

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

1275/6

(Број захтева)

Веће научних области техничких наука

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

24.12.2024.

(Датум)

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

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

**УТИЦАЈ ПРОЦЕСНИХ ПАРАМЕТАРА ЕЛЕКТРОКОАГУЛАЦИЈЕ НА ЕФИКАСНОСТ
ТРЕТМАНА ОТПАДНИХ ВОДА ИЗ ИНДУСТРИЈЕ ЧЕЛИКА**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: Машинство (ужа научна област: процесна техника)

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

- Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:
ЈОВАНА (ГРУЈО) ГРАДИНАЦ
- Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):
Универзитет у Београду - Машински факултет, Краљице Марије 16, 11120 Београд 35
- Година завршетка претходног нивоа студија: 2018.
- Година уписа на докторске студије: 2018.
- Назив студијског програма докторских студија: Машинско инжењерство

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Александар Јововић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Gradinac, J., Jovovic, A., Investigation regarding the application of the titanium electrode for the water treatment plant in a steel manufacturing plant, Front. Chem. 10:1065332, DOI 10.3389/fchem.2022.1065332, IF 3,8
2. Trninić, M., Stojiljković, D., Manić, N., ...Wang, L., Jovović, A., A mathematical model of biomass downdraft gasification with an integrated pyrolysis model, Fuel, 2020, 265, 116867, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116867>, IF 6,6
3. JelenaMilic, MarijanaCurcic, ZvonkoBrnjac, HristinaCarapina, JasminkaRandjelovic, KatarinaKrinulovic, AleksandarJovovic, The socio-economic impact timeline in Serbia for persistent organic pollutants (POPs), Science of The Total Environment, 688, 2019, 486-493, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.161>, IF 6,5
4. Arbiter, B., Samec, N., Jovović, A.M., Kokalj, F., Assessment of a simplified equilibrium model for waste gasification, Thermal Science, 2019, 23, pp. S1473-S1486, <https://doi.org/10.2298/TSCI180726316A>, IF 1,5
5. Obradović, M.O., Radić, D.B., Todorović, D.M., ...Karličić, N.V., Stanojević, M.M., Practical assessment of grinding capacity and power consumption based on hardgrove grindability index and coal characteristics, Thermal Science, 2019, 23, S1533-S1542, <https://doi.org/10.2298/TSCI1806053760>, IF 1,5

Обавештавамо вас да је Наставно – научно веће на седници одржаној 24.12.2024. 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.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

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 једном писаном примерку за архиву Универзитета

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 1275/6
Датум: 24.12.2024. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017, 73/2018, 27/2018 – др. закон 67/2019, 6/2020 – др. закони, 11/2021 – аутентично тумачење, 67/2021, 67/2021 – др. закон и 76/2023), члана 64. Статута Машинског факултета – пречишћени текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године), Одлуке о изменама и допунама Статута број 239/6 од 17.02.2023. године и члана 38. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду - Машинском факултету, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 24.12.2024. године донело је:

О Д Л У К У
о прихватању Извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације

Прихвата се Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата **ЈОВАНЕ ГРАДИНАЦ**, маг. инж. маш. под насловом „**УТИЦАЈ ПРОЦЕСНИХ ПАРАМЕТАРА ЕЛЕКТРОКОАГУЛАЦИЈЕ НА ЕФИКАСНОСТ ТРЕТМАНА ОТПАДНИХ ВОДА ИЗ ИНДУСТРИЈЕ ЧЕЛИКА**“.

Извештај је поднела Комисија у саставу: др Дејан Радић, ред. проф., др Душан Тодоровић, ванр. проф. и др Горица Иваниш, виши научни сарадник, Универзитет у Београду, Технолошко – металуршки факултет.

За ментора докторске дисертације именује се др Александар Јововић, редовни професор Универзитета у Београду - Машинског факултета.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата за израду докторске дисертације студента докторских студија Јоване Г. Градинац

Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду, Машински факултет, број 1275/3 од 19.09.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Јоване Г. Градинац**, студента Докторских студија на Универзитету у Београду, Машински факултет, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме: **„Утицај процесних параметара електрокоагулације на ефикасност третмана отпадних вода из индустрије челика ”**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1.1. Биографски подаци

Јована Г. Градинац, магистар инжењерства машини, је рођена 04.05.1994. године у Котору, Република Црна Гора. Основну школу „Народни херој Саво Илић“ у Котору је завршила 2009. године, а Гимназију „Котор“ у Котору је завршила 2013. године.

