

Факултет Технолошко-металуршки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

2026 - 35/200

(Број захтева)

11. 6. 2026.

(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 Јована (Милоје) Бошњакловић

(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму: **Инжењерство заштите животне средине**

пријавио је докторску дисертацију под називом:

Електрохемијско профилисање структуре порозне тантал(V)/иридијум(IV) – оксидне превлаке на електроди за издвајање кисеоника са побољшаним карактеристикама

из научне области: **Технолошко инжењерство**

Универзитет је дана 25. 3. 2025. својим актом под бр. 61206/2-25 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

Електрохемијско профилисање структуре порозне тантал(V)/иридијум(IV) – оксидне превлаке на електроди за издвајање кисеоника са побољшаним карактеристикама

Име и презиме ментора: др Бранимир Гргур, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Име и презиме ментора 2.: др Гаврило Шекуларац, виши научни сарадник 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 **5. 3. 2026.**

одлуком факултета под бр. 2026-35/78, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Маја Ђолић	доцент	Инжењерство заштите животне средине	ТМФ
2.	Др Мила Крстајић Пајић	доцент	Електрохемија	ТМФ
3.	Др Владимир Панић	научни саветник	Електрохемија	ИХТМ

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности **9. 4. 2026.**

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана **11. 6. 2026.**

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној **11. 6. 2026.**

одлуком факултета под бр. 2026-35/201, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Маја Ђолић	доцент	Инжењерство заштите животне средине	ТМФ
2.	Др Мила Крстајић Пајић	доцент	Електрохемија	ТМФ
3.	Др Владимир Панић	научни саветник	Електрохемија	ИХТМ

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

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

Решењем декана бр. 20/216 од 29. 10. 2024. године 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. 20/216

29 OCT 2024
БЕОГРАД

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 **Јована Бошњакловић**, број индекса 2018/4030, 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
Za Mirjana Kijevc
Проф. др Мирјана Кијевчанин



ДІВ

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 11. 6. 2026. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Извештаја о оцени докторске дисертације

Прихвата се Извештај Комисије у саставу: др Маја Ђолић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Мила Крстајић Пајић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Владимир Панић, 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: **„Електрохемијско профилисање структуре порозне тантал(V)/иридијум(IV) – оксидне превлаке на електроди за издвајање кисеоника са побољшаним карактеристикама“** коју је поднела **Јована Бошњаковић**, 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 Јоване Бошњаковић, под називом **„Електрохемијско профилисање структуре порозне тантал(V)/иридијум(IV) – оксидне превлаке на електроди за издвајање кисеоника са побољшаним карактеристикама“** Одлуком број: 61206/2-25 од 25. 3. 2025. године.

Верификација научних доприноса:

Категорија M21a:

1. Bošnjaković, J., Panić, V., Drnovšek, A., Kovač, J., Šekularac, G. (2025). Impact of catalytic ink solvent composition and rinsing protocols on microstructure and electrocatalytic performance of IrO₂-Ta₂O₅/Ti anodes for oxygen evolution reaction. *Journal of Alloys and Compounds*, 1048, 185185. (IF=6,3) (ISSN: 0925-8388) (<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2025.185185>)

Категорија M21:

1. Bošnjaković, J., Stevanović, M., Mihailović, M., Tadić, V., Stevanović, J., Panić, V., Šekularac, G. (2025). Activity and Operational Loss of IrO₂-Ta₂O₅/Ti Anodes During Oxygen Evolution in Acidic Solutions. *Metals*, 15(7), 721. (IF=2,5) (ISSN: 2075-4701) (<https://doi.org/10.3390/met15070721>)

2. Bošnjaković, J., Panić, V., Stevanović, M., Stopić, S., Stevanović, J., Grgur, B., Šekularac, G. (2024). Revealing the Surface and In-Depth Operational Performances of Oxygen-Evolving Anode Coatings: A Guideline for the Synthesis of Inert Durable Anodes in Metal Electrowinning from Acid Solutions. *Metals*, 14(12), 1339. (IF=2.5) (ISSN: 2075-4701) (<https://doi.org/10.3390/met14121339>)

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

ДV

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 11. 6. 2026. године, донета је

О Д Л У К А

о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације

Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације **Јоване Бошњаковић**, мастер инжењера технологије, са темом под називом **„Електрохемијско профилисање структуре порозне тантал(V)/иридијум(IV) – оксидне превлаке на електроди за издавање кисеоника са побољшаним карактеристикама“**, у саставу:

1. Др Маја Ђолић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
2. Др Мила Крстајић Пајић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
3. Др Владимир Панић, 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: Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата Јоване М. Бошњаковић

Одлуком бр. 2026-35/78 од 5. марта 2026. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидата Јоване М. Бошњаковић под насловом „Електрохемијско профилисање структуре порозне тантал(V)/иридијум(IV) – оксидне превлаке на електроди за издвајање кисеоника са побољшаним карактеристикама”.

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

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Јована М. Бошњаковић уписала је докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, смер Инжењерство заштите животне средине, школске 2018/2019. године.

29. октобар 2024. – На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 76. Статута Универзитета у Београду Технолошко-металуршког факултета и захтева студента Јоване М. Бошњаковић, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма (Одлука број 20/216).

9. децембар 2024. – Кандидат Јована М. Бошњаковић, мастер инжењер технологије, предложила је тему докторске дисертације под називом: „Електрохемијско профилисање структуре порозне тантал(V)/иридијум(IV) – оксидне превлаке на електроди за издвајање кисеоника са побољшаним карактеристикама,” (Одлука број 35/328).

26. децембар 2024. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је Одлука број 35/328 о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата Јоване М. Бошњаковић, мастер инжењера технологије, за израду докторске дисертације под називом „Електрохемијско профилисање структуре порозне тантал(V)/иридијум(IV) – оксидне превлаке на електроди за издвајање кисеоника са побољшаним карактеристикама.”

6. фебруар 2025. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је Одлука број 35/328 о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобравању израде докторске дисертације Јоване М. Бошњаковић, мастер инжењера технологије, под називом „Електрохемијско профилисање структуре порозне тантал(V)/иридијум(IV) – оксидне превлаке на електроди за издвајање кисеоника са побољшаним карактеристикама,” а за менторе ове докторске дисертације именовани су др Бранимир Гргур, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Гаврило Шекуларац, виши научни сарадник Универзитета у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију.

25. март 2025. – На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду, дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Јоване М. Бошњаковић, мастер инжењера технологије, под називом „Електрохемијско профилисање структуре порозне тантал(V)/иридијум(IV)

– оксидне превлаке на електроди за издвајање кисеоника са побољшаним карактеристикама,” (Одлука 02 број: 61206/2-25).

5. март 2026. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је Одлука број 2026-35/78 о именовању чланова Комисије за оцену докторске дисертације Јоване М. Бошњаковић, мастер инжењера технологије, под називом „Електрохемијско профилисање структуре порозне тантал(V)/иридијум(IV) – оксидне превлаке на електроди за издвајање кисеоника са побољшаним карактеристикама.”

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Инжењерство заштите животне средине, за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Ментори ове докторске дисертације су др Бранимир Гргур, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, и др Гаврило Шекуларац, виши научни сарадник Универзитета у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију, чије су компетенције за вођење ове докторске дисертације потврђене на основу објављених научних радова и научно-истраживачког искуства.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Јована М. Бошњаковић, рођена је 11. јануара 1992. године у Чачку, где је завршила основну школу „Свети Сава” и Гимназију. Основне академске студије на студијском програму Инжењерство материјала на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду уписала је школске 2011/2012. године, а дипломирала је у септембру 2015. године. На истом факултету школске 2015/2016. године уписала је мастер академске студије, студијски програм Инжењерство материјала, а завршила их је у септембру 2016. године.

Средња оцена током основних и мастер академских студија износила је 9,04. Докторске академске студије уписала је школске 2018/2019. године на Технолошко-металуршком факултету у Београду, студијски програм Инжењерство заштите животне средине. У оквиру докторских академских студија положила је све испите предвиђене студијским планом и програмом са просечном оценом 9,67 и одбранила завршни испит са оценом 10.

Од јануара 2019. до јуна 2023. била је запослена као истраживач-приправник у Лола Институту, Београд. 24. децембра 2021. године изабрана је у звање истраживач-сарадник, а од јула 2023. године ради у Институту за хемију, технологију и металургију, Институту од националног значаја за Републику Србију у Центру за електрохемију.

До 2020. године била је ангажована на пројекту Т34011-Развој опреме и процеса добијања полимерних композитних материјала са унапред дефинисаним функционалним својствима, који је финансирало Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

У периоду од 2024-2025. године учествовала је на НАТО пројекту, који су реализовали Факултет хемијског инжењерства и технологије, Свеучилиште у Загребу, Институт за хемију, технологију и металургију, Универзитет у Београду, и Универзитет Чалмерс за технологију (Chalmers University of Technology), Гетеборг, Шведска, под називом „High Energy Calcium-Oxygen Batteries – Ca-Bat.” Такође, од маја 2023. до маја 2025. године била је члан тима на пројекту „Development of green technology to mitigate power transformer failures induced by elemental sulphur and change current hazardous practice in oil regeneration;” у оквиру Зеленог програма сарадње науке и привреде Фонда за науку Републике Србије, чији је носилац Електротехнички институт Никола Тесла Универзитета у Београду.

Аутор је четири научна рада, од чега једног категорије М21а, два категорије М21, једног категорије М22 и пет саопштења на међународним и националним скуповима. Члан је Српског хемијског друштва и Међународног друштва за електрохемију.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Јоване М. Бошњакковић, мастер инжењера технологије, под називом „Електрохемијско профилисање структуре порозне тантал(V)/иридијум(IV) – оксидне превлаке на електроди за издвајање кисеоника са побољшаним карактеристикама” написана је на српском језику, на 118 страна и укључује 43 слике, 9 табела, као и 238 литературних навода. Дисертација садржи следећа поглавља: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултате и дискусију, Закључак и Литературу. Поред овога, дисертација садржи изводе на српском и енглеском језику, садржај, захвалницу, биографију кандидата, као и прилоге са изјавама о ауторству, о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада, изјаву о коришћењу, и оцени извештаја о провери оригиналности докторске дисертације. Према структури и садржају дисертација испуњава све прописане стандарде Универзитета у Београду.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У *Уводу* је описан значај развоја еколошки одрживих електродних материјала за различите индустријске и еколошке примене, са посебним освртом на електрохемијске процесе који укључују електрохемијско реаговање кисеоника. Истакнута је улога анодних материјала на бази титанијума обложених оксидима племенитих метала, пре свега IrO_2 , који се одликује изузетним електрохемијским својствима и стабилношћу при процесу рада. Посебна пажња посвећена је композитним $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5/\text{Ti}$ анодама, које налазе широку примену у индустријским процесима, као и у технологијама заштите животне средине које укључују електрохемијски третман отпадних вода, процесе конверзије енергије и заштите материјала од корозије.

Такође, дат је преглед основних фактора који утичу на електрохемијске одлике и стабилност ових анода, као што су микроструктура превлаке, расподела компоненти, порозност и услови саме синтезе анодних оксидних превлака. Посебно је указано на проблем деградације анода током реакције издвајања кисеоника (РИК), који је повезан са електрохемијским растварањем иридијума при високим анодним пренапетостима. Наглашен је значај оптимизације параметара израде анода, укључујући предтретман подлоге, састав раствора прекурсора и режим калцинације, као и утицај радних услова, пре свега концентрације сумпорне киселине и густине струје, на њихову активност и стабилност. Дефинисани су предмет и циљ истраживања, који се односе на испитивање утицаја поступка израде $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5/\text{Ti}$ анода и услова рада на њихова структурна и електрохемијска својства, као и на разумевање механизма деградације анода. Посебна пажња је посвећена успостављању корелације између микроструктурних карактеристика превлаке и електрохемијских одлика анода применом различитих електрохемијских метода и анализа, у циљу оптимизације својстава аноде која утичу на њену дуготрајност у реалним условима примене.

Теоријски део дисертације обухвата преглед основних појмова и сазнања везаних за електрохемијске процесе и електрокатализу које се односе на испитиване аноде. Посебна пажња посвећена је кисеонику, његовом настајању, својствима и примени, као и утицају РИК на одигравање процеса електролизе воде. Детаљније се разматра механизам РИК у различитим врстама електролизера. Такође, приказане су теоријске основе електролизе и преглед различитих електродних материјала примењених у електролизи водених раствора. Завршни део теоријског поглавља обухвата опис експерименталних техника коришћених у овој дисертацији.

У *Експерименталном делу* детаљно су наведене хемикалије које су коришћене током експеримената, као и услови експеримената примењених за припрему титанијумске подлоге, наношење оксидних превлака и карактеризацију добијених анода. Такође, представљени су експериментални протоколи који су коришћени за испитивање електрохемијске активности и стабилности анода.

Резултати и дискусија приказани су у оквиру једног поглавља које је организовано у више тематских целина. У првом делу приказани су резултати испитивања морфологије и елементарног састава титанијумских подлога након различитих протокола предтретмана, као и морфологија и састав $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$ каталитичких превлака формираних различитим методама синтезе. Морфолошке карактеристике

подлога и превлака су анализирани применом скенирајуће електронске микроскопије (СЕМ), док је елементални састав испитан методом енергетске дисперзивне микроскопије (ЕДС). Показано је да хемијски предтретман титанијумских подлога доводи до значајних промена у површинској морфологији и саставу, као и до смањења садржаја кисеоника након испирања, посебно у случају испирања етанолом.

Применом рендгенске фотоелектронске спектроскопије (ФЕСЗ), вршена је даља карактеризација подлога и каталитичких превлака одређивањем површинског елементалног састава и његовог праћења по дубини превлаке. Добијени резултати су указали на формирање карактеристичне двослојне структуре $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$ превлаке, са површинским слојем који је обогаћен са IrO_2 и подслојем који садржи мешовите оксиде иридијума, тантала и титанијума. Показано је да састав раствора који се наноси на подлогу, посебно који садржи HCl , значајно утиче на расподелу компоненти у превлаци и на формирање међуповршинског слоја између превлаке и титанијумске подлоге.

Кристална структура подлога и превлака испитана је методом рендгенске дифракције (РД). Добијени дифрактограми потврдили су присуство кристалних фаза IrO_2 и Ta_2O_5 након nanoшења каталитичког слоја, док су код претходно третираних титанијумских подлога уочени дифракциони врхови карактеристични за метални титанијум и хидрид титанијума. Резултати су показали да варијације у протоколима предтретмана и условима синтезе не доводе до значајних промена у кристалној структури формираних оксидних фаза, али утичу на морфологију и расподелу компоненти у превлаци.

У другом делу су анализирани резултати цикличне волтаметрије, поларизационог понашања, електрохемијске импедансне спектроскопије, утицаја концентрације сумпорне киселине у убрзаном тесту стабилности $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$ електрода припремљених различитим методама синтезе. Волтаметријски одзиви су показали карактеристичне псеудокапацитивне редокс прелазе Ir(III)/Ir(IV) , који су повезани са електрохемијском активношћу ових електрода. Уочене су одређене разлике у интензитету струјних врхова и волтаметријској капацитивности, што је указало на разлике у електрохемијски активној површини и броју доступних активних места, које су настале услед различитих услова припреме подлоге на волтаметријски одзив, при чему је показано да састав електролита значајно утиче на капацитивне карактеристике и електрохемијску активност електрода. Такође, применом цикличне волтаметрије и електрохемијске импедансне спектроскопије анализирана је уједначеност електрохемијског одзива по површини рециклираних анода. Добијени резултати су указали да постоји релативно уједначен псеудокапацитивни одзив на различитим позицијама на површини, уз одређена локална одступања која се могу повезати са морфологијом и дебелином превлаке.

Применом линеарне волтаметрије анализирани су поларизационе карактеристике анода. Добијени резултати су показали карактеристично Тафелово понашање у две области густине струја, при чему су вредности нагиба указали на кинетички контролисани процес РИК. Уочено је да састав раствора прекурсора, посебно у присуству HCl , значајно утиче на електрокаталитичку активност електрода, што се огледа у различитим вредностима нагиба и густина струје. Најбоље електрокаталитичке одлике показале су електроде које су припремљене из раствора који садржи HCl , што се повезује са повољнијом морфологијом превлаке и већом доступношћу каталитички активних места.

Такође, испитан је и утицај концентрације сумпорне киселине на поларизационе карактеристике електрода. Показано је да састав електролита значајно утиче на кинетику реакције издвајања кисеоника и вредности Тафелових нагиба, при чему се најповољније електрокаталитичке карактеристике постижу у одређеном опсегу концентрација киселине. Додатни увид у процесе преноса наелектрисања и структурне карактеристике електрода добијен је применом електрохемијске импедансне спектроскопије, чија је анализа показала да морфологија превлаке, порозна структура и расподела активних места имају значајан утицај на укупан електрохемијски одзив и стабилност $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$ анода.

Стабилност електрода испитана је применом убрзаног теста стабилности, који је омогућио процену трајности и отпорности превлаке у условима форсиране електрохемијске поларизације. Резултати ових испитивања су показали да током рада долази до постепених промена у структури и активности површинског слоја превлаке. Електрохемијска импедансна анализа омогућила је детаљнији увид у расподелу електрохемијских параметара кроз дебелину превлаке и показала да се деградација електроде током убрзаног теста стабилности првенствено одвија на површини.

У поглављу *Закључак* су јасно сумирани добијени резултати из ове докторске дисертације.

Литература обухвата 238 релевантних радова из области истраживања и покрива све делове дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Тема ове докторске дисертације припада актуелној области истраживања електрокаталитичких материјала за примену у савременим електрохемијским технологијама које имају значајну улогу у развоју одрживих индустријских процеса, заштити животне средине и при преласку на обновљиве изворе енергије. $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5/\text{Ti}$ аноде се због високе електрокаталитичке активности и стабилности широко користе у процесима електролизе воде, електрохемијског третмана отпадних вода, као и у другим индустријским технологијама које укључују РИК. Имајући у виду да је кинетика РИК једно од кључних ограничења у ефикасности бројних електрохемијских процеса, истраживања усмерена на унапређење активности и стабилности анодних материјала представљају важан и актуелан научни изазов. Такође, оригиналност се огледа у систематичном испитивању утицаја поступка припреме $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5/\text{Ti}$ анода, састава раствора за наношење и услова електролизе на њихова структурна и електрохемијска својства, као и на механизме деградације током рада. Посебан допринос представља успостављање корелације између микроструктурних карактеристика превлаке, расподеле активних фаза по дубини и електрохемијског понашања анода у условима РИК. Уводи се и приступ заснован на анализи динамичких електрохемијских одзива превлаке током њене дестабилизације, што омогућава увид у промене активности кроз порозну структуру оксидне превлаке и представља основу за даље моделовање и оптимизацију ових електрокаталитичких материјала у захтевним индустријским условима примене.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру докторске дисертације цитирано је укупно 238 референци, које указују на актуелност истраживања у испитиваној области. Већина референци односи се на научне радове објављене у реномираним међународним часописима који се баве тематиком значајном за израду докторске дисертације, при чему је велики број публикан у последњој деценији. Истраживања представљена у наведеним референцама коришћена су као основа за планирање експерименталног рада, као и за анализу и тумачење резултата добијених током израде дисертације и извођење закључка. Поред тога, у литератури су заступљене и књиге, монографије и релевантни прегледни радови старијег датума, који пружају основна теоријска сазнања из ове области и представљају полазну основу за разумевање и интерпретацију експерименталних резултата. У оквиру наведене литературе налазе се и поједине публикације кандидата Јоване М. Бошњакловић, које су проистекле из истраживања повезаних са овом десертацијом и објављене су у међународним научним часописима.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Карактеризација мешовитих оксидних превлака вршена је применом више савремених аналитичких метода. Анализе помоћу скенирајуће електронске микроскопије (СЕМ) спроведене су коришћењем двојног система FEI Helios Nanolab 650, који је радио у режимима секундарних електрона (СЕ) и повратно расејаних електрона (ПРЕ). Режим СЕ је примењен за добијање слике високе резолуције која пружа информације о морфологији површине и топографским карактеристикама, док је ПРЕ режим, осетљив на контраст атомских бројева, коришћен за анализу површинске нехомогености у атомском саставу. Хемијски састав површине узорака испитиван је коришћењем фотоелектронске спектроскопије (ФЕСЗ) на инструменту Genesis (Ulvac-PHI, Japan), опремљеном монохроматским извором зрачења $\text{AlK}\alpha$ (енергија фотона = 1486,6 eV). Прикупљени ФЕСЗ подаци пружили су кључне информације о хемијском саставу и оксидационим стањима атомских компоненти превлаке у површинском слоју, што је од суштинског значаја за разјашњење расподеле електрокаталитички активних компоненти у испитиваним превлакама и промена у њиховом саставу током рада анода под дефинисаним условима. Кристална структура узорака је анализирана рендгенском дифракцијом (РД)

помоћу дифрактометра Rigaku Ultima IV (Rigaku, Токио, Јапан) опремљеног Ni-филтрираним CuK α зрачењем. РД је спроведена ради процене утицаја протокола предtretмана подлоге и наношења каталитичке превлаке на кристалну структуру титанијумских подлога и електрода пресвучених слојем IrO $_2$ /Ta $_2$ O $_5$.

Мешовита оксидна превлака је даље електрохемијски окарактерисана на потенциостату Biologic SP-300. Мешовити оксид IrO $_2$ -Ta $_2$ O $_5$ електрохемијски је испитан у облику танког слоја на титанским анодама, помоћу следећих техника: циклична волтаметрија, електрохемијска импедансна спектроскопија и линеарна поларизација при РИК. Стабилност добијених анода је испитана убрзаним тестом стабилности. Број и површинска расподела активних места за РИК у превлакама су испитани методом електрохемијске импедансне спектроскопије.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати ове докторске дисертације имају значајну научну и практичну примену у области развоја електрокаталитичких материјала код електрохемијских технологија. Добијени резултати доприносе бољем разумевању утицаја поступка припреме, структуре и састава IrO $_2$ -Ta $_2$ O $_5$ /Ti анода на њихову електрокаталитичку активност, стабилност и механизме деградације у условима РИК. Успостављене корелације између микроструктурних карактеристика превлаке и електрохемијског понашања анода представљају основу за оптимизацију и унапређење одлика ових материјала у зависности од процеса у којем се примењују.

Практична примена добијених резултата огледа се у могућности унапређења технологија заснованих на електролизи водених раствора у којима је основна анодна реакција РИК, као што су електрохемијски третман отпадних вода, производња „зеленог” водоника, хидрометалуршки процеси и системи катодне заштите од корозије. Посебан значај имају резултати који се односе на оптимизацију радног века анода и смањење садржаја племенитог метала уз рециклажу отпаних анода њиховом реактивацијом, што доприноси економичности и одрживости индустријских електрохемијских процеса.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу остварених резултата током докторских студија и досадашњег анагажовања у научноистраживачком раду, комисија је оценила да је кандидат Јована М. Бошњаковић, мастер инжењер технологије, показала завидан ниво самосталности у раду и способност и заинтересованост за бављењем научним истраживањима, као и стручним усавршавањима и међународном сарадњом у истраживањима. Током спровођења експерименталних истраживања кандидаткиња је испољила висок степен одговорности и систематичности у планирању и реализацији истраживачких активности, као и у анализи и тумачењу добијених резултата. Остварени научни резултати у области истраживања теме дисертације потврђени су кроз научне публикације и саопштења објављених на међународним и националним скуповима и у научним часописима (M21). Имајући у виду све наведено, комисија сматра да кандидат Јована М. Бошњаковић поседује неопходне научне и стручне компетенције за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси резултата истраживања ове докторске дисертације су:

- Систематично је испитан утицај параметара припреме титанијумске подлоге за наношење активне превлаке, укључујући састав раствора прекурсора и протокол испирања титанијумске подлоге, на микроструктурна и електрохемијска својства IrO $_2$ -Ta $_2$ O $_5$,
- Утврђена је корелација између ефективних параметара електрокаталитичке активности и стабилности IrO $_2$ -Ta $_2$ O $_5$ превлака и оперативних карактеристика анода у различитим електролитичким условима РИК,
- Успостављена је поуздана веза између микроструктурних карактеристика оксидне превлаке (морфологије, расподеле активних места и хомогености структуре) и електрохемијских параметара активности и стабилности анода,

- Испитан је утицај концентрације H_2SO_4 као електролита на електрохемијско понашање и стабилност $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5/\text{Ti}$ анода, што је омогућило боље разумевање механизма деградације у условима убрзаног теста стабилности,
- Применом комбинованих електрохемијских метода (циклична и линеарна волтаметрија, електрохемијска импедансна спектроскопија и анализа Тафелових нагиба) разјашњени су кинетични процеси који контролишу активност и деградацију анода током РИК,
- Развијен је аналитички приступ заснован на анализи динамичких електрохемијских одзива превлаке, који омогућава увид у промене активности кроз порозну структуру $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$ превлаке и представља основу за моделовање и оптимизацију електрокаталитичких анода за захтевне индустријске услове примене,
- Показано је да оптимизација поступка припреме и структурних карактеристика превлаке омогућава унапређење електрокаталитичке активности и стабилности $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$ анода, као и потенцијално смањење садржаја племенитог метала уз задржавање жељених одлика аноде у модел процесу РИК из киселе средине,
- Указано је на могућност повећања ефикасноси електрохемијских технологија које имају велики значај у заштити животне средине.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Досадашња истраживања $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$ анода углавном су била усмерена на испитивање њихове електрокаталитичке активности и стабилности за РИК, као и на унапређење поступка њихове припреме. Иако је познато да микроструктура превлаке, расподела активних компоненти и услови електролизе значајно утичу на електрохемијске карактеристике анода, механизми који повезују ове параметре са оперативним понашањем анода у реалним условима рада нису у потпуности разјашњени. Посебно је ограничено разумевање утицаја расподеле активних фаза по дубини превлаке као и утицаја параметара припреме анода и састава електрокаталитичке средине на процесе деградације током рада. Резултати ове докторске дисертације доприносе унапређењу постојећих научних сазнања кроз систематично испитивање утицаја поступка припреме, структурних карактеристика и оперативних услова на електрохемијско понашање $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5/\text{Ti}$ анода. Примена комбинованих електрохемијских метода и анализа динамичких електрохемијских одзива омогућила је детаљнији увид у кинетичке процесе који контролишу активност и стабилност ових анодних материјала. Посебан научни допринос представља успостављање корелације између микроструктуре превлаке, површинске расподеле активних фаза и електрокаталитичке активности и стабилности анода, што омогућава боље разумевање механизма деградације у условима РИК. На тај начин, резултати дисертације представљају значајан допринос у унапређењу научних знања у области развоја и оптимизације мешовитих оксидних анода за примену у савременим електрохемијским технологијама.

4.3. Верификација научних доприноса

Из ове докторске дисертације проистекли су следећи резултати:

Категорија M21a:

1. **Bošnjaković, J.**, Panić, V., Drnovšek, A., Kovač, J., Šekularac, G. (2025). Impact of catalytic ink solvent composition and rinsing protocols on microstructure and electrocatalytic performance of $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5/\text{Ti}$ anodes for oxygen evolution reaction. *Journal of Alloys and Compounds*, 1048, 185185. (IF=6,3) (ISSN: 0925-8388) (<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2025.185185>)

Категорија M21:

1. **Bošnjaković, J.**, Stevanović, M., Mihailović, M., Tadić, V., Stevanović, J., Panić, V., Šekularac, G. (2025). Activity and Operational Loss of $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5/\text{Ti}$ Anodes During Oxygen Evolution in Acidic Solutions. *Metals*, 15(7), 721. (IF=2,5) (ISSN: 2075-4701) (<https://doi.org/10.3390/met15070721>)

2. **Bošnjaković, J.**, Panić, V., Stevanović, M., Stopić, S., Stevanović, J., Grgur, B., Šekularac, G. (2024). Revealing the Surface and In-Depth Operational Performances of Oxygen-Evolving Anode Coatings: A Guideline for the Synthesis of Inert Durable Anodes in Metal Electrowinning from Acid Solutions. *Metals*, 14(12), 1339. (IF=2.5) (ISSN: 2075-4701) (<https://doi.org/10.3390/met14121339>)

5. ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду (Гласник Универзитета у Београду, бр. 204 од 22. јуна 2018. године), коришћењем програма iThenticate (6. марта 2026. године) извршена је провера оригиналности докторске дисертације кандидата Јоване М. Бошњаковић под називом „Електрохемијско профилисање структуре порозне тантал(V)/иридијум(IV) – оксидне превлаке на електроди за издвајање кисеоника са побољшаним карактеристикама.” Утврђени проценат подударности је 3%. Овај мали степен подударности последица је коришћења уобичајених термина, нпр: На слици...је приказано, Са слике се може видети, Физичких величина и јединица, као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из његове дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника.

На основу свега изложеног Комисија сматра да је докторска дисертација кандидата Јоване М. Бошњаковић оригинална, као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега наведеног Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Јоване М. Бошњаковић, мастер инжењера технологије, под називом „Електрохемијско профилисање структуре порозне тантал(V)/иридијум(IV) – оксидне превлаке на електроди за издвајање кисеоника са побољшаним карактеристикама” представља значајан и оригинални научни допринос у области Технолошког инжењерства и Заштите животне средине, што је потврђено објављивањем радова у међународним часописима (M21). Комисија сматра да су постављени циљеви у потпуности остварени. Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета да се докторска дисертација под називом „Електрохемијско профилисање структуре порозне тантал(V)/иридијум(IV) – оксидне превлаке на електроди за издвајање кисеоника са побољшаним карактеристикама” кандидата Јоване М. Бошњаковић, мастер инжењера технологије, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области Техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду,
11. март 2026. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Маја Ђолић, доцент
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Мила Крстајић Пајић, доцент
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Владимир Панић, научни саветник
Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију -Институт од
националног значаја за Републику Србију