

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУРШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/316

Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

15.01.2024.

(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:

**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**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1.

Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

Јелена (Урош) Јанковић

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

Универзитет у Београду,

Технолошко-металуршки факултет, дипломирани инжењер технологије, Биохемијско инжењерство и биотехнологија

3. Година завршетка
претходног нивоа студија: 2008.

4. Година уписа на докторске студије: 2021. (поновни упис)

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Хемијско инжењерство

ПОДАЦИ О МЕНТОРИМА :

Име и презиме ментора 1: др Ђорђе Јанаћковић

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

1. 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 Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 29, no. 1, pp. 54-61, Feb. 2022. DOI: 10.1109/TDEI.2022.3148479, ISSN 1070-9878 (IF 2.931/2020)
2. Aysha Ali Ahribesh, Slavica Lazarević, Ivona Janković-Častvan, Bojan Jokić, Vojislav Spasojević, Tamara Radetić, **Đorđe Janaćković**, Rada Petrović, Influence of the synthesis parameters on the properties of the sepiolite-based magnetic adsorbents, Powder Technology, 305 (2017), pp. 260-269, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.09.086>, ISSN 0032-5910, (IF 3,230/2017), Engineering, Chemical (30/137)
3. Andrija B.Savić, Djuro Čokeša, Slavica Lazarević, Bojan Jokić, **Djordje Janaćković**, Rada Petrović, Ljiljana S. Živković, Tailoring of magnetite powder properties for enhanced phosphate removal: Effect of PEG addition in the synthesis process, Powder Technology, 301 (2016) pp. 511-519, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.06.028>, ISSN 0032-5910, (IF 2,942/2016), Engineering, Chemical (30/135)
4. V. Marjanović, S. Lazarević, I. Janković-Častvan, B. Jokić, **Dj. Janaćković**, R. Petrović, Adsorption of chromium(VI) from aqueous solutions onto aminefunctionalized natural and acid-activated sepiolites, Applied Clay Science, 80–81 (2013), pp. 202-210, <https://doi.org/10.1016/j.clay.2013.04.008>, ISSN 0169-1317, (IF 2,703/2013), Chemistry, Physical (52/146), Materials Science (68/275), Multidisciplinary Mineralogy (7/29)
5. Marija T. Mihajlović, Slavica S. Lazarević, Ivona M. Janković-Častvan, Janez Kovač, Bojan M. Jokić, **Djordje T. Janaćković**, Rada D. Petrovic, Kinetics, thermodynamics, and structural investigations on the removal of Pb²⁺, Cd²⁺, and Zn²⁺ from multicomponent solutions onto natural and Fe(III)-modified zeolites, Clean Technologies and Environmental Policy, 17 (2) (2015), pp. 407-419, <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10098-014-0794-8>, ISSN 1618- 954X, (IF 1,934/2014), Engineering, Environmental (21/47), Environmental Sciences (101/223)IF=2,857) ISSN 0888-5885

Име и презиме ментора 2: др Јелена Лукић

Звање: Виши научни сарадник Универзитета у Београду, Електротехнички институт “Никола Тесла”

1. 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 Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 29, no. 1, pp. 54-61, Feb. 2022. DOI: 10.1109/TDEI.2022.3148479, ISSN 1070-9878 (IF 2.931/2020)
2. 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, 3522. <https://doi.org/10.3390/ma16093522>, ISSN 1996-1944 (IF 3.4/2022)
3. V.Vasović, **J.Lukić**, C.Perrier, M.Coulibaly, Equilibrium Charts for Moisture in Paper and Pressboard Insulations in Mineral and Natural Ester Transformer Oils, IEEE Electrical Insulation Magazine, 30 (2) (2014) 10-16. DOI:10.1109, ISSN 0883-7554, IF= 1.36 (2014). Engineering, Electrical & Electronic (98/243).
4. V.Vasovic, **J.Lukic**, D.Mihajlovic, B.Pejovic, U.Radoman, Z.Radakovic, A.Orlovic, „Aging of Transformer Insulation - Experimental Transformers and Laboratory Models with different Moisture Contents: Part I – DP and Furans Aging Profiles“, IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, 26 (6) (2019), 1840 – 1846, ISSN: 1558-4135, IF= 2.135 (2018) - Engineering, Electrical & Electronic (134/265) DOI:10.1109/TDEI.2019.008183
5. V.Vasovic, **J.Lukic**, D.Mihajlovic, B.Pejovic, M.Milovanovic, U.Radoman, Z.Radakovic, „Aging of Transformer Insulation - Experimental Transformers and Laboratory Models with different Moisture Contents: Part II – Moisture Distribution and Aging Kinetics“, IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, 26 (6) (2019) 1847 – 1852, ISSN: 1558-4135, IF= 2.135 (2018) - Engineering, Electrical & Electronic (134/265) DOI:10.1109/TDEI.2019.008184

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Петар Ускоковић

- 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. 20/182

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

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. 43. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 26.12.2023. 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 **Јелене Јанковић**, број индекса 4040/21, 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“**.

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

За менторе се одређују др Ђорђе Јанаћковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Јелена Лукић, виши научни сарадник Универзитета у Београду, Електротехнички институт “Никола Тесла”.

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

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ
НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

Предмет: Подобност теме и кандидата Јелене Јанковић, дипл. инж.технологије, за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета бр. 35/257 од 09.11.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата ЈЕЛЕНЕ ЈАНКОВИЋ дипл. инж. технологије, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „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“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

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 у децембру 2008. године на Катедри за Неорганску хемијску технологију са просечном оценом 8,86 код ментора др. Ђорђа Јанаћковић.

Од 2009. године, запослена је на Електротехничком институту „Никола Тесла“ у Лабораторији за испитивање изолационих уља и папира, најпре као приправник, а данас као виши стручни сарадник.

Докторске академске студије је уписала школске 2010/2011. године на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Хемијско инжењерство, под руководством ментора др. Ђорђа Јанаћковића. Услед истека рока за завршетак докторских студија, школске 2021/2022. поново је уписана на докторске студије, на трећу годину студијског програма Хемијско инжењерство, Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, под руководством истог ментора.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

У оквиру докторских студија Јелена Јанковић је положила све испите предвиђене студијским програмом са просечном оценом 9,91 и школске 2018/2019. године одбранила Завршни испит под називом „Синтеза, карактеризација и примена високо – селективног адсорбента у уклањању корозивних сумпорних једињења из минералних изолационих уља“ са оценом 10, пред комисијом у саставу др. Ђорђе Јанаћковић, др. Ђорђе Вељовић и др. Александар Орловић.

