

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Милоша Тошића, мастер инжењера технологије**

Одлуком бр. 35/329 од 26. 12. 2024. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Милоша Тошића мастер инжењера технологије, под насловом

Побољшање фотокаталитичких својстава титан(IV)-оксида дејством зрачења импулсног ласера и процена токсичности производа фотокаталитичке разградње карбофурана

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

- Школске **2017/2018.** године Милош (Слободан) Тошић, је уписао докторске студије, на студијском програму Хемија, на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду.
- **2. 10. 2023.** - Донето је решење (бр. 20/180) о продужењу рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до 30. 9. 2026.
- **14. 3. 2024.** - На седници Наставно-научног већа донета је одлука бр. 35/37 о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата Милоша (Слободана) Тошића, мастер инжењера технологије за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под насловом „**Побољшање фотокаталитичких својстава титан(IV)-оксида дејством зрачења импулсног ласера и процена токсичности производа фотокаталитичке разградње карбофурана**“.
- **11. 4. 2024.** - На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета усвојен је извештај Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације. а за менторе ове докторске дисертације именовани су др Сузана Димитријевић-Бранковић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду и др Милош Момчиловић, научни саветник, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Институт од националног значаја за Републику Србију Универзитета у Београду (одлука бр. 35/73).

- **25. 4. 2024.** - Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је на својој седници дало сагласност (одлука бр. 61206-1482/2-24) за усвајање теме докторске дисертације кандидата Милоша (Слободана) Тошића под насловом **„Побољшање фотокаталитичких својстава титан(IV)-оксида дејством зрачења импулсног ласера и процена токсичности производа фотокаталитичке разградње карбофурана“**, и одређивању др Сузана Димитријевић-Бранковић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду и др Милош Момчиловић, научни саветник, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Институт од националног значаја за Републику Србију Универзитета у Београду
- **26. 12. 2024.** - На седници Наставно-научног већа Технолошког-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је одлука бр. 35/329, о именовану Комисије за оцену докторске дисертације Милоша (Слободана) Тошића, под насловом **„Побољшање фотокаталитичких својстава титан(IV)-оксида дејством зрачења импулсног ласера и процена токсичности производа фотокаталитичке разградње карбофурана“**.

1.2. Научна област дисертације

Научна област дисертације припада области Хемијске науке за коју је Технолошко-металуршки факултет матична установа. Ментори ове докторске дисертације су др Сузана Димитријевић-Бранковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршког факултет, и др Милош Момчиловић, научни саветник, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду, чије су компетенције за вођење докторске дисертације потврђене на основу искуства и објављених публикација из области којој дисертација припада.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Милош С. Тошић рођен је 26. 10. 1985. године у Београду, где је завршио Осму београдску гимназију. На Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду се уписао 2005. године, где је и дипломирао 2014. године са просеком 7,13 и са темом „Управљање квалитетом у физичко-хемијској лабораторији за нафту и нафтне деривате у функцији одрживог развоја предузећа“, на смеру Хемијско инжењерство. Школске 2016/2017. године уписао је мастер академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду на катедри за Хемијско инжењерство, одсек Хемијско процесно инжењерство, које је завршио 2018. године одбранивши мастер рад под називом „Примена технике гасне хроматографије са масеним детектором у циљу одређивања садржаја фенола у земљишту“, са просеком 9,14. Школске 2017/2018. године уписао је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, смер Хемија. Испите на докторским студијама положио је са просечном оценом 10,00.

Од 2015. до 2019. године био је запослен у Лабораторији за физичку хемију - ИНН Винча, где се бавио развојем метода припреме, екстракције и анализе хроматографским техникама, органских загађивача у узорцима грађевинског материјала, земљишта, воде, као и испитивањима везаним за процену емисије органских загађивача у ваздуху затвореног простора. Од 2019. до 2023. године био је запослен Институту за општу и физичку хемију у Београду. Од 2023. године запослен је у Лабораторији за физичку хемију - ИНН Винча, тренутно у звању истраживач сарадник.

Као аутор или коаутор, до сада је учествовао у изради и објављивању: три рада у врхунским међународним часописима категорије M21a, једног рада у категорији M21, једног рада у категорији M22, једног рада у категорији M23, као и два саопштења са међународних скупова штампаних у целини (M33), четири саопштења са међународних скупова штампаних у изводу (M34), три саопштења са скупова националног значаја штампаних у изводу (M64).

