

Образац 3.

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУРШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

2026 - 35/98

Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

9. 4. 2026.

(Датум)

ЗАХТЕВ

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

Молимо да, сходно чл. 48 ст. 5 тач. 3) Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“ бр. 201/2018, 207/2019, 213/2020, 214/2020, 217/2020, 230/21, 232/22, 233/22 и 236/22), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази цирконијума (Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements)

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Технолошко инжењерство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Houda (Ali Madani) Gamoudi

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

Универзитет у Београду,

Технолошко-металуршки факултет, Инжењерство материјала, мастер инжењер технологије

3. Година завршетка
претходног нивоа студија: 2021.

4. Година уписа на докторске студије: 2022.

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Инжењерство материјала

6. Датум подношења пријаве
теме докторске дисертације:

5. 3. 2026.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

за кандидата **Houde (Ali Madani) Gamoudi**

Име и презиме ментора: **др Весна Радојевић**

Звање: редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Taboun, A.; Jovanovic, M.; Petrovic, M.; Stajcic, I.; Pesic, I.; Stojanovic, D. B.; **Radojevic, V.** (2024). Citric Acid Cross-Linked Gelatin-Based Composites with Improved Microhardness. *Polymers*, 16 (8), 1077. (IF (2023)=4.7) (ISSN: 2073-4360) (<https://doi.org/10.3390/polym16081077>)
2. Elhmali, H. T.; Stajcic, I.; Stajcic, A.; Pesic, I.; Jovanovic, M.; Petrovic, M.; **Radojevic, V.** Influence of Novel SrTiO₃/MnO₂ Hybrid Nanoparticles on Poly(Methyl Methacrylate) Thermal and Mechanical Behavior. *Polymers* 2024, 16 (2), 278. <https://doi.org/10.3390/polym16020278>
3. G.A. Lazouzi, M.M. Vuksanović, N. Tomić, M. Petrović, P. Spasojević, **V.Radojević**, R. Jančić Heinemann, Dimethyl itaconate modified PMMA – alumina fillers composites with improved mechanical properties, *Polymer Composites*, Vol. 40 (2019) 1691-1701. <https://doi.org/10.1002/pc.24952>
4. Elmadani A., Radović I., N. Z. Tomić, M. Petrović, D. B. Stojanović, R. Jančić Heinemann, **V. Radojević**, Hybrid denture acrylic composites with nanozirconia and electrospun polystyrene fibers. *PLoS ONE* (2019) 14(12): e0226528. IF(2018)= 2.776, ISSN 1932-6203 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226528>
5. Elhmali, H. T.; Stajcic, I.; Petrovic, M.; Jankovic, B.; Simovic, B.; Stajcic, A.; **Radojevic, V.** Mechanical Performance of Denture Acrylic Resin Modified with Poly(4-styrenesulfonic Acid- CO -maleic Anhydride) Sodium Salt and Strontium Titanate. *Polymer Composites* 2024, pc.28574. <https://doi.org/10.1002/pc.28574>

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

Проф. др Мирјана Кијевчанин

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

за кандидата **Houde (Ali Madani) Gamoudi**

Име и презиме ментора: **др Ивана Стајчић**

Звање: виши научни сарадник, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Институт од националног значаја за Републику Србију

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **Stajčić I.**, Serpa C., Simović B., Janković Castvan I., Dodevski V., Radojević V., Stajčić A., Fractal Analysis of Doped Strontium Titanate Photocatalyst, Fractal and Fractional, 8, 10, (2024), 560, ISSN: 2504-3110 (IF 2022 5.4, Mathematics, Interdisciplinary Applications) doi: 10.3390/fractalfract8100560
2. Perišić S., Alzaroug A. K. A., Kalevski K., Vuksanović M. M., Volkov Husović T., **Radović I.**, Radojević V., Denture composite reinforced with short polyethylene terephthalate fibers, Polymer Composites, 43, 1, (2022), 543–550, ISSN: 0272-8397, 1548-0569 (IF 2022 5.2, Materials Science, Composites 7/28) doi: 10.1002/pc.26397
3. Elhmali H.T., **Stajčić I.**, Petrović M., Janković B., Simović B., Stajčić, A., Radojević V. (2024). Mechanical performance of denture acrylic resin modified with poly(4 styrenesulfonic acid co maleic anhydride) sodium salt and strontium titanate. Polymer Composites, 45(12), 11404–11415, ISSN: 0272-8397; 1548-0569, (IF 2023 =4.8) <https://doi.org/10.1002/pc.28574>
4. Lazarević Z. Ž., Milutinović A., Ćurčić M., Rabasović M. S., **Stajčić I.**, Ćosić B., Ralević U., Paunović N., Hadžić B., Simović B., Sekulić D., Paunović V., Influence of Er³⁺ concentration and sintering temperature on structural and spectroscopic properties of BaTiO₃:Er³⁺, Optical Materials, 159, (2025), 116581, ISSN: 0925-3467, 1873-1252 (IF 2023 3.8) doi: 10.1016/j.optmat.2024.116581
5. Jovanović M., **Stajčić I.**, Petrović M., Stojanović D., Radulović N., Ibrić S., Uskoković P. Synergistic Effects of Genipin and Alendronate in 3D-Bioprinted Gelatin-Polyvinylpyrrolidone Scaffolds. J Polym Environ, 33, (2025), 5315–5331, ISSN 1064-7546 (IF 2024 5.3) <https://doi.org/10.1007/s10924-025-03703-4>

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

Проф. др Мирјана Кијевчанин

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној 9. 4. 2026. године размотрило предложену тему и закључило да је
тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од
значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

- 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. 33. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 9. 4. 2026. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације и одређивању ментора

Прихвата се Извештај Комисије о научној заснованости теме за израду докторске дисертације кандидата **Houda (Ali Madani) Gamoudi**, број индекса 2022/4031, под називом:

„Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази цирконијума (Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements)”.

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

За менторе се одређују др Весна Радојевић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Ивана Стајчић, виши научни сарадник, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Институт од националног значаја за Републику Србију.

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

Д Е К А Н К А

Проф. др Мирјана Кијевчанин

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о оцени научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Houde Ali Madani Gamoudi мастер инжењера технологије – мастер инжењер за материјале, за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду бр. 2026-35/80 од 5. марта 2026. године, именовани смо за чланове Комисије за оцenu научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Houde Ali Madani Gamoudi, мастер инжењера технологије – мастер инжењер за материјале, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме: „Синтеза и карактеризација денталних композитних имплантата са ојачањима на бази цирконијума” (“Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements”).

На основу материјала приложеног уз пријаву теме кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Кандидат Houde Ali Madani Gamoudi рођена је 12. фебруара 1982. године у Триполију, Либија. Основне академске студије је завршила 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.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат Houde Ali Madani Gamoudi је на Катедри за конструкционе и специјалне материјале на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду уписала докторске студије 2022. године и положила све испите по предвиђеном наставном плану и програму са следећим резултатима:

Предмет	Оцена	ЕСПБ
1. Одабрана поглавља нумеричке анализе	10	6
2. Хемија функционалних оксида	10	6
3. Термодинамика чврстог стања	10	6
4. Наука о материјалима и инжењерство материјала	10	6
5. Физичко-механичка испитивања материјала – виши курс	10	5
6. Структура и својства композитних материјала	10	5
7. Метал, угљенични и керамички композити	10	5
8. Функционални композитни материјали-виши курс	10	6
9. Биокompозитни материјали	10	5
12. Завршни испит	10	30
Просечна оцена/укупно бодова	10	80

Завршни испит „Синтеза и физичко-механичка својства полимерних композита за примену у денталним имплантима” (“Synthesis and physic-chemical properties polymer composites for dental implants application”), одбранила је 9. јуна 2023. године.
До сада је објавила радове проистекле из тезе:

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 BaZrO₃-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).

1.3. Оцена оспособљености кандидата за рад на предложеној теми

Кандидаткиња Houda Ali Madani Gamoudi показала је током рада на докторској дисертацији да је оспособљена за научноистраживачки рад као и висок степен самосталности. Положила је све испите на докторским студијама као и завршни рад везан за тему дисертације. Поред самосталног планирања, креирања и реализације истраживања везаних за тему докторске дисертације, показала је и аналитичност и педантност при обради и дискусији резултата. Из саме предложене теме докторске дисертације, до сада је објавила један рад у водећем међународном часопису категорије M21, један рад у водећем међународном часопису категорије M22, једно саопштење на међународној конференцији категорије M33. На основу приказаних активности и резултата комисија сматра да кандидат испуњава услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Развој савремених стоматолошких материјала представља један од најзначајнијих изазова у области биомедицинског инжењерства и науке о материјалима. Стоматолошки ресторативни системи морају да испуне велики број строгих захтева, укључујући високу механичку отпорност, биокомпатибилност, стабилност у хемијски агресивном окружењу усне дупље и дуготрајност у условима цикличних механичких оптерећења. У клиничкој пракси материјали су изложени сложеним условима који укључују комбинацију механичког напрезања, температурних варијација, влаге и хемијских агенаса. Управо због тога, развој материјала који могу да одговоре на ове захтеве представља приоритет савремених истраживања у области стоматологије и инжењерства материјала. Иако је последњих деценија остварен значајан напредак у развоју полимерних и композитних стоматолошких материјала, многи од њих и даље показују одређена ограничења. Полимерни системи који се користе у стоматологији често имају ограничену отпорност на хабање, недовољну површинску тврдоћу и релативно ниску отпорност на ширење прслина. Ова својства могу довести до постепеног оштећења материјала, што на крају резултира губитком функционалности и потребом за заменом ресторативних елемената. Због тога је један од главних циљева савремених истраживања у овој области развој материјала са побољшаним механичким и термичким својствима, који би могли да обезбеде дужи радни век стоматолошких ресторативних система. Један од најефикаснијих приступа за побољшање својстава полимерних материјала јесте увођење неорганских пунила у полимерну матрицу. Керамичке честице, метални оксиди и различите наноструктуре могу значајно унапредити механичка и термичка својства композита. Побољшање својстава ових система заснива се на неколико механизма, као што су пренос напрезања са полимерне матрице на крута ојачања,

скретање и заустављање ширења прслина, као и ограничење покретљивости полимерних ланаца у близини међугранице између полимера и неорганске фазе. Увођење ојачања такође може довести до побољшања термичке стабилности, тврдоће и отпорности на деформацију композитног материјала. Посебну пажњу последњих година привлаче наноструктурна ојачања. Захваљујући великом односу површине и запремине, наночестице омогућавају интензивнију интеракцију са полимерном матрицом. Ова појава доводи до израженијег побољшања својстава композита чак и при релативно малим концентрацијама пунила. Управо због тога наноматеријали представљају једну од најперспективнијих група ојачавајућих фаза у савременим полимерним композитима. Захваљујући великом аспектном односу и способности формирања просторних мрежа унутар полимерне матрице, нановлакна омогућавају ефикаснији пренос напрезања и побољшање механичке стабилности композита. Њихова геометрија омогућава формирање ојачавајућих структура које могу значајно утицати на механичка својства материјала. Једна од централних хипотеза ове докторске дисертације јесте да се калцификацијом електропредених композитних влакана могу добити керамичка наноојачања која ће довести до значајног побољшања механичких и термичких својстава полимерне матрице. Електропоређење се издваја као једна од најчешће коришћених метода за синтезу нановлакна, јер омогућава прецизну контролу морфологије, пречника и структуре влакана. Ова метода омогућава добијање влакана са веома малим пречником и високом структурном хомогеношћу, што је од великог значаја за постизање равномерне дистрибуције ојачања у полимерној матрици.

Као полимерна матрица у овом истраживању одабран је полиетаримид (PEI), термопластични полимер који се одликује високом температуром стаклог прелаза, добром механичком чврстоћом и изузетном хемијском стабилношћу. Захваљујући овим својствима, PEI представља перспективан материјал за примену у биомедицинским и стоматолошким системима, посебно када се комбинује са неорганским ојачавајућим фазама. У оквиру ове дисертације биће изведена синтеза цирконијум-диоксида (ZrO_2) у облику нановлакна, путем калцинације електропредених прекурсорских влакана. Цирконијум-диоксид је широко познат керамички материјал који се одликује изузетном механичком чврстоћом, високом тврдоћом и израженом хемијском стабилношћу. У стоматологији се већ деценијама успешно користи у изради имплантата, круница и других ресторативних елемената захваљујући својој биокompatбилности и високој отпорности на хабање. Поред тога, ZrO_2 показује високу жилавост у поређењу са другим керамичким материјалима, што га чини изузетно погодним за примену у материјалима који морају да издрже значајна механичка оптерећења. Очекује се да ће након уградње ових нановлакна у полиетаримидну матрицу чак и релативно мале концентрације ојачања довести до значајног повећања микротврдоће и модула еластичности композита. Ово побољшање може се објаснити формирањем стабилне међуфазе између полимерне матрице и керамичких влакана, која ограничава сегменталну покретљивост полимерних ланаца и повећава отпорност материјала на деформацију.

Поред влакнастих наноструктура, значајан потенцијал за ојачавање полимерних композита имају и керамичке честице са перовскитном структуром. Оксиди као што су $BaZrO_3$, $SrTiO_3$ и Y_2O_3 познати су по својој високој термичкој стабилности, механичкој чврстоћи и биокompatбилности. Управо ова комбинација својстава чини их погодним кандидатима за примену у биомедицинским материјалима и стоматолошким композитима. Посебно је интересантна могућност формирања хибридних система у којима се комбинују различити оксиди, како би се постигли синергијски ефекти и оптимизовала својства композита. У оквиру овог истраживања процесирани су нови хибридни керамички системи на бази $BaZrO_3$ - Y_2O_3 - $SrTiO_3$ (BZYS), који ће бити коришћени као пуниоци у полиетаримидним композитима. За синтезу ових система биће примењена механохемијска активација, која представља релативно једноставну, али веома ефикасну технику за добијање хибридних керамичких оксида. Очекује се да увођење ових керамичких честица у PEI матрицу доведе до значајног повећања микротврдоће композита и температуре стаклог прелаза. Повећање температуре стаклог прелаза често се тумачи као доказ формирања имобилизоване међуфазе око честица пунила, у којој су полимерни ланци ограничени у свом кретању услед физичких и хемијских интеракција са површином наночестица. Ова појава доводи до повећања механичке стабилности материјала и његове отпорности на деформацију. Поред тога, због својих пиезоелектричних својстава додаток ових честица може да подстакне адхезију и пролиферацију ћелија. Ове честице генеришу електрицитет из кретања и притиска, као што је жвакање. На тај начин постају основа за дизајн паметних денталних имплантата са уграђеним извором напајања, па чак и спроводе светлосну терапију како би залечили и заштитили околно ткиво десни.

Предмет овог истраживања обухвата синтезу, модификацију и карактеризацију нових полимер-керамичких композита заснованих на РЕИ матрици и керамичким нано- и микроојачањима. Истраживање укључује развој и оптимизацију метода синтезе пунила, њихову интеграцију у полимерну матрицу, као и свеобухватну анализу структуре, морфологије, термичких и механичких својстава добијених композита.

Коначни циљ овог рада јесте развој нових композитних материјала са побољшаним механичким и термичким својствима, који би могли да нађу примену у стоматолошким и биомедицинским системима. Посебна пажња биће посвећена разумевању механизма ојачавања у полимерним нанокомпозитима и успостављању корелације између микроструктуре материјала и њихових макроскопских механичких својстава. Очекивани резултати истраживања могу допринети развоју нове генерације стоматолошких композитних материјала са побољшаним својствима и дужим радним веком. Приложен је преглед релевантне литературе:

1. Cui, B.; Zhang, R.; Sun, F.; Ding, Q.; Lin, Y.; Zhang, L.; Nan, C. Mechanical and Biocompatible Properties of Polymer-Infiltrated-Ceramic-Network Materials for Dental Restoration. *J Adv Ceram* 2020, 9, 123–128, doi:10.1007/s40145-019-0341-5.
2. Simões, S. High-Performance Advanced Composites in Multifunctional Material Design: State of the Art, Challenges, and Future Directions. *Materials* 2024, 17, 5997, doi:10.3390/ma17235997.
3. Chelu, M.; Musuc, A.M. Advanced Biomedical Applications of Multifunctional Natural and Synthetic Biomaterials. *Processes* 2023, 11, 2696, doi:10.3390/pr11092696.
4. Aminoroaya, A.; Neisiany, R.E.; Khorasani, S.N.; Panahi, P.; Das, O.; Madry, H.; Cucchiari, M.; Ramakrishna, S. A Review of Dental Composites: Challenges, Chemistry Aspects, Filler Influences, and Future Insights. *Composites Part B: Engineering* 2021, 216, 108852, doi:10.1016/j.compositesb.2021.108852.
5. Elfakhri, F.; Alkahtani, R.; Li, C.; Khaliq, J. Influence of Filler Characteristics on the Performance of Dental Composites: A Comprehensive Review. *Ceramics International* 2022, 48, 27280–27294, doi:10.1016/j.ceramint.2022.06.314.
6. Chen, Y.; Sun, C.; Cao, J.; Wu, Y.; Cui, B.; Ma, J.; Wang, H. Mechanical Properties and In Vitro Biocompatibility of Hybrid Polymer-HA/BAG Ceramic Dental Materials. *Polymers* 2022, 14, 3774, doi:10.3390/polym14183774.
7. Chen, H.; Wei, S.; Wang, R.; Zhu, M. Improving the Physical–Mechanical Property of Dental Composites by Grafting Methacrylate-Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane onto a Filler Surface. *ACS Biomater. Sci. Eng.* 2021, 7, 1428–1437, doi:10.1021/acsbiomaterials.1c00152.
8. Qi, K.; Hada, T.; Ren, X.; Iwaki, M.; Minakuchi, S.; Kanazawa, M. Effects of Different 3Y-TZP Nanoparticle Concentrations on Reinforcing Mechanical Properties of 3D-printed Resin Using Stereolithography Technology. *Journal of Prosthodontics* 2024, jopr.13995, doi:10.1111/jopr.13995.
9. Wang, Y.; Xiao, S.; Lv, S.; Wang, X.; Wei, R.; Ma, Y. Mechanical and Antimicrobial Properties of Boron Nitride/Methacrylic Acid Quaternary Ammonium Composites Reinforced Dental Flowable Resins. *ACS Biomater. Sci. Eng.* 2024, 10, 1796–1807, doi:10.1021/acsbiomaterials.3c01786.
10. Khalil, B.I.; Gharkan, M.R.; Ali, A.H. Study of the Effects of Adding Yttrium Oxide Particles in Some Physical, Thermal, and Mechanical Properties of Heat-Curing Acrylic Resin.; Beirut, Lebanon, 2018; p. 030034.
11. Ahmed, A.R.; Irhayyim, S.S.; Hammood, H.S. Effect of Yttrium Oxide Particles on the Mechanical Properties of Polymer Matrix Composite. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2018, 454, 012036, doi:10.1088/1757-899X/454/1/012036.

12. Augustine, R.; Dalvi, Y.B.; Yadu Nath, V.K.; Varghese, R.; Raghuveeran, V.; Hasan, A.; Thomas, S.; Sandhyarani, N. Yttrium Oxide Nanoparticle Loaded Scaffolds with Enhanced Cell Adhesion and Vascularization for Tissue Engineering Applications. *Materials Science and Engineering: C* 2019, *103*, 109801, doi:10.1016/j.msec.2019.109801.
13. Rajendiran, A.; Uthirapathy, V. Thermal Barrier Coatings of YSZ Developed by Plasma Sprayed Technique and Its Effective Use in Orthopedic and Dental Application. *J Mater Sci: Mater Med* 2025, *36*, 110, doi:10.1007/s10856-025-06927-x.
14. Si, Y.; Liu, H.; Yu, H.; Jiang, X.; Sun, D. A Heterogeneous TiO₂/SrTiO₃ Coating on Titanium Alloy with Excellent Photocatalytic Antibacterial, Osteogenesis and Tribocorrosion Properties. *Surface and Coatings Technology* 2022, *431*, 128008, doi:10.1016/j.surfcoat.2021.128008.
15. Elhmali, H.T.; Stajcic, I.; Petrovic, M.; Jankovic, B.; Simovic, B.; Stajcic, A.; Radojevic, V. Mechanical Performance of Denture Acrylic Resin Modified with Poly(4-styrenesulfonic Acid- CO -maleic Anhydride) Sodium Salt and Strontium Titanate. *Polymer Composites* 2024, pc.28574, doi:10.1002/pc.28574.
16. Elhmali, H.T.; Radojevic, V.; Stajcic, A.; Petrovic, M.; Stojanovic, D.B.; Vlahovic, B.; Stajcic, I. Denture Base Poly(Methyl Methacrylate) Reinforced with SrTiO₃ / Y₂O₃ : Structural, Morphological and Mechanical Analysis. *Polymer Composites* 2025, *46*, 8831–8840, doi:10.1002/pc.29523.
17. Lin, H.-N.; Chen, M.-S.; Chang, P.-J.; Lee, Y.-C.; Chen, C.-Y.; Chiou, Y.-J.; Lin, C.-K. Synthesis and Characterization of Sol–Gelled Barium Zirconate as Novel MTA Radiopacifiers. *Materials* 2024, *17*, 3015, doi:10.3390/ma17123015.
18. Azad, A.-M.; Subramaniam, S.; Dung, T.W. On the Development of High Density Barium Metazirconate (BaZrO₃) Ceramics. *Journal of Alloys and Compounds* 2002, *334*, 118–130, doi:10.1016/S0925-8388(01)01785-6.
19. Fransson, E.; Rosander, P.; Erhart, P.; Wahnström, G. Understanding Correlations in BaZrO₃ : Structure and Dynamics on the Nanoscale. *Chem. Mater.* 2024, *36*, 514–523, doi:10.1021/acs.chemmater.3c02548.
20. Yilmaz, E.E.; Koşma, E.B.; Figen, H.E.; Elibol, M.K. Physicochemical Characterization of Calcium-Doped Barium Zirconate Perovskites for Hydrogen-Induced Systems and Their Life Cycle Assessment. *International Journal of Hydrogen Energy* 2025, *143*, 1267–1278, doi:10.1016/j.ijhydene.2025.01.313.
21. Nayak, A.K.; Sasmal, A. Recent Advance on Fundamental Properties and Synthesis of Barium Zirconate for Proton Conducting Ceramic Fuel Cell. *Journal of Cleaner Production* 2023, *386*, 135827, doi:10.1016/j.jclepro.2022.135827.
22. Knight, K.S. Low-Temperature Thermophysical and Crystallographic Properties of BaZrO₃ Perovskite. *J Mater Sci* 2020, *55*, 6417–6428, doi:10.1007/s10853-020-04453-5.
23. Savchyn, V.P.; Popov, A.I.; Aksimentyeva, O.I.; Klym, H.; Horbenko, Yu.Yu.; Serga, V.; Moskina, A.; Karbovnyk, I. Cathodoluminescence Characterization of Polystyrene-BaZrO₃ Hybrid Composites. *Low Temperature Physics* 2016, *42*, 597–600, doi:10.1063/1.4959020.
24. Enhessari, M.; Shaterian, M.; Ozaee, K.; Karamali, E. Synthesis and Thermal Properties of Polyimide/BaZrO₃ Novel Nanocomposites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 2012, *51*, 345–349, doi:10.1080/03602559.2011.625380.
25. Li, Y.; Qiao, Z.; Li, S.; Liu, F.; Tan, J. High-Strength and Low-Thermal Conductivity La-Doped BaZrO₃-Based Composite Ceramic and Its Thermodynamic Stability Evaluation. *Ceram Inter.* 2024, *50*, 18750–18757, doi:10.1016/j.ceramint.2024.02.363.

26. Kumar, S.; Rath, T.; Mahaling, R.N.; Reddy, C.S.; Das, C.K.; Pandey, K.N.; Srivastava, R.B.; Yadaw, S.B. Study on Mechanical, Morphological and Electrical Properties of Carbon Nanofiber/Polyetherimide Composites. *Materials Science and Engineering: B* 2007, 141, 61–70, doi:10.1016/j.mseb.2007.06.002.
27. Albergaria LS, Scotti CK, Mondelli RFL, Vega HA, Faggion CM, Bombonatti JFS, Velo MMDAC. Effect of nanofibers as reinforcement on resin-based dental materials: A systematic review of in vitro studies. *Japanese Dental Science Review* 2023;59:239–52. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2023.07.002>.
28. Amiri P, Talebi Z, Semnani D, Bagheri R, Fashandi H. Improved performance of Bis-GMA dental composites reinforced with surface-modified PAN nanofibers. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* 2021;32:82. <https://doi.org/10.1007/s10856-021-06557-z>.
29. Shekarian R, Semnani D, Nouri Khorasani S, Atai M. Reinforcement of Dental Composites With Novel Core-Shell Nanofibers Containing Matrix Resin Through Interface Modification. *Polymers for Advanced Technologies* 2025;36:e70122. <https://doi.org/10.1002/pat.70122>.
30. Liu Y, Wang C, editors. *Advanced Nanofibrous Materials Manufacture Technology Based on Electrospinning*. 1st ed. Boca Raton, FL : Taylor & Francis Group, LLC, CRC Press Is an Imprint of Taylor & Francis Group, an Informa Business, [2018]: CRC Press; 2019. <https://doi.org/10.1201/9780429085765>.
31. Poon KK, Matthias C. Wurm, Evans DM, Einarsrud M-A, Lutz R, Glaum J. Biocompatibility of (Ba,Ca)(Zr,Ti)O₃ piezoelectric ceramics for bone replacement materials. *J Biomed Mater Res*. 2020; 108B: 1295–1303. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.34477>

3. Полазне хипотезе

- Уградња керамичких нано- и микро-ојачања у полимерну матрицу довешће до значајног побољшања механичких својстава композитних материјала, пре свега микротврдоће и модула еластичности.
- Керамичка ZrO₂ нановлакна добијена електропредењем и калцинисањем омогућиће ефикасно ојачавање полимерне матрице.
- Хибридни оксидни системи који комбинују више различитих керамичких компоненти (нпр. BaZrO₃, SrTiO₃ и Y₂O₃) испољиће синергијске ефекте у полимерној матрици, што ће довести до стабилније микроструктуре композита, боље дисперзије пунила и израженијег побољшања механичких, термичких и диелектричних својстава.
- Морфологија и расподела керамичких ојачања унутар полимерне матрице представљају важан фактор који одређује механичко понашање композита, при чему ће равномерна дисперзија честица и нановлакна омогућити ефикаснији пренос напрезања и оптималне механичке перформансе материјала.

4. Научне методе истраживања

Истраживање у оквиру предложене докторске дисертације обухвата синтезу и карактеризацију керамичких ојачања, припрему композита са полимерном матрицом и испитивање њихових структурних, морфолошких, термичких и механичких својстава. Експериментални рад биће реализован применом савремених метода синтезе материјала и аналитичких техника карактеризације. Керамичка нановлакна цирконијум-диоксида (ZrO₂) биће синтетисана методом електропредења у првом кораку, полазећи од раствора прекурсора који садржи полимерну компоненту и одговарајућу цирконијумову со. Након процеса електропредења, добијена композитна влакна биће подвргнута контролисаној термичкој обради, током које долази до уклањања органске компоненте и формирања керамичке фазе. На овај начин добијају се керамичка нановлакна са развијеном површином, погодна за ојачавање полимерних матрица. Поред влакнастих наноструктура, биће синтетисани и хибридни оксидни прахови на бази система BaZrO₃-Y₂O₃-SrTiO₃, применом механохемијске активације, односно млевења у планетарном млину. Овај поступак омогућава интензивну механичку активацију прахова, смањење величине честица и могућу делимичну супституцију катјона у кристалној решетки, што може утицати на структуру и функционална својства материјала. Припрема композита

обухватиће дисперговање керамичких честица или нановлакана у раствору PEI, након чега ће уследити формирање композитних филмова методом изливања са контролисаним сушењем. Морфологија и микроструктура синтетисаних нановлакана и наночестица, као и површина композитних материјала биће испитиване применом скенирајуће електронске микроскопије са емисијом поља (FESEM) и оптичке микроскопије, уз анализу величине и расподеле честица и агрегата. Кристална структура материјала биће одређена методом рентгенске дифракције (XRD), која омогућава идентификацију фаза и одређивање параметара кристалне решетке. Хемијска структура и присуство карактеристичних функционалних група биће анализирани применом инфрацрвене спектроскопије са Фуријеовом трансформацијом (FTIR). Термичка својства композитних материјала биће испитивана применом диференцијалне скенирајуће калориметрије (DSC), при чему ће се одредити температура стакластог прелаза и анализирати утицај керамичких ојачања на термичку стабилност полимерне матрице. Такође је предвиђено и одређивање диелектричних својства како синтетисаних честица тако и композита. Механичка својства материјала биће испитана методом микро- и наноиндентације, које омогућавају одређивање микротврдоће и редукованог модула еластичности композита. Добијени експериментални резултати биће статистички анализирани применом одговарајућих метода, као што су анализа варијансе (ANOVA) и пост-хок тестови, како би се проценио утицај концентрације и морфологије ојачања на механичка и термичка својства композитних материјала.

5. Очекивани научни допринос

- Развој нових композитних система заснованих на полимерној матрици и керамичким ојачањима у виду нових нановлакана и наночестица, који показују побољшана механичка и термичка својства у поређењу са конвенционалним стоматолошким материјалима.
- Синтеза и карактеризација керамичких ZrO_2 нановлакана добијених електропредењем, као нове ојачавајуће фазе за полимерне композите, и испитивање њиховог утицаја на структуру и механичка својства композитних материјала.
- Испитивање потенцијала новог хибридног оксидног система на бази $BaZrO_3$ - Y_2O_3 - $SrTiO_3$ као ојачавајуће фазе у PEI матрици, укључујући анализу утицаја њихове микроструктуре, величине честица и расподеле у полимерној матрици на механичка, термичка и диелектрична својства композита.
- Успостављање корелације између микроструктуре, морфологије и расподеле керамичких нановлакана и наночестица унутар полимерне матрице и макроскопских механичких својстава композитних материјала, што ће омогућити боље разумевање механизма ојачавања у полимерним нанокомпозитима.
- Дефинисање оптималних услова припреме и састава композита који обезбеђују најбоља механичка, термичка и диелектрична својства материјала, што може представљати основу за развој нове генерације стоматолошких композитних материјала са побољшаном дуготрајношћу и отпорношћу на механичка оптерећења као и паметних имплантата.

6. План истраживања и структура рада

Истраживања у оквиру предложене докторске дисертације биће реализована кроз више међусобно повезаних фаза које обухватају синтезу керамичких ојачања у виду нановлакана и наночестица на бази цирконијума, припрему полимерних композита и свеобухватну анализу њихових структурних, термичких и механичких својстава. Докторска дисертација ће бити писана на енглеском језику. Предвиђа се да ће у докторској дисертацији бити обрађена следећа поглавља: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак, Литература. Уводни део обухвата приказ значаја и актуелности истраживања нових керамичких ојачања на бази цирконијума за денталне импланте, као и приказ недостатака актуелних денталних композита са полимерном матрицом. Јасно ће бити дефинисани циљеви, хипотезе и значај истраживања. Теоријски део обухвата систематичан приказ досадашњих истраживања у области денталних композита, керамичких ојачања, хибридних нанојачања и њихових ефеката на структуру и својства материјала, као и о предностима електропредења. Експериментални део ће подразумевати опис употребљених материјала, метода синтезе керамичких нанојачања на бази цирконијума (укључујући електропредење ZrO_2 нановлакана и механохемијску припрему хибридних оксидних прахова на бази $BaZrO_3$), као и

поступака припреме композитних материјала и метода њихове карактеризације. У поглављу Резултати и дискусија биће дати приказ и анализа добијених експерименталних резултата, укључујући структурну, морфолошку, термичку и механичку карактеризацију композитних материјала и разматрање утицаја керамичких нановлакана и наночестица на њихова својства. У Закључку ће бити представљено сумирање најважнијих резултата истраживања и истицање научног доприноса докторске дисертације, као и смернице за даља истраживања у области полимерних композита за примену у имплантима, која обухватају биокompatibilност и биоактивност. У поглављу Литература теоријска разматрања и експериментална истраживања биће испраћена литературним наводима и радовима проистеклим из резултата из ове дисертације. Овако конципирана структура омогућиће систематичан приказ резултата истраживања и јасно дефинисање научног доприноса предложене докторске дисертације.

7. Закључак и предлог

На основу изложеног Комисија сматра да кандидат Houda Ali Madani Gamoudi испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације. Комисија сматра да је тема предложене 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”) научно заснована и да представља значајан научни допринос научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Инжењерство материјала за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матичан. Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да кандидату Houdi Ali Madani Gamoudi одобри израду докторске дисертације под наведеним насловом. Ради успешне реализације сложених мултидисциплинарних истраживања за менторе ове докторске дисертације се предлажу др Весна Радојевић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Ивана Стајчић, виши научни сарадник Института за нуклеарне науке „Винча” Универзитета у Београду.

Београд, 1. април 2026. година

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Весна Радојевић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Ивана Стајчић, виши научни сарадник
Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча”

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

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

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

TO THE TEACHING AND SCIENTIFIC COUNCIL

Subject: Report on the evaluation of the scientific merit of the doctoral dissertation topic of the candidate Houde Ali Madani Gamoudi, Master of Engineering in Technology – Master Engineer in Materials, for the preparation of a doctoral dissertation

By decision of the Teaching and Scientific Council of the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, No. 2026-35/80 dated March 5, 2026, we were appointed as members of the Committee for the evaluation of the scientific merit of the doctoral dissertation topic of the candidate Houde Ali Madani Gamoudi, Master of Engineering in Technology – Master Engineer in Materials, for the preparation of a 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”).

Based on the materials submitted with the candidate’s application, the Committee hereby submits the following:

R E P O R T

1. Candidate Information

1.1. Biographical data

The candidate, Houde Ali Madani Gamoudi, was born on February 12, 1982, in Tripoli, Libya. She completed her undergraduate academic studies in 2006 at the University of Tripoli, Libya, Department of Dentistry. She completed her Master’s academic studies in 2021 at the University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy, study program Materials Engineering. She enrolled in doctoral academic studies in 2022 at the University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy, study program Materials Engineering. Since 2007, she has been employed at the General Hospital in Tripoli, Libya.

1.2. Acquired scientific research experience

The candidate, Houde Ali Madani Gamoudi, enrolled in doctoral studies in 2022 at the Department of Construction and Special Materials at the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, and has passed all exams according to the prescribed curriculum with the following results:

Course	Grade	ECTS
1. Selected Chapters in Numerical Analysis	10	6
2. Chemistry of Functional Oxides	10	6
3. Solid State Thermodynamics	10	6
4. Materials Science and Materials Engineering	10	6
5. Physical-Mechanical Testing of Materials – Advanced Course	10	5
6. Structure and Properties of Composite Materials	10	5
7. Metal, Carbon, and Ceramic Composites	10	5
8. Functional Composite Materials – Advanced Course	10	6
9. Biocomposite Materials	10	5
10. Final Exam	10	30
Average grade / total credits:	10	80

The final exam entitled “Synthesis and physic-chemical properties of polymer composites for dental implants application” was defended on June 9, 2023.

She has published the following articles arising from her thesis:

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).

1.3. Assessment of the candidate’s ability to work on the proposed topic

The candidate, Houda Ali Madani Gamoudi, demonstrated during her doctoral studies that she is well qualified for scientific research work and possesses a high degree of independence. She has passed all doctoral exams as well as the final project related to the dissertation topic. In addition to independently planning, designing, and conducting research related to the doctoral dissertation topic, she has shown strong analytical skills and thoroughness in processing and discussing the results. From the proposed dissertation topic, she has so far published one paper in a leading international journal of category M21, one paper in a leading international journal of category M22, and one presentation at an international conference of category M33. Based on the presented activities and results, the committee considers that the candidate meets the requirements to work on the proposed doctoral dissertation topic.

2. Subject and objectives of the research

The development of modern dental materials represents one of the most significant challenges in the fields of biomedical engineering and materials science. Dental restorative systems must meet a wide range of strict requirements, including high mechanical strength, biocompatibility, stability in the chemically aggressive environment of the oral cavity, and long-term durability under cyclic mechanical loading.

In clinical practice, materials are exposed to complex conditions that include a combination of mechanical stress, temperature fluctuations, moisture, and chemical agents. For this reason, the development of materials capable of meeting these requirements is a priority in contemporary research in dentistry and materials engineering. Although significant progress has been made in recent decades in the development of polymer and composite dental materials, many of them still exhibit certain limitations. Polymer systems used in dentistry often have limited wear resistance, insufficient surface hardness, and relatively low resistance to crack propagation. These properties may lead to gradual material degradation, ultimately resulting in loss of functionality and the need for replacement of restorative elements. Therefore, one of the main goals of modern research in this field is the development of materials with improved mechanical and thermal properties, which could ensure a longer service life of dental restorative systems. One of the most effective approaches for improving the properties of polymer materials is the incorporation of inorganic fillers into the polymer matrix. Ceramic particles, metal oxides, and various nanostructures can significantly enhance the mechanical and thermal properties of composites. The improvement of these systems is based on several mechanisms, such as stress transfer from the polymer matrix to rigid reinforcements, crack deflection and arrest, and restriction of polymer chain mobility near the interface between the polymer and the inorganic phase. The incorporation of reinforcements can also lead to improved thermal stability, hardness, and deformation resistance of the

composite material. In recent years, particular attention has been devoted to nanostructured reinforcements. Due to their high surface-to-volume ratio, nanoparticles enable more intensive interaction with the polymer matrix. This results in a more pronounced improvement in composite properties even at relatively low filler concentrations. For this reason, nanomaterials represent one of the most promising groups of reinforcing phases in modern polymer composites. Due to their high aspect ratio and ability to form spatial networks within the polymer matrix, nanofibers enable more efficient stress transfer and improved mechanical stability of composites. Their geometry allows the formation of reinforcing structures that can significantly influence the mechanical properties of materials. One of the central hypotheses of this doctoral dissertation is that calcination of electrospun composite fibers can produce ceramic nanoreinforcements that will lead to significant improvements in the mechanical and thermal properties of the polymer matrix. Electrospinning stands out as one of the most widely used methods for nanofiber synthesis because it allows precise control over fiber morphology, diameter, and structure. This method enables the production of fibers with very small diameters and high structural homogeneity, which is crucial for achieving uniform dispersion of reinforcement within the polymer matrix.

As the polymer matrix in this study, polyetherimide (PEI) was selected—a thermoplastic polymer characterized by a high glass transition temperature, good mechanical strength, and excellent chemical stability. Due to these properties, PEI is a promising material for biomedical and dental applications, especially when combined with inorganic reinforcing phases. Within this dissertation, zirconium dioxide (ZrO_2) will be synthesized in the form of nanofibers through calcination of electrospun precursor fibers. Zirconium dioxide is a well-known ceramic material characterized by exceptional mechanical strength, high hardness, and excellent chemical stability. In dentistry, it has been successfully used for decades in the fabrication of implants, crowns, and other restorative elements due to its biocompatibility and high wear resistance. Additionally, ZrO_2 exhibits high toughness compared to other ceramic materials, making it particularly suitable for applications involving significant mechanical loading. It is expected that, after incorporation of these nanofibers into the polyetherimide matrix, even relatively low reinforcement concentrations will result in a significant increase in microhardness and elastic modulus of the composite. This improvement can be explained by the formation of a stable interphase between the polymer matrix and ceramic fibers, which restricts the segmental mobility of polymer chains and increases resistance to deformation.

In addition to fibrous nanostructures, ceramic particles with a perovskite structure also show significant potential for reinforcing polymer composites. Oxides such as BaZrO_3 , SrTiO_3 , and Y_2O_3 are known for their high thermal stability, mechanical strength, and biocompatibility. This combination of properties makes them suitable candidates for biomedical materials and dental composites. Of particular interest is the possibility of forming hybrid systems that combine different oxides to achieve synergistic effects and optimize composite properties. In this research, new hybrid ceramic systems based on BaZrO_3 - Y_2O_3 - SrTiO_3 (BZYS) have been developed and will be used as fillers in polyetherimide composites. For the synthesis of these systems, mechanochemical activation will be applied, which represents a relatively simple but highly effective technique for obtaining hybrid ceramic oxides. It is expected that incorporating these ceramic particles into the PEI matrix will result in a significant increase in composite microhardness and glass transition temperature. The increase in glass transition temperature is often interpreted as evidence of the formation of an immobilized interphase around filler particles, in which polymer chains are restricted in their motion due to physical and chemical interactions with the nanoparticle surface. This phenomenon leads to increased mechanical stability and deformation resistance. Furthermore, due to their piezoelectric properties, the addition of these particles may promote cell adhesion and proliferation. These particles generate electricity from movement and pressure, such as chewing. In this way, they can serve as the basis for designing smart dental implants with an integrated power source, and even enable light-based therapies to heal and protect surrounding gum tissue.

The subject of this research includes the synthesis, modification, and characterization of new polymer–ceramic composites based on a PEI matrix and ceramic nano- and micro-reinforcements. The study involves the development and optimization of filler synthesis methods, their integration into the polymer matrix, and comprehensive analysis of the structure, morphology, and thermal and mechanical properties of the obtained composites.

The final goal of this work is the development of new composite materials with improved mechanical and thermal properties, suitable for applications in dental and biomedical systems. Special attention will be devoted to understanding reinforcement mechanisms in polymer nanocomposites and establishing correlations between microstructure and macroscopic mechanical properties.

The expected results of this research may contribute to the development of a new generation of dental composite materials with improved properties and extended service life.

A review of relevant literature is provided.

1. Cui, B.; Zhang, R.; Sun, F.; Ding, Q.; Lin, Y.; Zhang, L.; Nan, C. Mechanical and Biocompatible Properties of Polymer-Infiltrated-Ceramic-Network Materials for Dental Restoration. *J Adv Ceram* 2020, 9, 123–128, doi:10.1007/s40145-019-0341-5.
2. Simões, S. High-Performance Advanced Composites in Multifunctional Material Design: State of the Art, Challenges, and Future Directions. *Materials* 2024, 17, 5997, doi:10.3390/ma17235997.
3. Chelu, M.; Musuc, A.M. Advanced Biomedical Applications of Multifunctional Natural and Synthetic Biomaterials. *Processes* 2023, 11, 2696, doi:10.3390/pr11092696.
4. Aminoroaya, A.; Neisiany, R.E.; Khorasani, S.N.; Panahi, P.; Das, O.; Madry, H.; Cucchiari, M.; Ramakrishna, S. A Review of Dental Composites: Challenges, Chemistry Aspects, Filler Influences, and Future Insights. *Composites Part B: Engineering* 2021, 216, 108852, doi:10.1016/j.compositesb.2021.108852.
5. Elfakhri, F.; Alkahtani, R.; Li, C.; Khaliq, J. Influence of Filler Characteristics on the Performance of Dental Composites: A Comprehensive Review. *Ceramics International* 2022, 48, 27280–27294, doi:10.1016/j.ceramint.2022.06.314.
6. Chen, Y.; Sun, C.; Cao, J.; Wu, Y.; Cui, B.; Ma, J.; Wang, H. Mechanical Properties and In Vitro Biocompatibility of Hybrid Polymer-HA/BAG Ceramic Dental Materials. *Polymers* 2022, 14, 3774, doi:10.3390/polym14183774.
7. Chen, H.; Wei, S.; Wang, R.; Zhu, M. Improving the Physical–Mechanical Property of Dental Composites by Grafting Methacrylate-Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane onto a Filler Surface. *ACS Biomater. Sci. Eng.* 2021, 7, 1428–1437, doi:10.1021/acsbiomaterials.1c00152.
8. Qi, K.; Hada, T.; Ren, X.; Iwaki, M.; Minakuchi, S.; Kanazawa, M. Effects of Different 3Y-TZP Nanoparticle Concentrations on Reinforcing Mechanical Properties of 3D-printed Resin Using Stereolithography Technology. *Journal of Prosthodontics* 2024, jopr.13995, doi:10.1111/jopr.13995.
9. Wang, Y.; Xiao, S.; Lv, S.; Wang, X.; Wei, R.; Ma, Y. Mechanical and Antimicrobial Properties of Boron Nitride/Methacrylic Acid Quaternary Ammonium Composites Reinforced Dental Flowable Resins. *ACS Biomater. Sci. Eng.* 2024, 10, 1796–1807, doi:10.1021/acsbiomaterials.3c01786.
10. Khalil, B.I.; Gharkan, M.R.; Ali, A.H. Study of the Effects of Adding Yttrium Oxide Particles in Some Physical, Thermal, and Mechanical Properties of Heat-Curing Acrylic Resin.; Beirut, Lebanon, 2018; p. 030034.
11. Ahmed, A.R.; Irhayyim, S.S.; Hammood, H.S. Effect of Yttrium Oxide Particles on the Mechanical Properties of Polymer Matrix Composite. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2018, 454, 012036, doi:10.1088/1757-899X/454/1/012036.
12. Augustine, R.; Dalvi, Y.B.; Yadu Nath, V.K.; Varghese, R.; Raghuveeran, V.; Hasan, A.; Thomas, S.; Sandhyarani, N. Yttrium Oxide Nanoparticle Loaded Scaffolds with Enhanced Cell Adhesion and Vascularization for Tissue Engineering Applications. *Materials Science and Engineering: C* 2019, 103, 109801, doi:10.1016/j.msec.2019.109801.
13. Rajendiran, A.; Uthirapathy, V. Thermal Barrier Coatings of YSZ Developed by Plasma Sprayed Technique and Its Effective Use in Orthopedic and Dental Application. *J Mater Sci: Mater Med* 2025, 36, 110, doi:10.1007/s10856-025-06927-x.
14. Si, Y.; Liu, H.; Yu, H.; Jiang, X.; Sun, D. A Heterogeneous TiO₂/SrTiO₃ Coating on Titanium Alloy with Excellent Photocatalytic Antibacterial, Osteogenesis and Tribocorrosion Properties. *Surface and Coatings Technology* 2022, 431, 128008, doi:10.1016/j.surfcoat.2021.128008.

15. Elhmali, H.T.; Stajcic, I.; Petrovic, M.; Jankovic, B.; Simovic, B.; Stajcic, A.; Radojevic, V. Mechanical Performance of Denture Acrylic Resin Modified with Poly(4-styrenesulfonic Acid- *CO* -maleic Anhydride) Sodium Salt and Strontium Titanate. *Polymer Composites* 2024, pc.28574, doi:10.1002/pc.28574.
16. Elhmali, H.T.; Radojevic, V.; Stajcic, A.; Petrovic, M.; Stojanovic, D.B.; Vlahovic, B.; Stajcic, I. Denture Base Poly(Methyl Methacrylate) Reinforced with $\text{SrTiO}_3 / \text{Y}_2\text{O}_3$: Structural, Morphological and Mechanical Analysis. *Polymer Composites* 2025, 46, 8831–8840, doi:10.1002/pc.29523.
17. Lin, H.-N.; Chen, M.-S.; Chang, P.-J.; Lee, Y.-C.; Chen, C.-Y.; Chiou, Y.-J.; Lin, C.-K. Synthesis and Characterization of Sol–Gelled Barium Zirconate as Novel MTA Radiopacifiers. *Materials* 2024, 17, 3015, doi:10.3390/ma17123015.
18. Azad, A.-M.; Subramaniam, S.; Dung, T.W. On the Development of High Density Barium Metazirconate (BaZrO_3) Ceramics. *Journal of Alloys and Compounds* 2002, 334, 118–130, doi:10.1016/S0925-8388(01)01785-6.
19. Fransson, E.; Rosander, P.; Erhart, P.; Wahnström, G. Understanding Correlations in BaZrO_3 : Structure and Dynamics on the Nanoscale. *Chem. Mater.* 2024, 36, 514–523, doi:10.1021/acs.chemmater.3c02548.
20. Yılmaz, E.E.; Koşma, E.B.; Figen, H.E.; Elibol, M.K. Physicochemical Characterization of Calcium-Doped Barium Zirconate Perovskites for Hydrogen-Induced Systems and Their Life Cycle Assessment. *International Journal of Hydrogen Energy* 2025, 143, 1267–1278, doi:10.1016/j.ijhydene.2025.01.313.
21. Nayak, A.K.; Sasmal, A. Recent Advance on Fundamental Properties and Synthesis of Barium Zirconate for Proton Conducting Ceramic Fuel Cell. *Journal of Cleaner Production* 2023, 386, 135827, doi:10.1016/j.jclepro.2022.135827.
22. Knight, K.S. Low-Temperature Thermophysical and Crystallographic Properties of BaZrO_3 Perovskite. *J Mater Sci* 2020, 55, 6417–6428, doi:10.1007/s10853-020-04453-5.
23. Savchyn, V.P.; Popov, A.I.; Aksimentyeva, O.I.; Klym, H.; Horbenko, Yu.Yu.; Serga, V.; Moskina, A.; Karbovnyk, I. Cathodoluminescence Characterization of Polystyrene- BaZrO_3 Hybrid Composites. *Low Temperature Physics* 2016, 42, 597–600, doi:10.1063/1.4959020.
24. Enhessari, M.; Shaterian, M.; Ozaee, K.; Karamali, E. Synthesis and Thermal Properties of Polyimide/ BaZrO_3 Novel Nanocomposites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 2012, 51, 345–349, doi:10.1080/03602559.2011.625380.
25. Li, Y.; Qiao, Z.; Li, S.; Liu, F.; Tan, J. High-Strength and Low-Thermal Conductivity La-Doped BaZrO_3 -Based Composite Ceramic and Its Thermodynamic Stability Evaluation. *Ceram Inter.* 2024, 50, 18750–18757, doi:10.1016/j.ceramint.2024.02.363.
26. Kumar, S.; Rath, T.; Mahaling, R.N.; Reddy, C.S.; Das, C.K.; Pandey, K.N.; Srivastava, R.B.; Yadaw, S.B. Study on Mechanical, Morphological and Electrical Properties of Carbon Nanofiber/Polyetherimide Composites. *Materials Science and Engineering: B* 2007, 141, 61–70, doi:10.1016/j.mseb.2007.06.002.
27. Albergaria LS, Scotti CK, Mondelli RFL, Vega HA, Faggion CM, Bombonatti JFS, Velo MMDAC. Effect of nanofibers as reinforcement on resin-based dental materials: A systematic review of in vitro studies. *Japanese Dental Science Review* 2023;59:239–52. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2023.07.002>.
28. Amiri P, Talebi Z, Semnani D, Bagheri R, Fashandi H. Improved performance of Bis-GMA dental composites reinforced with surface-modified PAN nanofibers. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* 2021;32:82. <https://doi.org/10.1007/s10856-021-06557-z>.

29. Shekarian R, Semnani D, Nouri Khorasani S, Atai M. Reinforcement of Dental Composites With Novel Core-Shell Nanofibers Containing Matrix Resin Through Interface Modification. *Polymers for Advanced Technologies* 2025;36:e70122. <https://doi.org/10.1002/pat.70122>.
30. Liu Y, Wang C, editors. *Advanced Nanofibrous Materials Manufacture Technology Based on Electrospinning*. 1st ed. Boca Raton, FL : Taylor & Francis Group, LLC, CRC Press Is an Imprint of Taylor & Francis Group, an Informa Business, [2018]: CRC Press; 2019. <https://doi.org/10.1201/9780429085765>.
31. Poon KK, Matthias C. Wurm, Evans DM, Einarsrud M-A, Lutz R, Glaum J. Biocompatibility of (Ba,Ca)(Zr,Ti)O₃ piezoelectric ceramics for bone replacement materials. *J Biomed Mater Res*. 2020; 108B: 1295–1303. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.34477>

3. Initial hypotheses

- The incorporation of ceramic nano- and micro-reinforcements into the polymer matrix will lead to a significant improvement in the mechanical properties of composite materials, primarily microhardness and elastic modulus.
- Ceramic ZrO₂ nanofibers obtained by electrospinning and calcination will enable effective reinforcement of the polymer matrix.
- Hybrid oxide systems combining multiple different ceramic components (e.g., BaZrO₃, SrTiO₃, and Y₂O₃) will exhibit synergistic effects within the polymer matrix, resulting in a more stable composite microstructure, improved filler dispersion, and more pronounced enhancement of mechanical, thermal, and dielectric properties.
- The morphology and distribution of ceramic reinforcements within the polymer matrix represent key factors determining the mechanical behavior of composites, where uniform dispersion of particles and nanofibers will enable more efficient stress transfer and optimal mechanical performance of the material.

4. Scientific research methods

The research within the proposed doctoral dissertation includes the synthesis and characterization of ceramic reinforcements, the preparation of composites with a polymer matrix, and the investigation of their structural, morphological, thermal, and mechanical properties. The experimental work will be carried out using modern material synthesis methods and advanced analytical characterization techniques. Ceramic zirconium dioxide (ZrO₂) nanofibers will be synthesized in the first step using the electrospinning method, starting from a precursor solution containing a polymer component and an appropriate zirconium salt. After the electrospinning process, the obtained composite fibers will be subjected to controlled thermal treatment, during which the organic component is removed and the ceramic phase is formed. In this way, ceramic nanofibers with a developed surface area, suitable for reinforcing polymer matrices, are obtained. In addition to fibrous nanostructures, hybrid oxide powders based on the BaZrO₃–Y₂O₃–SrTiO₃ system will also be synthesized using mechanochemical activation, i.e., milling in a planetary mill. This process enables intensive mechanical activation of powders, reduction of particle size, and possible partial substitution of cations in the crystal lattice, which may influence the structure and functional properties of the material. The preparation of composites will include the dispersion of ceramic particles or nanofibers in a PEI solution, followed by the formation of composite films using a casting method with controlled drying. The morphology and microstructure of the synthesized nanofibers and nanoparticles, as well as the surface of the composite materials, will be examined using field-emission scanning electron microscopy (FESEM) and optical microscopy, along with analysis of particle and agglomerate size and distribution. The crystal structure of the materials will be determined by X-ray diffraction (XRD), which enables phase identification and determination of crystal lattice parameters. The chemical structure and the presence of characteristic functional groups will be analyzed using Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). The thermal properties of the composite materials will be investigated using differential scanning calorimetry (DSC), where the glass transition temperature will be determined and the influence of ceramic reinforcements on the thermal stability of the polymer matrix will be analyzed. In addition, the determination of dielectric properties of both the synthesized particles and the composites is planned. The mechanical properties of the materials will be evaluated using micro- and nanoindentation methods, which enable the determination of microhardness and reduced elastic modulus of the composites.

The obtained experimental results will be statistically analyzed using appropriate methods, such as analysis of variance (ANOVA) and post hoc tests, in order to assess the influence of reinforcement concentration and morphology on the mechanical and thermal properties of the composite materials.

5. Expected scientific contribution

- Development of new composite systems based on a polymer matrix and ceramic reinforcements in the form of novel nanofibers and nanoparticles, exhibiting improved mechanical and thermal properties compared to conventional dental materials.
- Synthesis and characterization of ceramic ZrO_2 nanofibers obtained by electrospinning, as a new reinforcing phase for polymer composites, and investigation of their influence on the structure and mechanical properties of composite materials.
- Evaluation of the potential of a new hybrid oxide system based on $\text{BaZrO}_3\text{--Y}_2\text{O}_3\text{--SrTiO}_3$ as a reinforcing phase in a PEI matrix, including analysis of the effects of their microstructure, particle size, and distribution within the polymer matrix on the mechanical, thermal, and dielectric properties of the composites.
- Establishment of correlations between the microstructure, morphology, and distribution of ceramic nanofibers and nanoparticles within the polymer matrix and the macroscopic mechanical properties of composite materials, enabling a better understanding of reinforcement mechanisms in polymer nanocomposites.
- Definition of optimal preparation conditions and composite compositions that ensure the best mechanical, thermal, and dielectric properties of the materials, which may serve as a basis for the development of a new generation of dental composite materials with improved durability and resistance to mechanical loading, as well as smart implants.

6. Research plan and structure of the dissertation

The research within the proposed doctoral dissertation will be carried out through several interconnected phases, including the synthesis of ceramic reinforcements in the form of nanofibers and nanoparticles based on zirconium, the preparation of polymer composites, and comprehensive analysis of their structural, thermal, and mechanical properties. The doctoral dissertation will be written in English.

It is anticipated that the dissertation will include the following chapters: Introduction, Theoretical Part, Experimental Part, Results and Discussion, Conclusion, and References. The Introduction will present the significance and relevance of research on new zirconium-based ceramic reinforcements for dental implants, as well as an overview of the limitations of current polymer-based dental composites. The objectives, hypotheses, and importance of the research will be clearly defined. The Theoretical Part will provide a systematic overview of previous research in the field of dental composites, ceramic reinforcements, hybrid nanoreinforcements, and their effects on the structure and properties of materials, as well as the advantages of electrospinning. The Experimental Part will include a description of the materials used, methods for the synthesis of zirconium-based ceramic nanoreinforcements (including electrospinning of ZrO_2 nanofibers and mechanochemical preparation of hybrid oxide powders based on BaZrO_3), as well as procedures for the preparation of composite materials and methods for their characterization. The Results and Discussion chapter will present and analyze the obtained experimental results, including structural, morphological, thermal, and mechanical characterization of the composite materials, as well as a discussion of the influence of ceramic nanofibers and nanoparticles on their properties. The Conclusion will summarize the most important research findings and highlight the scientific contributions of the doctoral dissertation, as well as provide guidelines for future research in the field of polymer composites for implant applications, including aspects of biocompatibility and bioactivity. The References section will include citations supporting both theoretical considerations and experimental investigations, as well as publications arising from the results of this dissertation. This structure will enable a systematic presentation of the research results and a clear definition of the scientific contribution of the proposed doctoral dissertation.

7. Conclusion and proposal

Based on the above, the Commission believes that the candidate Houda Ali Madani Gamoudi meets all the necessary conditions for work on the proposed topic of the doctoral dissertation. The Commission believes that the topic of the proposed doctoral dissertation entitled “Synthesis and characterization of dental composite implants with zirconium-based reinforcements” is scientifically based and represents a significant scientific contribution to the scientific field of Technological Engineering, the narrow scientific field of Materials Engineering for which the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, is the home. The Commission proposes to the Academic and Scientific Council of the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, to approve the preparation of the doctoral dissertation by the candidate Houda Ali Madani Gamoudi under the stated title. For the successful implementation of complex multidisciplinary research, the following are proposed as mentors for this doctoral dissertation: Dr. Vesna Radojević, full professor at the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, and Dr. Ivana Stajčić, senior research associate at the Institute for Nuclear Sciences "Vinča", University of Belgrade.

Belgrade, April 1, 2026

MEMBERS OF THE COMMITTEE

.....
Dr Vesna Radojević, Full Professor
University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy

.....
Dr Ivana Stajčić, Senior Research Associate
University of Belgrade, Institute of Nuclear Sciences “Vinča”

.....
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