

Образац 3.

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/18

(Број захтева)

Веће научних области техничких наука

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

24.02.2021.

(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације
и о одређивању ментора

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета",
број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске
дисертације:

Модификација структуре и својстава легуре титана са високим садржајем ниобијума за
биомедицинску примену

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Технолошко инжењерство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

Слађана (Радун)Лакетић

2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):

Универзитет у Београду,

Технолошко-металуршки факултет, Мастер студије, Мастер инжењер технологије

3. Година завршетка
претходног нивоа студија: 2017.

4. Година уписа на докторске студије: 2017.

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Инжењерство материјала

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: др Марко Ракин

Звање: Редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. I. Cvijović-Alagić; N. Gubeljak, **M. Rakin**, Z. Cvijović, K. Gerić, Microstructural morphology effects on fracture resistance and crack tip strain distribution in Ti-6Al-4V alloy for orthopedic implants, Materials and Design, 53 (2014) 870-880. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2013.07.097> (M21; IF₂₀₁₄= 3,501; ISSN: 0261-3069)
2. I. Dimić, I. Cvijović-Alagić, B. Völker, A. Hohenwarter, R. Pippan, Đ. Veljović, **M. Rakin**, B. Bugarski, Microstructure and metallic ion release of pure titanium and Ti-13Nb-13Zr alloy processed by high pressure torsion, Materials and Design, 91 (2016) 340-347. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2015.11.088> (M21; IF₂₀₁₆= 4,364; ISSN: 0261-3069)
3. I. Cvijović-Alagić, Z. Cvijović, **M. Rakin**, Damage behavior of orthopedic titanium alloys with martensitic microstructure during sliding wear in physiological solution, International Journal of Damage Mechanics, 28 (8) (2019) 1228-1247. <https://doi.org/10.1177/1056789518823049> (M21; IF₂₀₁₉= 3,125; ISSN: 1056-7895)
4. D.R. Barjaktarević, V.R. Djokić, J.B. Bajat, I.D. Dimić, I.Lj. Cvijović-Alagić, **M.P. Rakin**, The influence of the surface nanostructured modification on the corrosion resistance of the ultrafine-grained Ti-13Nb-13Zr alloy in artificial saliva, Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 103 (2019) 102307. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2019.102307> (M21; IF₂₀₁₉= 3,021; ISSN: 0167-8442)
5. D. Barjaktarević, B. Međo, P. Štefane, N. Gubeljak, I. Cvijović-Alagić, V. Djokić, **M. Rakin**, Tensile and corrosion properties of anodized ultrafine-grained Ti-13Nb-13Zr biomedical alloy obtained by high-pressure torsion, Metals and Materials International, (2020) <https://doi.org/10.1007/s12540-020-00837-z> (M22; IF₂₀₁₉= 1,990; ISSN: 1598-9623)

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 2:

Име и презиме ментора: др Ивана Цвијовић-Алагић

Звање: Виши научни сарадник

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **I. Cvijović-Alagić**, Z. Cvijović, J. Bajat, M. Rakin, Composition and processing effects on the electrochemical characteristics of biomedical titanium alloys, Corrosion Science, 83 (2014) 245-254. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2014.02.017> (M21a; IF₂₀₁₄ = 4,422; ISSN: 0010-938X)
2. **I. Cvijović-Alagić**, Z. Cvijović, J. Maletaškić, M. Rakin, Initial microstructure effect on the mechanical properties of Ti-6Al-4V ELI alloy processed by high-pressure torsion, Material Science and Engineering A, 736 (2018) 175-192. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.08.094> (M21a; IF₂₀₁₈ = 4,081; ISSN: 0921-5093)
3. **I. Cvijović-Alagić**, Z. Cvijović, J. Bajat, M. Rakin, Electrochemical behaviour of Ti-6Al-4V alloy with different microstructures in a simulated bio-environment, Materials and Corrosion (Werkstoffe und Korrosion), 67(10) (2016) 1075-1087. <http://dx.doi.org/10.1002/maco.201508796> (M21; IF₂₀₁₅ = 1,450; ISSN: 0947-5117)
4. I. Dimić, **I. Cvijović-Alagić**, A. Hohenwarter, R. Pippan, V. Kojić, J. Bajat, M. Rakin, Electrochemical and biocompatibility examinations of high pressure torsion processed titanium and Ti-13Nb-13Zr alloy, Journal of Biomedical Materials Research. Part B: Applied Biomaterials, 106B (2018) 1097-1107. <http://dx.doi.org/10.1002/jbm.b.33919> (M21; IF₂₀₁₇ = 3,373; ISSN: 1552-4973)
5. M. Momčilović, J. Petrović, J. Ciganović, **I. Cvijović-Alagić**, F. Koldžić, S. Živković, Laser-Induced Plasma as a Method for the Metallic Materials Hardness Estimation: An Alternative Approach, Plasma Chemistry and Plasma Processing, 40 (2020) 499-510. <https://doi.org/10.1016/10.1007/s11090-020-10063-5> (M21; IF (2018) = 2,768; ISSN: 0272-4324)

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф.дрПетарУскоковћ

- Прилог
1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
 2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл.43. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 04.02.2021. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата
за израду докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације **Слађане Лакетић**, број индекса 4009/2017, под називом: **„Модификација структуре и својстава легуре титана са високим садржајем ниобијума за биомедицинску примену“**.

Одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације доноси Универзитет у Београду.

За менторе се одређују др Марко Ракин, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Ивана Цвијовић-Алагић, виши научни сарадник Института за нуклеарне науке „Винча“.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, менторима, Служби за наставно студентске послове и архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

**UNIVERZITET U BEOGRADU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET
NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU**

Predmet: Podobnost teme i kandidata Slađane R. Laketić za izradu doktorske disertacije

Odukom br. 35/382 od 24.12.2020. godine imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Slađane R. Laketić, master inženjera tehnologije, za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme „Modifikacija strukture i svojstva legure titana sa visokim sadržajem niobijuma za biomedicinsku primenu”.