На Машински факултет у Београду се уписала 2013. године. Основне академске студије (B.Sc) је завршила 2016. године, а Мастер академске студије (M.Sc) 2018. године на модулу за Процесну технику и заштиту животне средине, са просечном оценом 9,54 (девет и 54/100). Дипломски рад на тему: „Идејно решење постројења за пречишћавање отпадних вода из ваљаонице челика капацитета 2620 m³/h“, је радила код проф.др Александра Јововића, при чему је дипломирала са оценом 10. Током студија је награђивана за одличан успех, као и наградом за најбољи студентски рад на Међународном конгресу о процесној индустрији – Процесинг, на тему: „Могућности унапређења и реконструкције постројења за десалинизацију морске воде“.

У периоду мај – јул 2018. године је боравила на стручној пракси у компанији „Danieli“, Италија.

Након завршених Мастер академских студија на Универзитету у Београду, Машински факултет у Београду, кандидаткиња се запослила у компанији „Danieli“, Италија где је у периоду од новембра 2018 до новембра 2019 радила на понудама и изради техничке документације и конфигурације третмана процесних вода у црној металургији. Почевши од 2020. године, преузела је улогу менаџера производа у SMS групи SpA, Италија, у одељењу техничких услуга. Њена одговорност била је усмерена на промовисање иновативних приступа у постројењима за пречишћавање воде. Била је учесник и једним делом предводник увођења нове технологије под називом Zero Solid Discharge (ZSD), што указује на способност кандидаткиње у примени и развоју нових технологија.

Средином 2021. године преузела је нову и додатну одговорност као технички и комерцијални менаџер продаје за постројења за пречишћавање воде.

У 2022. години, током АВМ догађаја, металуршке конференције, имала је привилегију да представи ZSD кроз одржани говор и објављен чланак. Ова платформа јој је омогућила да подели вредне увиде и истакне критичну важност иновативних приступа у пречишћавању воде у индустријском сектору. Потом, на Metec-у 2023. године, наставила је да заступа напредне технологије и иновације, презентујући вишеструке користи које вода доноси у индустрији челика. Њени напори су били усмерени на подстицање индустријских компанија да разумеју суштинску вредност воде, најдрагоценијег ресурса на свету.

Почетком 2024. године започела је свој нови посао, придруживши се одељењу за имплементацију као инжењер за примену процеса – менаџер продаје у Диселдорфу, Немачка

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидаткиња је уписала Докторске студије на Универзитету у Београду, Машински факултет, школске 2018/2019. године. Током докторских студија положила је све предмете одређене наставним планом и програмом и успешно одбранила Пројекат идеје докторске дисертације пред три члана комисије. У складу са чланом 15. Правилника о докторским студијама Универзитета у Београду, Машински факултета, кандидаткиња **Јована Г. Градинац** је остварила укупно 120 ЕСПБ бодова, чиме је испунила основни услов да пријави докторску дисертацију. Просечна оцена кандидата током докторских студија је 9,63 (девет и 63/100). У даљем тексту дата је табела у којој су наведени положени премети, предметни наставници, остварени ЕСПБ бодови и добијене оцене.

Број	Назив предмета	Предметни наставник	Семестар / ЕСПБ	Оцена
1.	Виши курс математике	Проф. др Слободан Радојевић	1/5	6 (шест)
2.	Нумеричке методе	Проф. др Миодраг Спалевић	1/5	10 (десет)
3.	ОМНИРИК	Проф. др Милош Недељковић	1/5	9 (девет)
4.	Термодинамика хемијских процеса	Проф. др Мирко Коматина	1/5	10 (десет)
5.	Истраживање и публикавање 1	Проф. др Александар Јововић	1/10	10 (десет)
6.	Одабрана поглавља из механике флуида	Проф. др Александар Ђоћић	2/5	7 (седам)
7.	Енергетска ефикасност у индустрији	Проф. др Дејан Радић	2/5	9 (девет)
8.	Истраживање и публикавање 2	Проф. др Александар Јововић	2/15	10 (девет)
9.	Методе у пројектовању и конструисању опреме за процесну индустрију	Проф. др Александар Петровић	2/5	10 (десет)
10.	Истраживање и публикавање 3	Проф. др Александар Јововић	3/20	10 (десет)
11.	Истраживање и публикавање 4	Проф. др Александар Јововић	4/8	10 (десет)
12.	Корозија материјала и заштита	Проф. др Милош Ђукић	3/5	10 (десет)

