

Obrazac 1.

Fakultet: **TEHNOLOŠKO-METALURŠKI
FAKULTET**

35/62
(Broj zahteva)

22.03.2011.
(Datum)

UNIVERZITET U BEOGRADU

Veće naučnih oblasti tehničkih nauka
(Naziv veća naučne oblasti i kome se
zahtev upućuje)

Z A H T E V
za davanje saglasnosti na predlog teme doktorske disertacije

Molimo da, shodno članu 46. st. 5. tačl. 3 Statuta Univerziteta u Beogradu („Glasnik Univerziteta“, broj 131/06), date saglasnost na predlog teme doktorske disertacije:

**„MIKROMEHANIČKA ANALIZA LOMA I OŠTEĆENJA KOMPOZITNIH CEVI STAKLENA
VLAKNA-POLIESTER U RAZLIČITIM HEMIJSKI AGRESIVNIM USLOVIMA“**

(pun naziv predložene teme doktorske disertacije)

NAUČNA OBLAST HEMIJA I HEMIJSKA TEHNOLOGIJA

PODACI O KANDIDATU:

1. Ime, ime jednog od roditelja i prezime kandidata:

MARINA (Radoslav) STAMENović

2. Naziv i sedište fakulteta na kome je stekao visoko obrazovanje: **Tehnološko-metalurški fakultet** u Beogradu

3. Godina diplomiranja: 1995. godine

4. Naziv magistarske teze kandidata: „**UTICAJ STRUKTURE NA STATIČKA I DINAMIČKA
SVOJSTVA LAMINARNIH KOMPOZITA STAKLENO VLAKNO-POLIMER“**“

5. Naziv fakulteta na kome je magistarska teza odbranjena: **Tehnološko-metalurški fakultet**

6. Godina odbrane magistarske teze: 1999.

Obaveštavamo Vas da je **Nastavno-naučno veće**

(naziv nadležnog tela Fakulteta)

na sednici održanoj 17.03.2011. godine razmotrilo predloženu temu i zaključilo da je tema podobna za izradu doktorske disertacije.

DEKAN FAKULTETA

Prof. dr Ivanka Popović

Prilog: 1. Predlog teme doktorske disertacije sa obrazloženjem.

2. Akt nadležnog tela fakulteta o podobnosti teme za izradu doktorske disertacije.

3. Podaci o mentoru

Na osnovu čl. 128. Zakona o visokom obrazovanju i čl. 38. Statuta Fakulteta, na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta od 17.03.2011. godine, doneta je

O D L U K A

o prihvatanju Izveštaja Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije i odobrenju izrade doktorske disertacije

Prihvata se Izveštaj Komisije za ocenu naučne zasnovanosti predložene teme i odobrava izrada ***doktorske disertacije*** **mr MARINI STAMENović**, dipl. inž., pod nazivom: „**MIKROMEHANIČKA ANALIZA LOMA I OŠTEĆENJA KOMPOZITNIH CEVI STAKLENA VLAKNA-POLIESTER U RAZLIČITIM HEMIJSKI AGRESIVNIM USLOVIMA**“, uz uslov da Veće naučnih oblasti Univerziteta u Beogradu da saglasnost na predlog teme.

Za mentora se određuje **dr Slaviša Putić, van. prof. TMF.**

Odluku dostaviti: Veću naučnih oblasti Univerziteta, kandidatu, mentoru, Službi za nastavno-studentske poslove i arhivi Fakulteta.

D E K A N

Prof. dr Ivanka Popović

**NASTAVNO–NAUČNOM VEĆU
TEHNOLOŠKO–METALURŠKOG FAKULTETU
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Na sednici Nastavno–naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta održanoj 16. decembra 2010. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije kandidata mr Marine R. Stamenović (rođena Krivokuća), dipl. inž. tehnologije, pod nazivom “Mikromehanička analiza loma i oštećenja kompozitnih cevi staklena vlakna–poliester u različitim hemijskim agresivnim uslovima”. Posle pregleda i analize dostavljenog materijala, Komisija podnosi sledeći

IZVEŠTAJ

1. Podaci o kandidatu

Marina R. Stamenović (rođ. Krivokuća) je rođena 27. juna 1970. godine u Kruševcu gde je završila osnovnu i srednju školu. Diplomirala je na Tehnološko–metalurškom fakultetu u Beogradu na Katedri za analitičku hemiju 1995. godine sa prosečnom ocenom 8,50. Nakon diplomiranja je u zvanju asistent saradnik radila na Katedri za opštu i neorgansku hemiju. Poslediplomske studije upisala je na Tehnološko–metalurškom fakultetu u Beogradu 1996. godine na Katedri za konstrukcione materijale. Magistrirala je 1999. godine odbranivši rad sa temom “Uticaj staklenog ojačanja na statička i dinamička svojstva laminarnih kompozitnih materijala” pod mentorstvom prof. dr Radoslava Aleksića i stekla VII2 stepen stručne spreme i akademski naziv magistra tehničkih nauka.

U periodu od 1998–1999. godine radila je kao istraživač saradnik na odseku za materijale instituta SANU kao saradnik prof. dr Dragana Uskokovića.

Od 2003–2006 godine je bila angažovana kao predavač na izvođenju nastave u Višoj politehničkoj školi u Beogradu. 2006. godine je u istoj školi i zasnovala radni odnos kao predavač u oblasti Hemije i Zaštite životne sredine. Od 2008. godine radi kao predavač u Visokoj školi strukovnih studija Beogradska politehnika u užoj stručnoj oblasti Materijali i Tehnologija kože i proizvoda od kože.

