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.0
 MASA KOKSA (g): 2.0

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	16.9	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.48	5.17	5.68	6.03	6.30	6.58	6.85	7.30	7.85	8.15	9.02	9.53	10.55	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	9.9	9.9	9.8	9.7	9.6	9.3	8.1	7.5	3.7	2.6	2.2	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.7	1.9	2.5	6.3	7.4	7.8	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.00														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.46														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.54														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	60														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																											
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	9.9	9.6	8.0	3.7	2.3	2.2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	2.0	6.4	7.7	7.8	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

PRILOG 20. PIROLIZA OKLASKA KUKURUZA (FRAKCIJA 0.71 - 1.0 mm) PRI BRZINI ZAGREVANJA OD 60 °C/min - ISPITIVANJE 4

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.71 - 1.0 mm
 MERENJE BR. 1
 DATUM MERENJA: 27.01.2014.
 VREME MERENJA (h): 10:16 - 10:56

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.0

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.0
 MASA KOKSA (g): 2.0

Naziv veličina	Jedinica																
Masa uzorka	g	10															
Temperatura u reaktoru	°C	16.3	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650		
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.70	5.23	5.68	5.88	6.08	6.48	6.83	7.25	7.70	8.20	8.87	9.55	10.40		
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	9.9	9.8	9.7	9.3	8.9	8.3	7.1	5.6	3.6	2.5	2.1		
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0.1	0.2	0.3	0.7	1.1	1.7	2.9	4.4	6.4	7.5	7.9		
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.00															
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.41															
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.59															
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	60															

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	9.8	8.8	6.8	3.5	2.3	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0.2	1.2	3.2	6.5	7.7	7.9	7.9	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

PRILOG 20. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 0.71 - 1.0 mm
 MERENJE BR. 2
 DATUM MERENJA: 27.01.2014.
 VREME MERENJA (h): 20:05 - 20:45

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.1

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 7.9
 MASA KOKSA (g): 2.1

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	17.5	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.65	5.27	5.82	6.07	6.34	6.65	6.92	7.32	7.77	8.28	9.02	9.68	10.37	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	9.9	9.9	9.8	9.7	9.2	8.9	7.8	6.0	3.6	2.6	2.3	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.8	1.1	2.2	4.0	6.4	7.4	7.7	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.10														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.39														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.51														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	60														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																											
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	9.9	9.2	7.2	3.6	2.5	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0.1	0.8	2.8	6.4	7.5	7.8	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

PRILOG 21. PIROLIZA OKLASKA KUKURUZA (FRAKCIJA 1.0 - 1.4 mm) PRI BRZINI ZAGREVANJA OD 60 °C/min - ISPITIVANJE 5

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 1.0 - 1.4 mm

MERENJE BR. 1

DATUM MERENJA: 21.01.2014.

VREME MERENJA (h): 10:21 - 11:01

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.2

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 7.8

MASA KOKSA (g): 2.2

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	19.3	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.07	4.97	5.52	5.97	6.35	6.77	7.20	7.63	8.03	8.63	9.43	10.12	10.85	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	9.9	9.8	9.5	9.3	9.0	8.4	7.2	5.7	3.8	2.6	2.2	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0.1	0.2	0.5	0.7	1.0	1.6	2.8	4.3	6.2	7.4	7.8	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.20														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.54														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.26														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	60														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	9.8	9.2	7.5	5.0	2.8	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0.2	0.8	2.5	5.0	7.2	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 21. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza, frakcija 1.0 - 1.4 mm
 MERENJE BR. 2
 DATUM MERENJA: 21.01.2014.
 VREME MERENJA (h): 19:25 - 20:05

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.3

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 7.7
 MASA KOKSA (g): 2.3

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	19.9	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.05	5.02	5.65	6.17	6.52	6.83	7.25	7.72	8.12	8.70	9.63	10.25	11.03	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	9.9	9.8	9.8	9.6	9.4	9.0	8.3	6.6	3.9	2.7	2.4	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0.1	0.2	0.2	0.4	0.6	1.0	1.7	3.4	6.1	7.3	7.6	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.30														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.27														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.43														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	60														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	9.9	9.6	8.9	6.5	3.0	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	1.1	3.5	7.0	7.6	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

PRILOG 22. PIROLIZA OKLASKA KUKURUZA U KOMADU PRI BRZINI ZAGREVANJA OD 60 °C/min - ISPITIVANJE 6

UZORAK: Oklasak kukuruza u komadu, dužine 52 mm i prečnika 28 mm

MERENJE BR. 1

DATUM MERENJA: 10.02.2014.

VREME MERENJA (h): 11:41 - 12:21

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.3

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 7.7

MASA KOKSA (g): 2.3

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	18.9	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.05	4.92	5.47	5.97	6.45	6.82	7.17	7.67	8.25	8.67	9.30	10.17	11.10	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	9.9	9.8	9.5	9.0	8.4	7.5	6.3	5.6	3.0	2.4	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0.1	0.2	0.5	1.0	1.6	2.5	3.7	4.4	7.0	7.6	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.30														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.47														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.23														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	60														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																										
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	9.9	9.2	8.3	6.1	4.0	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0.1	0.8	1.7	3.9	6.0	7.6	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

PRILOG 22. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza u komadu, dužine 51 mm i prečnika 27 mm

MERENJE BR. 2

DATUM MERENJA: 10.02.2014.

VREME MERENJA (h): 20:52 - 21:32

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 640.3

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 7.7

MASA KOKSA (g): 2.3

Naziv veličina	Jedinica															
Masa uzorka	g	10														
Temperatura u reaktoru	°C	19.3	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	4.17	4.87	5.37	5.85	6.35	6.70	7.02	7.53	8.13	8.48	9.13	9.70	10.55	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	9.9	9.7	9.5	9.3	8.5	8.1	6.9	5.7	4.0	2.5	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0.1	0.3	0.5	0.7	1.5	1.9	3.1	4.3	6.0	7.5	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa pirolize	g	2.30														
Masa tečne faze na kraju procesa pirolize	g	2.61														
Masa suvog pirolitičkog gasa na kraju procesa pirolize	g	5.09														
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru	°C/min	60														

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

Naziv veličina	Jedinica																																											
Vreme odvijanja procesa pirolize	min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)	g	10	10	10	10	10	10	9.9	9.3	8.1	5.9	3.8	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	
Prinos pirolitičkog gasa ^a	g	0	0	0	0	0	0	0.1	0.7	1.9	4.1	6.2	7.6	7.6	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 23. GASIFIKACIJA OKLASKA KUKURUZA - ISPITIVANJE 1

UZORAK: Oklasak kukuruza u komadu, dužine 59 mm i prečnika 21 mm

MERENJE BR. 1

DATUM MERENJA: 12.08.2013.

VREME MERENJA (h): 11:02 - 11:17

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.8

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 8.2

MASA KOKSA (g): 1.8

PROTOK VAZDUHA: 0.1 m³/h

Naziv veličina		Jedinica										
Masa uzorka		g	10									
Temperatura u reaktoru		°C	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa gasifikacije		min	0	4.48	6.06	7.23	8.31	9.40	10.66	11.90	13.13	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)		g	10	3.7	2.5	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.8	
Prinos gasa ^a		g	0	6.3	7.5	7.6	7.8	8.0	8.1	8.2	8.2	
Zapreminski udeo gasova u reaktoru	CO	%	-	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	-	2.32	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	-	10.80	12.90	14.50	15.40	16.20	15.50	13.10	10.60	
	O ₂	%	-	6.2	5.8	6.0	6.2	6.0	6.1	6.1	6.0	
	CH ₄	%	-	5.0	3.0	2.5	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa gasifikacije		g	1.8									
Masa gasa na kraju procesa gasifikacije		g	8.2									
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru		°C/min	30.0									

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 23. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza u komadu, dužine 57 mm i prečnika 22 mm

MERENJE BR. 2

DATUM MERENJA: 12.08.2013.

VREME MERENJA (h): 21:07 - 21:22

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.7

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 8.3

MASA KOKSA (g): 1.7

PROTOK VAZDUHA: 0.1 m³/h

Naziv veličina		Jedinica										
Masa uzorka		g	10									
Temperatura u reaktoru		°C	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa gasifikacije		min	0	4.51	5.98	7.23	8.55	9.40	10.56	11.75	13.10	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)		g	10	3.7	2.5	2.3	2.2	2.0	1.9	1.7	1.7	
Prinos gasa ^a		g	0	6.3	7.5	7.7	7.9	8.1	8.2	8.3	8.3	
Zapreminski udeo gasova u reaktoru	CO	%	-	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	-	2.71	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	-	10.90	12.50	14.10	15.30	16.00	15.40	13.10	10.50	
	O ₂	%	-	6.1	5.9	6.1	6.1	6.2	6.1	6	6.1	
	CH ₄	%	-	4.5	3.0	2.0	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa gasifikacije		g	1.7									
Masa gasa na kraju procesa gasifikacije		g	8.3									
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru		°C/min	30.0									

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 24. GASIFIKACIJA OKLASKA KUKURUZA - ISPITIVANJE 2

UZORAK: Oklasak kukuruza u komadu, dužine 60 mm i prečnika 19 mm

MERENJE BR. 1

DATUM MERENJA: 13.08.2013.

VREME MERENJA (h): 11:12 - 11:27

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.5

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 8.5

MASA KOKSA (g): 1.5

PROTOK VAZDUHA: 0.3 m³/h

Naziv veličina		Jedinica									
Masa uzorka		g	10								
Temperatura u reaktoru		°C	250	300	350	400	450	500	550	600	650
Vreme odvijanja procesa gasifikacije		min	0	4.20	5.85	7.08	7.95	9.08	10.41	11.56	12.81
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)		g	10	3.6	2.4	2.2	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5
Prinos gasa ^a		g	0	6.4	7.6	7.8	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5
Zapreminski udeo gasova u reaktoru	CO	%	-	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05
	H ₂	%	-	1.86	2.34	3.68	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00
	CO ₂	%	-	14.40	16.20	17.10	17.50	17.40	16.10	13.40	10.30
	O ₂	%	-	12.3	12.1	12.1	12.2	12.1	12.2	12.1	12
	CH ₄	%	-	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5	0	0	0
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa gasifikacije		g	1.5								
Masa gasa na kraju procesa gasifikacije		g	8.5								
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru		°C/min	31.0								

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 24. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza u komadu, dužine 57 mm i prečnika 23 mm
 MERENJE BR. 2
 DATUM MERENJA: 13.08.2013.
 VREME MERENJA (h): 19:07 - 19:22

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638
 MASA PUNOG SUDA (g): 648
 MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.6

MASA UZORKA (g): 10
 MASA VOLATILA (g): 8.4
 MASA KOKSA (g): 1.6

PROTOK VAZDUHA: 0.3 m³/h

Naziv veličina		Jedinica										
Masa uzorka		g	10									
Temperatura u reaktoru		°C	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
Vreme odvijanja procesa gasifikacije		min	0	4.25	5.95	7.17	8.28	9.42	10.83	11.92	13.05	
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)		g	10	3.5	2.4	2.3	2.1	2.0	1.8	1.7	1.6	
Prinos gasa ^a		g	0	6.5	7.6	7.7	7.9	8.0	8.2	8.3	8.4	
Zapreminski udeo gasova u reaktoru	CO	%	-	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	
	H ₂	%	-	1.66	2.52	3.79	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	>4.00	
	CO ₂	%	-	14.80	16.30	17.00	17.60	17.30	15.90	14.0	10.40	
	O ₂	%	-	12.2	11.8	12.2	12.3	11.9	12	11.9	12.1	
	CH ₄	%	-	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0	0	0	
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa gasifikacije		g	1.6									
Masa gasa na kraju procesa gasifikacije		g	8.4									
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru		°C/min	31.0									

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gasa}} = m_0 - m$

PRILOG 25. GASIFIKACIJA OKLASKA KUKURUZA - ISPITIVANJE 3

UZORAK: Oklasak kukuruza u komadu, dužine 58 mm i prečnika 22 mm

MERENJE BR. 1

DATUM MERENJA: 14.08.2013.

VREME MERENJA (h): 11:13 - 11:28

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.1

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 8.9

MASA KOKSA (g): 1.1

PROTOK VAZDUHA: 0.6 m³/h

Naziv veličina		Jedinica									
Masa uzorka		g	10								
Temperatura u reaktoru		°C	250	300	350	400	450	500	550	600	650
Vreme odvijanja procesa gasifikacije		min	0	4.00	5.53	6.48	8.30	9.77	10.73	12.01	12.92
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)		g	10	3.5	2.3	2.0	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1
Prinos gasa ^a		g	0	6.5	7.7	8.0	8.4	8.6	8.7	8.8	8.9
Zapreminski udeo gasova u reaktoru	CO	%	-	0.03	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05
	H ₂	%	-	1.22	1.59	2.36	2.72	3.12	3.76	>4.00	>4.00
	CO ₂	%	-	17.50	18.00	18.40	18.80	18.10	16.10	14.30	10.30
	O ₂	%	-	18.1	17.8	17.9	18.1	17.8	18.2	18.1	18.10
	CH ₄	%	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa gasifikacije		g	1.1								
Masa gasa na kraju procesa gasifikacije		g	8.9								
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru		°C/min	31.0								

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$

PRILOG 25. - nastavak

UZORAK: Oklasak kukuruza u komadu, dužine 56 mm i prečnika 24 mm

MERENJE BR. 2

DATUM MERENJA: 14.08.2013.

