

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата Дејана (Миодраг) Коларског, магист. инж. технологије

Одлуком бр. 2026-35/308 од 09.07.2026. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидата Дејана (Миодраг) Коларског, магист. инж. технологије, под насловом "Процеси деградације изолационог система енергетских трансформатора у присуству елементарног сумпора и развој технологије екстракционо реакционе десулфуризације".

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Школске 2019/2020 године кандидат Дејан (Миодраг) Коларски, магист. инж. технологије је уписао докторске академске студије на студијском програму Хемијско инжењерство, на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду. На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 76. Статута Универзитета у Београду Технолошко-металуршког факултета и захтева студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма.

05.02.2026. године на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, донета је одлука бр. 2026-35/30 о именовању Комисије за оцену научне заснованости теме под називом: "Процеси деградације изолационог система енергетских трансформатора у присуству елементарног сумпора и развој технологије екстракционо реакционе десулфуризације".

09.04.2026. године на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, донета је одлука бр. 2026-35/99 о прихватању Реферата Комисије за оцену научне заснованости теме под називом: "Процеси деградације изолационог система енергетских трансформатора у присуству елементарног сумпора и развој технологије екстракционо реакционе десулфуризације", а за ментора ове докторске дисертације именована је др Сандра Глишић, доцент Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду

22.04.2026. године на седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду донета је одлука бр. 02-05 број: 61206-1315/2-26 о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације Дејана (Миодраг) Коларског, магист. инж. технологије под називом: "Процеси деградације изолационог система енергетских трансформатора у присуству елементарног сумпора и развој технологије екстракционо реакционе десулфуризације".

09.07.2026. године на седници Наставно-научног већа Технолошког-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је одлука бр. 2026-35/308, о именовању Комисије за оцену докторске дисертације Дејан (Миодраг) Коларски, маг. инж. технологије под називом: "Процеси деградације изолационог система енергетских трансформатора у присуству елементарног сумпора и развој технологије екстракционо реакционе десулфуризације"

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Хемијско инжењерство, за коју је матична установа Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Ментор је др Сандра Глишић, доцент чије су компетенције за вођење докторске дисертације потврђене на основу искуства и објављених публикација из области којима дисертација припада.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат Дејан Коларски, маг. инж. техн. рођен је 24. децембра 1993. године у Панчеву. Основну школу завршио је у Црепаји док је средњу техничку школу "23 Мај" завршио у Панчеву. По завршетку средње школе, школске 2012/2013. године започиње основне академске студије на Технолошко-металуршком факултету на студијском програму Хемијско инжењерство - Органска хемијска технологија. Основне академске студије завршава у септембру 2018. године, са просечном оценом 7,96. код ментора др. Сандре Глишић. Дипломски рад под називом "Утицај процесних параметара и типа сирове нафте на процес атмосферске дестилације" одбранио је у септембру 2018. године. Школске 2018/2019 уписује мастер академске студије на Технолошко-металуршком факултету на студијском програму Хемијско инжењерство, мастер завршни рад под називом "Моделовање кинетике процеса адсорпције леулине киселине из изолационог уља различитог степена остарелости применом адсорбента" одбранио је у септембру 2019. године под менторством др. Сандре Глишић. Докторске академске студије уписао је школске 2019/2020. године на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Хемијско инжењерство. Положио је све испите предвиђене студијским програмом са просечном оценом 8,45 и 2021. године одбранио завршни испит под називом Десулфуризација минералних изолационих уља применом калијум хидроксида и полиетилен гликола са оценом 10. Од 2018. године запослен је на Електротехничком институту „Никола Тесла“ у Београду, у склопу специјализоване Лабораторије за испитивање минералних изолационих уља и папира најпре као приправник, а од децембра 2023. као стручни сарадник. Активно учествује у испитивањима изолационих уља и папира, примени поступака обраде уља адсорбентима и реагенсима у циљу уклањања корозивних сумпорних једињења и продуката старења из уља. Аутор је регистрованог патента на међународном нивоу под називом „Desulphurisation process“ број патента GB2631809B.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Дејан (Миодраг) Коларски, маг. инж. технологије, под насловом "Процеси деградације изолационог система енергетских трансформатора у присуству елементарног сумпора и развој технологије екстракционо реакционе десулфуризације" написана је на 120 страна од којих је 110 нумерисано. Садржи укупно 59 слика, 42 табела и 119 литературни навод. Докторска дисертација садржи следећа поглавља: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература. На почетку дисертације налази се Сажетак на српском и енглеском језику, Захвалнице и Садржај, Биографија аутора и три обавезна Прилога: Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада, Изјава о коришћењу као и Оцена извештаја о провери оригиналности докторске дисертације.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У овој докторској дисертацији извршено је испитивање кинетике реакције елементарног сумпора са сребром у минералном изолационом уљу и развијена је нова технологија екстракционо реакционе десулфуризације.

