

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Хоуде Али Мадани Гамоуди, мастер инжењера технологије – мастер инжењера за материјале.

Одлуком бр. 2026-35/167 од 7. маја 2026. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидаткиње Хоуде Али Мадани Гамоуди, мастер инжењера технологије – мастер инжењера за материјале, под насловом: „Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази цирконијума” (“Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements”).

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Школске 2022/2023. године кандидаткиња Хоуда Али Мадани Гамоуди је уписала докторске академске студије на Универзитету у Београду, Технолошко-металуршки факултет, студијски програм Инжењерство материјала.

26. фебруара 2026. кандидаткиња Хоуда Али Мадани Гамоуди предложила је тему докторске дисертације под називом: „Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази цирконијума” (“Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements”).

6. марта 2026. на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду донета је одлука (бр. 2026-35/80 од 6. марта 2026.) о именовању чланова Комисије за оцену научне заснованости теме кандидаткиње Хоуде Али Мадани Гамоуди, мастер инжењера технологије - мастер инжењера за материјале под насловом: „Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази цирконијума” (“Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements”) у саставу: др Весна Радојевић, редовни професор ТМФ; др Ивана Стајчић, виши научни сарадник, Институт за нуклеарне науке „Винча”, др Петар Ускоковић, редовни професор ТМФ; др Душица Стојановић, научни саветник, ТМФ и др Милош Петровић, ванредни професор ТМФ.

9. априла 2026. на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду донета је одлука о прихватању теме докторске дисертације под насловом „Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази цирконијума” (“Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements”), а за менторе су именовани др Весна Радојевић, редовни професор ТМФ и др Ивана Стајчић, виши научни сарадник, Институт за нуклеарне науке „Винча” - одлука бр2026-35/98 од 9. априла 2026.

22. априла 2026. Веће научних области техничких наука доноси одлуку (бр. 61206-1316/2-26 од 22. априла 2026.) по којој даје сагласност на предлог теме „Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази цирконијума” (“Synthesis and characterization of dental

composite implants with zirconium-based reinforcements”) кандидаткиње Хоуде Али Мадани Гамоуди, мастер инжењера технологије – мастер инжењера за материјале.

На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета одржаној 7. маја 2026. донета је одлука (бр. 2026-35/167 од 7. маја 2026.) о именовану чланова Комисије за оцену докторске Хоуде Али Мадани Гамоуди, мастер инжењера технологије – мастер инжењера за материјале, под насловом: „Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази цирконијума” (“Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements”), у саставу: др Петар Ускоковић, редовни професор ТМФ, др Душица Стојановић, научни саветник, ТМФ, др Милош Петровић, ванредни професор ТМФ, др Александар Којовић, ванредни професор ТМФ и др др Александар Стајчић, виши научни сарадник, Институт за хемију, технологију и металургију.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство и ужој научној области Инжењерство материјала, за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Ментори су др Весна Радојевић, редовни професор ТМФ, ужа научна област инжењерство материјала, и др Ивана Стајчић, виши научни сарадник, Институт за нуклеарне науке „Винча”, ужа научна област наука о материјалима, које су на основу досадашњих објављених радова и искустава компетентне да руководе израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидаткиња Houda Ali Madani Gamoudi рођена је 12. фебруара 1982. године у Триполију, Либија. Основне академске студије је завршила је 2006. године на Универзитету у Триполију, Либија, Департаман за стоматологију. Мастер академске студије на Универзитету у Београду, Технолошко-металуршки факултет, студијски програм Инжењерство материјала, завршила је 2021. године.

Докторске академске студије уписала је 2022. године на Универзитету у Београду, Технолошко-металуршки факултет, студијски програм Инжењерство материјала.

Од 2007. године запослена је у Општој болници у Триполију, Либија.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Хоуде Али Мадани Гамоуди, мастер инжењера технологије – инжењера материјала, написана је на енглеском језику и обухвата укупно 104 стране А4 формата, са 41 сликом, 12 табела и 229 библиографских референци.

Дисертација садржи следећа поглавља: Сажетак (на српском и енглеском језику), Увод, Теоријски део (преглед литературе и теоријска основа о композитним материјалима, полимерним денталним материјалима, полимерима високих перформанси у стоматологији, керамичким наночестицама и нановлакнима, методи електропредења, ојачањима на бази цирконијума, хибридним оксидима перовскита, као и методама карактеризације напредних композитних система), Експериментални део (материјали, синтеза и процесирање напредних композита на бази РЕИ ојачаних електропреденим цирконијумским нановлакнима и механохемијски синтетисаним честицама, као и поступци карактеризације), Резултати и дискусија, Закључак, Литература, Биографија и Прилози.

Прилози обухватају изјаву о ауторству, потврду о истоветности штампане и електронске верзије дисертације, као и изјаву о коришћењу и одобрењу за јавно објављивање дисертације.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу приказани су научна основа и мотивација за развој напредних денталних композитних материјала. Истакнут је значај унапређења механичке поузданости, термичке

стабилности и биолошке компатибилности полимерних денталних материјала, као и тренутна ограничења конвенционалних ресторативних система. Матрица полиетаримида (PEI) ојачана је нановлакнима цирконијум оксида (ZrO_2) добијеним електропредењем прекурсора и накнадном калцинацијом. Хибридне перовскитне наночестице $BaZrO_3/Y_2O_3/SrTiO_3$, такође коришћене за ојачање, синтетисане су механохемијском активацијом.