Na Tehnološko–metalurškom fakultetu u Beogradu je stekla naučno zvanje istraživač–saradnik.

Do sada je objavila jedan rad u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21) i tri rada u časopisima međunarodnog značaja (M23); dva rada je saopštila na skupovima međunarodnog značaja štampana u celini (M33) i četiri rada na skupu međunarodnog značaja štampana u izvodu (M34); osam radova je objavila u vodećim časopisima nacionalnog značaja (M51) i tri rada u časopisima nacionalnog značaja (M52); dva rada je saopštila po pozivu na skupu nacionalnog značaja štampana u celini (M61); petnaest radova je saopštila na skupovima nacionalnog značaja štampanih u celini (M63) i četiri rada na skupovima nacionalnog značaja štampanih u izvodu (M64).

1.1. Spisak objavljenih radova koji opredeljuju afinitet kandidata na predloženoj temi:

Naučni radovi objavljeni u vrhunskim časopisima međunarodnog značaja (M21)

1. M. E. Tenc-Popović, Lj. J. Bogunović, **M. R. Krivokuća**, “New Synthesis of Liquid Polysulfide Polymers in the Presence of Hydrazine. II. The Synthesis of Linear Polymers from 1,1’-[Methylenebis (oxy)]- bis[2-chloroethane] and Na₂S₃ or Na₂S_{2,5}”, *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, Vol.35, issue 8, pp. 1369-1373 (1997) ISSN 0887-624X, IF 1998 = 1.237, IF 1999 = 1,630, IF 2009 = 3,971, *Polymer Science* (1999: 7/70, 2009: 9/76)

Naučni radovi objavljeni u časopisima međunarodnog značaja (M23)

1. P. Uskoković, M. Miljković, **M. Krivokuća**, S. Putić, R. Aleksić, "An intensity based optical fiber sensor for flexural damage detection in woven composites", *Advanced Composites Letters*, Vol. 8, pp. 55-63 (1999) ISSN 0963-6935, IF 1999 = 0,417, Materials Science, Composites (1999: 10/18)
2. S. Putić, **M. Stamenović**, B. Bajčeta, P. Stajčić, S. Bošnjak, "High and Low Temperature Influence on Glass-Epoxy Composite Impact Properties", *Journal of the Serbian Chemical Society*, Vol. 72 7 pp. 713-722 (2007) ISSN 0352-5139, IF 2007 = 0,536, IF 2008 = 0,611, IF 2009 = 0,820, Chemistry, Multidisciplinary (2007: 95/127, 2008: 91/127, 2009: 86/138).
3. S. Putić, B. Bajčeta, D. Vitković, **M. Stamenović**, V. Pavićević, "The Interlaminar Strength of the Glass Fibre Polyester Composite", *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, Vol. 15 (1) pp. 45-48 (2009) ISSN 1451-9372.

Radovi saopšteni na skupovima međunarodnog značaja štampani u celini (M33)

1. S. Putić, **M. Stamenović**, M. Zrilić, B. Bajčeta, "Bending Properties Of Glass-Polyester Composite Pipes", *3rd International Conference Deformation, Processing and Structure of Materials*, Belgrade, Serbia (2007) 299-304.
2. **M. Stamenović**, S. Putić, M. Zrilić, I. Vukoje, Lj. Milović, "Energy Absorption Capacity of Poly(Vinyl Chloride) Tubes", *4th International Conference, Processing and Structure of Materials*, 27-29 May, 2010, Palić, Serbia (2010) 201-206 (ISBN 978-86-87183-17-9).

Radovi saopšteni na skupovima međunarodnog značaja štampani u izvodu (M34)

1. B. Jokić, V. Pavićević, **M. Stamenović**, "Substitution of hydrazine by volatile oxygen scavengers and alkalizing agents in thermal cycles", *5th International conference of the south-east European chemical societies*, Book of Abstracts, Ohrid, Vol. 1 (2006).
2. **M. Stamenović**, S. Putić, P. Stajčić, "Stress And Strain Determination In Vertical Cutting Of Glass-Polyester Composite Pipes", *5th International Conference of the Chemical Societies of the South-East European Countries*, Book of Abstracts, Ohrid, Makedonija, Vol. 1 pp. 237 (2006)
3. **M. Stamenović**, S. Putić, M. Zrilić, Lj. Milović, J. Pavlović-Krstić, "Specific Energy Absorption Capacity Of Glass-Polyester Composite Tubes Under Static Compressive Loading", *9th International symposium of croatian metallurgical society*, SHMD 2010, Materials and Metallurgy, Summaries of lecture, Šibenik, Croatia, June 20-24, (2010), Metallurgy, Vol. 49, 3, 145-288, pp.203 (2010), ISSN 0543-5846
4. **M. Stamenović**, S. Putić, M. Zrilić, Lj. Milović, D. Vitković, "Energy Absorption Capacity of Glass-Polyester Composite tubes", *Eleventh Annual Conference*, YuCOMAT 2009, The Book of Abstracts, (2009), Herceg Novi, 182.

