

TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET

UNIVERZITET U BEOGRADU

35/185
(Broj zahteva)
08.07.2013.
(datum)

VEĆE NAUČNIH OBLASTI TEHNIČKIH NAUKA

(naziv veća naučne oblasti kome se zahtev upućuje)

Beograd, Studentski trg br. 1

ZAHTEV

za davanje saglasnosti na referat o urađenoj doktorskoj disertaciji

Molimo da, shodno članu 46. st.5 Statuta Univerzitetu u Beogradu ("Glasnik Univerziteta" broj 131/06), date saglasnost na referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata

Mr JELENE (Mile) LUKIĆ
(ime, ime jednog od roditelja i prezime)

KANDIDAT: Mr JELENA (Mile) LUKIĆ prijavila je doktorsku disertaciju pod nazivom:

„PROCESI DEGRADACIJE PAPIRNO-ULJNE IZOLACIJE ENERGETSKIH TRANSFORMATORA I RAFINACIJA DEGRADIRANIH MINERALNIH IZOLACIONIH ULJA EKSTRAKCIJOM TEČNO-TEČNO SA N-METIL-2-PIROLIDONOM“

Iz naučne oblasti: HEMIJA I HEMIJSKA TEHNOLOGIJA

Univerzitet je dana 26.12.2011. godine, svojim aktom **02 broj 06-8780/10-11**, dao saglasnost na predlog teme doktorske disertacije koja je glasila:

„PROCESI DEGRADACIJE PAPIRNO-ULJNE IZOLACIJE ENERGETSKIH TRANSFORMATORA I RAFINACIJA DEGRADIRANIH MINERALNIH IZOLACIONIH ULJA EKSTRAKCIJOM TEČNO-TEČNO SA N-METIL-2-PIROLIDONOM ”

Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata:

Mr JELENE (Mile) LUKIĆ
(ime, ime jednog od roditelja i prezime)

obrazovana je na sednici održanoj 31.01.2013. odlukom fakulteta pod br. 35/27, u sastavu:

Ime i prezime člana komisije	Zvanje	Naučna oblast
1. Dr Dušan Antonović	Redovni profesor	Inženjerstvo zaštite životne sredine
2. Dr Sava Veličković	Docent	Polimerno inženjerstvo
3 Dr Zoran Radaković	Redovni profesor	Termički procesi u elektroenergetici

Nastavno-naučno veće fakulteta prihvatilo je izveštaj Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije na sednici održanoj dana 30.05.2013. godine.

DEKAN FAKULTETA

Prof. dr Đorđe Janačković

Prilog:

1. Doktorska disertacija
2. Izeštaj Komisije sa predlogom
3. Akt Nastavno-naučnog veća Fakulteta o usvajanju izveštaja

Na osnovu čl. 128. Zakona o visokom obrazovanju, čl. 129. Statuta TMF-a, na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta od 30.05.2013. godine

O D L U K A

o prihvatanju Referata o urađenoj doktorskoj disertaciji

Prihvata se Referat Komisije u sastavu: dr Dušan Antonović, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta, dr Sava Veličković, docent Tehnološko-metalurškog fakulteta, dr Zoran Radaković, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu o pregledu i oceni urađene doktorske disertacije pod nazivom: „**PROCESI DEGRADACIJE PAPIRNO-ULJNE IZOLACIJE ENERGETSKIH TRANSFORMATORA I RAFINACIJA DEGRADIRANIH MINERALNIH IZOLACIONIH ULJA EKSTRAKCIJOM TEČNO-TEČNO SA N-METIL-2-PIROLIDONOM**“ koju je podnela **mr JELENA LUKIĆ**, dipl. inž. i upućuje se na saglasnost Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

Veće naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu dalo je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije **mr Jelene Lukić**, dipl.inž., pod nazivom „**PROCESI DEGRADACIJE PAPIRNO-ULJNE IZOLACIJE ENERGETSKIH TRANSFORMATORA I RAFINACIJA DEGRADIRANIH MINERALNIH IZOLACIONIH ULJA EKSTRAKCIJOM TEČNO-TEČNO SA N-METIL-2-PIROLIDONOM**“ Odlukom 02 broj: 06-8780/10-11 od 26.12.2011. godine.