Теоријски део пружа детаљан преглед полимерних композитних материјала са посебним освртом на примену у стоматологији. Разматране су различите класе полимера који се користе у стоматологији, укључујући метакрилатне системе и полимере високих перформанси, као што је полиетаримид. Приказани су теоријски аспекти ојачања керамичким наночестицама и нановлакнима, као и поступци њихове припреме. Систематски су анализирани техника електропредења и механохемијска синтеза ојачања која се користе у биомедицинским применама. Поред тога, анализирана је улога оксида типа перовскита и мултифункционалних керамичких система у инжењерству напредних композита.

Експериментални део описује поступке синтезе и процесирања примењене за добијање напредних композита на бази PEI ојачаних електропреденим нановлакнима ZrO_2 и механохемијски синтетисаним честицама $BaZrO_3/Y_2O_3/SrTiO_3$. Нановлакна ZrO_2 добијена су електропредењем и накнадном калцинацијом, након чега је извршена ултразвучна фрагментација у структуре налик вискерима, док су хибридне оксидне честице припремљене контролисаним механохемијским процесирањем. Композитни филмови са различитим садржајем ојачања добијени су методом изливања из раствора. У овом поглављу описане су и различите методе карактеризације.

Поглавље Резултати и дискусија подељено је на две подцелине: 1) процесирање PEI нанокомпозита ојачаних ZrO_2 нановлакнима, где су разматрани структура и морфологија прекурсорских и калцинираних нановлакна, као и утицај садржаја влакана на морфолошка, механичка, оптичка и термичка својства композита; 2) процесирање PEI нанокомпозита ојачаних хибридном $BaZrO_3/Y_2O_3/SrTiO_3$ наночестицама, где су анализирани структура и морфологија синтетисаних наночестица, као и утицај концентрације наночестица на морфолошка, термичка, оптичка и механичка својства композита. У поглављу Резултати и дискусија добијени резултати интерпретирани су на основу структурних, морфолошких и оптичких анализа (дифракција X-зрака (X-ray diffraction, XRD), инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом (Fourier-transform infrared spectroscopy, FTIR), скенирајућа електронска микроскопија са емисијом поља (field-emission scanning electron microscopy, FE-SEM), UV-Vis спектроскопија (UV-Vis spectroscopy), временски разложена ласерски индукована флуоресцентна спектроскопија (time-resolved laser-induced fluorescence spectroscopy, TR-LIF)), као и термичких, механичких и биолошких испитивања (диференцијална скенирајућа калориметрија (differential scanning calorimetry, DSC), испитивање затезањем, микроиндентација, папоребање и *in vitro* анализа цитотоксичности). Оваква структура омогућава доследно повезивање састава, морфологије ојачања, микро/наноструктуре и међуфазних интеракција са постигнутим функционалним својствима композита, као и извођење смерница за пројектовање напредних денталних и биомедицинских композитних материјала на бази PEI. Добијени резултати показали су да нановлакна ZrO_2 и $BaZrO_3/Y_2O_3/SrTiO_3$ честице обезбеђују ефикасно ојачање. Оптичка својства композита могу се подешавати концентрацијом дисконтинуалне фазе. Анализа цитотоксичности потврдила је концентрационо зависан биолошки одговор са опоравком вијабилности ћелија након разблажења.

Структура дисертације успоставља јасне релације структура-својства које одређују понашање мултифункционалних композита на бази PEI.

У Закључку су систематски сумирани сви значајни научни резултати и разматран је њихов значај за развој напредних мултифункционалних денталних и биомедицинских композита. Дисертација показује да нановлакна ZrO_2 и хибридне честице перовскита представљају перспективне системе ојачања за побољшање механичке стабилности и функционалног понашања денталних материјала на бази PEI. Поглавље Литература садржи 229 библиографских јединица релевантних за истраживану област, које обухватају све тематске и експерименталне аспекте разматране у дисертацији.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Композити на бази полимера високих перформанси намењени денталним и биомедицинским применама све више се развијају у правцу материјала који истовремено поседују изузетну механичку стабилност, термичку отпорност, оптичку функционалност и биолошку компатибилност. Међутим, конвенционални полимерни дентални материјали често показују недовољну тврдоћу, ограничену отпорност на хабање, слабу дугорочну димензиону стабилност и недовољну отпорност на сложена термомеханичка напрезања присутна у оралном окружењу. Иако високоперформансни термопласти као што је полиетаримид (PEI) обезбеђују супериорну термичку и хемијску отпорност у поређењу са конвенционалним денталним полимерима, њихово механичко понашање и функционалне перформансе и даље захтевају унапређење за захтевне биомедицинске примене. Бројна истраживања бавила су се стратегијама керамичког ојачања ради побољшања полимерних денталних композита путем уградње оксидних честица, вискера, влакана и наноструктурних пунила. Традиционална керамичка ојачања, као што су цирконијум-оксид, алуминијум-оксид, силицијум-оксид и хидроксиапатит, показала су побољшања тврдоће, крутости и отпорности на хабање; међутим, многи системи се и даље суочавају са значајним ограничењима повезаним са агломерацијом честица, недовољним међуфазним везивањем, слабом стабилношћу дисперзије и неефикасним преносом напрезања између ојачања и полимерне матрице. У многим случајевима значајно ојачање захтевало је релативно висок садржај пунила, што је негативно утицало на процесибилност, транспарентност и структурну хомогеност композита.