13.	Виши курс из хемијских и биотехнолошких операција и апарата	Проф. др Дејан Радић	3/5	10 (десет)
14.	Пројекат идеје докторске дисертације	Проф. др Александар Јововић	4/22	10 (десет)

Кандидат је аутор следеће наведених научно-стручних радова, једног рада објављеног у часопису категорије М22 и две публикације са међународног скупа објављене у изводу категорије М34.

1.3 Списак објављених радова и других релевантних резултата и активности које опредељују афинитет кандидата за рад на предложеној теми

Научни рад	Категорија*
Gradinac, J., Jovovic, A., Investigation regarding the application of the titanium electrode for the water treatment plant in a steel manufacturing plant, Front. Chem., Sec. Green and Sustainable Chemistry, Volume 10 – 2022, https://doi.org/10.3389/fchem.2022.1065332	M22
Gradinac, J., Nadalutti, A., New and advanced technologies of the future challenges in the steel industry's water treatment plants, METEC & 6th ESTAD, 2023.	M34
Gradinac, J., Gandomirozbahani, A., Innovative solution for water treatment – zero solid discharge, 75° Congresso Anual da ABM — vol. 75, num.75 (2022), doi 10.5151/2594-5327-34408	M34

* Према Правилнику о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије

Наведене референце показују да је кандидаткиња овладала иновативним методама у третману отпадних вода из индустрије челика. Захваљујући дугогодишњем искуству и евалуацијом добијених података, кандидаткиња је такође детаљно анализирали и повезала како укупно растворене материје и кондуктивност алтернативно могу бити контролисани у односу на постојеће системе и процедуре. Управо поменути параметри су они параметри, који у конвенционалним системима, не могу бити ефикасно контролисани нити уклоњени путем употребе хемијског таложења или коагулације/флотације.

1.4 Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Својим досадашњим истраживачким активностима кандидаткиња **Јована Г. Градинац** је испољила потребан квалитет, заинтересованост, способност и стручност за научни и истраживачки рад. Публиковани и изложени радови у часописима и на конференцији указују на потенцијале кандидаткиње да се бави како теоријским, тако и сложеним експерименталним истраживањима.

С обзиром да су досадашњи објављени радови и истраживачка делатност кандидаткиње суштински повезани са научном облашћу којој припада тема предложене докторске дисертације, комисија сматра да кандидаткиња има научно-стручну усмереност у области које покрива предложена тема.

На основу биографских података кандидаткиње, положених испита на докторским студијама, њених научних и стручних активности, афинитета, исказаног интересовања, као и објављених радова, Комисија закључује да кандидаткиња **Јована Г. Градинац** испуњава потребне услове и да је оспособљена за успешан самостални теоријски и експериментални рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. ПРЕДМЕТ РАДА

Предмет докторске дисертације је испитивање ефикасности процеса електрокоагулације (ЕК) за уклањање неорганских и органских примеса помоћу електрода од гвожђа, што би довело до уштеде воде због побољшања квалитета воде. Индустрија челика (код нас позната као црна металургија) захтева знатне количине воде за различите процесе као што су хлађење, чишћење, итд. Поред тога што се део ових вода пречишћава и користи поново у процесу, један део се неповратно губи. Део опреме који највише утиче на губитак воде су куле за хлађење, које услед хлађења воде и феномена испаравања, доводе до таложења насталих соли, укупно растворених честица и повећања кондуктивности воде нарушавајући тако квалитет воде унутар процесних система, где временом део воде мора бити испуштен из система. Губици у виду испаравања и испуштене воде, морају бити надокнађени додатком свеже, третиране воде.

Постројења за пречишћавање процесних вода у индустрији челика би требало да имају за циљ оптимизацију употребе воде, смањење потрошње чисте, третиране воде и смањење утицаја на животну средину. Нажалост, постојећа, конвенционална постројења за третман вода, не гарантују такве карактеристике.

