

Факултет Технолошко-металуршки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/165

(Број захтева)

2. 9. 2024.

(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 члану 47. ст. 5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације:

КАНДИДАТ Јелена (Урош) Јанковић

(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму : Хемијско инжењерство

пријавио је докторску дисертацију под називом:

Синтеза, карактеризација и примена високо селективног адсорбента за уклањање корозивних једињења сумпора из минералних изолационих уља и нове методе за оцену корозивности уља према сребру

Технолошко инжењерство

из научне области:

Универзитет је дана 22. 1. 2024. својим актом под бр. 61206-186/2-24 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

Синтеза, карактеризација и примена високо селективног адсорбента за уклањање корозивних једињења сумпора из минералних изолационих уља и нове методе за оцену корозивности уља према сребру

Име и презиме ментора: др Ђорђе Јанаковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршког факултета и др Јелена Лукић, виши научни сарадник Универзитета у Београду, Електротехнички институт „Никола Тесла“.

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној 11. 4. 2024.

одлуком факултета под бр. 35/71, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Ђорђе Вељовић	ванредни професор	Инжењерство неорганских хемијских производа	ТМФ
2.	Др Александар Маринковић	редовни професор	Органска хемија	ТМФ
3.	Др Ненад Карталовић	научни сарадник	Енергетика	Електротехнички институт „Никола Тесла“, Београд

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

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности 20. 5. 2024.

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана 3. 7. 2024.

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној 3. 7. 2024.

одлуком факултета под бр. 35/162, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Ђорђе Вељовић	ванредни професор	Инжењерство неорганских хемијских производа	ТМФ
2.	Др Александар Маринковић	редовни професор	Органска хемија	ТМФ
3.	Др Ненад Карталовић	научни сарадник	Енергетика	Електротехнички институт „Никола Тесла“, Београд

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

Студент је поново уписан на трећу годину докторских студија школске 2021/2022. године. На захтев студента декан је донео Решење број 20/182 од 2. 10. 2023. године о продужењу рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до краја 30. 9. 2024. године.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА
др Петар Ускоковић, 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. 20/182

02. 10. 2023 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 **Јелена Јанковић**, број индекса 2021/4040, уписана у трећу годину докторских академских студија школске 2021/2022 године продужава се рок за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до 30.09.2024 године.



Декан
Проф. др Петар Ускоковић

ДІVа

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. 52. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 3. 7. 2024. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Ђорђе Вељовић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Александар Маринковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Ненад Карталовић, научни сарадник Универзитета у Београду, Електротехнички институт „Никола Тесла“ о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: **„Синтеза, карактеризација и примена високо селективног адсорбента за уклањање корозивних једињења сумпора из минералних изолационих уља и нове методе за оцмену корозивности уља према сребру“** коју је поднела **Јелена Јанковић**, дипломирани 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 Јелене Јанковић, под називом **„Синтеза, карактеризација и примена високо селективног адсорбента за уклањање корозивних једињења сумпора из минералних изолационих уља и нове методе за оцмену корозивности уља према сребру“** Одлуком број: 61206-186/2-24 од 22. 1. 2024. године.

Верификација научних доприноса:

Категорија М22:

1. **J.Jankovic**, J.Lukic, D.Mihajlovic, M.Foata, B.Myburgh, „Development of a New Method for the Assessment of Mineral Insulating Oil Corrosivity Against Silver“, accepted for publication in *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, DOI: 10.1109/TDEI.2024.3382641, 2024 (**IF= 3.1**) (ISSN: 1070-9878)
2. **J.Jankovic**, J.Lukic, J.Planojevic, D.Kolarski, Dj.Janackovic, „Application of Highly Selective Adsorbent in the Removal of Elemental Sulfur and other Corrosive Sulfur Compounds from Mineral Insulating Oils“, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 29, no. 1, pp. 54-61, Feb. 2022. DOI: 10.1109/TDEI.2022.3148479 (**IF 2.931/2020**) (ISSN 1070-9878)
3. **Jankovic, J.**; Lukic, J.; Kolarski, D.; Veljović, D.; Radovanović, Ž.; Dimitrijević, S. Isotherm, Thermodynamic and Kinetic Studies of Elemental Sulfur Removal from Mineral Insulating Oils Using Highly Selective Adsorbent, *Materials* 2023, 16, no. 9: 3522. <https://doi.org/10.3390/ma16093522> (**IF 3.4/2022**) (ISSN: 1996-1944)

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

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

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. 52. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 3. 7. 2024. године, донета је

О Д Л У К А

о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације

Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације **Јелена Јанковић**, дипломираног инжењера технологије, са темом под називом „Синтеза, карактеризација и примена високо селективног адсорбента за уклањање корозивних једињења сумпора из минералних изолационих уља и нове методе за оцену корозивности уља према сребру“, у саставу:

1. Др Ђорђе Вељовић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
2. Др Александар Маринковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
3. Др Ненад Карталовић, научни сарадник Универзитета у Београду, Електротехнички институт „Никола Тесла“.

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

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Јелене (Урош) Јанковић**,
дипл. инж. технологије

Одлуком бр. 35/71 од 11.04.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Јелене (Урош) Јанковић**, дипл. инж. технологије под насловом

„Синтеза, карактеризација и примена високо селективног адсорбента за уклањање корозивних једињења сумпора из минералних изолационих уља и нове методе за оцену корозивности уља према сребру“

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

- Школске **2010/2011.** године кандидат Јелена (Урош) Јанковић, дипл. инж. технологије је уписала докторске академске студије на студијском програму Хемијско инжењерство, на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду. Услед истека рока за завршетак докторских студија, школске **2021/2022.** године поново је уписана у трећу годину докторских студија, студијског програма Хемијско инжењерство, на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду. Решењем бр. 20/182 од 02.10.2023. донета је одлука о продужетку рока за завршетак студија до 30.09.2024.
- **09.11.2023.** године на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, донета је одлука бр. 35/257 о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата Јелене (Урош) Јанковић, дипл. инж. технологије, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под називом: „Синтеза, карактеризација и примена високо селективног адсорбента за уклањање корозивних једињења сумпора из минералних изолационих уља и нове методе за оцену корозивности уља према сребру“.
- **26.12.2023.** на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, донета је одлука бр. 35/316 о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације Јелене (Урош) Јанковић, дипл. инж. Технологије, под насловом: „Синтеза, карактеризација и примена високо селективног адсорбента за уклањање корозивних једињења сумпора из минералних изолационих уља и нове методе за оцену корозивности уља према сребру“, а за менторе ове докторске дисертације именовани су др Ђорђе Јанаћковић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду и др Јелена Лукић, виши научни

сарадник у Електротехничком институту Никола Тесла а.д, Београд, Универзитета у Београду.

- **22.01.2024.** године на седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду донета је одлука бр. 61206-186/2-24 о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације Јелене (Урош) Јанковић, дипл. инж. технологије под називом: „Синтеза, карактеризација и примена високо селективног адсорбента за уклањање корозивних једињења сумпора из минералних изолационих уља и нове методе за оцену корозивности уља према сребру“.
- **11.04.2024.** године на седници Наставно-научног већа Технолошког-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је одлука бр. 35/71, о именовању Комисије за оцену докторске дисертације Јелене (Урош) Јанковић, дипл. инж. технологије, под називом: „Синтеза, карактеризација и примена високо селективног адсорбента за уклањање корозивних једињења сумпора из минералних изолационих уља и нове методе за оцену корозивности уља према сребру“.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Хемијско инжењерство, за коју је матична установа Технолошко-металуршки факултет, Универзитета у Београду. Ментори су др Ђорђе Јанаћковић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду и др Јелена Лукић, виши научни сарадник у Електротехничком институту Никола Тесла а.д, Београд, Универзитета у Београду, чије су компетенције за вођење докторске дисертације потврђене на основу искуства и објављених публикација из области којима дисертација припада.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Јелена Јанковић, дипл. инж. технологије, рођена је 13.12.1982. године у Београду, где је завршила основну школу и Девету београдску гимназију, природно-математички смер. Основне студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Биохемијско инжењерство и биотехнологија, уписала је школске 2001/2002. Године. Дипломирала је на Катедри за Неорганску хемијску технологију са просечном оценом 8,86 код ментора проф. др. Ђорђа Јанаћковића. Дипломски рад под називом *Испитивање регенерације електроизолационих уља на активираним минералним сорбенту*, одбранила је у децембру 2008. Докторске академске студије је уписала школске 2010/2011. године на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Хемијско инжењерство. Положила је све испите предвиђене студијским програмом са просечном оценом 9,91 и одбранила завршни испит под називом *Синтеза, карактеризација и примена високо – селективног адсорбента у уклањању корозивних сумпорних једињења из минералних изолационих уља*, са оценом 10. Услед истека рока за завршетак докторских студија, школске 2021/2022. поново је уписана на докторске студије, студијског програма Хемијско инжењерство, Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду. Од 2009. године, запослена је на Електротехничком институту Никола Тесла а.д, Београд, Универзитета у Београду, у Лабораторији за испитивање изолационих уља и папира, најпре као приправник, а од маја 2022. као виши стручни сарадник. Активно учествује у испитивањима изолационих уља и папира, примени поступака обраде уља адсорбентима (регенерација уља) у циљу уклањања корозивних сумпорних једињења и продуката старења из уља. Учествовала је у реализацији два пројекта финансирана од стране Министарства науке и технолошког развоја и то: пројекат III 45019 *Синтеза, развој технологије добијања и примена наноструктурних мултифункционалних материјала дефинисаних својстава*, и пројекат ТР 33024 *Повећање енергетске*

ефикасности, поузданости и расположивости електрана ЕПС-а утврђивањем погонских дијаграма генератора и применом нових метода испитивања и даљинског надзора.

Јелена Јанковић је била сарадник на изради већег броја студија и интерних стандарда, везаних за одржавање енергетских трансформатора, за потребе Акционарског друштва „Електропривреда Србије“ и Акционарског друштва „Електропрежа Србије“ Београд. Од 2017 - 2019 године, у оквиру међународне радне групе CIGRE WG D1.70 „*Functional properties of modern insulating liquids for transformers and similar electrical equipment*“ учествовала је у истраживању нових метода за испитивање уља, ревизији међународног IEC 60296 стандарда за испитивање минералних изолационих уља и изради одговарајуће CIGRE техничке брошуре. Од 2018 – 2020 године била је ангажована као сарадник на неколико пројеката израђених за потребе реномираног произвођача електричне опреме „*Maschinenfabrik Reinhausen*“, са седиштем у Немачкој: „*Laboratory simulation of oil reclamation*“, „*Laboratory investigations of oils and adsorbents performance in the removal of oil aging products and corrosive sulphur: Definition of a sorbent – Consulting/testing*“ и „*Power transformer silver corrosion risk analyses*“. Члан је националног комитета CIGRE Србија, Студијски комитет A2 – Трансформатори. Области истраживања Јелене Јанковић су поступци обраде уља адсорбентима (регенерација уља) у циљу уклањања корозивних сумпорних једињења и добијања регенерисаних уља високог квалитета, поступци за добијање високо селективних адсорбената као и развој и примена метода за оцену корозивности минералних уља према сребру. Од 2024. године бави се развојем метода за уклањање корозивности изолационих течности на бази синтетских естара.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Јелене (Урош) Јанковић под називом „Синтеза, карактеризација и примена високо селективног адсорбента за уклањање корозивних једињења сумпора из минералних изолационих уља и нове методе за оцену корозивности уља према сребру“ написана је на 128 страна, од којих је 119 нумерисано. Садржи укупно 80 слика, 18 табела и 121 литературни навод. Докторска дисертација садржи следећа поглавља: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература. На почетку дисертације налази се Резиме на српском и енглеском језику, Захвалнице и Садржај, док се на крају дисертације налази Списак скраћеница и ознака, Биографија аутора и три обавезна Прилога: Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада, Изјава о коришћењу као и Оцена извештаја о провери оригиналности докторске дисертације.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У овој докторској дисертацији извршена је синтеза, карактеризација и примена високо селективног адсорбента (ВСА) за уклањање корозивних сумпорних једињења из минералних изолационих уља, пре свега елементарног сумпора (S_8), и развијена је нова метода за оцену корозивности минералних уља према сребру.

У поглављу *Увод* дефинисани су предмет истраживања и главни циљеви дисертације.

У оквиру *Теоријског дела* докторске дисертације описана је проблематика појаве корозивног сумпора у трансформаторима са посебним освртом на корозију сребра. Приказани су реални случајеви експлоатације теретне регулационе преклопке (ТРП) са корозивним уљем са различитим корозивним једињењима сумпора (дибензил дисулфид - ДБДС, елементарни сумпор - S_8 и друга реактивна сумпорна једињења - дисулфиди и меркаптани). Дат је преглед постојећих стандардизованих метода за детекцију и квантификацију корозивних сумпорних

једињења у минералним изолационим уљима као и критеријуми експлоатације уља која садрже корозивни сумпор. Детаљним прегледом литературе сумирана су досадашња искуства у примени доступних технологија за решавање проблема корозивног сумпора. Механизми деградације ДБДС-а у зависности од температуре и садржаја кисеоника су такође описани у оквиру овог дела дисертације.

У оквиру *Експерименталног дела*, описани су поступци синтезе и примене синтетисаног адсорбента као и материјали и методе карактеризације коришћене у дисертацији. Поред тога, описана је кинетика процеса адсорпције, адсорпционе изотерме и термодинамика процеса адсорпције. Развој нове методе за оцену корозивности уља према сребру је такође описан у оквиру експерименталног дела дисертације.

У поглављу *Резултати и дискусија*, приказани су и анализирани резултати истраживања у области примене новог, високо селективног адсорбента (ВСА) у уклањању корозивних сумпорних једињења из минералних уља, у лабораторијским условима и на пилот постројењу. Резултати поступка примене ВСА на терену приказани су у дисертацији, и то на уљу из 35 kV енергетског трансформатора, као и упоредна анализа са резултатима са пилот постројења у лабораторији. Овим је технологија верификована на реалном индустријском постројењу. Поред тога, приказани су и резултати ново-развијеног теста корозивности према сребру, код уља која садрже ДБДС у широком опсегу концентрација (од око 40 – 200) mg/kg, чија се селективност заснива на варијабилном садржају кисеоника у уљу, чиме се постиже повећање осетљивости методе за реактивне дисулфиде. На основу добијених резултата тестова корозивности уља изведени су закључци о процени ризика трансформатора од корозије сребра.

У поглављу *Закључак* сумирани су сви закључци добијени на основу експерименталних резултата.

У поглављу *Литература* наведен је списак коришћене литературе при изради ове докторске дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Корозија конструкционих метала енергетских трансформатора (бакра и сребра) проузрокована присуством корозивних једињења сумпора у минералним изолационим уљима представља велики проблем у електроенергетици, због већег броја хаварија трансформатора услед таложења електропроводних сулфида метала, бакра и сребра, у активном делу трансформатора. Механизми формирања бакар(I)-сулфида услед присуства ДБДС-а у уљу су детаљно истраживани током последње две, три деценије, док у последњих десет година, пријављено је више случајева хаварија ТРП-и трансформатора услед корозије на сребрним контактима ТРП, након извршених процеса регенерације ради уклањања продуката старења из уља или ДБДС-а. Главни узрок хаварије је присуство S₈ у уљу, као последица примене поступака регенерације коришћених минералних изолационих уља адсорбентима на бази алуминијум оксида и алумо-силиката (*енг. „Bauxite clay“, Fuller's earth“*) који укључују реактивацију искоришћеног адсорбента, ради његове поновне употребе. Након овог поступка уља постају корозивна према сребру. S₈ реагује са сребром на ниским температурама, при чему долази до формирања електропроводних наслага сребро(I)-сулфида (Ag₂S) на сребрним контактима ТРП и последичне хаварије трансформатора.

Једна од најчешће примењених привремених техника митигације, тј. поступака за решавање проблема корозије бакра и таложења сулфида бакра у намотајима трансформатора, је

употреба метал пасиватора, једињења на бази аминских деривата толуил триазола. У пракси се показало да метал пасиватор не врши пасивизацију сребра и тиме не решава проблем корозије сребра. Поступци обраде уља адсорбентима на бази алумо-силиката се деценијама успешно користе за регенерацију и уклањање продуката старења из минералних уља, док су, за уклањање корозивних једињења сумпора према сребру, посебно S_8 , ови адсорбенти мале ефикасности. Нови ВСА је високе ефикасности у уклањању корозивности минералних изолационих уља према сребру, услед присуства S_8 и дисулфида у уљу у широком опсегу концентрација. Након третмана уља са ВСА (у малим количинама, са свега 1-3 мас. % у односу на масу уља), добијају се некорозивна, регенерисана уља са dobrim карактеристикама, за даљу употребу у електричној опреми.

Други део ове докторске дисертације односио се на развој и примену нове методе испитивања корозивности минералних изолационих уља према сребру у условима високог садржаја кисеоника, која је унапређена у односу на стандардизоване методе које се тренутно користе. Постојећи стандардни тестови за оцену корозивности минералних уља према сребру (DIN 51353 и ASTM D 1275-15) могу дати различите резултате у зависности од врсте сумпорних једињења и њихове реактивности према сребру, која даље могу довести до неадекватне и непоуздане процене ризика енергетских трансформатора од хаварије услед формирања сребро(І)-сулфида. Нова метода омогућава ефикаснију процену корозивности уља према сребру и поузданију процену ризика од хаварије ЕТ услед корозије сребра као и правовремено и адекватно планирање примене ефикасних техника за решавање проблема корозије сребра.

Савременост и оригиналност истраживања приказаних у овој докторској дисертацији потврђени су публикавањем више радова из тезе у истакнутим међународним часописима, саопштењима на скуповима од међународног и националног значаја, регистрованим националним патентом и објављеним међународним патентом.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације кандидат је извршио преглед научне и стручне литературе из релевантних научних области везаних за проблематику докторске тезе. Велика већина прегледане научне литературе састојала се од научних радова публикованих у водећим међународним часописима из области и проблематике предметне докторске тезе.

Тиме је кандидат стекао потпуни увид у до сада објављене резултате испитивања могућности обраде корозивних минералних изолационих уља према сребру и трајног уклањања корозивних сумпорних једињења (пре свега S_8), као и адекватних процена ризика експлоатације трансформатора са корозивним уљем на основу постојећих, стандардизованих метода испитивања уља. У овој докторској дисертацији укупно је наведена 121 референца, које у потпуности одговарају теми. Прегледом литературе која је коришћена у истраживању може се закључити да кандидат познаје предметну област истраживања и проблематику као и актуелност истраживања у свету.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Карактеризација ВСА извршена је применом следећих метода:

- Ниско-температурна физичка адсорпција азота (N_2) - за одређивање текстуалних карактеристика ВСА;
- Скенирајућа електронска микроскопија (SEM) - за одређивање морфолошких карактеристика материјала;

- Енергетска дисперзивна рендгенска спектроскопија (EDS) - за одређивање хемијског састава адсорбента;
- Ренгенска дифракциона анализа (XRD) - за одређивање фазног састава ВСА.

Активност и ефикасност адсорбента испитана је у лабораторијским условима, на мањој стакленој колони и на пилот постројењу, на већој адсорпционој колони направљеној од нерђајућег челика, филтрирањем уља кроз слој адсорбента (перколациони поступак) на различитим температурама (испод 85°C). Како би се добијени резултати након експеримената упоредили, у свим експериментима примењен је идентичан масени однос уље/адсорбент. Процес адсорпције S₈ из уља на ВСА је верификован третманом корозивног уља из реалног трансформатора номиналног напона 35 kV, на терену.

Анализа кинетичких и термодинамичких података хемисорпције изведена је применом нумеричких метода и математичким моделовањем поступка десулфуризације у програму *Mathlab* и у *Microsoft Excel*.

За испитивање минералног изолационог уља коришћене су следеће аналитичке методе:

- Гасна хроматографија са детектором са захватом електрона (*eng. Electron capture detector, ECD*) - за квантификацију корозивних сумпорних једињења (ДБДС и S₈);
- Гасна хроматографија са термално-проводљивим детектором (*eng. Thermal Conductivity Detector, TCD*) – за одређивање концентрације раствореног кисеоника у уљу;
- Течна хроматографија (*eng. High-performance liquid chromatography, HPLC*) - за квантификацију метал пасиватора у уљу;
- Инфрацрвена спектроскопија (*eng. Fourier-transform infrared spectroscopy, FTIR*) - за одређивање садржаја инхибитора оксидације 2,6-di-tert-butyl-p-cresol (DBPC) као и за одређивање области „отиска прста“ (*eng. fingerprint*) узорака уља пре и након третмана са ВСА;
- Потенциометријска титрација коришћена је за одређивање укупних реактивних дисулфида, меркаптана и елементарног сумпора у уљу;
- Квалитативни тестови корозије уља према бакру и сребру коришћени у оквиру ове дисертације су: ИЕС 62535, АСТМ Д 1275-15 као и модификовани ДИН 51353 и АСТМ Д 1275-15;
- Скенирајућа електронска микроскопија са енергетско-дисперзивним спектрометром (SEM-EDS) – за одређивање садржаја сумпора на површини сребрне плочице након тестова корозије.

3.4. Применљивост остварених резултата

Остварени резултати приказани у овој докторској дисертацији имају значајну примену у поступцима обраде корозивних уља, пре свега у уклањању S₈, који је изузетно реактиван према сребру, и добијања пречишћеног и некорозивног минералног изолационог уља добрих карактеристика за даљу употребу.

Процеси регенерације уља применом ВСА представљају ефикасну технику за решавање проблема корозивности минералних уља услед присуства корозивних једињења према сребру у кратком временском периоду, што је због високе реактивности S₈ према сребру од изузетне важности. Тиме се постиже и смањење ризика експлоатације трансформатора са корозивним уљем и продужење животног века трансформатора.

Примена нове унапређене методе за оцену корозивности минералних изолационих уља према сребру допринеће унапређењу дијагностике и процене ризика од хаварије енергетских трансформатора услед корозије сребра и правовременом планирању примене ефикасних техника за решавање проблема, уклањањем корозивних сумпорних једињења према сребру, пре свега елементарног сумпора и дибензил-дисулфида.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидаткиња Јелена Јанковић ангажована је у научно-истраживачком раду од тренутка запослења на Електротехничком институту Никола Тесла а.д, Београд, Универзитета у Београду, на више различитих пројеката, укључујући и пројекте финансиране од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација. У току израде докторске дисертације кандидаткиња је показала способност, стручност и самосталност у свим фазама израде тезе, пружајући значајан научни допринос у научним областима које до сада нису биле истраживане или су биле само делимично истраживане. На основу изнетих чињеница, Комисија је мишљења да је кандидаткиња Јелена Јанковић квалификована и да поседује све квалитете који су неопходни за самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Докторска дисертација кандидата Јелене Јанковић пружа значајан научни допринос у области одржавања енергетских трансформатора пуњених корозивним минералним изолационим уљима, и укључује следеће:

- Синтезу новог адсорбента са инкорпорираним јонима сребра и амонијум јона, који је високо селективан за симултано уклањање корозивних сумпорних једињења према сребру и баку (S_8 , ДБДС) и продуката старења из минералних изолационих уља;
- Развој и индустријску примену новог технолошког поступка обраде корозивних уља, адсорпционо-перколационим поступком у колони од нерђајућег челика пуњеној синтетисаним ВСА (при оптималном масеном односу адсорбента према уљу), ради добијања пречишћеног и некорозивног минералног изолационог уља добрих карактеристика за даљу употребу;
- Одређивање максималног капацитета ВСА за уклањање корозивног једињења сумпора према сребру, S_8 ;
- Боље разумевање механизма адсорпције, тј. везивања молекула елементарног сумпора за активне центре на површини високо-селективног адсорбента;
- Боље разумевање утицаја различитог садржаја кисеоника на механизам деградације ДБДС-а и формирање сребро(І)-сулфида (Ag_2S);
- Развој и примену нове унапређене методе за оцену корозивности минералних изолационих уља према сребру;
- Унапређење дијагностике и процене ризика од хаварије трансформатора, пуњених минералним уљима са ДБДС-ом у широком опсегу концентрација (од 40-200) mg/kg, са аспекта корозије сребра;
- Правовремено планирање примене ефикасних техника за решавање проблема корозивности уља, уклањањем корозивних сумпорних једињења према сребру (пре свега S_8).

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Главни допринос предметне докторске дисертације је у примени новог, синтетисаног ВСА у уклањању корозивних сумпорних једињења на индустријском нивоу, пре свега елементарног сумпора, из минералних изолационих уља, који није било могуће уклонити применом природних, конвенционалних адсорбената који се широм света користе у процесима

регенерације уља. Процеси регенерације уља ново-синтетисаним ВСА представљају ефикасну технику за решавање проблема корозивности минералних уља у кратком временском периоду, смањење ризика експлоатације трансформатора са корозивним уљем и продужење животног века енергетских трансформатора.

Са друге стране, уља која садрже ДБДС, у широком опсегу концентрација (од око 40 - 200) mg/kg су, након стандардног ASTM Д 1275-15 теста за оцену корозивности минералних изолационих уља према сребру (у условима ниског садржаја кисеоника), су била некорозивна, на основу чега се може закључити да овај тест није довољно осетљив, те да не пружа адекватан увид у корозивни потенцијал уља према сребру.

Нови тест који је развијен у оквиру ове дисертације, настао је модификацијом услова испитивања корозије сребра према ASTM Д1275-15 тесту, како би се достигли и симулирали што реалнији погонски услови енергетских трансформатора (са конзерватором, тј. дисањем) и представља кључни корак у адекватној процени корозивности уља према сребру и потенцијалу уља да формира сребро (I)-сулфид. У дисертацији је показано да предложени услови новог теста (висока температура и већи садржај кисеоника) стимулишу дуални механизам деградације ДБДС-а, чиме се обезбеђује прави одговор ДБДС-а према сребру, у дефинисаним условима теста. Након свега 48 сати, у условима новог теста, потврђено је да су уља корозивна према сребру, са око 3-4 мас. % сумпора, што је значајно изнад граничне вредности од 1 мас. % као и изнад мас. % сумпора, добијених према тренутно важећем стандардном ASTM Д 1275-15 тесту.

У комбинацији са стандардним методама испитивања уља, тј. квалитативним тестовима корозије сребра и квантификације корозивних једињења сумпора (ДБДС, S₈, други реактивни дисулфиди и меркаптани), ново-развијени тест корозије сребра са већим садржајем кисеоника у трајању од 48 сати, може се користити као адекватнија метода за процену корозивности уља према сребру у односу на постојеће стандардне методе и послужити у бољој процени ризика експлоатације трансформатора. Нова метода има потенцијал да постане стандардизована метода (IEC TC 10), која би значајно унапредила дијагностику корозивности уља према сребру и тиме допринела бољој процени ризика од хаварије енергетских трансформатора услед корозије сребра, што би заједно са процесом регенерације уља допринело смањењу ризика од хаварије енергетских трансформатора услед присуства корозивних сумпорних једињења (пре свега S₈).

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Јелена Јанковић је потврдила резултате истраживања добијених током израде своје докторске дисертације објављивањем радова у часописима међународног и националног значаја и саопштењима на међународним и националним скуповима. Као први аутор публиковала је 3 рада проистекла из ове докторске дисертације, у истакнутим међународним часописима (M22), док је коаутор 5 саопштења са међународног скупа штампаних у целини (M33), 3 саопштења са скупа националног значаја штампаних у целини (M63), једног националног патента регистрованог у Заводу за интелектуалну својину Републике Србије (M92) и једног објављеног патента на међународном нивоу (M93), чиме је верификовала научни допринос своје докторске дисертације.

Рад у истакнутом међународном часопису (M22):

1. **J.Jankovic**, J.Lukic, D.Mihajlovic, M.Foata, B.Myburgh, „Development of a New Method for the Assessment of Mineral Insulating Oil Corrosivity Against Silver“, accepted for publication in *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, DOI: 10.1109/TDEI.2024.3382641, 2024 (IF= 3.1) (ISSN: 1070-9878)
2. **J.Jankovic**, J.Lukic, J.Planojevic, D.Kolarski, Dj.Janackovic, „Application of Highly Selective Adsorbent in the Removal of Elemental Sulfur and other Corrosive Sulfur Compounds from

Mineral Insulating Oils“, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 29, no. 1, pp. 54-61, Feb. 2022. DOI: 10.1109/TDEI.2022.3148479 (IF 2.931/2020) (ISSN 1070-9878)

3. **Jankovic, J.**; Lukic, J.; Kolarski, D.; Veljović, D.; Radovanović, Ž.; Dimitrijević, S. Isotherm, Thermodynamic and Kinetic Studies of Elemental Sulfur Removal from Mineral Insulating Oils Using Highly Selective Adsorbent, *Materials* 2023, 16, no. 9: 3522. <https://doi.org/10.3390/ma16093522> (IF 3.4/2022) (ISSN: 1996-1944)

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. J.M. Lukić, D.P.Mihajlović, **J.U. Janković**, V. Mandić, "Recent Findings Related to Copper Sulphide Formation Mechanism and Mitigation Techniques", CIGRE A2/C4 Colloquium, PS3, id097, Zurich, September 2013, <http://www.cigre2013zurich.org>
2. J.Lukic, D.Mihajlovic, V.Vasovic, **J.Jankovic**, K.Drakis, S.Milosavljevic, "Corrosive Sulphur Risk Assessment and Mitigation Techniques", Tech Con Europe 2014, Vol. 7
3. J.Lukić, D.Mihajlović, V.Vasović, **J.Janković**, K.Drakić, S.Milosavljević, „Corrosive Sulphur Risk Assessment and Mitigation Techniques“, Tech-Con Asia Pacific, Sidnej, Australija, 2014, Vol. 1, www.techcon.com.au
4. J. Lukić, **J. Janković**, J.Planojević, V.Ivančević, S.Milosavljević, M.Foata, W. Fleischmann: „Sulphur Corrosion Mitigation in Power Transformers Life Extension“, IX WORKSPOT- International workshop on power transformers, equipment, substations and materials, FOZ DO IGUAÇU, PR – NOVEMBER, 25 - 28, 2018.
5. M. Foata, K.H.Lindl, M. Da Costa, J. Lukic, **J. Jankovic**, D. Mihajlovic, Risk Assessment and Mitigation of Corrosive Sulphur Other Than DBDS, Cigre Brasil X workshop, Nov. 27-30, 2022.

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (M63)

1. **Ј.Јанковић**, К.Дракић, В.Васовић, Ј.Лукић, Ј.Планојевић, Ђ. Јанаћковић, Ђ. Вељовић, „Регенерација остарелих трансформаторских уља домаћим сорбентима у циљу продужења животног века трансформатора“, CIRED Србија 26.-30.09.2016, Врњачка Бања, Р.1.25
2. **Ј.Јанковић**, Ј.Лукић, В.Васовић, Ј.Планојевић, Б.Пејовић, В.Остраћанин, Р.Тодоровић, „Унапређење дијагностике стања енергетских трансформатора увођењем нових испитних метода и проблеми експлоатације трансформатора са уљем које садржи корозивни сумпор“, 34. саветовање CIGRE Србија, 2 – 6.06.2019, Врњачка Бања
3. Б.Пејовић, Д.Илић, В.Васовић, **Ј. Јанковић**, Ј.Лукић, В.Остраћанин: „Искуства у примени нових испитних метода при дијагностици стања енергетских трансформатора 110/x kV у дистрибутивном систему“, 12. саветовање CIRED Србија 28.09.-02.10.2020, Копаоник, Р.3.16

Регистрован патент на националном нивоу (M92)

1. Ј.Лукић, **Ј.Јанковић**, „Поступак за добијање и коришћење високо-селективног адсорбента за симултано уклањање аминског деривата толуил триазола и сумпорних једињења корозивних према сребру из минералних трансформаторских уља“, Регистарски број 59335, Број и датум решења о признању права: 2019/17100-П-2017/0373 од 11.10.2019. („Гласник интелектуалне својине“ број 2019/10 од 31.10.2019.)

Објављен патент на међународном нивоу (M93)

1. Ј.Лукић, **Ј.Јанковић**, „Method for preparation and use of highly selective adsorbent for simultaneous removal of sulphur compounds corrosive to silver and amine derivative of tolyil triazole from mineral transformer oils“, Publication Number WO/2018/190741, Publication Date 18.10.2018.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу претходно наведеног, мишљење Комисије је да докторска дисертација кандидата Јелене (Урош) Јанковић дипл. инж. технологије, под називом „**Синтеза, карактеризација и примена високо селективног адсорбента за уклањање корозивних једињења сумпора из минералних изолационих уља и нове методе за оцену корозивности уља према сребру**“ представља оригиналан научни допринос у предметној области истраживања. Оригиналност докторске дисертације кандидата је потврђена објављивањем више радова у међународним часописима као и публикавањем резултата на конференцијама од међународног значаја. Постављени предмет и циљеви докторске дисертације у потпуности су остварени, на основу чега Комисија износи своје мишљење да докторска дисертација, кандидата Јелене Јанковић, у потпуности испуњава све захтеване критеријуме као и да је кандидат током израде дисертације показао самосталност и оригиналност у научно-истраживачком раду.

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих и приказаних резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду, да се докторска дисертација под називом „**Синтеза, карактеризација и примена високо селективног адсорбента за уклањање корозивних једињења сумпора из минералних изолационих уља и нове методе за оцену корозивности уља према сребру**“ кандидата Јелене (Урош) Јанковић прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, као и да након завршетка процедуре позове кандидата на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 15.05.2024.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Ђорђе Вељовић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Александар Маринковић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Ненад Карталовић, научни сарадник
Универзитет у Београду, Електротехнички институт Никола Тесла, а.д, Београд