Истраживање представљено у овој докторској дисертацији у потпуности је усклађено са савременим трендовима у развоју мултифункционалних денталних нанокмозита, где је циљ постизање значајног побољшања механичких и функционалних својстава применом релативно ниских концентрација напредних наноструктурних ојачања. Посебан значај дисертације огледа се у компаративном испитивању две суштински различите морфологије ојачања: нановлакна ZrO_2 са високим односом дужине и пречника и хибридни керамички наночестица $BaZrO_3/Y_2O_3/SrTiO_3$ са дефектно-инжењерисаном структуром типа перовскита. У поређењу са конвенционалним керамичким пунилинама, ови системи ојачања остају знатно мање истражени у PEI денталним композитима, нарочито у погледу ефикасности ојачања зависно од морфологије и мултифункционалног понашања. Дисертација покрива неколико важних научних и технолошких изазова, укључујући контролу дисперзије ојачања, смањење ефеката агломерације, побољшање међуфазних интеракција између пунила и матрице, као и разумевање начина на који геометрија ојачања управља механизмима преноса напрезања унутар композита. Ови изазови решавани су применом електропредења и контролисане калцинације нановлакна ZrO_2 , механохемијске синтезе хибридни перовскитних наночестица и систематске оптимизације уградње ојачања у PEI матрицу.

Оригиналност дисертације огледа се у увођењу цирконијумских нановлакна и хибридни $BaZrO_3/Y_2O_3/SrTiO_3$ наночестица као нових система ојачања за денталне композите на бази PEI и систематском испитивању њиховог утицаја на термичка, механичка, оптичка и биолошка својства; успостављању компаративног односа између механизма ојачања наночестицама и нановлакнима; корелацији морфологије ојачања, квалитета дисперзије и међуфазних интеракција са постигнутом тврдоћом, модулом еластичности, термичком стабилношћу и оптичким понашањем; примени напредних метода оптичке карактеризације, временски разложене ласерски индуковане флуоресцентне спектроскопије (time-resolved laser-induced fluorescence spectroscopy, TR-LIF), за испитивање функционалних оптичких својстава хибридни оксидних система; као и интеграцији структурних, термичких, оптичких, механичких и цитотоксичних анализа у јединствени оквир релације структура-својства за рационално пројектовање мултифункционалних биомедицинских композита на бази PEI. Комбиновањем напредне синтезе керамике, технологије електропредења, инжењеринга мултифункционалних оксида и свеобухватне карактеризације композита, дисертација представља допринос смернице за развој паметних денталних и биомедицинских полимерних композита нове генерације.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Дисертација садржи обиман и савремен преглед научне литературе обухваћен у 229 референци које се односе на полимерне композите, денталне биоматеријале, електропредење, керамичке наноструктуре и мултифункционалне оксидне системе. Цитирана литература укључује новије научне радове из

релевантних међународних часописа који обухватају синтезу, карактеризацију и примену напредних композитних материјала. Преглед литературе показује да кандидаткиња поседује детаљно познавање истраживане научне области и савремених експерименталних приступа који се користе у инжењерству напредних материјала.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру ове дисертације добијени композити су свеобухватно анализирани применом широког спектра савремених структурних, морфолошких, термичких, оптичких, механичких и биолошких метода карактеризације, са циљем успостављања детаљних релација структура–својства. Структурна карактеризација извршена је методом дифракције X-зрака (X-ray diffraction, XRD) ради одређивања фазног састава, кристаличности и структурне стабилности керамичких ојачања и композитних система. Инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом (Fourier-transform infrared spectroscopy, FTIR) коришћена је за испитивање хемијских веза, међуфазних интеракција и структурних промена изазваних уградњом ојачања у PEI матрицу. Морфолошка и микроструктурна анализа спроведена је применом скенирајуће електронске микроскопије са емисијом поља (field-emission scanning electron microscopy, FESEM), што је омогућило процену морфологије пунила, дисперзије честица, понашања агломерације и механизма лома. Термичко понашање и покретљивост полимерних ланаца испитивани су диференцијалном скенирајућом калориметријом (differential scanning calorimetry, DSC), посебно кроз анализу температуре стакластог прелаза (glass transition temperature, T_g) и термичких прелаза повезаних са уградњом ојачања. Оптичка карактеризација обухватала је UV-Vis спектроскопију (UV-Vis spectroscopy) ради процене транспарентности и ефеката расејања светлости, временски разложену ласерски индуковану флуоресцентну спектроскопију (time-resolved laser-induced fluorescence spectroscopy, TR-LIF) за анализу емисионог понашања и оптичке активности полимера. Механичка карактеризација извршена је инструментованом микроиндентацијом ради одређивања тврдоће и редукованог модула еластичности, док је метод испитивања фрикције методом **нано огреботине (nano scratch)** коришћено за процену отпорности површине, понашања при огреботинама и својстава повезаних са хабањем. Додатно је спроведено испитивање затезањем ради анализе запреминског механичког понашања, укључујући чврстоћу, крутост и деформациони одговор композитних система. Систематски је анализиран утицај морфологије ојачања, квалитета дисперзије и међуфазних интеракција на ефикасност преноса напрезања и механичку стабилност.

Поред тога, спроведена су *in vitro* испитивања цитотоксичности ради процене биолошког одговора и цитокомпатибилности развијених композита.

Добијени резултати показали су да величина и геометрија ојачања, стање дисперзије и интеракције између пунила и матрице у великој мери одређују структурна, термичка, оптичка, механичка и биолошка својства испитиваних композитних система на бази PEI.