Настала отпадна вода се може третирати различитим техникама које би требало да дозвољавају њено поновно коришћење или директно испуштање у реципијенте. При томе, главни проблеми са којима се сусрећу индустријска постројења при испуштању индустријских отпадних вода су превелике количине уља, масти, кисели или алкални састојци, суспендоване материје, неоргански или органски садржаји.

Како би се превазишао постојећи проблем отпадних вода и омогућила поновна употреба истих, потребно је применити иновативне технологије.

При избору иновативне технологије, најважније је обратити пажњу на то како оне утичу на конкретне параметре као што су укупно растворене материје и кондуктивност воде с обзиром да управо ти параметри дефинишу линију за пречишћавање вода. У конвенционалним системима третмана процесних вода унутар индустрије челика, ови параметри не могу бити ефикасно контролисани нити уклоњени путем употребе хемијског таложења или коагулације/флотације. У том смислу, електрокоагулација (ЕК) је један је иновативнијих процеса који би могао довести до побољшања квалитета воде, утичући на претходно поменуте параметре.

ЕК користи електричну енергију и струју за уклањање која потенцијално доводи до уклањања загађујућих компонената, кондуктивности, укупно растворених и суспендованих материја из воде. Подразумева дестабилизацију колоида и агрегацију истих применом електричне енергије, што фактички доводи до тога да управо те укупно растворене материје прелазе у агломерате, стварајући тако флокуле које уклањају путем седиментације и филтрације.

3. НАУЧНИ ЦИЉ РАДА

Општи циљ истраживања јесте испитати да ли ЕК нуди одрживу и ефикасну алтернативу конвенционалним методама третирања отпадних вода хемикалијама који немају утицаја на све параметре, поготово на оне најбитније као што су укупно растворене материје и кондуктивност воде. Тиме ће се утврдити да ли процес ЕК омогућава поновну употребу воде, која би иначе била испуштана из система третмана процесних вода. Захваљујући чињеници да сам процес ЕК доводи до дестабилизације неорганских соли и њихове агрегације у суспендоване супстанце, што путем дозирања хемикалија није било могуће води ка закључку да ЕК за разлику од класичних метода омогућава пречишћавање воде до већег нивоа квалитета који омогућава поновну употребу пречишћене воде у производним процесима и тако доводи до смањења количине отпадних вода које се испуштају у реципијент. Процес би требало да довољно ефикасно користи коагулациона средства која се стварају директно у процесу електролизе, смањујући потрошњу хемикалија и минимизирајући негативан утицај на животну средину. У циљу истраживања изграђено је полуиндустријско постројење, које се састоји од реактора за ЕК (реактор начињен од жељезних електрода у ком се дешава електрохемијски процес) и јединице за флотацију раствореног ваздуха (ДАФ систем).

Специфични циљеви истраживања у оквиру докторске дисертације су:

- а) Испитати тезу да ЕК нуди одрживу и ефикасну алтернативу у односу на конвенционалне методе пречишћавања где се употребљавају хемикалије како би „гарантовале“ одрживост квалитета и баланса вода, са аспекта односа одређених параметара који уколико се уклоне у „превеликој“ количини, могу довести до тога да вода буде или превише корозивног карактера или превелике тврдоће. Процес ЕК би требало да довољно ефикасно користи коагулациона средства која се стварају директно током електролизе, што би омогућило поновну употребу воде која би иначе била испуштана у реципијент, имајући примарни фокус на издвајање укупно растворених честица као и кондуктивности, што путем дозатора хемикалија није било могуће.
- б) ЕК може бити енергетски ефикасна метода третмана отпадних вода у индустрији челика, што је посебно битно у данашњим условима када се пред индустријска постројења постављају строги захтеви по питању потрошње енергије и саме енергетске ефикасности.

4. ПОЛАЗНА ХИПОТЕЗА ИСТРАЖИВАЊА

Хипотеза 1

ЕК може омогућити поновну употребу воде која би иначе била испуштана у реципијент после сложених процеса хемијског пречишћавања, захваљујући чињеници да може директно утицати на параметре попут укупно растворених честица и кондуктивности воде.

Хипотеза 2

За разлику од конвенционалних метода третмана воде које често захтевају употребу хемијских коагуланата, процесом ЕК се могу минимизирати или елиминисати потребе за таквим хемикалијама.

Хипотеза 3

Процес ЕК представља енергетски ефикасан процес.