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata Komisija podnosi sledeći

R E F E R A T

1. Podaci o kandidatu

1.1. Biografski podaci

Slađana R. Laketić je rođena 19.10.1993. godine u Beogradu. Osnovnu i srednju Arhitektonsko-tehničku školu završila je u Beogradu. Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, smer Inženjerstvo materijala, je upisala 2012. godine i diplomirala 2016. godine odbranom diplomskog rada „Mikromehanička svojstva kompozita na bazi trietilen glikol dimetakrilata (TEGDMA) i bisfenilglikol dimetakrilata (BisGMA) za dentalne adhezive“ sa ocenom 10 pred komisijom u sastavu prof. dr Radmila Jančić-Hajneman, mentor, i prof. dr Vesna Radojević uz prosečnu ocenu 8,72 ostvarenu tokom osnovnih studija stekavši zvanje Diplomirani inženjer tehnologije materijala. Master studije je upisala 2016. godine na istom fakultetu na studijskom programu Inženjerstvo materijala i 2017. godine stekla zvanje Master inženjer tehnologije materijala odbranom master rada „Fizičko-mehanička svojstva kompozitnog materijala na bazi poli(metil-metakrilata) i Al₂O₃“ sa ocenom 10 pred komisijom u sastavu prof. dr Radmila Jančić-Hajneman, mentor, prof. dr Vesna Radojević i prof. dr Petar Uskoković uz ostvarenu prosečnu ocenu 9,88 tokom master studija. U oktobru 2017. godine Slađana Laketić upisuje Doktorske akademske studije na modulu Inženjerstvo materijala Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

U maju 2018. godine Slađana Laketić, kao student doktorskih akademskih studija, postaje stipendista Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja (MPNTR) Republike Srbije i priključuje se kao stipendista-doktorand Laboratoriji za materijale Instituta za nuklearne nauke „Vinča“ – Instituta od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju Univerziteta u Beogradu u rad na projektu iz oblasti osnovnih istraživanja pod nazivom „Mikromehanički kriterijumi oštećenja i loma“ (ev.br. OI174004) pod rukovodstvom i mentorstvom prof. dr Marka Rakina i mentorstvom dr Ivane Cvijović-Alagić, višeg naučnog saradnika. Tokom svog angažovanja u Institutu za nuklearne nauke „Vinča“, osim angažovanja na realizaciji naučnoistraživačkog projekta, Slađana Laketić je kao promoter nauke učestvovala i u realizaciji radionica naučno-popularne manifestacije „Vinčina otvorena vrata“. Od 2020. godine učestvuje u radu na istraživačkoj temi pod nazivom „Istraživanje, razvoj i modifikacija savremenih metalnih biomaterijala“, koja se u Institutu za nuklearne nauke „Vinča“ realizuje pod rukovodstvom dr Ivane Cvijović-Alagić, višeg naučnog saradnika, u okviru Programa 1: Novi materijali i nano nauke. Iste godine kao stipendista-doktorand postaje član naučnog tima Centra izuzetnih vrednosti „Centar za sintezu, procesiranje i karakterizaciju materijala za primenu u ekstremnim uslovima (CEXTREME LAB)“ Univerziteta u Beogradu.

Slađana Laketić je do sada kao autor ili koautor objavila 7 naučnih publikacija od čega 1 rad u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti kategorije M21a, 1 rad u istaknutom

međunarodnom časopisu kategorije M22, 1 rad u međunarodnom časopisu kategorije M23 i 4 rada saopštena na međunarodnim konferencijama objavljenim u celini ili u izvodu kategorija M33 i M34.

Član je Srpskog vakuumskog društva i Srpskog društva za mikroskopiju.

Govori, čita i piše engleski jezik.

1.2. Stečeno naučnoistraživačko iskustvo

Sladana R. Laketić je u oktobru 2017. godine upisala doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu. Položila je sve ispite predviđene programom doktorskih studija na studijskom programu Inženjerstvo materijala sa prosečnom ocenom 9,83. Dana 26.09.2019. godine je odbranila Završni ispit na temu „Hemijske i morfološke promene indukovane laserskom modifikacijom površina implantnih materijala na bazi titana” sa ocenom 10 pred komisijom u sastavu prof. dr Marko Rakin, prof. dr Radmila Jančić-Hajneman i docent dr Bojan Međo.

Spisak položenih ispita i broj ostvarenih ESP bodova

Naziv predmeta	Ocena	ESPB
1. Nauka o materijalima i inženjerstvo materijala	10	6
2. Odabrana poglavlja numeričke analize	10	5
3. Termodinamika čvrstog stanja	10	5
4. Metal, ugljeni i keramički kompoziti	10	5
5. Kvantifikacija vizuelnih informacija	10	5
6. Procesiranje materijala za elektroniku	10	5
7. Struktura i svojstva kompozitnih materijala sa polimernom matricom	10	5
8. Fizičko-mehanička ispitivanja materijala-viši kurs	10	5
9. Materijali za visokotemperaturne namen	10	5
10. Metoda konačnih elemenata u inženjerstvu materijala	10	4
11. Hemijska kinetika	8	5
12. Engleski jezik	10	/
13. Završni ispit	10	30
Ukupno	9,83	85

Naučnoistraživački rad Sladane Laketić je u najvećoj meri usmeren na razvoj biokompatibilnih materijala na bazi titana i modifikaciju njihove strukture i svojstava primenom savremenih metoda prerade metalnih materijala i površinske modifikacije. Na osnovu rezultata ostvarenih u pomenutoj naučnoistraživačkoj oblasti je objavila kao autor ili koautor ukupno 7 naučnih publikacija od čega 3 objavljene publikacije pripadaju grupi rezultata kategorije M20 i to 1 rad u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti kategorije M21a, 1 rad u istaknutom međunarodnom časopisu kategorije M22 i 1 rad u međunarodnom časopisu kategorije M23, dok 4 objavljene publikacije pripadaju grupi rezultata kategorije M30, odnosno u pitanju je 1 rad saopšten na međunarodnom naučnom skupu objavljen u celini kategorije M33 i 3 rada saopštena na međunarodnim naučnim skupovima objavljeni u izvodu kategorije M34.

Pored razvoja biokompatibilnih materijala na bazi titana istraživanja Sladane Laketić su usmerena i na karakterizaciju metalnih materijala, koja obuhvata kako određivanje mikrostrukturnih tako i mehaničkih i korozionih svojstava ove grupe materijala uz poseban osvrt na određivanje međuzavisnosti parametara izrade i prerade metalnih materijala na njihova pre svega mikrostrukturna svojstva, a samim time i na druge karakteristike ovih materijala.