3.4. Применљивост остварених резултата

Добијени резултати доприносе развоју напредних мултифункционалних полимерних композита за денталне и биомедицинске примене. Испитивани PEI системи ојачани ZrO_2 нановлакнима и хибридни керамичким честицама показују побољшана механичка својства, термичку стабилност и луминисцентну функционалност и прихватљиву цитокомпатибилност, што их чини перспективним кандидатима за будуће паментне денталне ресторативне материјале и примене у имплантологији. Успостављене релације структура–својства пружају важне смернице за оптимизацију морфологије ојачања и дисперзије у напредним полимерним композитним системима. Поред тога, представљене стратегије ојачања могу се проширити и на шира подручја биомедицинског инжењерства, укључујући паметне мултифункционалне имплантне системе.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације, кандидаткиња је показала способност за самосталан научноистраживачки рад, критичку анализу литературе, планирање експеримената и интерпретацију добијених резултата. Кандидаткиња је самостално спроводила синтезу и процесирање композитних материјала, примењивала савремене методе карактеризације и систематски анализирала релације структура–својства. Дисертација и објављени научни резултати потврђују да кандидаткиња поседује

неопходне компетенције за самосталан научноистраживачки рад у области инжењерства материјала и напредних композитних система.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси дисертације могу се сумирати кроз следеће резултате:

- Развој напредних PEI денталних композита ојачаних нановлакнима ZrO_2 и хибридним $BaZrO_3/Y_2O_3/SrTiO_3$ честицама;
- Оптимизација процеса добијања нановлакна ZrO_2 методом електропоређења са пратећом термичком обрадом и уградња у композите на бази PEI
- Развој процеса добијања хибридних $BaZrO_3/Y_2O_3/SrTiO_3$ честица механохемијским поступком уз оптимизацију састава за постизање добрих оптоелектронских луминисцентних својстава
- Успостављање корелација између морфологије ојачања, стања дисперзије и механичких и оптоелектронских својстава композита;

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У оквиру дисертације изведено је систематско истраживање мултифункционалних керамичких ојачања у PEI композитима за денталну примену. Добијени резултати потврђују да морфологија ојачања значајно утиче на ефикасност преноса напрезања и механизме механичког побољшања. Систем ZrO_2 нановлакна показао је нарочито изражене ефекте ојачања услед ефеката премошћавања влакнима током ширења прелине као и остваривање добре везе влакно-матрица путем модификације. Честице $BaZrO_3/Y_2O_3/SrTiO_3$ су допринеле кроз ограничење покретљивости полимерних ланаца и механизме ојачања посредоване дефектима. Спроведене анализе су потврдиле да се оптимално понашање композита постиже контролисаном дисперзијом ојачања и минимизовањем агломерације. Поред тога, њиховом уградњом у PEI матрицу повећава се могућност конверзије енергије у оптоелектронском систему. На тај начин су створени услови за даљи развој паметних денталних материјала за конверзију енергије. Термичка анализа додатно је показала повећање температуре стакластог прелаза, што указује на смањену сегменталну покретљивост PEI ланаца након уградње ојачања. Комбинација побољшаних механичких својстава и цитокompatibilности чини развијене системе перспективним за будуће денталне и биомедицинске примене.

Планирани циљеви ове докторске дисертације успешно су испуњени, а добијени резултати представљају значајан допринос унапређењу функционалних композитних имплантних материјала.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси дисертације верификовани су објављивањем резултата у следећим међународним часописима (радови у часописима са WoS/SCIE листе):

Категорија M21

1. **Gamoudi, H. A.**, Radojević, V., Stajčić, A., Petrović, M., Simović, B., Stojanović, D. B., Stajčić, I. (2026) Microhardness Enhancement in Polymer Composites via $BaZrO_3$ -Based Ceramic Reinforcement, *Applied Sciences*, 16, 2529. (IF 2024 = 2.5) (ISSN: 2076-3417) (DOI: 10.3390/app16052529)

Категорија M22

1. **Gamoudi, H. A.**, Stajčić, I., Stojanović, D. B., Simović, B., Petrović, M., Kojović, A., Radojević, V. (2025) Mechanical reinforcement of polyetherimide with electrospun zirconia nanofibers, *Science of Sintering*, Online First: 39. (IF2024 = 1.3) (ISSN Online 1820-7413) (DOI: 10.2298/SOS250924039G).

Категорија M33

1. **Gamoudi, H. A.**, Stajčić, I., Kojović, A., Stojanović, D.B., Stajčić, A., Radojević, V., Nanomechanical and Optical Properties of Polyetherimide-Based Composite, *In Proceedings/34th International Conference on Microelectronics*, MIEL, Niš, Serbia, October 13-16 (pp. 307-310). Niš, Faculty of electronic engineering (ISBN 979-8-3315-1417-4).

5. ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду (Гласник Универзитета у Београду, бр. 204 од 22. јуна 2018. године), коришћењем програма iThenticate 7. маја 2026. извршена је провера оригиналности докторске дисертације кандидаткиње Хоуде Али Мадани Гамоуди, мастер инжењера технологије - мастер инжењера за материјале, под насловом: „Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази цирконијума” (“Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements”).

Укупно поклапање износи 12%. Комисија оцењује да је утврђени проценат сличности последица уобичајених описа стандардних метода, дефиниција и библиографских навода као и претходно публикованих резултата истраживања кандидаткиње, који су проистекли из њене дисертације. Ниједан део рада не указује на недозвољено присвајање туђих резултата; сличности се односе на сопствене претходно објављене текстове и стандардну научну терминологију, уз уредно навођење извора.

