

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУРШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/314

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:

**Контаминација полихлорованим бифенилима и хемијски процеси деградације
изолационог система енергетских трансформатора**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Драгиња (Предраг) Михајловић

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

Универзитет у Београду,

Технолошко-металуршки факултет, дипломирани инжењер технологије, Хемијско инжењерство

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 МЕНТОРУ :

Име и презиме ментора: др Александар Орловић

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

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Prokić-Vidojević D., Glišić S.B., Krstić J.B., **Orlović A.M.**, Aerogel Re/Pd-TiO₂/SiO₂ and Co/Mo-Al₂O₃/SiO₂ catalysts for hydrodesulphurisation of dibenzothiophene and 4,6-dimethyldibenzothiophene, *Catalysis Today*, Vol. 378, 10 – 23, 2021. (IF=6,562) ISSN 0920-5861
2. Vasovic V., Lukic J., Mihajlovic D., Pejovic B., Radakovic Z., Radoman U., **Orlovic A.**, Aging of transformer insulation - Experimental transformers and laboratory models with different moisture contents: Part i - DP and furans aging profiles, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 26 (6), 1840 – 1846, 2019. (IF=2,554) ISSN 1070-9878
3. Glisic S.B., Pajnik J.M., **Orlovic A.M.**, Process and techno-economic analysis of green diesel production from waste vegetable oil and the comparison with ester type biodiesel production, *Applied Energy*, Vol. 170, 176 - 185, 2016. (IF=7,182) ISSN 0306-2619
4. Ćosović A.R., Žak T., Glisic S.B., Sokić M.D., Lazarević S.S., Ćosović V.R., **Orlović A.M.**, Synthesis of nano-crystalline NiFe₂O₄ powders in subcritical and supercritical ethanol, *The Journal of Supercritical Fluids*, Vol. 113, 96 – 105, 2016. (IF=2,991) ISSN 0896-8446
5. Mijatović, I.M., Glisic, S.B., **Orlović, A.M.**, Modeling a catalytic reactor for hydrotreating of straight-run gas oil blended with fluid catalytic cracking naphtha and light cycle oil: Influence of vapor-liquid equilibrium, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 53, 19104 - 19116, 2014. (IF=2,857) ISSN 0888-5885

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. 20/181

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 Драгиња Михајловић, број индекса 2021/4041, 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 **Драгиње Михајловић**, број индекса 4041/21, под називом: **„Контаминација полихлорованим бифенилима и хемијски процеси деградације изолационог система енергетских трансформатора“.**

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

За ментора се одређује др Александар Орловић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

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

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата **Драгиње (Предраг) Михајловић**, дипл. инж. техн., број индекса 4041/2021, за израду докторске дисертације

Одлуком 35/256 бр. од 09.11.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Драгиње Михајловић**, дипл. инж. за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под насловом **„КОНТАМИНАЦИЈА ПОЛИХЛОРОВАНИМ БИФЕНИЛИМА И ХЕМИЈСКИ ПРОЦЕСИ ДЕГРАДАЦИЈЕ ИЗОЛАЦИОНОГ СИСТЕМА ЕНЕРГЕТСКИХ ТРАНСФОРМАТОРА“**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Кандидат **Драгиња Михајловић**, дипл. инж. техн. је рођена 28.07.1982. године у Београду где је завршила основну школу као и средњу школу, X гимназију „Михајло Пупин“. Технолошко-металуршки факултет уписује 2001. На Катедри за хемијско инжењерство дипломирала је 2008, са просечном оценом 8,22, код ментора проф. др Мирјане Кијевчанин. Докторске студије на Технолошко-металуршком факултету, студијски програм хемијско инжењерство је уписала први пут 2010. године. Након истека рока за завршетак студија, 2021. године је уписана на трећу годину студија на исти студијски програм, при чему су јој признати сви положени испити.

Од 2010. године запослена је на Електротехничком институту 'Никола Тесла' у Београду, у склопу специјализоване лабораторије за испитивање минералних изолационог уља и папира, прво као приправник а данас као стручни сарадник.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Драгиња Михајловић, дипл. инж. техн. у Електротехничком институту Никола Тесла је ангажована на пословима испитивања и дијагностике стања енергетских трансформатора, изради студија и пројеката. Учествовала је у увођењу нових метода за квантитативно одређивање садржаја метанола и етанола као и квантитативно одређивање садржаја елементарног сумпора у изолационим уљима помоћу гасне хроматографије. Организује и прати реализацију послова деконтаминације уља и трансформатора

контаминираних полихлорованим бифенилима (ПХБ). Била је члан CIGRE радне групе D1.52 - Moisture Measurement in Insulating Fluids and Transformer Insulation—an Evaluation of Solid State Sensors and Chemical Methods у периоду од 2014 до 2018. Такође, као члан одбора учествује у спровођењу и унапређењу интегрисаног система менаџмента квалитетом у институту. Одлуком научног већа Електротехничког института, Драгиња је 2012. године изабрана у звање истраживач сарадник.

Област научно-истраживачког рада током докторских студија Драгиње Михајловић обухвата испитивање контаминације минералних изолационих уља ПХБ-ом у Републици Србији, процес деконтаминације минералних изолационих уља која садрже ПХБ и испитивање квалитета изолационог система трансформатора.

У оквиру докторских студија положила је све испите предвиђене студијским планом и програмом са просечном оценом 9.45, завршни испит је одбранила са оценом 10, пред комисијом др Александар Орловић, др Сандра Глишић и др Никола Никачевић.