Zbog kvaliteta naučnoistraživačkog rada kandidatkinje prilikom reakreditacije Centra izuzetnih vrednosti „Centar za sintezu, procesiranje i karakterizaciju materijala za primenu u ekstremnim uslovima (CEXTREME LAB)“ Univerziteta u Beogradu, koja je uspešno okončana tokom 2020. godine, ona je uvršćena u naučnoistraživački tim ovog Centra izuzetnih vrednosti kao doktorand-stipendista MPNTR. Osim toga, njeno angažovanje u naučnoistraživačkim aktivnostima i želja za aktivnijim učešćem u toj oblasti ogleda se i u angažovanju Slađane Laketić u radu dva naučna društva, i to u radu Srpskog vakuumskeg društva i Srpskog društva za mikroskopiju.

Pregled objavljenih publikacija kandidatkinje Slađane Laketić dat je u nastavku.

Rad u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti (M21a)

1. Cvijović-Alagić I., Rakin M., **Laketić S.**, Zagorac D.: *Microstructural study of Ti45Nb alloy before and after HPT processing using experimental and ab initio data mining approach*, - Materials Characterization, Vol. 169, 2020, pp. 110635. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110635> (IF₂₀₁₉=3,562; ISSN: 1044-5803)

Rad u istaknutom međunarodnom časopisu (M22)

1. **Laketić S.**, Rakin M., Momčilović M., Ciganović J., Veljović Đ., Cvijović-Alagić I.: *Surface modifications of biometallic CP-Ti and Ti-13Nb-13Zr alloy by picosecond Nd:YAG laser*, - International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, Article in Press - Available online 12 April 2020. <https://doi.org/10.1007/s12613-020-2061-9>; (IF₂₀₁₉=1.713; ISSN: 1674-4799)

Rad u međunarodnom časopisu (M23)

1. **Laketić S.**, Rakin M., Čairović A., Maksimović V., Cvijović-Alagić I.: *Laser surface modification of metallic implant materials*, - Srpski arhiv za celokupno lekarstvo (Serbian Archives of Medicine), Vol. 147, No. 7-8, 2019, pp. 497-501. <https://doi.org/10.2298/SARH181126054L> (IF₂₀₁₇=0,300; ISSN: 0370-8179)

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini (M33)

1. **Laketić S.**, Rakin M., Momčilović M., Ciganović J., Veljović Đ., Cvijović-Alagić I.: *Interaction of picosecond Nd:YAG laser irradiation with Ti-13Nb-13Zr alloy surface in air and argon atmosphere*, - Proceedings of the 14th Multinacional Congress on Microscopy (MCM2019), Belgrade, Serbia, pp. 354-356.

Saopštenja sa međunarodnih skupova štampani u izvodu (M34)

1. **Laketić S.**, Rakin M., Momčilović M., Ciganović J., Veljović Đ., Cvijović-Alagić I.: *Surface Modification of a Titanium Implant Material by a Picosecond Nd:YAG Laser in Air and Argon Atmosphere*, - Book of Abstracts of the 4th Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe (MME SEE 2019), Belgrade, Serbia, p. 45.
2. **Laketić S.**, Rakin M., Momčilović M., Ciganović J., Veljović Đ., Cvijović-Alagić I.: *Laser Surface Modification of CP-Ti in Different Gas Atmospheres*, - Book of Abstracts of the 13th Conference for Young Scientists in Ceramics (CYSC-2019), Novi Sad, Serbia, p. 128.
3. **Laketić S.**, Rakin M., Momčilović M., Ciganović J., Cvijović-Alagić I.: *Morphological changes of the biomedical titanium grade induced by laser treatment*

1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Na osnovu dosadašnjeg angažovanja u naučnoistraživačkom radu, realizovanih naučnoistraživačkih aktivnosti i publikovanih rezultata, koji su proistekli iz rada kandidata Slađane Laketić u naučnoistraživačkoj oblasti od interesa za realizaciju istraživanja predloženih u okviru rada na izradi doktorske disertacije, zaključuje se da je kandidatkinja pokazala stručnost i sposobnosti za timski naučnoistraživački rad. Posebno se može istaći zainteresovanost kandidatkinje za primenu različitih metoda karakterizacije materijala i uključivanje u aktivnosti koje se realizuju kako u okviru Laboratorije za materijale Instituta za nuklearne nauke „Vinča”, tako i Centra izuzetnih vrednosti „CEXTREME-LAB”. Kandidatkinja Slađana Laketić je položila sve ispite predviđene programom doktorskih studija, uključujući i završni ispit iz uže naučne oblasti kojoj pripada i predložena tema doktorske disertacije. Kandidatkinja je do sada iz oblasti istraživanja, koja su direktno povezana sa temom doktorske disertacije, objavila jedan rad u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti (M21a), jedan rad u istaknutom međunarodnom časopisu (M22), jedan rad u međunarodnom časopisu (M23) i četiri saopštenja na skupovima međunarodnog značaja. Na osnovu navedenih biografskih i bibliografskih podataka, Komisija zaključuje da Slađana R. Laketić, master inženjer tehnologije, ispunjava sve uslove za rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

2. Predmet i cilj istraživanja

Metalni biomaterijali se već decenijama sa uspehom koriste u biomedicini za izradu čvrstih implanata u cilju zamene određenog dela ili funkcije ljudskog organizma [1-3]. Njihova primena u biomedicinskom inženjerstvu je široko rasprostranjena i obuhvata kako ortopedsku i dentalnu hirurgiju, tako i kardiovaskularnu hirurgiju i otorinolaringologiju. Razvoj novih metalnih biomaterijala usklađen je sa specifičnim zahtevima, koje nosi njihova primena i njihovo nesmetano funkcionisanje u zahtevnim uslovima prisutnim u ljudskom organizmu, pri čemu se najviše pažnje posvećuje otpornosti ovih materijala prema oštećenjima do kojih može doći usled prisustva značajnih mehaničkih opterećenja, korozivne sredine i interakcije implanata sa živim ćelijama i tkivima [3-5]. Oštećenja implanata mogu značajno narušiti zdravlje pacijenta s obzirom na to da mogu uzrokovati kako lom implanta usled oštećenja materijala i nemogućnosti da izdrže značajna mehanička opterećenja tako i oslobađanje delova implantnog materijala u okolna živa tkiva usled pojave njihove korozione ili tribološke degradacije. Iz tog razloga se istraživanja u ovoj oblasti usmeravaju na izradu novih materijala koji su postojani u zahtevnim biomehaničkim uslovima, ali i na modifikaciju svojstava kako komercijalnih tako i savremenih implantnih materijala kroz optimizaciju strukture, svojstava i površinskih karakteristika ovih materijala [2,3,6].