Naučni radovi objavljeni u vodećim časopisima nacionalnog značaja (M51)

1. S. Putić, **M. Krivokuća**, V. Pavićević, R. Aleksić, "Zatezna svojstva stakleno tkanje - epoksi kompozitnih materijala na povišenoj temperaturi", *Glasnik hemičara i tehnologa Republike Srpske*, Banjaluka, **44** (2003) 314-322.
2. V. Pavićević, D. Antonović, **M. Stamenović**, "Remediaciona tehnologija bez spaljivanja za otpad zagađen PCB", *VII Savjetovanje hemičara i tehnologa*, R. Srpska, Banja Luka, (2003) (CD-ROM).

3. S. Putić, **M. Stamenović**, B. Bajčeta, P. Stajčić, S. Bošnjak, "Low-temperature tension properties of glass-epoxy composite materials", *Acta Periodica Technologica*, APTEFF, **36**, 1-266, pp. 123-134, (2005), YU ISSN 1450-7188
4. S. Putić, **M. Stamenović**, P. Stajčić, B. Bajčeta, S. Bošnjak, "Investigation Method Of Torsional Properties And Damages Of Glass/Epoxy Composite Pipes", *Acta Periodica Technologica*, APTEFF, 1-192, 37, pp. 97-106, (2006), YU ISSN 1450-7188
5. **M. Stamenović**, S. Putić, B. Bajčeta, D. Vitković, "Numerical method for the prediction of bending properties of glass-epoxy composites", *Acta Periodica Technologica*, APTEFF, 38, 1-190 pp. 85-96 (2007), YU ISSN 1450-7188
6. **M. Stamenović**, S. Putić, B. Bajčeta, D. Vitković, "Micromechanical analyses of the crack in glass woven-epoxy composites subjected to in-plane compression load", *Acta Periodica Technologica*, APTEFF, **39**, 1-214 pp. 113-122, (2008), YU ISSN 1450-7188
7. S. Putić, **M. Stamenović**, B. Bajčeta, D. Vitković, "Determination of Tension Strength in the Longitudinal and Circumferential Direction in Glass-Polyester Composite Pipes", *Acta Periodica Technologica*, APTEFF, **40**, 1-220, pp. 155-163, (2009), YU ISSN 1450-7188
8. V. Pavićević, **M. Stamenović**, I. Dugandžić, "Upravljanje otpadom", *Glasnik hemičara, tehnologa i ekologija Republike Srpske*, **1** (2009) 195-200 (ISSN 1840-054X).

Naučni radovi objavljeni u časopisima nacionalnog značaja (M52)

1. **M. Krivokuća**, S. Putić, P. Uskoković, Č. Lačnjevac, R. Aleksić, "Zatezna svojstva laminarnih kompozita staklo-epoksid na povišenim temperaturama", *Tehnika - Novi materijali* 7, pp. 9-13, (1998) YU ISSN 0040-2176
2. S. Putić, Z. Burzić, **M. Stamenović**, P. Stajčić, "Zatezna svojstva polimernog kompozitnog materijala poliamidna vlakna (kevlar 129) - poli(vinilbutiral) (pvb)", *Metalurgija*, No. 1, Vol. **12** pp. 45-53 (2006), ISSN 0354-6306
3. **M. Stamenović**, S. Putić, D. Vitković, D. Ljubić, "Određivanje pravca glavnih napona i deformacija kod staklo-poliester kompozitnih cevi pri dejstvu unutrašnjeg pritiska", *Svet polimera*, Vol. 13 (1) 1-32, pp. 13-16 (2010), ISSN 1450-6734

Radovi po pozivu saopšteni na skupovima nacionalnog značaja štampani u celini (M61)

1. S. Putić, **M. Stamenović**, "Mehanička svojstva polimernih kompozitnih materijala", *Savetovanje "Kompozitni materijali i njihova primena"*, Zbornik radova, Požarevac, Srbija, 27. avgust 2010, 46-60 (ISBN 978-86-912123-3-9).
2. **M. Stamenović**, S. Marjanović, S. Putić, "Određivanje napona u staklo-poliester kompozitnim cevima usled dejstva unutrašnjeg pritiska", *Savetovanje "Kompozitni materijali i njihova primena"*, Zbornik radova, Požarevac, Srbija, 27 avgust 2010, 61-70 (ISBN 978-86-912123-3-9).

Radovi saopšteni na skupovima nacionalnog značaja štampani u celini (M63)

1. P. Uskoković, A. Orlović, M. Srećković, S. Pantelić, **M. Krivokuća**, S. Putić, R. Aleksić, "Razvoj matematičkog modela za proces dobijanja kompozitnih štapova sa ugrađenim optičkim vlaknom", *IBR u funkciji obezbeđenja kvaliteta*, Savetovanje sa međunarodnim učešćem, Zbornik radova, Bečići, (1998) 154-158.
2. **M. Krivokuća**, P. Uskoković, M. Srećković, S. Pantelić, D. Nikolić, S. Putić, R. Aleksić, "Primena optičkih vlakana za praćenje deformacije kompozitnih laminata stakleno tkanje-

- eposkidna smola", *IBR u funkciji obezbeđenja kvaliteta*, Savetovanje sa međunarodnim učešćem, Zbornik radova, Bečići, (1998) 158-160.
3. P. Uskoković, Lj. Brajović, **M. Krivokuća**, S. Putić, R. Aleksić, „Intenzitetni fiberoptički senzori za detektovanje udara niskih energija na jednoosnim kompozitima“, *XVIII Konferencija za Etran*, Zbornik radova, sveska 4, Zlatibor, (1999) 337-339.
 4. S. Putić, **M. Krivokuća**, V. Pavićević, R. Aleksić, "Zatezna svojstva stakleno tkanje- epoksi kompozitnih materijala na povišenoj temperaturi", *VII savetovanje hemičara i tehnologa*, R. Srpska, Banja Luka, (2003) (CD-ROM).
 5. V. Pavićević, D. Antonović, M. Sovrlić, M. Stamenović, "Pranje zemljišta kao remediaciona tehnologija za otpad zagađen PCB", *Međunarodna konferencija "Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad"*, Zlatibor, (2004) 264.
 6. **M. Stamenović**, B. Bajčeta, P. Stajčić, S. Putić, "Primena analitičkog modela za određivanje savojnih svojstava staklo-epoksi kompozitnog materijala", *VI Simpozijum sa međunarodnim učešćem "Savremene tehnologije i privredni razvoj"*, Leskovac, (2005) (CD-ROM 14, ISSN 0352-6542).
 7. S. Putić, **M. Stamenović**, P. Stajčić, S. Bošnjak, "Optimizacija strukture po debljini zida staklo-epoksi kompozitne posude pod pritiskom", *VI Simpozijum sa međunarodnim učešćem "Savremene tehnologije i privredni razvoj"*, Leskovac, (2005), (CD-ROM 14, ISSN 0352-6542).
 8. V. Pavićević, D. Antonović, **M. Stamenović**, "Termička desorpcija kao remediaciona tehnologija za otpad zagađen PCB", *Međunarodna konferencija "Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad"*, Zlatibor, (2005) 284.
 9. V. Pavićević, **M. Stamenović**, "Unapređenje upravljanja otpadom u Srbiji", *VI Simpozijum sa međunarodnim učešćem "Savremene tehnologije i privredni razvoj"*, Leskovac, (2005) 299 (ISBN 86-82367-60-2).
 10. V. Pavićević, **M. Stamenović**, "Nacionalni program zaštite životne sredine Srbije u oblasti upravljanja otpadom", *Međunarodna konferencija "Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad"*, Subotica, (2006) 354, ISBN 86-82931-17-6
 11. V. Pavićević, M. Ristić, **M. Stamenović**, "Niskotemperaturni tretman infektivnog medicinskog otpada vlažnom toplotom", *Međunarodna konferencija "Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad"*, Kruševac, (2007), 3004-3008 (ISBN 978-82931-20-1).
 12. V. Pavićević, **M. Stamenović**, "Nacionalni program zaštite životne sredine Srbije u oblasti kvaliteta voda i vodnih resursa", *VII Simpozijum sa međunarodnim učešćem „Savremene tehnologije i privredni razvoj“*, Zbornik radova, Leskovac, (2007) 130-139 (CD-ROM, ISSN 0352-6542).
 13. V. Pavićević, M. Ristić, **M. Stamenović**, "Niskotemperaturni tretman infektivnog medicinskog otpada suvom toplotom", *Međunarodna konferencija "Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad"*, Vršac, (2008) 321-325 (ISBN 978-82931-24-9).
 14. V. Pavićević, M. Ristić, **M. Stamenović**, "Upravljanje infektivnim medicinskim otpadom", *V Simpozijum Hemija i zaštita životne sredine-Enviro tara*, Tara, (2008) 260-261 (ISBN 978-86-7132-037-5).
 15. V. Pavićević, M. Ristić, **M. Stamenović**, "Tretman infektivnog medicinskog otpada bez spaljivanja", *Međunarodna konferencija "Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad"*, Zlatibor, (2009) 356-360 (ISBN 978-82931-28-7).

Radovi saopšteni na skupovima nacionalnog značaja i štampani u izvodu (M64)

1. S. Putić, **M. Krivokuća**, P. Uskoković, R. Aleksić, "Uticaj strukture laminarnih kompozita stakleno vlakno-poliestar na zateznu i savojnu čvrstoću", *II Jugoslovenska Konferencija o Novim Materijalima*, YUCOMAT 97, Herceg-Novi, PSC.III.15. (1997) 186.
2. M. Rakin, **M. Krivokuća**, P. Uskoković, R. Aleksić, S. Putić, "Određivanje preostale čvrstoće za staklo/epoksid kompozitni materijal", *III Jugoslovenska Konferencija o Novim Materijalima*, YUCOMAT 99, Herceg Novi, (1999) 232.
3. **M. Krivokuća**, S. Putić, P. Uskoković, R. Aleksić, "Uticaj strukture na savojna svojstva laminarnog kompozitnog materijala", *III Jugoslovenska Konferencija o Novim Materijalima*, YUCOMAT 99, Herceg-Novi, (1999) 228.
4. **M. Stamenović**, B. Bajčeta, V. Pavićević, "Uticaj staklenog ojačanja na pritisna svojstva staklo-epoksidnih kompozitnih materijala", *VI Simpozijum sa međunarodnim učešćem Savremene tehnologije i privredni razvoj*, Leskovac (2005) (Rad na CD 14 ISSN 0352-6542).

1.2. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Na osnovu biografskih podataka, podataka o magistraturi, spiska objavljenih radova i dosadašnjeg rada sa kandidatom, Komisija ocenjuje da je kandidat podoban za rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

2. Predmet i cilj istraživanja

Tradicionalno korišćeni konstrukcioni materijali se danas u postrojenjima hemijske i procesne industrije sa uspehom zamenjuju kompozitnim materijalima, a dominantnu primenu kao jedni od osnovnih elemenata u navedenim postrojenjima imaju staklena vlakna–poliesterska smola kompozitne cevi. Prednosti se prvenstveno ogledaju u relativno maloj masi, dobrom odnosu čvrstoća/masa i krutost/masa, dobrim statičkim i dinamičkim svojstvima, kao i dobrom otpornosti na koroziju. Cevi izrađene za ovu namenu su u toku eksploatacije izložene dejstvu visokih napona usled unutrašnjeg pritiska, ali i različitim uticajima u zavisnosti od agresivnosti radnog medijuma koji se njima transportuje. Pojedinačno ili u kombinaciji navedenih pojava, u cevima se tokom eksploatacije mogu stvoriti oštećenja u vidu prslina koje daljim razvojem mogu dovesti do kritičnog naponskog stanja i do eventualnih havarija u postrojenjima.

Imajući prethodno u vidu, predmet ove doktorske disertacije bi bio mikromehanička analiza loma i oštećenja polimernih kompozitnih cevi staklena vlakna–poliester u različitim hemijski agresivnim uslovima i pri različitim uslovima mehaničkih opterećenja u eksploataciji. Istraživaće se uticaji dejstva rastvora hemijski agresivnih supstanci različitih pH vrednosti kao i uticaj dužine vremena izlaganja na čvrstoću i krutost kompozitnih cevi strukture $[90_2/\pm 55_2/90_4]$ (2 sloja pod uglom 90° u odnosu na osu, 2 sloja helikoidno pod uglom $\pm 55^\circ$, 4 sloja pod uglom 90° u odnosu na osu). U istraživanju, kao hemijski agresivne supstance bi se koristili rastvori azotne kiseline, fosforne kiseline, natrijum–hidroksida i amonijum–hidroksida jednakih koncentracija (25mas.%). Mehaničkim ispitivanjima bi se odredila naponska stanja i deformacije u uzdužnom i porečnom pravcu cevi ispitivanjem na zatezanje, sposobnost apsorbovanja energije udara kao i veličine energije stvaranja i širenja prslina, deformacije i naponi u cevima usled dejstva unutrašnjeg pritiska. Odgovarajućim mehaničkim ispitivanjima i pratećom mikromehaničkom analizom na prelomnim površinama bi se pre svega istraživali netretirani uzorci, a nakon toga uzorci izloženi navedenim kiselinama i bazama 3, 10, 30 i 60 dana.

Cilj istraživanja predstavlja dobijanje podataka o uticaju agresivnih sredina i dužine izlaganja na strukturu cevi, pre svega na modele nastajanja i razvoja oštećenja pri različitim uslovima

opterećenja. Takođe, na taj način će se i doći do podataka o veku trajanja ispitivanih struktura staklena vlakna–poliester kompozitnih cevi u realnim uslovima opterećenja tokom eksploatacije sa navedenim radnim medijumima.

Istraživačka aktivnost u ovoj oblasti je intenzivna i određeni broj radova u literaturi posvećen je ovakvim istraživanjima. Kao primer istraživanja u ovoj oblasti može poslužiti rad [1] u kome su autori proučavali zavisnost ugla namotavanja ojačavajućih vlakana kompozitne cevi izložene dejstvu unutrašnjeg pritiska na njena naponska stanja. Poznato je da se tokom eksploatacije usled različitih pritisaka ili agresivnosti radnog medijuma u zavisnosti od strukture u kompozitnim cevima javljaju različite raspodele napona u njima. Poznavanje tih vrednosti u velikoj meri objašnjava nastanak oštećenja u vidu prslina i njihov razvoj. U radu je proveravana poznata relacija odnosa napona u obimnom (tangencijalnom) i uzdužnom (aksijalnom) pravcu koja je 2:1. Analize su pokazale da ugao namotavanja ima značajan uticaj i na čvrstoću i odnose napona. Utvrđeno je da je optimalni ugao namotanog ojačanja između 45° i 55° . Odstupanje od ovog opsega ugla značajno povećava mogućnost loma. U radu navedenom pod [2] su ispitivana mehanička svojstva staklena vlakna-poliester kompozitnih cevi sa namotavanjem ojačanja $\pm 54^\circ$ i 90° . Ispitivanja su izvedena delovanjem unutrašnjeg hidrostatičkog pritiska a određivani su naponi u obimnom i uzdužnom pravcu cevi. I u radu [3] su autori ispitivali polimerne cevi delovanjem unutrašnjeg pritiska. Cilj ovih ispitivanja je bilo praćenje rasta prslina usled povećavanja pritiska i određivanje kritične vrednosti unutrašnjeg pritiska pri kome dolazi do progresivnog razvoja oštećenja koje dovodi do pucanja cevi. Konačni zaključci su se odnosili na određivanje optimalnih debljina zidova cevi. Da bi se u potpunosti razjasnio mehanizam razvoja oštećenja neophodno je na uzorcima sečenim uzdužno i poprečno iz cevi izvesti mehanička ispitivanja zatezanjem što je u istraživanjima prikazano u radu [4] na strukturama polimernih cevi sa ojačanjem od namotanih vlakana i epoksi matricom. Cilj istraživanja u radu [5] je bilo određivanje uticaja geometrije cevi i njene strukture pri različitim mehaničkim opterećenjima. Ispitivani uzorci su bili staklena vlakna–epoksi cevi sa ojačanjem od namotanih vlakana pod uglom $\pm 55^\circ$. Ispitivanja su izvedena na uzorcima koji su izlagani različitim opterećenjima i naponima sa ciljem da se okarakteriše veličina oštećenja pri različitim nivoima opterećenja. Mikromehanička svojstva, modeli i mehanizmi oštećenja kao i mehaničko ponašanje staklena vlakna–epoksi cevi sa ojačanjem od namotanih vlakana $\pm 55^\circ$ su istraživani u radu [6]. I agresivnost radnog medijuma i njegov uticaj na mikromehanička svojstva polimernih kompozitnih cevi je bio predmet u nekim studijama. U radu [7] su analizirani uticaji hlorovodonične kiseline (HCl), sumporne kiseline (H_2SO_4), azotne kiseline (HNO_3) i fosforne kiseline (H_3PO_4) na mehanička svojstva staklena vlakna–poliester kompozitnih dobijenih namotavanjem staklenih vlakana. Uzorci isečeni iz cevi su izlagani dejstvu navedenih rastvora i kiselina 30, 60 i 90 dana u rastvorima navedenih kiselina (20 mas.%) na sobnoj temperaturi i temperaturi od $100^\circ C$. Uticaj koncentrovane sumporne kiseline na staklena vlakna–epoksi kompozitni materijal sa različitim orijentacijama ojačanja je određivan u radu [8]. Zaključeno je da je razvoj oštećenja naglašeniji i brži sa porastom koncentracije sumporne kiseline, što se može objasniti hidrolitičkim rastvaranjem matrice u kontaktu sa ovom kiselinom. Eksperimentalni rezultati uticaja različitih koncentracija hlorovodonične kiseline na intenzitet napona u kompozitnim strukturama sa ojačanjem od staklenog tkanja i matricama od bisfenol–epoksi i bisfenol–vinilestar smola su prikazani u radu [9]. Povećanje koncentracije kiseline je dovodilo do smanjenja svih mehaničkih svojstava što ukazuje na direktan uticaj na međufazne površine staklena vlakna–matrica. Uticaj različitih agresivnih uslova kao i vremena dužine izlaganja uzoraka na mehanička svojstva staklenih vlakana–poliester polimernih kompozitnih materijala je bio analiziran i upoređivan u radu [10]. Istraživanja su se sprovodila za različite rastvore NaOH (10 mas.%), HCl (1N), NaCl (10 mas%) i vodi.