Положени испити и остварени бодови у оквиру докторских студија:

Р. бр.	Предмет	Оцена	ЕСПБ поени
1.	Пренос топлоте и енергетска интеграција	10	5
2.	Одобрена поглавља инструменталне анализе	8	7
3.	Хетерогена катализа	10	4
4.	Хемијска кинетика	8	5
5.	Одабрана поглавља инструменталне анализе	10	5
6.	Аналогије феномена преноса	8	5
7.	Енглески језик	10	
8.	Отпадни органски производи као секундарне сировине	10	5
9.	Виши курс термодинамике	10	5
10.	Специјална поглавља преноса масе	10	4
11.	Анализа рада и пројектовање вишефазних реактора	10	5
12.	Завршни испит	10	30
	Укупно	9,45	80

Од 2010. до 2013. године била је ангажована као сарадник на три пројекта на тему расподеле влаге и старења папирне изолације импрегнисане минералним и биљним уљима израђене за потребе Areva T&D/ALSTOM Grid (данас General Electric). У оквиру ових пројеката била је ангажована на испитивању физичких, хемијских и електричних својстава природних естара, пре и након експеримената убрзаног старења уља, као и феномена расподеле воде у систему уље-папир на различитим температурама. Проучавана је могућност примене биљних уља као изолационих флуида у трансформаторима.

Од 2014. до 2017. године била је ангажована на изради Студије „Истраживање феномена деградације изолационог система и процена животног века (експериментални трансформатори на Тент-у)” урађене за Јавно предузеће Електропривреда Србије која је имала за циљ унапређење дијагностике погонског стања трансформатора и процена расположивости, поузданости, утрошеног и преосталог животног века трансформатора на основу хемијских и електричних испитивања. У оквиру ове Студије рађени су експерименти убрзаног старења спроведени на два експериментална трансформатора инсталирана у електрани и два експериментална модел трансформатора у лабораторији.

Била је агажована у реализацији пројекта за PUCARO Немачка, у периоду од 2017 до 2018, на тему одређивања термичке стабилности папира на основу тестова старења на различитим температурама.

Као један од водећих сарадника, од 2020. до 2023. године била је ангажована на Пројекту „Provision of Services for the Decontamination and Where Required Final Disposal of at Least 347 tons of PCB Equipment”, за Организацију UNIDO (United Nations Industrial Development Organization). У оквиру овог пројекта рађена је ПХБ деконтаминација уља и трансформатора на терену, мобилним постројењем за деконтаминацију.

Од јануара 2011. године укључена је као истраживач-приправник, а касније и као истраживач сарадник, у реализацији два пројекта финансирана од стране Министарства науке и технолошког развоја: Пројекат III 45019 „Синтеза, развој технологије добијања и примена наноструктурних мултифункционалних материјала дефинисаних својстава“, и Пројекат технолошког развоја TP 33024 „Повећање енергетске ефикасности, поузданости и расположивости електрана ЕПС-а утврђивањем погонских дијаграма генератора и применом нових метода испитивања и даљинског надзора“.

Драгиња Михајловић је била сарадник на 9 студија и пројеката везаних за одржавање енергетских трансформатора, за потребе Електропривреде Србије и Електромреже Србије.

Први је аутор два рада објављена у часописима међународног значаја (M21 – 1 рад и M23 – 1 рад) и једног рада објављеног у часопису националног значаја (M53-1). Коаутор је три рада објављена у часописима међународног значаја (M21 - 1 рад и M22 - 2 рада), четири рада објављених у часопису националног значаја (M53-1), као и аутор и коаутор 24 саопштења на научним скуповима (M31-3, M32-1, M33-11, M63-8).

Радови објављени у часописима међународног значаја (M20)

Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. J. Lukić, D. Nikolić, V. Mandić, S. Glišić, D. Antonović, A. Orlović, *Removal of Sulfur Compounds from Mineral Insulating Oils by Extractive Refining with N-methyl-2-pyrrolidone*, Industrial and Engineering Chemistry Research, <https://doi.org/10.1021/ie300450e>, 2012, Vol. 51, pp. 4472-4477, (IF=2.21) ISSN 0888-5885
2. D. Mihajlovic, V. Vasovic, J. Lukic, *Development of New Accelerated Aging Test for Comparison of the Quality of Different Insulating Papers Based on Cellulose*, Polymers, <https://doi.org/10.3390/polym15112556>, 2023, Vol. 15, No. 2556, (IF= 5.0) ISSN 2073-4360

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. 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, <https://doi.org/10.1109/TDEI.2019.008183>, 2019, Vol. 26, Issue 6, pp. 1840-1846, (IF= 2.135) ISSN: 10709878
2. 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*

Рад у међународном часопису (M23)

1. **D. Mihajlovic**, V. Ivancevic, V. Vasovic, J. Lukic, *Cellulose Degradation and Transformer Fault Detection by the Application of Integrated Analyses of Gases and Low Molecular Weight Alcohols Dissolved in Mineral Oil*, Energies, <https://doi.org/10.3390/en15155669>, 2022, Vol. 15, Issue 15, No. 5669, (IF= 3.252) ISSN 1996-1073

Зборници међународних научних скупова (M30)

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

1. J. Lukić, **D. Nikolić**, V. Mandić, K. Drakić, S. Milosavljević, A. Orlović, *Phenomenon of Copper Sulphide Deposit in the Paper: influential factors, precursors and metal passivators*, Proceedings of the TechCon Asia Pacific, 17-18 April 2012, CD rom pp. 67-78
2. J. Lukić, **D. Mihajlović**, V. Vasović, J. Janković, K. Drakić, S. Milosavljević, *Mitigation Techniques on Corrosive Sulphur*, Proceedings of the Tech Con Asia Pacific, 1-2 April 2014, CD rom pp. 01-12

