

**UNIVERZITET U BANJALUCI
OJ-TEHNOLOŠKI FAKULTET
STEPE STEPANOVIĆA 73, 78000 BANJA LUKA
NAUČNO-NASTAVNOM VIJEĆU**

**Predmet: Izvještaj o ocjeni podobnosti teme i kandidata mr Saše Papuge
za izradu doktorske teze**

Odlukom Naučno-nastavnog vijeća Tehnološkog fakulteta Univerziteta u Banjaluci br.15/3.1041-6/12 od 07.06.2012. godine imenovani smo u Komisiju za ocjenu podobnosti teme i kandidata mr Saše Papuge za izradu doktorske teze pod nazivom „**Kopioliza otpadne plastike i biomase**“.

Komisija u sastavu:

1. **Dr Petar Gvero, vanredni profesor** Mašinskog fakulteta Univerziteta u Banjaluci, uža naučna oblast Termotehnički sistemi,
2. **Dr Radana Đudić, redovni profesor** Tehnološkog fakulteta Univerziteta u Banjaluci, uža naučna oblast Organska hemija,
3. **Dr Milorad Maksimović, redovni profesor** Tehnološkog fakulteta Univerziteta u Banjaluci, uža naučna oblast Reakcijsko inženjerstvo (Procesno inženjerstvo),
4. **Dr Ljiljana Vukić, vanredni profesor** Tehnološkog fakulteta Univerziteta u Banjaluci, uža naučna oblast Reakcijsko inženjerstvo (Ekološko inženjerstvo) i
5. **Dr Aleksandar Jovović, vanredni profesor** Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, uža naučna oblast Procesna tehnika,

pregledala je materijal prijave teme za izradu doktorske teze kandidata mr Saše Papuga i podnosi slijedeći

I Z V J E Š T A J

1. BIOGRAFSKI PODACI, NAUČNA I STRUČNA DJELATNOST KANDIDATA

1.1 Osnovni biografski podaci

Saša Papuga je rođen 03.04.1976. godine u Brčkom. Osnovnu i srednju elektrotehničku školu je završio u Brčkom. Maturirao je 1994. godine sa odličnim uspjehom. Tehnološki fakultet u Banjaluci, hemijsko-tehnološki odsjek, upisao je školske 1996/97 godine. Diplomski rad pod nazivom „Tretman teških metala u otpadnim vodama galvanskih postrojenja“ odbranio je 2002.g. Prosječna ocjena tokom studiranja iznosila je 8,94. U toku studiranja proveo je dva mjeseca u studentskoj praksi na naučno-istraživačkom institutu *Hydro Research Center*, kraljevina Norveška, te pet mjeseci na Univerzitetu Kaiserslautern, SR Njemačka, pri izradi diplomskog rada u okviru *DAAD* projekta.

Postdiplomski studij na Tehnološkom fakultetu u Banjaluci upisao je školske 2003/04. godine. Magistarski rad: „Matematički model rotacione sušare za piljevinu“, odbrano je 05.02.2009.g. Prosječna ocjena tokom magistarskog studija je iznosila 10.

Od 01.03.2003.g. do 30.09.2003.g. je zaposlen kao stručni saradnik na Institutu zaštite, ekologije i informatike, Banja Luka. Od 01.10.2003.g. je zaposlen na Tehnološkom fakultetu Univerziteta u Banjaluci, izborom u zvanje asistenta na predmetu „Tehnička termodinamika“. 2009 godine izabran je u zvanje višeg asistenta za užu naučnu oblast Reakcijsko inženjerstvo. Takođe, angažovan je i na nastavi na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Banja Luci.

Učestvovao je u više međunarodnih i domaćih naučnoistraživačkih projekta. 2007/08.g. angažovan je od strane UNDP-a pri izradi dokumenta: „Prvi nacionalni izvještaja BiH u skladu sa Okvirnom konvencijom Ujedinjenih nacija o klimatskim promjenama“ - UNFCCC, a kao ekspert za upravljanje otpadom. 2011/12.g. učestvovao je u izradi prvog NEEAP-a BiH (Nacionalni akcioni plan za energetska efikasnost). Koautor je na više naučnih radova kao i studija izvodljivosti primjene različitih sistema za upravljanje otpadom (medicinski otpad, životinjski otpad, komunalni otpad), kao i plana za korišćenje obnovljivih energetskih resursa i smanjenje emisije gasova staklene bašte za Grad Banja Luku.

Član je Savjeta za klimatske promjene Grada Banja Luke.

Kandidat odlično vlada engleskim jezikom, odnosno posjeduje pasivno i aktivno znanje jezika. Takođe kandidat se koristi i njemačkim jezikom.

Oženjen, otac dvoje djece.

1.2 Bibliografija

NAPOMENA: Radovi označeni podebljanim (**bold**) slovima objavljeni su iz područja kojem pripada prijavljena tema disertacije i imaju naučnu težinu.

Radovi objavljeni u naučnim časopisima

1. **Gvero P. M., Tica G.S., Petrović S.I., Papuga S. V., Jakšić B.M., Roljić L.M., (2010), Renewable Energy Sources and Their Potential Role in Mitigation of Climate Changes and as a Sustainable Development Driver in Bosnia and Herzegovina, Thermal Science, 14 No.3, 641-654. (Naučni časopis međunarodnog značaja koji se nalazi na SCI listi)**

U radu je data analiza potencijalnih veza između raspoloživih obnovljivih energetske izvora i održivog razvoja u zemlji. Posebno se obrađuje problematika korišćenja biomase u energetske svrhe, uključujući i pitanja vezana za fleš pirolizu. Daju se količine otpadne biomase uključujući i procjene količina otpadne piljevine. U radu se obrađuju i pitanja vezana za mogućnosti reciklaže otpadnih materijala iz komunalnog otpada.

2. **Papuga S., Maksimović M., Petrović P., (2009), Mathematical modeling for drying of sawdust in a triple pass rotary dryer, Journal of Engeneering & Processing Management, 1, 114-125.**

U ovom radu je dat vlastiti matematički model sušenja čestica biomase - piljevine, u troprolaznoj rotacionoj sušari. Rad obrađuje zasebno fenomene prenosa toplote i mase u česticama biomase, kao i kinetku procesa sušenja u karakterističnim uslovima. Obrađuju se tehnički aspekti sušenja u troprolaznoj rotacionoj sušari te se daje i matematički model zadržavanja čestica piljevine u bubnjevima sušare kao i model prenosa toplote u sušari. Navedeni fenomeni se kombinuju u jedinstven sistem jednačina odnosno odgovarajući matematički model.

3. Maksimović M., Mandić J., Papuga S., Vojinović Đ., (2004), Uklanjanje štetnih materija iz otpadnih voda postupcima reaktiviranja, Zbornik prirodno-matematičkih nauka, 6, 37-47.
4. Maksimović M., Mandić J., Malinović B., Papuga S., (2007), Upotreba inhibitora u rastvorima za nagrizanje metala na bazi kiselina, Glasnik hemičara i tehnologa Republike Srpske, 46, 105-110.

Radovi objavljeni na naučnim skupovima međunarodnog značaja, štampani u cjelini:

5. **Papuga S., Radić R., (2010), Inventar emisije CO₂ kao dio održivog energetskog akcionog plana za Grad Banjaluku, IX Savjetovanje hemičara i tehnologa Republike Srpske, Banja Luka, 12-13.11.2010, Zbornik radova, 478-489.**

U ovom radu je urađen proračun emisije CO₂ za Grad Banjaluku, te se razjašnjavaju specifičnosti metodologije ovakvog proračuna. Posebno se analizira emisija CO₂ koja nastaje kao posljedica sagorijevanja biomase.

