

Образац 3.

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУРШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/24

Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

10. 2. 2025.

(Датум)

ЗАХТЕВ

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

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

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

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Инжењерство заштите животне средине

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Јована (Милоје) Бошњаковић

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

Универзитет у Београду,

Технолошко-металуршки факултет, Мастер инжењер технологије, Инжењерство материјала

3. Година завршетка
претходног нивоа студија: 2016.

4. Година уписа на докторске студије: 2018.

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Инжењерство заштите животне средине

6. Датум подношења пријаве
теме докторске дисертације:

9. 12. 2024.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

за кандидата **Јована Бошњаковић**

Име и презиме ментора: **др Бранимир Гргур**

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

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Predrag N. Stojisavljević, Negovan D. Ivanković, Dušan Ž. Mijin, Anđelka V. Tomašević, **Branimir N. Grgur**, Aleksandra D. Samolov, Stevan Lj. Stupar, Direct electrochemical degradation of carbamate pesticide methomyl using IrO_x anode, *International Journal of Electrochemical Science*, 17 (2022) 220757 DOI: <https://doi.org/10.20964/2022.07.56> ISSN 1452-3981 (IF₂₀₂₂ = 1.5)
2. Stevan Lj. Stupar, **Branimir N. Grgur**, Marina M. Radišić, Antonije E. Onjia, Negovan D. Ivanković, Anđelka V. Tomašević, Dušan Ž. Mijin, Oxidative degradation of Acid Blue 111 by electro-assisted Fenton process, *Journal of Water Process Engineering*, 36 (2020) art. no. 101394 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101394> ISSN 2214-7144 (IF₂₀₂₀ = 7.340)
3. **Branimir N. Grgur**, Electrochemical Oxidation of Bromides on DSA/RuO₂ Anode in the semi-industrial batch reactor for on-site water disinfection, *Journal of the Electrochemical Society*, 16(2)(2019) E50-E61. <https://doi.org/10.1149/2.1391902jes> ISSN 0013-4651 (IF₂₀₁₉ = 3.721)
4. Dušan Ž. Mijin, Marina M. Radišić, Nataša Ž. Šekuljica, **B.N. Grgur**, Electrochemical decolorization of C.I. Acid Orange 3 in the presence of sodium chloride at iridium oxide electrode, *Chemical Papers*, 71 (11) (2017) 2173–2184. <https://doi.org/10.1007/s11696-017-0211-y> ISSN 0366-6352 (IF₂₀₁₇ = 0.963)
5. Stevan Lj. Stupar, **Branimir N. Grgur**, Antonije E. Onjia, Dušan Ž. Mijin, Direct and indirect electrochemical degradation of acid blue 111 using IrO_x anode, *International Journal of Electrochemical Science*, 12 (9) (2017) 8564-8577. <https://doi.org/10.20964/2017.09.44> ISSN 1452-3981 (IF₂₀₁₇ = 1.369)

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

Проф. др Мирјана Кијевчанин

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 2:

за кандидата **Јована Бошњаковић**

Име и презиме ментора: **др Гаврило Шекуларак**

Звање: научни сарадник Универзитета у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **Šekularac, Gavrilо**, Ingrid Milošev. "Electrochemical behavior and Self-Sealing ability of zirconium conversion coating applied on aluminum Alloy 3005 in 0.5 M NaCl Solution." *Journal of the Electrochemical Society* 167, no. 2 (2020): 021509. doi: 10.1149/1945-7111/ab6b0d ISSN 0013-4651 (IF:4.227)
2. **Šekularac, Gavrilо**, Janez Kovač, Ingrid Milošev. "Prolonged protection, by zirconium conversion coatings, of AlSi7Mg0.3 aluminium alloy in chloride solution." *Corrosion Science*, 169 (2020): 108615. doi.org/10.1016/j.corsci.2018.08.038 ISSN 0010-938X (IF:7.842)
3. **Šekularac, Gavrilо**, Janez Kovač, Ingrid Milošev. "Comparison of the Electrochemical Behaviour and Self-sealing of Zirconium Conversion Coatings Applied on Aluminium Alloys of series 1xxx to 7xxx." *Journal of The Electrochemical Society*, 167, no. 11 (2020): 111506. doi: 10.1149/1945-7111/aba875 ISSN 0013-4651 (IF:4.227)
4. **Šekularac, Gavrilо**, Ingrid Milošev. "Corrosion of aluminium alloy AlSi7Mg0.3 in artificial sea water with added sodium sulphide." *Corrosion Science*, 144 (2018): 54-73. doi.org/10.1016/j.corsci.2018.08.038 ISSN 0010-938X (IF:7.169)
5. **Šekularac, Gavrilо**, Milica Košević, Aleksandar Dekanski, Veljko Djokić, Matjaž Panjan, Vladimir Panić. "High energy/power supercapacitor performances of intrinsically ordered ruthenium oxide prepared through fast hydrothermal synthesis." *ChemElectroChem*, 4, no. 10 (2017): 2535-2541. doi.org/10.1002/celc.201700609 ISSN 2196-0216 (IF:4.169)

