

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta održanoj 29.11.2012. godine imenovani smo za članove Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije Mr Abdualnaser Muftah Almagrbija dipl.inž. pod nazivom:

Matematičko modelovanje i analiza višefaznih reakcionih procesa u proizvodnji obnovljivih i mineralnih dizel goriva

Komisija smatra da je naslov teme potrebno izmeniti i predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta izmenjeni naslov teme:

Matematičko modelovanje višefaznih reakcionih procesa u proizvodnji obnovljivih i mineralnih dizel goriva

O predloženoj temi i njenoj naučnoj zasnovanosti podnosimo sledeći

I Z V E Š T A J

1. PODACI O KANDIDATU

1.1 Biografski podaci

Mr Abdualnaser Muftah Almagrbi dipl.inž. je rođen 1976. godine u Libiji. Osnovne studije iz hemijskog inženjerstva je završio 1999. godine na Al-Mergheb Univerzitetu u Alkomsu u Libiji. Na istom Univerzitetu je u toku 2004. godine odbranio master rad iz oblasti hemijskog inženjerstva. Od 2004. do 2005. godine je na Al-Mergheb Univerzitetu radio kao inženjer angažovan u istraživanjima. U periodu od 2005. do 2008. godine je na departmanu za hemijsko inženjerstvo Al-Mergheb Univerziteta angažovan kao predavač, uz delimično nastavno angažovanje i na Politehnikama u Tripoliju i Mesalati.

Kandidat tečno govori engleski jezik, kao i maternji arapski jezik.

1.2 Stečeno naučnoistraživačko iskustvo

U okviru istraživačkog i nastavničkog angažovanja učestvovao je u nastavi iz: tehnoloških operacija, dinamike fluida, procesne kontrole, prenosa toplote, primenjene hemije, kao i procesne analize i modelovanja procesa. Kandidat je odbranio magistarski rad jula 2004. godine iz oblasti hemijskog inženjerstva na temi iz reaktorskog inženjerstva pod naslovom „*Modelling of The Radial Thermal Conductivity in Fixed Bed Reactor at High Pressure*” (Modelovanje radijalnog konduktivnog prenosa toplote u reaktorima sa nepokretnim slojem na uslovima visokog pritiska) na Al-Mergheb Univerzitetu pod rukovodstvom mentora Dr Mohamed-a Al-Mishergi-a. U okviru stručnog usavršavanja u periodu 2009. i 2010. godine boravio je na Chemical Engineering Department na Newcastle University. U toku 2010. godine započeo je rad na doktorskoj disertaciji u

oblasti procesa za proizvodnju mineralnih i obnovljivih dizel goriva na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

Kandidat je kao mentor učestvovao u izradi sledećih završnih radova:

- Plant Design Production of Mono-Vinyl Acetate (Tehnološko projektovanje proizvodnje vinil acetata)
- Plant Design of Ethyl Chloride Production (Tehnološko projektovanje postrojenja za proizvodnju dihlora etana)
- Plant Design Production of Gas Oil Unit (Tehnološko projektovanje postrojenja za proizvodnju gasnih ulja)
- Plant Design Production of Light Hydrocarbons Recovery (Tehnološko projektovanje postrojenja za izdvajanje lakih ugljovodonika)

Objavljeni naučni radovi i saopštenja

Radovi objavljeni u časopisima međunarodnog značaja – M20

Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu – M21

1. **Abdualnaser Muftah Almagrbi**, Sandra B. Glisic, Aleksandar M. Orlovic,
“The phase equilibrium of triglycerides and ethanol at high pressure and temperature: The influence on kinetics of ethanolysis”, The Journal of Supercritical Fluids, 61 (2012) 2-8. ISSN 0896-8446; IF 2011 = 2.860

1.3 Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Na osnovu biografskih podataka i oblasti iz koje je urađen magistarski rad kandidata, dosadašnjeg iskustva u nastavi i istraživanjima iz oblasti hemijskog inženjerstva, kao i objavljenih radova, Komisija ocenjuje da kandidat ispunjava sve neophodne uslove za rad na predloženoj temi.

2. PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA

Predmet istraživanja doktorske disertacije su višefazni reakcioni procesi koji predstavljaju najznačajnije stupnjeve pri proizvodnji obnovljivih i mineralnih dizel goriva. Obnovljiva dizel goriva koje će se istraživati u ovom radu su metil i etil estri viših masnih kiselina.

Tokom poslednje decenije standardi koji definišu kvalitet i sastav dizel goriva su značajno izmenjeni i to prvenstveno zbog novih zahteva u cilju zaštite životne sredine. Kao posledica ovih promena u sastavu savremenog dizel goriva dozvoljava se ukupni sadržaj sumpora ispod 10 mg/kg (EN standard) [1,2]. Takođe, u cilju smanjenja emisija ugljen-dioksida, savremena dizel goriva sadrže i standardima definisane udele komponenti dobijenih iz obnovljivih sirovina. Te komponente su najčešće poreklom iz bioobnovljivih sirovina a u slučaju dizel goriva uglavnom se kao obnovljiva komponenta koriste smeše metil estara viših masnih kiselina [3,4]. Paralelno sa promenama kvaliteta dizel goriva, definisanog vodećim svetskim standardima (EN, ASTM, JIS), tokom poslednje decenije došlo je i do značajnog porasta tražnje za dizel gorivom. Ove promene su uslovile nove trendove u oblasti rafinerijske prerade nafte kao i nastajanje čitave nove grane hemijske

industrije koja je specijalizovana u proizvodnji motornih goriva iz obnovljivih sirovina, ili biogoriva.

Jednu od najvažnijih uloga u proizvodnji dizel goriva dobijenih iz sirove nafte ima proces obrade vodonikom, koji se izvodi pod visokim pritiskom i uz prisustvo čvrstih katalizatora. U ovom procesu (hidrotreating) sumporna jedinjenja prisutna u srednjim destilatima nafte uklanjaju se reakcijom hidrodesulfurizacije na čvrstom katalizatoru, pri čemu kao proizvodi reakcije nastaju vodonik sulfid i ugljovodonici [5-9]. Najvažniji stupanj u proizvodnji obnovljivih dizel goriva (metil i etil estri viših masnih kiselina) predstavlja reakcija transesterifikacije triglicerida sa metanolom ili etanolom. Ova reakcija se industrijski može izvoditi uz prisustvo homogenih ili heterogenih katalizatora, enzimskih katalizatora ili bez prisustva katalizatora na povišenoj temperaturi i pritisku. U ovom radu akcenat će biti na procesu transesterifikacije koji se izvodi na povišenoj temperaturi i pritisku bez prisustva katalizatora [10-13].

Zajednički elementi reakcionih procesa obrade srednjih destilata vodonikom i transesterifikacije triglicerida metanolom ili etanolom su da se hemijske reakcije odvijaju u višefaznim sistemima i da samim tim ravnoteža faza i fenomeni prenosa mase igraju značajnu ulogu u industrijskim reaktorima. Takođe, oba reakciona procesa zahtevaju konverzije reaktanata iznad vrednosti od 99% tj. skoro potpune konverzije. Ovako visoke vrednosti konverzije u uslovima višefaznih reakcionih sistema mogu predstavljati značajan problem u industrijskim uslovima te je stoga neophodna detaljna analiza i poznavanje svih osnovnih fenomena ovako složenih procesa, kao što su: hemijska kinetika, ravnoteža faza, prenos mase, prenos topote i fluidodinamika reaktora [14-16]. Većina do sada razvijenih matematičkih modela ovih procesa bila je veoma pojednostavljena i ovi modeli nisu uključivali višefaznost sistema kao ni detaljne kinetičke parametre svih reakcija koje se odigravaju u procesu. Detaljnom analizom fundamentalnih fenomena u višefaznim reaktorima za proizvodnju dizel goriva iz mineralnih i obnovljivih sirovina [17-19], mogu se razviti precizniji matematički modeli ovih reaktora [20,21] koji će omogućiti pozdanu simulaciju i optimizaciju rada reaktora u industrijskim uslovima, kao i definisanje oblasti optimalnih operativnih parametara.