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

1. J. Lukic, **D. Mihajlović**, V. Vasovic, J. Jankovic, K. Drakić, S. Milosavljević, *Corrosive Sulphur Risk Assessment and Mitigation Techniques*, Proceedings of the 18th IEEE International Conference on Dielectric Liquids, June 29th to July 3rd, 2014, Bled, Slovenia, pp. 54, ISBN: 9781479920655

Саопштења са међународног скупа, штампано у целини (M33)

1. J. Lukić, **D. Nikolić**, V. Mandić, K. Drakić, S. Milosavljević, A. Orlović, *Removal of PCB contaminated Oils*, 7. Zbornik radova Savetovanja MAKO CIGRE, Ohrid, 2-4 Oktobar 2011, CD rom A2-102R-EN
2. J. Lukić, **D. Mihajlović**, J. Janković, V. Mandić, *Recent Findings Related to Copper Sulphide Formation Mechanism and Mitigation Techniques*, Proceedings CIGRE A2/C4 Colloquium, Zurich, Sept. 2013, CD rom PS 3_ id097
3. J. Janković, **D. Mihajlović**, V. Vasović, N. Kovačević, J. Radomirović, J. Lukić, *Rezultati PCB dekontaminacije transformatora u JP Elektroprivreda Srbije i PD Elektrovojvodina primenom patentirane tehnologije dehlorinacije ulja*, Zbornik radova 3. savetovanja "Opasan industrijski otpad i tretman industrijskih otpadnih voda", 22 – 24.05.2017, Palić, str. 52-58, ISBN: 978-86-80464-06-0
4. J. Lukić, V. Vasović, **D. Mihajlović**, J. Janković, N. Kovačević, V. Ivančević, S. Milosavljević, *PCB dekontaminacija energetskih transformatora i trajno rešavanje problema korozivnog sumpora primenom patentirane tehnologije dehlorinacije i desulfurizacije ulja*, Zbornik radova V savetovanja CG CO CIGRE, 09.– 12.05.2017, Bečići, CD Rom STK A2, RA2-02

5. **D. Mihajlović**, J. Janković, V. Vasović, J. Lukić, *Metode za produženje životnog veka transformatora – od dijagnostike stanja do postupaka revitalizacije*, Zbornik radova V savetovanja CG CO CIGRE, 09.– 12.05.2017, Bečići, CD Rom STK A2, RA2-04
6. J. Lukic, V. Vasovic, **D. Mihajlovic**, B. Pejovic, S. Milosavljevic, Z. Radakovic, U. Radoman, *Cellulose Ageing and Water content Estimations - correlations of Experimental Transformers Ageing to Real Transformers in Service and Post-Mortem Analyses*, Proceedings of the International Colloquium on Power Transformers & Reactors, Overhead Lines and Materials and Emerging Test Techniques, 21-22 November 2019, New Delhi (India), CD rom pp. D1 98-104
7. **D. Mihajlovic**, V. Vasovic, J. Lukic, S. Milosavljevic, R. Todorovic, V. Ostracanin, S. Djurovic, M. Milovanovic, M. Milovanovic, T. Babić, *Improvement of Transformer Ageing Estimation and Fault Diagnostics Using Ageing Curves Derived from Experimental Twin Transformers and Quantification of Methanol as New Marker of Paper Degradation*, Proceedings of the CIGRE South East European Regional Council Conference, Vienna, Austria, 2020, Web page https://www.dropbox.com/s/tkh3cvy7ugixpj9/CIGRE-SEERC21-Proceedings-online.zip?dl=0&file_subpath=%2FTopic-1%2FCIGRE-SEERC21-Topic-1, p.1221
8. J. Lukic, J. Planojevic, J. Rankovic, V. Vasovic, **D. Mihajlovic**, L. E. Schmidt, M. Jovalekic, *Differences in ageing pattern and ageing markers detection in kraft and thermally upgraded papers immersed in mineral and natural ester oil*, Proceedings of the CIGRE Paris 29.08.-02.09.2022, SC D1, CD rom Paper 10982_2022.

Часописи националног значаја (M50)

Рад објављен у научном часопису (M53)

1. J. Janković, **D. Mihajlović**, N. Kovačević, V. Vasović, J. Lukić, *Primena patentirane tehnologije za rešavanje problema PCB kontaminacije i korozivnog sumpora u energetskim transformatorima*, Zbornik radova Elektrotehničkog instituta Nikola Tesla <https://doi.org/10.5937/zeint28-19592>, 2018, br. 28, str. 41-50, ISSN: 0350-8528
2. D. Kolarski, J. Janković, **D. Mihajlović**, N. Kovačević, J. Lukić, *Rešavanje problema eksploatacije transformatora sa korozivnim sumporom desulfurizacijom ulja primenom jake neorganske baze i organskog rastvarača*, Zbornik radova Elektrotehničkog instituta Nikola Tesla, <https://doi.org/10.5937/zeint31-34696>, 2021, br. 31, str. 113-123, ISSN: 0350-8528
3. J. Planojević, J. Lukić, V. Vasović, **D. Mihajlović**, J. Janković, N. Kovačević, *Karakterizacija izolacionih papira primenom FTIR-ATR spektroskopije*, Zbornik radova Elektrotehničkog instituta Nikola Tesla, <https://doi.org/10.5937/zeint31-34754>, 2021, br. 31, str. 125-136, ISSN: 0350-8528
4. **D. Mihajlović**, J. Janković, V. Vasović, V. Ivančević, J. Lukić, *Primena čiste tehnologije za uklanjanje PCB iz mineralnih ulja i energetskih transformatora do postizanja veoma niskih vrednosti PCB-a za potrebe remonta i reciklaže*, Zbornik radova Elektrotehničkog instituta Nikola Tesla, <https://doi.org/doi:10.5937/zeint32-41260>, 2022, br. 32, str. 1-13, ISSN: 0350-8528
5. V. Vasović, **D. Mihajlović**, J. Janković, J. Lukić, *Procena stanja papirne izolacije energetskih transformatora na osnovu sadržaja 2-furfurala u mineralnom izolacionom ulju korigovanog na referentnu temperaturu od 20 °C*, Zbornik radova Elektrotehničkog instituta