Категорија M21 - Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu

1. **Jelena Lukić^a**, Srđan Milosavljević^a, Aleksandar Orlović^b, Degradation of Insulating Systems of Power Transformers by Copper Sulfide Deposition: Influence of Oil Oxidation and Presence of Metal Passivators, **Ind.Eng.Chem.Res.** **2010**, **49**, 9600-9608. (IF = 2.237 (2011) и ISSN 0888-5885)
2. **J.Lukic**, D.Nikolic, V.Mandic, S.Glisic, D.Antonovic, A.Orlovic, Removal of Sulfur Compounds from Mineral Insulating Oils by Extractive Refining with N-Methyl-2-pyrrolidone, **Ind.Eng.Chem.Res.**, **2012**, **51**, 4472-4477. (IF = 2.237 (2011) и ISSN 0888-5885)

Odluku dostaviti: Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta, mentoru, Službi za nastavno-studentske poslove, Biblioteci i Arhivi fakulteta.

D E K A N

Prof. dr Đorđe Janačković

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр. Јелене Лукић, дипл.инж.технологије, под насловом **„Процеси деградације папирно-уљне изолације енергетских трансформатора и рафинација деградираних минералних изолационих уља екстракцијом течно-течно са N-метил-2-пиролидоном“**

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета бр. 35/27 од 01.02.2013., именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр. Јелене Лукић под насловом **„Процеси деградације папирно-уљне изолације енергетских трансформатора и рафинација деградираних минералних изолационих уља екстракцијом течно-течно са N-метил-2-пиролидоном“**

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

- 06.04.2004. – Јелена Лукић је одбранила магистарску тезу под насловом “Рерафинација отпадних минералних електроизолационих уља екстракцијом са N-метил-2-пиролидоном“.
- 10.10.2011. – Кандидат мр Јелена Лукић је пријавила израду докторске дисертације под насловом **„Процеси деградације папирно-уљне изолације енергетских трансформатора и рафинација деградираних минералних изолационих уља екстракцијом течно-течно са N-метил-2-пиролидоном“**.
- 20.10.2011. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је одлука о именовању Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под насловом **„Процеси деградације папирно-уљне изолације енергетских трансформатора и рафинација деградираних минералних изолационих уља екстракцијом течно-течно са N-метил-2-пиролидоном“** (број одлуке 35/318 од 27.10.2011. године).
- 15.12.2011. - На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду усвојен је извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под насловом **„Процеси деградације папирно-уљне изолације енергетских трансформатора и рафинација деградираних минералних изолационих уља екстракцијом течно-течно са N-метил-2-пиролидоном“** мр. Јелене Лукић (број одлуке 35/391 од 20.12.2011. године). За ментора је одређен др. Александар Орловић ванредни професор ТМФ-а.

- 26.12.2011. - На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације мр. Јелене Лукић под насловом **„Процеси деградације папирно-уљне изолације енергетских трансформатора и рафинација деградираних минералних изолационих уља екстракцијом течно-течно са N-метил-2-пиролидоном“** (број одлуке 06-8780/10-11 од 09.01.2012. године).
- 16.01.2013. године извршена је промена ментора. За ментора је одређен др Душан Антоновић
- 31.11.2013. - На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је одлука о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр. Јелене Лукић под насловом **„Процеси деградације папирно-уљне изолације енергетских трансформатора и рафинација деградираних минералних изолационих уља екстракцијом течно-течно са N-метил-2-пиролидоном“** (број одлуке 35/27 од 01.02.2013. године).

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове дисертације припадају области Хемија и Хемијска Технологија за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Ментор, др. Душан Антоновић, редовни професор ТМФ-а, је до сада објавио више од 30 радова из ове области, био је ментор и члан комисије у 9 докторских дисертација.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Јелена М. Лукић рођена је 28.04.1970 године у Београду. Основно и средње образовање завршила је у Београду. Дипломирала је на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, са средњом оценом 8.51. Дипломски рад под насловом "Сулфатовање јестивих уља" одбранила је на Катедри за органску хемијску технологију са оценом 10. Од 1996. године запослена је у Институту Никола Тесла на пословима испитивања трансформаторских уља и папирне изолације. Априла 2004. године одбранила је са оценом 10 магистарску тезу под насловом "Ре-рафинација отпадних минералних електроизолационих уља екстракцијом са N-метил-2-пиролидоном" на Катедри за органску хемијску технологију Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду. Добитник је награде Привредне коморе града Београда за магистарску тезу за школску 2003/2004. годину.

У Институту Никола Тесла бави се испитивањима папирно-уљне изолације и дијагностиком стања енергетских и мерних трансформатора, посебно у домену комплексне дијагностике великих енергетских трансформатора у производњи и преносу електричне енергије. Бави се феноменима деградације минералних изолационих уља, посебно феноменима деградације органских дисулфида. Такође ради на развоју нових метода детекције антиоксиданата за биљна изолациона уља, поступака ре-рафинације отпадних минералних изолационих уља, поступака ре-рафинације уља која садрже корозивни сумпор и на развоју поступака деконтаминације минералних уља контаминираних са полихлорованим бифенилима. Мр Јелена Лукић је председник националног комитета ИЕС ТС 10: Флуиди у електротехничкој примени и делегат националног комитета Србије у Међународној Електротехничкој Комисији (ИЕС ТС 10). Активно учествује у раду Интернационалне Електротехничке комисија за изолациона уља, ИЕС ТС 10 и у међународном удружењу великих електричних мрежа (CIGRE) у комтетима CIGRE A2 (трансформатори) и D1 (материјали и савремене технологије).

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата мр. Јелене М. Лукић, дипл.инж.технологије садржи 5 поглавља: Увод, Експериментални део, Резултати и Дискусија, Закључак и Литература. На почетку је дат кратак садржај на српском и енглеском језику, а на крају прилог – скраћенице и ознаке. Докторска дисертација садржи 142 стране и 120 литературних навода.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводу је описана функција минералних изолационих уља у електричној опреми и дат је опис поступака за њихово добијање. Приказан је механизам оксидативне деградације уља. Описани су феномени деградације једињења сумпора и формирања сулфида метала у изолационом систему трансформатора. Дат је кратак осврт на стање технике у овој области са акцентом на опис феномена диелектрчног пробоја и хаварија трансформатора услед издвајања електро-проводних сулфида метала у папирној изолацији трансформатора. Даље су описани постојећи поступци и методе који се примењују за решавање проблема експлоатације минералних изолационих уља која садрже корозивна једињења сумпора, посебно дибензил дисулфид и то: додаток метал пасиватора у трансформатор у циљу прекривања – пасивирања површина бакра и спречавања издвајања сулфида метала и процеси примењени за уклањање корозивног сумпора из уља.

Експериментални део обухвата опис метода за испитивање појединих физичких, хемијских и електричних метода и инструменталних техника: гасне и течне хроматографије, инфрацрвене спектрофотометрије, атомске апсорпционе спектрофотометрије, електрон дисперзивне дифракције X зрака. Поред примене стандардних метода изведено је више експеримената изведених са циљем да се истражи утицај параметара деградације дибензил дисулфида, кисеоника и температуре, апсорпција метал пасиватора у папиру и ефикасност метал пасиватора у инхибицији стварања бакар (I) сулфида. Експерименти су били изведени као модификације стандардних испитних метода, ИЕС 62535 и ИЕС 61125.

Последњи део експерименталног дела представља опис поступка екстракције једињења сумпора из уља Н-метил-2-пиролидоном примењен у рафинацији више различитих минералних изолационих уља, нових и коришћених са различитим концентрацијама дибензил дисулфида и поларних продуката старења уља.

Описани експерименти изведени у циљу испитивања:

- утицаја оксидације уља и садржаја кисеоника у уљу на повећано издвајање бакар (I) сулфида у папиру
- утицаја адитива, посебно ди-терцијарног-бутил пара крезол на повећано издвајање бакар (I) сулфида у папиру
- одређивања механизма деградације дибензил дисулфида зависно до температуре и концентрације кисеоника
- одређивање заштитне функције метал пасиватора у покривању површине бакра
- одређивање апсорпције метал пасиватора у папиру
- испитивање ефикасности примењеног поступка екстракцију дибензил дисулфида Н-метил-2-пиролидоном

У поглаву, Резултати и Дискусија анализа експерименталних резултата је подељена у два дела. Први део се односио на проучавање и анализу параметара и механизма деградације дибензил дисулфида. Постулиран је механизам деградације дибензил дисулфида у функцији температуре и концентрације кисеоника уљу. Посебно је анализиран утицај кисеоника, процеса оксидације и фенолних антиоксиданата на повећање концентрације уљно-растворних једињења бакра, концентрације бакра у папиру и повећаног издвајања бакар (I) сулфида у папиру.

Други део истраживања односио се на анализу и дискусију резултата у области техника митигације, које се могу користити за решавање проблема коришћења минералних изолационих уља са корозивним једињењима сумпора. Ефикасност метал пасиватора у заштити бакра испитана је кроз стандардне и модификоване тестове који су обихватили испитивање заштитне функције метал пасиватора. Абсорпција метал пасиватора у папиру и заштитна функција абсорбованог метал пасиватора против таложења бакар (I) сулфида у папиру такође је испитана. Анализиран је и споредни ефекат абсорпције метал пасиватора у папиру на померање равнотежне расподеле концентрација продуката деградације папира, деривата фурана између уља и папира.

У последњем делу поглавља, Резултати и Дискусија приказани су резултати рафинације уља Н-метил-2-пиролидоном у екстракцији дибензил дисулфида из уља са различитим садржајем дибензил дисулфида и продуката старења уља. Анализирана је ефикасност примењеног поступка и утицај примењеног процеса на квалитет рафинисаних уља, изолационе особине и оксидациону стабилност.

На крају, у поглављу Закључак дати су концизни закључци, на основу постигнутих резултата, при чему се добија увид у оригиналан научни допринос, који одговара постављеним циљевима дисертације. У поглављу 5 дат је списак литературе.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Актуелна истраживања у области процеса деградације папирно-уљних изолационих система у електротехничкој примени, превасходно у трансформаторима, обухватају процесе деградације и трансформације једињења сумпора у минералним изолационим уљима и стварање електро-проводних депозита сулфида метала на папирној изолацији. Ови депозити утичу на снижење изолационих особина и могући су узрочници електричног пробоја у папиром изолованим намотајима и хаварије трансформатора. Ова дисертација се бави актуелном проблематиком појаве сулфида метала у папирно-уљној изолацији трансформатора услед експлоатације минералних изолационих уља која садрже реактивна једињења сумпора. Први домен је истраживање механизма деградације реактивних сумпорних једињења. У међународним научним и стручним круговима, кроз референтну литературу предложени су различити механизми деградације дисулфида, али без свеобухватног сагледавања утицаја присуства кисеоника и радне температуре. У резултатима предметне дисертације постулиран је механизам деградације дибензил дисулфида у функцији температуре и кисеоника. Пронађено је да на температурма од 150°C повећана концентрација кисеоника доводи до повећаног таложења бакар (I) сулфида у папиру. Такође, присуство антиоксиданата утиче на повећано издвајање бакар (I) сулфида у папиру. Ови закључци су важни за процену ризика експлоатације у различитим конструкцијама трансформатора (конструкција са ваздушним дисањем и без ваздушног дисања). Познавање механизма деградације дисулфида унапређује разумевање проблематике и процену ризика у експлоатацији трансформатора са уљима која садрже корозивни сумпор.

Други домен истраживања, који је веома актуелан у међународној научној и стручној јавности, је у области техника митигације, тј. примене поступака за решавање проблема експлоатације уља која садрже корозивни сумпор. Значај примене ефикасних техника за решавање проблема експлоатације уља са корозивним сумпором је од виталног значаја за функционисање електроенергетских система. У највећој мери примењују се две технике: додатак метал пасиватора и примена поступака обраде уља у циљу уклањања реактивних једињења сумпора из уља. У предметној дисертацији истражен је феномен абсорпције метал пасиватора у папиру и утицај абсорбованог метал пасиватора на ефикасност у заштити од таложења бакар (I) сулфида у папиру. Поступак екстракције Н-метил-2-пиролидоном примењен за уклањање корозивних једињења сумпора из уља се показао као веома ефикасан у обради нових, мало коришћених и погонски деградираних минералних изолационих уља.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У дисертацији је коришћено 120 литературних навода, који су наведени у поглављу 5. Наведени научни радови, у области од значаја како у уводном делу приликом описа области истраживања, тако и у ужој научној области која је од суштинског значаја за предметну дисертацију, послужили су као добра основа за истраживачки рад и сагледавање стања у области истраживања.

На основу метода испитивања које су приказане у наведеним радовима и анализе постигнутих резултата, дефинисане су полазне претпоставке за истраживања у оквиру ове дисертације. Из образложења предложене теме и објављених радова проистеклих из ове докторске дисертације, као и из референтне литературе која је коришћена у истраживању, уочава се адекватно познавање предметне области истраживања и актуелног стања у овој области у свету.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру истраживања обухваћених овом дисертацијом примењене су експерименталне технике симулације радних параметара трансформатора и модела папирно-уљне изолације. Као основа за развој ових техника и њихову коришћену су искуства из постојећих експерименталних метода дефинисаних одговарајућим техничким стандардима, као што су модификовани тестови оксидационе стабилности са бакарном спиралом и папиром изолованим проводницима. Број и структура експеримената је планирана са циљем да се испита утицај свих релевантних параметара који могу утицати на формирање депозита на папирно-уљној изолацији. Упоредном и компаративном анализом резултата изведени су закључци о утицају појединачних параметара на комплексан феномен настанка и издвајања бакар (I) сулфида у папирној изолацији енергетских трансформатора.

У циљу митигације проблема деградације папирно-уљне изолације трансформатора испитивана је технологија селективне екстракције течно-течно за уклањање прекурсора бакар (I) сулфида из изолационог уља. Пажљиво планираним експериментима дефинисани су оптимални услови и параметри овог процеса који омогућавају веома селективно и практично потпуно уклањање прекурсора из изолационог система трансформатора. Резултати су доказани одговарајућим аналитичким методама и испитивањем деградације папирно-уљне изолације коришћењем уља обрађених Н-метил-2-пиролидоном.

Сви резултати у оквиру ове дисертације су доказани одговарајућим експериментима, као и аналитичким инструменталним мерењима. У оквиру ових истраживања коришћене су следеће аналитичке инструменталне методе и стандардне тест методе:

- гасна хроматографија са захватом електрона у одређивању концентрације дибензил дисулфида
- потенциометријска титрација са сребро нитратом примењена за одређивање укупног садржаја дисулфида, меркаптана и елементарног сумпора
- атомска апсорпциона спектрофотометрија пламеном техником примењена у одређивању концентрације бакара у папиру
- инфрацрвена спектрофотометрија у одређивању концентрације антиоксиданата фенолног типа и садржаја ароматских угљоводоника
- електрон дисперзивна дифракција X зрака и скенирајућа електронска микроскопија у анализи елемената на површини папира и детекција бакар (I) сулфида
- течна хроматографија високих перформанси у одређивању концентрације метал пасиватора у уљу и концентрације деривата фурана у уљу
- одређивање степена полимеризације папира вискозиметријском техником, растварањем изолационог папира у куприетилен диамину
- одређивање садржаја релативних концентрација метал пасиватора абсорбованог у папиру применом сопствене развијене технике тростепене екстракције метал пасиватора из папира и анализом сакупљених екстраката методом течне хроматографије
- тест на корозивни сумпор IEC 62535 и модификације теста по температури, времену и садржају кисеоника током теста
- тест оксидационе стабилности уља, IEC 61125 за вештачко старење, тј. оксидативни пред-третман уља са корозивним сумпором у циљу одређивања повећања афинитета ка издвајању бакар (I) сулфида и за одређивање оксидационе стабилности и квалитета рафинисаних уља
- испитивања физичких, хемијских и електричних карактеристика уља
- екстракција уља Н-метил-2-пиролидоном са водом као ко-солвентом применом тростепеног шаржног поступка на оптималним температурама екстракције и са оптималним садржајем мешавине раставарача у односу на уље.