VREME MERENJA (h): 20:05 - 20:20

MASA PRAZNOG SUDA (g): 638

MASA PUNOG SUDA (g): 648

MASA SUDA SA KOKSOM (g): 639.2

MASA UZORKA (g): 10

MASA VOLATILA (g): 8.8

MASA KOKSA (g): 1.2

PROTOK VAZDUHA: 0.6 m³/h

Naziv veličina		Jedinica									
Masa uzorka		g	10								
Temperatura u reaktoru		°C	250	300	350	400	450	500	550	600	650
Vreme odvijanja procesa gasifikacije		min	0	4.00	5.50	6.48	8.38	9.77	10.53	11.89	12.92
Promena mase uzorka (čvrstog ostatka)		g	10	3.4	2.2	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2
Prinos gasa ^a		g	0	6.6	7.8	8.2	8.3	8.5	8.6	8.7	8.8
Zapreminski udeo gasova u reaktoru	CO	%	-	0.03	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05
	H ₂	%	-	1.29	1.63	2.44	2.71	3.19	3.8	>4.00	>4.00
	CO ₂	%	-	17.60	17.90	18.20	18.50	17.90	16.00	14.20	10.20
	O ₂	%	-	17.8	17.7	18.1	18.1	17.9	18.1	18.1	18.00
	CH ₄	%	-	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0
Masa čvrstog ostatka na kraju procesa gasifikacije		g	1.2								
Masa gasa na kraju procesa gasifikacije		g	8.8								
Prosečna brzina zagrevanja u reaktoru		°C/min	31.0								

^a Vrednosti određene iz izraza: $m_{\text{gas}} = m_0 - m$


```
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+l);
b1=p*Kp_1*Kp_2*Kp_3*(1.0+l);
c1=-Kp_2*Kp_3*(1.0+l);
d1=p*Kp_2;
e1=-Kp_2*Kp_3*(1.0+l);
f1=-Kp_2*Kp_3;
g1=Kp_2*Kp_3*(1.0+l);
h1=Kp_2*Kp_3;
i1=Kp_2*Kp_3*(2.0+l);
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);
```

```
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);
```

```
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 27. Izvorni kod

```
/*
PRORAČUN HOMOGENOG SASTAVA GASOVITE FAZE PRI GASIFIKACIJI OKLASKA KUKURUZA URAĐEN NA OSNOVU ODNOSA KOLIČINA ULAZNIH MATERIJA
SA DODAVANJEM VAZDUHA (PRORAČUN URAĐEN U PROGRAMSKOM JEZIKU C)*/

#define EPS 0.0000000001
#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,VVAZDUHA,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,VVAZDUHA,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",&C,&H,&O,&N,&S,&W,&A,&VVAZDUHA,&VREME,&MUZORKA,&t,&p,&yCO_0,&yH2_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\nyCO_0=
%.4E\nyH2_0= %.4E\n",C,H,O,N,S,W,A,VVAZDUHA,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*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("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 28. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.1 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 300 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:	a1= 2.6136E+005	RAZLIKA3= 1.9301E-002
<u>SASTAV OKLASKA</u>	b1= 5.3576E+000	RAZLIKA1= 4.1547E-006
<u>KUKURUZA:</u>	c1= -9.4240E-002	RAZLIKA2= 2.6631E-003
C= 4.6740E-001 kg _C /kg _{goriva}	d1= 3.7001E+003	RAZLIKA3= 1.4177E-002
H= 5.4600E-002 kg _H /kg _{goriva}	e1= -9.4240E-002	RAZLIKA1= 4.5516E-007
O= 3.4160E-001 kg _O /kg _{goriva}	f1= -5.5045E-002	RAZLIKA2= 2.3558E-005
N= 3.8300E-002 kg _N /kg _{goriva}	g1= 9.4240E-002	RAZLIKA3= 3.6183E-004
S= 1.2000E-003 kg _S /kg _{goriva}	h1= 5.5045E-002	RAZLIKA1= 3.5524E-010
W= 8.5500E-002 kg _W /kg _{goriva}	i1= 1.4929E-001	RAZLIKA2= 9.2115E-008
A= 1.1400E-002 kg _A /kg _{goriva}	k1= -5.5045E-002	RAZLIKA3= 2.6707E-007
		RAZLIKA1= 5.8636E-016
		RAZLIKA2= 8.4131E-014
		RAZLIKA3= 1.1320E-012
<u>PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:</u>	a2= -2.8765E+005	FUN1= -4.8017E-014
□	b2= 6.2587E+000	FUN2= 2.4410E-013
V _{vazduha} = 1.0000E-001 m ³ /h	c2= -1.1009E-001	FUN3= 1.2284E-013
	d2= -7.1861E+003	FUN1_1= 1.4576E+002
	e2= -3.1851E-003	FUN1_2= 7.7435E-001
<u>VREME:</u>	g2= 3.1851E-003	FUN1_3= 9.0627E-002
τ = 7.4700E-002 h	i2= 1.1009E-001	FUN2_1= -2.1973E+002
		FUN2_2= -7.9405E-001
<u>MASA UZORKA:</u>	a3= 1.5266E+005	FUN2_3= 4.2808E-002
m _{uzorka} = 1.0000E-002 kg	b3= -4.4768E+000	FUN3_1= -4.1840E+001
	c3= -5.5045E-002	FUN3_2= -8.6347E-001
<u>TEMPERATURA:</u>	d3= -4.4967E+003	FUN3_3= 2.2672E-002
t = 3.0000E+002 °C	e3= -5.5045E-002	DELTA= 1.9418E+001
	f3= 6.6896E-002	DELTA1= 1.1386E-014
<u>PRITISAK:</u>	g3= 5.5045E-002	DELTA2= 1.6336E-012
p = 1.0130E+005 Pa	h3= -6.6896E-002	DELTA3= -2.1982E-011
	i3= 5.5045E-002	H1= 5.8636E-016
<u>PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:</u>	RAZLIKA1= 5.0000E-002	K1= 8.4130E-014
x _{CO_0} = 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA2= 4.9969E-002	L1= -1.1320E-012
x _{H2_0} = 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA3= 1.7353E-001	
x _{C_0} = 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA1= 2.5000E-002	
	RAZLIKA2= 2.4955E-002	
M1= -2.6311E+000	RAZLIKA3= 5.2331E-002	
M2= -1.4374E+000	RAZLIKA1= 1.2500E-002	
M3= 1.7812E-001	RAZLIKA2= 1.2416E-002	
	RAZLIKA3= 1.4511E-002	
Kp_1= 5.6121E-004	RAZLIKA1= 6.2497E-003	
Kp_2= 3.6526E-002	RAZLIKA2= 6.0836E-003	
Kp_3= 1.5070E+000	RAZLIKA3= 6.1920E-003	
	RAZLIKA1= 3.1245E-003	
SUMAC= 3.8950E-002	RAZLIKA2= 2.7934E-003	
SUMAO2= 2.0055E-002	RAZLIKA3= 2.9259E-003	
SUMAH2= 3.2050E-002	RAZLIKA1= 1.5614E-003	
SUMAN2= 2.7734E-002	RAZLIKA2= 9.0182E-004	
	RAZLIKA3= 1.1195E-003	
Kp_1= 5.6121E-004	RAZLIKA1= 7.7907E-004	
Kp_2= 3.6526E-002	RAZLIKA2= 5.2945E-004	
Kp_3= 1.5070E+000	RAZLIKA3= 3.1224E-004	
	RAZLIKA1= 3.8590E-004	
L= 1.9421E+000	RAZLIKA2= 2.1677E-003	
M= 1.2153E+000	RAZLIKA3= 2.5897E-003	
I= 7.1204E-001	RAZLIKA1= 1.8394E-004	
	RAZLIKA2= 4.4930E-003	
	RAZLIKA3= 8.2865E-003	
	RAZLIKA1= 6.8279E-005	
	RAZLIKA2= 6.3605E-003	
		RAVNOTEŽNI SASTAV (HETEROGENA FAZA):
		x _{CO_1} = 1.4372E-004
		x _{H2_1} = 1.9071E-002
		x _{C_1} = 3.0558E-001
		x _{CO2_1} = 8.2490E-002
		x _{CH4_1} = 2.9777E-002
		x _{H2O_1} = 2.6532E-001
		x _{N2_1} = 2.9762E-001
		RAVNOTEŽNI SASTAV (HOMOGENA FAZA):
		y _{CO_1} = 2.0696E-004
		y _{H2_1} = 2.7464E-002
		y _{CO2_1} = 1.1879E-001
		y _{CH4_1} = 4.2880E-002
		y _{H2O_1} = 3.8207E-001
		y _{N2_1} = 4.2859E-001

PRILOG 29. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.1 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 350 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:	a1= 2.7734E+006	RAZLIKA3= 7.0730E-005
<u>SASTAV OKLASKA</u>	b1= 2.4993E+002	RAZLIKA1= 5.9485E-011
<u>KUKURUZA:</u>	c1= -1.8519E+001	RAZLIKA2= 5.3927E-009
C= 4.6740E-001 kgC/kg _{goriva}	d1= 6.8523E+004	RAZLIKA3= 6.4182E-009
H= 5.4600E-002 kgH/kg _{goriva}	e1= -1.8519E+001	RAZLIKA1= 1.9516E-018
O= 3.4160E-001kg/kg _{goriva}	f1= -9.4953E+000	RAZLIKA2= 2.1511E-016
N= 3.8300E-002 kgN/kg _{goriva}	g1= 1.8519E+001	RAZLIKA3= 1.2212E-015
S= 1.2000E-003 kgs/kg _{goriva}	h1= 9.4953E+000	
W= 8.5500E-002 kgW/kg _{goriva}	i1= 2.8015E+001	FUN1= -5.3291E-015
A= 1.1400E-002 kgA/kg _{goriva}	k1= -9.4953E+000	FUN2= 3.9080E-014
		FUN3= 2.4869E-014
<u>PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:</u>	a2= -2.0745E+006	FUN1_1= 6.2723E+003
□	b2= 2.5629E+002	FUN1_2= 7.2586E+001
V _{vazduha} = 1.0000E-001 m ³ /h	c2= -1.8991E+001	FUN1_3= 1.8283E+001
	d2= -1.1851E+005	FUN2_1= -6.9717E+003
<u>VREME:</u>	e2= -2.5690E+000	FUN2_2= -6.6343E+001
τ = 1.0100E-001 h	g2= 2.5690E+000	FUN2_3= 9.3544E+000
	i2= 1.8991E+001	FUN3_1= -8.1989E+002
<u>MASA UZORKA:</u>	a3= 1.4220E+006	FUN3_2= -8.0005E+001
m _{uzorka} = 1.0000E-002 kg	b3= -1.8332E+002	FUN3_3= 5.0647E+000
	c3= -9.4953E+000	DELTA= 1.3796E+007
<u>TEMPERATURA:</u>	d3= -8.3276E+004	DELTA1= 2.6676E-011
t = 3.5000E+002 °C	e3= -9.4953E+000	DELTA2= 2.9490E-009
	f3= 1.1540E+001	DELTA3= -1.6839E-008
<u>PRITISAK:</u>	g3= 9.4953E+000	H1= 1.9336E-018
p = 1.0130E+005 Pa	h3= -1.1540E+001	K1= 2.1376E-016
	i3= 9.4953E+000	L1= -1.2206E-015
<u>PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:</u>	RAZLIKA1= 4.9998E-002	RAVNOTEŽNI SASTAV (HETEROGENA FAZA):
xCO_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA2= 4.9732E-002	xCO_1= 7.0724E-004
xH2_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA3= 1.3421E-001	xH2_1= 3.4084E-002
xC_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA1= 2.4998E-002	xC_1= 2.5366E-001
	RAZLIKA2= 2.4591E-002	xCO2_1= 1.0037E-001
M1= -3.2556E+000	RAZLIKA3= 3.8737E-002	xCH4_1= 2.1006E-002
M2= -1.6977E-001	RAZLIKA1= 1.2496E-002	xH2O_1= 2.3308E-001
M3= 1.1473E+000	RAZLIKA2= 1.1730E-002	xN2_1= 3.5709E-001
	RAZLIKA3= 1.2758E-002	
Kp_1= 1.3322E-004	RAZLIKA1= 6.2420E-003	RAVNOTEŽNI SASTAV (HOMOGENA FAZA):
Kp_2= 6.7644E-001	RAZLIKA2= 4.7412E-003	yCO_1= 9.4762E-004
Kp_3= 1.4037E+001	RAZLIKA3= 5.3503E-003	yH2_1= 4.5668E-002
	RAZLIKA1= 3.1085E-003	yCO2_1= 1.3448E-001
SUMAC= 3.8950E-002	RAZLIKA2= 1.6958E-004	yCH4_1= 2.8146E-002
SUMAO2= 2.2522E-002	RAZLIKA3= 1.1198E-003	yH2O_1= 3.1230E-001
SUMAH2= 3.2050E-002	RAZLIKA1= 1.5267E-003	yN2_1= 4.7846E-001
SUMAN2= 3.7017E-002	RAZLIKA2= 4.0556E-003	
	RAZLIKA3= 3.2112E-003	
Kp_1= 1.3322E-004	RAZLIKA1= 6.9877E-004	
Kp_2= 6.7644E-001	RAZLIKA2= 8.7345E-003	
Kp_3= 1.4037E+001	RAZLIKA3= 1.0458E-002	
	RAZLIKA1= 2.1688E-004	
L= 1.7295E+000	RAZLIKA2= 9.8531E-003	
M= 1.2153E+000	RAZLIKA3= 1.7718E-002	
I= 9.5037E-001	RAZLIKA1= 8.1572E-006	
	RAZLIKA2= 2.4132E-003	
	RAZLIKA3= 7.0546E-003	
	RAZLIKA1= 3.7841E-007	
	RAZLIKA2= 8.4064E-006	

PRILOG 30. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.1 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 400 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:	a1= 2.0549E+007	RAZLIKA3= 8.6042E-016
<u>SASTAV OKLASKA</u>	b1= 6.4847E+003	
<u>KUKURUZA:</u>	c1= -1.6436E+003	FUN1= 5.3433E-012
C= 4.6740E-001 kg _C /kg _{goriva}	d1= 8.2075E+005	FUN2= -6.3665E-012
H= 5.4600E-002 kg _H /kg _{goriva}	e1= -1.6436E+003	FUN3= -5.2012E-012
O= 3.4160E-001 kg _O /kg _{goriva}	f1= -7.7269E+002	FUN1_1= 1.5758E+005
N= 3.8300E-002 kg _N /kg _{goriva}	g1= 1.6436E+003	FUN1_2= 3.5389E+003
S= 1.2000E-003 kg _S /kg _{goriva}	h1= 7.7269E+002	FUN1_3= 1.6620E+003
W= 8.5500E-002 kg _W /kg _{goriva}	i1= 2.4163E+003	FUN2_1= -1.3478E+005
A= 1.1400E-002 kg _A /kg _{goriva}	k1= -7.7269E+002	FUN2_2= -2.8732E+003
		FUN2_3= 8.7958E+002
<u>PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:</u>	a2= -1.1585E+007	FUN3_1= -2.2413E+003
□	b2= 6.0972E+003	FUN3_2= -3.9124E+003
V _{vazduha} = 1.0000E-001 m ³ /h	c2= -1.5454E+003	FUN3_3= 4.8993E+002
	d2= -1.3129E+006	DELTA= 1.4128E+012
<u>VREME:</u>	e2= -3.0941E+002	DELTA1= -2.2275E-005
τ = 1.2050E-001 h	g2= 3.0941E+002	DELTA2= -1.7130E-003
	i2= 1.5454E+003	DELTA3= 1.2173E-003
<u>MASA UZORKA:</u>	a3= 9.6608E+006	H1= -1.5766E-017
m _{uzorka} = 1.0000E-002 kg	b3= -4.3613E+003	K1= -1.2125E-015
	c3= -7.7269E+002	L1= 8.6165E-016
<u>TEMPERATURA:</u>	d3= -9.9745E+005	
t = 4.0000E+002 °C	e3= -7.7269E+002	RAVNOTEŽNI SASTAV (HETEROGENA FAZA):
	f3= 9.3904E+002	xCO_1= 2.7010E-003
<u>PRITISAK:</u>	g3= 7.7269E+002	xH2_1= 5.5176E-002
p = 1.0130E+005 Pa	h3= -9.3904E+002	xC_1= 2.1515E-001
	i3= 7.7269E+002	xCO2_1= 1.1622E-001
<u>PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:</u>	RAZLIKA1= 4.9976E-002	xCH4_1= 1.5304E-002
xCO_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA2= 4.8295E-002	xH2O_1= 2.0169E-001
xH2_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA3= 1.0567E-001	xN2_1= 3.9376E-001
xC_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA1= 2.4965E-002	
	RAZLIKA2= 2.2340E-002	RAVNOTEŽNI SASTAV (HOMOGENA FAZA):
M1= -3.7897E+000	RAZLIKA3= 3.0625E-002	yCO_1= 3.4414E-003
M2= 9.0860E-001	RAZLIKA1= 1.2434E-002	yH2_1= 7.0301E-002
M3= 1.9794E+000	RAZLIKA2= 7.5974E-003	yCO2_1= 1.4807E-001
	RAZLIKA3= 9.8553E-003	yCH4_1= 1.9499E-002
Kp_1= 3.8948E-005	RAZLIKA1= 6.1095E-003	yH2O_1= 2.5698E-001
Kp_2= 8.1022E+000	RAZLIKA2= 2.8068E-003	yN2_1= 5.0170E-001
Kp_3= 9.5368E+001	RAZLIKA3= 2.6681E-004	
	RAZLIKA1= 2.8098E-003	
SUMAC= 3.8950E-002	RAZLIKA2= 1.1792E-002	
SUMAO2= 2.4350E-002	RAZLIKA3= 8.9487E-003	
SUMAH2= 3.2050E-002	RAZLIKA1= 9.2828E-004	
SUMAN2= 4.3900E-002	RAZLIKA2= 1.4461E-002	
	RAZLIKA3= 1.5568E-002	
Kp_1= 3.8948E-005	RAZLIKA1= 7.7625E-005	
Kp_2= 8.1022E+000	RAZLIKA2= 4.3047E-003	
Kp_3= 9.5368E+001	RAZLIKA3= 6.5965E-003	
	RAZLIKA1= 1.1370E-006	
L= 1.5996E+000	RAZLIKA2= 4.4111E-005	
M= 1.2153E+000	RAZLIKA3= 1.5313E-004	
I= 1.1271E+000	RAZLIKA1= 2.8828E-010	
	RAZLIKA2= 1.4178E-008	
	RAZLIKA3= 2.9054E-008	
	RAZLIKA1= 1.5613E-017	
	RAZLIKA2= 1.2143E-015	