Оптимизацијом параметара процеса, као што су напон, густина струје и конфигурација електрода, може се побољшати сам квалитет воде и потрошња енергије се може свести на минимум. Смањене потребе за енергијом доприноси укупној еколошкој одрживости процеса третмана.

У наставку се наводи литература која обухвата проблематику која је утицала на покретање истраживања предвиђених у овој докторској дисертацији:

- [1] Hasson, D., Lumelsky V., Greenberg G., Pinhas Y., Semiat R., 2008. *J. Desalination*, Development of the electrochemical scale removal technique for desalination applications., 230, 329–32, <http://doi.org/10.1016/j.desal.2008.01.004>
- [2] Zaslavski, I., Shemer, H., Hasson, D., Semiat, R., 2013, *J. Membr. Sci.*, Electrochemical CaCO₃ scale removal with a bipolar membrane system. 445, 88–95 <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2013.05.042>
- [3] Heidmann, I., Calmano, W., 2008. Removal of Zn(II), Cu(II), Ni(II), Ag(I) and Cr(VI) present in aqueous solutions by aluminium electrocoagulation. *J. Hazard. Mater.* 152, 934–941. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.07.068>
- [4] Akbal, F., Camci, S., 2011. Copper, chromium and nickel removal from metal plating wastewater by electrocoagulation. *Desalination* 269, 214–222. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.11.001>
- [5] Akbal, F., Camci, S., 2012. Treatment of metal plating wastewater by electrocoagulation. *Environ. Prog. Sustain. Energy* 31, 340–350 <https://doi.org/10.1002/ep.10546>
- [6] Kabuk, H.A., Avsar, Y., İlhan, F., Ulucan, K., 2014. Comparison of pH adjustment and electrocoagulation processes on treatability of metal plating wastewater. *Sep. Sci. Technol.* 49, 613–618. <https://doi.org/10.1080/01496395.2013.839705>
- [7] Al-Shannag, M., Al-Qodah, Z., Bani-Melhem, K., Qtaishat, M.R., Alkasrawi, M., 2015. Heavy metal ions removal from metal plating wastewater using electrocoagulation: kinetic study and process performance. *Chem. Eng. J.* 260, 749–756. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.09.035>
- [8] Lancaster, M., 2002. *Green Chemistry, An Introductory Text*. Royal Society of Chemistry, Cambridge. <https://doi.org/10.1021/op049976c>
- [9] W.L. Chou, C.T. Wang, K.Y. Huang, 2009, *Journal of Hazardous Materials*, Effect of operating parameters on indium (III) ion removal by iron electrocoagulation and evaluation of specific energy consumption, 167(1–3):467–74, doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.01.008.
- [10] N. Drouiche, N. Ghaffour, H. Lounici, M. Mameri., 2007, *Desalination*, Electrocoagulation of chemical mechanical polishing wastewater, 214, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.11.009>
- [11] T. Hyun Kim, Chulhwan Park, Eung-Bai Shin, Sangyong Kim, 2002, *Desalination*, Decolorization of disperse and reactive dyes by continuous electrocoagulation process, 150, 165–175, [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)00941-4](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)00941-4)
- [12] P.K. Holt, G. Barton, M. Wark, C. Mitche., 2002, *Engineering Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation, 211, 233–248. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(02\)00285-6](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(02)00285-6)

- [13] Bazrafshan, E., Mohammadi, L., Ansari-Moghaddam, A., Mahvi, A.H., 2015, . J. Environ. Health. Sci, Heavy metals removal from aqueous environments by electrocoagulation process- a systematic review, 13, 1-16. <https://doi.org/10.1186/s40201-015-0233-8>
- [14] Mollah, M.Y.A., Schennach, R., Parga, J.R., Cocke, D.L., 2001., J. Hazard. Mater., Electrocoagulation (EC) science and applications., B84, 29-41. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(01\)00176-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(01)00176-5)
- [15] C.Y. Hu, S L Lo, W H Kuan, 2003, Water Research, Effects of co-existing anions on fluoride removal in electrocoagulation (EC) process using aluminum electrodes, 37(18), 4513–4523. [O.1016/S0043-1354\(03\)00378-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00378-6)
- [16] O.T. Can, M Kobya, E Demirbas, M Bayramoglu, 2006, Chemosphere , Treatment of the textile wastewater by combined electrocoagulation, 62, 181–187. [10.1016/j.chemosphere.2005.05.022](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.05.022)
- [17] A. Bukhari, Bioresource Technology. 2008, Investigation of the electro-coagulation treatment process for the removal of total suspended solids and turbidity from municipal wastewater, 99, 914–921. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.03.015>
- [18] J. Qian Jiang, Nigel Graham, Cecile André, Geoff H. Kelsall, Nigel Brandon, 2002, Water Research Laboratory study of electro-coagulation–flotation for water treatment, 36, 4064–4078. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00118-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00118-5)
- [19] C. Escobar, César Soto-Salazar, M Inés Toral., 2006, Journal of environmental management, Optimization of the electrocoagulation process for the removal of copper, lead and cadmium in natural waters and simulated wastewater, 81 384–391. [10.1016/j.jenvman.2005.11.012](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.11.012)