У поглављу Увод описан је значај и предмет истраживања и главни циљеви дисертације.

У оквиру Теоријског дела докторске дисертације описана је проблематика појаве корозивног сумпора у трансформаторима са посебним освртом на корозију сребра. Дат је преглед постојећих стандардизованих метода за детекцију и квантификацију корозивних сумпорних једињења у минералним изолационим уљима, утицај присуства корозивног сумпора на карактеристике изолационог уља, обрађена је кинетика површинске реакције, сумиране су све познате технике митигације присуства корозивног сумпора у минералним изолационим уљима укључујући и преглед утицаја процесних параметара у поступцима десулфуризације.

У оквиру Експерименталног дела описан је поступак одређивања кинетике реакције елементарног сумпора са сребром у минералном изолационом уљу као и материјали и методе које су примењене у овој дисертацији. Поред тога описан је развој нове технологије екстракционо реакционе десулфуризације, од лабораторијског истраживања до индустријске пробе, укључујући и интеграцију развијене технологије са постојећом технологијом за уклањање корозивног дибензил-дисулфида и полихлорованих бифенила из изолациононих уља минералног порекла.

У поглављу Резултати и дискусија, приказани су и анализирани резултати и кинетички модели у одређивању кинетике реакције елементарног сумпора са сребром у минералном изолационом уљу. Приказани су и анализирани резултати током развоја технологије екстракционо реакционе десулфуризације у лабораторијским условима, на пилот постројењу и током индустријске пробе. Извршена је упоредна анализа добијених резултата током лабораторијских експеримената и експеримената на пилот постројењу и постављен је кинетички модел екстракционо реакционе десулфуризације. Током индустријске пробе извршено је мерење утицаја развијене технологије на животну средину, а добијени резултати показали су да је развијена технологија чиста, еколошки прихватљива и у складу са најбољом еколошком праксом.

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

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

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Присуство корозивног сумпора, пре свега елементарног сумпора и дибензил-дисулфида, у изолационим уљима представља велики ризик за електроенергетску опрему. Корозивна сумпора једињења могу реаговати са конструкционим металима енергетских трансформатора, бакром и сребром, формирајући одговарајуће електропроводне метал-сулфиде који негативно утичу на чврсту и течну изолацију трансформатора. Експлоатација таквих уља носи повећани ризик од хаварија трансформатора док је у последњих десетак година број хаварија трансформатора изазван присуством корозивног сумпора у изолационом уљу у порасту.

Како је животни век трансформатора ограничен животним веком његовог изолационог система, а током експлоатације изолационо уље стари и мења своје особине развијени су поступци регенерације изолационог уља у циљу продужетка његовог животног века. Један од поступака регенерације уља је филтрирање уља кроз колону испуњену природним адсорбентом (перколациони поступак), а када се

адсорбент засити он се може заменити свежим или реактивирати пиролизичким поступком. Како замена адсорбента повећава количину генерисаног отпада, а самим тим и цену поступка, оператери су вршили реактивацију истрошеног адсорбента пиролизичким поступком. Уколико у састав реактивiranог адсорбента улазе алуминијум силикати или алуминијум оксиди, током реактивације адсорбента на повишеним температурама долазило је до формирања елементарног сумпора који је са првим током уља након почетка регенерације уља са реактивираним адсорбентом унет у трансформатор. Контаминација се даље ширила на друге трансформаторе преко контаминираних машина, цистерни, бурића и употребом тако реактивiranог адсорбента за регенерацију неког другог трансформатора.

Кинетика реакције дибензил дисулфида са бакром у трансформаторима је детаљно испитана и може се пронаћи у литератури, док се за кинетику реакције елементарног сумпора са сребром у минералном изолационом уљу, као новијег проблема у електроенергетици, не може пронаћи превише података. У првом делу ове дисертације испитана је и приказана управо кинетика реакције елементарног сумпора са сребром у минералном изолационом уљу, а добијени резултати допринеће бољем разумевању доминантних феномена у овој реакцији.

У другом делу дисертације приказан је развој екстракционо реакционе десулфуризације, развијен је нов технолошки поступак за уклањање елементарног сумпора из минералних изолационих уља почев од лабораторијских експеримената, преко експеримената на пилот постројењу, а потом је ефикасност поступка верификована на индустријском постројењу у шаржном реактору третманом 1,5 тоне корозивног уља. Развијен поступак је успешно интегрисан са претходно развијеним поступком за уклањање корозивног дибензил-дисулфида и полихлорованих бифенила чиме је развијена јединствена мултифункционална технологија, а по завршетку третмана добија се некорозивно изолационо уље погодно за даљу употребу у енергетским трансформаторима чији је квалитет упоредив са квалитетом новог уља.

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

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације кандидат је извршио преглед научне и стручне литературе из релевантних научних области везаних за проблематику докторске тезе. Велика већина прегледане научне литературе састојала се од научних радова публикованих у водећим међународним часописима из области и проблематике предметне докторске тезе. Тиме је кандидат стекао потпуни увид у до сада објављене резултате испитивања могућности обраде корозивних минералних изолационих уља према сребру и трајног уклањања корозивних сумпорних једињења (пре свега S_8) као и кинетике површинске реакције. У овој докторској дисертацији укупно је наведено 119 референци, које у потпуности одговарају теми. Прегледом литературе која је коришћена у истраживању може се закључити да кандидат познаје предметну област истраживања и проблематику, као и актуелност истраживања у свету.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

За одређивање кинетичких параметара и доминантних феномена у реакцији елементарног сумпора са изолационим уљем кандидат је користио:

- Гасну хроматографију са детектором са захватом електрона (енг. Electron capture detector, ECD), за квантификацију елементарног сумпора у минералном изолационом уљу

- Скенирајућу електронску микроскопију са енергетско-дисперзивним спектрометром (SEM-EDS) – за испитивање садржаја сумпора на површини сребрне плочице и морфологије плочице на различитим температурама.
- Анализа кинетичких података реакције изведена је применом нумеричких метода и програму Matlab и у Microsoft Excel.

Током развоја поступка екстракционо реакционе десулфуризације кандидат је користио:

- Гасну хроматографију са детектором захвата електрона (енг. Electron capture detector, ECD), за квантификацију елементарног сумпора, дибензил дисулфида и полихлорованих бифенила у минералном изолационом уљу.
- Инфрацрвену спектроскопију (*eng. Fourier-transform infrared spectroscopy, FTIR*) - за одређивање садржаја инхибитора оксидације 2,6-di-tert-butyl-p-cresol (DBPC) као и за одређивање области „отиска прста“ (*eng. fingerprint*) узорака уља пре и након третмана.
- Квалитативни тестови корозије уља према бакру и сребру коришћени у оквиру ове дисертације су: IEC 62535, ASTM D 1275-15 као и DIN 51353 стандарди;
- Скенирајућа електронска микроскопија са енергетско-дисперзивним спектрометром (SEM-EDS) – за одређивање садржаја сумпора на површини сребрне плочице након тестова корозије.
- Одређивање садржаја метала у уљу након третмана је извршио техником индуктивно спрегнуте плазме са атомском емисионом спектрометријом (ICP-AES)

Ефикасност реагенс смеше је испитивана у лабораторисјким условима у стакленој чаши постављеној на магнетни мешач, на пилот постројењу које се састојало од прохромског суда запремине 100 литара изнад којег је постављена стубна мешалица, а потом добијене резултате верификовао на индустријском постројењу третманом 1,5 тоне уља у шаржном реактору запремине 500 m³ третманом три шарже. Физичко хемијске и електричне карактеристике уља мерио је у специјализованој лабораторији за испитивање уља и папира акредитованој према ISO 17025.

3.4. Применљивост остварених резултата

Остварени резултати приказани у овој докторској дисертацији имају значајну примену у поступцима обраде корозивних уља, пре свега у уклањању S₈, који је изузетно реактиван према сребру, али и симултаном уклањању свих нежељених једињења из минералног изолационог уља и добијања некорозивног минералног изолационог уља са погодним карактеристикама за даљу употребу.

Развијени поступак представља ефикасну технику за решавање проблема корозивности минералних уља у кратком временском периоду, што је због високе реактивности елементарног сумпора према сребру од изузетне важности, чиме се постиже и смањење ризика експлоатације трансформатора са корозивним уљем и продужење животног века трансформатора. Од великог значаја је интеграције развијене технологије са већ постојећом технологијом за уклањање дибензил дисулфида и полихлорованих бифенила јер се сада сва три нежељена једињења, уколико се детектују у уљу, могу ефикасно уклонити применом једним технолошким поступком.

Анализа кинетичких података и доминантних феномена реакције елементарног сумпора са сребром у минералним изолационим уљем допринеће унапређењу дијагностике и процене ризика од хаварије енергетских трансформатора услед корозије сребра и правовременом планирању примене ефикасних техника за решавање проблема.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Дејан Коларски ангажован је у научно-истраживачком раду од тренутка запослења на Електротехничком институту Никола Тесла а.д, Београд, Универзитета у Београду. У току израде докторске дисертације кандидат је показало способност, стручност и самосталност у свим фазама израде тезе, пружајући значајан научни допринос у научним областима које до сада нису биле истраживане или су биле само делимично истраживане. На основу изнетих чињеница, Комисија је мишљења да је кандидат Дејан Коларски квалификован и да поседује све квалитете који су неопходни за самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Докторска дисертација кандидата Дејана Коларског пружа значајан научни допринос у области третмана корозивних минералних изолационих уља и одржавања енергетских трансформатора пуњених корозивним минералним изолационим уљима, и укључује следеће:

- Развој и индустријску примену новог високо селективног технолошког поступка за уклањање елементарног сумпора из минералних изолационих уља и добијања некорозивног минералног изолационог уља са погодним карактеристикама за даљу употребу;
- Интеграцију и индустријску примену новог високо селективног технолошког поступка за уклањање елементарног сумпора из минералних изолационих уља са већ постојећом технологијом за уклањање дибензил дисулфида и полихлорованих бифенила уз добијање некорозивног минералног изолационог уља са погодним карактеристикама за даљу употребу;
- Боље разумевање кинетике и доминантних феномена у реакцији елементарног сумпора са сребром у минералном изолационом уљу
- Правовремено планирање примене ефикасних техника за решавање проблема корозивности уља, уклањањем корозивних сумпорних једињења из минералних изолационих уља.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Главни допринос предметне докторске дисертације представља развој и примена новог поступка екстракционо-реакционе десулфуризације за уклањање елементарног сумпора из минералних изолационих уља. Развијени поступак представља ефикасно технолошко решење за отклањање проблема присуства корозивних сумпорних једињења у релативно кратком временском периоду, чиме се значајно смањује ризик експлоатације трансформатора са контаминираним уљем и продужава њихов животни век. Посебан допринос дисертације огледа се у интеграцији новоразвијеног поступка екстракционо-реакционе десулфуризације са претходно развијеном технологијом за уклањање дибензил-дисулфида и полихлорованих бифенила из минералних изолационих уља. На овај начин омогућено је симултано уклањање свих нежељених једињења из уља, што није било могуће применом конвенционалних поступака третмана изолационих уља, чиме је развијена јединствена мултифункционална технологија за уклањање свих нежељених једињења из минералних изолационих уља. Од изузетног значаја је испитивање утицаја развијене технологије на животну средину чији су резултати показали да је развијена технологија чиста, еколошки прихватљива и у складу са најбољом еколошком праксом.

Испитивање кинетике реакције елементарног сумпора са сребром у минералном изолационом уљу има значајан допринос, а добијени резултати омогућили су боље и детаљније разумевање механизма формирања сребро-сулфидних депозита и идентификацију доминантних феномена који утичу на брзину ове реакције. Добијени резултати пружају основу за процену ризика од деградације

изолационог система, предвиђање понашања корозивних сумпорних једињења у експлоатационим условима и развој ефикаснијих поступака и мера митигације корозивних минералних изолационих уља. На тај начин стварају се предуслови за развој ефикаснијих мера за смањење ризика од хаварија трансформатора услед присуства корозивног уља, повећање поузданости рада енергетских трансформатора и продужење животног века.

4.3. Верификација научних доприноса

Категорија M21:

1. **Kolarski, D.,** Lukić, J., Janković, J., Glišić, S., Orlović, A. (2025). Process for Simultaneous Removal of S8, DBDS, and PCBs From Mineral Insulating Oils. *IEEE Access*, vol. 13, pp. 126780-126788, (IF5=4,3) (ISSN: 2169-3536) (<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3589171>)

2. **Kolarski, D.,** Lukić, J., Janković, J., Glišić, S. (2025). Kinetic Analysis of the Reaction of Silver with Elemental Sulfur in Mineral Insulating Oil. *Materials*, 18(16), 3771. (IF5=3,8) (ISSN: 1996-1944), (<https://doi.org/10.3390/ma18163771>)

Поред правилником дефинисаних услова за оцену и одбрану докторске дисертације, изнад наведених, Дејан Коларски је и аутор (једини аутор) регистрованог патента на међународном нивоу под називом „Desulphurisation process” број патента GB2631809B који је такође настао као резултат рада на овој докторској дисертацији.

5. ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду (Гласник Универзитета у Београду, бр. 204 од 22. јуна 2018. године), коришћењем програма iThenticate (10. јул 2026. године) извршена је провера оригиналности докторске дисертације кандидата Дејана Коларског под називом "Процеси деградације изолационог система енергетских трансформатора у присуству елементарног сумпора и развој технологије екстракционо реакционе десулфуризације",

На основу извршене провере оригиналности докторске дисертације добијен је резултат од 3% подударности и то у литературним наводима.

На основу свега изложеног Комисија сматра да је докторска дисертација кандидата Дејана Коларског оригинална, као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Истраживање у оквиру ове дисертације усмерено је на решавање актуелног проблема у електроенергетици, присуства елементарног сумпора у минералним изолационим уљима енергетских трансформатора. Истраживање у оквиру прве целине допринеће бољем разумевању кинетике и доминантних феномена у реакцији између елементарног сумпора и сребра у минералном изолационом уљу, док је истраживање у оквиру друге целине примењеног карактера јер је усмерено на решавање конкретног проблема у индустрији, као и развоју новог технолошког поступка за уклањање елементарног сумпора из минералних изолационих уља и његовој интеграцији са претходно развијеним поступком за уклањање дибензил дисулфида и полихлорованих бифенила. На основу претходно наведеног, мишљење Комисије је да докторска дисертација кандидата Дејана (Миодраг) Коларског маг. инж. технологије, под насловом "Процеси деградације изолационог система енергетских трансформатора у присуству елементарног сумпора и развој технологије екстракционо

реакционе десулфуризације" представља оригиналан научни допринос у предметној области истраживања. Оригиналност докторске дисертације кандидата је потврђена објављивањем више радова у међународним часописима. Дефинисани предмет као и циљеви докторске дисертације у потпуности су остварени, на основу чега Комисија износи своје мишљење да докторска дисертација кандидата Дејана Коларског у потпуности испуњава све захтеване критеријуме, као и да је кандидат током израде дисертације показао самосталност и оригиналност у научно-истраживачком раду. Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих и приказаних резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, да се докторска дисертација под називом "Процеси деградације изолационог система енергетских трансформатора у присуству елементарног сумпора и развој технологије екстракционо реакционе десулфуризације" Дејана (Миодраг) Коларског прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, као и да након завршетка процедуре позове кандидата на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 10. август 2026. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

.....
Др Марко Стаменић, доцент
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Јелена Лукић, виши научни сарадник
Електротехнички института Никола Тесла акционарско друштво Београд