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „**Побољшање фотокаталитичких својстава титан(IV)-оксида дејством зрачења импулсног ласера и процена токсичности производа фотокаталитичке разградње карбофурана**“, кандидата Милоша Тошића, мастер инжењера технологије, написана је на 103 стране, у оквиру којих се налази 59 слика, 10 табела, 193 литературних навода. Садржај дисертације има уобичајену структуру: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература. На почетку дисертације дат је Сажетак на српском и енглеском језику. Такође, дисертација садржи садржај, захвалницу, као и биографију кандидата и списак радова проистеклих из докторске дисертације и прилоге прописане правилима Универзитета у Београду о подношењу докторских дисертација на одобравање. По форми и садржају дисертација задовољава прописане стандарде Универзитета у Београду.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У **Уводном делу** је укратко објашњена проблематика која је обрађена у дисертацији. Укратко су приказане главне карактеристике напредних оксидационих процеса и TiO_2 као и његови недостаци, затим приступ који подразумева дејство импулсног ласера којим се исти недостаци TiO_2 могу превазићи. Такође је укратко објашњен утицај пестицида као загађујућих материја на животну средину и људско здравље са посебним освртом на пестицид карбофуран, као и методе односно разлог њихове употребе у испитивању токсичности карбофурана и његових производа који настају током разградње. У уводном делу описан је предмет и циљ истраживања ове докторске дисертације.

Теоријски део докторске дисертације је подељен у седам поглавља. Прво поглавље (2.1) приказује основе напредних оксидационих процеса и фотокатализе. Наведена су својства, структура и примене TiO_2 , његове основе као фотокатализатора, основе у синтези TiO_2 наноцеви/наноструктура, као и методе побољшања његових фотокаталитичких својстава. У другом поглављу (2.2) је објашњен принцип рада ласерских система, са посебним освртом на пикосекундне импулсне ласере и разматрана је интеракција ласерског зрачења са чврстим површинама, а затим је у трећем поглављу (2.3) дат преглед примена ултракратких ласерских импулса у побољшању фотокаталитичких својстава TiO_2 . У четвртом поглављу (2.4) су описане методе карактеризације површине синтетисаних материјала, као и методе праћења ефикасности фотокаталитичке разградње карбофурана у петом поглављу (2.5). Шесто поглавље (2.6) разматра утицај пестицида на животну средину и здравље људи са посебним освртом на карбаматни пестицид карбофуран. На крају овог дела, у седмом поглављу (2.7) описане су методе за испитивање токсичности продуката разградње карбофурана.

Експериментални део је подељен на шест поглавља. У поглављу 3.1 су наведени материјали коришћени за истраживање, док су у поглављу 3.2 детаљно описане методе синтезе TiO_2 фотокатализатора. Поглавље 3.3 садржи опис метода и уређаја коришћених у карактеризацији синтетисаних TiO_2 фотокатализатора, док је испитивање фотокаталитичких својстава и анализа производа фотокаталитичке разградње описано у поглављу 3.4. Методе испитивања цитотоксичности и фитотоксичности производа фотокаталитичке разградње карбофурана описане су у поглављима 3.5 и 3.6.

Резултати и дискусија су подељени у једанаест поглавља у којима су приказани резултати проистекли из ове докторске дисертације. У поглављима 4.1, 4.2 и 4.3 дати су резултати морфологије, као и структурних и оптичких својстава синтетисаних TiO_2 фотокатализатора. Поглавље 4.4 приказује фотокаталитичка својства синтетисаних TiO_2 фотокатализатора у разградњи карбофурана, док се поглавље 4.5 бави анализом производа насталих фотокаталитичком разградњом пестицида карбофурана. Студије испитивања утицаја параметара у фотокаталитичкој разградњи карбофурана, практична примена синтетисаног TiO_2 , његова стабилност, поновна употреба и ефекат различитих хватача на

перформансе синтетисаног TiO₂ фотокатализатора дате су у поглављима од 4.6 до 4.10. У поглављу 4.11 дати су резултати утицаја фотокаталитичког третмана карбофурана на цитотоксичност и фитотоксичност.

У делу **Закључак** су сумирани најважнији резултати и изведени закључци ове докторске дисертације уз осврт на њихов научни допринос и потенцијалну примену.