Један од кључних изазова у десалинизацији је таложење минералних соли, Hasson et al. (2008) су развили електрохемијску технику за примену у десалинизационим системима, која се показала ефикасном у смањењу талога калцијум-карбоната (CaCO_3). Овај процес доприноси продужењу животног века опреме за десалинизацију и смањењу оперативних трошкова. Даље истраживање на ову тему спровели су Zaslavski et al. (2013), који су користили биполарне мембране за уклањање CaCO_3 талога, што је унапредило ефикасност ових система.

Овај чланак врло уско помаже да се схвати како електрохемијски процес утиче на соли, као и параметре које доводе до акумулирање талога на опремама.

Електрокоагулација је још једна важна техника у третману отпадних вода, посебно када су присутни тешки метали. Heidmann и Calmano (2008) показали су да електрокоагулација са алуминијумским електродама може успешно уклонити тешке метале као што су Zn, Cu, Ni, Ag и Cr из отпадних вода. Ови резултати су потврдили значај електрокоагулације у пречишћавању индустријских отпадних вода. Сличне студије, су спровели Akbal и Camci (2011, 2012), где истичу важност оптимизације параметара као што су pH и интензитет струје у уклањању метала из вода насталих у процесима галванизације.

Истраживања о уклањању тешких метала су проширена и на друге метале и јоне. Chou et al. (2009) су се фокусирали на уклањање јона индијума из отпадних вода користећи електрокоагулацију са електродама начињеним од железа, док су Kabuk et al. (2014) упоредили различите приступе подешавања pH и електрокоагулације у третману отпадних

вода из металне индустрије, при чему су открили да рН значајно утиче на ефикасност третмана.

Кинетика електрокоагулације и њена ефикасност у уклањању тешких метала додатно је истражена у раду Al-Shannag et al. (2015), који су нагласили важност оптимизације услова процеса за постизање максималне ефикасности. Систематски преглед ове области спровели су Bazrafshan et al. (2015), истичући кључне факторе који утичу на ефикасност уклањања метала.

Поред отпадних вода, електрокоагулација је ефикасна и у третману других врста контаминаната, укључујући боје у текстилним отпадним водама. Kim et al. (2002) су се бавили континуираним процесом електрокоагулације за деколоризацију дисперзних и реактивних боја, док су Can et al. (2006) проучавали комбиноване електрокоагулационе методе у третману текстилних отпадних вода, наглашавајући потребу за оптимизацијом параметара процеса.

Када се упореди са традиционалним хемијским методама пречишћавања, електрокоагулација нуди многе предности, као што су нижи трошкови рада и смањена производња опасних нуспроизвода. Holt et al. (2002) су квантитативно упоредили хемијско дозирање и електрокоагулацију, показујући супериорност електрокоагулације у многим аспектима.

Примена електрокоагулације се, поред индустријских отпадних вода, проширила и на третман комуналних отпадних вода. Bukhari (2008) је показао да овај процес ефикасно уклања суспендоване честице и замућеност из комуналних вода, чиме се значајно побољшава квалитет пречишћене воде. Jiang et al. (2002) су се бавили лабораторијским истраживањима процеса електрокоагулације и флотације, која су показала значајан потенцијал за даљу примену у третману питке воде.

Прегледани чланци у оквиру процеса третмана вода, фокусирани на примену ЕК, пружили су значајне увиде у оптимизацију третмана вода у различитим условима. Истраживања су се бавила уклањањем различитих загађивача, укључујући тешке метале, из различитих водених извора, укључујући природне воде и симулиране отпадне воде из различитих индустријских сектора.

За разлику од претходних истраживања у овој области, ниједан од чланака није разматрао растворене честице и кондуктивност као параметре од интереса, који су битни у контексту процеса третмана вода у црној металургији.

Међутим, с обзиром да се ЕК показала као потенцијално ефикасан метод у уклањању различитих загађујућих компонената, може се очекивати да ће имати значајан утицај и на издвајање растворених честица као и кондуктивност, пружајући могућности накнадног третмана или пак алтернативу конвенционалним методима унутар процеса третмана вода у црној металургији. На овоме је базирано истраживање у оквиру докторске дисертације.

5. НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Методе које ће се примењивати током израде предложене докторске дисертације су методе карактеристичне за примену у инжењерској пракси и научно истраживачком раду.

Експериментални поступак биће вршен под добро контролисаним, и у сваком смислу безбедним условима, на полуиндустријском постројењу капацитета $1 \frac{m^3}{h}$.

Полуиндустријско постројење састоји се од реактора за електрокоагулацију, у ком се одвија електрохемијска реакција и коагулација честица. У реактору ће бити смештено 114 железних електрода, свака 16 x 13 cm, на међусобном растојању од 0,5 cm. Сама конфигурација сваког постројења електрокоагулације, је конфигурисано на основу квалитета воде које треба да буде третирано.

Сама конфигурација постројења је била постављена према разним истраживањима, искуству и очекиваном квалитету воде који је требао бити третиран.

Постројење има могућност рада у аутоматском режиму.

Постројење ће обухватити извор електричне енергије (алтернативни ДЦ претварач) са променљивим напонам/јачином струје. Очекује се да ће електрично поље омогућавати већу концентрацију суспендованих материја у поређењу са процесима пречишћавања воде који се ослањају искључиво на хемикалије. На тај начин ће, захваљујући створеном електричном пољу и већој концентрацији суспендованих материја, доћи до побољшања процеса коагулације и трансформације растворених материја у суспендоване материје, које ће даље бити елиминисане помоћу ДАФ система.

Реактор унутар којег су смештене железне електроде представља врло компактан систем. Његова конфигурација омогућава подешавање броја електрода и растојања између њих, подешавање односа енергија/напона, што омогућава да се систем подеси тако да имамо оптималне услове саме опреме.

После реактора инсталирана је ДАФ јединица. ДАФ јединица представља уређај за аерацију отпадне воде, омогућавајући тако да се поједине примесе у води везују за ваздушне мехуриће, који се путем флотације издвајају из воде. ДАФ систем за пречишћавање отпадних вода састоји се од резервоара за флотацију, повратне пумпе, пумпе за отпадне воде, турбо пуњача, мешалице ваздух-вода и других делова.

Сама конфигурација ДАФ јединице и додавање (ако је потребно) одређених хемикалија, дозираних у тачној количини, омогућавају употребу ове опреме у неколико ситуација, третирајући индустријске отпадне воде са великом ефикасношћу.

Да би се постигло ефикасно управљање, уклањањем чврстих материја које се не талоче (устајале или плутајуће) из токова отпадних вода, фокус операције ће бити на уклањању акумулираног муља у ДАФ-овој комори и резервоару за сакупљање муља.

Ефикасност третмана ЕК биће утврђена на основу степена ефикасности уклањања више параметара, при чему су најважнији параметри ТДС (укупно растворене материје) и кондуктивност, с обзиром да поменути параметри највише утичу на сам баланс воде услед коришћења кула за хлађење. Наиме, услед процеса хлађења, вода која се хлади у кулама за хлађење, делимично испарава а остатак охлађене воде се прикупља у базену испод куле за хлађење. Та охлађена вода, постаје вода пуна минерала и соли. Управо ти минерали и соли, су уско повезани са параметрима ТДС и кондуктивности, и ти параметри су један од параметара који диктирају баланс воде. Чим досегну свој максимум у односу на прописани дозвољени максимум, аларм се активира и вентил се аутоматски отвара да испусти ту воду из система.

Сви параметри мере се стандардним методама.

6. ОЧЕКИВАНИ РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА И НАУЧНИ ДОПРИНОС

Примаран фокус истраживања ће бити постављен на уклањање укупно растворених честица и кондуктивности воде, како су управо ти параметри, они који у конвенционалним системима, не могу бити ефикасно контролисани нити уклоњени путем употребе хемикалијског таложења или коагулације/флотације.

С обзиром да се ЕК показала као потенцијално ефикасан метод у уклањању различитих загађујућих компоненти попут: суспендоване чврсте материје, тешки метали, органска једињења, итд, може се очекивати да ће исто тако имати значајан утицај и на издвајање укупно растворених честица као и кондуктивност, пружајући алтернативу конвенционалним методима унутар процеса третмана вода у црној металургији.

Циљ је испитати да ли процес ЕК омогућава поновну употребу воде која би иначе била испуштана у реципијент и испитати могућности издвајања укупно растворених честица као и кондуктивност, што путем дозатора хемикалија није било могуће. Захваљујући чињеници да сам процес ЕК потенцијално доводи до дестабилизације неорганских соли, њиховој агрегацији у суспендоване материје, што је у суштини потпуно другачији механизам издвајања у односу на хемијске методе таложења.

У наредном кораку истраживања кандидаткиња ће се бавити побољшањем конструкције компоненти система заснованих на електрохемијским процесима, анализом њихове ефикасности у уклањању загађивача и смањењем употребе хемикалија. Применом знања о дозвољеним лимитима квалитета вода унутар конвенционалних третмана процесних вода, оцениће се потенцијал ових процеса у уштеди воде и могућност рецикулације унутар система. Очекује се да би уклањањем 30% укупно растворених честица, било могуће избегнути губитак испусне воде и дозволити њено рециркулисање унутар система, где би на крају накнадна свежа вода била додавана у циљу компензовања евапорације кула за хлађење, што до сада, коришћењем хемијских адитива, није било могуће контролисати.

Сходно томе очекивани научни допринос представља :

- могућности издвајања укупно растворених честица као и смањење кондуктивности, омогућавајући поновну употребу воде која би иначе била испуштана у реципијент. Примена самог система и процеса ЕК, требало би да доведе до могућности да се растворене честице трансформишу у суспендоване честице, што коришћењем уобичајених хемијских средстава до данас није било могуће.

Резултати овог истраживања представиле значајан допринос у разумевању и примени електрохемијских процеса у третману вода унутар сектора црне металургије а такође ће служити као основа за стварање нових идеја и напреднијих технологија у области очувања воде.

7. ПЛАН ИСТРАЖИВАЊА И СТРУКТУРА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

План истраживања у оквиру теме докторске дисертације састоји се из следећих фаза:

Предложена докторска дисертација оквирно ће садржати следећа поглавља:

- Увод;
- Употреба воде у индустрији челика;
- Опис конвенционалних постројења за третман процесних вода у индустрији челика;
- Процес ЕК и њена примена до данас
- Методе истраживања електрокоагулације;
 - Експериментална испитивања;

- Методе мерења
- Анализа резултата
- Закључак и предлог за наставак истраживања.

8. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Анализом пријаве теме кандидаткиње **Јоване Г. Градинац**, магист. инж. маш., Комисија за оцену подобности и научне заснованости теме закључује да је предложена тема изузетно актуелна и одговарајућа за израду докторске дисертације, као и да кандидаткиња испуњава све предвиђене услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Универзитета у Београду, Машински факултет, при чему поседује истраживачке способности за рад на докторској дисертацији. Имајући у виду све наведено, Комисија предлаже Већу докторских студија Универзитета у Београду, Машински факултет, да се кандидаткињи **Јовани Г. Градинац**, магист. инж. маш. студенту Докторских студија Универзитета у Београду, Машински факултет, одобри израда докторске дисертације под називом:

„Утицај процесних параметара електрокоагулације на ефикасност третмана отпадних вода из индустрије челика“.

Тема припада области техничких наука – машинство, ужој научној области – процесна техника – третман отпадних вода, за коју је Универзитет у Београду, Машински факултет, матичан. За ментора ове докторске дисертације предлаже се проф. др Александар Јововић, дипл.инж.маш, редовни професор Универзитета у Београду, Машински факултет.

Београд, 16.12.2024.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Дејан Радић, ред.проф.

Универзитет у Београду, Машински факултет

др Душан Тодоровић, в.проф.

Универзитет у Београду, Машински факултет

др Горица Иваниш, виши научни сарадник

Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет