

Факултет Технолошко-металуршки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/147
(Број захтева)
27. 6. 2025.
(Датум)

Веће научних области техничких наука
(Назив већа научне области коме се захтев упућује)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуке о усвајању извештаја Комисије за оцену
докторске дисертације и о именовању комисије за одбрану

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::

КАНДИДАТ Ксенија (Душко) Милошевић
(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму: **Хемијско инжењерство**

пријавио је докторску дисертацију под називом:

Развој фотоактивних самопречишћавајућих $g\text{-C}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2$ /полимер композита за уклањање штетних материја из отпадних вода

из научне области: **Технолошко инжењерство**

Универзитет је дана 19. 1. 2022. својим актом под бр. 61206-174/2-22 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

Развој фотоактивних самопречишћавајућих $g\text{-C}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2$ /полимер композита за уклањање штетних материја из отпадних вода

Име и презиме ментора: др Мелина Калагасидис Крушић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Име и презиме ментора 2: др Јасмина Достанић, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној 24. 4. 2025. одлуком факултета под бр. 35/102, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Рада Петровић	редовни професор	Инжењерство неорганских хемијских производа	ТМФ
2.	Др Марија Николић	ванредни професор	Хемија макромолекула	ТМФ
3.	Др Сања Савић	доцент	Полимерно инжењерство	ТМФ
4.	Др Марија Лучић Шкорић	научни сарадник	Полимерно инжењерство	ИЦ ТМФ
5.	Др Давор Лончаревић	научни саветник	Катализа	ИХТМ

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности 23. 5. 2025.

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана 26. 6. 2025.

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној **26. 6. 2025.**

одлуком факултета под бр. 35/152, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Рада Петровић	редовни професор	Инжењерство неорганских хемијских производа	ТМФ
2.	Др Марија Николић	ванредни професор	Хемија макромолекула	ТМФ
3.	Др Сања Савић	доцент	Полимерно инжењерство	ТМФ
4.	Др Марија Лучић Шкорић	научни сарадник	Полимерно инжењерство	ИЦ ТМФ
5.	Др Давор Лончаревић	научни саветник	Катализа	ИХТМ

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

Студент је уписан на докторске студије школске 2018/2019. године.

Решењем декана бр. 20/224 од 29. 10. 2024. одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до 30. 9. 2027. године

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

др Мирјана Кијевчанин, редовни професор

-
- Прилози:**
1. Одлука Наставно-научног већа о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и одлука о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације
 2. Извештај Комисије о оцени докторске дисертације
 3. Примедбе на извештај Комисије о оцени докторске дисертације (уколико их је било) и мишљење Комисије о примедбама

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



Република Србија
Универзитет у Београду
Технолошко-металуршки факултет

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНОЛОШКО МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ

Бр. 20/224

29 OCT 2024

БЕОГРАД

год.

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета у Београду бр. 201/2018") и члана 76. Статута Технолошко-металуршког факултета у Београду, као и захтева студента за продужење рока за завршетак студија Декан доноси

РЕШЕЊЕ

о продужењу рока за завршетак студија

Студенту **Ксенија Милошевић**, број индекса 2018/4017, уписана у прву годину докторских академских студија школске 2018/2019 године продужава се рок за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до 30.09.2027 године.

Деканка

M. Kiševčanin
Проф. др Мирјана Кијевчанин



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. 41. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 26. 6. 2025. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Рада Петровић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Марија Николић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Сања Савић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Марија Лучић Шкорић, научни сарадник Иновационог центра Технолошко-металуршког факултета у Београду и др Давор Лончаревић, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: **„Развој фотоактивних самопречишћавајућих g-C₃N₄/TiO₂/полимер композита за уклањање штетних материја из отпадних вода“** коју је поднела **Ксенија Милошевић**, мастер инжењер технологије и упућује се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Ксеније Милошевић, под називом **„Развој фотоактивних самопречишћавајућих g-C₃N₄/TiO₂/полимер композита за уклањање штетних материја из отпадних вода“** Одлуком број: 61206-174/2-22 од 19. 1. 2022. године.

Верификација научних доприноса:

Категорија M21:

1. Milošević K., Lončarević D., Kalagasidis Krušić M., Hadnađev-Kostić M., Dostanić J., Eco-Friendly g-C₃N₄/Carboxymethyl Cellulose/Alginate Composite Hydrogels for Simultaneous Photocatalytic Degradation of Organic Dye Pollutants, *International Journal of Molecular Sciences*, 2024, 25(14), 7896, ISSN 1422-0067, IF (2023) 4,9, <https://doi.org/10.3390/ijms25147896>

Категорија M22:

1. Milošević K., Lončarević D., Mudrinić T., Kalagasidis Krušić M., Dostanić J.: Mechanistic insights into the simultaneous visible-light induced photodegradation of organic pollutants by g-C₃N₄/titanate heterojunction, *Journal of Nanoparticle Research*, 2023, 25(26), ISSN 1388-0764, IF (2022) 2,3, <https://doi.org/10.1007/s11051-023-05673-x>

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета, менторима, Служби за наставно-студентске послове и Архиви факултета.

Д Е К А Н К А

Проф. др Мирјана Кијевчанин

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. 41. и 42. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 26. 6. 2025. године, донета је

О Д Л У К А

о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације

Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације **Ксеније Милошевић**, мастер инжењера технологије, са темом под називом „Развој фотоактивних самопречишћавајућих $g\text{-C}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2$ /полимер композита за уклањање штетних материја из отпадних вода“, у саставу:

1. Др Рада Петровић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
2. Др Марија Николић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
3. Др Сања Савић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
4. Др Марија Лучић Шкорић, научни сарадник Иновационог центра Технолошко-металуршког факултета у Београду,
5. Др Давор Лончаревић, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију.

Одлуку доставити: Одлуку доставити: члановима Комисије, Универзитету у Београду, Служби за наставно-студентске послове и Архиви Факултета.

Д Е К А Н К А

Проф. др Мирјана Кијевчанин

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње **Ксеније Д. Милошевић**, мастер инжењера технологије

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, одлука бр. 2025-35/102 од 24.4.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Ксеније Д. Милошевић, мастер инжењера технологије, под насловом „Развој фотоактивних самопречишћавајућих g-C₃N₄/TiO₂/полимер композита за уклањање штетних материја из отпадних вода“.

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде докторске дисертације

- ❖ Школске **2018/2019.** године кандидаткиња Ксенија Д. Милошевић, мастер инжењер технологије, уписала је докторске академске студије на студијском програму Хемијско инжењерство на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду под менторством др Мелине Калагасидис Крушић, редовног професора Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Јасмине Достанић, научног саветника Универзитета у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију.
- ❖ **18. новембра 2021.** године кандидаткиња Ксенија Д. Милошевић, мастер инжењер технологије, предложила је тему докторске дисертације под називом: „Развој фотоактивних самопречишћавајућих g-C₃N₄/TiO₂/полимер композита за уклањање штетних материја из отпадних вода“, а Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду усвојило је Комисију за оцену научне заснованости предложене теме.
- ❖ **23. децембра 2021.** године на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, донета је одлука (одлука бр. 35/362) о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидаткиње за израду докторске дисертације под називом „Развој фотоактивних самопречишћавајућих g-C₃N₄/TiO₂/полимер композита за уклањање штетних материја из отпадних вода“, а за менторе су именоване др Мелина Калагасидис Крушић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Јасмина Достанић, научни саветник

Универзитета у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију.

- ❖ **19. јануара 2022.** године на седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидаткиње Ксеније Д. Милошевић, мастер инжењера технологије, под називом „Развој фотоактивних самопречишћавајућих $g-C_3N_4/TiO_2$ /полимер композита за уклањање штетних материја из отпадних вода“ (одлука бр. 61206-174/2-22).
- ❖ **21. октобра 2024.** године одобрено је продужење рока за завршетак докторских студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до 30.09.2027. године.
- ❖ **24. априла 2025.** године на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је одлука (одлука бр. 2025-35/102) о именовању чланова Комисије за оцену докторске дисертације кандидаткиње Ксеније Д. Милошевић, мастер инжењера технологије, под називом: „Развој фотоактивних самопречишћавајућих $g-C_3N_4/TiO_2$ /полимер композита за уклањање штетних материја из отпадних вода“ у саставу др Рада Петровић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Марија Николић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Сања Савић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Марија Лучић Шкорић, научни сарадник Иновационог центра Технолошко-металуршког факултета у Београду и др Давор Лончаревић, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију.

1.2. Научна област дисертације

Тема ове докторске дисертације припада научној области **Технолошко инжењерство**, ужа научна област **Хемијско инжењерство**, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Ментори ове докторске дисертације су др Мелина Калагасидис Крушић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Јасмина Достанић, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију, који испуњавају све неопходне услове да руководе израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидаткињи

Ксенија Д. Милошевић, мастер инжењер технологије, рођена је 13.1.1994. године у Београду. Основне академске студије на студијском програму Хемијско инжењерство-Органска хемијска технологија на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду уписала је школске 2012/2013. године, а дипломирала 2017. године. Завршни рад на тему „Испитивање механичких и баријерних својстава филмова на бази хитозана и поли(винил алкохола)“ одбранила је при Катедри за органску хемијску технологију.

Мастер академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду уписала је школске 2017/2018. године и одбранила завршни мастер рад под називом „Утицај температуре и рН на уклањање киселе и базне боје за текстил из отпадне воде помоћу хитозана“ 2018. године.

Докторске академске студије на студијском програму Хемијско инжењерство на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду уписала је школске

2018/2019. године. Од 2019. године Ксенија Д. Милошевић је запослена на Универзитету у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију, у Центру за катализу и хемијско инжењерство. У звање истраживач сарадник изабрана је 16.3.2022. године.

Током 2019. године учествовала је на пројекту ОИ172062 „Синтеза и карактеризација нових функционалних полимера и полимерних нанокомпозита“, финансираном од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Тренутно је учесник билатералног пројекта између Србије и Словеније под називом „Дизајнирање структуре енергетског процепца у развоју хетероструктурних полупроводника ради повећања фотокаталитичке активности. Теоријска и експериментална студија“ (уговор бр. 337-00-110/2023-05/05).

Из досадашњег рада Ксеније Д. Милошевић проистекла су три рада објављена у међународним часописима SCI листе, као и 13 саопштења са међународних и националних конференција.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Ксеније Д. Милошевић под називом „Развој фотоактивних самопречишћавајућих $g\text{-C}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2$ /полимер композита за уклањање штетних материја из отпадних вода“ написана је на 96 страна куцаног текста формата А4, прореда 1 и фонта Cambria (величина фонта 12) и укључује 45 слика, 14 табела и 266 литературна навода. Докторска дисертација обухвата следећа поглавља: *Увод*, *Теоријски део*, *Експериментални део*, *Резултате и дискусију*, *Закључак* и *Литературу*. На почетку докторске дисертације дати су *Захвалница*, *Сажетак* на српском и енглеском језику и *Садржај*. Такође, на крају дисертације дати су биографија аутора, изјава о ауторству, изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и изјава о коришћењу. По својој структури и садржају докторска дисертација Ксеније Д. Милошевић задовољава прописане стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Увод садржи предмет и циљ истраживања докторске дисертације, као и кратак осврт на актуелна истраживања која су од значаја за докторску дисертацију. У овом поглављу указано је на глобални проблем све веће загађености отпадних вода из текстилне индустрије. Дат је преглед савремених решења, са посебним освртом на напредне оксидационе процесе, који представљају ефикасну методу за пречишћавање отпадних вода. Истакнуте су предности примене фотокатализатора на бази титан(IV)-оксида и угљеник(IV)-нитрида за уклањање боја из отпадних вода и разматране су могућности побољшавања ефикасности фотокатализатора проширивањем апсорпције таласних дужина на видљиви део сунчевог зрачења, симултану деградацију боја и одређивање механизма реакције. Такође је истакнуто да се имобилизацијом фотокатализатора на чврсте носаче, попут полимерних хидрогелова, омогућава једноставнија примена што поједностављује сам процес пречишћавања и смањује трошкове, јер није потребно да се накнадно уклања прашкасти катализатор из воде. Размотрени су изазови повезани са разумевањем механизма фотокаталитичких реакција и развојем материјала са побољшаним фотокаталитичким својствима.

У поглављу **Теоријски део** детаљно су анализирани литературни подаци који се односе на пречишћавање отпадних вода, фотокатализу и фотокаталитички активне материјале и подељен је на шест потпоглавља. Прва три потпоглавља су посвећена отпадним водама,

бојама као загађујућим супстанцама и пречишћавању отпадних вода уз детаљни преглед литературних извода и навода. У четвртном потпоглављу описани су основни појмови који се користе у катализи и фотокатализи, као и кратак историјат фотокаталитичких процеса. Детаљно је описана хетерогена катализа, као и механизам реакције деградације боја у воденом раствору. У петом потпоглављу дат је основни преглед полупроводничких материјала, њихов значај и улога, као и услови који морају да буду испуњени како би се остварила ефикасна фотокаталитичка деградација боја. Такође, дат је литературни преглед најчешће коришћених фотокаталитичких материјала: титан(IV)-оксида (TiO_2), титаната и угљеник(IV)-нитрида ($\text{g-C}_3\text{N}_4$), као и преглед различитих модификација полупроводника које се користе, при чему је дат највећи значај креирању хетерогених спојева полупроводника. У шестом потпоглављу дефинисани су хидрогелови и објашњена њихова основна својства. Такође су описани полисахариди, карбоксиметилцелулоза и натријум-алгинат, њихова физичко-хемијска својства, поље примене у фотокатализи и имобилизација прашкастог фотокатализатора на чврст полимерни носач.

У поглављу **Експериментални део** наведени су материјали, реагенси и хемикалије који су коришћени током реализације експеримената. Детаљно су описане синтезе катализатора и методе за њихову карактеризацију. У оквиру овог поглавља описан је поступак и експериментални услови извођења фотокаталитичких тестова.

У поглављу **Резултати и дискусија** детаљно су приказани и дискутовани сви резултати добијени током израде ове докторске дисертације. Поглавље је подељено у два дела, у првом делу приказани су резултати карактеризације и фотокаталитичке активности $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2$ нанокмпозита, а у другом делу – композита на бази $\text{g-C}_3\text{N}_4$ и карбоксиметилцелулозе и натријум-алгината. Представљени су резултати добијени скенирајућом електронском микроскопијом са емисијом поља (FE-SEM) и енергетском дисперзионом спектроскопијом (EDX), инфрацрвеном спектроскопијом са Фуријеовом трансформацијом (ATR-FTIR), рендгенско дифрактометријском анализом (XRD), дифузионо-рефлексионом спектроскопијом (DRS), фотолуминисцентном спектроскопијом (PL), нискотемпературном физисорпцијом азота, живином порозиметријом, термогравиметријском анализом (TGA), мерењем механичких својстава и електрохемијском карактеризацијом. Поред поменутих метода карактеризације катализатора, приказани су резултати фотокаталитичких тестова помоћу $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2$ нанокмпозита испитан је утицај различитих параметара (почетна концентрација боје, маса катализатора, pH и присуство хватача слободних радикала) на брзину фотокаталитичке реакције деградације под дејством видљивог сунчевог зрачења, као и симултана деградација у бинарним растворима катјонске и ањонске боје под дејством симулираног сунчевог зрачења. Механизам фотокаталитичке деградације и тип хетерогеног споја у нанокмпозиту одређени су помоћу студије са хватачима слободних радикала и метода карактеризације (PL, DRS и електрохемијских мерења). За испитивање фотокаталитичке активности композитних хидрогелова праћена је деградација катјонских и ањонских боја у једнокомпонентним и бинарним растворима под дејством симулираног сунчевог зрачења. Показано је да је успешно изведена имобилизација наночестица $\text{g-C}_3\text{N}_4$ на хидрогел карбоксиметилцелулозе и натријум-алгината и да је очувана фотокаталитичка активност након имобилизације, као и да композитни хидрогелови не губе фотоактивност вишекратном употребом.

Закључак обухвата сумиран преглед резултата остварених у оквиру ове докторске дисертације.

У поглављу **Литература** приказани су научни радови, књиге и други релевантни извори информација из области истраживања који су коришћени током израде дисертације. Поглавље садржи 266 литературна навода.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Истраживање у оквиру дисертације Ксеније Д. Милошевић је усмерено на уклањање боја из отпадних вода фотокаталитичком деградацијом, као једном од напредних оксидационих процеса, чијом применом не долази до преноса загађујућих органских супстанци у другу фазу, већ долази до њихове оксидације до безопасних производа попут воде, угљеник(IV)-оксида и минералних соли. У оквиру дисертације синтетисани су нанокмпозити на бази g-C₃N₄ и титаната и испитана је њихова фотокаталитичка активност за деградацију боја у једнокомпонентним и бинарним растворима. Циљ синтезе био је креирање хетерогеног споја полупроводника који омогућава проширивање апсорпције сунчевог зрачења у видљиви део спектра. Испитиван је утицај реакционих параметара на кинетику деградације у циљу постизања оптималних реакционих услова. Испитивања у вишекомпонентним растворима показала су да је адсорпција загађујућих супстанци и везивање за површину активне фазе лимитирајући корак који одређује редослед и брзину деградације загађујућих супстанци. Експерименти са хватачима слободних радикала дали су увид у реакционе путеве и механизме деградације органских боја коришћењем симулираног сунчевог и видљивог зрачења. Повезивањем резултата ових експеримента са експериментално одређеним вредностима енергетских процеса и резултатима фотолуминисцентне спектроскопије дефинисан је тип хетероструктуре. Систематски су сумирани различити аспекти истраживања, описујући кључне фазе значајне за одређивање реакционог механизма.

Значајан недостатак употребе прашкастих фотокатализатора у воденој средини представља потреба за накнадним издвајањем након процеса пречишћавања отпадних вода, што је један од проблема којим се ова дисертација бави. Овај недостатак превазиђен је имобилизацијом фотокатализатора на полимерне носаче чиме је омогућена једноставнија сепарација и поновна употреба катализатора, што чини ове системе економски и еколошки прихватљивим за комерцијалну употребу. Као носачи g-C₃N₄ предложени су хидрогелови карбоксиметилцелулозе и алгината, јер се добијају из обновљивих извора, еколошки су прихватљиви и имају широку примену у областима у којима постоји потреба за нетоксичним носачима. Њихова предност у односу на друге носаче је веома добра сорпција боја из воде чиме се олакшава и убрзава процес пречишћавања отпадних вода. Још један значајан аспект проучаван у оквиру дисертације је утицај имобилизације на очување фотокаталитичке активности g-C₃N₄.

Резултати истраживања приказани у овој докторској дисертацији су у складу са савременим достигнућима везаним за развој и унапређење катализатора и њихову примену у хетерогеним фотокаталитичким процесима. На основу опсежног прегледа литературе, може се закључити да се истраживања у оквиру докторске дисертације уклапају у светске трендове и указују на значај и актуелност проучавање проблематике.

Сходно добијеним резултатима у оквиру ове дисертације закључује се да испитивање фотокаталитичке активности нанокмпозита на бази g-C₃N₄ и титаната представља значајан корак у истраживању фотокаталитичке деградације боја, разумевању механизма деградације и одређивању типа хетерогеног споја. У овим истраживањима по први пут је имобилисан g-C₃N₄ фотокатализатор на двостепено умрежене хидрогелове природних полимера, карбоксиметилцелулозе и натријум-алгината. На основу приказаних резултата фотокаталитичке деградације боја показано је да је могуће имобилисати фотокатализатор на полимерни носач, поједноставити процес издвајања фотокатализатора из реакционог раствора и омогућити вишекратну употребу.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације, Ксенија Д. Милошевић је извршила детаљну претрагу научне и стручне литературе, при чему је у докторској дисертацији цитирано 266 литературних навода, од којих највећи број чине наводи из водећих међународних часописа. Наведена литература је новијег датума и у складу је са тематиком значајном за израду докторске дисертације. Истраживања обухваћена литературним наводима су коришћена за планирање експерименталног рада, анализу и тумачење резултата добијених током израде докторске дисертације. Такође, међу литературним наводима се налазе уџбеници и прегледни радови, који представљају базична сазнања из области од интереса и полазну основу за тумачење добијених експерименталних резултата. На основу прегледа литературе која је коришћена у истраживању уочава се адекватно познавање области истраживања, као и познавање актуелног стања науке у овој области у свету.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

План истраживања у оквиру докторске дисертације је остварен коришћењем одговарајућих експерименталних техника и савремених аналитичких инструменталних метода, као и адекватном анализом и обрадом података. У докторској дисертацији су коришћене савремене и стандардне методе синтезе фотокатализатора и хидрогелова, карактеризације нанокомпозита, композитних хидрогелова, референтних хидрогелова и материјала, као и методе фотокаталитичког уклањања комерцијалних боја из једнокомпонентних и бинарних раствора.

Током синтезе фотокатализатора примењене су методе објављене у научној литератури новијег датума. У првом делу дисертације, синтетисан је $g-C_3N_4/TiO_2$ нанокомпозит калцинацијом прекурсора меламина и титанатних наножица синтетисаних хидротермалном методом. У овој дисертацији је испитиван тип формираног хетерогеног споја полупроводника, фотокаталитичка активност у једнокомпонентним и бинарним растворима боја под дејством симулираног сунчевог зрачења и видљивог дела сунчевог спектра, као и механизам фотокаталитичких реакција. Узорци су окарактерисани следећим техникама: скенирајућом електронском микроскопијом са емисијом поља (FE-SEM), рендгенском дифрактометријском анализом (XRD), дифузно-рефлексионом спектроскопијом (DRS), фотолуминисцентном спектроскопијом (PL), нискотемпературном физисорпцијом азота и електрохемијским мерењима. UV-Vis спектроскопија коришћена је у циљу праћења кинетике фотокаталитичке деградације боја под дејством симулираног сунчевог и видљивог дела сунчевог зрачења. Испитиван је утицај реакционих параметара (почетна концентрација боје, маса катализатора и pH), симултана деградација боја и присуство хватача слободних радикала на кинетику фотокаталитичке реакције. На основу резултата студије о хватачима слободних радикала, DRS, PL и електрохемијских мерења, одређен је механизам фотокаталитичке деградације и тип хетерогеног споја полупроводника.

У другом делу дисертације, синтетисани су композитни хидрогелови на бази $g-C_3N_4$ и природних полимера, карбоксиметилцелулозе и натријум-алгината. Хидрогелови су окарактерисани следећим техникама: FE-SEM и енергетском дисперзионом спектроскопијом (EDX), инфрацрвеном спектроскопијом са Фуријеовом трансформацијом (ATR-FTIR), XRD, DRS, живином порозиметријом, анализом механичких својстава и термогравиметријском анализом (TGA). За испитивање фотокаталитичке активности композитних хидрогелова праћена је деградација катјонских и анјонских боја у једнокомпонентним и бинарним растворима боја под дејством симулираног сунчевог зрачења. Показано је да променом pH вредности раствора може да се фаворизује сорпција боје на хидрогелу или фотодеградација помоћу $g-C_3N_4$. Испитивањем фотокаталитичке активности у пет узастопних циклуса утврђено је да су композитни хидрогелови стабилни и не губе фотоактивност. Одабране

методе карактеризације и испитивања показале су се као адекватне и поуздане за реализацију циљева постављених у оквиру ове докторске дисертације.

3.4. Применљивост остварених резултата

Прегледом литературе из области истраживања, као и резултата који су произашли из докторске дисертације, може се закључити да је остварен значајан допринос на пољу уклањања боја из отпадних вода фотокаталитичком деградацијом употребом $g\text{-C}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2$ нанокмпозита и композитних хидрогелова на бази $g\text{-C}_3\text{N}_4$ и природних полимера, карбоксиметилцелулозе и натријум-алгината. Синтетисани фотокатализатори су успешно примењени како на једнокомпонентне растворе боја, тако и на симултану деградацију бинарних раствора боја под дејством симулираног сунчевог и видљивог дела сунчевог зрачења. Показано је да су фотокатализатори стабилни у условима вишеструке употребе као и да фотокаталитички процес припада хетерогеним каталитичким процесима. Студија са хватачима слободних радикала заједно са примењеним методама карактеризације коришћена је за утврђивање механизма реакције деградације боја под дејством симулираног сунчевог и видљивог дела сунчевог зрачења. Све претходно наведено, има значајне импликације у области заштите и очувања животне средине, односно у процесу пречишћавања вода од загађујућих органских супстанци са значајним научним доприносом у изучавању механизма фотокаталитичког процеса. Резултати добијени у истраживањима из ове докторске дисертације верификовани су објављивањем једног рада у врхунском и једног рада у истакнутом часопису међународног значаја, као и презентовањем добијених резултата на међународним конференцијама.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидаткиње за самостални научни рад

У свом досадашњем истраживачком раду, кандидаткиња Ксенија Д. Милошевић, мастер инжењер технологије, показала је самосталност и стручност у претраживању литературе, припреми и реализацији експеримената, коришћењу различитих метода карактеризације, анализи и обради резултата. Кандидаткиња је показала да је на основу добијених резултата својих истраживања и анализом литературних навода у стању да надградњом постојећих знања и иновативним приступом изведе нове закључке и усмери истраживање у конструктивном правцу. На основу досадашњих залагања и постигнутих резултата Комисија је мишљења да кандидаткиња поседује све квалитете неопходне за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси резултата истраживања остварених у оквиру ове докторске дисертације, а у области фотокаталитичке деградације боја помоћу $g\text{-C}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2$ нанокмпозита и композита на бази $g\text{-C}_3\text{N}_4$, карбоксиметилцелулозе и натријум-алгината, огледају се у следећем:

- ❖ успешно је синтетисан је $g\text{-C}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2$ нанокмпозит који има високу фотокаталитичку активност под дејством видљивог дела сунчевог зрачења у односу на основне компоненте фотокатализатора;
- ❖ дефинисани су оптимални услови фотокаталитичке деградације у присуству $g\text{-C}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2$ нанокмпозита под дејством видљивог дела сунчевог зрачења;

- ❖ симултаном деградацијом у бинарном раствору катјонске и ањонске боје у присуству g-C₃N₄/TiO₂ нанокмпозита под дејством симулираног сунчевог зрачења утврђено фаворизовање адсорпције и деградације једне боје у односу на другу;
- ❖ утврђен је механизам деградације катјонске и ањонске боје под дејством симулираног сунчевог и видљивог дела сунчевог зрачења помоћу студије са хватачима слободних радикала;
- ❖ одређен је тип хетерогеног споја полупроводника g-C₃N₄/TiO₂ нанокмпозита помоћу студије са хватачима слободних радикала и одговарајућих метода карактеризације (DRS, PL и електрохемијска мерења);
- ❖ показано је да се синтетисани композитни хидрогелови на бази g-C₃N₄ и природних полимера, карбоксиметилцелулозе и натријум-алгината, представљају ефикасне и стабилне фотокатализаторе за разградњу боја под дејством симулираног сунчевог зрачења;
- ❖ показано је да се катјонска боја више сорбује на полимерни носач, док се ањонске боје преваходно деградирају при испитивању услова деградације катјонске и ањонских боја у једнокомпонентним и бинарним растворима боја;
- ❖ одређен је механизам реакције фотодеградације ањонске боје у присуству композитних хидрогелова помоћу студије са хватачима слободних радикала;
- ❖ показано је да композитни хидрогелови задржавају фотокаталитичку активност и након више узастопних циклуса, што потврђује њихову стабилност и потенцијал за дугорочну примену;
- ❖ добијени резултати су допринели развоју примене хетерогене фотокаталитичке оксидације за пречишћавање отпадних вода и заштити животне средине.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживања у оквиру докторске дисертације указују на успешну синтезу и модификацију нанокмпозита на бази g-C₃N₄ и TiO₂, као и композитних хидрогелова на бази g-C₃N₄ и природних полимера. У првом делу истраживања, синтетисани нанокмпозит је показао високу фотокаталитичку активност приликом излагања видљивом делу сунчевог зрачења у односу на основне компоненте фотокатализатора, што представља значајан корак ка ефикаснијем искоришћењу сунчевог зрачења у третману отпадних вода. Померање граница области апсорпције сунчевог зрачења посебно је значајно с обзиром на потребу за алтернативом UV-активним катализаторима. Међутим, уочен је и ефекат засићења при повећању масе катализатора, што указује на постојање оптималне концентрације након које долази до смањења ефикасности и ограничења у примени при третману отпадних вода са високом концентрацијом боја. Детаљна анализа утицаја рН вредности и студије са хватачима слободних радикала омогућила је дубље разумевање механизма деградације боја, при чему су утврђене доминантне реакционе врсте за различите услове зрачења и различите боје. Посебно је значајно одређивање типа хетерогеног споја полупроводника уз помоћу механизма деградације и метода карактеризације (DRS, PL и електрохемијска мерења), јер тип 2 хетерогеног споја доприноси ефикаснијој сепарацији фотогенерисаних носилаца наелектрисања. Овај резултат је значајан и у ширем контексту развоја стабилних и ефикасних фотокатализатора.

У другом делу дисертације, хидрогелови карбоксиметилцелулозе и натријум-алгината су се показали као успешни носачи g-C₃N₄, а композитни хидрогелови показали су очувану фотокаталитичку активност. Тиме је потврђена могућност развоја еколошки прихватљивих носача фотокатализатора, који могу виšekратно да се употребљавају у фотокаталитичким реакцијама деградације. Резултати су показали да нанокмпозит и композитни хидрогелови могу веома успешно да се употребљавају за уклањање широког опсега боја из отпадних вода.

4.3. Верификација научних доприноса

Резултати истраживања ове докторске дисертације су објављени у међународним часописима и саопштени на конференцијама од међународног значаја. Из дисертације су проистекли: један рад објављен у врхунском међународном часопису (M21) и један рад објављен у истакнутом међународном часопису (M22), једно предавање по позиву са међународног скупа штампано у изводу (M32), три саопштења са међународног скупа штампана у целини (M33) и два саопштења са међународног скупа штампана у изводу (M34).

Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. **Milošević K.**, Lončarević D., Kalagasidis Krušić M., Hadnađev-Kostiћ M., Dostanić J., Eco-Friendly g-C₃N₄/Carboxymethyl Cellulose/Alginate Composite Hydrogels for Simultaneous Photocatalytic Degradation of Organic Dye Pollutants, *International Journal of Molecular Sciences*, 2024, 25(14), 7896, ISSN 1422-0067, IF (2023) 4,9, <https://doi.org/10.3390/ijms25147896>

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. **Milošević K.**, Lončarević D., Mudrinić T., Kalagasidis Krušić M., Dostanić J.: Mechanistic insights into the simultaneous visible-light induced photodegradation of organic pollutants by g-C₃N₄/titanate heterojunction, *Journal of Nanoparticle Research*, 2023, 25(26), ISSN 1388-0764, IF (2022) 2,3, <https://doi.org/10.1007/s11051-023-05673-x>

4.4. Провера оригиналности докторске дисертације

Оригиналност ове докторске дисертације је проверена на начин прописан Правилником о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду. Коришћењем програма „iThenticate“ извршена је провера оригиналности докторске дисертације Ксеније Д. Милошевић под називом **„Развој фотоактивних самопречишћавајућих g-C₃N₄/TiO₂/полимер композита за уклањање штетних материја из отпадних вода“** и утврђено је да проценат подударања текста износи 5%. Наведени степен подударности последица је општих места и података, као што су називи једињења, метода и уређаја и стручни термини типични за област у коју спада дисертација, као и претходно публикованих резултата истраживања проистеклих из дисертације, што је у складу са чланом 9 Правилника. На основу свега изложеног, Комисија сматра да је докторска дисертација Ксеније Д. Милошевић оригинална, као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега наведеног Комисија сматра да докторска дисертација **Ксеније Д. Милошевић**, мастер инжењера технологије, под насловом **„Развој фотоактивних самопречишћавајућих g-C₃N₄/TiO₂/полимер композита за уклањање штетних материја из отпадних вода“** представља значајан и оригиналан научни допринос у области хемијског инжењерства и заштите животне средине, што је потврђено објављивањем радова у међународним часописима и презентовањем резултата на скуповима међународног значаја. Комисија је установила да су предмет и циљеви докторске дисертације постављени у пријави теме у потпуности остварени и да докторска дисертација испуњава све захтеване критеријуме.

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 „Развој фотоактивних самопречишћавајућих g-C₃N₄/TiO₂/полимер композита за уклањање штетних материја из отпадних вода“ кандидаткиње **Ксеније Д. Милошевић**, мастер инжењера технологије, прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, у складу са одредбама Закона о високом образовању и Правилником о докторским студијама Универзитета у Београду, као и да након завршетка ове процедуре позове кандидаткињу на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 20.5.2025.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Рада Петровић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Марија Николић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Сања Савић, доцент
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Марија Лучић Шкорић, научни сарадник
Иновациони центар Технолошко-металуршког факултета д.о.о.

.....
Др Давор Лончаревић, научни саветник
Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију,
Институт од националног значаја за Републику Србију