Relevantni bibliografski izvori

1. Ni, Ai-Qing; Zhu, Yi-Wen; Wang, Ji-Hui: "Effects of winding angle on the strength of composite pipe under internal pressure", *Wuhan Ligong Daxue Xuebao/Journal of Wuhan University of Technology*, **28** 3 (2006) 10-13.
2. P. Karpuz, "Mechanical Characterization Of Filament Wound Composite Tubes By Internal Pressure Testing", *Master of Science Thesis, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Ankara*, May 2005, 104 pages.
3. P. Flueler and M. Farshad, "Arrest of rapid crack propagation in polymer pipes", *Materials and Structures*, **28** 2(1995) 108-110.
4. Aleong C, Munro M., "Evaluation of radial-cut method for determining residual strains in fiber composite rings", *Exp Techniques* **15** (1991) 55–8.
5. Rousseau J, Perreux D, Verdiere N., "The influence of winding patterns on the damage behaviour of filament-wound pipes", *Compos Sci Technol* **59** (1999) 1439–49.
6. Bai L, Seeleuthner P, Bompard P., "Mechanical behaviour of $\pm 55^\circ$ filament-wound glass-fibre/epoxy-resin tubes: I. Micro-structural analyses, mechanical behaviour and damage mechanisms of composite tubes under pure tensile loading, pure internal pressure, and combined loading", *Compos Sci Technol* **57** (1997) 141–53.
7. Mahmoud MK, Tantawi SH., "Effect of strong acids on mechanical properties of glass/polyester GRP pipe at normal and high temperatures", *Polym Plast Technol* **42** (2003) 677–88.
8. Pai R, Kamath MS, Rao RMVGK, "Acid resistance of glass fiber composites with different layup sequencing. Part I - diffusion studies", *J Reinf Plast Comp* **16** (1997) 1002–12.
9. Kawada H, Srivastava VK., "The effect of an acidic stress environment on the stress-intensity factor for GRP laminates", *Compos Sci Technol*. **61** (2001) 1109–14.
10. Sindhu K, Joseph K, Joseph JM, Mathew TV., "Degradation studies of coir fiber/polyester and glass fiber/polyester composites under different conditions", *J Reinf Plast Com* **26** (2007) 1571–85.

3. Polazne hipoteze

Osnovne polazne hipoteze se zasnivaju na bibliografskim izvorima koji su u vezi sa predmetom istraživanja u okviru ove doktorske disertacije, a pre svega se odnose na poznavanje i razumevanje modela i mikromehanizama oštećenja u polimernim kompozitnim materijalima pri različitim uslovima opterećenja i u različitim hemijski agresivnim sredinama tokom eksploatacije. Takvo poznavanje je od velikog značaja za svaki polimerni kompozitni materijal i od njega izvedenih konstrukcija jer za svaku posebnu primenu određuje žilavost kompozita, otpornost na udarno i promenljivo opterećenje, brzinu akumulacije oštećenja, preostalu čvrstoću, krutost i vek. Poznato je da se oštećenja sastoje od različitih kombinacija nastajanja prslina u matrici, raskidanja veza između vlakana i matrice, raslojavanja i lokalnog prekida vlakana, a zavise od strukture materijala, broja slojeva i orijentacije vlakana u njima, procesa oblikovanja, stanja napona i uvedenog opterećenja. Alternativni pristup u razumevanju ovih pojava je preko unapred utvrđenih mikromehaničkih modela mehanizama oštećenja. Međutim, obzirom na veliki broj istovremeno delujućih parametara u svakoj realnoj konstrukciji, modeli kao što su razdvajanje veze vlakno–matrica, izvlačenje vlakana iz matrice, lom vlakana i matrice, delaminacija, retko mogu pojedinačno biti dovoljno precizni da bi bili od koristi projektantu. Oni predstavljaju samo iskustvene modele koji zahtevaju dopunsku analizu svakog loma, a to je predmet mikromehaničke analize koja se izvodi na prelomnim površinama ispitivanih uzoraka. Ovakva analiza predstavlja nezaobilazan podatak o proceni kvaliteta materijala i proceni veka trajanja određene polimerne kompozitne strukture. Iz tog razloga se i u okviru plana i programa ispitivanja polimernih kompozitnih cevi

predviđenih u ovoj doktorskoj disertaciji planira i opsežno mikromehaničko analiziranje nastalih lomova nakon svih planiranih mehaničkih ispitivanja i to na netretiranim, kao i na uzorcima izloženim hemijski agresivnim uslovima određeni broj dana. Na taj način će se zaokružiti saznanje o tome kako odabrane baze i kiseline određenih pH vrednosti prvenstveno utiču na kvalitet veze vlakna–matrica kao najosetljivijeg mesta u strukturi polimernih kompozitnih materijala. Slabljenje te veze predstavlja izuzetno neželjenu pojavu stvaranja potencijalnih kritičnih mesta inicijacija i nagomilavanja prslina praćenih izvlačenjem vlakana. S druge strane, prekomerno jake veze vlakna–matrica mogu prouzrokovati pucanje vlakana usled ograničavajućih deformacija ili vlakna ili matrice, što opet može prouzrokovati smanjenje krutosti. U oba slučaja se u materijalu stvaraju zone visokih i kritičnih naponskih stanja što ugrožava celovitost materijala ili elemenata konstrukcije.

4. Naučne metode istraživanja

Predviđenim ispitivanjem će se razjasniti uticaj rastvora navedenih kiselina i baza, tj., navedenih kiselina i baza, na mehanička svojstva navedene strukture staklena vlakna–poliester cevi i to nakon 3, 10, 30 i 60 dana. Izvedene analize koje se planiraju su teorijsko–stručnog i istraživačko–eksperimentalnog karaktera. Metode rada će se realizovati u tri faze, i to: teorijska analiza, eksperimentalna ispitivanja sa mikromehaničkom analizom i numerička potvrda metodom konačnih elemenata.

U teorijskoj analizi ove doktorske disertacije će se predočiti značaj primene i korišćenja staklena vlakna–poliester kompozitnih cevi. Ukazaće se na činjenicu da važeći standardi za izbor, projektovanje i izradu cevi od kompozitnog materijala na bazi staklenih vlakana kao ojačanja i poliestarske smole kao matrice još uvek u potpunosti ne daju dovoljno informacija o ponašanju cevi prilikom dejstva unutrašnjeg pritiska, a pogotovo u različitim uslovima eksploatacije odnosno transporta radnog medijuma. To je bio razlog da se u ovom delu priloži pregled najnovijih i literaturno dostupnih referenci sa opisom šta je do sada urađeno u ovoj oblasti istraživanja na ovakvim ili sličnim strukturama kompozitnih cevi.

S obzirom na specifičnu strukturu cevi, u radu će potpuno biti definisana svojstva strukturnih komponenta i opisan postupak proizvodnje cevi metodom “Filament Winding”. Za sva ispitivanja će biti prikazan izgled i dimenzije uzoraka.

Eksperimentalna ispitivanja zateznih svojstava cevi na uzorcima isecanim iz cevi u uzdužnom (osnom) i poprečnom (obimnom) pravcu biće izvedena prema ASTM D3039. Ispitivanja na ravnim epruvetama za određivanje zateznih svojstava u uzdužnom pravcu će biti izvedena na elektro–mehaničkoj kidalici SCHENCK TREBEL RM 100, a ispitivanja prstenova, radi određivanja zateznih svojstava u poprečnom pravcu na INSTRON 1332 sa kontrolerom INSTRON FAST TRACK 80800, uz korišćenje hidrauličkih čeljusti.

Određivanje energije udara će se izvoditi po metodi Šarpi. Korišćenjem digitalne merne opreme će se dobiti podaci na osnovu kojih će se konstruisati dijagrami sila–vreme, ugib–vreme, sila–ugib i energija–vreme. Poznavanjem tih podataka određiće se energije inicijacije i energije daljeg progresivnog rasta prslina.

Ispitivanja cevi dejstvom unutrašnjeg pritiska vodom će biti izvedeno na standardnim uređajima za ispitivanje polimernih i kompozitnih cevi. Određivaće se deformacije u uzdužnom i obimnom pravcu cevi i pravcu pod uglom $\pm 45^\circ$. Koristiće se metode merenja deformacija primenom mernih traka. Upotrebiće se pojedinačne merne trake oznake 6/120 LY11, kao i rozete sa dve trake 6/120 XY11 i sa tri trake 6/120 RY11.

Primenom metode konačnih elemenata će se i numerički potvrditi ispravnost ispitivanja i rezultati ispitivanja. Doprinos bi u tome bio da se poznavanjem osnovnih ulaznih strukturnih parametara i radnih uslova u nekom budućem istraživanju i bez eksperimentalnih ispitivanja dođe do podataka o veku trajanja polimernih cevi u eksploataciji u određenim radnim uslovima.

Na kraju, svi zaključci sa prethodno navedenih ispitivanja će biti komentarisani i analizirani na osnovu snimaka prelomnih površina na SEM. Na taj način će se doći do pravog saznanja koji su modeli i mehanizmi oštećenja u toku eksploatacije, ali i u čemu se oni razlikuju u realnim radnim uslovima sa navedenim rastvorima kiselina i baza i u različitom vremenskom periodu.

5. Očekivani naučni doprinos

Na osnovu planiranog programa i cilja istraživanja doktorske disertacije, polaznih hipoteza i naučnih metoda istraživanja, očekuje se naučni doprinos u oblasti inženjerstva materijala koji se ogleda u zaključcima o mehaničkom ponašanju, veku trajanja i starenju navedene strukture staklena vlakna–poliester kompozitnih cevi u realnim hemijski agresivnim eksploatacionim uslovima.

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije treba da dovedu do sledećih rezultata:

- Iscrpno i sistematizovano pristupanje planu mehaničkih i eksploatacionih ispitivanja kompozitnih cevi staklena vlakna–poliester;
- Izrade modela staklena vlakna–poliester cevi strukture $[90_2/\pm 55_2/90_4]$ koja će se koristiti u ispitivanjima;
- Ispitivanja zatezanjem prema važećim standardima radi određivanje vrednosti napona u uzdužnom (osnom) i poprečnom (obimnom) pravcu; određivanje pravca delovanja glavnog napona i deformacija;
- Ispitivanja metodom Šarpi radi određivanje ukupne energije udara, energije inicijacije prsline kao i enegije rasta prsline; određivanje udarne žilavosti;
- Ispitivanje cevi dejstvom unutrašnjeg pritiska; merenje deformacija tokom opterećenja primenom mernih traka i izračunavanje napona;
- Numeričko izračunavanje deformacija i napona pri promeni unutrašnjeg pritiska primenom metode konačnih elemenata; i
- Mikromehanička analiza na prelomnim površinama cevi radi saznanja o modelima i mehanizmima razvoja oštećenja pri prethodno navedenim uslovima opterećenja i hemijski agresivnim sredinama.

Dobijeni rezultati će biti dostupni korisnicima i mogu koristiti kao solidna osnova institutima i proizvođačima cevi izrađenih od ovih ili sličnih struktura polimernih kompozitnih cevi za dalja istraživanja u domenu poboljšanja njihovih svojstava u eksploataciji.

6. Plan istraživanja i struktura rada

- ❑ UVOD
- ❑ TEORIJSKI DEO
 - Predmet i cilj doktorske disertacije
 - Pregled bibliografskih izvora u vezi predmeta istraživanja
 - Značaj i primeri primene polimernih kompozitnih cevi u hemijskoj industriji
- ❑ EKSPERIMENTALNI DEO
 - Struktura polimernih kompozitnih cevi staklena vlakna – poliester korišćenih u ispitivanju
 - Strukturne komponente
 - Tehnološki postupak proizvodnje cevi
 - Dimenzije i oznake isečenih uzoraka korišćenih u ispitivanju
 - Svojstva rastvora korišćenih za tretiranje uzoraka

- Mehanička ispitivanja netretiranih uzoraka
 - Ispitivanje zatezanjem ravnih uzoraka i prstenova
 - Udarne ispitivanja metodom Šarpi
 - Ispitivanja dejstvom unutrašnjeg pritiska
 - Mehanička ispitivanja uzoraka tretiranih u hemijski agresivnim usovima
 - Ispitivanje zatezanjem ravnih uzoraka i prstenova
 - Udarne ispitivanja metodom Šarpi
 - Ispitivanja dejstvom unutrašnjeg pritiska
 - Mikromehanička analiza loma i oštećenja netretiranih i tretiranih uzoraka nakon mehaničkih ispitivanja
 - Diskusija dobijenih rezultata
- ☐ NUMERIČKI DEO
- Izračunavanje deformacija i napona pri promeni unutrašnjeg pritiska u cevi primenom metode konačnih elemenata
 - Poređenje numeričkih i eksperimentalno dobijenih rezultata
- ☐ ZAKLJUČAK
- ☐ LITERATURA

7. Zaključak i predlog

Na osnovu izloženog, Komisija smatra da je tema doktorske disertacije “Mikromehanička analiza loma i oštećenja kompozitnih cevi staklena vlakna–poliester u različitim hemijski agresivnim uslovima”, koju je predložila mr Marina Stamenović (rođena Krivokuća), dipl. inž. tehnologije, naučno zasnovana, pa predlaže Nastavno–naučnom veću Tehnološko–metalurškog fakulteta da je prihvati i da za mentora imenuje dr Slavišu Putić, vanrednog profesora Tehnološko–metalurškog fakulteta u Beogradu. Predložena tema pripada oblasti Inženjerstva materijala.

U Beogradu, 10. februara 2011. godine

ČLANOVI KOMISIJE

1. Dr Slaviša Putić, van. prof. – mentor
Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
2. Dr Radoslav Aleksić, red. prof.
Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
3. Dr Milorad Zrilić, docent
Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
4. Dr Saša Drmanić, docent
Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
5. Dr Zijah Burzić, naučni savetnik
Vojno-tehnički institut, Beograd