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

Проф. др Мирјана Кијевчанин

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној 6. 2. 2025. године размотрило предложену тему и закључило да је

тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од
значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

Прилог 1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора

2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

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



Република Србија
Универзитет у Београду
Технолошко-металуршки факултет

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНОЛОШКО МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ

Бр. 20/216

29 ОСТ 2024

год.

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
Prof. dr. Mirjana Kijevcancin
Проф. др Мирјана Кијевчанин



ДП

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 33. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 6. 2. 2025. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата
за израду докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације **Јоване Бошњакловић**, број индекса 4030/2018, под називом: **„Електрохемијско профилисање структуре порозне тантал(V)/иридијум(IV)-оксидне превлаке на електроди за издвајање кисеоника са побољшаним карактеристикама“.**

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

За менторе се одређују др Бранимир Гргур, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Гаврило Шекуларац, научни сарадник Института за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију.

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

Д Е К А Н К А

Проф. др Мирјана Кијевчанин

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Предмет: Подобност теме и кандидата Јоване Бошњаковић за израду докторске дисертације

Одлуком .35/328. бр. од 26.12.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Јоване Бошњаковић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Електрохемијско профилисање структуре порозне тантал(V)/иридијум(IV) – оксидне превлаке на електроди за издвајање кисеоника са побољшаним карактеристикама“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Јована Бошњаковић, рођена је 11.01.1992. године у Чачку, где је завршила основну школу „Свети Сава” и Гимназију. Основне академске студије уписала је школске 2011/2012. године на Технолошко-металуршком факултету у Београду, студијски програм Инжењерство материјала, изборно подручје Композитни материјали. У септембру 2015. године, дипломирала је одбранивши завршни рад под називом „Физичко-механичка својства поли(метил метакрилата) допираног честицама итријум-алуминијум-гранита (УАГ)” под менторством проф. др Весне Радојевић. На истом факултету школске 2015/2016. године уписала је мастер студије, студијски програм Инжењерство материјала. Мастер студије завршила је у септембру 2016. године одбранивши рад на тему „Физичко-механичка својства филма поли(метил метакрилат)-цинк-сулфид квантне тачке” под менторством проф. др Весне Радојевић. Средња оцена током основних и мастер студија била је 9,04. Докторске студије уписала је школске 2018/2019. године на Технолошко-металуршком факултету у Београду, студијски програм Инжењерство заштите животне средине. Од јануара 2019. била је запослена у Лола Институту, Кнеза Вишеслава 70а, а од јуна 2023. године, као истраживач-сарадник у Институту за хемију, технологију и металургију, Институту од националног значаја за Републику Србију у Центру за електрохемију.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Октобра 2018. године Јована Бошњаковић уписала је докторске студије на смеру Инжењерство заштите животне средине. У оквиру докторских студија положила је све испите предвиђене студијским планом и програмом са просечном оценом 9,67 и одбранила завршни испит са оценом 10. Списак положених испита на докторским студијама:

	Предмет	Број ЕСПБ	Оцена
1.	Технологија припреме воде	5	10
2.	Индустријска екологија	5	9
3.	Биокомозитни материјали	5	10
4.	Хемијска кинетика	5	7
5.	Метал, угљенични и керамички композити	5	10
6.	Физичко-механичка испитивања материјала-виши курс	5	10
7.	Квантификација визуелних информација	5	10
8.	Структура и својства композитних материјала са полимерном матрицом	5	10
9.	Термодинамика чврстог стања	5	10
10.	Економија животне средине и одрживи развој	4	10
11.	Одабрана поглавља математичке анализе	5	10
12.	Енглески језик	-	положила
13.	Завршни испит	30	10
	Укупно	84	9,67

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

Учесник је на Нато пројекту, чији су носиоци Факултет хемијског инжењерства и технологије, Свеучилиште у Загребу, Институт за хемију, технологију и металургију, Универзитет у Београду и Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweeden, под називом „ High Energy Calcium-Oxygen Batteries – CaO-Bat.” Члан је 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, финансираног од стране Фонда за науку Републике Србије. Научноистраживачки рад Јоване Бошњакковић усмерен је ка испитивању електрохемијских својстава вишеслојних превлака на бази $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$ на Ti – подлози са циљем дефинисања операционих карактеристика електрода за издвајање кисеоника у процесима добијања метала, зеленог водоника, третмана отпадних индустријских вода и катодној заштити од корозије, што представља и тему њене докторске дисертације. Из области истраживања којој припада предложена тема докторске дисертације, кандидат је аутор једног рада у врхунском међународном часопису (M21) и једног саопштења на скупу међународног значаја (M34).

Библиографија научних и стручних радова

Радови у међународним часописима (M21):

1. Bošnjaković, J., Panić, V., Stevanović, M., Stopic, S., Stevanović, J., Grgur, B., Šekularac, G.: *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, Vol 14, No 12, 2024, pp. 1-13. (ISSN: 0352-5139, IF (2020) = 1.240).

Саопштења са међународних скупова штампана у изводу (M34):

1. Bošnjaković, J., Panić, V., Stevanović, J., Šekularac, G.: *Discretization on the basic electrochemical properties of oxygen-evolving $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$ electrodes as a tool to evaluate the electrode uniformity and operational behavior*, 9th Regional Symposium on Electrochemistry - South-East Europe, Novi Sad, Serbia, pp. 111.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу досадашњег рада и остварених резултата током докторских студија, Јована Бошњаковић, мастер инжењер технологије, показала је изузетну склоност и способност ка научноистраживачком раду и стручним усавршавањима. Способна је да самостално обавља и реализује истраживања везана за тему докторске дисертације, али и одлично се сналази у тимском раду на истраживањима у оквиру пројеката на којима је ангажована. У области истраживања предложене теме, резултати се огледају кроз објављивање рада у врхунском међународном часопису (M21) и једног саопштења на скупу међународног значаја (M34). саопштења међународног карактера. На основу биографских података кандидаткиње, њених научних и стручних доприноса, као и објављених радова, Комисија сматра да је кандидаткиња подобра за ефикасан теоријски и експериментални рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања ове докторске дисертације је испитивање електрохемијских својстава вишеслојних превлака на бази $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$ на Ti – подлози са циљем дефинисања операционих карактеристика електрода за издвајање кисеоника у процесима добијања метала, зеленог водоника, третмана отпадних индустријских вода и катодној заштити од корозије.

Индустријска производња белог лима за паковање хране и метала хидрометалуршким процесима, ремедијација загађеног земљишта и отпадних вода, као и добијање водоника из обновљивих извора енергије, захтевају стабилан и еколошки прихватљив електродни материјал који се користи за оксидацију воде и органских загађујућих супстанци уз што мању потрошњу електричне енергије. Најчешће су то процеси који подразумевају употребу титанијумских анода са активним и скупим превлакама на бази оксида племенитих метала, пре свега иридијума који имају ограничен век трајања. Титанијумске аноде након завршетка радног века одлажу се или као отпадни материјал или се врши услужна репарација истрошене превлаке. Активност и радни век репарираних анода комплексно, а често и недефинисано зависе од састава, структуре и дебљине превлаке. Титанијумске аноде на бази проводних оксида метала, као што су PtO_2 , SnO_2 , IrO_2 , RuO_2 , Co_3O_4 , привукле су пажњу јавности још седамдесетих година прошлог века. Електрокаталитички премаз који се наноси на аноду, састоји се од смеша поменутих проводних, непроводних или полупроводних оксида, на бази TiO_2 и Ta_2O_5 . Тако добијене аноде поседују изузетна електрохемијска својства у реакцијама добијања хлора, водоника и кисеоника, као и у органским и електроорганским реакцијама и синтезама. Електрохемијски допринос и микроструктура оксидних електрода зависе од поступка припреме супстрата на који се наноси оксидни слој, методе наношења премаза, од раствора прекурсора, итд.

Аноде са превлаком на бази TiO_2 , RuO_2 и IrO_2 , поседују веома добру механичку стабилност, имају вишедеценијску индустријску примену у катодној заштити челичних конструкција и хлор-алакалној електролизи. Аноде на бази RuO_2 највећу примену имају у већ поменутој хлор-алкалној индустрији (око 90% заступљености), захваљујући dobrim електрокаталитичким својствима за реакцију издвајања хлора и великој стабилности код електролизе слане воде. Век трајања ових анода је десет и више година. Међутим, животни век ових анода је јако кратак за реакције добијања кисеоника, упркос томе што је RuO_2 добар електрокаталитизатор за исте реакције. За разлику од RuO_2 , IrO_2 који је стабилнији, у комбинацији са осталим металним оксидима, попут TiO_2 , ZrO_2 , Ta_2O_5 , SnO_2 , Co_3O_4 , постао је незаменљива активна компонента код анода које се примењују у реакцијама издвајања кисеоника. Такође, поседује и већу отпорност на корозију у односу на остале поменуте оксиде. На основу прегледа литературе, превлака на бази $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$ код које је молски однос 70 mol% Ir и 30 mol% Ta, показале су се као једне од најбољих превлака за реакцију добијања

кисеоника. Премази на бази IrO_2 – Ta_2O_5 на Ti – супстрату највише се примењују у процесима електродепозиције, код анодне оксидације, у електрогалванским процесима који се изводе при великим брзинама, итд. Захваљујући својим изузетним електрокаталитичким својствима, великој отпорности на корозију, чак и при јако агресивним условима рада, и великој трајности, ове електроде се сматрају најактивнијим електрокатализатором за реакције издвајања кисеоника. Стога је императив додатно побољшање операционе стабилности ових анода, а посебно успостављање јасне корелације између њених електрохемијских карактеристика и структуре узрочно-последично повезани са корацима процеса формирања активне превлаке. Истраживања су показала да на смањење радног века анода на бази IrO_2 и бржи губитак стабилности, знатно утичу оштрији операциони параметри са којима нису усклађени структура и састав превлаке.

Због ниске цене коштања и једноставности процеса, аноде које се користе у индустрији се обично добијају методом термичке разградње неорганских соли метала. Одговарајуће соли се растварају у органским или воденим растворима и наносе на Ti подлогу накапавањем, премазивањем или прскањем. Код превлака које су добијене овим поступком, јавља се нехомогена структура са неравномерном расподелом по површини и дебљини превлаке, са великим бројем пукотина. Превлака се састоји од кристалних IrO_2 агрегата сконцентрисаних између пукотина превлаке, и аморфног Ta_2O_5 . Ове физичко-хемијске карактеристике знатно и нејасно дефинисано утичу на електрокаталитичка својства, стабилност и радну ефикасност превлаке.

Циљ истраживања ове докторске дисертације је развој електрохемијског-морфолошког аналитичког алата (ЕМА) за карактеризацију односа између електрохемијских својстава и операционих карактеристика репарираних истрошених титанијумских анода који ће јасно дефинисати услове синтезе оксида и формирања превлаке како би се побољшао радни век анода које се користе у различитим индустријским гранама и операционо изложене ниским вредностима рН, различитим температурним режимима и екстремно високим радним густинама струје.

Појединачни циљеви ове докторске дисертације су:

- Изналажење ефикасног и једноставног поступка претходног третмана истрошених титанијумских анода и припрема површине Ti -подлоге за наношење превлаке са продуженим радним веком (кораци механичког и хемијског чишћења, нагризања, испирања и сушења),
- Припрема смеше прекурсора IrO_2 и Ta_2O_5 дефинисаних састава за једнослојно и вишеслојно наношење превлаке која доводи до побољшања операционих карактеристика и стабилност репарираних анода,
- Корелисање параметара припреме Ti -подлоге, састава смеше оксида и начина наношења превлаке и операционих параметара теста њене стабилности, односно радног века аноде. Корелација ће бити једнозначно дефинисана применом развијеног алата ЕМА.
- Испитивање релевантних односа између података ЕМА и осталих физичко-хемијских карактеристика морфологије репарираних анода продуженог века трајања.

Списак литературе која ће бити коришћена:

- [1] J. Bošnjaković, V. Panić, M. Stevanović, S. Stopić, J. Stevanović, B. Grgur, and G. Šekularac. (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*, Vol. 14(12), pp 1-13. <https://doi.org/10.3390/met14121339>
- [2] Y. Liu, L. Xu, J. Xuan, Y. Xin, Y. Li, T. Duan, F. Liu. (2023) A comparative study on Ti/IrO_2 - Ta_2O_5 anodes prepared by microwave plasma-assisted sintering and conventional thermal decomposition methods, *Journal of Materials Science and Technology* Vol. 23, pp 1447-1457. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.01.099>

- [3] R. Shan, Z. Zhang, M. Kan, T. Zhang, Q. Zan, Y. Zhao. (2015) A novel highly active nanostructured IrO₂/Ti anode for water oxidation, *International journal of hydrogen energy* Vol. 40, pp 14279-14283.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.04.071>
- [4] B. Tang, F. Yang, Ch. Chen, Ch. Shi, W. Deng, J. Li, L. Jiang. (2023) A novel lead-based pseudo dimensional stable anode toward efficient and clean extraction of metallic manganese, *Journal of Cleaner Production* Vol. 386, pp 135-806.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135806>
- [5] L.K. Xu, J.D. Scantlebury. (2003) A study on the deactivation of an IrO₂-Ta₂O₅ coated titanium anode, *Corrosion Science* Vol. 45, pp 2729-2740.
[https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(03\)00108-2](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(03)00108-2)
- [6] J.Y. Lee¹, D. K. Kang, K. Lee, D. Chang. (2011) An Investigation on the Electrochemical Characteristics of Ta₂O₅-IrO₂ Anodes for the Application of Electrolysis Process, *Materials Sciences and Applications* Vol. 2, pp 237-243.
<https://doi.org/10.4236/msa.2011.24030>
- [7] K. Bhattacharyya, C. Poidevin, A. A. Auer. (2021) Structure and Reactivity of IrO_x Nanoparticles for the Oxygen Evolution Reaction in Electrocatalysis: An Electronic Structure Theory Study, *The Journal of Physical Chemistry C* Vol. 125, pp 4379-4390.
<https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.0c10092>
- [8] W. Xu, G. M. Haarberg, S. Sunde, F. Seland, A. P. Ratvik, E. Zimmerman, T. Shimamune, J. Gustavsson, T. Åkred. (2017) Calcination Temperature Dependent Catalytic Activity and Stability of IrO₂-Ta₂O₅ Anodes for Oxygen Evolution Reaction in Aqueous Sulfate Electrolytes, *Journal of The Electrochemical Society* Vol. 164, pp 895-900.
doi: 10.1149/2.0061710jes
- [9] H. Cao, L. Zhang, M. Chen. (2022) Characteristics of anodic TiO₂ nanotube arrays mediated IrO₂ Active Anode in the Oxygen Evolution Reaction, *International journal of electrochemical science* Vol. 17, pp 2-13.
<https://doi.org/10.20964/2022.04.63>
- [10] O. Kasian, S. Geiger, T. Li, J. P. Grote, K. Schweinar, S. Zhang, C. Scheu, D. Raabe, S. Cherevko, B. Gault, K. J. J. Mayrhofer. (2019) Degradation of iridium oxides via oxygen evolution from the lattice: correlating atomic scale structure with reaction mechanisms, *Energy & Environmental Science* Vol. 12, pp 3548-3555.
<https://doi.org/10.1039/C9EE01872G>
- [11] L. Byung-Seok, A. Sang Hyun, P. Hee-Young, Ch. Insoo, Y. Sung Jong, K. Hyoung-Juhn, H. Dirk, K. Jin Young, P. Sehkyu, N. Suk Woo, L. Kwan-Young, J. Jong Hyun. (2015) Development of electrodeposited IrO₂ electrodes as anodes in polymer electrolyte membrane water electrolysis, *Applied Catalysis B: Environmental* Vol. 179, pp 285-291.
<https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.05.027>
- [12] Z. Yan, G. Li, J. Wang, Z. Zhang, Z. Feng, M. Tang, R. Zhang. (2016) Electro-catalytic study of IrO₂-Ta₂O₅ coated anodes with pretreated titanium substrates, *Journal of Alloys and Compounds* Vol. 680, pp 60-66.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.04.090>
- [13] B. Liu, Ch. Wang, Y. Chen, B. Ma. (2019) Electrochemical behavior and corrosion mechanism of Ti/IrO₂-RuO₂ anodes in sulphuric acid solution, *Journal of Electroanalytical Chemistry* Vol. 837, pp 175-183.
<https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2019.02.039>
- [14] H. Cao, M. Chen, L. Wu, G. Hou, Y. Tang, G. Zheng. (2018) Electrochemical properties of IrO₂ active anode with TNTs interlayer for oxygen evolution, *Applied Surface Science* Vol. 428, pp 861-869.
<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.09.169>
- [15] J. E. Park, H. Lee, S. H. Oh, S. Y. Kang, I. Choi, Y. H. Cho, Y. E. Sung. (2019) Electrodeposited mesh-type dimensionally stable anode for oxygen evolution reaction in acidic and

[16] K. Kawaguchi¹, M. Morimitsu. (2020) Reaction Selectivity of IrO₂-Based Nano/Amorphous Hybrid Oxide-Coated Titanium Anodes in Acidic Aqueous Solutions: Oxygen Evolution and Lead Oxide Deposition, Journal of The Electrochemical Society Vol. 167, pp 133-503.

<https://doi.org/10.1149/1945-7111/abb7e8>

3. Полазне хипотезе

Иако су електроде активне за реакцију издвајања кисеоника одавно познате и опсежно истраживане, присутно је растуће интересовање за побољшање њихових карактеристика због њихове незаменљивости у процесима добијања метала, који се убрзано диверзификују због све веће актуелизације потребе за ефикасним поступцима електроекстракције стратешких металних сировина, укључујући и секундарне. Поред тога овај материјал је незаменљив у процесима електролизе воде, диктирајући његове операционе карактеристике, који су основа технологије производње зеленог горива из обновљивих извора енергије. Из ових разлога поново су актуелизовани трендови истраживања на побољшању карактеристика електрода за издвајање кисеоника. Имајући у виду да на активност, стабилност и квалитет репарације електрода утичу параметри који се односе на ефективно стање титанијумске подлоге и њене активне оксидне превлаке. Полазне хипотезе засноване су на постојању једнозначне корелације између електрохемијских карактеристика превлаке и активности и стабилности радног века електроде за издвајање кисеоника и састоје се у следећем:

- могуће је изналажење ефикасног и једноставног поступка претходног третмана истрошених титанијумских анода и припрема површине Ti-подлоге за наношење превлаке са продуженим радним веком, на основу дефинисане разлике у електрохемијским карактеристикама превлаке.
- могуће је добити поуздане податке у кратком временском периоду о радном веку оксидних превлака корелацијом података убрзаног теста стабилности у лабораторијским условима уз претпоставку да већа концентрација сумпорне киселине и повећање операционе густине струје при истој концентрацији сумпорне киселине скраћује радни век и време добијања релевантних података о стабилности превлаке.
- подаци добијени алатом ЕМА који се односе на електрохемијску расподелу пора и садржаја електрокатализатора кроз дубину превлаке једнозначно указују на очекиване операционе карактеристике електроде под одређеним условима интензивног издвајања кисеоника.
- подаци ЕМА јасно указују на узрок („слабу тачку“) која диктира процес губитка електрокаталитичке активности превлаке.

4. Научне методе истраживања

Аналитички-електрохемијски алат заснива се на комбинованој анализи резултата које се добијају методама потенциодинамичке линеарне поларизације (LSV), цикличне волтаметрије (CV), спектроскопије електрохемијске импеданције (SEI) и убрзаног теста стабилности (UTS) под различитим операционим параметрима. Утврђивање предвиђене везе електрохемијског профилисања превлаке које се односи на дефинисане електрохемијске расподеле пора и активности кроз дубину превлаке са њеним реалним структурно-морфолошким карактеристикама испитаће се и скенирајућом и високо резолуционом електронском микроскопијом са спектроскопијом X-зрака дисперговане енергије (FE-SEM, SEM-EDS) и рендгенске дифракционе анализе.

5. Очекивани научни допринос

Утврђивање корелације између ефективних параметара активности и стабилности превлаке добијених у кратком временском периоду и операционих карактеристика аноде примењене у специфичним процесима са различитим операционим параметрима применом поузданог аналитичког апарата представља основни допринос предложене дисертације. Иако је познато да карактеристична расподела активне компоненте кроз дубину превлаке знатно утиче на њене електрохемијске карактеристике, једнозначно дефинисан узрок ове чињенице, као ни квантификација његовог стабилишућег ефекта под различитим операционим параметрима нису познати. Темелјан приступ анализи параметара добијених алатом ЕМА омогући ће поуздану корелацију параметара анализираних појединачним циљевима дисертације и предикцију поступка активације превлаком за жељене операционе карактеристике електроде за издвајање кисеоника у специфичном електролитичком режиму.

6. План истраживања и структура рада

Истраживања у овој докторској дисертацији су планирана по следећим фазама:

- репарација истрошених титанијумских анода одговарајућим поступцима чишћења и претходног механичко-хемијског третмана површине титанијумске подлоге,
- припрема смеше прекусора различитих састава физичко-хемијским поступцима,
- примена различитих поступака наношења смеше прекусора и формирања оксидне превлаке,
- испитивање основних електрохемијских карактеристика формираних превлака и генерисање улазних параметара за примену аналитичког алата ЕМА,
- испитивање услова за добијање података о стабилности превлаке у кратком временском периоду (испитивање утицаја убрзаног теста стабилности),
- испитивање физичко-хемијских карактеристика превлаке и утврђивање њихове везе са подацима ЕМА,
- анализа излазних параметара алата ЕМА и поузданост корелације електрохемијског профилисања са операционим карактеристикама анода (дужина радног века)

Предложена докторска дисертација биће организована по следећим поглављима: *Увод*, *Теоријски део*, *Експериментални део*, *Резултати и дискусија*, *Закључак* и *Литература*. У поглављу *Увод* биће дефинисани предмет истраживања и главни циљеви дисертације. У оквиру *Теоријског дела* докторске дисертације биће сумирана досадашња истраживања у области електрохемијског добијања гасова са детаљима за реакцију издвајања кисеоника на активираним титанским анодама, као и детаљима који се односе на њихову стабилност, добијање и репарацију. У оквиру *Експерименталног дела*, биће описани поступци за припрему смеше прекусора за добијање превлаке на бази IrO_2 и Ta_2O_5 и карактеризација материјала који су коришћени и синтетисани у дисертацији. У поглављу *Резултати и дискусија*, биће приказани, анализирани и дискутовани резултати експерименталних истраживања. У поглављу *Закључак* биће сумирани сви кључни налази добијени на основу експерименталних резултата и њихове анализе. У поглављу *Литература* биће наведен списак коришћене литературе, као и публикације проистекле из ове докторске дисертације.

7. Закључак и предлог

На основу наведених података, Комисија сматра да је предложена тема докторске дисертације под називом: „Електрохемијско профилисање структуре порозне тантал(V)/иридијум(IV) – оксидне превлаке на електроди за издвајање кисеоника са

побољшаним карактеристикама“ научно заснована и да кандидаткиња Јована Бошњакловић, мастер инжењер технологије, испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације. Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Инжењерство заштите животне средине, за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да кандидаткињи Јовани Бошњакловић одобри израду докторске дисертације под наведеним насловом. За менторе се предлажу др Бранимир Гргур, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Гаврило Шекуларац, научни сарадник Института за хемију, технологију и металургију, Института од националног значаја за Републику Србију.

У Београду, 21.01.2025. године.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Бранимир Гргур, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Гаврило Шекуларац, научни сарадник
Универзитета у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију,
Институт од националног значаја за Републику Србију

.....
Др Татјана Волков Хусовић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Јасмина Стевановић, научни саветник
Универзитета у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију,
Институт од националног значаја за Републику Србију

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