PRILOG 31. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.1 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 450 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:	a1= 1.1658E+008	FUN1_2= 1.0505E+005
<u>SASTAV OKLASKA</u>	b1= 1.0748E+005	FUN1_3= 8.1960E+004
<u>KUKURUZA:</u>	c1= -7.9026E+004	FUN2_1= -1.6841E+006
C= 4.6740E-001 kg _C /kg _{goriva}	d1= 6.9558E+006	FUN2_2= -7.3791E+004
H= 5.4600E-002 kg _H /kg _{goriva}	e1= -7.9026E+004	FUN2_3= 4.4303E+004
O= 3.4160E-001 kg _O /kg _{goriva}	f1= -3.4506E+004	FUN3_1= 2.1882E+005
N= 3.8300E-002 kg _N /kg _{goriva}	g1= 7.9026E+004	FUN3_2= -1.1746E+005
S= 1.2000E-003 kg _S /kg _{goriva}	h1= 3.4506E+004	FUN3_3= 2.5300E+004
W= 8.5500E-002 kg _W /kg _{goriva}	i1= 1.1353E+005	DELTA= 3.1758E+016
A= 1.1400E-002 kg _A /kg _{goriva}	k1= -3.4506E+004	DELTA1= -1.0555E+003
		DELTA2= 6.2994E+002
		DELTA3= 1.1466E+004
		H1= -3.3235E-014
		K1= 1.9836E-014
		L1= 3.6103E-013
<u>PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:</u>	a2= -5.0486E+007	RAVNOTEŽNI SASTAV (HETEROGENA FAZA):
□	b2= 9.3860E+004	xCO_1= 8.5413E-003
V _{vazduha} = 1.0000E-001 m ³ /h	c2= -6.9012E+004	xH2_1= 8.0340E-002
	d2= -1.0405E+007	xC_1= 1.7795E-001
	e2= -1.7395E+004	xCO2_1= 1.3092E-001
	g2= 1.7395E+004	xCH4_1= 1.0679E-002
	i2= 6.9012E+004	xH2O_1= 1.6827E-001
		xN2_1= 4.2330E-001
<u>VREME:</u>	a3= 5.0906E+007	RAVNOTEŽNI SASTAV (HOMOGENA FAZA):
τ = 1.3850E-001 h	b3= -6.7137E+004	yCO_1= 1.0390E-002
	c3= -3.4506E+004	yH2_1= 9.7731E-002
<u>MASA UZORKA:</u>	d3= -8.4533E+006	yCO2_1= 1.5926E-001
m _{uzorka} = 1.0000E-002 kg	e3= -3.4506E+004	yCH4_1= 1.2990E-002
	f3= 4.1935E+004	yH2O_1= 2.0470E-001
	g3= 3.4506E+004	yN2_1= 5.1493E-001
	h3= -4.1935E+004	
	i3= 3.4506E+004	
<u>TEMPERATURA:</u>	RAZLIKA1= 4.9749E-002	
t = 4.5000E+002 °C	RAZLIKA2= 4.1839E-002	
	RAZLIKA3= 7.7364E-002	
	RAZLIKA1= 2.4604E-002	
	RAZLIKA2= 1.2708E-002	
	RAZLIKA3= 2.0761E-002	
	RAZLIKA1= 1.1688E-002	
	RAZLIKA2= 7.0539E-003	
	RAZLIKA3= 2.9643E-004	
	RAZLIKA1= 4.5762E-003	
	RAZLIKA2= 1.7607E-002	
	RAZLIKA3= 1.1323E-002	
	RAZLIKA1= 8.2817E-004	
	RAZLIKA2= 9.6376E-003	
	RAZLIKA3= 8.4478E-003	
	RAZLIKA1= 1.3497E-005	
	RAZLIKA2= 5.8938E-004	
	RAZLIKA3= 7.0400E-004	
	RAZLIKA1= 2.3938E-008	
	RAZLIKA2= 7.4617E-008	
	RAZLIKA3= 5.8667E-007	
	RAZLIKA1= 3.3234E-014	
	RAZLIKA2= 1.9831E-014	
	RAZLIKA3= 3.6104E-013	
<u>PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:</u>	FUN1= 5.5246E-008	
xCO_0= 1.0000E-001 kg/kg	FUN2= -7.0500E-008	
xH2_0= 1.0000E-001 kg/kg	FUN3= 4.6839E-010	
xC_0= 1.0000E-001 kg/kg	FUN1_1= 2.6153E+006	
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= 3.8950E-002		
SUMAO2= 2.6038E-002		
SUMAH2= 3.2050E-002		
SUMAN2= 5.0253E-002		
Kp_1= 1.3426E-005		
Kp_2= 6.8666E+001		
Kp_3= 5.0252E+002		
L= 1.4959E+000		
M= 1.2153E+000		
I= 1.2902E+000		

PRILOG 32. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.1 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 500 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:	a1= 5.3499E+008	FUN2_2= -1.2273E+006
<u>SASTAV OKLASKA</u>	b1= 1.2444E+006	FUN2_3= 1.3601E+006
<u>KUKURUZA:</u>	c1= -2.3246E+006	FUN3_1= 5.0953E+006
C= 4.6740E-001 kg _C /kg _{goriva}	d1= 4.4588E+007	FUN3_2= -2.3962E+006
H= 5.4600E-002 kg _H /kg _{goriva}	e1= -2.3246E+006	FUN3_3= 7.8724E+005
O= 3.4160E-001 kg _O /kg _{goriva}	f1= -9.4683E+005	DELTA= 2.1078E+020
N= 3.8300E-002 kg _N /kg _{goriva}	g1= 2.3246E+006	DELTA1= 3.8648E+002
S= 1.2000E-003 kg _S /kg _{goriva}	h1= 9.4683E+005	DELTA2= -1.5331E+003
W= 8.5500E-002 kg _W /kg _{goriva}	i1= 3.2714E+006	DELTA3= 1.6209E+004
A= 1.1400E-002 kg _A /kg _{goriva}	k1= -9.4683E+005	H1= 1.8336E-018
		K1= -7.2735E-018
		L1= 7.6901E-017
<u>PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:</u>	a2= -1.7601E+008	RAVNOTEŽNI SASTAV (HETEROGENA FAZA):
□	b2= 1.0137E+006	xCO_1= 2.3056E-002
V _{vazduha} = 1.0000E-001 m ³ /h	c2= -1.8937E+006	xH2_1= 1.0647E-001
	d2= -6.2595E+007	xC_1= 1.3744E-001
<u>VREME:</u>	e2= -5.6445E+005	xCO2_1= 1.4183E-001
τ = 1.5670E-001 h	g2= 5.6445E+005	xCH4_1= 7.0351E-003
	i2= 1.8937E+006	xH2O_1= 1.3402E-001
<u>MASA UZORKA:</u>	a3= 2.1791E+008	xN2_1= 4.5015E-001
m _{uzorka} = 1.0000E-002 kg	b3= -7.2509E+005	
	c3= -9.4683E+005	RAVNOTEŽNI SASTAV (HOMOGENA FAZA):
<u>TEMPERATURA:</u>	d3= -5.4187E+007	yCO_1= 2.6729E-002
t = 5.0000E+002 °C	e3= -9.4683E+005	yH2_1= 1.2343E-001
	f3= 1.1507E+006	yCO2_1= 1.6443E-001
<u>PRITISAK:</u>	g3= 9.4683E+005	yCH4_1= 8.1561E-003
p = 1.0130E+005 Pa	h3= -1.1507E+006	yH2O_1= 1.5537E-001
	i3= 9.4683E+005	yN2_1= 5.2188E-001
<u>PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:</u>	RAZLIKA1= 4.7951E-002	
xCO_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA2= 2.1414E-002	
xH2_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA3= 4.1985E-002	
xC_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA1= 2.1547E-002	
	RAZLIKA2= 8.5136E-003	
M1= -4.6572E+000	RAZLIKA3= 5.0751E-003	
M2= 2.6436E+000	RAZLIKA1= 6.7574E-003	
M3= 3.3327E+000	RAZLIKA2= 1.5434E-002	
Kp_1= 5.2845E-006	RAZLIKA3= 7.0127E-003	
Kp_2= 4.4016E+002	RAZLIKA1= 6.8463E-004	
Kp_3= 2.1511E+003	RAZLIKA2= 3.8725E-003	
SUMAC= 3.8950E-002	RAZLIKA3= 2.5533E-003	
SUMAO2= 2.7745E-002	RAZLIKA1= 4.5113E-006	
SUMAH2= 3.2050E-002	RAZLIKA2= 6.2887E-005	
SUMAN2= 5.6677E-002	RAZLIKA3= 5.3379E-005	
Kp_1= 5.2845E-006	RAZLIKA1= 1.8070E-010	
Kp_2= 4.4016E+002	RAZLIKA2= 3.1103E-009	
Kp_3= 2.1511E+003	RAZLIKA3= 4.5981E-009	
L= 1.4039E+000	RAZLIKA1= 3.4694E-018	
M= 1.2153E+000	RAZLIKA2= 1.3878E-017	
I= 1.4551E+000	RAZLIKA3= 8.3267E-017	
	FUN1= -2.3283E-010	
	FUN2= -8.7311E-011	
	FUN3= -8.7311E-011	
	FUN1_1= 3.1421E+007	
	FUN1_2= 2.1097E+006	
	FUN1_3= 2.4780E+006	
	FUN2_1= -1.4293E+007	

PRILOG 33. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.1 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 550 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:	a1= 2.0773E+009	DELTA1= -2.4158E+012
<u>SASTAV OKLASKA</u>	b1= 1.0810E+007	DELTA2= 2.1783E+013
<u>KUKURUZA:</u>	c1= -4.6034E+007	DELTA3= -1.6282E+013
C= 4.6740E-001 kgC/kg _{goriva}	d1= 2.2740E+008	H1= -4.6636E-012
H= 5.4600E-002 kgH/kg _{goriva}	e1= -4.6034E+007	K1= 4.2050E-011
O= 3.4160E-001kg/kg _{goriva}	f1= -1.7401E+007	L1= -3.1431E-011
N= 3.8300E-002 kgN/kg _{goriva}	g1= 4.6034E+007	
S= 1.2000E-003 kgs/kg _{goriva}	h1= 1.7401E+007	
W= 8.5500E-002 kgW/kg _{goriva}	i1= 6.3435E+007	
A= 1.1400E-002 kgA/kg _{goriva}	k1= -1.7401E+007	
		RAVNOTEŽNI SASTAV (HETEROGENA FAZA):
<u>PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:</u>	a2= -4.8814E+008	xCO_1= 5.4048E-002
□	b2= 8.1728E+006	xH2_1= 1.2997E-001
V _{vazduha} = 1.0000E-001 m ³ /h	c2= -3.4803E+007	xC_1= 8.7911E-002
	d2= -2.9808E+008	xCO2_1= 1.4453E-001
<u>VREME:</u>	e2= -1.1993E+007	xCH4_1= 4.3492E-003
τ = 1.7770E-001 h	g2= 1.1993E+007	xH2O_1= 1.0065E-001
	i2= 3.4803E+007	xN2_1= 4.7855E-001
<u>MASA UZORKA:</u>	a3= 7.8526E+008	RAVNOTEŽNI SASTAV (HOMOGENA FAZA):
m _{uzorka} = 1.0000E-002 kg	b3= -5.8459E+006	yCO_1= 5.9257E-002
	c3= -1.7401E+007	yH2_1= 1.4250E-001
<u>TEMPERATURA:</u>	d3= -2.7636E+008	yCO2_1= 1.5846E-001
t = 5.5000E+002 °C	e3= -1.7401E+007	yCH4_1= 4.7684E-003
	f3= 2.1148E+007	yH2O_1= 1.1035E-001
<u>PRITISAK:</u>	g3= 1.7401E+007	yN2_1= 5.2467E-001
p = 1.0130E+005 Pa	h3= -2.1148E+007	
	i3= 1.7401E+007	
<u>PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:</u>	RAZLIKA1= 3.6705E-002	
xCO_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA2= 1.6876E-002	
xH2_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA3= 8.8964E-003	
xC_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA1= 8.7538E-003	
	RAZLIKA2= 1.1830E-002	
M1= -5.0151E+000	RAZLIKA3= 2.6186E-003	
M2= 3.3512E+000	RAZLIKA1= 4.9215E-004	
M3= 3.8894E+000	RAZLIKA2= 1.2595E-003	
	RAZLIKA3= 5.7068E-004	
Kp_1= 2.3182E-006	RAZLIKA1= 1.2498E-006	
Kp_2= 2.2448E+003	RAZLIKA2= 5.4215E-006	
Kp_3= 7.7518E+003	RAZLIKA3= 3.1981E-006	
	RAZLIKA1= 4.6635E-012	
SUMAC= 3.8950E-002	RAZLIKA2= 4.2050E-011	
SUMAO2= 2.9714E-002	RAZLIKA3= 3.1431E-011	
SUMAH2= 3.2050E-002	FUN1= 1.6686E-003	
SUMAN2= 6.4089E-002	FUN2= 1.0936E-003	
	FUN3= 2.3130E-003	
Kp_1= 2.3182E-006	FUN1_1= 2.9609E+008	
Kp_2= 2.2448E+003	FUN1_2= 3.0972E+007	
Kp_3= 7.7518E+003	FUN1_3= 5.0592E+007	
	FUN2_1= -8.0569E+007	
L= 1.3108E+000	FUN2_2= -1.3986E+007	
M= 1.2153E+000	FUN2_3= 2.8035E+007	
I= 1.6454E+000	FUN3_1= 6.4837E+007	
	FUN3_2= -3.5745E+007	
	FUN3_3= 1.6150E+007	
	DELTA= 5.1802E+023	

PRILOG 34. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.1 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 600 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