Зборници скупова националног значаја (M60)

Саопштење на скупу националног значаја штампан у целини (M63)

1. V. Mandić, **D. Nikolić**, J. Lukić, *Izolaciona ulja biljnog porekla i komparativna analiza sa mineralnim uljima*, zbornik radova sa 30-ta konferencije CIGRE Srbije, Zlatibor, Srbija, 2011, CD Rom R A2-02
2. J. Lukić, **D. Nikolić**, V. Mandić, S. Milosavljević, A. Orlović, *Dekontaminacija PCB kontaminiranih transformatora*, zbornik radova sa 30-ta konferencije CIGRE Srbije, Zlatibor, Srbija, 2011, CD Rom R A2-01
3. K. Drakić, **D. Mihajlović**, J. Ponoćko, J. Lukić, *Voda u izolacionom sistemu transformatora: II deo - Slučajevi iz prakse*, zbornik radova sa konferencije CIGRE Srbije, 2013, CD rom R A2 10
4. J.Lukić, V. Mandić, **D. Mihajlović**, S. Milosavljević, P. Vasić, *Post mortem analiza i procena životnog veka blok transformatora na bloku 2 TENT B*, zbornik radova sa konferencije CIGRE Srbije, 2013, CD rom R A2 13
5. **D. Mihajlović**, V. Vasović, K. Drakić, N. Kovačević, J. Radomirović, J. Lukić, *Nova mineralna i biljna izolaciona ulja i pravila mešanja*, zbornik radova sa konferencije CIRED Srbija, 2014, CD rom STK 3, R-3.07
6. K. Drakić, **D. Mihajlović**, V. Vasović, J. Janković, J. Lukić, *Principi dijagnostike i tumačenje rezultata gasnohromatografske analize- slučajevi iz prakse*, Zbornik radova sa konferencije CIRED Srbije, 2014, CD rom STK 3, R-3.08
7. V.Vasović, **D. Mihajlović**, J. Janković, K.Drakić, J. Lukić, *Analiza sadržaja gasova rastvorenih u ulju – značaj u dijagnostici pogonskog stanja transformatora*, zbornik radova sa konferencije CIRED Srbije – Vrnjačka Banja, 2016, CD Rom STK1, R-1.13
8. V. Vasović, **D. Mihajlović**, J. Janković, J. Lukić, *Dijagnostika stanja energetskih transformatora na osnovu analize ulja – značaj baze podataka i iskustva iz prakse*, Zbornik radova sa konferencije CIGRE Srbije - Zlatibor, 2017, R A2-12, str. 269-277, ISBN 978-86-82317-81-4

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу досадашњег рада и показаних резултата током докторских студија, у оквиру научно-истраживачког рада на пројектима Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије, III 45019 и TP 33024 и других пројеката на којима је била ангажована као сарадник института Никола Тесла, Драгиња Михајловић, дипл. инж. технологије, показала је способност за бављење научно-истраживачким радом.

У оквиру научно-истраживачког рада током докторских студија, Драгиња Михајловић, дипл. инж. технологије се бавила научно-истраживачким радом који припада научној области Технолошког инжењерства, ужа научна област хемијско инжењерство. На основу досадашње сарадње са кандидатом, комисија сматра да испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Полихлоровани бифенили (ПХБ), синтетска једињења познатија као Арохлор, су коришћени као изолационе течности у индустрији и енергетици због изузетно добрих против-пожарних и електро-изолационих карактеристика. Њихова производња и примена је забрањена 1980-их година због високе токсичности и канцерогености [1]. На листи опасних супстанци Агенције за токсичне супстанце и регистар болести, (eng. ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry) полихлоровани бифенили заузимају високо пето место, што их ставља у сам врх токсичних супстанци. Престанком употребе ових синтетских уља и њиховом заменом минералним уљима дошло је до контаминације уља и опреме ПХБ-има. Ремонт трансформатора или доливање уља и коришћење мобилних јединица за филтрацију уља изазвало је ширење контаминације ПХБ-ом у енергетским трансформаторима пуњеним минералним уљем. Поменути трансформатори могу бити извор даљег загађивања ваздуха ако се уље подвргава процесу регенерације уља коришћењем савремених технологија са реактивирајућим адсорбентима (због реактивације адсорбента на температурама од 600 °C) или могу проузроковати контаминацију различите опреме при ремонту трансформатора у ремонтним радионицама.

Република Србија је као потписница Стокхолмске конвенције о дуготрајним органским загађујућим супстанцама, 2009. године, усвојила Национални имплементациони план и Акциони план финалног збрињавања ПХБ-а.

У оквиру ове дисертације биће развијен модел који ће омогућити процену распрострањености контаминације енергетских трансформатора у Републици Србији, применљив и на друге земље. Резултати добијени помоћу модела биће поређени са резултатима добијеним на основу статистичке обраде резултата испитивања садржаја ПХБ у уљима енергетских трансформатора у Републици Србији.

Експлоатација контаминираних трансформатора постаје високо ризична уколико је трансформатор неисправан, има лоше карактеристике изолационог система и цури, јер тада је повећан ризик од загађења околних медијума (земљишта, воде, живог света), хаварије трансформатора и еколошког акцидента. Решавање проблема експлоатације трансформатора са ПХБ контаминираним уљем се ефикасно може извести применом поступака дехлоринације уља [2-5].

У оквиру ове дисертације биће истражен поступак дехлоринације уља контаминираних ПХБ-ом, у индустријском реактору мобилног постројења Електротехничког института Никола Тесла. Третман уља ће се вршити на три различите температуре реакције: 125 °C, 135 °C и 145 °C. Садржај ПХБ-а током реакције дехлоринације ће се пратити методом ИЕС 61619 (гасна хроматографија са детектором захвата електрона). Експериментални подаци ће бити коришћени за развој кинетичког модела реакције дехлоринације [6]. Оптимизација експерименталних података омогућиће боље предвиђање концентрација интермедијера и тока реакције дехлоринације.

Животни век трансформатора у великој мери зависи и од квалитета целулозне изолације и губитака њених механичких својстава током старења, односно експлоатације [7, 8]. Термички побољшани папири представљају модификацију нормалног крафт папира додавањем азотних једињења (меламин, дицијандиамид) која као слабе базе реагују са продуктима деградације (вода, киселине) у уљу и на тај начин успоравају старење изолације [9]. Са друге стране, употреба неминералних изолационих флуида (изолационих флуида на бази естара) је такође у порасту услед њихових позитивних утицаја на животну средину, биоразградивости и високе тачке паљења. Такође, за естре је карактеристично да боље растварају воду и на тај начин одржавају целулозну изолацију „сувом“ (без воде) и успоравају старење [10, 11, 12].

Различите врсте изолационих флуида (минерална уља, синтетски естри, природни естри) и целулозне изолације (нормални крафт папир и термички побољшани папир) довели су до потребе за развојем нове методе за одређивање квалитета папирне изолације

импрегнисане изолационим течностима. У литератури постоји Стандард за одређивање термичке класе изолационог папира, али су тестови које прописује компликовани и дуго трају [13]. Такође, не постоје стандардизовани тестови за испитивање и поређење квалитета изолационих папира. Приликом процеса старења папирне изолације под утицајем хидролизе, оксидације и пиролизе, долази до слабљења целулозних влакана, пада вредности степена полимеризације папира (DP_v) и губитка механичких карактеристика [14-21].

У оквиру ове дисертације биће истражени и различити тестови старења система папирно/уљне изолације у циљу успостављања нове методе за утврђивање квалитета папирне изолације применом теста убрзаног старења папира до постизања краја животног века, односно вредности DP_v од 250. Експерименти испитивања старења изолационог система трансформатора ће бити урађени у специјализованој лабораторији за испитивање уља и папира у оквиру Електротехничког института Никола Тесла. Уље и папир ће бити подвргнути старењу у присуству бакра у пећи, на различитим температурама, са сувом (око 0,5% садржаја воде) и влажном (око 3% садржаја воде) папирном изолацијом. Експерименти ће бити спроведени у контролисаним условима, у херметички затвореним ћелијама, како би се онемогућио губитак влаге приликом старења, као важног фактора који убрзава старење. Одређивање садржаја воде у уљу и папиру вршиће се методом колуометријске титрације (Karl Fischer). Степен полимеризације папира одређиваће се анализом средњег вискозиметријског степена полимеризације папира помоћу Ubbelohde капиларе. Испитивање деривата фурана вршиће се методом течне хроматографије. У циљу оцене квалитета изолационог уља након експеримента вештачког старења биће испитане следеће применске особине: диелектрична чврстоћа уља, фактор диелектричних губитака и специфична електрична отпорност уља, садржај киселих продуката старења у уљу и међуповршински напон уље-вода.

Циљеви истраживања ове докторске дисертације су: израда модела контаминације енергетских трансформатора полихлорованим бифенилима у циљу предвиђање степена контаминације трансформатора региона и земаља где не постоји инвентар, израда кинетичког модела реакције дехлоринације, као и постављање методе за процену квалитета папирне изолације трансформатора. Очекивани резултати су: модел за процену распрострањености контаминације трансформатора полихлорованим бифенилима, модел процеса дехлоринације изолационих уља, као и унапређење постојећих алата за процену квалитета изолационог система.

Методе истраживања обухватају експериментална мерења (одређивање садржаја полихлорованих бифенила у уљу, садржаја воде у папиру и уљу, средњег вискозиметријског степена полимеризације папира, деривата фурана у уљу, применских особина уља), обраду резултата мерења у програму Microsoft Office 2010, Microsoft Excel и поређење са налазима у постојећој литератури.

Научни циљеви истраживања у оквиру ове дисертације су:

- Анализа инвентара и боље разумевање путева контаминације и расподеле ПХБ контаминације код енергетских трансформатора у Републици Србији;
- Нови модел за процену распрострањености ПХБ контаминације у електро-енергетском систему трансформатора који може бити примењен и на друге сличне системе и друге државе;
- Дефинисање кинетичког модела базно катализоване реакције дехлоринације полихлорованих бифенила у индустријском постројењу;
- Одређивању кинетичких параметара базно катализоване реакције дехлоринације полихлорованих бифенила у индустријском постројењу;
- Оптимизације реакције дехлоринације полихлорованих бифенила у индустријским условима;

- Развој нове методе за утврђивање квалитета изолационог система (уљно/целулозне изолације) трансформатора;
- Допринос бољем разумевању механизма деградације изолационог система трансформатора под утицајем влаге и температуре у присуству минералних или биљних уља.

Списак релевантне стручне литературе:

1. L. Montano, C. Pironti, G. Pinto, M. Ricciardi, A. Buono, C. Brogna, M. Venier, M. Piscopo, A. Amoresano, O. Motta, *Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in the Environment: Occupational and Exposure Events, Effects on Human Health and Fertility*, Toxics, <https://doi.org/10.3390/toxics10070365>, 2022, Vol. 10, pp. 365, ISSN: 2305-6304
2. M. Mwanza, E. Ndunda, G. Bosire, V. Nyamori, B. Martincigh, *Advances in sample pretreatment and detection of PCBs in the environment*, Journal of Hazardous Materials Advances, <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2021.100028>, 2021, Vol. 4, 100028, ISSN 2772-4166
3. M. Akhondi, A.A. Dadkhah, *Base-catalysed decomposition of polychlorinated biphenyls in transformer oils by mixture of sodium hydroxide, glycerol and iron*, R. Soc. open sci. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.172401>, 2018, Vol. 5, 172401, ISSN: 2054-5703
4. Y. Xiao, J. Jiang, H. Huang, *Chemical dechlorination of hexachlorobenzene with polyethylene glycol and hydroxide: Dominant effect of temperature and ionic potential*, Sci Rep, <https://doi.org/10.1038/srep06305>, 2014, Vol. 4, No. 6305, ISSN 2045-2322
5. A. M. Simion, H. Miyata, M. Kakeda, N. Egashira, Y. Mitoma, C. Simion, *Direct and complete cleansing of transformer oil contaminated by PCBs*, Separation and Purification Technology, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.10.026>, 2013, Vol. 103, pp. 267-272, ISSN 1383-5866
6. M.A. Mikaili, T. Ebadi, F. Bahmanib, *Dechlorination Kinetics of PCBs Contaminated Transformer Oils by Stabilized Nanoscale Fe*, J Civil Environ Eng, web page <https://www.hilarispublisher.com/open-access/dechlorination-kinetics-of-pcbs-contaminated-transformer-oils-by-stabilized-nanoscale-fe.pdf>, 2019, Vol. 9: 333, ISSN: 2165-784X
7. CIGRE Technical Brochure - “Ageing of Liquid Impregnated Cellulose for Power Transformers”, No. 738, CIGRE Paris, France, August 2018, ISBN: 978-2-85873-440-5
8. CIGRE Technical Brochure - “Field experience with transformer solid insulation ageing markers”, No. 779, CIGRE Paris, France, October 2019, ISBN: 978-2-85873-481-8
9. N. Liang, R. Liao, M. Xiang, Y. Mo, Y. Yuan, *Influence of Amine Compounds on the Thermal Stability of Paper-Oil Insulation*, Polymers, <https://doi.org/10.3390/polym10080891>, 2018, Vol. 10, No. 891, ISSN 2073-4360
10. O.H.A. Fernandez, I. Fofana, J. Jalbert, S. Gagnon, E. Rodriguez-Celis, S. Duchesne, M. Ryadi, *Aging characterization of electrical insulation papers impregnated with synthetic ester and mineral oil: Correlations between mechanical properties, depolymerization and some chemical markers*, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2018.006317>, 2018, Vol. 25, pp. 217–227, ISSN: 10709878
11. V. Vasovic, J. Lukic, C. Perrier, M.-L. Coulibaly, *Equilibrium charts for moisture in paper and pressboard insulations in mineral and natural ester transformer oils*, IEEE Electr. Insul. Mag. <https://doi.org/10.1109/MEI.2014.6749568>, 2014, Vol. 30, pp. 10–16, ISSN: 0883-7554
12. CIGRE Technical Brochure - “Moisture measurement and assessment in transformer insulation – Evaluation of chemical methods and moisture capacitive sensors”, No. 741, CIGRE Paris, France, August 2018, ISBN: 978-2-85873-443-6

13. IEC 62332-2; Electrical Insulation Systems (EIS)—Thermal Evaluation of Combined Liquid and Solid Components — Part 2: Simplified Test. IEC: Geneva, Switzerland, 2014.
14. V. Vasovic, J. Lukic, D. Mihajlovic, B. Pejovic, Z. Radakovic, U. Radoman, A. Orlovic, *Aging of Transformer Insulation—Experimental Transformers and Laboratory Models with different Moisture Contents: Part I—DP and Furans Aging Profiles*, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., <https://doi.org/10.1109/TDEI.2019.008183>, 2019, Vol. 26, pp. 1840–1846, ISSN: 10709878
15. S.Y. Matharage, Q. Liu, Z. Wang, G. Wilson, C. Krause, *Aging assessment of synthetic ester impregnated thermally nonupgraded kraft paper through chemical markers in oil*, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2018.006833>, 2018, Vol. 25, pp. 507–515, ISSN: 10709878
16. J. Lukic, V. Vasovic, J. Planojevic, D. Kolarski, V. Ivancevic, *Insulating papers ageing in mineral and natural ester oil and use of FTIR-ATR for paper screening & ageing monitoring*, In Proceedings of the 89th International Conference of Doble Clients, Boston, MA USA, 6–11 March 2022.
17. O.H. Arroyo-Fernandez, I. Fofana, J. Jalbert, E. Rodriguez, L.B. Rodriguez, M. Ryadi, *Assessing changes in thermally upgraded papers with different nitrogen contents under accelerated aging*, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., <https://doi.org/10.1109/TDEI.2017.006449>, 2017, Vol. 24, pp. 1829–1839, ISSN: 10709878
18. J. Lukic, J. Planojevic, J. Rankovic, V. Vasovic, D. Mihajlovic, E.L. Schmidt, M. Jovalekic, *Differences in ageing pattern and ageing markers detection in kraft and thermally upgraded papers immersed in mineral and natural ester oil*, CIGRE Proceedings web page <https://www.e-cigre.org/publications/detail/session-2022-d1-session-2022-sc-d1-package.html>, Paris, France, 28 August–2 September 2022.
19. J. Jalbert, E. Rodriguez-Celis, S. Duchesne, B. Morin, M. Ryadi, R. Gilbert, *Kinetics of the production of chain-end groups and methanol from the depolymerization of cellulose during the ageing of paper/oil systems. Part 3: Extension of the study under temperature conditions over 120 C*, Cellulose, <https://doi.org/10.1007/s10570-014-0516-8>, 2014, Vol. 22, pp. 829–848, ISSN: 0969-0239
20. J. Tokunaga, H. Koide, K. Mogami, T. Hikosaka, *Comparative studies on the aging of thermally upgraded paper insulation in palm fatty acid ester, mineral oil, and natural ester*, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2015.005502>, 2016, Vol. 23, pp. 258–265, ISSN: 10709878
21. O.H. Arroyo-Fernández, J. Jalbert, E.M. Rodriguez-Celis, S. Duchesne, B. Morin, I. Fofana, *Changes in mechanical properties of impregnated Nomex papers 410 and 910 during accelerated aging*, Polym. Test., <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106358> 2020, Vol. 83, ISSN 0142-9418