Табела 1.2.1 Списак положених испита, остварени ЕСПБ бодови и оцене на докторским студијама

Предмет	ЕСПБ поени	Оцена
1. Специјална поглавља преноса масе	4	10
2. Одабрана поглавља инструменталне анализе	7	9
3. Одабрана поглавља нумеричке анализе	5	10
4. Виши курс аналитичке хемије	5	10
5. Органске загађујуће супстанце	4	10
6. Виши курс термодинамике	5	10
7. Структурна анализа органских молекула	6	10
8. Феномени преноса у инжењерству материјала	5	10
9. Отпадни органски производи као секундарне сировине	5	10
10. Неограничени адсорбенти – теоријски основи и примена	4	10
11. Завршни испит	30	10
Укупно	80	9,91

Од 2009. године активно учествује у испитивањима изолационих уља и папира, примени поступака обраде уља адсорбентима (регенерација уља) у циљу уклањања корозивних сумпорних једињења (дибензил дисулфида, елементарног сумпора) и продуката старења из уља.

Јелена Јанковић је била сарадник на изради већег броја студија и интерних стандарда, везаних за одржавање енергетских трансформатора, за потребе Електропривреде Србије и Електромреже Србије.

Од 2015 – 2017 године учествовала је на развоју методе за квантификацију елементарног сумпора у минералном уљу, применом гасне хроматографије са детектором хватача електрона (*Electron capture detector, ECD*) и увођењу методе у рад реномиране лабораторије у Ирској „*TelLab*“, као и на оптимизацији поступака обраде корозивних уља на терену применом адсорбената.

Од 2017 - 2019 године, 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.

Као истраживач-приправник, а касније и као истраживач сарадник, 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

технолошког развоја ТР 33024 „Повећање енергетске ефикасности, поузданости и расположивости електрана ЕПС-а утврђивањем погонских дијаграма генератора и применом нових метода испитивања и даљинског надзора“.

У оквиру научно-истраживачког рада, од 2012. године Јелена Јанковић се бавила истраживањима из области: поступака обраде уља адсорбентима (регенерација уља) у циљу уклањања корозивних сумпорних једињења (ДБДС, елементарног сумпора и других реактивних дисулфида) и продуката старења из уља, поступака за добијање високо селективних адсорбената за обраду уља као и оптимизације поступака примене синтетисаних адсорбената у циљу добијања регенерисаних уља високог квалитета. Поред тога истраживачки рад Јелене Јанковић обухватао је и развој метода за оцену корозивности минералних уља према сребру, оптимизацијом температуре, садржаја кисеоника и времена трајања теста.

Јелена Јанковић је коаутор два рада објављена у часописима међународног значаја (M22), пет радова објављених у часописима националног значаја (M53), као и 40 саопштења на научним скуповима (M31-3, M32-1, M33-14, M63-22). Коаутор је једног новог техничког решења примењеног на националном нивоу (M82), једног националног патента регистрованог у Заводу за интелектуалну својину Републике Србије (M92) и једног објављеног патента на међународном нивоу (M93).

Списак објављених научних и стручних радова

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. **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 Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 29, no. 1, pp. 54-61, Feb. 2022. DOI: 10.1109/TDEI.2022.3148479 (IF 2.931/2020)
2. **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, 3522. <https://doi.org/10.3390/ma16093522> (IF 3.4/2022)

Предавање по позиву са међународног скупа, штампано у целини (M31)

1. J.Lukić, D.Mihajlović, V.Vasović, **J.Janković**, K.Drakić, S.Milosavljević, „Mitigation Techniques on Corrosive Sulphur“, Tech Con Asia Pacific, Tech-Con Asia Pacific, Sydney, 1-2 April 2014, Proceedings, page www.techcon.com.au/2014-conference-program
2. J.Lukic, **J.Janković**, J.Radomirovic, S.Milosavljevic, „Silver Corrosion Mitigation - Solutions for Extension of Transformer Life“, TechCon SE Asia, Kuala Lumpur, Malaysia, 11 April 2017.
3. J.Lukic, **J.Jankovic**, J.Planojevic, M.Foata, C.Zieglschmid, V.Castano, A.Briotto, „Silver Sulphide in OLTCs – Root Causes and Proactive Mitigation Strategies“, TechCon Aus-NZ, Sydney, 4th -5th April 2019.

Предавање по позиву са међународног скупа, штампано у изводу (M32)

1. J. Lukić, D. Mihajlović, V. Vasović, **J. Janković**, K. Drakić, S. Milosavljević, "Corrosive Sulphur Risk Assessment and Mitigation Techniques", 18th IEEE International Conference on Dielectric Liquids, June 29th to July 3, 2014, Bled, Slovenia.

1. B.Đurić, S.Teslić, **J.Janković**, D.Teslić, „Condition based assessment of transformers with on load tap changer“, CG CO CIGRE, 13 - 16.05.2013, Pržno, P A2-02
2. S.Teslić, B.Đurić, **J.Janković**, J.Lukić, B.Janićijević, „PCB contamination of mineral-oil filled transformers – inventory issues“ CG CO CIGRE, 13 - 16.05.2013, Pržno, P A2-06
3. 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>
4. A.Nikolic, B.Pejovic, B.Djuric, **J.Jankovic**, K.Drakis, „Maintenance Improvement and Cost Reduction of Large Scale Systems Using Remote Monitoring and Supervision“, 2nd International Conference on Intelligent Control, Modelling and Systems Engineering (ICMS '14) Cambridge, MA, USA January 29-31, 2014
5. 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
6. 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
7. J.Lukić, V.Ivančević, N.Kovačević, **J.Janković**, S.Milosavljević, „Solving the problem of exploitation of PCB contaminated transformers using oil dechlorination process“, Hazardous Industrial Waste, Mining Waste and Treatment of Industrial Waste Water, 2nd International Symposium, 26. – 27.04.2016, Zrenjanin
8. J. Lukić, V. Vasović, D. Mihajlović, **J. Janković**, N. Kovačević, V. Ivančević, S. Milosavljević, „Power transformers PCB decontamination and corrosive sulfur removal by the application of patented technology of oil dechlorination and desulfurization“, CG CO CIGRE, 09.– 12.05.2017, Bečići
9. D.Mihajlović, **J.Janković**, V.Vasović, J.Lukić „Methods for extending the lifetime of power transformers – From diagnostic of condition to revitalization processes “, CG CO CIGRE, 09.– 12.05.2017, Bečići
10. **J.Janković**, D.Mihajlović, V.Vasović, N.Kovačević, J.Radomirović, J.Lukić, „Results of PCB Decontamination of Transformens in JP EPS and PD Elektrovojvodina Using Patented Technology of Oil Dechlorination Process, Hazardous Industrial Waste, Mining Waste and Treatment of Industrial Waste Water, 3rd International Symposium, 22 – 24.05.2017, Palić
11. 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.
12. J.Radomirović, N.Kovačević, J.Lukić, **J.Janković**, V.Ivančević, „Dekontaminacija PCB kontaminiranih transformatora, uklanjanje korozivnog sumpora i regeneracija ostarelih ulja u mobilnom postrojenju Instituta Nikola Tesla“, BOSANSKOHERCEGOVAČKI KOMITET/OGRAK MEĐUNARODNOG VIJEĆA ZA VELIKE ELEKTRIČNE SISTEME/SUSTAVE - BH K/O CIGRE, 14. SAVJETOVANJE BH K/O CIGRE, Neum, 20-23. oktobar 2019.
13. D. Ilić, M.Milić B.Pejović, R.Kališkić, Đ.Jovanović, **J.Janković**, K.Drakić, V.Radin, N.Malešević, S. Milosavljević: „On line acoustic detection of partial discharge in oil filled instrument transformers as a tool for screening“, CIGRE South East European Regional Council Conference 2020 in Vienna, Austria, 16-19 June 2020.
14. 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.