3.4. Применљивост остварених резултата

У оквиру ове дисертације истражени су феномени деградације дисулфида у минералним изолационим уљима и постулиран је механизам деградације дибензил дисулфида. Истражен је утицај кисеоника и садржај антиоксиданата у уљу на издвајање бакар (I) сулфида у папиру. Установљено је да пораст концентрације кисеоника модификује механизам деградације дибензил дисулфида на различитим температурама, 120°C и 150°C. Ови резултати су применљиви за боље разумевање утицаја температуре и кисеоника као кључних параметара формирања сулфида метала и тиме бољу процену ризика експлоатације трансформатора са корозивним уљем. У области техника митигације ефикасност метал пасиватора абсорбованог у папиру је истражена и потврђена, што омогућава примену дате технике са јасним сагледавањем њених домета у погледу заштите од таложења бакар (I) сулфида у папиром изолованим намотајима трансформатора. Екстракција реактивних сумпорних једињења Н-метил-2-пиролидоном је високо ефикасан поступак у уклањању дибензил дисулфида из уља, применљив за обраду како нових и мало деградираних, тако и високо деградираних уља. Рафинисана уља су некорозивна са побољшаним изолационим особинама, што поступак екстракције одређује као високо ефикасан са могућом широком применом за обраду минералних изолационих уља ради уклањања реактивних сумпорних једињења и поларних продуката старења. Верификација резултата дисертације потврђена је објављивањем радова у међународним часописима.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

У свом досадашњем раду Јелена М. Лукић, дипл.инж. технологије показала је самосталност у претраживању литературе, организацији и реализацији експеримената, као и обради резултата и тумачењу експерименталних резултата. Поред наведеног, познавање енглеског језика и коришћење потребних рачунарских програма у свакодневном раду, квалификује кандидата за самостални научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Кандидат својим резултатима доприноси науци у области хемије деградационих процеса папирно-уљне изолације, посебно механизма деградације дисулфида у минералним изолационим уљима. Показано је да кисеоник модификује механизам деградације дибензил дисулфида. На температури од 120°C, повишен садржај кисеоника доводи до деградације дибензил дисулфида оксигенованом рутом, уз смањено стварање бакар (I) сулфида, док на температури од 150°C и навише, повећана концентрација кисеоника промовише стварање проводних сулфида метала у папирној изолацији. Такође је установљено да фенолни антиоксиданти промовишу таложење бакар (I) сулфида у папиру, када у уљу постоје реактивни дисулфиди, тј. дибензил дисулфид. Метал пасиватор се абсорбује у папиру и има заштитну функцију у спречавању таложења бакар (I) сулфида, тако што утиче на разградњу интермедијерних нуклеофила у папиру. Поступак екстракције реактивних једињења сумпора из уља Н-метил-2-пиролидоном са додатком воде у количини од 1% показао се високо ефикасним за уклањање дибензил дисулфида из минералних изолационих уља различитог степена деградације. Рерафинисна уља су након обраде Н-метил-2-пиролидоном имала високу оксидациону стабилност, што омогућава њихову поновну дуготрајну употребу у електричној опреми.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу дефинисаних циљева истраживања научни доприноси наведени у тачки 4.1 представљају унапређење научних знања у поређењу са постојећим стањем и референтном литературом и то у следећем:

- постулиран механизам деградације дибензил дисулфида узима у обзир кључне параметре, кисеоник и температуру, и дефинише утицај кисеоника на промену механизма деградације дибензил дисулфида.
- дефинисан је утицај фенолних антиоксиданата и кисеоника на издвајање бакар (I) сулфида у папиру
- установљено је да долази до абсорпције метал пасиватора у папиру применом сопствене методе испитивања
- установљено је да метал пасиватор абсорбован у папиру има заштитну улогу у спречавању таложења бакар (I) сулфида у папиру
- екстракција дибензил дисулфида Н-метил-2-пиролидоном је високо ефикасан поступак за рафинацију, тј. уклањање реактивних дисулфида из уља, као и за рафинацију уља различитог степена деградације.

4.3. Верификација научних доприноса

Из дисертације проистекли су следећи радови: два рада у врхунским међународним часописима (M21), један рад са међународног скупа по позиву, штампано у целини (M31), пет радова са међународних скупова штампаних у целини (M33) и један рад са националног скупа штампано у целини (M63).

Категорија M21 - Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu

3. **Jelena Lukić^a**, Srđan Milosavljević ^a, Aleksandar Orlović^b, Degradation of Insulating Systems of Power Transformers by Copper Sulfide Deposition: Influence of Oil Oxidation and Presence of Metal Passivators, **Ind.Eng.Chem.Res.** **2010**, **49**, 9600-9608. (IF = 2.237 (2011) и ISSN 0888-5885)
4. **J.Lukic**, D.Nikolic, V.Mandic, S.Glisic, D.Antonovic, A.Orlovic, Removal of Sulfur Compounds from Mineral Insulating Oils by Extractive Refining with N-Methyl-2-pyrrolidone, **Ind.Eng.Chem.Res.**, **2012**, **51**, 4472-4477. (IF = 2.237 (2011) и ISSN 0888-5885)

Категорија M31 – Предавање по позиву са међународног скупа штампано у целини

1. **J.Lukić**, Oxidation Phenomena and Role of Oil Inhibitors“, My Transfo do Brasil, Rio de Janeiro, 20-24 September 2009.

Категорија M33 – Саопштење са међународног скупа штампано у целини

1. **J.Lukic**, V.Radin, M.Bokorov, A.Orlović, Selective Liquid-liquid extraction in corrosive oils re-refining, 42 Paris CIGRE Session, SC A2-216, 24-28 August 2008.
2. R.Maina, V.Tumiatti, M.C.Bruzzoniti, R.M.De Carlo, **J.Lukić**, D.Naumović-Vuković, Copper Dissolution and Deposition Tendency of Insulating Mineral Oils Related to Dielectric Properties of Liquid and Solid Insulation, 16th International Conference on Dielectric Liquids, Trondheim, June 26-30, 2011.
3. **J.Lukić**, Đ.Jovanović, S.Milosavljević, Z.Radaković, Z.Božović, S.Spremić, „Post- Mortem Analysis and In Service Diagnostics of Three Different Case Studies of Transformers with Extreme Hydrogen Gassing“, CIGRE A2&D1 Colloquium, PS1-P-12, Kyoto 2011.
4. **J.Lukić**, D.Nikolić, V.Mandić, K.Drakić, S.Milosavljević, A.Orlović, Copper Sulphide Deposition in the Paper: Influence of Oxygen, Inhibitors and Paper Absorbed Metal Passivator, Invited Presentation D-2, EuroDoble, Manchester, October 15-17, 2012.
5. **J.Lukić**, D.Nikolic, V.Mandic, S.Milosavljevic, A.Orlovic, Phenomena of Copper Sulphide Deposition in the Paper: Influential Factors, Precursors and Metal Passivators, Tech Con Asia Pacific, Paper 06, April 2012.

Категорија M63 – Саопштење са националног скупа штампано у целини

1. **J.Лукић**, С.Теслић, С.Милосављевић Електротехнички институт Никола Тесла, Србија, В.Калуђеровић Комбинат Алуминијума Подгорица, Црна Гора, Корозивни сумпор у трансформаторском уљу – ризици у експлоатацији и начини решавања проблема, A2-12, 29.саветовање CIGRE СРБИЈА 2009, 30.05. -06.06.2009.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега напред изложеног, Комисија сматра да докторска дисертација мр. Јелене Лукић, под називом „Процеси деградације папирно-уљне изолације енергетских трансформатора и рафинација деградираних минералних изолационих уља екстракцијом течно-течно са N-метил-2-пиролидоном“ представља оригинални научни допринос у области Хемије и хемијске технологије, што је потврђено, између осталог и објављивањем радова у релевантним часописима међународног значаја, као и презентовањем резултата истраживања на конференцијама. У оквиру резултата проистеклих из ове дисертације постулиран је механизам деградације дибензил дисулфида, дефинисан је утицај фенолних антиоксиданата и кисеоника на издвајање бакар (I) сулфида у папиру, установљено је и доказано да долази до апсорпције метал пасиватора у папиру, установљено је да метал пасиватор апсорбован у папиру има заштитну улогу у спречавању таложења бакар (I) сулфида у папиру. Екстракција дибензил дисулфида Н-метил-2-пиролидоном је високо

ефикасан поступак за рафинацију. тј. уклањање реактивних дисулфида из уља, као и за рафинацију уља различитог степена деградације.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом **„Процеси деградације папирно-уљне изолације енергетских трансформатора и рафинација деградираних минералних изолационих уља екстракцијом течно-течно са N-метил-2-пиролидоном“** кандидата мр. Јелене Лукић, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Проф. др Душан Антоновић, редовни професор,
Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду

Др Сава Величковић, доцент,
Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду

Проф. др Зоран Радаковић, редовни професор,
Електротехнички факултет Универзитета у Београду