3. Полазне хипотезе

Прегледом литературе установљено је да контаминација ПХБ и даље представља проблем иако ПХБ преко 40 година нису у употреби, а све услед ширења контаминације приликом одржавања опреме и ремонта у ремонтним радионицама. Експлоатација трансформатора који су контаминирани ПХБ је високоризична уколико је трансформатор неисправан или цури, или ако има лоше карактеристике изолационог система (уљно-целулозне изолације).

Први део ове докторске дисертације ће бити везан за успостављање модела ширења ПХБ контаминације који ће бити дефинисан према аналогiji са хемијским реакцијама и хемијским реакторима, као аутокаталитичка реакција која се одвија у реактору са неидеалним протицањем. Овакав модел ће бити први од модела који се може пронаћи у научној литератури, а који може да предвиди ниво контаминације полихлорованим бифенилима у енергетском сектору. Тиме ће овакав модел омогућити унапређену израду

техно—економских студија и стратегија држава или система који не располажу довољним нивоом информација, односно инвентара, који би омогућио израду квалитетних студија и адекватан избор технолошких решења.

У другом делу ове докторске дисертације обрађиваће се кинетички модел реакције дехлоринације полихлорованих бифенила у процесу базно-катализоване реакције дехлоринације у индустријском реактору, као и испитивање најбољих процесних услова. Овај кинетички модел укључује вишекомпонентни систем реактаната, као и међупроизвода и крајњих производа, и биће приказан системом упоредно-узастопних реакција. Модел ће бити верификован праћењем свих концентрација реактаната и производа током времена реакције и као такав представљаће значајно унапређење досада објављених модела ове реакције.

У циљу испитивања ефикасности рада електро-трансформатора као и продужења његовог животног века биће дефинисана брза метода/тест за испитивање параметара који дефинишу старења система папирно/уљне изолације, односно вредности DP_v од 250, узимајући у обзир могуће механизме деградације папирне изолације.

4. Научне методе истраживања

Методе истраживања које ће бити примењене обухватају експериментална истраживања на лабораторијским и индустријским уређајима, одговарајуће хемијске анализе и мерења физичко–хемијских карактеристика, као и развој математичког модела пропагације контаминације ПХБ-ом у електро–енергетском систему и развој кинетичког модела базно-катализоване реакције дехлоринације ПХБ уља.

Анализа кинетичких и термодинамичких података дехлоринације ПХБ-а у индустријском постројењу биће изведена применом детерминистичкиг реакторског модела и одговарајућим нумеричким методама. Развијени кинетички модел ће омогућити симулацију и оптимизацију процеса базно-катализоване дехлоринације.

На основу анализе података који обухватају одређивање садржаја ПХБ-а у трансформаторима широм Републике Србије (неколико хиљада тестираних трансформатора), биће развијен модел пропагације контаминације по аналогiji са аутокатализованом реакцијом у проточном реакторском систему са неидеалним протицањем. Резултати симулација ће омогућити предвиђање нивоа контаминације у различитим електро-енергетским системима широм света.

Испитивање уљне и папирне изолације трансформатора ће бити изведено у Специјализованој лабораторији за испитивање уља и папира Електротехничког института Никола Тесла. Садржај ПХБ-а током реакције дехлоринације ће се пратити аналитичком техником ИЕС 61619 (гасна хроматографија са 'Electron capture detector' (ECD) детектором). Одређивање садржаја воде у уљу и папиру биће изведено кулометријском титрацијом (Karl Fischer) у складу са Стандардом SRPS EN 60814:2008. Степен полимеризације папира одређиваће се анализом средњег вискозиметријског степена полимеризације папира помоћу Ubbelohde капиларе у складу са Стандардом ИЕС 60450:2004. Испитивање деривата фурана вршиће се методом течне хроматографије и техником у складу са стандардом SRPS EN 61198:2010.

У циљу оцене квалитета изолационог уља након експеримента вештачког старења биће испитане следеће применске особине у складу са Стандардом ИЕС 60422: диелектрична чврстоћа уља, фактор диелектричних губитака, садржај киселих продуката старења у уљу и међуповршински напон уље-вода.