6. Vukić Lj., Papuga S., Gvero P., (2006), Farme kao izvori zagađenja podzemnih i površinskih voda, Prvi međunarodni kongres „Ekologija, zdravlje, rad, sport“, Banjaluka, juni 2006, Zbornik radova, 98-103.
7. Davidović Đ., Davidović A., Papuga S., (2005), Strukturne promjene i promjene osobina materijala kotlovskih cijevi, Konferencija „Saradnja istraživača različitih struka na području korozije i zaštite materijala” povodom 50. godišnjice Saveza inženjera i tehničara za zaštitu materijala Srbije, Tara, 29.5-2.6.2005, Knjiga radova (Proceedings), 263-270.
8. Župljanin S., Bunić S., Papuga S., Kolonić Đ., Međedović, P., (2003), Studija o uticaju elektromagnetnog zračenja baznih stanica mobilne telefonije, Međunarodni kongres „Zdravlje za sve“, Banja Luka, 04-08.06.2003., Zbornik radova – Životna sredina i zdravlje“, 201-212.

Naučna monografija nacionalnog značaja

Vukić LJ., Botić T., Papuga S., Industrija kože i održivi razvoj, Tehnološki fakultet Univerziteta u Banjaluci, 2012. (ISBN 978-99955-81-05-3)

Univerzitetski udžbenik koji se koristi u zemlji

Petrović P., Papuga, S., Zbirka riješenih zadataka iz tehničke termodinamika, Tehnološki fakultet Univerziteta u Banjaluci, 2008.

Druge relevantne publikacije

Član stručnih timova za izradu sledećih dokumenata:

1. „Održivi energetske akcioni plan Grada Banja Luke“, Plan za smanjenje emisije CO₂ i povećanje korišćenja obnovljivih izvora energije prema Sporazumu - *Covenant of Mayors*, Grad Banja Luka, uz podršku Razvojnog programa UNDP, 2010.
2. „Prvi nacionalni izvještaja BiH u skladu sa Okvirnom konvencijom Ujedinjenih nacija o klimatskim promjenama“ ,UNDP, Banja Luka, 2009.
3. „Studija opravdanosti izgradnje sortirnice otpada za komunalno preduzeće Čistoća AD“, Studija izvodljivosti, Lir Consulting, Banja Luka, 2007.
4. „Rješavanje problema medicinskog otpada u Banjoj Luci“, Studija izvodljivosti, CARDS Project-Medwaste, EU Commision, LIR, Banja Luka, 2006.
5. „Medicinski otpad“, Brošura, CARDS Project-Medwaste, EU Commision, LIR, Banja Luka, 2006.
6. „Integralno rješavanje problema otpada sa farmi i klaonica u SZ BiH regionu“, Studija izvodljivosti, CARDS Project-Aniwaste, Eu Commision, Apis, Srbac 2005.

Magistarski rad: „Matematički model rotacione sušare za piljevinu“

U okviru magistarskog rada obrađena je problematika korišćenja obnovljivih energetskih izvora, prije svega drvne biomase, u svijetu i kod nas. Dat je pregled stanja biomase u Republici Srpskoj i cijeloj BiH: količine, korišćenje, vrste, potencijalne dobiti i dr. Takođe,

obrađena je i problematika prenosa toplote i mase, statika i kinetika procesa sušenja, te je dat pregled i analiza matematičkog modelovanje sušenja u rotacionim sušarama. Ovo je rezultiralo razvojem matematičkog modela troprolazne rotacione sušare za piljevinu, na bazi kojeg je izrađen simulacioni model rotacione sušare u vidu MATLAB programa.

U svrhu validacije matematičkog modela, u eksperimentalnom dijelu rada, analiziran je rad industrijske troprolazne rotacione sušare za drveni otpad, instalisane u pogonu preduzeća Panensa kod Srpsca. Upoređivane su vrijednosti temperatura vrelih gasova i vlažnosti piljevine na izlazu iz sušare (izlazni parametri) sa odgovarajućim vrijednostima koje se dobiju primjenom MATLAB simulacionog programa, za zadate radne uslove sušare tj. ulazne parametre. Stvarne vrijednosti izlaznih parametara i onih predviđenih modelom su pokazale veliko slaganje.

Razvijeni matematički model rotacione sušare, odnosno simulacioni program daje mogućnost boljeg vođenja i kontrole procesa u navedenoj industrijskoj sušari, ali i u drugim sušarama za drveni otpad uz promjenu odgovarajućih parametara modela.

1.3 Obavljeno naučno i stručno usavršavanje u inostranstvu

Hydro Research Centre, Department of Catalysis, Porsgurn, Norveška, jun-avgust 2001, eksperimentalni rad na istraživanju efektivne difuzivnosti gasova kroz različite katalizatore - studentska praksa.

Technische Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Bodenmechanik und Grundbau, Kaiserslautern, Njemačka, novembar 2001 - april 2002., eksperimentalna mjerenja pri izradi diplomskog rada (u okviru realizacije DAAD-projekta Akademischer Neuaufbau SOE, Umweltschutz – Schulung und Anwendung).

Technische Universität Kaiserslautern, Universität Heidelberg, Technische Universität Karlsruhe, Stadtentwässerung Kaiserslautern, Müllheizkraftwerk Pirmasens, Njemačka, oktobar 2003, studijska ekskurzija studenata i nastavnika Tehnoloških fakulteta Banjaluke, Tuzle i Mostara (u okviru DAAD-projekta Akademischer Neuaufbau SOE, Umweltschutz – Schulung und Anwendung)

Padova, Italija, studijska obilazak sistema za upravljanje čvrstim otpadom i otpadnim vodama, 2004, (u okviru realizacije projekta TABLUM - Technical Assistance to Banja Luka Municipality, INFORMEST, Banja Luka-B&H)

SWECO, Štokholm, Švedska, septembar- oktobar 2005, Međunarodni trening – Upravljanje čvrstim otpadom (International Training Programme - Solid Waste Management in South East Europe).

Provincia di Ferrara (municipalità Goro), Italija, oktobar 2007, Obuka za održavanje automatskih stanica za praćenje kvaliteta površinskih voda i korišćenje naprednih programskih paketa (u okviru realizacije AIA projekta - EU Commission, CARDS Project “Acquaculture in Adriatic” - AIA).

UNDP Montenegro office, Podgorica, Crna Gora, jul 2009, obuka za korišćenje LEAP softverskog paketa za procjenu mitigacije klimatskih promjena (LEAP, Long-range Energy Alternatives Planning System).

1.4 Učešće u naučnim projektima (naziv, rukovodilac, trajanje i naziv nosioca projekta)

EU Commission FP7 Project – „High-Performance Computing Infrastructure for South East Europe’s Research Communities“ -HP-SEE (No 261 499), 2010-2012, Univerzitet u Banja Luci, Elektrotehnički fakultet.

Ministarstvo nauke i tehnologije RS, „Kopirroliza otpadne plastike i biomase“, prof. dr Ljiljana Vukić, 2010-2012, Univerzitet u Banjaluci, Tehnološki fakultet.

EU Commission FP6 Project – „Flexible Premixed Burners For Low-Cost Domestic Heating Systems – FlexHeat“, INCO-CT-2004-509165-FlexHEAT, prof. dr Petar Gvero, 2004-2007, Univerzitet u Banja Luci, Mašinski fakultet.

Ministarstvo nauke i tehnologije RS, „Analiza mogućnosti i perspektive korišćenja kogeneracije i trigeneracije u RS“, prof. dr Zdravko Milovanović, 2008-2009, Univerzitet u Banja Luci, Mašinski fakultet.

EU Commission, CARDS Project, “Acqua- culture in Adriatic - AiA”, 2007-2008,

EU Commission, CARDS Project – “Solving of Medical Waste Problem in the City of Banja Luka – MEDWASTE”, 2005-2006.

EU Commission, CARDS Project - "The Integral solving of waste problem from farms and slaughterhouses in NW B&H Region - ANIWASTE" , 2004-2005.

2. ZNAČAJ I NAUČNI DOPRINOS ISTRAŽIVANJA

2.1.Značaj istraživanja

Kao rezultat stalnog povećanja potrošnje plastičnih materijala, dolazi i do stalnog povećanja produkcije otpadne plastike. Uviđajući značaj ovoga problema, EU je donijela niz Direktiva kojima zahtijeva, kako određen stepen reciklaže i ponovne upotrebe ovakvih materijala, tako i smanjenje količine otpada koji završi na deponiji Takođe, Vlada RS donijela je Uredbu o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom (Sl. Gl. RS, 2011), po ugledu na važeće EU Direktive, u kojoj se tretira i problematika otpadne plastike, te se postavlja cilj od 22,5 % reciklaže otpadne plastike i daje se prednost postupcima ponovne upotrebe, reciklaže i energetske obnove u odnosu na odlaganje na deponije.

Danas postoji niz tehnologija za reciklažu otpadne plastike, među kojima su posebno interesantne tehnologije termohemijske (sirovinske) reciklaže, odnosno procesi pirolize. Piroliza predstavlja termohemijski proces, kojim se usljed zagrijavanja izaziva razlaganje organske materije u inertnoj atmosferi. Kao proizvod pirolize nastaje čvrsta faza u vidu karbonizovane čađi i isparljiva frakcija koja se dalje razdvaja na kondenzabilne ugljovodonike (bio-ulje ili pirolitičko ulje), sastavljene od parafina, izoparafina, olefina, naftalena i aromatskih jedinjenja, i nekondenzabilni visokokalorični gas. Ovi procesi imaju prednost u odnosu na uobičajene procese mehaničke reciklaže zbog mogućnosti tretiranja smjese više različitih vrsta otpadne plastike, a koji ne moraju biti prethodno očišćeni od

drugih kontaminata. Takođe, za razliku od procesa energetske reciklaže tj. procesa insineracije sa korišćenjem toplote procesa, dolazi do znatno manje emisije otpadnih gasova, a istovremeno se dobija vrijedan produkt bio-ulje, koje se može koristiti kao gorivo ili kao polazna sirovina u industriji.

U zemljama zapadne Evrope, pored značajnog napretka u polju reciklaže, čak 61 % otpadne plastike koja se proizvodi još uvijek se odlaže na deponije. Preostalih 39 % se recikluje, pri čemu se samo 2 % (0,35 miliona tona) podvrgava procesima hemijske reciklaže. Domaća, zvanična statistika pruža uvid samo u količine otpadne plastike koja se proizvodi na godišnjem nivou, dok podaci o eventualnim količinama ovog otpada koji se podvrgava procesima reciklaže nisu dostupni. Ipak, može se pretpostaviti da se radi o količinama koje su daleko ispod navedenog prosjeka u zemljama zapadne Evrope, te da većina ovog otpada završi neiskorišćena, odložena na zvaničnim deponijama otpada, u najboljem slučaju. Kada je u pitanju otpadna biomasa, takođe nedostaje zvaničnih podataka, ali iz dostupne literature može se konstatovati da se radi o ogromnim količinama, koje su posljedica intenzivne primarne i sekundarne drvoprerađivačku industrije.

Posljednjih godina, istraživanja kopiroloze plastike i biomase postaju sve značajnija obezbjeđujući alternativni način zbrinjavanja i konverzije ovih, u osnovi otpadnih, materijala u vrijedne sirovine i goriva. Nekoliko autora u svojim istraživanjima pokazuju da je moguće zajedničkom pirolizom, odnosno kopirolizom, biomase i plastike ostvariti određeni sinergijski efekat u pogledu povećanja prinosa tečnih produkata procesa (pregled relevantnih istraživanja dat je u poglavlju Pregled istraživanja). Međutim, istovremeno nekoliko drugih autora navodi da u svojim istraživanjima nisu uočili, ili bar ne u značajnom nivou, sinergijski efekat kopiroloze plastike i biomase, što otvara mogućnosti za dalja istraživanja i karakterizaciju procesa pri različitim radnim uslovima. Ono što je karakteristično za navedena istraživanja je da su sprovedena, kako u različitim eksperimentalnim uslovima, često nedovoljno pojašnjenim, tako i u različitim tipovima reaktora. Isto tako, korišćene su različite vrste plastičnih materijala, različite vrste biomase, i različiti relativni udjeli plastike i biomase i različite granulacije čestica. Sve ovo čini poređenje procesa dosta složenim. U većini istraživanja, kao uzorak korišćeni su čisti (svježe sintetizovani) pojedinačni polimeri ili njihove smjese, pri čemu su birani ili fiksni udjeli pojedinih polimera ili je u nekim istraživanjima vršena i varijacija ovog udjela, kako bi se ispitalo optimalni udio pojedinih komponenata, što dodatno uslošnjava analizu i poređenje različitih sistema i eksperimentalnih uslova. Generalno, može se konstatovati da postoji značajna varijacija podataka o odgovarajućim uslovima procesa, konfiguraciji reaktorskih sistema, kako kada je u pitanju piroliza plastike i biomase, tako kada je u pitanju njihova kopiroloza.

Uzimajući u obzir prethodno navedene činjenice, kandidat će se bazirati na istraživanju optimalnih uslova pirolize otpadne plastike i biomase u pilot postrojenju koja će biti razvijeno za datu namjenu. Rezultati eksperimenata, odnosno odgovarajućih mjerenja i izračunavanja, će omogućiti analizu uticaja radnih uslova, prenosa toplote i kinetike procesa, na pirolizu otpadne plastike, kao i analizu mogućeg sinergetskog efekta kopiroloze otpadne plastike i biomase u predloženom postrojenju za pirolizu i pri datim radnim uslovima.

Dobijeni rezultati biće poređeni sa dostupnim podacima u literaturi i diskutovani u smislu međusobne povezanosti radnih uslova, prinosa reaktora i modela prenosa toplote i kinetike procesa, te konfiguracije predloženog pilot postrojenja za pirolizu.

2.2. Pregled istraživanja

Istraživanja procesa pirolize polimernih/plastičnih materijala su relativno novijeg datuma. Prisutno je niz radova koji obrađuju ovu tematiku, a neki od novijih radova su (Singh et al.2012), (Ding et al. 2012), (López et al. 2011a), (López et al. 2011b),

(Khaghanikavkani i Farid, 2011), (Siddiqui i Redhwi, 2009), (Panda et al. 2010), (Al-Salem et al. 2009), (Achilias, et al. 2008). Većina istraživanja bazira se na termogravimetrijskim analizama (TGA), te na ispitivanju kinetike procesa ili na ispitivanju uticaja različitih procesnih parametara, prije svega temperature i vremena reakcije, na prinos produkata. Data istpitivanja, se sprovode na malim uzorcima i najčešće u autoklavima, namjenskim uređajima za sprovođenje TGA i u reaktorima sa fiksnim slojem.

Takođe, većina istraživanja se sprovodi na čistim uzorcima polimera, dok svega nekoliko radova tretira tematiku otpadne plastike i smjesa različitih vrsta otpadne plastike. U pojedinim istraživanjima vrši se miješanje više vrsta čistih sintetizovanih polimera, te se na taj način pokušava simulirati sastav otpadne plastike. Piroliza uzoraka otpadne plastike može da se razlikuje od pirolize čistih polimera jer je moguće da su uzorci već djelomično degradirani, zaprljani česticam prašine i uopšte ostacima svog radnog okruženja. Takođe, teško je mljevenjem miješane otpadne plastike postići jenoličan sastav sirovine. Različiti aditivi koji se nalaze u gotovim proizvodima od plastike, mogu takođe imati uticaj na karakteristike pirolize samog polimera (Hall i Williams, 2006)

Ono što je karakteristično za većinu istraživanja, jeste da se kreće od neke fiksne brzine zagrijavanja uzorka, te se pri datoj brzini zagrijavanja ispituju uticaji svih drugih procesnih parametara. Međutim, poznato je da je sa većim brzinama zagrijavanja moguće dobiti veći prinos tečne faze, uz uslov dovoljno malog vremena zadržavanja odnosno reakcije u gasnoj fazi, u tom slučaju se govori o brznoj odnosno fleš pirolizi. Istovremeno dokazano je da sa povećanjem brzine zagrijavanja dolazi i do povećanja temperature pirolize. Takođe, određeni autori navode i mogućnosti kontrole i promjene brzine zagrijavanja u procesu, te primjenu višefazne pirolize, konkretno kod pirolize otpadnih guma, a u cilju iskorišćenja toplote egzotermnog dijela procesa za narednu endotermnu sekvencu, te na taj način smanjujući ukupnu potrošnju energije u procesu (Cheung et al. 2011a), (Cheung et al. 2011b), (Lam et al, 2011).

Detaljna studija mehanizama termičke depolimerizacije polimera izložena je u (Cullis et al.1981) gdje se predlažu 4 tipa mehanizma pirolize polimernih materijala, kako je navedeno u (Ofoma, 2006). Poznato je da se piroliza polietilena (PE) i polipropilena (PP) odvija po mehanizmu kidanja kraja lanaca uz stvaranje različitih oligomera i dimera (Demirbas, 2004).

U radu (Khaghanikavkani i Farid, 2011), dat je detaljan pregled dosadašnjih studija kinetike termičkog razlaganja otpadne plastike. Većina autora razmatra brzinu razlaganja PE i PP a uz primjenu standardnih kinetičkih zakonitosti za reakcije prvog reda, pri čemu se navodi veoma širok opseg mjerenih vrijednosti energije aktivacije od 160 do 498 kJ/kmol i predeksponencijalnog faktora i to čak 10^{11} do 10^{21} 1/s, u primjeru PE. Najčešće korišćena tehnika za određivanje navedenih kinetičkih parametara je TGA, pri čemu pouzdanost primjenjivane tehnike zavisi od niza pretpostavki i pojednostavljenja u izrazima za kinetiku procesa. Takođe, određeni autori su određivali kinetičke parametre na temelju destilacije produkata na različite frakcije, što dodatno otežava poređenje podataka. Primjenjivana su i mjerenja u izotermalnim i neizotermalnim uslovima, u većini studija može se uočiti da kinetički parametri dobijeni u izotermalnim uslovima neodgovaraju parametrima dobijenim u neizotermalnim uslovima.

Kada se radi o kvantitativnom i kvalitativnom sastavu produkata procesa pirolize, slično kao i kod prethodno opisane kinetike, može se uočiti jako širok opseg objavljenih rezultata. Ovo je svakako posljedica različitih radnih uslova procesa, različitih konfiguracija reakcionog sistema, različitog kvaliteta sirovina, kao i primjene različitih metoda uzorkovanja i analize dobijenih produkata (kondenzacija, apsorpcija sa različitim rastvaračima, direktna masena spektrofotometrija, gasna hromatografija sa različitim sistemima detekcije itd.). Sve ovo čini poređenje rezultata jako složenim. Ipak, u literaturi se može pronaći niz radova koji

daju pregled prinosa i kvaliteta dobijenih produkata u različitim istraživanjima. Neki od novijih radova su: (Siddiqui i Redhwi, 2009), (Williams i Slaney, 2007), (Jung i Fontana, 2006). Peterson i sar. (Peterson et al. 2001) navode da pri termogravimetrijskoj dekompoziciji PE, najvećim dijelom nastaje 1-heksen i propen, kako je navedeno u (Ofoma, 2006). Polimeri kao što su polistiren i polimetilmetakrilat pri pirolizi proizvode polazne monomere i druga monoaromska jedinjenja, uz ostale ugljovodonike, dok PE i PP daju prinos od svega 0-2% polaznih monomera te se kao takvi koriste za produkciju drugih ugljovodonika (Kiran et al. 2000).

Pregled nekih od komercijalizovanih procesa pirolize otpadne plastike može se naći u (UNEP, 2009), (Scheirs, 2006), (Arena et al. 2006), (Okuwaki et al. 2006), (Xingzhong, 2006).

Kada je riječ o pirolizi biomase, danas su od posebnog interesa procesi brze pirolize sa ciljem proizvodnje tečnih goriva, koja se mogu skladištiti i transportovati sa nižim troškovima u odnosu na čvrstu biomasu (IEA Bioenergy, 2007). Ovi procesi se sprovode na atmosferskom pritisku, relativno niskim temperaturama (400-450°C), velikim brzinama zagrijavanja (1000–10000 K/s), kratkom vremenu zadržavanja (do 2s) i brzom hlađenju gasa (Zhang et al. 2007). Ovi uslovi omogućavaju da se intermedijerni tečni produkti kondenzuju prije stupanja u sekundarne reakcije, koje dovode do kidanja većih molekulskih lanaca, te stvaranja gasovitih-nekondenzabilnih produkata.

Težište većine istraživanja je na primjeni produkata pirolize u energetke svrhe, s obzirom na rastuće zahtjeve u pogledu smanjenja emisije gasova staklene bašte, jer se radi obnovljivom izvoru i CO₂ neutralnom izvoru energije. Međutim, pored korišćenja produkata pirolize kao goriva, isti se mogu koristiti i za druge namjene. Npr. tečni produkti sadrže niz hemijskih jedinjenja koja se mogu koristiti kao sirovine za sintezu niz drugih jedinjenja, adheziva, đubriva, smola, za proizvodnju vodonika, dodataka hrani, hidroksiacetat aldehida, levoglukozana, itd. (Bridgwater, 2002).

Slično kao i kod procesa pirolize plastike, sastav i količina produkata kod pirolize biomase zavise od niza faktora, kao što su u radni uslovi (brzina zagrijavanja, temperatura, vrijeme reakcije, pritisak i dr.), tipa i kvaliteta sirovine, konfiguracije racionog sistem i dr. Sve ovo čini poređenje rezultata različitih istraživanja veoma otežanim. Generalno, oko 45-70% (suve) biomase može se prevesti kondenzabilne pare (bio-ulje), 10-25% se prevedu u nekondenzabilne gasove i oko 10-30% se prevedu u čađ, odnosno poručne ugljenične čestice (Bridgwater, Peacocke, 2000). U (Bajus, 2010) predstavljeni su rezultati istraživanja procesa spore pirolize biomase, u obliku bukove piljevine, u šaržnom reaktoru na temperaturama od 350 do 450 °C i vremenu reakcije od 95 min..

Osnovni elementi sistema za brzu pirolizu uključuju doziranje, sušenje, usitnjavanje sirovine, predtretman, konfiguraciju reaktora, izvor toplote, prenos toplote, vrijeme reakcije, temperaturu reakcije, vrijeme zadržavanja para u reaktoru, sekundarno kreiranje, separaciju čađi i sakupljanje tečnih produkata. Pregled i diskusija prethodno pomenutih elemenata sistema brze pirolize dat je u (Bridgwater, 1999).

Iako se tehnologije brze pirolize biomase razvijaju još od 80-tih godina prošlog vijeka, još uvijek nisu potpuno komercijalizovane i postoji niz tehničkih aspekata koje je potrebno riješiti, kao što su obezbjeđenje toplote za proces, prenos toplote, hidrodinamika procesa (kod sistema sa fluidizovanim slojem), održavanje odgovarajućeg prinosa reaktora, separacija čađi, priprema biomase, scale-up, doziranje sirovine, kontrola sekundarnih reakcija, definisanje odgovarajućeg kvaliteta produkata, monitoring i kontrola (Bridgwater, 2002).

Posljednjih godina, tehnologije koprolirolize postaju sve značajnije jer obezbjeđuju jedan alternativan način zbrinjavanja i konverzije plastičnih polimera i lignoceluloznih materija u vrijedne sirovine i goriva. Na taj način ne samo da se izbjegava neracionalno odlaganje

ovakvih potencijalno vrijednih materijala, već se obezbjeđuje i potencijalno gorivo ili izvor sirovih hemikalija za niz industrijskih i drugih aplikacija (Paradela et al.2009), (Cornelissen et al. 2008a); (Rutkowski et al. 2005), (Cornelissen et al. 2008b)

Rezultati više istraživanja navode da je moguće smjesu drvnih materijala sa PE i PP prevesti u tečne produkte primjenom tehnika kopiroolize, te se navodi na postojanje sinergetskog dejstva u vidu povećanja prinosa tečnih produkata (Sharypov et al. 2003), (Marin et al. 2002), (Sharypov et al. 2002),

U kompleksnom istraživanju kopiroolize više različitih vrsta drvene biomase i čistog sintetskog PE i PP (individualno) dokazano je da sastav sirovine, priroda i biomase i polimera, kao i primijenjeni radni uslovi procesa imaju veliki uticaj na prinos, hemijsku strukturu i fizičke osobine dobijenih produkata (Sharypov et al. 2002). Preliminarnim TGA ispitivanjima pokazano je da se biomasa termički razlaže na nižim temperaturama u odnosu na ispitivane polimere, te da svaka komponenta pokazuje nezavisno termičko ponašanje u ispitivanoj smjesi biomasa/plastika (1:1 maseni odnos). Proces je ispitivan na temperaturama od 360 do 450°C), te se navodi da je za datu smjesu (1:1) optimalna temperatura konverzije 400 °C, odnosno temperatura pri kojoj se dobija maksimalan prinos od 18,5% (maseni procenti) tečnih produkata. Nadalje, za datu temperaturu ispituje se optimalan odnos biomasa/plastika, te što je posebno interesantno, dokazuje se da za smjese koje sadrže više od 50% plastike se javlja neaditivan efekat prinosa tečne faze. Ovo se ogleda u tome da je prinos tečne faze veći nego kada se uzme očekivani prinos koji bi dobili kao prostu sumu prinosa pirolize biomase + prinos pirolize plastike. Ustanovljeno je da se za smjesu od 80% PP i 20% drvene biomase dobija prinos tečne faze koji je više od dvostruko veći od očekivanog. Ova ispitivanja su sprovedena u rotacionom autoklavu zapremine 0,250 l (Sharypov et al. 2002). U navedenom istraživanju nije opisana dinamika zagrijavanja, samo se navodi da je termički tretman trajao od 1-3 h, a poznato je da je dinamika zagrijavanja jedan od osnovnih parametara koji utiču na prinos pirolize, kako biomase, tako i plastike, što je već opisano u ovom poglavlju. Ipak, jasno je da se radi o procesu spore pirolize.

U radu (Rutkowski et al. 2005) istraživana je piroliza celuloze (C), polistirena (PS) i smjese celuloza/polistiren (9:1, 3:1, 1:1, 1:3), a u cilju dobijanja bio-ulja. Prinos pirolitičkog ulja iznosio je od 45,5 do 94,8%, zavisno od sastava sirovine. U zaključku se navodi da dodatak PS ima pozitivan efekat na pirolizu celuloze u smislu povećanja prinosa bio-ulja, te da je hemijski sastav dobijenog bio-ulja u strogoj zavisnosti od dodatka PS. Istraživanja su vršena u rektoru tipa rotacione peći, sa uzorcima od 50g, pri fiksnoj brzini zagrijavanja od 20 °C/min, do temperature od 500 °C. Uticaj temperature na procesa nije razmatran.

Istraživanje procesa kopiroolize smjese drvnog materijala vrbe i polilaktonske kiseline (PLA) (10:1, 3:1, 1:1, 1:2) u uslovima fleš pirolize na temperaturi od 600 °C prikazano je u (Cornelissen et al. 2008b). Među testiranim smjesama, najveći sinergetski efekat pokazala je smjesa vrba/PLA 1:2, uz smanjenje produkcije nepoželjne pirolitičke vode od 28% i povećanje energetske vrijednosti dobijenog goriva. Ono što je karakteristično u odnosu na prethodna istraživanja, koja su sprovedena u autoklavima uz kasnije uzorkovanje produkata, ovi procesi si istraživani u posebnom tipu reaktora sa Arhimedovim vijkom i vrelin pjeskom kao medijumom za direktno kondukciono zagrijavanje, a koji je konstruisan za tu namjenu. Instalacija sadrži i sistem doziranja i sistem kondenzacije produkata za razliku od prethodno navedenih istraživanja i radi kao polušaržni sistem.

Takođe isti autori istražuju i kopiroolizu smjese drvnog materijala vrbe i biopolimera-polihidroksibutirata (PHB), u sličnim uslovima i u istom reakcionom sistemu na temperaturi od 450°C, te takođe dokazuju postojanje sinergetskog efekta ali u ovom slučaju za smjesu 1:1 (Cornelissen et al. 2008a). Dakle u ovim radovima nije razmatran uticaj temperature i dodatno ne navode se uslovi zagrijavanja reakcione smjese. Navodi se da se radi o fleš

pirolizi, ali i dalje ostaju nejasni uslovi prenosa toplote u samom reaktoru i njihov uticaj na proces u cjelini.

U radu (Bhattacharya et al. 2009) istražuje se kopioliza smjese drvnog čipsa bora i PS, HDPE, PP, čistih sintetskih polimera, individualno, na temperaturama od 525, 450 and 450 °C. Ono što je karakteristično u odnosu na prethodna istraživanja jeste da se proces istražuje u posebnom tipu reaktora- auger reaktor, te se ukazuje na povoljno dejstvo kopiolize u smislu povećanja sadržaja ugljenika i vodonika, povećanja toploten moći, smanjenja sadržaja vode i viskoznosti dobijenog goriva u odnosu bio-ulje dobijeno iz čistog drvnog materijala bora. Takođe u ovom radu se navodi da nije uočen sinergetski efekat, te se pretpostavlja da u datom reaktoru termička razgradnja plastike i naknadan kondezacija para obavlja toliko brzo da ne dolazi do interakcije sa produktima pirolize biomase. Što se tiče zagrijavanja navodi se određena dinamika zagrijavanja sirovine prije ulaska u reakcionu zonu, međutim nakon ulaska u istu, brzina zagrijavanja i vrijeme zadržavanja ostaje nepoznato, kako i sami autori navode. Ističe se da je piroliza brza, ali ne kao u reaktorima sa fluidizovanim slojem.

Istraživanje uticaja, vremena reakcije, temperature reakcije, početnog pritiska i odnosa smjese drveni ostaci bora/otpadna plastika u uslovima rada rotirajućeg autoklava dato je u (Paradela et al.2009). Karakteristično je to da je korišćena fiksna smjesa 3 vrste plastičnih materijala 6% PE, 17% PS i 27% PP, a mjenjan je odnos biomasa /smjesa plastike od 0 do 100%. Za razliku od drugih radova, (Sharypov et al. 2003), (Marin et al. 2002), (Sharypov et al. 2002), koji su takođe sprovedeni u autoklavima, kao i radova (Cornelissen et al. 2008a); (Rutkowski et al. 2005), (Cornelissen et al. 2008b), ovdje se navodi da nije uočen sinergetski efekat u vidu povećanja prinosa bio-ulja. U radu se navodi uticaj procesnih parametara na sastav gasovitih i tečnih produkata, te se sugerše da je potrebno sprovesti dodatna istraživanja da bi se ispitao eventualni pozitivan uticaj prisustva plastike na kvalitet dobijenih tečnih produkata.

U radu (Berruceo et al.2004) predstavljeni su rezultati istraživanja za kopiolizu piljevine bora i čistog sintetskog PE na temperaturama od 640, 685, 780 i 850 °C, uz fiksni odnos sadržaj smjese piljevina/PE 3:1. U radu se navodi da nije uočen sinergetski efekat u vidu povećanja prinosa tečnih produkata (ne uzimajući u obzir vodu), već naprotiv došlo je do njihovog smanjenja a povećava se prinos gasovitih, nekondenzabilnih produkata kopiolize. Pokazano je da se sa povećanjem temperature povećava prinos gasne faze kako kada su u pitanju piroliza čistih sirovina, tako i kada se radi o kopiolizi navedene smjese. Za razliku od prethodno navedenih istraživanja kopiolize, ova istraživanja su sprovedena u laboratorijskom reaktoru sa fluidizovanim slojem, dijametra 4,3cm i visine 23 cm, spojenim sa sistemom za kondezaciju tečnih produkata i sistemom za uzorkovanje/sakupljanje nekondenzabilnih produkata.

Dakle, zaključuje se da postoji značajna varijacija u objavljenim rezultatima istraživanja kopiolize biomase i plastike. Navedena istraživanja se sprovode, kako u različitim eksperimentalnim uslovima, često nedovoljno pojašnjenim, tako i u različitim tipovima reaktora. Isto tako, koriste su različite vrste plastičnih materijala, različite vrste biomase, i različiti relativni udjeli plastike i biomase i različite granulacije čestica. U navedenim istraživanjima kao uzorak koriste se čisti (svježe sintetizovani) pojedinačni polimeri ili njihove smjese, pri čemu su birani ili fiksni udjeli pojedinih polimera ili je u nekim istraživanjima vršena i varijacija ovog udjela, kako bi se ispitao optimalni udio pojedinih komponenata, što dodatno usložnjava analizu i poređenje različitih sistema i eksperimentalnih uslova.

2.3. Radna hipoteza sa ciljem istraživanja

U prijavljenoj doktorskoj tezi, kandidat je postavio nekoliko polaznih hipoteza:

- ✓ Sadašnji način tretiranja i uopšte upravljanja otpadnom plastikom ne zadovoljava uslove propisane važećim, kako EU tako i domaćim, zakonskim okvirima;
- ✓ Razvojem pilot postrojenja za pirolizu otpadnih materijala moguće je dati novi uvid u prirodu složenih procesa pirolize i kopirolize koji se odvijaju u realnim uslovima rada pilot postrojenja;
- ✓ Pirolizom plastičnog otpada u šaržnom reaktoru moguće je dobiti vrijedan produkt, koji se može dalje koristiti kao energent ili kao polazna sirovina za druge procese;
- ✓ Kopirolizom otpadne plastike i biomase moguće je ostvariti sinergetski efekat u smislu povećanja prinosa tečne faze u odnosu na pirolizu čiste biomase;
- ✓ Pogodnim izborom radnih uslova procesa, može se postići optimalan prinos tečnih produkata kopirolize otpadne plastike i biomase u predloženoj instalaciji za kopirolizu;
- ✓ Izborom odgovarajuće dinamike grijanja reaktora moguće je ostvariti optimalan režim zagrijavanja u smislu smanjenja ukupne potrošnje energije za dati proces i povećanja prinosa reaktora, odnosno povećanja energetske efikasnosti procesa.

Kao osnovni cilj ove teze kandidat navodi ispitivanje uticaja različitih parametara procesa (temperature, vremena zadržavanja, sastava smjese plastika/biomasa i dinamike grijanja) na pirolizu otpadne plastike, biomase i zajedničku pirolizu njihove smjese. Rezultati eksperimenata, odnosno odgovarajućih mjerenja i izračunavanja, će omogućiti analizu uticaja radnih uslova, prenosa toplote i kinetike procesa, na pirolizu otpadne plastike, kao i analizu mogućeg sinergetskog efekta kopirolize otpadne plastike i biomase u predloženom postrojenju za pirolizu i pri datim radnim uslovima. Dobijeni rezultati biće poređeni sa dostupnim podacima u literaturi i diskutovani u smislu međusobne povezanosti radnih uslova, prinora reaktora i modela prenosa toplote i kinetike procesa, te konfiguracije predloženog pilot postrojenja za pirolizu.

Navodi se da će ova istraživanja rezultovati određivanjem optimalnih radnih uslova koji će doprinositi većem prinosu bio-ulja u predloženom pilot postrojenju.

Generalno gledajući, dobijeni rezultati bi trebali koristiti u daljem razvoju sistema za termohemijsku konverziju plastike i biomase.

2.4. Materijal i metode rada

Kao materijal za istraživanja korišće se otpadne plastike, biomasa i njihove smjese. Maseni odnos pojedinih vrsta plastike u sirovinskoj smjesi će odgovarati njihovom karakterističnom masenom odnosu u smjesi komunalnog otpada iz regiona, a što će se dobiti iz dostupnih podataka o morfološkom sastavu komunalnog otpada.

Pri izboru pojedinih vrsta plastike za sirovisku smjesu vodiće se računa da u smjesu uđu najzastupljenije vrste plastike u komunalom otpadu iz regiona, uz istovremeno vođenje računa da produkti pirolize sadrže što manju količinu toksičnih gasova. Stoga se neće uključivati materijali kao što su npr. polivinilhlorid PVC (zbog prisutnosti hlora), akrilonitril butadien stiren ABS (zbog moguće pojave cijanidnih jedinjenja), kao i druge vrste materijala koje bi nepovoljno djelovale na proces i predloženo pilot postrojenje. Smjesa otpadne

plastike biće pripremljena mljevenjem u laboratorijskom električnom mlinu, vagana, i u odgovarajućoj grupi eksperimenata mješana sa uzorcima biomase prema utvrđenim odnosima.

Kao uzorak biomase korišće se otpadna drvena biomasa, npr. piljevina koja će biti prethodno sušena do konstantne vlažnosti, kako bi se izbjegao uticaj varijacije vlažnosti u polaznoj sirovini. U nekim budućim istraživanjima može se pokušati i sa varijacijom sadržaja vlage u polaznoj sirovini te ispitivati i taj uticaj na čitav proces.

Za potrebe istraživanja biće razvijeno pilot postrojenje za pirolizu otpadnih materijala. Predloženo postrojenje će uključivati:

- reaktorski sistem sa mogućnošću polušaržnog /polukontinuiranog rada;
- sistem za doziranje sirovina;
- sistem brzog hlađenja odnosno kondenzacije bio-ulja;
- sistem separacije gasovitih i tečnih produkata;
- sistem za postizanje inertne atmosfere u uslovima rada instalacije;
- sistem za regulaciju i kontrolu procesa;
- sistem akvizicije podataka sa mogućnošću dalje obrade na PC-u.

Kako bi se ispitao uticaj radnih uslova na prinos reaktora i njegovo termičko ponašanje, biće sprovedeno niz mjerenja koja će davati podatke o uticaju temperature, vremena, sastava smjese plastika/biomasa i dinamike grijanja na prinos procesa. U sklopu mjerenja biće snimane sledeće zavisnosti:

- ✘ Promjene temperature praznog reaktora u funkciji vremena, pri različitim brzinama zagrijavanja reaktora;
- ✘ Promjena temperature reaktora u funkciji vremena, pri različitim količinama otpadne plastike, biomase i smjese plastika/biomasa;
- ✘ Prinos pirolize smjese otpadne plastike reaktora (bio-ulja) u funkciji izabrane temperature. Vrijednost temperature koja će doprinosti većem prinosu tečne faze će biti izabrana i korišćena kao konstantan parametar za sledeću grupu ispitivanja;
- ✘ Prinos pirolize smjese otpadne plastike u funkciji vremena reakcije, odnosno vremena zadržavanja nastalih para i gasova u reakcionom sistemu. Za ovu namjenu vrijeme reakcije će se posmatrati kroz matematički model vremena zadržavanja gasova u datom reakcionom sistemu – pilot reaktoru. Vrijednost vremena zadržavanja koja bude doprinosila većem prinosu bio-ulja će biti izabrana i korišćena kao konstantan parametar za sledeću grupu ispitivanja;
- ✘ Prinos pirolize smjese otpadna plastika/biomasa. Za ovu svrhu variraće se sastav smjese plastika/biomasa, prema karakterističnim odnosima koji će omogućiti njihovo dalje poređenje sa drugim dostupnim podacim u literaturi. Temperatura i vrijeme reakcije će biti izabrano prema rezultatima prethodnih ispitivanja. Karakterističan sastav smjese koji kao rezultat pokaže najveći prinos bio-ulja biće izabran i korišćen u narednoj grupi eksperimenata.
- ✘ Prinos pirolize smjese plastika/biomasa pri različitim brzinama zagrijavanja, u uslovim prethodno odabrane temperature, vremena reakcije, sastava smjese.
- ✘ Nakon određivanja optimalnih radnih uslova biće sprovedena kvalitativna hemijska analiza dobijenih produkata primjenom neke od instrumentalnih metoda analize kao što su IR spektroskopija, gasna hromatografija ili FTIR spektroskopija.

U svim grupama eksperimenata prinos pirolize biće određen vaganjem dobijenih tečnih produkata nakon njihovog sakupljanja iz sistema za separaciju gasovitih i koondezabilnih produkata. Izabrani uslovi za sprovođenje eksperimenata kretaće se u intervalima poznatih temperatura i vremena zadržavanja, a koja su dostupna u literaturi.

Mogući sinergetski efekat kopiolize smjesa plastike i biomase biće ispitivan poređenjem mjerenih sa teorijskim prinosim tečne faze, koji će se izračunati shodno relativnim udjelima komponenata smjese i njihovog odgovarajućeg prinosa u uslovima da komponente smjese, dakle plastika i biomasa, međusobno ne intereaguju.

Nakon sprovedenih eksperimenata analiziraće se uticaj radnih uslova (vremena reakcije, temperature, brzina zagrijavanja) na prinos bio-ulja koji se dobija pirolizom predložene smjese plastike i biomase. Dobijeni rezultati biće, poređeni sa dostupnim podacima u literaturi, te diskutovani u smislu međusobne povezanosti radnih uslova, konfiguracije predloženog postrojenja za pirolizu i različitih modela prenosa toplote i kinetike procesa. Takođe biće diskutovan i nastanak pojedinih frakcija, prethodno detektovanih nekom od navedenih instrumentalnih metoda analize, u funkciji izabranih radnih uslova procesa.

2.5. Naučni doprinos istraživanja

U prijavljenoj doktorskoj tezi, kandidat treba dati naučni doprinos istraživanju procesa pirolize otpadne plastike, biomase i njihovih smjesa u realnim uslovima rada pilot postrojenja.

S obzirom na karakterističan sistem pirolize koji će biti razvijen za potrebe ovih istraživanja, kao i karakterističan sastav polazne sirovine moglo bi doći do odstupanja u odnosu na dostupne literaturne podatke, odnosno druga istraživanja. Za sirovinu koristiće se smjesa otpadne plastike, pri čemu će maseni odnos pojedinih vrsta plastike u sirovinskoj smjesi odgovarati njihovom karakterističnom masenom odnosu u smjesi komunalnog otpada iz regiona. Specifičnim izborom sirovine, pokušava se na jednostavan način omogućiti dostupnost sirovine, te ukazati na mogućnosti korišćenja ovih, u osnovi otpadnih materijala, te na taj način dati doprinos budućem razvoju sistema reciklaže otpadne plastike i biomase na našim prostorima, i uopšte doprinos održivom razvoju. Takođe, ovo treba da omogući i lakše približavanje EU standardima, odnosno strogim zahtjevima u pogledu stepena reciklaže i smanjenju količine otpada koji se nepotrebno odlaže na deponijama.

Dobijeni rezultati eksperimentalnih ispitivanja i sprovedene analize će omogućiti dalji razvoj sistema za pirolizu ne samo otpadne plastike i biomase, nego i drugih sekundarnih sirovina, prije svega otpadnih pneumatika, čije zbrinjavanje predstavlja poseban izazov. Pokušava se naglasiti da je moguće i u domaćim uslovima, sa domaćom intelektualnom i radnom snagom, razviti sisteme koji se danas razvijaju u drugim naprednijim/bogatijim zemljama. Konkretno, očekuje se da će sprovedena istraživanja dati novi uvid u složene fenomene koji se odvijaju tokom analiziranih procesa i omogućiti razvoj manjih sistema za termohemijsku konverziju različitih vrsta otpada organskog porijekla.

S obzirom na prethodno, kao i činjenice da je u Republici Srpskoj i Bosni i Hercegovini, generalno, nerazvijen sistem hemijske reciklaže plastike, a istovremeno se postavljaju ciljevi u pogledu reciklaže koji važe u razvijenim zemljama EU, te da najveće količine ove sekundarne sirovine završavaju kao otpad, na ovaj način će se dati doprinos budućem razvoju savremenih sistema tretmana otpada na našim prostorima i uopšte približavanju EU standardima u oblasti zaštite životne sredine i održivog razvoja.

3. CITIRANA LITERATURA U POGLAVLJU PREGLED ISTRAŽIVANJA

1. Achilias D.S., Antonkou E., Roupakias C., Megalokonomos P., Lappas A., (2008), Recycling Techniques of Polyolefins from Plastic Wastes, *Global NEST Journal*, **10** (1) 114-122.
2. Adrados A., de Marco I., Caballero B.M., López A., Laresgoiti M.F., Torres A., (2012), Pyrolysis of plastic packaging waste: A comparison of plastic residuals from material recovery facilities with simulated plastic waste, *Waste Management*, **32** 826–832.
3. Aguado J., Serrano D.P, San Miguel G., (2007), European Trends In The Feedstock Recycling Of Plastic Wastes, *Global NEST Journal*, **9** (1) 12-19.
4. Al-Salem S.M. et al. (2009), Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review, *Waste Management*, **29** 2625–2643.
5. Arena U., Mastellone M. L., Fluidized Bed Pyrolysis of Plastic Wastes, (2006), in *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels* (Ed. Scheirs J., Kaminsky W.), Chichester, John Wiley & Sons Ltd, pp. 435-474.
6. Bajus M., (2010), Pyrolysis of Woody Materail, *Petroleum & Coal*, **52** (3) 207-214.
7. Berruceo C., Ceamanos J., Esperanza E., Mastral J.F., (2004), Experimental Study of Co-pyrolysis of Polyethylene/Sawdust Mixture, *Thermal Science*, **8** (2) 65-80
8. Bhattacharya P., Steele P.H., Hassan E.B.M., Mitchell B., Ingram L., Pittman Jr. C.U., (2009), Wood/plastic copyrolysis in an auger reactor: Chemical and physical analysis of the products, *Fuel*, **88** 1251–1260
9. Bridgwater A.V., Meier D., Radlein D., (1999), An overview of fast pyrolysis of biomass *Organic Geochemistry*, **30** 1479-1493
10. Bridgwater A.V., Peacocke G.V.C., (2000), Fast pyrolysis processes for biomass , *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **4** 1-73.
11. Cheung K.-Y. et al. (2011a), Integrated kinetics and heat flow modelling to optimise waste tyre pyrolysis at different heating rates, *Fuel Processing Technology*, **92** 856–863.
12. Cheung K.-Y. et al. (2011b), Operation strategy for multi-stage pyrolysis, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **91** 165–182
13. Cornelissen T, Yperman J, Reggeres G, Schreurs S, Carleer R. (2008b), Flash copyrolysis of biomass with polylactic acid. Part 1: influence on bio-oil yield and heating value. *Fuel*, **87** 1031–41.
14. Cornelissen T., Yperman J., Reggers G., Schreurs S., Carleer R., (2008a), Flash co-

- pyrolysis of biomass with polyhydroxybutyrate: Part 1. Influence on bio-oil yield, water content, heating value and the production of chemicals, *Fuel*, **87** (12) 2523-2532 .
15. Cullis C.F., Hirschler M.M., (1981), *The Combustion of Organic Polymers*, Oxford, Clarendon Press. p.189.
 16. Demirbas A., (2004), Pyrolysis of municipal plastic waste for recovery of gasoline-range hydrocarbons. *Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis*, **72** 97-102.
 17. Ding F., Xiong L., Luo C., Zhang H., Chen X., (2012), Kinetic study of low-temperature conversion of plastic mixtures to value added products, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **94** 83–90,
 18. Hall W.J., Williams P. T., (2006), Fast Pyrolysis of Halogenated Plastics Recovered from Waste Computers, *Energy & Fuels*, **20** 1536-1549.
 19. IEA Bioenergy, Biomass Pyrolysis, Task 34:2007:01. www.ieabioenergy.com
 20. Jung C. G., Fontana A.,(2006), Production of Gaseous and Liquid Fuels by Pyrolysis and Gasification of Plastics: Technological Approach, in *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels* (Ed. Scheirs J., Kaminsky W.), Chichester, John Wiley & Sons Ltd, pp.251-283.
 21. Khaghanikavkani E., Farid., (2011), M.M. Thermal Pyrolysis of Polyethylene: Kinetic Study, *Energy Science and Technology*, **2** (1) 1-10
 22. Kiran N., Ekinci E., Snape C.E., (2000), Resources, Recycling of plastic wastes via pyrolysis, *Conservation and Recycling*, **29** 273–283
 23. Lam K.-L., Oyedun A. O., Cheung K-Y., Lee K.-L., Hui C.-W., (2011) Modelling pyrolysis with dynamic heating, *Chemical Engineering Science*, **66** 6505–6514
 24. López A., de Marco I., Caballero B.M., Laresgoiti M.F., Adrados A., Aranzabal A., (2011), Catalytic pyrolysis of plastic wastes with two different types of catalysts: ZSM-5 zeolite and Red Mud, *Applied Catalysis B: Environmental*, **104** 211–219
 25. López A., de Marco I., Caballero B.M., Laresgoiti M.F., Adrados A., (2011), Influence of time and temperature on pyrolysis of plastic wastes in a semi-batch reactor, *Chemical Engineering Journal*, **173** 62– 71
 26. Marin N., Collura S., Sharypov V.I., Beregovtsova N.G., Baryshnikov S.V., Kutnetzov B. N., (2002), Copyrolysis of wood biomass and synthetic polymers mixtures. Part II: characterisation of the liquid phases, *J.Anal. Appl. Pyrolysis*, **65** 41–55.
 27. Miskolczi N., Angyal A., Bartha L., Valkai I., (2009), Fuels by pyrolysis of waste plastics from agricultural and packaging sectors in a pilot scale reactor, *Fuel Processing Technology*, **90** 1032–1040
 28. Ofoma I., (2006), *Catalytic Pyrolysis of Polyolefins*, Master Thesis, Atlanta, Georgia

Institute of Technology, USA.

29. Okuwaki A., Yoshioka T., Asai M., Tachibana H., Wakai K., Tada K., (2006), in Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels (Ed. Scheirs J., Kaminsky W.), Chichester, John Wiley & Sons Ltd, pp.665-708.
30. Panda A.K., Singh R.K., Mishra D.K., (2010), Thermolysis of waste plastics to liquid fuel A suitable method for plastic waste management and production of value added products—A world prospective, Renewable and Sustainable Energy Reviews, **14** (1) 233–248.
31. Paradela F., Pinto F., Gulyurtlu I., Cabrita I., Lapa N. (2009), Study of the co-pyrolysis of biomass and plastic wastes, Clean Techn Environ Policy ,**11** 115–122.
32. Peterson J.D., Vyazovkin S., Wight C.A., (2001) Kinetics of the thermal and thermo-oxidative degradation of polystyrene, polyethylene and poly(propylene). Macromolecular Chemistry And Physics, **202** (6) 775-784.
33. Rutkowski P., Lach K., Kubacki A., Stolarski M., (2005), Co-Pyrolysis of Biomass/Polymer Compositions: Bio-oil characterisation and Upgrading, 14th European Biomass Conference, 17-21 October 2005, Paris, France, p.612-615.
34. Scheirs J., (2006). Overview of Commercial Pyrolysis Processes for Waste Plastics, in Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels (Ed. Scheirs J., Kaminsky W.),Chichester, John Wiley & Sons Ltd, pp.383-398
35. Sharypov V.I., Beregovtsova N.G., Kuznetsov B.N., Membrado L., Cebolla V.L., Marin N., Weber J.V., (2003), Co-pyrolysis of wood biomass and synthetic polymers mixtures. Part III: Characterisation of heavy products, J. Anal. Appl. Pyrolysis, **67** 325–340.
36. Sharypov V.I., Marin N., Beregovtsova N.G., Baryshnikov S.V., Kuznetsov B.N., Cebolla V.L., (2002a), Co-pyrolysis of wood biomass and synthetic polymer mixtures. Part I: influence of experimental conditions on the evolution of solids, liquids and gases, J.Anal. Appl. Pyrolysis, **64** 15–28.
37. Siddiqui M.N., RedhwiH.H., (2009), Pyrolysis of mixed plastics for the recovery of useful products, Fuel Processing Technology, **90** 545–552,
38. Singh S., Wu C., Williams P.T., (2012), Pyrolysis of waste materials using TGA-MS and TGA-FTIR as complementary characterisation techniques, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, **94** 99–107
39. UNEP (2009), Converting Waste Plastics into a Resource: Compendium of Technologies, United Nations Environmental Programme Division of Technology, Industry and Economics, International Environmental Technology Centre, Osaka/Shiga, Japan.
40. Williams P.T., Slaney E., (2007), Analysis of products from the pyrolysis and liquefaction of single plastics and waste plastic mixtures, Resources, Conservation

and Recycling, **51** 754–769.

41. Xingzhong Y., (2006), Converting Waste Plastics into Liquid Fuel by Pyrolysis: Developments in China, in Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels (Ed. Scheirs J., Kaminsky W.), Chichester, John Wiley & Sons Ltd, pp.729-755.
42. Zhang Q., Chang J., Wang T., Xu Y., (2007), Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research, Energy Conversion and Management, **48** 87–92.

4. OCJENA I PRIJEDLOG

Na osnovu uvida u rad kandidata, priloženu dokumentaciju, biografiju kandidata i spisak objavljenih radova, zaključujemo da kandidat mr Saša Papuga ispunjava sve formalne uslove za odobrenje teme za izradu doktorske disertacije u skladu sa važećim propisima, a posebno sa članom 58, Zakona o Univerzitetu i Statutom Univerziteta u Banjoj Luci.

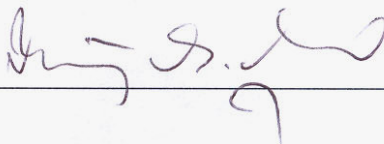
Predložena tema je aktuelna i zanimljiva kako sa naučnog stanovišta, tako i sa stanovišta mogućnosti primjene. Navedene metode istraživanja predstavljaju zadovoljavajuće i pouzdane tehnike istraživanja pomoću kojih je moguće dobiti dovoljno pouzdane rezultate. Istraživanja u okviru predložene teme predstavljaju sastavni dio rada kandidata u okviru naučno-istraživačkog projekta pod nazivom: "Koproliza otpadne plastike i biomase". Takođe, navedena istraživanja predstavljaju nastavak rada kandidat u polju izučavanja fenomena prenosa toplote i mase u česticama biomase i u odgovarajućoj procesnoj tehnici, a neke od rezultata kandidat je već publikovao u odgovarajućim naučnim časopisima, ili saopštio na naučnim skupovima. Takođe datu tematiku kandidat je obrađivao i u svom magistarskom radu.

Komisija smatra da postoje realni uslovi da kandidat u daljem istraživanju može uspješno da realizuje sve postavljene zahtjeve vezane za izradu doktorske teze i da dobije značajne originalne rezultate.

Na osnovu svega izloženog, članovi Komisije sa zadovoljstvom predlažu Naučno-nastavnom vijeću Tehnološkog fakulteta Univerziteta u Banjaluci da prihvati temu pod naslovom "**Koproliza otpadne plastike i biomase**" za izradu doktorske disertacije kandidata mr Saše Papuga.

U Banjaluci, 20.06.2012.

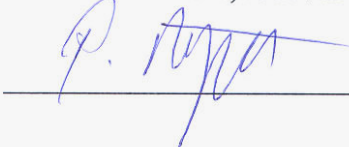
Dr Petar Gvero, vanredni profesor



Dr Milorad Maksimović, redovni profesor



Dr Radana Đudić, redovni profesor



Dr Ljiljana Vukić, vanredni profesor



Dr Aleksandar Jovović, vanredni profesor