На крају дисертације је дат списак коришћених референци у делу **Литература**.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Истраживање ове дисертације је усмерена на површинску модификацију мете од титана (Ti мрежица) применом импулсног ласерског зрачења, у циљу добијања фотокатализатора, побољшаних фотокаталитичких својстава, на основи титан(IV)-оксида (TiO₂). Ласерски третирани као и нетретирани узорци су затим подвргнути електрохемијској анодизацији у циљу формирања TiO₂ наноструктура, а самим тим формирањем наноструктура са дефектима, односно ваканцијама кисеоника/Ti³⁺ и мешавином анатас/рутил фаза код ласерски третираних узорка. Ласерски третирани TiO₂ фотокатализатори показали су побољшана фотокаталитичка својстава у односу на нетретирани TiO₂ фотокатализатор, у фотокаталитичкој разградњи пестицида карбофурана.

Добијени резултати током израде ове дисертације су веома значајни, како у погледу примене пикосекундног импулсног ласера у обради површине мете од титана, тако и за развој фотокатализатора на основи TiO₂. Ова дисертација је такође потврдила, да се успешност фотокаталитичког процеса не може ослањати само на праћење разградње циљаног једињења, већ се мора обратити пажња и на производе који настају његовом разградњом. С тога, као потврда успешности предлаже употребу метода за одређивање токсичности на крају фотокаталитичког процеса, односно тест цитотоксичности и фитотоксичности.

Истраживање је оригинално по томе, што је прва таква студија која је истражила примену пикосекундног импулсног ласерског зрачења и електрохемијске анодизације у синтези и модификацији TiO₂ наноструктура на чврстом носачу од титана (мрежица) у разградњи карбаматног пестицида карбофурана, који се и поред забране, и даље спорадично појављује у употреби.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Кандидат је током израде докторске дисертације извршио преглед стручне и научне литературе из релевантних научних области везаних за проблематику докторске дисертације. У оквиру докторске дисертације цитиране су укупно 192 референце, које указују на актуелност истраживања у испитиваној области. У списку референци налазе се и радови проистекли из докторске дисертације. Већи део прегледане научне литературе састојала се од научних радова публикованих у водећим међународним часописима из области и проблематике предметне докторске тезе, из чега се може закључити да кандидат познаје предметну област истраживања и проблематику као и актуелност истраживања.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Мрежице од Ti су претходно третиране пикосекундним импулсним ласерским зрачењем, коришћењем Nd:YAG ласера (1064 nm) чија је излазна енергија била 15 J/cm² и 30 J/cm². Нетретирани и ласерски третирани узорци су затим подвргнути електрохемијској анодизацији да би се формирале TiO₂ наноструктуре. Ова дисертација је истраживала могућност формирања TiO₂ наноструктура на претходно ласерски третираном носачу од Ti, а затим одређивала њихова физичкохемијска и фотокаталитичка својства. Узорци су окарактерисани следећим техникама: скенирајућа електронска микроскопија са емисијом поља (FESEM), рендгенска дифракција праха (XRD), Раман спектроскопија, рендгенска

фотоелектронска спектроскопија X - зрацима (XPS), ултраљубичасто - видљива спектроскопија са дифузном рефлексијом (UV-Vis DRS) и фотолуминесцентна спектроскопија. UV-Vis спектроскопија је коришћена у циљу праћења кинетике фотокаталитичке разградње карбофурана у присуству нетретираних и ласерски третираних узорака, а производи разградње су одређени коришћењем GC-MS технике. У делу дисертације у којем су испитивани утицаји различитих параметара на фотокаталитичку разградњу карбофурана, кинетика разградње праћена је течном хроматографијом ултра високих перформанси са фотодиодним низом (UPLC-PDA) и UV-Vis спектроскопијом, док је минерализација праћена TOC анализама. За практичну употребу проучавана је применљивост ласерски синтетисаног TiO₂ фотокатализатора у разградњи карбофурана у чесменској и речној води, као и његова поновна употреба. У истраживању примарног механизма који је одговоран за разградњу карбофурана, праћено је његово уклањање у присуству изопропил-алкохола, мравље киселине и гаса азота као хватача за •OH, h⁺ и •O₂⁻. Цитотоксичност производа фотокаталитичке разградње карбофурана била је испитана ХТТ есеј методом (ХТТ Cell Proliferation Assay Kit), док је фитотоксичност производа фотокаталитичке разградње карбофурана испитана индексом клијавости (GI) семена две врсте биљних култура, односно семеном јечма и пшенице.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати приказани у оквиру ове докторске дисертације представљају допринос у побољшању фотокаталитичких својстава TiO₂ применом импулсног ласерског зрачења у спрези са електрохемијском анодизацијом. Овако синтетисани TiO₂ фотокатализатори су показали побољшање у процесу разградње пестицида карбофурана, као и изузетну стабилност и поновљивост у наведеном процесу. Применљивост се такође показала добром у симулираним условима разградње поменутог пестицида у чесменској и речној води. Испитани параметри који утичу на ефикасност фотокаталитичког процеса такође могу пружити објашњење и шири увид у оптимизацији самог фотокаталитичког процеса. Такође, примена тестова токсичности се показала изузетно поуздана у коначном закључивању успешности наведеног процеса. Све претходно наведено, може имати значајне импликације за очување животне средине, односно у процесу пречишћавања вода од загађујућих материја.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