Ciljevi istraživanja u okviru ove doktorske disertacije su:

- ispitivanje uticaja termodinamičke ravnoteže pod uslovima povišenog pritiska i temperature na reakcije hidrodesulfurizacije mineralnih dizel frakcija;
- ispitivanje uticaja termodinamičke ravnoteže pod uslovima povišenog pritiska i temperature na reakcije transesterifikacije triglicerida metanolom i etanolom;
- kinetička analiza reakcija hidrodesulfurizacije i transesterifikacije u višefaznim sistemima i uticaj prenosa mase;
- analiza raspodele reaktanata u ispitivanim višefaznim sistemima i njen uticaj na kinetiku reakcije i konverziju u reaktoru;
- ispitivanje uticaja fluidodinamičkih uslova na konverziju reakcija hidrodesulfurizacije i transesterifikacije u višefaznim sistemima;
- definisanje matematičkih modela ovih višefaznih reakcionih procesa;
- simulacija i optimizacija procesa korišćenjem razvijenih matematičkih modela u opsegu parametara procesa koji su od interesa za industrijske uslove.

Fazna ravnoteža ovih sistema biće ispitivana korišćenjem postojećih eksperimentalnih podataka, kao i na osnovu podataka iz literature, i korišćenjem programskih paketa Phase Equilibria i UniSim. Na ovaj način će biti izabrane optimalne jedančine stanja za opis posmatranih sistema. Kinetički podaci će biti dobijeni na osnovu eksperimentalnih podataka kao i podataka koji postoje u literaturi. Prilikom određivanja

kinetičkih parametara korišće se i standardne optimizacione metode koje se upotrebljavaju prilikom određivanja parametara složenih procesa. Detaljno će se analizirati uticaji prisustva više faza tokom reakcija kao i uticaj višefaznog sastava na konverziju reaktanata. Pri ovome će se u analizu uključiti i uticaj prenosa mase na ove procese i na ukupnu konverziju reaktanata. Matematičke modele reakcionih sistema će činiti jednačine diferencijalnih bilansa hemijskih vrsta i toplote, kao i odgovarajući kinetički izrazi za reakcije hidrodesulfurizacije sumpornih jedinjenja i transesterifikacije triglicerida. Matematički modeli će se validirati korišćenjem podataka iz literature, podataka sa industrijskih postrojenja i eksperimentalnih podataka. Korišćenjem razvijenih matematičkih modela biće izvedene simulacije industrijskih procesa u cilju optimizacije procesa.

Literatura:

1. J. Zhang, K. He, Y. Ge, X. Shi, Influence of fuel sulfur on the characterization of PM10 from a diesel engine, *Fuel* 88 (2009) 504-510.
2. A. Stanislaus, A. Marafi, A.S. Rana, Recent advances in the science and technology of ultra low sulfur diesel (ULSD) production, *Catal. Today* 153 (2010) 1-68.
3. F. Ma, M.A. Hanna. Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology* 70 (1999) pp.1-15
4. A.W. Schwab, M.O. Bagby, B. Freedman. Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils. *Fuel* 66 (1987) pp.1372-1378
5. J. Ancheyta-Juarez, E. Aguilar-Rodriguez, D. Salazar-Sotelo, G. Betancourt-Rivera, M. Leiva-Nuncio, Hydrotreating of straight run gas oil-light cycle oil blends, *Appl. Catal. A:General*, 180 (1999) 195-205.
6. G.C. Laredo, J.L. Cano, C.R. Lopez, R. Saint Martin, M.C. Martinez, J.O. Marroquin, Alternate use of heavy hydrotreatment and visbreaker naphths by incorporation into diesel, *Fuel Proc. Technol.*, 88 (2007) 897-903.
7. G.C. Laredo, R. Saint-Martin, M.C. Martinez, J. Castillo, J.L. Cano, High quality diesel by hydrotreating of atmospheric gas oil/light cycle oil blends, *Fuel*, 83 (2004) 1381-1389.
8. M. Breyse, G. Djega-Mariadassou, S. Pessayre, C. Geanet, M. Vrinat, G. Perot, M. Lemaire, Deep desulfurization: reactions, catalysts and technological challenges, *Catal. Today*, 84 (2003) 129-138.
9. Z. Đukanović, S.B. Glišić, V. Jančić Čobanin, M. Nićiforović, C.A. Georgiou, A.M. Orlović, Hydrotreating of straight-run gas oil blended with FCC naphtha and light cycle oil, *Fuel Processing Technology* 106 (2013) 160-165.
10. M. Diasakou, A. Louloudi, N. Papayannakos. Kinetics of non-catalytic transesterification of soybean oil. *Fuel* 77 (1998) pp.1297-1302.
11. D. Kusdiana, S. Saka. Kinetics of transesterification in rapeseed oil to biodiesel fuel as treated in supercritical methanol. *Fuel* 1 (80) (2001) pp.693-698.
12. G. Madras, C. Kolluru, R. Kumar. Synthesis of biodiesel in supercritical fluids. *Fuel* 83 (2004) pp.2029-2033.
13. Asakuma Y, Kawanami O, Maeda K, Kuramochi H, Fukui K. Theoretical study of the transesterification of triglycerides to biodiesel fuel under various conditions, *International Journal of Thermodynamics* 2011;14(4):193-196.
14. G.A. Depauw, G.F. Froment, Molecular analysis of the sulphur components in a light cycle oil of a catalytic cracking unit by gas chromatography with mass