Рад у националном часопису (М53)

1. **Ј.Јанковић**, Д.Михајловић, Н.Ковачевић, В.Васовић, Ј.Лукић: „Примена патентиране технологије за решавање проблема ПЦБ контаминације и корозивног сумпора у енергетским трансформаторима“, UDK:621.315.615:620.193.4:621.314.212, BIBLID:0350-8528(2018),28.p.41-50, doi:10.5937/zeint28-19592
2. В.Васовић, Д.Михајловић, **Ј.Јанковић**, Ј.Лукић: „Процена стања папирне изолације енергетских трансформатора на основу садржаја 2-фурфурала у минералном изолационом уљу коригованог на референтну температуру од 20°C“,UDK:621.314.21:621.315.614:621.314.615, BIBLID:0350-8528(2019),29.p.45-56, doi:10.5937/zeint29-23912
3. Ј.Планојевић, Ј.Лукић, В.Васовић, Д.Михајловић, **Ј.Јанковић**, „Карактеризација обичног крафт и термички надограђеног изолационог папира применом FTIR-ATR спектроскопије“, UDK: 621.315.61: 543.422.3-74 BIBLID:0350-8528(2021),31.p.125-136 doi:10.5937/zeint31-34754
4. Д.Коларски, **Ј.Јанковић**, Д.Михајловић, Н.Ковачевић, Ј.Лукић „Решавање проблема експлоатације трансформатора са корозивним сумпором десулфуризацијом уља применом јаке неорганске базе и органског растварача“, UDK:621.314.21:543.632.461:620.193.42, BIBLID:0350-8528(2021), 31.p.113-123 doi:10.5937/zeint31-34696
5. Д.Михајловић, **Ј.Јанковић**, В.Васовић, В.Иванчевић, Ј.Лукић, Примена чисте технологије за уклањање ПЦБ из минералних уља и енергетских трансформатора до постизања веома ниских вредности ПЦБ-а за потребе ремонта и рециклаже, UDK:621.314.212:661.723 BIBLID:0350-8528(2022),32.p.1-13 doi:10.5937/zeint32-41260

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (М63)

1. Ј.Лукић, С.Теслић, **Ј.Савић**, С.Даковић, С.Милосављевић, Р.Ђукановић, М.Антић, М.Величковић, „Ревитализација папирно/уљне изолације у функцији продужења животног века трансформатора“, Р 3.7, CIREД Врњачка Бања 2008.
2. С.Теслић, Б.Бошковић, В.Радин, **Ј.Јанковић**, Електротехнички Институт ”Никола Тесла”, Косте Главинића 8а, Београд, ”Минерална Трансформаторска Уља Контаминирана Пираленом (ПЦБ-ом)”, Еко-јустус II - Право и животна средина у привреди и пракси, Палић 14-18. јуни 2010, стр. 302
3. С.Теслић, **Ј.Јанковић**, Б.Бошковић, В.Радин, Ј.Лукић, С.Милосављевић, ”Минерална трансформаторска уља контаминирана пираленом (ПЦБ) – од идентификације до решавања проблема”, VII Саветовање о електропривредним мрежама Србије и Црне Горе са регионалним учешћем, Србија, Врњачка Бања, 26.септембар -1.октобар 2010, Р-1.11, стр. 28
4. Д.Теслић, Б.Пејовић, Б.Ђурић, **Ј.Јанковић**, С.Теслић, Ђ.Јовановић, „Утицај присуства регулатора напона на испитивање погонског стања енергетских трансформатора”, 31. Саветовање CIGRE Србија, 26-30.05.2013. Златибор, Р А2-01
5. **Ј.Јанковић**, С.Теслић, Ј.Лукић, Електротехнички Институт „Никола Тесла”, Београд, Србија, „Примена инструменталних метода аналитичке хемије у животном циклусу трансформатора“, 31. Саветовање CIGRE Србија, 26-30.05.2013. Златибор, Р А2-06
6. К. Дракић, Д. Михајловић, В. Васовић, **Ј. Јанковић**, Ј. Лукић, „Принципи дијагностике и тумачење резултата гаснохроматографске анализе-случајеви из праксе“ CIREД Србија, септембар 2014, СТК 3, Р-3.08, www.ciredserbia.org.rs, ISBN 978-86-83171-18-7
7. **Ј.Јанковић**, К.Дракић, В.Васовић, Ј.Лукић, Ј.Планојевић, Ђ.Јанаковић, Ђ.Вељовић, „Регенерација остарелих трансформаторских уља домаћим сорбентима у циљу

- продужења животног века трансформатора“, CIREД Србија 26.-30.09.2016, Врњачка Бања, Р.1.25
8. В.Васовић, Д.Михајловић, **Ј.Јанковић**, К.Дракић, Ј.Лукић „Анализа садржаја гасова растворених у уљу – значај у дијагностици погонског стања трансформатора“, CIREД Србија 26.-30.09.2016, Врњачка Бања, Р.1.13
 9. Ј.Лукић, К.Дракић, Н.Ковачевић, **Ј.Јанковић**, В.Иванчевић, С.Милосављевић, Д.Воргић, Д.Матић „Деконтаминација ПЦБ контаминираних енергетских трансформатора у ПД Електроовјодина“, CIREД Србија 26.-30.09.2016, Врњачка Бања, Р.1.24
 10. Ј.Лукић, В.Иванчевић, Н.Ковачевић, **Ј.Јанковић**, С.Милосављевић, „Решавање проблема експлоатације ПЦБ контаминираних трансформатора применом поступка ПЦБ деконтаминације дехлоринацијом уља“, Опасан индустријски отпад, Рударски отпад и Третман индустријских отпадних вода, 26. – 27.04.2016, Зрењанин
 11. **Ј.Јанковић**, Д.Михајловић, В.Васовић, Н.Ковачевић, Ј.Радомировић, Ј.Лукић, „Резултати ПЦБ деконтаминације трансформатора у ЈП Електропривреда Србије и ПД Електроовјодина применом патентиране технологије дехлоринације уља“, 3. саветовање “Опасан индустријски отпад и третман индустријских отпадних вода“, 22 – 24.05.2017, Палић
 12. В.Васовић, Д.Михајловић, **Ј.Јанковић**, Ј.Лукић, „Дијагностика стања енергетских трансформатора на основу анализе уља – значај базе података и искуства из праксе“, 33. саветовање CIGRE Србија, 5 -8.06.2017, Златибор
 13. Ј. Лукић, **Ј.Јанковић**, Б.Ђурић, С.Милосављевић, И.Митровић, Т.Бабић, М.Јанковић, „Решење проблема експлоатације трансформатора са корозивним уљем применом процеса рерафинације и десулфуризације минералних изолационих уља“, 33. саветовање CIGRE Србија, 5 – 8.06.2017, Златибор
 14. **Ј.Јанковић**, Д.Михајловић, Н.Ковачевић, В.Васовић, Ј.Лукић, „Деконтаминација ПЦБ контаминираних енергетских трансформатора у ЈП ЕПС и ПД Електроовјодина - резултати примене домаће патентиране технологије дехлоринације уља развијене у Институту „Никола Тесла“, 11. саветовање CIREД Србија 24.-28.09.2018, Копаоник, Р.3.16
 15. В.Васовић, **Ј.Јанковић**, Д.Михајловић, Ј.Лукић, Ђ.Јовановић, Д.Жуковски, М. Цвијановић, „Интересантни случајеви дјагностике стања енергетских трансформатора након квара и хаварије током 2017 и 2018 године: Унапређење дијагностике применом нових метода и пост-мортем анализа“, 34. саветовање CIGRE Србија, 2 – 6.06.2019, Врњачка Бања
 16. **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
 17. Н.Ковачевић, Ј.Радомировић, Ј.Лукић, **Ј.Јанковић**, В.Иванчевић, „Деконтаминација ПЦБ контаминираних енергетских траснформатора у ЈП ЕПС и ПД Електроовјодина применом домаће патентиране технологије дехлоринације уља“, VII Регионална конференција „Индустријска енергетика и заштита животне средине у земљама југоисточне Европе“, Златибор, Србија, 19 - 22.06.2019.
 18. 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 CIREД Србија 28.09.-02.10.2020, Копаоник, Р.3.16

19. В.Шилјут, М.Ђорђевић, Н.Лукић, Р.Калишкић, **Ј.Јанковић**: „Реализација центра за надзор и дијагностику стања електроенергетске опреме“, 35. саветовање CIGRE Србија, 03-07.10.2021
20. Ј.Планојевић, Ј.Лукић, В.Васовић, **Ј.Јанковић**, Д.Михајловић: „Чврста изолација енергетских трансформатора – структура, применске особине и методе испитивања након фабричког сушења и током експлоатације“, 35. саветовање CIGRE Србија, 03-07.10.2021
21. Ј.Лукић, Д.Михајловић, **Ј.Јанковић**, В.Васовић, Д.Коларски, В.Иванчевић, Н.Ковачевић, „Деконтаминација ПЦБ контаминираних електричних опрема применом патентираних технологија Института Никола Тесла“, 2. регионално саветовање безбедно управљање хемикалијама, Београд, 17-18. новембар 2021, п. 61-62
22. К.Дракић, **Ј.Јанковић**, Д.Михајловић, В.Васовић, Ј.Лукић, Статистичка анализа резултата базе података института „Никола Тесла“ у циљу ревизије постојећих граничних вредности стандарда IEC 60422 и увида и процене стања и квалитета уља различитих категорија опреме, XIII Саветовање и електродистрибутивним мрежама Србије CIRED, Копаоник, 12-16. септембар 2022.

Ново техничко решење (метода) примењено на националном нивоу (M82)

1. Ј.Лукић, Д.Михајловић, **Ј.Јанковић**, В.Васовић, В.Иванчевић, А.Орловић, С.Глишић, Ново техничко решење примењено на националном нивоу, Уклањање корозивних једињења сумпора из уља трансформатора Блок 5, 5БТ, применом патентираних технологија дехлоринације, десулфуризације и регенерације уља, за ЕПС АД – ТЕНТ Београд, 2021.

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 tolyl triazole from mineral transformer oils“, Publication Number WO/2018/190741, Publication Date 18.10.2018.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу увида у досадашњи рад и остварене резултате током докторских студија и у оквиру научно-истраживачких пројеката Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије, III 45019 и TP 33024 и других пројеката на којима је била ангажована као сарадник института Никола Тесла, Комисија констатује да је Јелена Јанковић, дипл. инж. технологије, показала изразиту склоност и способност за бављење научно-истраживачким радом као и самосталност у експерименталном раду, обради и анализи резултата као и публикацији радова. Треба истаћи да је из саме предложене теме дисертације, кандидат до сада објавио два рада у истакнутим међународним часописима (M22), један регистровани патент на националном нивоу (M92) и један објављен патент на међународном нивоу (M93).

На основу биографских података кандидата, њених научних и стручних доприноса, као и објављених радова, Комисија сматра да кандидат испуњава услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања ове дисертације представља синтезу, карактеризацију и примену високо селективног адсорбента на бази силицијум диоксида са инкорпорираним јонима метала, за уклањање корозивности минералних изолационих уља према сребру (услед присуства елементарног сумпора и дисулфида у уљу у широком опсегу концентрација) и регенерацију уља.

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, ови адсорбенти мале ефикасности. Сребро је поред бакра и гвожђа конструкциони метал енергетских трансформатора, а корозивност минералних изолационих уља према сребру постала је велики проблем у електроенергетици због већег броја хаварија трансформатора изазваних овим проблемом. Корозивност минералних изолационих уља према сребру је узрокована присуством реактивних дисулфида и елементарног сумпора (S_8) у уљу. Реактивни дисулфиди се могу детектовати у новим уљима и уљима у експлоатацији, док је присуство S_8 у уљу најчешће 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.

Наиме, приликом извођења процеса реактивације адсорбента у *on-line* системима, у поступку високо температурног сагоревања (изнад 600°C), као нус производ каталитичког и термичког крекинга уља настаје S_8 , који је високо реактиван према металима, посебно према сребру. S_8 реагује са сребром на ниским температурама (у случају високих концентрација S_8 реакција се одиграва на собној температури) при чему долази до формирања електропроводних наслага сребро – сулфида (Ag_2S) на сребрним контактима теретне регулационе преклопке (ТРП) и последичне хаварије трансформатора. Последњих година пријављено је више случајева корозије на сребрним контактима ТРП, откривених током инспекцијског надзора на лицу места.

Други део истраживања представља развој 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. Поред молекула S_8 , друга једињења сумпора, дисулфиди и меркаптани такође могу изазвати корозивност уља према сребру, што се утврђује тестом корозије сребрне траке према АСТМ Д 1275-15 стандарду. У пракси се показало да, амински дериват толуил триазола, који је функционално уљно-растворни метал пасиватор, се ефикасно користи за пасивизацију бакарних површина и решавање проблема корозије бакра, док за сребро овај пасиватор није ефикасан. Испитивање корозивности минералних изолационих уља применом постојећих стандардизованих тестова корозије дају различите резултате, у зависности од врсте сумпорних једињења присутних у уљу и различите реактивности према бакру и сребру, која даље могу довести до неадекватне и непоуздане процене ризика енергетског трансформатора од хаварије.

Циљ истраживања ове дисертације је развој поступка за добијање адсорбента за пречишћавање минералних изолационих уља коришћених у трансформаторима ради уклањања корозивности уља према сребру и продуката старења из уља. Индустијском применом новог адсорбента, синтетисаног у посебном поступку наношења јона метала и неогранских база за неутрализацију киселих нус-продуката хемисорпције сумпорних једињења, решава се проблем корозивности минералних трансформаторских уља према сребру, симултаним уклањањем елементарног сумпора, дисулфида и продуката старења из уља. Резултати истраживања би требало да омогуће оптималне услове за синтезу адсорбента, његову примену као и добијање адсорпционих параметара за максималну ефикасност адсорбента. Други део истраживања, развој нове методе за оцену корозивности минералних уља према сребру у условима повишеног садржаја кисеоника, омогућиће ефикаснију процену ризика од хаварије ЕТ услед корозије сребра и правовремено и адекватно планирање примене ефикасних техника за решавање проблема корозије сребра.

Појединачни циљеви у оквиру ове дисертације су:

- оптимизација параметара синтезе и карактеризација добијеног високо селективног адсорбента применом различитих техника;
- испитивање примене синтетисаног адсорбента у уклањању елементарног сумпора из уља у различитим концентрацијама, перколационим поступком у лабораторији, на мањим стакленим колонама за регенерацију уља (*lab-scale set up*) и на пилот постројењу са колонама од нерђајућег челика (*pilot-scale set up*);
- одређивање кинетичког модела који најбоље описује поступак хемисорпције елементарног сумпора из уља и одређивање термодинамичких параметара процеса на пилот постројењу, на различитим температурама третмана уља и са различитим почетним концентрацијама елементарног сумпора у уљу;
- верификација примене синтетисаног адсорбента на терену (*on-site*), на уљу из енергетског трансформатора, номиналног напона 35 kV, са типичном концентрацијом елементарног сумпора у уљу која се може наћи у трансформаторима у погону (око 15 mg/kg);
- развој и примена нове методе за оцену корозивности минералних уља према сребру, на уљима са високим садржајем корозивног једињења сумпора, ДБДС (око 150-200 mg/kg);

Списак стручне литературе која ће се користити:

- [1] CIGRE Technical Brochure 625; Copper Sulphide Long-term mitigation and Risk Assessment; CIGRE: Paris, France, 2015. ISBN 978-2-85873-328-6
- [2] CIGRE. CIGRE Technical Brochure 378; Copper Sulphide in Transformer Insulation; CIGRE: Paris, France, 2009.
- [3] R.Maina, V.Tumiatti, M.Pompili, R.Bartnikas, Corrosive Sulfur Effects in Transformer Oils and Remedial Procedures, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 16, No.6, December 2009
- [4] J.Lukić, Oil Oxidation-Role of Oil inhibitors, My Transfo 2008-2009
- [5] P.Griffin, J.Lapworth and S.Ryder, Links between transformer design and sulphur corrosion”; ISH Conference, 2009

- [6] S.Kamishima, T.Ito, Y.Morishima, Change in Corrosivity of Insulating Oil Caused by Oxidative Deterioration of the Oil, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.19, No.2; April 2012
- [7] M.Dahlund, et.al., Effects of on-line reclaiming on the corrosive sulphur content of transformer oil, CIGRE 2010, GCC Regional Conference
- [8] Jelena Lukić, Ksenija Drakić, Vesna Radin, Vladimir Ivančević, Uporedna analiza efekata regeneracije korišćenih transformatorskih ulja primenom prirodnih i sintetičkih adsorbenata na bazi alumo-silikata, Zbornik radova Elektrotehničkog Instituta „Nikola Tesla“, UDK: 621.315.615; 661.183.4; 661.183.6, BIBLID: 0350-8528 (2005), 17.p. 45-52.
- [9] V.Pejović, A.Bojković, “Poboljšanje kvaliteta transformatorskih ulja iz eksploatacije hemijskom obradom”, Studija Instituta “Nikola Tesla”, Beograd, 1984.
- [10] J.Lukić, J.Janković, B.Đurić, S.Milosavljević, I.Mitrović, T.Babić, M.Janković, „Rešenje problema eksploatacije transformatora sa korozivnim uljem primenom procesa rerafinacije i desulfurizacije mineralnih izolacionih ulja“, 33. savetovanje CIGRE Srbija, 05 – 08.06.2017, Zlatibor
- [11] M. Dahlund, H. Johansson, U. Lager and G. Wilson, "Understanding the presence of corrosive sulphur in previously non-corrosive oils following regeneration," in Proceedings of the 77th Annual International Conference of Doble Clients Conference, Boston, MA, USA, 26–31 March 2010.
- [12] G.Wilson, National Grid Experiences with Corrosive Sulphur: update mkII, Euro TechCon, Glasgow November 2012.
- [13] 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.
- [14] Marko Mužić, Katica Sertic-Bionda, Tamara Adžamic, „Kinetic, equilibrium and statistical analysis of dielese fuel adsorptive desulfurization“, ISSN 0350-350X, GOMABN 47, 3, 373-394, 2009.
- [15] Amir Iravani, „Adsorptive Removal of Refractory Sulphur and Nitrogen Compounds from Transportation Fuels“, PhD thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada, 2011.
- [16] Y.S. Ho, G. McKay, „Pseudo-second order model for sorption processes“ Process Biochemistry 34 (1999) 451–465.
- [17] Liming Yang, Yujun Wang, Dan Huang, Guangsheng Luo and Youyuan Dai, „Preparation of High Performance Adsorbents by Functionalizing Mesostructured Silica Spheres for Selective Adsorption of Organosulfur Compounds“, Ind. Eng. Chem. Res. 2007, 46, 579-583
- [18] Mazen K. Nazal, Mazen Khaled, Muataz A. Atieh, Isam H. Aljundi, Ghassan A. Oweimreen, Abdalla M. Abulkibash, „The nature and kinetics of the adsorption of dibenzothiophene in model diesel fuel on carbonaceous materials loaded with aluminum oxide particles“, Arabian Journal of Chemistry, 2015, <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.12.003>
- [19] Lance R. Lewand, “The role of corrosive sulfur in transformers and transformer oil“, Doble Engineering Company, USA, 2002.
- [20] Insulating Liquids – Test Method for Detection of Potentially Corrosive Sulphur in Used and Unused Insulating Oil, IEC Standard 62535-2008, 2008-10.
- [21] Testing of Insulating Oils – Detection of Corrosive Sulfur, Silver Strip Test, DIN Standard 51353-1985, 1985-12.
- [22] Standard Test Method for Corrosive Sulfur in Electrical Insulating Liquids, ASTM Standard D1275-15, 2015.

- [23] J.J.Erbrink et al, "Condition Assessment of On Load Tap Changers using Dynamic Resistance Measurement," IEEE Int. Conf. on High Voltage Engineering and Application, (ICHVE), 2010, pp. 433-436.
- [24] M.Facciotti et al "Passivators, corrosive sulphur and surface chemistry. Tools for the investigation of effective protection" presented at the Conference MyTransfo Italy, 2014.
- [25] Amimoto,T. et al, "Duration and mechanism of suppressive effect of triazole-based passivators on copper-sulfide deposition on insulating paper", IEEE Trans.Dielectr.Electr. Insul, vol. 16, no. 1, pp. 257 – 264, Feb. 2009.
- [26] J.Lukić, S.Milosavljević and A.Orlović, "Degradation of Insulating Systems of Power Transformers by Copper Sulfide Deposition: Influence of Oil Oxidation and Presence of Metal Passivators," Ind. Eng. Chem. Res, vol. 49, pp. 9600-9608, 2010.
- [27] M.Matejkova et al, "Removal of Corrosive Sulfur from Insulating Oils by Natural Sorbent and Liquid-Liquid Extraction," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. vol. 24, no. 4, pp. 2383-2389, Sep. 2017.
- [28] A. Akshatha, J. Sundara Rajan and H. Ramachandra, "Laboratory Validation of Method of Solvent Extraction for Removal of Sulphur Compounds from Mineral Oil," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. vol. 22, no. 5, pp. 2572-2580, Oct. 2015.
- [29] D.Ding et al, "Removal of Dibenzyl Disulfide (DBDS) by Polyethylene Glycol Sodium and Its Effects on Mineral Insulating Oil," IEEE Access, vol. 7, pp. 121530 – 121539, Aug. 2019.
- [30] H.F.A. Verhaart, G.P.Krikke and A.Sharma, "New Insights into the Corrosive Sulfur issue with Transformers," GCC CIGRE Int. Conf, 2011, pp. 350-357.
- [31] J.Lukic, "Silver Corrosion Mitigation - Solutions for Extension of Transformer Life," presented at the TechCon South East Asia, Malaysia, 2017.
- [32] R.Maina et al, "Transformers Surveillance Following Corrosive Sulfur Remedial Procedures," IEEE Trans. Power Del., vol. 26, no. 4, pp. 2391-2397, Oct. 2011.
- [33] A. F. Holt et al, "Silver Corrosion in Transformers," Annu. Rep. Conf. Electr. Insul. Dielect. Phenom. (CEIDP), 2013, pp. 448-451.
- [34] J.Lukic, M.Foata et al, "Sulphur Corrosion Mitigation in Power Transformer Life Extension," presented at the CIGRE Workspot IX (regional colloquium), Brazil, 2018.
- [35] J.Lukic et al, "Silver Sulphide in OLTCs – Root Causes and Proactive Mitigation Strategies," presented at the TechCon Aus-NZ, Australia, 2019.
- [36] C.G.Gonzales, "Geracao de Enxofre Corrosivo Em Oleo Isolante Em Processos Convencionais De Regeneracao Que Podem Causar Falhas Catastroficas Em Transfromadores de Potencia," presented at the CIGRE Workspot IX (regional colloquium), Brazil, 2018.
- [37] T. Wan et al, "Removal of Corrosive Sulfur from Insulating Oil with Adsorption Method," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. vol. 22, no. 6, pp. 3321 – 3326, Dec. 2015.
- [38] S. Lagergren, "About the theory of so-called adsorption of soluble substances", Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens. Han-dlingar, vol. 24, no. 4, pp. 1–39, 1898.
- [39] Ho Y.S and G. McKay, "A Comparison of Chemisorption Kinetic Models Applied to Pollutant Removal on Various Sorbents," Process Saf. Environ. Prot, vol. 76, no. 4, pp. 332–340, Nov. 1998.
- [40] Mineral Insulating Oils in Electrical Equipment – Supervision and Maintenance Guidance, IEC Standard 60422-2013, 2013–01.
- [41] F. Scatiggio, V. Tumiatti, R. Maina, M. Pompili and R. Bartnikas, "Corrosive Sulfur in Insulating Oils: Its Detection and Correlated Power Apparatus Failures," IEEE Trans. Power Del., vol. 23, pp. 508–509, Dec. 2007.
- [42] A.F. Holt, M. Facciotti, P. Amaro, R.C.D. Brown, P.L. Lewin, J.A. Pilgrim, G. Wilson and P. Jarman, "An initial study into silver corrosion in transformers following oil

- reclamation, " in Proceedings of the 2013 IEEE Electrical Insulation Conference (EIC), Ottawa, Canada, August 29th, 2013; pp. 469–472.
- [43] M. Martins, R. Martins and A. Peixoto, "Fuller's Earth as the Cause of Oil Corrosiveness after the Oil Reclaiming Process, " in Proceedings of the CIREQ 23rd International Conference on Electricity Distribution, Lyon, France, 15–18 June 2015.
- [44] S. Samarasinghe, H. Ma, D. Martin, and T. Saha, "Investigations of silver sulphide formation on transformer OLTC tap selectors and its influence on oil properties," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 26, no. 6, pp. 1926–1934, Dec. 2019.
- [45] I.A.Hoehlein, U.Sundermann, J.Steidtner, "Assessment of Oil Corrosivity," CIGRE A2&C4 Colloquium, PS3- id036, Zurich, September 2013.

3. Полазне хипотезе

Детаљним прегледом литературе установљено је, да је метал пасиватор на бази аминских деривата толуил триазола ефикасан за покривање бакарних површина и решавање проблема корозије бакра, док за покривање сребрних површина и заштиту од формирања сребро-сулфида (у реакцији са елементарним сумпором и другим реактивним дисулфидима), овај пасиватор није ефикасан. Поред тога, поступци обраде уља корозивних према сребру коришћењем адсорбената на бази алумо-силиката су мале ефикасности. Истраживања предложена у оквиру ове докторске дисертације полазе од хипотезе да се наношењем активне компоненте (јона метала) на чврст носач (површину адсорбента) може успешно синтетисати адсорбент који ће бити високо селективан за уклањање пре свега S_8 а затим и других дисулфида из минералних изолационих уља. При томе се полази од следећих претпоставки:

- Могуће је синтетисати високо-селективни адсорбент наношењем воденог раствора сребро-нитрата за уклањање сумпорних једињења корозивних према сребру комбинованим поступком хемијске реакције и физичке адсорпције (тзв. хемисорпцијом).
- За неутрализацију киселих нус-продуката након хемисорпције сумпорних једињења на активним центрима на површини адсорбента, може се користити водени раствор амонијум-хидроксида.
- Оптимизацијом садржаја водених раствора сребра и амонијум јона могуће је добити адсорбент са оптималним садржајем инкорпорираних јона, који ће бити високо ефикасан за симултано уклањање елементарног сумпора, дибензил-дисулфида и киселих нус-продуката старења.
- Оптимизацијом адсорпционо-перколационог поступка обраде уља у колони од нерђајућег челика са високо-селективним адсорбентом, варирањем кључних параметара поступка (температуре, масеног односа адсорбент/уље, броја пролаза, итд.) може се постићи ефикасно уклањање елементарног сумпора и дисулфида (у широком опсегу концентрација) и продуката старења из уља.

Поред тога, најновија лабораторијска истраживања су показала да постојећи стандардизовани тестови за оцену корозивности минералних уља према сребру (АСТМ Д 1275-15, ДИН 51353) дају различите резултате услед различитих услова теста. Метода према ДИН 51353 стандарду је високо селективна за детекцију елементарног сумпора у уљима (чак и када је S_8 присутан у малим концентрацијама, 1 mg/kg), док је за присуство дисулфида ова метода недовољно остелјива, због ниских температура (100°C) и кратког

времена трајања теста (18 h). Са друге стране, ASTM Д 1275-15 тест корозије према сребру може детектовати различита корозивна сумпорна једињења у уљу (S_8 , ДБДС и друга реактивна једињења сумпора - други дисулфиди и меркаптани), због више температуре ($150^{\circ}C$) и дужег времена теста (48 h) у односу на ДИН 51353 тест. Међутим, дешава се да ASTM Д 1275-15 тест није довољно осетљив за уља која садрже дисулфиде, пре свега дибензил дисулфид, ДБДС. Наиме, најновија лабораторијска истраживања открила су случајеве уља са високим концентрацијама ДБДС-а (до 200 mg/kg) која су након ASTM теста корозије остала некорозивна према сребру. Разлог томе је мања ефикасност ДБДС-а према сребру у поређењу са S_8 и другим реактивним дисулфидима. Развој и примена новог теста корозивности минералних уља са ДБДС-ом према сребру, полази од следећег:

- Механизам деградације ДБДС-а се може модификовати у зависности од садржаја кисеоника; при чему могу настати оксигенована једињења сумпора (као последица антиоксидативног дејства ДБДС-а) или може доћи до формирања сулфида метала (бабра или сребра), у условима повишеног садржаја кисеоника и на високој температури (око $150^{\circ}C$ и изнад).
- Повећањем реактивности дисулфида у уљу према сребру, у условима повишеног садржаја кисеоника, могуће је развити тест за оцену корозивности минералних уља према сребру, који ће бити довољно осетљив за уља која садрже ДБДС.

4. Научне методе истраживања

Физичке карактеристике адсорбента као што су рН, тачка топљења, тачка паљења, насипна густина, биће одређене применом стандардних метода. За одређивање текстуалних карактеристика адсорбента примениће се ниско температурна физичка адсорпција азота (N_2), чиме ће се добити подаци о специфичној површини материјала, укупној запремини пора, запремини мезопора, итд. Морфолошке карактеристике материјала биће одређене скенирајућом електронском микроскопијом (SEM) док ће хемијски састав адсорбента биће одређен енергетском дисперзивном спектроскопијом (EDS). Фазни састав високо селективног адсорбента биће одређен ренгенском дифракционом анализом (XRD). Активност и ефикасност адсорбента биће испитана на стакленој колони и адсорпционој колони направљеној од нерђајућег челика, филтрирањем уља кроз слој адсорбента (перколациони поступак) на различитим температурама (испод $85^{\circ}C$). Како би се добијени резултати након експеримената упоредили у експериментима ће се примењивати идентичан масени однос уље/адсорбент. Анализа кинетичких и термодинамичких података хемисорпције биће изведена применом нумеричких метода и математичким моделовањем поступка десулфуризације. За квантификацију корозивних сумпорних једињења (ДБДС и елементарног сумпора) користиће се гасна хроматографија са детектором хватача електрона (Electron capture detector, ECD), док ће се за квантификацију метал пасиватора користити течна хроматографија (High-performance liquid chromatography, HPLC). Инфрацрвена спектроскопија (Fourier-transform infrared spectroscopy, FTIR) ће се користити за анализу узорака уља пре и након третмана високо селективним адсорбентом у циљу потврде да током третмана састав уља остаје непромењен. Стандардни ASTM Д 1275-15 тест корозије сребрне траке биће коришћен ради увида у ефикасност адсорбента у уклањању корозивних једињења сумпора. Испитивање карактеристика уља пре и након примењеног процеса регенерације уља вршиће се према

стандардним методама међународне електротехничке комисије (International Electrotechnical Commission, IEC) и поредиће се са граничним IEC 60422 стандардним вредностима. У циљу одређивања садржаја сумпора на површини сребрне плочице, након стандардног ASTM Д 1275-15 теста и нове унапређене методе за оцену корозивности минералних изолационих уља према сребру (у условима повишеног садржаја кисеоника), користиће се SEM-EDS анализа, док ће се за одређивање садржаја кисеоника раствореног у уљу користити гасна хроматографија (Gas chromatography, GH).

5. Очекивани научни допринос

Резултати ове докторске дисертације ће допринети:

- синтези новог адсорбента са инкорпорираним јонима сребра и амонијум јона, који ће бити високо селективан за симултано уклањање корозивних сумпорних једињења према сребру и бакру (S_8 , ДБДС) и продуката старења из минералних изолационих уља;
- развоју и индустријској примени новог технолошког поступка обраде корозивних уља, адсорпционо-перколационим поступком у колони у нерђајућег челика пуњеној синтетисаним високо-селективним адсорбентом (при оптималном масеном односу адсорбента према уљу), ради добијања пречишћеног и некорозивног минералног изолационог уља добрих карактеристика за даљу употребу;
- одређивању максималног капацитета високо-селективног адсорбента за уклањање корозивног једињења сумпора према сребру, елементарног сумпора;
- бољем разумевању механизма адсорпције, тј. везивања молекула елементарног сумпора за активне центре на површини високо-селективног адсорбента;
- бољем разумевању утицаја различитог садржаја кисеоника на механизам деградације дибензил-дисулфида и формирање сребро (I) сулфида (Ag_2S);
- развоју и примени нове унапређене методе за оцену корозивности минералних изолационих уља према сребру;
- унапређењу процене ризика трансформатора, пуњених минералним уљима са високим концентрацијама ДБДС-а, са аспекта корозије сребра и правовременом планирању примене ефикасних техника за решавање проблема.

6. План истраживања и структура дисертације

Истраживања у овој докторској дисертацији су планирана по следећим фазама:

- испитивање ефикасности природних адсорбената у уклањању једињења сумпора корозивних према бакру и сребру;
- синтеза и карактеризација новог, високо-селективног адсорбента на бази силицијум диоксида, за уклањање корозивних једињења сумпора из минералних изолационих уља, пре свега S_8 и ДБДС-а, коришћењем комбинованог физичког третмана (адсорпције) и хемијске реакције, тзв. хемисорпције;

- оптимизација поступка примене високо селективног адсорбента за уклањање корозивних једињења сумпора према сребру (у широком опсегу концентрација) и регенерацију уља, на мањим лабораторијским колонама (*lab-scale set up*) и пилот постројењу, са већим колонама од нерђајућег челика (*pilot-scale set up*);
- проучавање кинетике адсорпције и адсорпционих изотерми на различитим температурама третмана уља и са различитим почетним концентрацијама S_8 у уљу, у циљу утврђивања максималног капацитета адсорбента;
- прорачун термодинамичких параметара и енергије активације процеса уклањања S_8 из минералних уља;
- верификација поступка примене високо-селективног адсорбента на терену (*on-site*), обрадом уља из енергетског трансформатора, напонског нивоа 35 kV;
- развој нове методе за оцену корозивности минералних изолационих уља са високим садржајем ДБДС према сребру;
- примена нове методе за оцену корозивности минералних уља према сребру, у циљу ефикасније процене ризика трансформатора од корозије сребра;

Предвиђа се да ће предложена докторска дисертација бити 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 описана проблематика појаве корозивног сумпора у трансформаторима са посебним освртом на корозију сребра. Биће дат 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 биће сумирана досадашња искуства у примени доступних технологија за решавање проблема корозивног сумпора. Механизми деградације ДБДС-а у зависности од температуре и садржаја кисеоника биће такође описани у оквиру овог дела дисертације.

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

У поглављу *Резултати и дискусија*, биће приказани и анализирани резултати истраживања у области примене новог адсорбента у уклањању корозивних сумпорних једињења из минералних уља, у лабораторијским условима и на пилот постројењу. Резултати верификације поступка примене високо-селективног адсорбента на терену, на уљу из 35 kV енергетског трансформатора, као и упоредна анализа за резултатима са пилот постројења у лабораторији, биће такође приказани и дискутовани. Поред тога, биће приказани и резултати тестова корозивности уља (са високим садржајем ДБДС-а) према сребру у зависности од различитог садржаја кисеоника. На основу добијених резултата тестова корозивности уља биће изведени закључци о процени ризика трансформатора од корозије сребра.

У поглављу *Закључак* биће сумирани сви закључци добијени на основу експерименталних резултата. У поглављу *Литература* биће наведен списак коришћене литературе, као и публикације проистекле из ове докторске дисертације.

7. Закључак и предлог

На основу изнетих података о досадашњем раду и постигнутим резултатима, Комисија сматра да кандидат Јелена Јанковић, дипл. инж. технологије, испуњава све услове за рад на предложеној теми докторске 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. На основу наведених података, Комисија сматра да је предложена тема докторске дисертације 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“ научно заснована. Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да кандидаткињи Јелени Јанковић одобри израду докторске дисертације под наведеним насловом. За ментора се предлажу др Ђорђе Јанаћковић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду и др Јелена Лукић, виши научни сарадник у Електротехничком институту Никола Тесла, у Београду.

У Београду,
08.12.2023.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

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

.....
Др Ненад Карталовић, научни сарадник
Електротехнички институт Никола Тесла

.....
Др Валентина Васовић, научни сарадник
Електротехнички институт Никола Тесла