Legure na bazi titana predstavljaju najčešće korišćeni metalni implantni materijal današnjice zbog svoje izuzetne biokompatibilnosti, korozivne postojanosti, smanjene citotoksičnosti i dobrih mehaničkih karakteristika [3,6,7]. Međutim, dalji razvoj ovih materijala kroz izmenu njihovog sastava, procesa izrade i naknadne prerade sa ciljem optimizacije strukture, površinskih, mehaničkih i tribo-korozivnih svojstava je od izuzetnog značaja kako bi se obezbedila izrada materijala koji bi bez oštećenja mogao da funkcioniše na fiziološki prihvatljiv, ali i ekonomičan način. Ekonomski aspekt izrade kvalitetnih implantnih pomagala nikako se ne sme zanemariti pri razvoju novih biokompatibilnih materijala ukoliko se ima u vidu da primena ekonomičnog procesa izrade doprinosi dobijanju implanata niže cene i samim tim ih čini dostupnim većem broju pacijenata. Iz tog razloga se modifikacija

materijala nameće kao ekonomski prihvatljiv i efikasan način za izradu postojećih i dugotrajnijih implanata u poređenju sa dugotrajnim istraživanjima i izradom potpuno novih materijala [8,9].

Kada su u pitanju implantni materijali na bazi titana najčešće se za izradu biomedicinskih uređaja i pomagala koriste komercijalno čist titan (Commercially Pure Titanium, CP-Ti) i legure titana $\alpha+\beta$ tipa, kao što je Ti-6Al-4V (mas.%) legura [3,5-8,10]. Zbog nedostataka koje ovi materijali pokazuju nakon implantacije a koji se pre svega odnose na nedovoljno dobru korozionu i tribološku postojanost, kao i na citotoksični efekat koji na okolna tkiva imaju određeni joni koji se oslobađaju sa površine implanata, razvoj ove grupe materijala usmerava se ka izradi savremenih legura titana β tipa koji u svom sastavu ne sadrže elemente koji bi mogli negativno da utiču na zdravlje pacijenta [5,11]. Poslednjih decenija istraživanja su bila usmerena na razvoj Ti-Nb-Zr (TNZ) i Ti-Nb-Zr-Ta (TNZT) legura β tipa [12,13], ali su najnovije tendencije u ovoj oblasti usmerile dalja istraživanja ka legurama β tipa jednostavnijeg sastava, kao što su legure Ti-Nb sistema, sa ciljem ekonomičnije izrade implantnih uređaja poboljšane otpornosti prema oštećenju i preciznijeg projektovanja i predviđanja njihovih svojstava i odgovora na složene biomehaničke uslove [14,15].

Osim pažljivog izbora sastava metalnog implantnog materijala, na efekat koji će implantirani materijal pokazati pri složenim biomehaničkim uslovima, koji vladaju u živom organizmu, značajno utiče i proces izrade odnosno naknadne prerade materijala, kao i metode koje se koriste u cilju modifikacije njegovih svojstava. Procesi intenzivne plastične deformacije (Severe Plastic Deformation, SPD) materijala izdvajaju se kao savremene metode kojima je moguće postići značajnu modifikaciju strukture metalnih implantnih materijala, a time, posledično, i modifikaciju njihovih biokompatibilnih, mehaničkih i tribo-korozionih svojstava [16-18]. Primena SPD procesa prerade vodi ka izradi sitnozrnog metalnog materijala čime se omogućava značajno poboljšanje svojstava od izuzetnog značaja za izradu kvalitetnijih, dugotrajnijih i postojećih čvrstih biomedicinskih uređaja i pomagala [19,20].

Sa druge strane stanje i kvalitet površine metalnog implantnog materijala ima izuzetno važnu ulogu u reakciji i odgovoru biološkog sistema prema medicinskim uređajima. Kada su u pitanju čvrsti metalni implantni standardne metode, koje se primenjuju za njihovu proizvodnju, obično dovode do pojave oksidisanog, kontaminiranog površinskog sloja koji je već tokom samog procesa izrade implanta često izložen naprezanjima i plastičnoj deformaciji. Takve površine nisu prikladne za biomedicinsku primenu pa se moraju podvrgnuti naknadnoj površinskoj obradi i modifikaciji. Dodatni razlog, zbog kojeg je neophodno izvršiti površinsku modifikaciju metalnih uređaja za biomedicinsku primenu, je potreba za postizanjem specifičnih površinskih karakteristika implanata kako bi se pospešio pozitivan odgovor živog organizma i postigla dobra biološka interakcija živih ćelija i tkiva sa metalnom površinom implanta [9,21]. Za biomedicinske uređaje koji se nalaze u dodiru sa krvnim elementima, kao što su to arterijski srčani zalisci, presudno je postići izuzetnu kompatibilnost sa krvi dok je u drugim biomedicinskim primenama potrebno postići dobre osteointegracione karakteristike, biokompatibilnost i otpornost prema koroziji i habanju. Primenom odgovarajućih metoda površinske modifikacije ne samo da je moguće zadržati odlična mehanička svojstva biokompatibilnih metalnih materijala, pre svega najčešće primenjivanih materijala na bazi titana, već je moguće postići i poboljšanje specifičnih površinskih karakteristika ovih materijala za različite kliničke primene, kao što su bioaktivnost, biokompatibilnost, krvna kompatibilnost, osteointegraciona svojstva i otpornost prema korozionom oštećenju. Različiti površinski tretmani se mogu primeniti u cilju poboljšanja površinskih karakteristika metalnih implantnih materijala, kao što su hemijsko nagrizanje, jonska implantacija i depozicija, elektrohemijska anodizacija ili nanošenje različitih prevlaka [8]. Laserska površinska modifikacija se izdvaja od ostalih metoda površinske modifikacije kao savremena tehnika kojom se mogu značajno poboljšati hemijske karakteristike,

morfologija i hrapavost površine i na taj način poboljšati tribo-koroziona svojstva, biokompatibilnost i osteointegracione karakteristike implanta [22-27]. Ovom beskontaktnom tehnikom modifikacije izbegava se mogućnost kontaminacije površine implanta tokom njegove modifikacije što je dodatna prednost ove metode kada je njena biomedicinska primena u pitanju. Osim toga, interakcija laserskog zraka sa metalnom površinom je često praćena i pojavom plazme čime je omogućena dodatna sterilizacija površine implanta i tako izbegnuta nužnost za dodatnim površinskim tretmanima implanta pre hirurške intervencije.