- spectrometric and atomic emission detection, *J. Chromatogr. A*, 761 (1997) 231-247.
15. M.L. Khadilkar, P.L. Mills, M.P. Dudukovic, Trickle-bed reactor models for systems with a volatile liquid phase, *Chem. Engng. Sci.*, 54 (1999) 2421-2431.
 16. J. Ancheyta, M.J. Angeles, M.J. Macias, G. Marroquin, R. Morales, Changes in apparent reaction order and activation energy in the hydrodesulfurization of real feedstocks, *Energy Fuels*, 16 (2002) 189-193.
 17. Glisic S, Skala D. Phase transition at subcritical and supercritical conditions of triglycerides methanolysis, *The Journal of Supercritical Fluids* 2010;54:71–80.
 18. Anikeev, V, Stepanov D, Yermakova A. Thermodynamics of Phase and Chemical Equilibrium in the Process of Biodiesel Fuel Synthesis in Subcritical and Supercritical Methanol, *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2012;51(13):4783 – 4796.
 19. Asakuma Y, Maeda K, Kuramochi H, Fukui K. Theoretical study of the transesterification of triglycerides to biodiesel fuel, *Fuel* 2009;88:786–791.
 20. Glisic S, Orlovic A. Modelling of non-catalytic biodiesel synthesis under sub and supercritical conditions: The influence of phase distribution, *The Journal of Supercritical Fluids* 2012;65:61-70.
 21. H.S. Khesghi, S.C. Reyes, R. Hu, T.C. Ho, Phase transition and steady-state multiplicity in a trickle-bed reactor, *Chem. Engng. Sci.*, 47 (1992) 1771-1777.

3. POLAZNE HIPOTEZE

Polazne hipoteze u ovoj doktorskoj disertaciji proistekle su iz prethodnih istraživanja koja su nesumnjivo ukazala na činjenicu da konverzija kod reakcionih procesa za proizvodnju obnovljivih i mineralnih dizel goriva značajno zavisi od: molskog odnosa reaktanata u reaktoru, temperature i pritiska. Na osnovu ovih podataka može se zaključiti da su ovi reakcioni procesi višefazni i da zbog toga mogu biti značajno limitirani uticajem prenosa mase na ukupnu brzinu procesa, što je i dokazano eksperimentalnim rezultatima koji se mogu naći u literaturi. Takođe, na osnovu ranije objavljenih rezultata koji su dobijeni korišćenjem matematičkih modela koji su zasnovani na konceptu „prividnih“ ili „objedinjenih“ kinetičkih parametara, može se uočiti da takav pristup ne daje dobre rezultate predviđanja konverzije u reaktoru, kao ni dobra predviđanja uslova rada u kojima se mogu postići značajna ubrzanja ovih reakcionih procesa. Uvećanje brzine procesa inače ima veliki značaj u industrijskim uslovima rada, a to je moguće predvideti primenom rigoroznijih i preciznijih matematičkih modela.