У свом досадашњем истраживачком раду кандидат Милош С. Тошић, мастер инжењер технологије, показао је стручност и самосталност у претраживању и коришћењу научне и стручне литературе, планирању и реализацији експеримената, обради и анализи добијених резултата, као и у дискусији резултата и припреми публикација. Кандидат показује све неопходне квалитете за самосталан научни рад, укључујући компетентност за решавање нових изазова и проблема, као и колегијалности и кооперативности. На основу свега наведеног као и на основу поднете докторске дисертације, Комисија је утврдила да кандидат поседује све квалитете неопходне за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

- Добијање TiO₂ фотокатализатора унапређених фотокаталитичких својстава претходном применом импулсног пикосекундног ласерског зрачења и електрохемијске анодизације, као и њихова примена у фотокаталитичкој разградњи карбофурана.
- Нови увиди у ласерској примени у синтези и модификацији TiO₂ фотокатализатора, пре свега његов утицај на формирање и хемијски састав TiO₂, пружајући основу за даља истраживања у области синтеза TiO₂ тако и у даљој примени у пречишћавању вода процесом фотокатализе.

- Боље разумевање утицаја на кинетику разградње карбофурана при промени активне површине ласерски третираних TiO₂ фотокатализатора, промени интензитета светлосног зрачења као и промени почетне концентрације карбофурана у раствору током процеса фотокатализе.
- Утврђивању нивоа цитотоксичности и фитотоксичности карбофурана и његових производа насталих током фотокаталитичке разградње у присуству ласерски третираног TiO₂ под претходно утврђеним најоптималнијим процесним параметрима (површина фотокатализатора, интензитет зрачења симулираном сунчевом светлошћу, почетна концентрација карбофурана у раствору и мешање током процеса).

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације су показала да се алтернативна метода, заснована на иновативним ласерским и нано технологијама, може успешно користити за синтезу ефикасног TiO₂ фотокатализатора који би могао имати примену у третману пречишћавања вода. Дејством зрачења импулсних ласера може се постићи ефикасна и бесконтактна површинска модификација материјала од титана. Промена параметара ласерског зрачења (излазна енергија) омогућава добијање оптималних структурних и морфолошких промена озраченог материјала од титана. TiO₂ наноструктуре су затим синтетисане на ласерски третираним и нетретираним Ti мрежицама.

Студија је показала да оптимизација параметара током процеса фотокатализе такође има значајну улогу у зависности од саме ситуације. Фотокаталитичка разградња карбофурана је тако појачана повећањем активне површине ласерски третираног TiO₂ фотокатализатора, интензитетом светлости и увођењем мешања током самог процеса, али се смањује са повећањем почетне концентрације поменуте загађујуће материје. Ово може довести до бољег разумевања и лакших смерница у приступу фотокаталитичког пречишћавања вода од загађујућих материја.

Студије токсичности су спроведене да би се верификовала ефикасност разградње карбофурана. На овај начин се обезбедила сигурност у успешност процеса, тако да сам третман, односно формирање продуката разградње карбофурана, ненамерно не доводи до нове опасности по животну средину. Из свега наведеног се може извести један од главних закључака, да се ефикасност напредних оксидационих процеса у елиминисању токсичних једињења треба проценити заједно са анализом токсиколошке процене. Одређивање ефикасности напредних оксидационих процеса само на основу процента разградње циљног једињења може бити недовољно и потенцијално обмањујуће.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Милош Тошић је своје резултате истраживања током израде докторске дисертације потврдио објављивањем радова у часописима међународног значаја и саопштењима на научним скуповима међународног и националног значаја.

Категорија M21:

1. **Tošić M.**, Savić J., Valenta Šobot A, Živković S., Dimitrijević A., Ilić N., Dimitrijević-Branković S., Momčilović M. Photocatalytic Degradation of Carbofuran in Water Using Laser-Treated TiO₂: Parameters Influence Study, Cyto- and Phytotoxicity Assessment. *Toxics*. (2024); 12(8):566. <https://doi.org/10.3390/toxics12080566>, (IF=3.9) (ISSN: 2305-6304).

Категорија M22:

1. **Tošić M.**, Rajić V., Pjević D., Stojadinović S., Krstulović N., Dimitrijević-Branković S., Momčilović M. Synergy of Nd:YAG Picosecond Pulsed Laser Irradiation and Electrochemical Anodization in the Formation of TiO₂ Nanostructures for the Photocatalytic Degradation of

Pesticide Carbofuran. *Photonics*. (2024); 11(3):284. <https://doi.org/10.3390/photonics11030284>, (IF=2.1) (ISSN: 2304-6732).

Категорија M33:

1. **M. Tošić**, M. Momčilović. Evaluation of phytotoxicity effect of TiO₂ photocatalytically treated carbofuran on seed germination of barley (*Hordeum vulgare L.*). 8th Workshop Food and drug safety and quality, Proceedings, September 26th, 2024, Vinča Institute of Nuclear Sciences-National Institute of the Republic of Serbia, Republic of Serbia, pp. 119–122, <https://doi.org/10.46793/8FDSQ.PB15MT>, (ISBN 978-86-7306-173-3 (Print)).

Категорија M64:

1. **Miloš Tošić**, Sanja Živković, Jovan Ciganović, Rafaela Radičić, Vladimir Rajić, Miloš Momčilović. Application of picosecond and nanosecond pulsed laser irradiation in the pretreatment of TiO₂ for applications in photocatalysis, 60th Meeting of the Serbian Chemical Society, 8 - 9 June 2024., Niš, Serbia, p.78, (ISBN 978-86-7132-086-3).

5. ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма „iThenticate“ којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације под називом **„Побољшање фотокаталитичких својстава титан(IV)-оксида дејством зрачења импулсног ласера и процена токсичности производа фотокаталитичке разградње карбофурана“**, аутора Милоша С. Тошића, константујемо да утврђено подударање текста износи 24%, при чему оно потиче из 263 различита извора. Извештај који садржи резултате провере оригиналности ментор је добио дана 26. 12. 2024. Највећи степен подударања од 1% потиче из два различита извора. Овај степен подударања последица је употребе стручних термина, једначина, назива метода и њихових скраћеница, ознака елемената и хемикалија, личних имена, назива институција, цитата, библиографских података о коришћеној литератури, тзв. општих места и података, као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из његове докторске дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника.

На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујемо да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега наведеног Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Милоша С. Тошића, мастер инжењера технологије, под насловом **„Побољшање фотокаталитичких својстава титан(IV)-оксида дејством зрачења импулсног ласера и процена токсичности производа фотокаталитичке разградње карбофурана“** представља значајан и оригиналан научни допринос у датој области, што је и потврђено објављивањем радова у часописима међународног значаја. Предмет и циљеви који су постављени су јасно наведени и у потпуности остварени. Комисија је мишљења да ова докторска дисертација испуњава све захтеване критеријуме као и да је кандидат током израде дисертације показао научно-истраживачку способност у свим фазама израде дисертације. Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих резултата, Комисија предлаже

Наставно–научном већу Технолошко–металуршког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под насловом „**Побољшање фотокаталитичких својстава титан(IV)-оксида дејством зрачења импулсног ласера и процена токсичности производа фотокаталитичке разградње карбофурана**“ кандидата Милоша С. Тошића, мастер инжењера технологије, прихвати, изложи на увид јавности и да након законски предвиђеног рока упути на коначно усвајање Већу научних области природних наука Универзитета у Београду и да након завршетка ове процедуре позове кандидата на усмену одбрану дисертације пред Комисијом за одбрану докторске дисертације.

Београд, 8. 1. 2025.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Душан Мијин, редовни професор,
Технолошко-металуршки факултет, Универзитет у Београду

.....
Др Александра Перић-Грујић, редовни професор,
Технолошко-металуршки факултет, Универзитет у Београду

.....
Др Владимир Рајић, научни сарадник,
Лабораторија за атомску физику, Институт за нуклеарне науке „Винча“,
Институт од националног значаја за Републику Србију