На основу свега изложеног Комисија сматра да је докторска дисертација кандидаткиње Хоуде Али Мадани Гамоуди оригинална, као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу увида у садржај докторске дисертације, приложених радова и остварених резултата, Комисија констатује да је кандидаткиња успешно реализовала постављене циљеве истраживања и да је дисертација дала оригиналан научни допринос у области развоја хибридних композитних имплантата на бази полиетаримида за примену у регенеративној стоматологији. Дисертација је методолошки добро утемељена, резултати су верификовани кроз публикације у међународним часописима, а предложени приступ има и научни и практични значај.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да прихвати овај Извештај и да се докторска дисертација Хоуде Али Мадани Гамоуди, мастер инжењера технологије – мастер инжењера за материјале, под насловом: „Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази цирконијума” (“Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements”) прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду,
22. мај 2026. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Петар Ускоковић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Душица Стојановић, научни саветник
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Милош Петровић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Александар Којовић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Александар Стајчић, виши научни сарадник
Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију

TO THE TEACHING AND SCIENTIFIC COUNCIL

Subject: Report on the completed doctoral dissertation of the candidate Houda Ali Madani Gamoudi
, Master of Technology – Master Engineer in Materials.

By Decision No. 2026-35/167 dated May 7, 2026, we were appointed as members of the Committee for the evaluation of the doctoral dissertation of the candidate Houda Ali Madani Gamoudi, Master of Technology – Master Engineer in Materials, entitled: "Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements" („Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази цирконијума”).

After reviewing the submitted dissertation and other accompanying materials and after discussions with the candidate, the Committee has prepared the following

R E P O R T

1. INTRODUCTION

1.1. Chronology of approval and preparation of the dissertation

In the academic year 2022/2023, the candidate Houda Ali Madani Gamoudi enrolled in doctoral academic studies at the University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy, study program Materials Engineering.

On February 26, 2026, the candidate Houda Ali Madani Gamoudi proposed the topic of the doctoral dissertation entitled "Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements" („Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази цирконијума”).

On March 6, 2026, at the meeting of the Teaching and Scientific Council of the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, a decision was made (No. 2026-35/80 dated March 6, 2026) on the appointment of members of the Committee for the evaluation of the scientific justification of the topic of the candidate Houda Ali Madani Gamoudi, Master of Technology – Master Engineer in Materials, entitled: "Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements" („Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази цирконијума”) composed of: Dr Vesna Radojević, Full Professor, FTM; Dr Ivana Stajčić, Senior Research Associate, Institute of Nuclear Sciences "Vinča"; Dr Petar Uskoković, Full Professor, FTM; Dr Dušica Stojanović, Principal Research Fellow, FTM; and Dr Miloš Petrović, Associate Professor, FTM.

On April 9, 2026, at the meeting of the Teaching and Scientific Council of the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, a decision was made to accept the topic of the doctoral dissertation entitled "Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements" („Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази цирконијума”) and Dr Vesna Radojević, Full Professor, and Dr Ivana Stajčić, Senior Research Associate, were appointed as supervisors – Decision No. 2026-35/98 dated April 9, 2026.

On April 22, 2026, the Council of Scientific Fields of Technical Sciences adopted a decision of the Teaching and Scientific Council of the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade granting consent to the proposed topic "Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements" („Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази

цирконијума”) of the candidate Houda Ali Madani Gamoudi, Master of Technology – Master Engineer in Materials (No. 61206-1316/2-26 dated April 22, 2026).

At the meeting of the Teaching and Scientific Council of the Faculty of Technology and Metallurgy held on May 7, 2026, a decision was made (No. 2026-35/167 dated May 7, 2026) on the appointment of members of the Committee for the evaluation of the doctoral dissertation of Houda Ali Madani Gamoudi, Master of Technology – Master Engineer in Materials, entitled: ”Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements” („Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази цирконијума”) composed of: Dr Petar Uskoković, Full Professor, FTM; Dr Dušica Stojanović, Principal Research Fellow, FTM; Dr Miloš Petrović, Associate Professor FTM, Aleksandar Kojović Associate Professor FTM, and Dr Aleksandar Stajčić, Senior Research Associate, Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy.

1.2. Scientific field of the dissertation

The research within this doctoral dissertation belongs to the scientific field of Technological Engineering and the narrower scientific field of Materials Engineering, for which the Faculty of Technology and Metallurgy of the University of Belgrade is responsible. The supervisors are Dr Vesna Radojević, Full Professor at FTM, narrower scientific field Materials Engineering, and Dr Ivana Stajčić, Senior Research Associate, narrower scientific field Materials Science, who, based on their previously published works and experience, are competent to supervise the preparation of this doctoral dissertation.

1.3. Biographical data of the candidate

The candidate Houda Ali Madani Gamoudi was born on February 12, 1982 in Tripoli, Libya. She completed her undergraduate studies in 2006 at the University of Tripoli, Libya, Department of Dentistry. She completed her Master's studies at the University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy, study program Materials Engineering, in 2021.

At the Department of Structural and Special Materials at the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, he enrolled in doctoral academic studies in 2022.

Since 2007, she has been employed at the General Hospital in Tripoli, Libya

2. DESCRIPTION OF THE DISSERTATION

2.1. Content of the dissertation

The doctoral dissertation of the candidate Houda Ali Gamoudi Madani, Master of Technology – Master Engineer in Materials, is written in English and comprises a total of 104 pages of A4 format, containing 41 figures, 12 tables, and 229 bibliographic references.

The dissertation contains the following chapters: Abstract (in Serbian and English), Introduction, Theoretical part (Literature review and theoretical background on composite materials, polymeric dental materials, high-performance polymers in dentistry, ceramic nanoparticles and nanofibers, electrospinning methods, zirconia-based reinforcements, hybrid perovskite-type oxides, and methods for characterization of advanced composite systems), Experimental part (Materials, synthesis and processing of advanced PEI-based composites reinforced with electrospun zirconia nanofibers and mechanochemically synthesized particles and characterization procedures), Results and discussion, Conclusion, References, Biography and Appendices. The appendices include the declaration of authorship, confirmation of consistency between the printed and electronic versions of the dissertation, as well as the statement regarding the use and approval for public accessibility of the dissertation.