Zbog gore navedenih činjenica i eksperimentalnih opažanja u ovoj oblasti istraživanja, matematički modeli će koristiti deduktivni pristup koji će biti zasnovani na fundamentalnim zakonitostima održanja mase i energije. Polazne hipoteze na kojima su zasnovana istraživanja u okviru ove doktorske disertacije su:

- reakcioni sistemi u proizvodnji obnovljivih i mineralnih dizel goriva su po svojoj prirodi višefazni i samo se u određenim opsezima vrednosti temperatura, pritiska i odnosa reaktanata, mogu posmatrati kao uniformni sistemi;
- višefazno stanje reakcionog sistema i raspodela reaktanata u fazama sistema mogu značajno uticati na konverziju reaktanata zbog uticaja fenomena prenosa mase;

- razvijanjem matematičkih modela ovih procesa, koji u sebi uključuju postojanje fazne ravnoteže duž reakcione koordinate kao i uticaje prenosa mase, moguće je značajno preciznije predvideti konverziju i ponašanje reaktora za proizvodnju obnovljivih i mineralnih dizel goriva;
- simulacijom i analizom procesa mogu se detektovati optimalni opsezi radnih parametara reaktora za proizvodnju obnovljivih i mineralnih dizel goriva.

4. NAUČNE METODE ISTRAŽIVANJA

Matematički modeli koji će biti razvijeni u ovoj disertaciji su determinističkog tipa i biće rezultat složene kinetičke, termodinamičke i numeričke analize ispitivanih reakcionih sistema. U radu će biti kombinovani: detaljna analiza prethodno objavljenih literaturnih podataka, teorijska analiza, eksperimentalna ispitivanja, termodinamički opis sistema, analiza stvarne kinetike procesa, kao i numeričke analize eksperimentalnih podataka.

Eksperimentalni podaci o konverziji za reakciju hidroobrade dizel frakcija su dobijeni na industrijskom postrojenju a za transesterifikaciju triglicerida na laboratorijskom reaktoru za visoke pritiske i temperature. Za analitičku karakterizaciju reakcionih sistema biće korišćene sledeće instrumentalne tehnike: adsorpcija azota, gasna hromatografija, gasna hromatografija – masena spektroskopija, infracrvena spektroskopija i ostale analitičke tehnike koje se koriste za karakterizaciju dizel goriva i naftnih derivata.

Termodinamički podaci kao i fazna ravnoteža reakcionih sistema biće dobijeni na osnovu eksperimentalnih podataka kao i simulacijom pomoću programskih paketa Phase Equilibria i UniSim. Takođe će se koristiti i podaci koji su dostupni u literaturi.

Kinetički parametri za reakcije hidroobrade dizel frakcija biće preuzeti iz literature dok će kinetički parametri reakcije transesterifikacije biti određeni korišćenjem eksperimentalnih podataka, izračunatih efekata prenosa mase za posmatrani sistem i odgovarajućih numeričkih metoda.

Nakon analize ravnoteže faza, prenosa mase i stvarne kinetike za ove reakcione sisteme, biće razvijeni odgovarajući matematički modeli koje će činiti diferencijalni bilansi mase i energije uz uključivanje relevantnih termodinamičkih, prenosnih (prenos mase) i kinetičkih parametara. Pri ovome će se naročita pažnja posvetiti disperziji faza u sistemu tečno-tečno i efektivnoj ovlaženosti u sistemu gas-tečno-čvrsto. Modeli će se realizovati korišćenjem programskog jezika FORTRAN i programskih paketa PolyMath i MatLab. Simulacijama sistema u definisanim opsezima radnih parametara ispitaće se moguća stanja konverzija reaktanata u izabranim reaktorskim sistemima.

5. OČEKIVANI NAUČNI DOPRINOS

Rezultatima istraživanja u okviru ove doktorske disertacije biće ostvaren sledeći naučni doprinosi:

- opisivanje fazne ravnoteže za sisteme vodonik-metan-dizel frakcija i etanol-gliceridi-glicerol;
- određivanje kinetičkih parametara složene reakcije transesterifikacije triglicerida (tri uzastopno-paralelne povratne reakcije);

- razvoj matematičkih modela za višefazne reakcione procese proizvodnje obnovljivih i mineralnih dizel goriva;
- simulacija i optimizacija konverzija u reaktoru za nekatalizovanu transesterifikaciju triglicerida u cilju dobijanja obnovljivih dizel goriva i uticaj prenosa mase;
- definisanje zone visokih konverzija i zone niskih konverzija reaktora za hidroobradu dizel frakcije korišćenjem razvijenog matematičkog modela;
- uticaj radnih parametara i ovlaženosti sloja na konverziju u reaktoru za hidroobradu dizel frakcije.

6. PLAN ISTRAŽIVANJA I STRUKTURA RADA

Predmet rada doktorske disertacije je matematičko modelovanje višefaznih reakcionih procesa koji su karakteristični za proizvodnju obnovljivih i mineralnih dizel goriva. Plan istraživanja je koncipiran tako da se nakon pregleda stanja u oblasti od interesa, izvedu eksperimentalna ispitivanja koja će dopuniti podatke neophodne za razvoj matematičkih modela. Pri ovome se misli na dopunske karakterizacije faza u kontaktu, prvenstveno tečne i čvrste faze. U ovom delu rada važnu ulogu ima ravnoteža faza za ispitivane reakcije na definisanim radnim uslovima, kao i njeno opisivanje odgovarajućim jednačinama stanja. Kinetika reakcija će se odrediti za reakciju nekatalizovane transesterifikacije triglicerida jer u literaturi ne postoje dovoljno dobri i pouzdani kinetički podaci. Kinetički parametri će se odrediti korišćenjem ranije generisanih eksperimentalnih podataka i numeričkih metoda za optimizaciju parametara modela.

Imajući u vidu višefaznu prirodu ovih reakcionih sistema, formiraće se odgovarajući matematički modeli koji će biti validirani na osnovu postojećih eksperimentalnih podataka i podataka iz literature. Simulacijom korišćenjem razvijenih matematičkih modela analiziraće se ovi višefazni reakcioni procesi u cilju njihove optimizacije.

Plan izrade doktorske disertacije će imati sledeću strukturu:

- Pregled literature
- Teorijska analiza
 - Reakcije hidroobrade dizel frakcije
 - Reakcije transesterifikacije triglicerida metanolom i etanolom
- Eksperimentalni deo
 - o Ravnoteža faza i jednačine stanja
 - o Kinetika
 - Katalitička hidroobrada dizel frakcije
 - Nekatalitička transesterifikacija triglicerida metanolom i etanolom
 - o Procesni uslovi višefaznog sistema tečno-tečno i gas-tečno čvrsto
- Matematički modeli višefaznih reakcionih sistema
 - o Postavke modela
 - o Parametri modela
 - o Simulacija i poređenje sa eksperimentalnim podacima
- Simulacije i optimizacije korišćenjem razvijenih matematičkih modela
 - o Poređenje podataka dobijenih simulacijom sa podacima iz literature

- o Definisanje optimalnih reakcionih uslova

7. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na iznetih podataka Komisija smatra da je tema doktorske disertacije

„Matematičko modelovanje višefaznih reakcionih procesa u proizvodnji obnovljivih i mineralnih dizel goriva“

koju je predložio Mr Abdualnaser Muftah Almagrbi naučno zasnovana i predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta da je prihvati. Za mentora se predlaže Dr Aleksandar Orlović, vanredni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, a za komentora Dr Sandra Glišić, naučni saradnik Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Hemija i hemijska tehnologija za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova.

U Beogradu, 22.01.2013.

ČLANOVI KOMISIJE

1. Dr **Aleksandar Orlović**, vanredni profesor
Tehnološko-metalurški fakultet
Univerzitet u Beogradu
2. Dr **Sandra Glišić**, naučni saradnik
Tehnološko-metalurški fakultet
Univerzitet u Beogradu
3. Dr **Aleksandar Jovović**, redovni profesor
Mašinski fakultet
Univerzitet u Beogradu