<u>Unesi:</u>	a1= 6.9379E+009	DELTA1= 2.9692E+009
<u>SASTAV OKLASKA</u>	b1= 7.3112E+007	DELTA2= -1.4767E+010
<u>KUKURUZA:</u>	c1= -6.4870E+008	DELTA3= -2.2617E+009
C= 4.6740E-001 kgC/kg _{goriva}	d1= 9.5947E+008	H1= 5.3342E-018
H= 5.4600E-002 kgH/kg _{goriva}	e1= -6.4870E+008	K1= -2.6529E-017
O= 3.4160E-001kg/kg _{goriva}	f1= -2.2905E+008	L1= -4.0632E-018
N= 3.8300E-002 kgN/kg _{goriva}	g1= 6.4870E+008	
S= 1.2000E-003 kgS/kg _{goriva}	h1= 2.2905E+008	RAVNOTEŽNI SASTAV
W= 8.5500E-002 kgW/kg _{goriva}	i1= 8.7775E+008	(HETEROGENA FAZA):
A= 1.1400E-002 kgA/kg _{goriva}	k1= -2.2905E+008	xCO_1= 1.0984E-001
		xH2_1= 1.4997E-001
<u>PROTOK INJEKTIRANOG</u>	a2= -1.1308E+009	xC_1= 2.9594E-002
<u>VAZDUHA:</u>	b2= 5.1631E+007	xCO2_1= 1.3298E-001
□	c2= -4.5811E+008	xCH4_1= 2.6123E-003
V _{vazduha} = 1.0000E-001 m ³ /h	d2= -1.1809E+009	xH2O_1= 7.1111E-002
	e2= -1.7619E+008	xN2_1= 5.0388E-001
<u>VREME:</u>	g2= 1.7619E+008	
τ = 1.9830E-001 h	i2= 4.5811E+008	RAVNOTEŽNI SASTAV
		(HOMOGENA FAZA):
<u>MASA UZORKA:</u>	a3= 2.4498E+009	yCO_1= 1.1319E-001
m _{uzorka} = 1.0000E-002 kg	b3= -3.6931E+007	yH2_1= 1.5455E-001
	c3= -2.2905E+008	yCO2_1= 1.3704E-001
<u>TEMPERATURA:</u>	d3= -1.1660E+009	yCH4_1= 2.6920E-003
t = 6.0000E+002 °C	e3= -2.2905E+008	yH2O_1= 7.3280E-002
	f3= 2.7837E+008	yN2_1= 5.1925E-001
<u>PRITISAK:</u>	g3= 2.2905E+008	
p = 1.0130E+005 Pa	h3= -2.7837E+008	
	i3= 2.2905E+008	
<u>PRETPOSTAVLJENE</u>		
<u>POČETNE VREDNOSTI</u>	RAZLIKA1= 1.0686E-002	
<u>MASENIH UDELA U</u>	RAZLIKA2= 5.4699E-002	
<u>RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:</u>	RAZLIKA3= 7.6267E-002	
xCO_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA1= 8.3682E-004	
xH2_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA2= 4.6929E-003	
xC_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA3= 5.8272E-003	
	RAZLIKA1= 5.0659E-006	
M1= -5.3339E+000	RAZLIKA2= 3.1712E-005	
M2= 3.9764E+000	RAZLIKA3= 3.4194E-005	
M3= 4.3835E+000	RAZLIKA1= 1.7956E-010	
	RAZLIKA2= 1.2864E-009	
Kp_1= 1.1126E-006	RAZLIKA3= 1.1643E-009	
Kp_2= 9.4716E+003	RAZLIKA1= 0.0000E+000	
Kp_3= 2.4183E+004	RAZLIKA2= 2.7756E-017	
	RAZLIKA3= 3.4694E-018	
SUMAC= 3.8950E-002		
SUMAO2= 3.1646E-002	FUN1= 0.0000E+000	
SUMAH2= 3.2050E-002	FUN2= 0.0000E+000	
SUMAN2= 7.1360E-002	FUN3= -1.3039E-008	
	FUN1_1= 2.2976E+009	
Kp_1= 1.1126E-006	FUN1_2= 3.4960E+008	
Kp_2= 9.4716E+003	FUN1_3= 7.3375E+008	
Kp_3= 2.4183E+004	FUN2_1= -2.5455E+008	
	FUN2_2= -1.1423E+008	
L= 1.2308E+000	FUN2_3= 4.1164E+008	
M= 1.2153E+000	FUN3_1= 5.8558E+008	
I= 1.8321E+000	FUN3_2= -4.0929E+008	
	FUN3_3= 2.3208E+008	
	DELTA= 5.5663E+026	

PRILOG 35. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.1 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 622.5 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

<u>Unesi:</u>	a1= 1.1440E+010	DELTA1= -3.9704E+015
<u>SASTAV OKLASKA</u>	b1= 1.6102E+008	DELTA2= 7.7403E+013
<u>KUKURUZA:</u>	c1= -1.9382E+009	DELTA3= 2.0050E+015
C= 4.6740E-001 kg _C /kg _{goriva}	d1= 1.7386E+009	H1= -3.8791E-013
H= 5.4600E-002 kg _H /kg _{goriva}	e1= -1.9382E+009	K1= 7.5623E-015
O= 3.4160E-001 kg _O /kg _{goriva}	f1= -6.6475E+008	L1= 1.9589E-013
N= 3.8300E-002 kg _N /kg _{goriva}	g1= 1.9382E+009	
S= 1.2000E-003 kg _S /kg _{goriva}	h1= 6.6475E+008	
W= 8.5500E-002 kg _W /kg _{goriva}	i1= 2.6029E+009	
A= 1.1400E-002 kg _A /kg _{goriva}	k1= -6.6475E+008	
		RAVNOTEŽNI SASTAV (HETEROGENA FAZA):
<u>PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:</u>	a2= -1.5541E+009	xCO_1= 1.4405E-001
□	b2= 1.1045E+008	xH2_1= 1.5753E-001
V _{vazduha} = 1.0000E-001 m ³ /h	c2= -1.3295E+009	xC_1= 0.0000E+000
	d2= -2.0829E+009	xCO2_1= 1.2248E-001
<u>VREME:</u>	e2= -5.3310E+008	xCH4_1= 2.0617E-003
τ = 2.0752E-001 h	g2= 5.3310E+008	xH2O_1= 5.9350E-002
	i2= 1.3295E+009	xN2_1= 5.1452E-001
		RAVNOTEŽNI SASTAV (HOMOGENA FAZA):
<u>MASA UZORKA:</u>	a3= 3.9236E+009	yCO_1= 1.4405E-001
m _{uzorka} = 1.0000E-002 kg	b3= -7.9005E+007	yH2_1= 1.5753E-001
	c3= -6.6475E+008	yCO2_1= 1.2248E-001
<u>TEMPERATURA:</u>	d3= -2.1128E+009	yCH4_1= 2.0617E-003
t = 6.2250E+002 °C	e3= -6.6475E+008	yH2O_1= 5.9350E-002
	f3= 8.0786E+008	yN2_1= 5.1452E-001
<u>PRITISAK:</u>	g3= 6.6475E+008	
p = 1.0130E+005 Pa	h3= -8.0786E+008	
	i3= 6.6475E+008	
<u>PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:</u>	RAZLIKA1= 5.4527E-002	
xCO_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA2= 6.7676E-002	
xH2_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA3= 1.1643E-001	
xC_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA1= 1.0126E-002	
	RAZLIKA2= 9.9204E-003	
M1= -5.4663E+000	RAZLIKA3= 1.6036E-002	
M2= 4.2346E+000	RAZLIKA1= 3.4480E-004	
M3= 4.5881E+000	RAZLIKA2= 2.2247E-004	
	RAZLIKA3= 3.7471E-004	
Kp_1= 8.2012E-007	RAZLIKA1= 3.6827E-007	
Kp_2= 1.7162E+004	RAZLIKA2= 1.0973E-007	
Kp_3= 3.8733E+004	RAZLIKA3= 2.7009E-007	
	RAZLIKA1= 3.8791E-013	
SUMAC= 3.8950E-002	RAZLIKA2= 7.5495E-015	
SUMAO2= 3.2511E-002	RAZLIKA3= 1.9589E-013	
SUMAH2= 3.2050E-002	FUN1= 1.6947E-003	
SUMAN2= 7.4616E-002	FUN2= -3.3756E-004	
	FUN3= 4.3948E-004	
Kp_1= 8.2012E-007	FUN1_1= 5.5081E+009	
Kp_2= 1.7162E+004	FUN1_2= 9.6594E+008	
Kp_3= 3.8733E+004	FUN1_3= 2.2191E+009	
	FUN2_1= -2.4277E+008	
L= 1.1980E+000	FUN2_2= -2.6525E+008	
M= 1.2153E+000	FUN2_3= 1.2527E+009	
I= 1.9157E+000	FUN3_1= 1.4624E+009	
	FUN3_2= -1.1371E+009	
	FUN3_3= 6.9627E+008	
	DELTA= 1.0235E+028	

PRILOG 36. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.1 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 650 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:

SASTAV OKLASKA KUKURUZA:

C= 4.6740E-001 kgC/kg_{goriva}
H= 5.4600E-002 kgH/kg_{goriva}
O= 3.4160E-001kg/kg_{goriva}
N= 3.8300E-002 kgN/kg_{goriva}
S= 1.2000E-003 kgS/kg_{goriva}
W= 8.5500E-002 kgW/kg_{goriva}
A= 1.1400E-002 kgA/kg_{goriva}

a2= -2.8369E+000
b2= -4.7738E-001
c2= 7.9276E-001
d2= 1.1666E-001
e2= 1.0000E+000

PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:

□

V_{vazduha} = 1.0000E-001 m³/h

RAZLIKA1= 1.0429E-001
RAZLIKA2= 6.1403E-002
RAZLIKA1= 1.8571E-002
RAZLIKA2= 2.2310E-003
RAZLIKA1= 5.8458E-004
RAZLIKA2= 1.0444E-004
RAZLIKA1= 5.5316E-007
RAZLIKA2= 2.0384E-007
RAZLIKA1= 4.7948E-013
RAZLIKA2= 2.3703E-013

VREME:

τ = 2.1880E-001 h

MASA UZORKA:

m_{uzorka} = 1.0000E-002 kg

FUN1= 2.6690E-012
FUN2= -9.5263E-013
FUN1_1= 6.3713E+000
FUN1_2= 1.6282E+000
FUN2_1= -1.4015E+000
FUN2_2= 1.1839E+000
DELTA= 9.8250E+000
DELTA1= -4.7109E-012
DELTA2= 2.3288E-012
H1= -4.7948E-013
K1= 2.3702E-013

TEMPERATURA:

t = 6.5000E+002 °C

PRITISAK:

p = 1.0130E+005 Pa

PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI
MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:

yCO₀= 1.0000E-001 kg/kg
yH_{2_0}= 1.0000E-001 kg/kg

RAVNOTEŽNI SASTAV (HOMOGENA FAZA):

yCO₁= 1.8513E-001
yH_{2_1}= 1.5928E-001
yCO_{2_1}= 1.0184E-001
yCH_{4_1}= 1.4798E-003
yH_{2O_1}= 4.4730E-002
yN_{2_1}= 5.0754E-001

M1= -5.6199E+000
M2= 4.5327E+000
M3= 4.8247E+000

Kp₁= 5.7581E-007
Kp₂= 3.4092E+004
Kp₃= 6.6781E+004

SUMAO₂= 3.3569E-002
SUMAH₂= 3.2050E-002
SUMAN₂= 7.8596E-002

Kp₁= 5.7581E-007
Kp₂= 3.4092E+004
Kp₃= 6.6781E+004

L= 9.5476E-001
M= 2.3413E+000

a1= 9.9283E+000
b1= 2.1707E+000
c1= 3.2927E+000
d1= 5.8329E-002
e1= 1.0000E+000
f1= -1.0000E+000

PRILOG 37. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.3 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 300 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

<u>Unesi:</u>	a1= 4.4853E+005	RAZLIKA3= 8.7397E-003
<u>SASTAV OKLASKA</u>	b1= 9.1944E+000	RAZLIKA1= 3.3217E-006
<u>KUKURUZA:</u>	c1= -1.6173E-001	RAZLIKA2= 7.7457E-004
C= 4.6740E-001 kg _C /kg _{goriva}	d1= 3.7001E+003	RAZLIKA3= 3.4261E-003
H= 5.4600E-002 kg _H /kg _{goriva}	e1= -1.6173E-001	RAZLIKA1= 3.1072E-008
O= 3.4160E-001 kg _O /kg _{goriva}	f1= -5.5045E-002	RAZLIKA2= 6.3861E-006
N= 3.8300E-002 kg _N /kg _{goriva}	g1= 1.6173E-001	RAZLIKA3= 7.3537E-005
S= 1.2000E-003 kg _S /kg _{goriva}	h1= 5.5045E-002	RAZLIKA1= 2.0156E-012
W= 8.5500E-002 kg _W /kg _{goriva}	i1= 2.1677E-001	RAZLIKA2= 9.9970E-010
A= 1.1400E-002 kg _A /kg _{goriva}	k1= -5.5045E-002	RAZLIKA3= 4.5352E-009
<u>PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:</u>	a2= -5.7874E+004	FUN1= 6.9383E-010
□	b2= 6.2587E+000	FUN2= -1.2692E-009
V _{vazduha} = 3.0000E-001 m ³ /h	c2= -1.1009E-001	FUN3= -1.2564E-009
	d2= -4.4015E+003	FUN1_1= 2.2787E+002
	e2= -4.4611E-002	FUN1_2= 1.0253E+000
<u>VREME:</u>	g2= 4.4611E-002	FUN1_3= 1.7430E-001
τ = 7.0000E-002 h	i2= 1.1009E-001	FUN2_1= -7.7152E+001
		FUN2_2= -7.4366E-001
		FUN2_3= 8.1649E-002
<u>MASA UZORKA:</u>	a3= 1.5266E+005	FUN3_1= 7.4291E+000
m _{uzorka} = 1.0000E-002 kg	b3= -4.4768E+000	FUN3_2= -1.0829E+000
	c3= -5.5045E-002	FUN3_3= 4.1633E-002
<u>TEMPERATURA:</u>	d3= -4.4967E+003	DELTA= 3.2533E+001
t = 3.0000E+002 °C	e3= -5.5045E-002	DELTA1= -6.5574E-011
	f3= 6.6896E-002	DELTA2= -3.2524E-008
<u>PRITISAK:</u>	g3= 5.5045E-002	DELTA3= 1.4754E-007
p = 1.0130E+005 Pa	h3= -6.6896E-002	H1= -2.0156E-012
	i3= 5.5045E-002	K1= -9.9970E-010
		L1= 4.5352E-009
<u>PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:</u>	RAZLIKA1= 5.0000E-002	RAVNOTEŽNI SASTAV (HETEROGENA FAZA):
x _{CO_0} = 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA2= 4.9978E-002	x _{CO_1} = 2.0361E-004
x _{H2_0} = 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA3= 1.3445E-003	x _{H2_1} = 1.2183E-002
x _{C_0} = 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA1= 2.5000E-002	x _{C_1} = 1.2913E-001
	RAZLIKA2= 2.4961E-002	x _{CO2_1} = 1.3202E-001
	RAZLIKA3= 2.4838E-002	x _{CH4_1} = 9.6894E-003
	RAZLIKA1= 1.2500E-002	x _{H2O_1} = 1.9146E-001
	RAZLIKA2= 1.2426E-002	x _{N2_1} = 5.2531E-001
M1= -2.6311E+000	RAZLIKA3= 1.2424E-002	
M2= -1.4374E+000	RAZLIKA1= 6.2491E-003	RAVNOTEŽNI SASTAV (HOMOGENA FAZA):
M3= 1.7812E-001	RAZLIKA2= 6.1036E-003	y _{CO_1} = 2.3380E-004
	RAZLIKA3= 6.1538E-003	y _{H2_1} = 1.3990E-002
	RAZLIKA1= 3.1231E-003	y _{CO2_1} = 1.5159E-001
	RAZLIKA2= 2.8338E-003	y _{CH4_1} = 1.1126E-002
	RAZLIKA3= 2.9497E-003	y _{H2O_1} = 2.1985E-001
	RAZLIKA1= 1.5587E-003	y _{N2_1} = 6.0320E-001
	RAZLIKA2= 9.8395E-004	
	RAZLIKA3= 1.1851E-003	
	RAZLIKA1= 7.7368E-004	
	RAZLIKA2= 3.5547E-004	
	RAZLIKA3= 1.1927E-004	
	RAZLIKA1= 3.7539E-004	
	RAZLIKA2= 1.7540E-003	
	RAZLIKA3= 1.9212E-003	
	RAZLIKA1= 1.6543E-004	
	RAZLIKA2= 3.2924E-003	
	RAZLIKA3= 5.4844E-003	
	RAZLIKA1= 4.8641E-005	
	RAZLIKA2= 3.2862E-003	

PRILOG 38. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.3 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 350 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

<u>Unesi:</u>	a1= 5.2410E+006	RAZLIKA3= 1.0337E-005
<u>SASTAV OKLASKA</u>	b1= 4.7230E+002	RAZLIKA1= 1.4673E-013
<u>KUKURUZA:</u>	c1= -3.4997E+001	RAZLIKA2= 3.5339E-011
C= 4.6740E-001 kg _C /kg _{goriva}	d1= 6.8523E+004	RAZLIKA3= 1.9711E-011
H= 5.4600E-002 kg _H /kg _{goriva}	e1= -3.4997E+001	FUN1= 8.6548E-010
O= 3.4160E-001 kg _O /kg _{goriva}	f1= -9.4953E+000	FUN2= -2.1081E-009
N= 3.8300E-002 kg _N /kg _{goriva}	g1= 3.4997E+001	FUN3= -3.8927E-009
S= 1.2000E-003 kg _S /kg _{goriva}	h1= 9.4953E+000	FUN1_1= 1.1783E+004
W= 8.5500E-002 kg _W /kg _{goriva}	i1= 4.4493E+001	FUN1_2= 9.5709E+001
A= 1.1400E-002 kg _A /kg _{goriva}	k1= -9.4953E+000	FUN1_3= 3.9974E+001
		FUN2_1= -1.1032E+003
		FUN2_2= -5.4945E+001
		FUN2_3= 1.6651E+001
		FUN3_1= 1.1495E+003
		FUN3_2= -1.0061E+002
		FUN3_3= 8.5530E+000
		DELTA= 2.3899E+007
		DELTA1= 3.5066E-006
		DELTA2= -8.4457E-004
		DELTA3= 4.7107E-004
		H1= 1.4673E-013
		K1= -3.5339E-011
		L1= 1.9711E-011
<u>PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:</u>	a2= 1.0750E+005	RAVNOTEŽNI SASTAV (HETEROGENA FAZA):
□	b2= 2.5629E+002	xCO_1= 9.8960E-004
V _{vazduha} = 3.0000E-001 m ³ /h	c2= -1.8991E+001	xH2_1= 2.0099E-002
	d2= -6.5933E+004	xC_1= 6.1340E-002
	e2= -9.8543E+000	xCO2_1= 1.5624E-001
	g2= 9.8543E+000	xCH4_1= 5.8078E-003
	i2= 1.8991E+001	xH2O_1= 1.5291E-003
		xN2_1= 6.0261E-001
<u>VREME:</u>	a3= 1.4220E+006	RAVNOTEŽNI SASTAV (HOMOGENA FAZA):
τ = 9.7500E-002 h	b3= -1.8332E+002	yCO_1= 1.0543E-003
	c3= -9.4953E+000	yH2_1= 2.1412E-002
	d3= -8.3276E+004	yCO2_1= 1.6645E-001
	e3= -9.4953E+000	yCH4_1= 6.1874E-003
	f3= 1.1540E+001	yH2O_1= 1.6291E-001
	g3= 9.4953E+000	yN2_1= 6.4199E-001
	h3= -1.1540E+001	
	i3= 9.4953E+000	
<u>MASA UZORKA:</u>	RAZLIKA1= 4.9995E-002	
m _{uzorka} = 1.0000E-002 kg	RAZLIKA2= 4.9832E-002	
	RAZLIKA3= 7.8750E-002	
<u>TEMPERATURA:</u>	RAZLIKA1= 2.4993E-002	
t = 3.5000E+002 °C	RAZLIKA2= 2.4682E-002	
	RAZLIKA3= 3.4626E-002	
	RAZLIKA1= 1.2488E-002	
	RAZLIKA2= 1.1893E-002	
	RAZLIKA3= 1.2453E-002	
	RAZLIKA1= 6.2266E-003	
	RAZLIKA2= 5.0625E-003	
	RAZLIKA3= 5.5394E-003	
	RAZLIKA1= 3.0783E-003	
	RAZLIKA2= 8.3153E-004	
	RAZLIKA3= 1.6461E-003	
	RAZLIKA1= 1.4694E-003	
	RAZLIKA2= 2.5904E-003	
	RAZLIKA3= 1.6452E-003	
	RAZLIKA1= 6.0691E-004	
	RAZLIKA2= 5.2359E-003	
	RAZLIKA3= 5.3575E-003	
	RAZLIKA1= 1.4537E-004	
	RAZLIKA2= 4.0150E-003	
	RAZLIKA3= 5.9241E-003	
	RAZLIKA1= 6.8727E-006	
	RAZLIKA2= 5.5650E-004	
	RAZLIKA3= 1.2372E-003	
	RAZLIKA1= 9.4345E-009	
	RAZLIKA2= 2.2739E-006	
<u>PRITISAK:</u>		
p = 1.0130E+005 Pa		
<u>PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:</u>		
xCO_0= 1.0000E-001 kg/kg		
xH2_0= 1.0000E-001 kg/kg		
xC_0= 1.0000E-001 kg/kg		
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= 3.8950E-002		
SUMAO2= 4.0480E-002		
SUMAH2= 3.2050E-002		
SUMAN2= 1.0461E-001		
Kp_1= 1.3322E-004		
Kp_2= 6.7644E-001		
Kp_3= 1.4037E+001		
L= 9.6220E-001		
M= 1.2153E+000		
I= 2.6857E+000		

PRILOG 39. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.3 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 400 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

<u>Unesi:</u>	a1= 4.0991E+007	FUN1= 5.9814E-008
<u>SASTAV OKLASKA</u>	b1= 1.2935E+004	FUN2= 9.4708E-007
<u>KUKURUZA:</u>	c1= -3.2785E+003	FUN3= 5.6886E-007
C= 4.6740E-001 kgC/kg _{goriva}	d1= 8.2075E+005	FUN1_1= 3.3015E+005
H= 5.4600E-002 kgH/kg _{goriva}	e1= -3.2785E+003	FUN1_2= 4.5833E+003
O= 3.4160E-001kg/kg _{goriva}	f1= -7.7269E+002	FUN1_3= 3.8890E+003
N= 3.8300E-002 kgN/kg _{goriva}	g1= 3.2785E+003	FUN2_1= 1.6514E+003
S= 1.2000E-003 kgs/kg _{goriva}	h1= 7.7269E+002	FUN2_2= -2.1584E+003
W= 8.5500E-002 kgW/kg _{goriva}	i1= 4.0512E+003	FUN2_3= 1.4827E+003
A= 1.1400E-002 kgA/kg _{goriva}	k1= -7.7269E+002	FUN3_1= 4.0542E+004
		FUN3_2= -4.8591E+003
		FUN3_3= 7.6954E+002
<u>PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:</u>	a2= 3.0488E+006	DELTA= 2.4090E+012
□	b2= 6.0972E+003	DELTA1= 1.2265E+001
V _{vazduha} = 3.0000E-001 m ³ /h	c2= -1.5454E+003	DELTA2= 1.7999E+002
	d2= -6.9125E+005	DELTA3= -1.2904E+003
	e2= -8.9461E+002	H1= 5.0914E-012
<u>VREME:</u>	g2= 8.9461E+002	K1= 7.4717E-011
τ = 1.1800E-001 h	i2= 1.5454E+003	L1= -5.3566E-010
<u>MASA UZORKA:</u>	a3= 9.6608E+006	RAVNOTEŽNI SASTAV (HETEROGENA FAZA):
m _{uzorka} = 1.0000E-002 kg	b3= -4.3613E+003	xCO_1= 3.6745E-003
	c3= -7.7269E+002	xH2_1= 3.1294E-002
<u>TEMPERATURA:</u>	d3= -9.9745E+005	xC_1= 1.9217E-002
t = 4.0000E+002 °C	e3= -7.7269E+002	xCO2_1= 1.7212E-001
	f3= 9.3904E+002	xCH4_1= 3.9395E-003
<u>PRITISAK:</u>	g3= 7.7269E+002	xH2O_1= 1.2454E-001
p = 1.0130E+005 Pa	h3= -9.3904E+002	xN2_1= 6.4521E-001
	i3= 7.7269E+002	
<u>PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:</u>	RAZLIKA1= 4.9936E-002	RAVNOTEŽNI SASTAV (HOMOGENA FAZA):
xCO_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA2= 4.9054E-002	yCO_1= 3.7465E-003
xH2_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA3= 1.3043E-001	yH2_1= 3.1907E-002
xC_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA1= 2.4909E-002	yCO2_1= 1.7550E-001
	RAZLIKA2= 2.3114E-002	yCH4_1= 4.0167E-003
	RAZLIKA3= 4.5350E-002	yH2O_1= 1.2698E-001
M1= -3.7897E+000	RAZLIKA1= 1.2333E-002	yN2_1= 6.5786E-001
M2= 9.0860E-001	RAZLIKA2= 9.0156E-003	
M3= 1.9794E+000	RAZLIKA3= 1.1376E-002	
	RAZLIKA1= 5.9229E-003	
Kp_1= 3.8948E-005	RAZLIKA2= 4.8057E-005	
Kp_2= 8.1022E+000	RAZLIKA3= 2.3729E-003	
Kp_3= 9.5368E+001	RAZLIKA1= 2.5094E-003	
	RAZLIKA2= 5.8746E-003	
SUMAC= 3.8950E-002	RAZLIKA3= 3.3867E-003	
SUMAO2= 4.6247E-002	RAZLIKA1= 6.6743E-004	
SUMAH2= 3.2050E-002	RAZLIKA2= 5.6271E-003	
SUMAN2= 1.2632E-001	RAZLIKA3= 4.8646E-003	
	RAZLIKA1= 4.6824E-005	
	RAZLIKA2= 1.0153E-003	
Kp_1= 3.8948E-005	RAZLIKA3= 1.1812E-003	
Kp_2= 8.1022E+000	RAZLIKA1= 1.2285E-007	
Kp_3= 9.5368E+001	RAZLIKA2= 9.1844E-006	
	RAZLIKA3= 1.5915E-005	
L= 8.4221E-001	RAZLIKA1= 5.0914E-012	
M= 1.2153E+000	RAZLIKA2= 7.4717E-011	
I= 3.2430E+000	RAZLIKA3= 5.3566E-010	

PRILOG 40. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.3 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 431.3 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

<u>Unesi:</u>	a1= 1.2606E+008	FUN1_2= 3.9564E+004
<u>SASTAV OKLASKA</u>	b1= 7.9306E+004	FUN1_3= 4.8045E+004
<u>KUKURUZA:</u>	c1= -3.9825E+004	FUN2_1= 7.7774E+004
C= 4.6740E-001 kg _C /kg _{goriva}	d1= 3.2419E+006	FUN2_2= -1.6626E+004
H= 5.4600E-002 kg _H /kg _{goriva}	e1= -3.9825E+004	FUN2_3= 1.7661E+004
O= 3.4160E-001 kg _O /kg _{goriva}	f1= -8.8702E+003	FUN3_1= 2.7365E+005
N= 3.8300E-002 kg _N /kg _{goriva}	g1= 3.9825E+004	FUN3_2= -4.2406E+004
S= 1.2000E-003 kg _S /kg _{goriva}	h1= 8.8702E+003	FUN3_3= 9.2343E+003
W= 8.5500E-002 kg _W /kg _{goriva}	i1= 4.8696E+004	DELTA= 1.4518E+015
A= 1.1400E-002 kg _A /kg _{goriva}	k1= -8.8702E+003	DELTA1= 2.8217E+003
		DELTA2= 2.2373E+005
		DELTA3= -4.7961E+005
		H1= 1.9435E-012
		K1= 1.5410E-010
		L1= -3.3035E-010
<u>PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:</u>	a2= 1.1336E+007	RAVNOTEŽNI SASTAV (HETEROGENA FAZA):
□	b2= 3.5327E+004	xCO_1= 7.5152E-003
V _{vazduha} = 3.0000E-001 m ³ /h	c2= -1.7740E+004	xH2_1= 3.9910E-002
	d2= -2.5875E+006	xC_1= 0.0000E+000
	e2= -1.0661E+004	xCO2_1= 1.7877E-001
	g2= 1.0661E+004	xCH4_1= 3.1717E-003
	i2= 1.7740E+004	xH2O_1= 1.0961E-001
		xN2_1= 6.6105E-001
<u>VREME:</u>	a3= 2.8077E+007	RAVNOTEŽNI SASTAV (HOMOGENA FAZA):
τ = 1.2708E-001 h	b3= -2.5269E+004	yCO_1= 7.5152E-003
	c3= -8.8702E+003	yH2_1= 3.9910E-002
<u>MASA UZORKA:</u>	d3= -3.9398E+006	yCO2_1= 1.7877E-001
m _{uzorka} = 1.0000E-002 kg	e3= -8.8702E+003	yCH4_1= 3.1717E-003
	f3= 1.0780E+004	yH2O_1= 1.0961E-001
<u>TEMPERATURA:</u>	g3= 8.8702E+003	yN2_1= 6.6105E-001
t = 4.3130E+002 °C	h3= -1.0780E+004	
	i3= 8.8702E+003	
<u>PRITISAK:</u>		
p = 1.0130E+005 Pa		
<u>PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:</u>	RAZLIKA1= 4.9733E-002	
xCO_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA2= 4.7560E-002	
xH2_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA3= 1.5243E-001	
xC_0= 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA1= 2.4618E-002	
	RAZLIKA2= 2.0129E-002	
	RAZLIKA3= 4.9490E-002	
M1= -4.0867E+000	RAZLIKA1= 1.1799E-002	
M2= 1.5052E+000	RAZLIKA2= 4.2682E-003	
M3= 2.4427E+000	RAZLIKA3= 8.8397E-003	
	RAZLIKA1= 4.9565E-003	
Kp_1= 1.9658E-005	RAZLIKA2= 5.1983E-003	
Kp_2= 3.2003E+001	RAZLIKA3= 1.3137E-003	
Kp_3= 2.7717E+002	RAZLIKA1= 1.2891E-003	
	RAZLIKA2= 5.6910E-003	
SUMAC= 3.8950E-002	RAZLIKA3= 3.7571E-003	
SUMAO2= 4.8801E-002	RAZLIKA1= 8.9068E-005	
SUMAH2= 3.2050E-002	RAZLIKA2= 9.6925E-004	
SUMAN2= 1.3593E-001	RAZLIKA3= 8.4647E-004	
	RAZLIKA1= 3.0463E-007	
	RAZLIKA2= 8.2512E-006	
	RAZLIKA3= 9.7434E-006	
Kp_1= 1.9658E-005	RAZLIKA1= 1.9435E-012	
Kp_2= 3.2003E+001	RAZLIKA2= 1.5410E-010	
Kp_3= 2.7717E+002	RAZLIKA3= 3.3035E-010	
L= 7.9814E-001	FUN1= 5.7634E-006	
M= 1.2153E+000	FUN2= 8.2452E-006	
I= 3.4898E+000	FUN3= 9.0533E-006	
	FUN1_1= 2.0640E+006	

PRILOG 41. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.3 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 450 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:

SASTAV OKLASKA KUKURUZA:

C= 4.6740E-001 kgC/kg_{goriva}
H= 5.4600E-002 kgH/kg_{goriva}
O= 3.4160E-001kg/kg_{goriva}
N= 3.8300E-002 kgN/kg_{goriva}
S= 1.2000E-003 kgS/kg_{goriva}
W= 8.5500E-002 kgW/kg_{goriva}
A= 1.1400E-002 kgA/kg_{goriva}

a2= -9.3950E+002
b2= -3.1842E-001
c2= 1.3739E+002
d2= 2.7201E+000
e2= 1.0000E+000

PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:

□
V_{vazduha} = 3.0000E-001 m³/h

RAZLIKA1= 4.9461E-002
RAZLIKA2= 4.6076E-002
RAZLIKA1= 2.4155E-002
RAZLIKA2= 1.7368E-002
RAZLIKA1= 1.0973E-002
RAZLIKA2= 5.5854E-004
RAZLIKA1= 3.7896E-003
RAZLIKA2= 6.0635E-003
RAZLIKA1= 5.6691E-004
RAZLIKA2= 2.5716E-003
RAZLIKA1= 1.2241E-005
RAZLIKA2= 1.0906E-004
RAZLIKA1= 4.8882E-009
RAZLIKA2= 7.9299E-008
RAZLIKA1= 5.0480E-016
RAZLIKA2= 1.8506E-014

VREME:

τ = 1.3250E-001 h

MASA UZORKA:

m_{uzorka} = 1.0000E-002 kg

TEMPERATURA:

t = 4.5000E+002 °C

PRITISAK:

p = 1.0130E+005 Pa

PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI
MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:

yCO₀= 1.0000E-001 kg/kg
yH_{2_0}= 1.0000E-001 kg/kg

M1= -4.2523E+000
M2= 1.8367E+000
M3= 2.7012E+000

FUN1= -4.5075E-014
FUN2= -5.8606E-014
FUN1_1= 1.4841E+002
FUN1_2= 6.4804E+000
FUN2_1= -1.4919E+001
FUN2_2= 2.7605E+000
DELTA= 5.0637E+002
DELTA1= -2.5536E-013
DELTA2= 9.3702E-012
H1= -5.0430E-016
K1= 1.8505E-014

Kp_1= 1.3426E-005
Kp_2= 6.8666E+001
Kp_3= 5.0252E+002

SUMAO₂= 5.0327E-002
SUMAH₂= 3.2050E-002
SUMAN₂= 1.4167E-001

Kp_1= 1.3426E-005
Kp_2= 6.8666E+001
Kp_3= 5.0252E+002

L= 6.3684E-001
M= 2.8150E+000

a1= 5.6281E+003
b1= 2.4075E+000
c1= 4.8531E+002
d1= 1.3601E+000
e1= 1.0000E+000
f1= -1.0000E+000

**RAVNOTEŽNI SASTAV
(HOMOGENA FAZA):**

yCO₁= 1.1042E-002
yH_{2_1}= 4.4741E-002
yCO_{2_1}= 1.7987E-001
yCH_{4_1}= 2.7225E-003
yH_{2O_1}= 9.9587E-002
yN_{2_1}= 6.6204E-001

PRILOG 42. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.3 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 500 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:

SASTAV OKLASKA KUKURUZA:

C= 4.6740E-001 kgC/kg_{goriva}
H= 5.4600E-002 kgH/kg_{goriva}
O= 3.4160E-001kg/kg_{goriva}
N= 3.8300E-002 kgN/kg_{goriva}
S= 1.2000E-003 kgS/kg_{goriva}
W= 8.5500E-002 kgW/kg_{goriva}
A= 1.1400E-002 kgA/kg_{goriva}

PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:

□
V_{vazduha} = 3.0000E-001 m³/h

VREME:

τ = 1.5130E-001 h

MASA UZORKA:

m_{uzorka} = 1.0000E-002 kg

TEMPERATURA:

t = 5.0000E+002 °C

PRITISAK:

p = 1.0130E+005 Pa

PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI
MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:

yCO₀= 1.0000E-001 kg/kg
yH_{2_0}= 1.0000E-001 kg/kg

M1= -4.6572E+000
M2= 2.6436E+000
M3= 3.3327E+000

Kp₁= 5.2845E-006
Kp₂= 4.4016E+002
Kp₃= 2.1511E+003

SUMAO₂= 5.5616E-002
SUMAH₂= 3.2050E-002
SUMAN₂= 1.6158E-001

Kp₁= 5.2845E-006
Kp₂= 4.4016E+002
Kp₃= 2.1511E+003

L= 5.7627E-001
M= 2.9052E+000

a1= 8.9877E+002
b1= 2.4526E+000
c1= 1.1550E+002
d1= 5.3532E-001
e1= 1.0000E+000
f1= -1.0000E+000

a2= -1.3263E+002
b2= -2.8814E-001
c2= 3.3523E+001
d2= 1.0706E+000
e2= 1.0000E+000

RAZLIKA1= 4.6422E-002
RAZLIKA2= 3.9410E-002
RAZLIKA1= 1.9765E-002
RAZLIKA2= 8.0777E-003
RAZLIKA1= 5.4982E-003
RAZLIKA2= 2.3025E-003
RAZLIKA1= 4.8478E-004
RAZLIKA2= 7.4427E-004
RAZLIKA1= 3.6445E-006
RAZLIKA2= 1.0481E-005
RAZLIKA1= 1.9266E-010
RAZLIKA2= 8.8010E-010
RAZLIKA1= 3.4694E-018
RAZLIKA2= 0.0000E+000

FUN1= 2.2204E-016
FUN2= -2.0817E-017
FUN1_1= 5.8890E+001
FUN1_2= 4.2734E+000
FUN2_1= -5.8064E+000
FUN2_2= 2.0518E+000
DELTA= 1.4564E+002
DELTA1= -5.4455E-016
DELTA2= -6.3374E-017
H1= -3.7389E-018
K1= -4.3512E-019

**RAVNOTEŽNI SASTAV
(HOMOGENA FAZA):**

yCO₁= 2.7827E-002
yH_{2_1}= 5.5570E-002
yCO_{2_1}= 1.7821E-001
yCH_{4_1}= 1.6531E-003
yH_{2O_1}= 7.2819E-002
yN_{2_1}= 6.6393E-001

PRILOG 43. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.3 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 550 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:

SASTAV OKLASKA KUKURUZA:

C= 4.6740E-001 kgC/kg_{goriva}

H= 5.4600E-002 kgH/kg_{goriva}

O= 3.4160E-001 kgO/kg_{goriva}

N= 3.8300E-002 kgN/kg_{goriva}

S= 1.2000E-003 kgS/kg_{goriva}

W= 8.5500E-002 kgW/kg_{goriva}

A= 1.1400E-002 kgA/kg_{goriva}

PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:

□

V_{vazduha} = 3.0000E-001 m³/h

VREME:

τ = 1.7350E-001 h

MASA UZORKA:

m_{uzorka} = 1.0000E-002 kg

TEMPERATURA:

t = 5.5000E+002 °C

PRITISAK:

p = 1.0130E+005 Pa

PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI

MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:

yCO₀ = 1.0000E-001 kg/kg

yH_{2_0} = 1.0000E-001 kg/kg

M1= -5.0151E+000

M2= 3.3512E+000

M3= 3.8894E+000

Kp₁ = 2.3182E-006

Kp₂ = 2.2448E+003

Kp₃ = 7.7518E+003

SUMAO₂ = 6.1862E-002

SUMAH₂ = 3.2050E-002

SUMAN₂ = 1.8508E-001

Kp₁ = 2.3182E-006

Kp₂ = 2.2448E+003

Kp₃ = 7.7518E+003

L= 5.1809E-001

M= 2.9919E+000

a1= 1.8014E+002

b1= 2.4960E+000

c1= 3.2617E+001

d1= 2.3483E-001

e1= 1.0000E+000

f1= -1.0000E+000

a2= -2.3380E+001

b2= -2.5905E-001

c2= 9.6827E+000

d2= 4.6967E-001

e2= 1.0000E+000

RAZLIKA1= 3.1974E-002

RAZLIKA2= 3.3292E-002

RAZLIKA1= 7.0768E-003

RAZLIKA2= 3.8911E-003

RAZLIKA1= 3.7211E-004

RAZLIKA2= 2.0257E-005

RAZLIKA1= 1.0021E-006

RAZLIKA2= 4.1049E-007

RAZLIKA1= 7.0382E-012

RAZLIKA2= 6.0165E-012

FUN1= 1.6750E-010

FUN2= -2.7380E-011

FUN1_1= 2.6368E+001

FUN1_2= 3.0053E+000

FUN2_1= -2.4835E+000

FUN2_2= 1.6455E+000

DELTA= 5.0853E+001

DELTA1= -3.5792E-010

DELTA2= 3.0596E-010

H1= -7.0382E-012

K1= 6.0165E-012

RAVNOTEŽNI SASTAV

(HOMOGENA FAZA):

yCO₁ = 6.0576E-002

yH_{2_1} = 6.2797E-002

yCO_{2_1} = 1.6559E-001

yCH_{4_1} = 9.2605E-004

yH₂O₁ = 4.9710E-002

yN_{2_1} = 6.6040E-001

PRILOG 44. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.3 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 600 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:

SASTAV OKLASKA KUKURUZA:

C= 4.6740E-001 kgC/kg_{goriva}
H= 5.4600E-002 kgH/kg_{goriva}
O= 3.4160E-001kg/kg_{goriva}
N= 3.8300E-002 kgN/kg_{goriva}
S= 1.2000E-003 kgS/kg_{goriva}
W= 8.5500E-002 kgW/kg_{goriva}
A= 1.1400E-002 kgA/kg_{goriva}

a2= -5.0961E+000
b2= -2.3824E-001
c2= 3.1909E+000
d2= 2.2541E-001
e2= 1.0000E+000

PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:

□
V_{vazduha} = 3.0000E-001 m³/h

RAZLIKA1= 1.4417E-002
RAZLIKA2= 3.3610E-002
RAZLIKA1= 5.1552E-004
RAZLIKA2= 1.2443E-003
RAZLIKA1= 6.5110E-007
RAZLIKA2= 1.6369E-006
RAZLIKA1= 1.0196E-012
RAZLIKA2= 2.6907E-012

VREME:

τ = 1.9270E-001 h

FUN1= 7.4010E-012
FUN2= -4.9572E-012
FUN1_1= 1.3120E+001
FUN1_2= 2.2209E+000
FUN2_1= -1.1833E+000
FUN2_2= 1.3939E+000
DELTA= 2.0916E+001
DELTA1= -2.1326E-011
DELTA2= 5.6279E-011
H1= -1.0196E-012
K1= 2.6907E-012

MASA UZORKA:

m_{uzorka} = 1.0000E-002 kg

TEMPERATURA:

t = 6.0000E+002 °C

PRITISAK:

p = 1.0130E+005 Pa

PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI
MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:

yCO_0= 1.0000E-001 kg/kg
yH2_0= 1.0000E-001 kg/kg

**RAVNOTEŽNI SASTAV
(HOMOGENA FAZA):**

yCO_1= 1.1390E-001
yH2_1= 6.7636E-002
yCO2_1= 1.3875E-001
yCH4_1= 5.1559E-004
yH2O_1= 3.2270E-002
yN2_1= 6.4693E-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= 6.7263E-002
SUMAH2= 3.2050E-002
SUMAN2= 2.0541E-001

Kp_1= 1.1126E-006
Kp_2= 9.4716E+003
Kp_3= 2.4183E+004

L= 4.7649E-001
M= 3.0539E+000

a1= 4.3357E+001
b1= 2.5269E+000
c1= 1.0585E+001
d1= 1.1270E-001
e1= 1.0000E+000
f1= -1.0000E+000

PRILOG 45. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.3 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 650 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:

SASTAV OKLASKA KUKURUZA:

C= 4.6740E-001 kgC/kg_{goriva}
H= 5.4600E-002 kgH/kg_{goriva}
O= 3.4160E-001kg/kg_{goriva}
N= 3.8300E-002 kgN/kg_{goriva}
S= 1.2000E-003 kgS/kg_{goriva}
W= 8.5500E-002 kgW/kg_{goriva}
A= 1.1400E-002 kgA/kg_{goriva}

a2= -1.3025E+000
b2= -2.1918E-001
c2= 1.1844E+000
d2= 1.1666E-001
e2= 1.0000E+000

PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:

□
V_{vazduha} = 3.0000E-001 m³/h

RAZLIKA1= 9.9278E-002
RAZLIKA2= 3.6965E-002
RAZLIKA1= 1.5149E-002
RAZLIKA2= 5.5738E-003
RAZLIKA1= 3.7028E-004
RAZLIKA2= 1.3503E-004
RAZLIKA1= 2.2161E-007
RAZLIKA2= 8.0305E-008
RAZLIKA1= 7.9409E-014
RAZLIKA2= 2.8644E-014

VREME:

τ = 2.1350E-001 h

MASA UZORKA:

m_{uzorka} = 1.0000E-002 kg

FUN1= 5.3135E-013
FUN2= -8.4294E-014
FUN1_1= 7.3108E+000
FUN1_2= 1.7203E+000
FUN2_1= -6.1644E-001
FUN2_2= 1.2337E+000
DELTA= 1.0080E+001
DELTA1= -8.0053E-013
DELTA2= 2.8871E-013
H1= -7.9420E-014
K1= 2.8642E-014

TEMPERATURA:

t = 6.5000E+002 °C

PRITISAK:

p = 1.0130E+005 Pa

PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI
MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:

yCO_0= 1.0000E-001 kg/kg
yH2_0= 1.0000E-001 kg/kg

RAVNOTEŽNI SASTAV

(HOMOGENA FAZA):

yCO_1= 1.8376E-001
yH2_1= 6.8744E-002
yCO2_1= 1.0033E-001
yCH4_1= 2.7565E-004
yH2O_1= 1.9162E-002
yN2_1= 6.2773E-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= 7.3115E-002
SUMAH2= 3.2050E-002
SUMAN2= 2.2744E-001

Kp_1= 5.7581E-007
Kp_2= 3.4092E+004
Kp_3= 6.6781E+004

L= 4.3835E-001
M= 3.1107E+000

a1= 1.2214E+001
b1= 2.5554E+000
c1= 3.8762E+000
d1= 5.8329E-002
e1= 1.0000E+000
f1= -1.0000E+000

PRILOG 46. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.6 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 300 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

<u>Unesi:</u>	a1= 7.1165E+005	RAZLIKA3= 3.8294E-003
<u>SASTAV OKLASKA</u>	b1= 1.4588E+001	RAZLIKA1= 2.2496E-006
<u>KUKURUZA:</u>	c1= -2.5660E-001	RAZLIKA2= 2.8816E-004
C= 4.6740E-001 kg _C /kg _{goriva}	d1= 3.7001E+003	RAZLIKA3= 9.8678E-004
H= 5.4600E-002 kg _H /kg _{goriva}	e1= -2.5660E-001	RAZLIKA1= 1.5324E-009
O= 3.4160E-001 kg _O /kg _{goriva}	f1= -5.5045E-002	RAZLIKA2= 1.9809E-006
N= 3.8300E-002 kg _N /kg _{goriva}	g1= 2.5660E-001	RAZLIKA3= 1.2987E-005
S= 1.2000E-003 kg _S /kg _{goriva}	h1= 5.5045E-002	RAZLIKA1= 2.3094E-013
W= 8.5500E-002 kg _W /kg _{goriva}	i1= 3.1165E-001	RAZLIKA2= 1.5220E-011
A= 1.1400E-002 kg _A /kg _{goriva}	k1= -5.5045E-002	RAZLIKA3= 2.4676E-010
<u>PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:</u>	a2= 7.0203E+004	FUN1= 5.8193E-012
□	b2= 6.2587E+000	FUN2= 1.4806E-011
V _{vazduha} = 6.0000E-001 m ³ /h	c2= -1.1009E-001	FUN3= -1.4565E-011
 	d2= -2.8493E+003	FUN1_1= 3.8166E+002
<u>VREME:</u>	e2= -6.7702E-002	FUN1_2= 1.2043E+000
τ = 6.6700E-002 h	g2= 6.7702E-002	FUN1_3= 3.0650E-001
 	i2= 1.1009E-001	FUN2_1= 1.1680E+001
<u>MASA UZORKA:</u>	a3= 1.5266E+005	FUN2_2= -6.0230E-001
m _{uzorka} = 1.0000E-002 kg	b3= -4.4768E+000	FUN2_3= 1.0808E-001
 	c3= -5.5045E-002	FUN3_1= 3.9059E+001
<u>TEMPERATURA:</u>	d3= -4.4967E+003	FUN3_2= -1.2491E+000
t = 3.0000E+002 °C	e3= -5.5045E-002	FUN3_3= 5.4577E-002
 	f3= 6.6896E-002	DELTA= 4.6037E+001
<u>PRITISAK:</u>	g3= 5.5045E-002	DELTA1= 1.0632E-011
p = 1.0130E+005 Pa	h3= -6.6896E-002	DELTA2= -7.0068E-010
 	i3= 5.5045E-002	DELTA3= -1.1360E-008
<u>PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:</u>	RAZLIKA1= 5.0000E-002	H1= 2.3094E-013
x _{CO_0} = 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA2= 4.9986E-002	K1= -1.5220E-011
x _{H2_0} = 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA3= 1.6210E-001	L1= -2.4676E-010
x _{C_0} = 1.0000E-001 kg/kg	RAZLIKA1= 2.5000E-002	
 	RAZLIKA2= 2.4970E-002	RAVNOTEŽNI SASTAV (HETEROGENA FAZA):
M1= -2.6311E+000	RAZLIKA3= 5.5556E-002	x _{CO_1} = 2.4693E-004
M2= -1.4374E+000	RAZLIKA1= 1.2499E-002	x _{H2_1} = 8.0925E-003
M3= 1.7812E-001	RAZLIKA2= 1.2442E-002	x _{C_1} = 9.0444E-003
 	RAZLIKA3= 1.4097E-002	x _{CO2_1} = 1.7065E-001
Kp_1= 5.6121E-004	RAZLIKA1= 6.2485E-003	x _{CH4_1} = 3.7570E-003
Kp_2= 3.6526E-002	RAZLIKA2= 6.1353E-003	x _{H2O_1} = 1.3555E-001
Kp_3= 1.5070E+000	RAZLIKA3= 6.1922E-003	x _{N2_1} = 6.7266E-001
 	RAZLIKA1= 3.1219E-003	
SUMAC= 3.8950E-002	RAZLIKA2= 2.8965E-003	RAVNOTEŽNI SASTAV (HOMOGENA FAZA):
SUMAO2= 5.0580E-002	RAZLIKA3= 2.9875E-003	y _{CO_1} = 2.4919E-004
SUMAH2= 3.2050E-002	RAZLIKA1= 1.5564E-003	y _{H2_1} = 8.1664E-003
SUMAN2= 1.4262E-001	RAZLIKA2= 1.1093E-003	y _{CO2_1} = 1.7221E-001
 	RAZLIKA3= 1.2790E-003	y _{CH4_1} = 3.7913E-003
Kp_1= 5.6121E-004	RAZLIKA1= 7.6904E-004	y _{H2O_1} = 1.3679E-001
Kp_2= 3.6526E-002	RAZLIKA2= 1.0272E-004	y _{N2_1} = 6.7879E-001
Kp_3= 1.5070E+000	RAZLIKA3= 1.3613E-004	
 	RAZLIKA1= 3.6669E-004	
L= 7.7007E-001	RAZLIKA2= 1.2342E-003	
M= 1.2153E+000	RAZLIKA3= 1.1519E-003	
I= 3.6617E+000	RAZLIKA1= 1.5188E-004	
	RAZLIKA2= 2.2257E-003	
	RAZLIKA3= 3.1192E-003	
	RAZLIKA1= 3.7960E-005	
	RAZLIKA2= 1.7788E-003	

PRILOG 47. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.6 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 306.6 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

<u>Unesi:</u>	a1= 1.0138E+006	RAZLIKA3= 2.9299E-003
<u>SASTAV OKLASKA</u>	b1= 2.5651E+001	RAZLIKA1= 6.5863E-007
<u>KUKURUZA:</u>	c1= -5.5315E-001	RAZLIKA2= 9.9852E-005
C= 4.6740E-001 kg _C /kg _{goriva}	d1= 5.5991E+003	RAZLIKA3= 3.5682E-004
H= 5.4600E-002 kg _H /kg _{goriva}	e1= -5.5315E-001	RAZLIKA1= 2.1493E-010
O= 3.4160E-001 kg _O /kg _{goriva}	f1= -1.1418E-001	RAZLIKA2= 1.4057E-007
N= 3.8300E-002 kg _N /kg _{goriva}	g1= 5.5315E-001	RAZLIKA3= 1.0904E-006
S= 1.2000E-003 kg _S /kg _{goriva}	h1= 1.1418E-001	RAZLIKA1= 8.3451E-016
W= 8.5500E-002 kg _W /kg _{goriva}	i1= 6.6733E-001	RAZLIKA2= 2.0126E-013
A= 1.1400E-002 kg _A /kg _{goriva}	k1= -1.1418E-001	RAZLIKA3= 2.7840E-013
<u>PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:</u>	a2= 1.0786E+005	FUN1= 8.2767E-014
□	b2= 1.0589E+001	FUN2= -1.8282E-013
V _{vazduha} = 6.0000E-001 m ³ /h	c2= -2.2835E-001	FUN3= -5.0260E-013
<u>VREME:</u>	d2= -4.1560E+003	FUN1_1= 6.7352E+002
τ = 7.0066E-002 h	e2= -1.4360E-001	FUN1_2= 2.2825E+000
<u>MASA UZORKA:</u>	g2= 1.4360E-001	FUN1_3= 6.6617E-001
m _{uzorka} = 1.0000E-002 kg	i2= 2.2835E-001	FUN2_1= 3.0657E+001
<u>TEMPERATURA:</u>	a3= 2.0926E+005	FUN2_2= -1.0971E+000
t = 3.0660E+002 °C	b3= -7.5745E+000	FUN2_3= 2.2831E-001
<u>PRITISAK:</u>	c3= -1.1418E-001	FUN3_1= 7.0192E+001
p = 1.0130E+005 Pa	d3= -6.8045E+003	FUN3_2= -2.3657E+000
<u>PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:</u>	e3= -1.1418E-001	FUN3_3= 1.1534E-001
x _{CO_0} = 1.0000E-001 kg/kg	f3= 1.3876E-001	DELTA= 3.1005E+002
x _{H2_0} = 1.0000E-001 kg/kg	g3= 1.1418E-001	DELTA1= 2.5874E-013
x _{C_0} = 1.0000E-001 kg/kg	h3= -1.3876E-001	DELTA2= -6.2401E-011
M1= -2.7196E+000	i3= 1.1418E-001	DELTA3= -8.6317E-011
M2= -1.2575E+000	RAZLIKA1= 5.0000E-002	H1= 8.3453E-016
M3= 3.1507E-001	RAZLIKA2= 4.9981E-002	K1= -2.0126E-013
Kp_1= 4.5778E-004	RAZLIKA3= 1.7594E-001	L1= -2.7840E-013
Kp_2= 5.5272E-002	RAZLIKA1= 2.4999E-002	RAVNOTEŽNI SASTAV (HETEROGENA FAZA):
Kp_3= 2.0657E+000	RAZLIKA2= 2.4960E-002	x _{CO_1} = 3.0803E-004
SUMAC= 3.8950E-002	RAZLIKA3= 5.9751E-002	x _{H2_1} = 8.6467E-003
SUMAO2= 5.2474E-002	RAZLIKA1= 1.2499E-002	x _{C_1} = 0.0000E+000
SUMAH2= 3.2050E-002	RAZLIKA2= 1.2423E-002	x _{CO2_1} = 1.7389E-001
SUMAN2= 1.4975E-001	RAZLIKA3= 1.4435E-002	x _{CH4_1} = 3.4671E-003
Kp_1= 4.5778E-004	RAZLIKA1= 6.2476E-003	x _{H2O_1} = 1.3061E-001
Kp_2= 5.5272E-002	RAZLIKA2= 6.0969E-003	x _{N2_1} = 6.8307E-001
Kp_3= 2.0657E+000	RAZLIKA3= 6.1743E-003	RAVNOTEŽNI SASTAV (HOMOGENA FAZA):
L= 7.4227E-001	RAZLIKA1= 3.1202E-003	y _{CO_1} = 3.0803E-004
M= 1.2153E+000	RAZLIKA2= 2.8205E-003	y _{H2_1} = 8.6467E-003
I= 3.8447E+000	RAZLIKA3= 2.9423E-003	y _{CO2_1} = 1.7389E-001
	RAZLIKA1= 1.5530E-003	y _{CH4_1} = 3.4671E-003
	RAZLIKA2= 9.6086E-004	y _{H2O_1} = 1.3061E-001
	RAZLIKA3= 1.1814E-003	y _{N2_1} = 6.8307E-001
	RAZLIKA1= 7.6227E-004	
	RAZLIKA2= 3.7769E-004	
	RAZLIKA3= 8.5765E-005	
	RAZLIKA1= 3.5395E-004	
	RAZLIKA2= 1.6499E-003	
	RAZLIKA3= 1.6164E-003	
	RAZLIKA1= 1.3255E-004	
	RAZLIKA2= 2.4424E-003	
	RAZLIKA3= 3.5560E-003	
	RAZLIKA1= 2.4168E-005	
	RAZLIKA2= 1.3194E-003	

PRILOG 48. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.6 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 350 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:

SASTAV OKLASKA KUKURUZA:

C= 4.6740E-001 kgC/kg_{goriva}
H= 5.4600E-002 kgH/kg_{goriva}
O= 3.4160E-001kg/kg_{goriva}
N= 3.8300E-002 kgN/kg_{goriva}
S= 1.2000E-003 kgS/kg_{goriva}
W= 8.5500E-002 kgW/kg_{goriva}
A= 1.1400E-002 kgA/kg_{goriva}

a2= -7.3922E+004
b2= -2.4681E-001
c2= 5.4354E+003
d2= 2.6991E+001
e2= 1.0000E+000

PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:

□
V_{vazduha} = 6.0000E-001 m³/h

VREME:

τ = 9.2200E-002 h

MASA UZORKA:

m_{uzorka} = 1.0000E-002 kg

TEMPERATURA:

t = 3.5000E+002 °C

PRITISAK:

p = 1.0130E+005 Pa

PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI

MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:

yCO₀= 1.0000E-001 kg/kg
yH_{2_0}= 1.0000E-001 kg/kg

M1= -3.2556E+000
M2= -1.6977E-001
M3= 1.1473E+000

Kp₁= 1.3322E-004
Kp₂= 6.7644E-001
Kp₃= 1.4037E+001

SUMAO₂= 6.4928E-002
SUMAH₂= 3.2050E-002
SUMAN₂= 1.9663E-001

Kp₁= 1.3322E-004
Kp₂= 6.7644E-001
Kp₃= 1.4037E+001

L= 4.9362E-001
M= 3.0284E+000

a1= 6.0327E+005
b1= 2.5142E+000
c1= 1.8144E+004
d1= 1.3495E+001
e1= 1.0000E+000
f1= -1.0000E+000

RAZLIKA1= 4.9994E-002
RAZLIKA2= 4.9924E-002
RAZLIKA1= 2.4991E-002
RAZLIKA2= 2.4810E-002
RAZLIKA1= 1.2484E-002
RAZLIKA2= 1.2103E-002
RAZLIKA1= 6.2183E-003
RAZLIKA2= 5.4576E-003
RAZLIKA1= 3.0623E-003
RAZLIKA2= 1.5996E-003
RAZLIKA1= 1.4412E-003
RAZLIKA2= 1.1346E-003
RAZLIKA1= 5.7037E-004
RAZLIKA2= 2.8693E-003
RAZLIKA1= 1.2721E-004
RAZLIKA2= 1.9810E-003
RAZLIKA1= 6.5901E-006
RAZLIKA2= 2.3520E-004
RAZLIKA1= 1.4821E-008
RAZLIKA2= 1.1360E-006
RAZLIKA1= 2.6077E-014
RAZLIKA2= 9.1808E-012

FUN1= -1.5555E-010
FUN2= -7.2919E-011
FUN1_1= 1.5587E+003
FUN1_2= 2.1371E+001
FUN2_1= -9.6518E+001
FUN2_2= 7.6684E+000
DELTA= 1.4015E+004
DELTA1= -3.6548E-010
DELTA2= 1.2867E-007
H1= -2.6078E-014
K1= 9.1808E-012

RAVNOTEŽNI SASTAV

(HOMOGENA FAZA):

yCO₁= 1.1044E-003
yH_{2_1}= 1.2328E-002
yCO_{2_1}= 1.8266E-001
yCH_{4_1}= 2.0512E-003
yH_{2O_1}= 9.8257E-002
yN_{2_1}= 7.0360E-001

PRILOG 49. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.6 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 400 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:

SASTAV OKLASKA KUKURUZA:

C= 4.6740E-001 kgC/kg_{goriva}
H= 5.4600E-002 kgH/kg_{goriva}
O= 3.4160E-001kg/kg_{goriva}
N= 3.8300E-002 kgN/kg_{goriva}
S= 1.2000E-003 kgS/kg_{goriva}
W= 8.5500E-002 kgW/kg_{goriva}
A= 1.1400E-002 kgA/kg_{goriva}

PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:

□
V_{vazduha} = 6.0000E-001 m³/h

VREME:

τ = 1.0800E-001 h

MASA UZORKA:

m_{uzorka} = 1.0000E-002 kg

TEMPERATURA:

t = 4.0000E+002 °C

PRITISAK:

p = 1.0130E+005 Pa

PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI
MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:

yCO₀= 1.0000E-001 kg/kg
yH_{2_0}= 1.0000E-001 kg/kg

M1= -3.7897E+000
M2= 9.0860E-001
M3= 1.9794E+000

Kp₁= 3.8948E-005
Kp₂= 8.1022E+000
Kp₃= 9.5368E+001

SUMAO₂= 7.3818E-002
SUMAH₂= 3.2050E-002
SUMAN₂= 2.3009E-001

Kp₁= 3.8948E-005
Kp₂= 8.1022E+000
Kp₃= 9.5368E+001

L= 4.3417E-001
M= 3.1169E+000

a1= 5.1473E+004
b1= 2.5585E+000
c1= 2.7176E+003
d1= 3.9455E+000
e1= 1.0000E+000
f1= -1.0000E+000

a2= -5.4284E+003
b2= -2.1709E-001
c2= 8.3161E+002
d2= 7.8909E+000
e2= 1.0000E+000

RAZLIKA1= 4.9931E-002
RAZLIKA2= 4.9652E-002
RAZLIKA1= 2.4893E-002
RAZLIKA2= 2.3994E-002
RAZLIKA1= 1.2302E-002
RAZLIKA2= 1.0423E-002
RAZLIKA1= 5.8695E-003
RAZLIKA2= 2.4995E-003
RAZLIKA1= 2.4443E-003
RAZLIKA2= 2.2249E-003
RAZLIKA1= 6.3908E-004
RAZLIKA2= 2.6701E-003
RAZLIKA1= 4.8719E-005
RAZLIKA2= 4.9181E-004
RAZLIKA1= 2.6455E-007
RAZLIKA2= 5.2823E-006
RAZLIKA1= 6.3910E-012
RAZLIKA2= 2.5498E-010

FUN1= -8.5163E-011
FUN2= -1.3218E-009
FUN1_1= 4.5234E+002
FUN1_2= 1.1672E+001
FUN2_1= -2.6603E+001
FUN2_2= 4.5173E+000
DELTA= 2.3538E+003
DELTA1= -1.5043E-008
DELTA2= 6.0019E-007
H1= -6.3910E-012
K1= 2.5498E-010

**RAVNOTEŽNI SASTAV
(HOMOGENA FAZA):**

yCO₁= 3.8722E-003
yH_{2_1}= 1.8823E-002
yCO_{2_1}= 1.8747E-001
yCH_{4_1}= 1.3980E-003
yH_{2O_1}= 7.7422E-002
yN_{2_1}= 7.1102E-001

PRILOG 50. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.6 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 450 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:

SASTAV OKLASKA KUKURUZA:

C= 4.6740E-001 kgC/kg_{goriva}
H= 5.4600E-002 kgH/kg_{goriva}
O= 3.4160E-001kg/kg_{goriva}
N= 3.8300E-002 kgN/kg_{goriva}
S= 1.2000E-003 kgS/kg_{goriva}
W= 8.5500E-002 kgW/kg_{goriva}
A= 1.1400E-002 kgA/kg_{goriva}

a2= -5.2034E+002
b2= -1.7636E-001
c2= 1.6603E+002
d2= 2.7201E+000
e2= 1.0000E+000

PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:

□

V_{vazduha} = 6.0000E-001 m³/h

VREME:

τ = 1.3830E-001 h

MASA UZORKA:

m_{uzorka} = 1.0000E-002 kg

TEMPERATURA:

t = 4.5000E+002 °C

PRITISAK:

p = 1.0130E+005 Pa

PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI
MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:

yCO₀= 1.0000E-001 kg/kg
yH_{2_0}= 1.0000E-001 kg/kg

M1= -4.2523E+000
M2= 1.8367E+000
M3= 2.7012E+000

Kp₁= 1.3426E-005
Kp₂= 6.8666E+001
Kp₃= 5.0252E+002

SUMAO₂= 9.0867E-002
SUMAH₂= 3.2050E-002
SUMAN₂= 2.9425E-001

Kp₁= 1.3426E-005
Kp₂= 6.8666E+001
Kp₃= 5.0252E+002

L= 3.5271E-001
M= 3.2383E+000

a1= 6.2526E+003
b1= 2.6191E+000
c1= 5.2797E+002
d1= 1.3601E+000
e1= 1.0000E+000
f1= -1.0000E+000

RAZLIKA1= 4.9399E-002
RAZLIKA2= 4.9367E-002
RAZLIKA1= 2.4075E-002
RAZLIKA2= 2.1843E-002
RAZLIKA1= 1.0875E-002
RAZLIKA2= 6.6863E-003
RAZLIKA1= 3.7248E-003
RAZLIKA2= 4.5545E-004
RAZLIKA1= 5.6132E-004
RAZLIKA2= 8.1766E-004
RAZLIKA1= 1.2987E-005
RAZLIKA2= 4.4076E-005
RAZLIKA1= 6.6557E-009
RAZLIKA2= 4.1032E-008
RAZLIKA1= 1.6150E-015
RAZLIKA2= 1.6834E-014

FUN1= 1.3478E-013
FUN2= -6.3800E-014
FUN1_1= 1.5694E+002
FUN1_2= 7.0572E+000
FUN2_1= -8.1015E+000
FUN2_2= 3.0122E+000
DELTA= 5.2991E+002
DELTA1= -8.5623E-013
DELTA2= 8.9209E-012
H1= -1.6158E-015
K1= 1.6835E-014

**RAVNOTEŽNI SASTAV
(HOMOGENA FAZA):**

yCO₁= 1.1352E-002
yH_{2_1}= 2.3421E-002
yCO_{2_1}= 1.9011E-001
yCH_{4_1}= 7.4603E-004
yH_{2O_1}= 5.3594E-002
yN_{2_1}= 7.2078E-001

PRILOG 51. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.6 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 500 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:

SASTAV OKLASKA KUKURUZA:

C= 4.6740E-001 kgC/kg_{goriva}
H= 5.4600E-002 kgH/kg_{goriva}
O= 3.4160E-001kg/kg_{goriva}
N= 3.8300E-002 kgN/kg_{goriva}
S= 1.2000E-003 kgS/kg_{goriva}
W= 8.5500E-002 kgW/kg_{goriva}
A= 1.1400E-002 kgA/kg_{goriva}

PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:

□
V_{vazduha} = 6.0000E-001 m³/h

VREME:

τ = 1.6280E-001 h

MASA UZORKA:

m_{uzorka} = 1.0000E-002 kg

TEMPERATURA:

t = 5.0000E+002 °C

PRITISAK:

p = 1.0130E+005 Pa

PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI
MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:

yCO₀= 1.0000E-001 kg/kg
yH_{2_0}= 1.0000E-001 kg/kg

M1= -4.6572E+000
M2= 2.6436E+000
M3= 3.3327E+000

Kp₁= 5.2845E-006
Kp₂= 4.4016E+002
Kp₃= 2.1511E+003

SUMAO₂= 1.0465E-001
SUMAH₂= 3.2050E-002
SUMAN₂= 3.4614E-001

Kp₁= 5.2845E-006
Kp₂= 4.4016E+002
Kp₃= 2.1511E+003

L= 3.0625E-001
M= 3.3075E+000

a1= 9.9135E+002
b1= 2.6538E+000
c1= 1.2497E+002
d1= 5.3532E-001
e1= 1.0000E+000
f1= -1.0000E+000

a2= -7.0482E+001
b2= -1.5313E-001
c2= 3.9881E+001
d2= 1.0706E+000
e2= 1.0000E+000

RAZLIKA1= 4.6137E-002
RAZLIKA2= 5.0520E-002
RAZLIKA1= 1.9568E-002
RAZLIKA2= 1.8013E-002
RAZLIKA1= 5.4548E-003
RAZLIKA2= 3.1936E-003
RAZLIKA1= 4.9532E-004
RAZLIKA2= 6.3106E-005
RAZLIKA1= 4.0853E-006
RAZLIKA2= 1.6839E-006
RAZLIKA1= 2.7240E-010
RAZLIKA2= 2.8492E-010
RAZLIKA1= 0.0000E+000
RAZLIKA2= 0.0000E+000

FUN1= 0.0000E+000
FUN2= 3.4694E-018
FUN1_1= 6.2370E+001
FUN1_2= 4.5719E+000
FUN2_1= -3.0230E+000
FUN2_2= 2.1907E+000
DELTA= 1.5045E+002
DELTA1= 1.5862E-017
DELTA2= -2.1639E-016
H1= 1.0543E-019
K1= -1.4383E-018

**RAVNOTEŽNI SASTAV
(HOMOGENA FAZA):**

yCO₁= 2.8340E-002
yH_{2_1}= 2.8212E-002
yCO_{2_1}= 1.8485E-001
yCH_{4_1}= 4.2605E-004
yH_{2O_1}= 3.7651E-002
yN_{2_1}= 7.2052E-001

PRILOG 52. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.6 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 550 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:

SASTAV OKLASKA KUKURUZA:

C= 4.6740E-001 kgC/kg_{goriva}
H= 5.4600E-002 kgH/kg_{goriva}
O= 3.4160E-001kg/kg_{goriva}
N= 3.8300E-002 kgN/kg_{goriva}
S= 1.2000E-003 kgS/kg_{goriva}
W= 8.5500E-002 kgW/kg_{goriva}
A= 1.1400E-002 kgA/kg_{goriva}

PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:

□
V_{vazduha} = 6.0000E-001 m³/h

VREME:

τ = 1.7880E-001 h

MASA UZORKA:

m_{uzorka} = 1.0000E-002 kg

TEMPERATURA:

t = 5.5000E+002 °C

PRITISAK:

p = 1.0130E+005 Pa

PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI
MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:

yCO₀= 1.0000E-001 kg/kg
yH_{2_0}= 1.0000E-001 kg/kg

M1= -5.0151E+000
M2= 3.3512E+000
M3= 3.8894E+000

Kp₁= 2.3182E-006
Kp₂= 2.2448E+003
Kp₃= 7.7518E+003

SUMAO₂= 1.1366E-001
SUMAH₂= 3.2050E-002
SUMAN₂= 3.8002E-001

Kp₁= 2.3182E-006
Kp₂= 2.2448E+003
Kp₃= 7.7518E+003

L= 2.8199E-001
M= 3.3437E+000

a1= 1.9601E+002
b1= 2.6718E+000
c1= 3.4915E+001
d1= 2.3483E-001
e1= 1.0000E+000
f1= -1.0000E+000

a2= -1.2725E+001
b2= -1.4100E-001
c2= 1.1225E+001
d2= 4.6967E-001
e2= 1.0000E+000

RAZLIKA1= 3.1379E-002
RAZLIKA2= 5.6243E-002
RAZLIKA1= 7.0800E-003
RAZLIKA2= 1.0297E-002
RAZLIKA1= 3.9367E-004
RAZLIKA2= 4.3810E-004
RAZLIKA1= 1.2023E-006
RAZLIKA2= 9.6014E-007
RAZLIKA1= 1.1018E-011
RAZLIKA2= 5.5964E-012

FUN1= 3.2388E-010
FUN2= -5.0041E-012
FUN1_1= 2.7796E+001
FUN1_2= 3.1504E+000
FUN2_1= -1.3265E+000
FUN2_2= 1.7174E+000
DELTA= 5.1915E+001
DELTA1= -5.7199E-010
DELTA2= -2.9054E-010
H1= -1.1018E-011
K1= -5.5964E-012

**RAVNOTEŽNI SASTAV
(HOMOGENA FAZA):**

yCO₁= 6.1146E-002
yH_{2_1}= 3.3021E-002
yCO_{2_1}= 1.6872E-001
yCH_{4_1}= 2.5606E-004
yH_{2O_1}= 2.6386E-002
yN_{2_1}= 7.1047E-001

PRILOG 53. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.6 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 600 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:

SASTAV OKLASKA KUKURUZA:

C= 4.6740E-001 kg_C/kg_{goriva}
H= 5.4600E-002 kg_H/kg_{goriva}
O= 3.4160E-001 kg_O/kg_{goriva}
N= 3.8300E-002 kg_N/kg_{goriva}
S= 1.2000E-003 kg_S/kg_{goriva}
W= 8.5500E-002 kg_W/kg_{goriva}
A= 1.1400E-002 kg_A/kg_{goriva}

PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:

V_{vazduha} = 6.0000E-001 m³/h

VREME:

τ = 2.0020E-001 h

MASA UZORKA:

m_{uzorka} = 1.0000E-002 kg

TEMPERATURA:

t = 6.0000E+002 °C

PRITISAK:

p = 1.0130E+005 Pa

PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI
MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMESI:

y_{CO_0} = 1.0000E-001 kg/kg
y_{H2_0} = 1.0000E-001 kg/kg

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 = 1.2570E-001
SUMAH2 = 3.2050E-002
SUMAN2 = 4.2534E-001

Kp_1 = 1.1126E-006
Kp_2 = 9.4716E+003
Kp_3 = 2.4183E+004

L = 2.5498E-001
M = 3.3839E+000

a1 = 4.6886E+001
b1 = 2.6920E+000
c1 = 1.1276E+001
d1 = 1.1270E-001
e1 = 1.0000E+000
f1 = -1.0000E+000

a2 = -2.7270E+000
b2 = -1.2749E-001
c2 = 3.6548E+000
d2 = 2.2541E-001
e2 = 1.0000E+000

RAZLIKA1 = 1.4535E-002
RAZLIKA2 = 6.6863E-002
RAZLIKA1 = 3.0063E-004
RAZLIKA2 = 2.0443E-003
RAZLIKA1 = 1.7724E-008
RAZLIKA2 = 1.0741E-006
RAZLIKA1 = 2.5244E-014
RAZLIKA2 = 1.2133E-013

FUN1 = -6.9722E-014
FUN2 = 1.8961E-013
FUN1_1 = 1.3801E+001
FUN1_2 = 2.2961E+000
FUN2_1 = -6.2195E-001
FUN2_2 = 1.4334E+000
DELTA = 2.1210E+001
DELTA1 = 5.3530E-013
DELTA2 = -2.5734E-012
H1 = 2.5238E-014
K1 = -1.2133E-013

**RAVNOTEŽNI SASTAV
(HOMOGENA FAZA):**

y_{CO_1} = 1.1423E-001
y_{H2_1} = 3.5182E-002
y_{CO2_1} = 1.3957E-001
y_{CH4_1} = 1.3951E-004
y_{H2O_1} = 1.6835E-002
y_{N2_1} = 6.9404E-001

PRILOG 54. REZULTATI PRORAČUNA RAVNOTEŽNOG SASTAVA GASIFIKACIJE OKLASKA KUKURUZA U KOMADU, SA UVOĐENJEM VAZDUHA PROTOKA 0.6 m³/h U REAKCIONI PROSTOR PRI TEMPERATURI 650 °C I PRITISKU 1.013 · 10⁵ Pa (MERENJE 1)

Unesi:

SASTAV OKLASKA KUKURUZA:

C= 4.6740E-001 kgC/kg_{goriva}
H= 5.4600E-002 kgH/kg_{goriva}
O= 3.4160E-001kg/kg_{goriva}
N= 3.8300E-002 kgN/kg_{goriva}
S= 1.2000E-003 kgS/kg_{goriva}
W= 8.5500E-002 kgW/kg_{goriva}
A= 1.1400E-002 kgA/kg_{goriva}

PROTOK INJEKTIRANOG VAZDUHA:

□
V_{vazduha} = 6.0000E-001 m³/h

VREME:

τ = 2.1530E-001 h

MASA UZORKA:

m_{uzorka} = 1.0000E-002 kg

TEMPERATURA:

t = 6.5000E+002 °C

PRITISAK:

p = 1.0130E+005 Pa

PRETPOSTAVLJENE POČETNE VREDNOSTI
MASENIH UDELA U RAVNOTEŽNOJ SMEŠI:

yCO₀= 1.0000E-001 kg/kg
yH_{2_0}= 1.0000E-001 kg/kg

M1= -5.6199E+000
M2= 4.5327E+000
M3= 4.8247E+000

Kp₁= 5.7581E-007
Kp₂= 3.4092E+004
Kp₃= 6.6781E+004

SUMAO₂= 1.3419E-001
SUMAH₂= 3.2050E-002
SUMAN₂= 4.5732E-001

Kp₁= 5.7581E-007
Kp₂= 3.4092E+004
Kp₃= 6.6781E+004

L= 2.3884E-001
M= 3.4080E+000

a1= 1.3098E+001
b1= 2.7040E+000
c1= 4.1017E+000
d1= 5.8329E-002
e1= 1.0000E+000
f1= -1.0000E+000

a2= -7.0967E-001
b2= -1.1942E-001
c2= 1.3358E+000
d2= 1.1666E-001
e2= 1.0000E+000

RAZLIKA1= 9.7506E-002
RAZLIKA2= 7.1766E-002
RAZLIKA1= 1.3894E-002
RAZLIKA2= 8.2363E-003
RAZLIKA1= 3.0242E-004
RAZLIKA2= 1.4495E-004
RAZLIKA1= 1.4643E-007
RAZLIKA2= 5.7912E-008
RAZLIKA1= 3.4833E-014
RAZLIKA2= 1.1671E-014

FUN1= 2.4625E-013
FUN2= -2.6153E-014
FUN1_1= 7.6560E+000
FUN1_2= 1.7561E+000
FUN2_1= -3.3069E-001
FUN2_2= 1.2534E+000
DELTA= 1.0177E+001
DELTA1= -3.5457E-013
DELTA2= 1.1879E-013
H1= -3.4842E-014
K1= 1.1673E-014

**RAVNOTEŽNI SASTAV
(HOMOGENA FAZA):**

yCO₁= 1.8331E-001
yH_{2_1}= 3.6615E-002
yCO_{2_1}= 9.9845E-002
yCH_{4_1}= 7.8200E-005
yH_{2O_1}= 1.0181E-002
yN_{2_1}= 6.6997E-001