2.2. Brief overview of individual chapters

In the Introduction chapter, the scientific background and motivation for the development of advanced dental composite materials are presented. The importance of improving the mechanical reliability, thermal stability and biological compatibility of polymer-based dental materials is emphasized, together with current limitations of conventional restorative systems. Polyetherimide (PEI) matrix was reinforced with ZrO₂ nanofibers obtained via electrospinning of precursors and followed by calcination. Hybrid perovskite-based BaZrO₃/Y₂O₃/SrTiO₃ nanoparticles, also used for reinforcement, were synthesized by mechanochemical activation.

The theoretical part presents a detailed overview of polymer composite materials with special focus on dental applications. Different classes of polymers used in dentistry are discussed, including methacrylate systems and high-performance polymers such as polyetherimide. Theoretical aspects of ceramic nanoparticle and nanofibers reinforcement are presented, as well as the routes of their processing. Electrospinning technique and mechanochemical synthesis of reinforcements used in biomedical applications are systematically reviewed. In addition, the role of perovskite-type oxides and multifunctional ceramic systems in advanced composite engineering is analyzed.

The experimental part describes the synthesis and processing procedures used for obtaining advanced PEI-based composites reinforced with electrospun zirconia nanofibers and mechanochemically synthesized BaZrO₃/Y₂O₃/SrTiO₃ particles. Zirconia nanofibers were fabricated by electrospinning followed by calcination and ultrasonic fragmentation into whisker-like structures, while hybrid oxide particles were prepared through controlled mechanochemical processing. Composite films with different reinforcement contents were produced by solution-based processing methods. Different characterization methods are also described in this chapter.

Results and Discussion chapter is divided into two subsections: 1) processing of PEI-based nanocomposites reinforced with ZrO₂ nanofibers, where structure and morphology of precursor nanofibers and calcined nanofibers, as well as influence of fiber content on morphological, mechanical, optical and thermal properties were discussed. 2) processing of PEI-based nanocomposites reinforced with hybrid BaZrO₃/Y₂O₃/SrTiO₃ nanoparticles, where structure and morphology of synthesized nanoparticles, as well as influence of nanoparticles concentration on morphological, thermal, optical and mechanical properties were discussed. In the Results and Discussion chapter, the obtained results are interpreted based on structural, morphological and optical analyses (X-ray diffraction, XRD; Fourier-transform infrared spectroscopy, FTIR; field-emission scanning electron microscopy, FE-SEM; UV-Vis spectroscopy; time-resolved laser-induced fluorescence spectroscopy, TR-LIF), as well as thermal, mechanical and biological testing (differential scanning calorimetry, DSC; tensile testing; microindentation; nanoscratch testing; *in vitro* cytotoxicity analysis). This structure enables consistent linking of composition, reinforcement morphology, micro/nanostructure and interfacial interactions with the achieved functional properties of the composites, and allows the derivation of guidelines for the design of advanced PEI-based dental and biomedical composite materials. The obtained results demonstrated that zirconia nanofibers and BaZrO₃/Y₂O₃/SrTiO₃ particles provide superior reinforcement efficiency. Optical properties of composites can be tuned with the concentration of fillers. Cytotoxicity analysis confirmed concentration-dependent biological response with recovery of cell viability after dilution.

The structure of dissertation establishes clear structure-property relationships governing the behavior of PEI-based multifunctional composites.

In the Conclusion, all important scientific findings are systematically summarized, and the significance of the obtained results for the development of advanced multifunctional dental and biomedical composites is discussed. The dissertation demonstrates that zirconia nanofibers and hybrid perovskite-type particles represent promising reinforcement systems for improving the mechanical stability and functional behavior of PEI-based dental materials. The References section contains 229 literature citations relevant to the investigated research area, encompassing all thematic and experimental aspects addressed throughout the dissertation.

3. EVALUATION OF THE DISSERTATION

3.1. Contemporaneity and originality

High-performance polymer composites intended for dental and biomedical applications are increasingly expected to combine excellent mechanical stability, thermal resistance, optical functionality and biological compatibility within a single material. However, conventional polymeric dental materials frequently suffer from insufficient hardness, limited wear resistance, poor long-term dimensional stability and inadequate resistance to complex thermo-mechanical stresses present in the oral environment. Although high-performance thermoplastics such as polyetherimide (PEI) provide superior thermal and chemical resistance compared to conventional dental polymers, their mechanical behavior and functional performance still require improvement for demanding biomedical applications. Numerous studies have investigated ceramic reinforcement strategies for improving polymer-based dental composites through the incorporation of oxide particles, whiskers, fibers and nanostructured fillers. Traditional ceramic reinforcements such as zirconia, alumina, silica and hydroxyapatite have demonstrated improvements in hardness, stiffness and wear resistance; however, many systems still face major limitations related to particle agglomeration, insufficient interfacial bonding, poor dispersion stability and inefficient stress transfer between the reinforcement and polymer matrix. In many cases, significant reinforcement required relatively high filler loadings, which negatively affected processability, transparency and structural homogeneity of the composites.