5. Очекивани научни допринос

Очекује се да се научни допринос истраживања, обухваћен овом докторском дисертацијом, огледати у:

- Доприносу бољем разумевању расподеле ПХБ контаминације код енергетских трансформатора у Републици Србији;
- Новом моделу за процену распрострањености ПХБ контаминације у електро-енергетским системима који може бити примењен и на друге сличне системе и друге државе;
- Дефинисању кинетичког модела базно-катализоване реакције дехлоринације полихлорованих бифенила развијеном на основу података добијених експериментима на индустријском постројењу;
- Одређивању кинетичких параметара базно катализоване реакције дехлоринације полихлорованих бифенила у индустријском постројењу у сврху оптимизације реакције у индустријским условима;
- Развоју нове методе за утврђивање квалитета изолационог система (уљно/целулозне изолације) трансформатора;
- Доприносу бољем разумевању механизма деградације изолационог система трансформатора под утицајем влаге и температуре у присуству минералних или биљних уља.

6. План истраживања и структура рада

План рада ове докторске дисертације обухвата: Дефинисање и развијање модела за процену распрострањености ПХБ контаминације у електро-енергетском систему трансформатора; Дефинисање кинетичког модела базно катализоване реакције дехлоринације полихлорованих бифенила у индустријском постројењу; Одређивању кинетичких параметара базно катализоване реакције дехлоринације полихлорованих бифенила у индустријском постројењу у сврху оптимизације реакције на индустријским условима; као и Развој нове методе за утврђивање квалитета изолационог система (уљно/целулозне изолације) трансформатора.

У докторској дисертацији биће обрађена следећа поглавља: *Увод, Теоријски део, Експериментални део, Математичко моделовање, Резултати и дискусија, Закључак, Литература.*

У поглављу *Увод* биће приказана актуелност и значај испитивања у оквиру предложене докторске дисертације, циљеви рада, као и предмет истраживања.

Поглавље *Теоријски део* обухватиће преглед литературе која је релевантна за предложена истраживања као и преглед и анализа до сада објављених резултата из горе поменутих тема истраживања.

У *Теоријском делу* биће обухваћене следеће целине:

- Минерална изолациона уља и њихова примена у електричној опреми;
- Контаминација ПХБ-ом трансформатора електро-енергетског сектора;
- Преглед постојећих поступака дехлоринације уља контаминираних ПХБ-ом;
- Методе које се користе у дијагностици стања енергетских трансформатора и оцени квалитета изолационих уља;
- Механизми деградације изолационог система трансформатора под утицајем температуре и влаге;
- Преглед постојећих метода за испитивање квалитета целулозне изолације.

У Експерименталном делу биће наведено следеће:

- Опис података на основу којих је развијен модел контаминације ПХБ у Републици Србији, инвентар ПХБ контаминираних трансформатора;
- Полазни материјали и методе испитивања;
- Опис експеримената на индустријском постројењу процеса базно катализоване дехлоринације трансформаторског уља контаминираног полихлорованим бифенилима;
- Методе и инструменти који су коришћени за наведена испитивања дехлоринације и квантификацију хлорних једињења;
- Дефинисање кинетичког модела реакције дехлоринације трансформаторског уља контаминираног полихлорованим бифенилима у индустријском постројењу;
- Опис експеримената у оквиру којих ће бити испитивани механизми деградације изолационог система енергетских трансформатора и на основу којих ће бити успостављена нова метода за одређивање квалитета целулозне изолације;
- Опис метода и апаратуре за утврђивање остарелости изолационих уља и папира.

У поглављу *Математичко моделовање*, биће детаљно описан развој математичких реакторских модела за одређивање степена распрострањености контаминације као и кинетичког модела реакције дехлоринације.

Поглавље *Резултати и дискусија* садржаће детаљан приказ свих добијених резултата. Добијени резултати испитивања биће критички сагледани. Наведено поглавље биће конципирано у три главне целине које презентују резултате испитивања:

- Модел контаминације полихлорованим бифенилима електро-енергетских трансформатора у Републици Србији и верификација модела.
- Кинетички модел реакције дехлоринације трансформаторског уља контаминираног полихлорованим бифенилима у индустријском постројењу, одређивању кинетичких параметара базно катализоване реакције дехлоринације и оптимизација процеса.
- Механизми деградације изолационог система енергетских трансформатора и успостављање нове метода за одређивање квалитета целулозне изолације.

У поглављу *Закључак* биће приказани најважнији закључци до којих је кандидат дошао током израде ове дисертације, укључујући примењене математичке моделе, поређење ефикасности модела контаминације и кинетичког модела дехлоринације на индустријском постројењу уз осврт на иновативност, важност и потенцијалну практичну примену.

У делу *Литература* биће наведене све референце цитиране у докторској дисертацији, које су релевантне за истраживање, као и радови проистекли током израде ове дисертације.

7. Закључак и предлог

На основу изнетих података, Комисија сматра да је тема предложене докторске дисертације кандидата Драгиње Михајловић под насловом „*КОНТАМИНАЦИЈА ПОЛИХЛОРОВАНИМ БИФЕНИЛИМА И ХЕМИЈСКИ ПРОЦЕСИ ДЕГРАДАЦИЈЕ ИЗОЛАЦИОНОГ СИСТЕМА ЕНЕРГЕТСКИХ ТРАНСФОРМАТОРА*“ научно заснована и предлаже наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета да је прихвати. За ментора ове дисертације се предлаже др Александар Орловић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду. Истраживања у оквиру ове дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Хемијско инжењерство, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа.

У Београду, 09.12.2023. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др **Сандра Глишић**, доцент
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
др **Марко Стаменић**, доцент
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
др **Јелена Лукић**, виши научни сарадник
Електротехничког института Никола Тесла акционарско друштво Београд