Predmet naučnog istraživanja predviđen ovom doktorskom disertacijom je stoga ispitivanje mogućnosti uspešne modifikacije strukture i svojstava legure Ti-Nb sistema primenom savremenih metoda prerade metalnih materijala i površinske modifikacije kako bi se omogućila izrada implantnog materijala poboljšane biomehaničke kompatibilnosti i osteointegracionih svojstava.

Naučni cilj doktorske disertacije je ispitivanje mogućnosti poboljšanja biokompatibilnosti i ponašanja u korozionoj sredini legure na bazi titana novije generacije izmenom njene strukture i svojstava primenom savremenih metoda plastičnog deformisanja i površinske modifikacije čime bi se unapredila otpornost prema oštećenju savremenih implantnih uređaja u uslovima prisutnim u ljudskom organizmu.

Spisak stručne literature

- [1] Ratner B.D., Hoffman A.S., Schoen F.J., Lemon J.E.: *Chapter 2 - Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine*, Academic Press, USA, 1996, pp. 67-225.
- [2] Park J.B., Lakes R.S.: *Biomaterials: An Introduction*, Springer Science & Business Media LLC, NY, 2007.
- [3] Chen Q., Thouas G.A.: *Metallic implant biomaterials*, - Materials Science and Engineering R, Vol. 87, 2015, pp. 1-57.
- [4] Cvijović-Alagić I., Rakin M.: *Integritet biomedicinskih implanta od legura titana (prvi deo) – Pregledni rad*, - Integritet i vek konstrukcija, Vol. 8, No. 1, 2008, pp. 31-40.
- [5] Cvijović-Alagić I.: *Otpornost prema oštećenju i lomu legura titana za primenu u medicini*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 2013.
- [6] Williams D.F.: *Titanium for medical applications*, In: Titanium in medicine, Brunette D.M., Tengvall P., Textor M., Thomsen P. (Eds.), Heidelberg: Springer-Verlag, 2001, pp. 11-24.
- [7] Long M., Rack H.J.: *Titanium alloys in total joint replacement - a materials science perspective, Review*, - Biomaterials, Vol. 19, 1998, pp. 1621-1639.
- [8] Liu X., Chu P.K., Ding C.: *Surface modification of titanium, titanium alloys, and related materials for biomedical applications*, - Materials Science and Engineering R, Vol. 47, 2004, pp. 49-121.
- [9] Nouri A., Wen C. (Ed.): *Introduction to surface coating and modification for metallic biomaterials*, Surface Coating and Modification of Metallic Biomaterials, Woodhead Publishing, UK, 2015, pp. 3-60.
- [10] Milovanović D.S.: *Interakcija nanosekundnog i pikosekundnog impulsnog laserskog zračenja sa površinom legure Ti6Al4V*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju, Beograd, 2013.
- [11] Li Y., Wong C., Xiong J., Hodgson P., Wen C.: *Cytotoxicity of titanium and titanium alloying elements*, - Journal of Dental Research, Vol. 89, 2010, pp. 493-497.
- [12] Niinomi M., Nakai M., Hieda J.: *Development of new metallic alloys for biomedical applications*, - Acta Biomaterialia. Vol. 8, 2012, pp. 3888-3903.

- [13] Geetha M., Singh A.K., Gogia A.K., Asokamani R.: *Effect of thermomechanical processing on evolution of various phases in Ti-Nb-Zr alloys*, - Journal of Alloys and Compounds, Vol. 384, 2004, pp. 131-144.
- [14] Kuroda D., Niinomi M., Morinaga M., Kato Y., Yoshiro T.: *Design and mechanical properties of new beta type titanium alloys for implant materials*, - Material Science and Engineering A, Vol. 243, 1998, pp. 244-249.
- [15] Song Y., Xu D.S., Yang R., Li D., Wu W.T., Guo Z.X.: *Theoretical study of the effects of alloying elements on the strength and modulus of β -type bio-titanium alloys*, - Material Science and Engineering A, Vol. 260, No. 1-2, 1999, pp. 269-274.
- [16] Estrin Y., Vinogradov A.: *Extreme grain refinement by severe plastic deformation: A wealth of challenging science*, - Acta Materialia, Vol. 61, 2013, pp. 782-817.
- [17] Azushima A., Kopp R., Korhonen A., Yang D.Y., Micari F., Lahoti G.D., Groche P., Yanagimoto J., Tsuji N., Rosochowski A., Yanagida A.: *Severe plastic deformation (SPD) processes for metals*, - CIRP Annals, Vol. 57, 2008, pp. 716-735.
- [18] Langdon T.G.: *The processing of ultrafine-grained materials through the application of severe plastic deformation*, - Journal of Materials Science, Vol. 42, 2007, pp. 3388-3397.
- [19] Dimić I., Cvijović-Alagić I., Hohenwarter A., Pippan R., Kojić V., Bajat J., Rakin M.: *Electrochemical and biocompatibility examinations of high pressure torsion processed titanium and Ti-13Nb-13Zr alloy*, - Journal of Biomedical Materials Research. Part B: Applied Biomaterials, Vol. 106B, 2018, pp. 1097-1107.
- [20] Völker B., Jäger N., Calin M., Zehetbauer M., Eckert J., Hohenwarter A.: *Influence of testing orientation on mechanical properties of Ti45Nb deformed by high pressure torsion*, - Materials and Design, Vol. 114, 2017, pp. 40-46.
- [21] Shah F.A., Grandfield K., Palmquist A.: *Chapter 9 - Laser surface modification and the tissue-implant interface*, In: Laser surface modification of biomaterials - Techniques and Applications, R. Vilar (Ed.), Woodhead Publishing, UK, 2016, pp. 253-280.
- [22] Brown M.S., Arnold C.B.: *Chapter 4 - Fundamentals of Laser-Material Interaction and Application to Multiscale Surface Modification*, In: Laser Precision Microfabrication, K. Sugioka, M. Meunier, A. Piqué (Eds.), Springer Press, NY, 2010, pp. 91-120.
- [23] Rykalin N., Uglov A., Zuev I., Kokora A.: *Laser and Electron Beam Material Processing Handbook*, Mir Publishers (English translation), Moscow, 1988.
- [24] Bereznai M., Pelsoczi I., Toth Z., Turzo K., Radnai M., Bor Z., Fazekas A.: *Surface modifications induced by ns and sub-ps excimer laser pulses on titanium implant material*, Biomaterials, Vol. 24, 2003, pp. 4197-4203.
- [25] Zeng X., Wang W., Yamaguchi T., Nishio K.: *Characteristics of surface modified Ti-6Al-4V alloy by a series of YAG laser irradiation*, Optics and Laser Technology, Vol. 98, 2018, pp. 106-112.
- [26] Trtica M., Stasić J., Batani D., Benocci R., Narayanan V., Ciganovic J.: *Laser-assisted surface modification of Ti-implant in air and water environment*, - Applied Surface Science, Vol. 428, 2018, pp. 669-675.
- [27] Trtica M., Gaković B., Batani D., Desai T., Panjan P., Radak B.: *Surface modifications of a titanium implant by a picosecond Nd:YAG laser operating at 1064 and 532 nm*, Applied Surface Science, Vol. 253, 2006, pp. 2551-2556.

3. Polazne hipoteze

Polazne hipoteze, koje će predstavljati osnovu za naučnoistraživački rad na izradi ove doktorske disertacije, mogu se sumirati na sledeći način:

- odabirom materijala optimalnog hemijskog sastava, kao i optimalnih mikrostrukturnih, mehaničkih, korozionih i površinskih karakteristika moguće je izraditi medicinske implante poboljšanih svojstava i produženog životnog ciklusa,

- pravilnim izborom hemijskog sastava implantnog materijala u smislu izrade implantnih legura koje ne sadrže potencijalno citotoksične elemente moguće je izraditi implante za biomedicinsku primenu kod kojih je mogućnost neželjenih efekata izazvanih nakon hirurške intervencije svedena na najmanju moguću meru,
- primena jednostavnih i lako dostupnih metoda modifikacije strukture i svojstava implantnih materijala može usloviti izradu dugotrajnijih implanata niže cene koštanja, koji bi bili dostupniji većem broju pacijenata,
- svojstva materijala na bazi titana, kao najzastupljenijih metalnih implantnih materijala današnjice, značajno se mogu poboljšati primenom pažljivo odabranih parametara njihove izrade, naknadne prerade i modifikacije,
- uticaj mikrostrukturnih karakteristika legura na bazi titana na njihovu biokompatibilnost i otpornost prema oštećenju može biti od presudnog značaja za poboljšanje biointegracionih svojstava ove grupe implantnih materijala i produženja njihovog radnog veka u zahtevnom radnom okruženju koje karakteristišu koroziona sredina i značajna mehanička opterećenja,
- nanočestične legure na bazi titana u odnosu na makročestične legure pokazuju potencijal za poboljšanim mehaničkim svojstvima, biokompatibilnošću i korozionom postojanošću,
- primenom savremenih postupaka prerade metalnih materijala, kao što su SPD postupci, moguće je obezbediti izradu sitnozrnog implantnog materijala sa veličinom mikrostrukturnih konstituenata na nanometarskom nivou,
- primena modelovanja na *ab initio* nivou može doprineti predviđanju razvoja mikrostrukture i faznog sastava legura na bazi titana i na taj način obezbediti jednostavnije i ekonomičnije određivanje optimalnih uslova izrade i prerade legura uz predviđanje ponašanja materijala u zahtevnim radnim uslovima prisutnim u ljudskom organizmu,
- modelovanje na *ab initio* nivou se smatra naučnoistraživačkim alatom koji bi omogućio i predviđanje uticaja uvijanja pod visokim pritiskom (High Pressure Torsion, HPT), kao savremenog postupka prerade materijala, na svojstava legure,
- primena laserske modifikacije površine u velikoj meri može uticati na biokompatibilnost, osteointegracione karakteristike i korozionu postojanost metalnih implantnih materijala s obzirom na to da se ovom metodom mogu ostvariti značajne promene u morfološkim i hemijskim karakteristikama površinskih slojeva metalnih materijala.

Detaljan pregled literature, čiji je deo naveden i u okviru ovog Izveštaja, potvrđuje da su prikazane polazne hipoteze koje će predstavljati osnovu za naučnoistraživački rad na izradi ove doktorske disertacije, kao i planirano istraživanje u skladu sa savremenim pravcima istraživanja u naučnoj literaturi.

4. Naučne metode istraživanja

Istraživanja u okviru doktorske disertacije će biti usmerena na ispitivanje strukture i svojstava legure titana sa visokim sadržajem niobijuma novije generacije. Legura Ti-45Nb (mas.%) će biti ispitana u stanju nakon konvencionalnog načina izrade, kao i nakon primene SPD postupka, odnosno HPT postupka kao postupka naknade prerade kojim je moguće izraditi sitnozrni (Ultrafine Grained, UFG) metalni materijal. Karakterizacija ispitivane legure u krupnozrnog stanju dobijene konvencionalnim načinom izrade i u sitnozrnog stanju dobijene primenom savremenog HPT postupka prerade će biti izvršena korišćenjem svetlosne mikroskopije (SM), skenirajuće elektronske mikroskopije (SEM) i rendgenostrukturne analize (x-ray diffraction, XRD), kao i korišćenjem metoda transmisione elektronske mikroskopije (TEM) i elektronske difrakcije (electron backscatter diffraction, EBSD). Detaljna

karakterizacija mikrostrukture i faznog sastava savremene Ti-45Nb legure u krupnozrnom i sitnozrnom stanju, odnosno pre i nakon HPT obrade, biće urađena i teorijskim modelovanjem na *ab initio* nivou kako bi se u potpunosti istražio Ti-45Nb sistem, nakon čega će se uraditi i uporedna analiza rezultata teorijskog predviđanja strukture i eksperimentalno dobijenih rezultata XRD, TEM i EBSD analize. Kako bi se utvrdila homogenost strukture Ti-45Nb legure postignute HPT obradom, uradiće se ispitivanje mikrotvrdoće legure u UFG stanju uz analizu profila mikrotvrdoće duž prečnika uzoraka pripremljenih u obliku diska. Osim toga ispitaće se i uticaj mikrostrukturnih karakteristika legure pre i nakon HPT prerade na mehanička svojstva ispitivane legure gde će se u prvom redu odrediti efekat uticaja veličine mikrostrukturnih konstituenata na tvrdoću, površinski modul elastičnosti i plastičnost legure određivanjem tvrdoće po metodi Vickers-a i primenom metode nanoidentancije. Teorijskim modelovanjem na *ab initio* nivou će se takođe izvršiti predviđanje uticaja mikrostrukturnih karakteristika i faznog sastava legure na mehanička svojstva materijala nakon čega će se uraditi uporedna analiza eksperimentalno i teorijski dobijenih rezultata sa ciljem validacije teorijskog predviđanja svojstava legure.

S obzirom na to da je primena metalnih materijala u biomedinskim namenama ograničena ne samo mehaničkim svojstvima materijala već i njegovom korozionom postojanošću uradiće se i ispitivanje otpornost prema koroziji Ti-45Nb legure pre i nakon HPT prerade kako bi se odredio uticaj mikrostrukturnih karakteristika legure na njenu korozionu postojanost. U tu svrhu će se uraditi elektrohemijska ispitivanja u uslovima koji simuliraju uslove prisutne u ljudskom organizmu primenom potenciodinamičke metode i metode spektroskopije elektrohemijske impedancije (SEI) u prisustvu Ringer-ovog rastvora koji simulira telesne tečnosti ljudskog organizma na temperaturi koja odgovara temperaturi tela, odnosno na temperaturi od 37 °C. Tokom ovih ispitivanja će se odrediti elektrohemijski parametri, priroda i karakteristike površinskih slojeva obrazovanih tokom izlaganja legure u krupnozrnom i sitnozrnom stanju korozionim delovanju.

Modifikacija mikrostrukturnih karakteristika ispitivane legure prevođenjem krupnozrne legure primenom HPT obrade u leguru UFG strukture očekivano uslovljava i modifikaciju njenih svojstava, stoga će u okviru istraživanja obuhvaćenih ovom doktorskom disertacijom biti ispitan i uticaj HPT obrade legure na njenu biokompatibilnost i citotoksičnost primenom *in vitro* metoda primenom testa odbacivanja boje (Dye Exclusion Test, DET), agar difuzionig testa (Agar Diffusion Test, ADT), Kristal violet testa (Cristal Violet Test, CV) i kolorimetrijskog testa sa tetrazolijum solima (MTT test) korišćenjem mišjih fibroblasta (L-929) i humanih fibroblasta pluća (MRC-5) u tečnom medijumu. Morfološke i adhezione karakteristike ćelija na površini legure u krupnozrnom i sitnozrnom stanju će se ispitati primenom SEM analize.

U okviru istraživanja uticaja parametara površinske modifikacije Ti-45Nb legure na njena svojstva primeniće se metoda laserske površinske modifikacije legure u stanju pre i nakon HPT prerade. U tu svrhu površina krupnozrne i sitnozrne Ti-45Nb legure će biti podvrgnuta laserskoj modifikaciji korišćenjem pikosekundnog Nd:YAG lasera. Istraživanja će obuhvatiti ispitivanje uticaja parametara laserskog zračenja i uslova u kojima se vrši ozračivanje (gasne atmosfere, vremena ozračivanja i energije laserskog impulsa) na hemijske i morfološke karakteristike površine legure, a samim tim i na njena mehanička, koroziona, biokompatibilna i citotoksična svojstva. U prvom redu istraživanja, koja se odnose na lasersku površinsku modifikaciju, će biti usmerena na određivanje optimalnih parametara laserske modifikacije koja bi vodila ka poboljšanju svojstava legure koja su od interesa za njenu biomedicinsku primenu proučavanjem procesa koji se javljaju tokom interakcije laserskog zraka visokog intenziteta sa površinom, kako savremene Ti-45Nb legure od interesa, tako i drugih materijala na bazi titana (CP-Ti i Ti-13Nb-13Zr (mas.%) legura). Određivanje optimalnih parametara laserske modifikacije obuhvatiće ispitivanja promene hemijskog

sastava laserski modificovanih površina primenom metode energetske disperzivne spektrometrije (EDS), kao i ispitivanje morfoloških karakteristika laserski modificovanih površina korišćenjem SEM analize i metode beskontaktna optičke profilometrije u zavisnosti od primenjenih parametara laserskog zračenja. Nakon određivanja optimalnih parametara laserske modifikacije površina materijala na bazi titana, ti parametri će se koristiti kako bi se laserskim zračenjem modifikovale celokupne površine uzoraka krupnozrne i sitnozrne Ti-45Nb legure i ispitao uticaj ovako modificovanih površina na mehanička, koroziona, biokompatibilna i citotoksična svojstva legure. Ispitivanje mehaničkih svojstava legure podvrgnute laserskoj površinskoj modifikaciji će se uraditi određivanjem tvrdoće, modula elastičnosti na površini i plastičnosti legure primenom metode nanoidentacije i određivanjem tvrdoće po metodi Vickers-a, koroziona postojanost legure podvrgnute laserskoj površinskoj modifikaciji u uslovima koji simuliraju uslove prisutne u ljudskom organizmu će se ispitati korišćenjem potenciodinamičke i SEI metode, dok će se biokompatibilnost i citotoksičnost utvrditi primenom DET, ADT, CV i MTT testova u prisustvu L-929 i MRC-5 ćelijskih linija u tečnom medijumu uz prateću SEM analizu morfoloških i adhezionih karakteristika ćelija koje se nalaze u kontaktu sa laserski modificovanim površinama legure.

Istraživanja obuhvaćena ovom doktorskom disertacijom će biti zaokružena uporednom analizom postignutih rezultata i utvrđivanjem uticaja modifikacije strukture Ti-45Nb legure primenom HPT prerade i površinskih karakteristika legure primenom laserskog zračenja na njena mehanička, koroziona, biokompatibilna i citotoksična svojstva kako bi se u zaključku doktorske disertacije mogli izdvojiti uslovi modifikacije strukture i svojstava legure koji bi doprineli izradi dugotrajnijih i postojanijih čvrstih medicinskih implanata.

5. Očekivani naučnoistraživački doprinos

Očekivani naučni doprinos predložene doktorske disertacije ogleda se, pre svega, u utvrđivanju mogućnosti poboljšanja otpornosti prema oštećenju savremenih medicinskih implanata korišćenjem legure titana novije generacije za njihovu izradu i primenom savremenih metoda modifikacije njihove strukture i svojstava kojima bi se unapredile karakteristike, kako već komercijalnih implantnih materijala, tako i savremenih materijala koji još uvek nemaju komercijalnu primenu.

Osim toga, očekuje se da će rezultati istraživanja, ostvareni tokom izrade predložene doktorske disertacije, dovesti do:

- definisanja uticaja mikrostrukturnih karakteristika Ti-45Nb legure β tipa na biokompatibilnost i otpornost prema oštećenju ovog potencijalnog implantnog materijala,
- uspešnog teorijskog predviđanja strukture i faznog sastava Ti-45Nb legure modelovanjem na *ab initio* nivou u zavisnosti od primene HPT postupka prerade materijala i predviđanja uticaja HPT postupka prerade na mehanička svojstva same legure, čime bi se značajno uticalo na postizanje ekonomičnijeg postupka razvoja i izrade savremenih metalnih implantnih materijala kroz smanjenu primenu eksperimentalnih metoda,
- određivanja uticaja mikrostrukturnih parametara Ti-45Nb legure na elektrohemijske karakteristike i otpornost prema korozionom oštećenju legure u uslovima koji simuliraju uslove prisutne u ljudskom organizmu,
- utvrđivanja uticaja mikrostrukturnih parametara Ti-45Nb legure na njenu biokompatibilnost i citotoksičnosti primenom *in vitro* testova kako bi se omogućila procena bezbedne upotrebe krupnozrne i sitnozrne Ti-45Nb legure u implantologiji,
- definisanja uticaja parametara laserske površinske modifikacije materijala na bazi titana na biokompatibilnost i korozionu postojanost materijala u uslovima koji simuliraju uslove prisutne u ljudskom organizmu i
- određivanja optimalnih uslova laserske modifikacije Ti-45Nb legure u stanju pre i nakon modifikacije njene strukture primenom HPT postupka koji bi obezbedili formiranje

površine specifičnih hemijskih i morfoloških karakteristika pogodnih za postizanje poboljšanih biokompatibilnih i korozionih svojstava.

Istraživanja, koja će biti obuhvaćena ovom doktorskom disertacijom, će doprineti određivanju uticaja parametara modifikacije strukture i svojstava Ti-Nb legure na njena biokompatibilna, mehanička i koroziona svojstva u zahtevnim uslovima prisutnim u ljudskom organizmu kako bi se odredile optimalne mikrostrukturne i površinske karakteristike ovog materijala koje bi vodile izradi postojanijih i dugotrajnijih implanata pogodnih za primenu u različitim biomedicinskim oblastima.

6. Plan istraživanja i struktura rada

6.1. Plan istraživanja

Istraživanja, koja će se realizovati u okviru predložene doktorske disertacije, će obuhvatiti:

- pregled i analizu literaturno dostupnih podataka,
- karakterizaciju mikrostrukture, faznog sastava i mehaničkih svojstava ispitivane Ti-45Nb legure na teorijskom i eksperimentalnom nivou,
- ispitivanje elektrohemijskih karakteristika i korozionog ponašanja Ti-45Nb legure u uslovima koji simuliraju uslove u ljudskom organizmu,
- ispitivanje uticaja procesa modifikacije strukture Ti-45Nb legure savremenim HPT postupkom prerade na mikrostrukturne karakteristike i fazni sastav, kao i elektrohemijske karakteristike i koroziono ponašanje, biokompatibilnost i mehanička svojstava legure,
- ispitivanje uticaja parametara laserske modifikacije površine legure pre i nakon HPT prerade na morfološke karakteristike i hemijski sastav obrazovanih površinskih slojeva, kao i na korozionu postojanost legure u uslovima koji simuliraju uslove u ljudskom organizmu, njenu biokompatibilnost i površinska mehanička svojstva,
- obradu i diskusiju rezultata istraživanja i
- izvođenje odgovarajućih zaključaka.

6.2. Struktura rada

Predložena doktorska disertacija će sadržati sledeća poglavlja: Uvod, Teorijski deo, Eksperimentalni deo, Rezultati i diskusija, Zaključci i Literatura.

U poglavlju Uvod će se ukazati na značaj istraživanja u naučnoistraživačkoj oblasti od interesa za realizaciju doktorske disertacije uz jasno isticanje predmeta i ciljeva istraživanja obuhvaćenih doktorskom disertacijom. Teorijski deo će obuhvatiti detaljan pregled dosadašnjih istraživanja u ovoj oblasti kroz pregled i analizu dostupne literature. Eksperimentalni deo će sadržati informacije o leguri na bazi titana kao materijalu koji je korišćen u eksperimentalnom radu, postupcima modifikacije strukture i svojstava ispitivane legure, teorijskom ispitivanju strukture i svojstava legure, kao i svim primenjenim metodama karakterizacije i ispitivanja svojstava legure pre i nakon njene modifikacije. Svi rezultati, proizašli iz istraživanja obuhvaćenih doktorskom disertacijom, će uz odgovarajuću detaljnu analizu i diskusiju biti sistematizovani i predstavljeni u poglavlju Rezultati i diskusija. U poglavlju Zaključci će biti sumirani svi najvažniji zaključci proistekli iz istraživanja obuhvaćenih doktorskom disertacijom. U poglavlju Literatura će biti navedeni svi literaturni izvori korišćeni tokom izrade doktorske disertacije.

7. Zaključak i predlog

Na osnovu iznetih podataka Komisija smatra da je predložena tema doktorske disertacije kandidata Slađane R. Laketić, master inženjera tehnologije, pod nazivom „Modifikacija strukture i svojstva legure titana sa visokim sadržajem niobijuma za biomedicinsku primenu” naučno zanovana, dok su predmet, ciljevi, polazne hipoteze, naučne metode, aktuelnost i očekivani naučni doprinos predložene doktorske disertacije jasno i detaljno definisani i iz tog razloga predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da prihvati predloženu temu i odobri izradu doktorske disertacije. Za mentore se predlažu dr Marko Rakin, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu i dr Ivana Cvijović-Alagić, viši naučni saradnik Instituta za nuklearne nauke „Vinča” – Instituta od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju Univerziteta u Beogradu. Istraživanja u okviru predložene teme doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo, užoj naučnoj oblasti Inženjerstvo materijala, za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova.

U Beogradu, 27.01.2021.

ČLANOVI KOMISIJE

Dr Marko Rakin, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški
fakultet

Dr Ivana Cvijović-Alagić, viši naučni saradnik
Univerziteta u Beogradu, Institut za nuklearne nauke
„Vinča“

Dr Radmila Jančić-Hajneman, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški
fakultet

Dr Miloš Momčilović, viši naučni saradnik
Univerziteta u Beogradu, Institut za nuklearne nauke
„Vinča“

Dr Jelena Bajat, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški
fakultet

Dr Dejan Zagorac, viši naučni saradnik
Univerziteta u Beogradu, Institut za nuklearne nauke
„Vinča“