The research presented in this doctoral dissertation is fully aligned with contemporary trends in the development of multifunctional dental nanocomposites, where the objective is to achieve substantial improvements in mechanical and functional properties using relatively low concentrations of advanced nanostructured reinforcements. Particular significance of this dissertation lies in the comparative investigation of two fundamentally different reinforcement morphologies: zirconia nanofibers with high aspect ratio and hybrid $\text{BaZrO}_3/\text{Y}_2\text{O}_3/\text{SrTiO}_3$ ceramic nanoparticles with defect-engineered perovskite structure. Compared to conventional ceramic fillers, these reinforcement systems remain considerably less explored in PEI-based dental composites, particularly in terms of their morphology-dependent reinforcement efficiency and multifunctional behavior. The dissertation addresses several important scientific and technological challenges, including control of reinforcement dispersion, reduction of agglomeration effects, improvement of filler-matrix interfacial interactions and understanding of how reinforcement dimensionality governs stress transfer mechanisms within the composite. These challenges were addressed through electrospinning and controlled calcination of zirconia nanofibers, mechanochemical synthesis of hybrid perovskite nanoparticles and systematic optimization of reinforcement incorporation into the PEI matrix.

The originality of the dissertation is reflected in, introducing zirconia nanofibers and hybrid $\text{BaZrO}_3/\text{Y}_2\text{O}_3/\text{SrTiO}_3$ nanoparticles as novel reinforcement systems for PEI-based dental composites and systematically evaluating their influence on thermal, mechanical, optical and biological properties; establishing a comparative relationship between nanoparticle reinforcement and nanofiber reinforcement mechanisms; correlating reinforcement morphology, dispersion quality and interfacial interactions with achieved hardness, modulus, thermal stability and optical behavior; applying advanced optical characterization methods, time-resolved laser-induced fluorescence spectroscopy, for investigation of functional optical properties of hybrid oxide systems; and integrating structural, thermal, optical, mechanical and cytotoxicity analyses into a unified structure-property framework for the rational design of multifunctional PEI-based biomedical composites. By combining advanced ceramics synthesis, electrospinning technology, multifunctional oxide engineering and comprehensive composite characterization, the dissertation significantly exceeds a purely descriptive level and provides important guidelines for the rational development of next-generation dental and biomedical polymer composites.

3.2. Review of the referenced and used literature

The dissertation contains an extensive and contemporary review of scientific literature contained in 229 references related to polymer composites, dental biomaterials, electrospinning, ceramic nanostructures and multifunctional oxide systems. The cited literature includes recent scientific articles from relevant international journals covering synthesis, characterization and application of advanced composite materials. The literature review demonstrates that the candidate possesses detailed knowledge of the investigated scientific field and contemporary experimental approaches used in advanced materials engineering.

3.3. Description and adequacy of applied scientific methods

Within this dissertation, the obtained composites were comprehensively analyzed using a broad range of modern structural, morphological, thermal, optical, mechanical and biological characterization techniques in order to establish detailed structure–property relationships. Structural characterization was performed using X-ray diffraction (XRD) to determine phase composition, crystallinity and structural stability of the ceramic reinforcements and composite systems. Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) was used to investigate chemical bonding, interfacial interactions and structural changes induced by reinforcement incorporation into the PEI matrix. Morphological and microstructural analysis was carried out using field-emission scanning electron microscopy (FESEM), enabling evaluation of filler morphology, particle dispersion, agglomeration behavior and fracture mechanisms. Thermal behavior and polymer chain mobility were examined using differential scanning calorimetry (DSC), particularly through analysis of the glass transition temperature (T_g) and thermal transitions associated with reinforcement incorporation. Optical characterization included UV-Vis spectroscopy for evaluation of transparency and light-scattering effects, time-resolved laser-induced fluorescence spectroscopy, TR-LIF for analysis of emission behavior and optical activity of polymers. Mechanical characterization was performed using instrumented microindentation to determine hardness and reduced elastic modulus, while nanoscratch testing was used to evaluate surface resistance, scratch behavior and wear-related properties. Tensile testing was additionally performed to investigate bulk mechanical behavior, including strength, stiffness and deformation response of the composite systems. The influence of reinforcement morphology, dispersion quality and interfacial interactions on stress transfer efficiency and mechanical stability was systematically analyzed.

In addition, *in vitro* cytotoxicity testing was conducted to evaluate the biological response and cytocompatibility of the developed composites.

The obtained results demonstrated that reinforcement dimensionality, dispersion state and filler-matrix interactions strongly govern the structural, thermal, optical, mechanical and biological performance of the investigated PEI-based composite systems.

3.4. Applicability of the achieved results

The obtained results contribute to the development of advanced multifunctional polymer composites for dental and biomedical applications. The investigated PEI-based systems reinforced with zirconia nanofibers and hybrid ceramic particles exhibit improved mechanical properties, thermal stability, optoelectronic activity and acceptable cytocompatibility, making them promising candidates for future dental restorative materials and implant-related applications. The established structure-property relationships provide important guidelines for optimization of reinforcement morphology and dispersion in advanced polymer composite systems. In addition, the presented reinforcement strategies may be extended toward broader biomedical engineering applications including multifunctional smart implant systems.

3.5. Evaluation of the candidate's abilities for independent scientific work

During the preparation of the doctoral dissertation, the candidate demonstrated the ability for independent scientific research, critical analysis of literature, experimental design and interpretation of obtained results. The candidate independently performed synthesis and processing of composite materials, applied modern characterization methods and systematically analyzed structure-property relationships. The dissertation and published scientific results confirm that the candidate possesses the necessary competencies for independent scientific and research work in the field of materials engineering and advanced composite systems.

4. ACHIEVED SCIENTIFIC CONTRIBUTION

4.1. Presentation of achieved scientific contributions

The scientific contributions of the dissertation can be summarized through the following results:

- Development of advanced PEI dental composites reinforced with zirconia nanofibers and hybrid $\text{BaZrO}_3/\text{Y}_2\text{O}_3/\text{SrTiO}_3$ particles;
- Optimization of the process of obtaining zirconia nanofibers by electrospinning with accompanying thermal treatment and incorporation into PEI-based composites
- Development of the process of obtaining hybrid $\text{BaZrO}_3/\text{Y}_2\text{O}_3/\text{SrTiO}_3$ particles by mechanochemical method with optimization of their composition to achieve good optoelectronic luminescent properties

- Establishment of correlations between the morphology of the reinforcement, the state of dispersion and the mechanical and optoelectronic properties of the composite;

4.2. Critical analysis of research results

The dissertation presents a systematic investigation of multifunctional ceramic reinforcements in PEI-based composites for dental applications. The obtained results confirm that reinforcement morphology strongly influences the efficiency of stress transfer and mechanical enhancement mechanisms. The zirconia nanofiber system demonstrated particularly strong reinforcement effects due to fiber bridging and interfacial confinement effects, while BaZrO₃/Y₂O₃/SrTiO₃ particles contributed through interfacial restriction of polymer chain mobility and defect-mediated reinforcement mechanisms. The performed analyses confirmed that optimal composite behavior is achieved through controlled filler dispersion and minimized agglomeration. Thermal analysis additionally demonstrated increased glass transition temperatures, indicating reduced segmental mobility of PEI chains after reinforcement incorporation. The combination of mechanical improvement and cytocompatibility makes the developed systems promising for future dental and biomedical applications.

The planned objectives of this doctoral dissertation were successfully fulfilled, and the obtained findings provide a meaningful contribution to the advancement of functional composite implant materials.

4.3. Verification of scientific contributions

The scientific contributions of the dissertation were verified by publishing the results in the following international journals (papers in journals indexed in the WoS/SCIE list):

Category M21:

1. **Gamoudi, H. A.**, Radojević, V., Stajčić, A., Petrović, M., Simović, B., Stojanović, D. B., Stajčić, I. (2026) Microhardness Enhancement in Polymer Composites via BaZrO₃-Based Ceramic Reinforcement, *Applied Sciences*, 16, 2529. (IF 2024 = 2.5) (ISSN: 2076-3417) (DOI: 10.3390/app16052529)

Category M22:

1. **Gamoudi, H. A.**, Stajčić, I., Stojanović, D. B., Simović, B., Petrović, M., Kojović, A., Radojević, V. (2025) Mechanical reinforcement of polyetherimide with electrospun zirconia nanofibers, *Science of Sintering*, Online First: 39. (IF2024 = 1.3) (ISSN Online 1820-7413) (DOI: 10.2298/SOS250924039G).

Category M33:

1. **Gamoudi, H. A.**, Stajčić, I., Kojović, A., Stojanović, D.B., Stajčić, A., Radojević, V., Nanomechanical and Optical Properties of Polyetherimide-Based Composite, *In Proceedings/34th International Conference on Microelectronics*, MIEL, Niš, Serbia, October 13-16 (pp. 307-310). Niš, Faculty of electronic engineering (ISBN 979-8-3315-1417-4).

5. CHECK OF THE ORIGINALITY OF THE DOCTORAL DISSERTATION

Based on the Rulebook on the procedure for checking the originality of doctoral dissertations defended at the University of Belgrade (Official Gazette of the University of Belgrade, No. 204 dated June 22, 2018), using the iThenticate program on May 7, 2026, a check of the originality of the doctoral dissertation of the candidate Houda Ali Madani Gamoudi, Master of Technology – Master Engineer in Materials, entitled: "Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements" („Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази цирконијума”) was performed.

The total similarity is 12%. The Committee considers that the determined percentage of similarity is the result of common descriptions of standard methods, definitions and bibliographic references as well as previously published research results of the candidate that originated from his dissertation. No part of the work indicates unauthorized appropriation of other people's results; the similarities refer to the candidate's own previously published texts and standard scientific terminology, with proper citation of sources.

Based on all of the above, the Committee considers that the doctoral dissertation of the candidate Houda Ali Gamoudi Madani is original and that academic citation rules have been fully respected, and therefore the prescribed procedure for preparation for its defense may continue.

6. CONCLUSION AND PROPOSAL

Based on the insight into the content of the doctoral dissertation, attached papers and achieved results, the Committee concludes that the candidate successfully realized the set research objectives and that the dissertation has provided an original scientific contribution in the field of development of hybrid polyetherimide-based composite implants for application in regenerative dentistry. The dissertation is methodologically well founded, the results are verified through publications in international journals, and the proposed approach has both scientific and practical significance. The Committee proposes to the Teaching and Scientific Council of the Faculty of Technology and Metallurgy of the University of Belgrade to accept this Report and that the doctoral dissertation of Houda Ali Gamoudi Madani, Master of Technology – Master Engineer in Materials, entitled: "Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements" („Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази цирконијума") be accepted, made available for public review and submitted for final approval to the Council of Scientific Fields of Technical Sciences of the University of Belgrade.

In
May 22. 2026.

Belgrade,

MEMBERS OF THE COMMITTEE

.....
Dr Petar Uskoković, Full Professor
University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy

.....
Dr Dušica Stojanović, Principal Research Fellow
University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy

.....
Dr Miloš Petrović, Associate Professor
University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy

.....
Dr Aleksandar Kojović, Associate Professor
University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy

.....
Dr Aleksandar Stajčić, Senior Research Associate
University of Belgrade, Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy