

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Нецада Хаџиефендића

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета на седници бр. 838 одржаној 9. 4. 2019. године (бр. одлуке 936/3 од 19. 4. 2019. године), именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Нецада Хаџиефендића, магистра електротехнике и рачунарства, под насловом

**„Утицај лоших електричних контаката на настанак почетног пожара и метода за њихово откривање у нисконапонским електричним инсталацијама“**

После прегледа достављене дисертације и пратећих материјала, Комисија је сачинила следећи

### РЕФЕРАТ

#### 1. УВОД

##### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

- 12. 6. 2014. године кандидат мр Нецад Хаџиефендић пријавио је тему за израду докторске дисертације;
- 18. 6. 2014. године Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије за оцену научне заснованости теме и подобности кандидата упутила Наставно-научном већу на усвајање;
- Наставно-научно веће је именovalo Комисију за оцену научне заснованости теме докторске дисертације (одлука бр. 936/1 од 14. 7. 2014. године) у саставу:
  - др Зоран Радаковић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
  - др Јован Цветић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, и
  - др Драган Тасић, редовни професор, Универзитет у Нишу – Електронски факултет;
- 30. 9. 2014. године одржана је јавна усмена одбрана теме докторске дисертације. Комисија је одбрану предложене теме оценила оценом „задовољно“;
- Наставно-научно веће је усвојило Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације (одлука бр. 936/2 од 18. 11. 2014. године);
- Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације (бр. 61206-5765/2-14 од 22. 12. 2014. године);
- 18. 3. 2019. године кандидат је предао докторску дисертацију на преглед и оцену;
- 2. 4. 2019. године Комисија за студије трећег степена потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације;

– Наставно-научно веће Електротехничког факултета на седници бр. 838 одржаној 9. 4. 2019. године (одлука бр. 936/3 од 19. 4. 2019. године) именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у следећем саставу:

- др Миомир Костић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
- др Зоран Радаковић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
- др Драгана Ђорђевић, научни саветник, Универзитет у Београду – Институт за хемију, технологију и металургију,
- др Јован Цветић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, и
- др Јован Трифуновић, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

### 1.2. Научна област дисертације

Дисертација кандидата мр Неџада Хациефендића припада научној области Техничке науке – Електротехника, ужа научна област Електроенергетика. За ментора дисертације је одређен др Миомир Костић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду, због истакнутих научних и стручних доприноса у области Електроенергетике, а посебно у ужој области нисконапонских електричних инсталација, којом се бави предметна дисертација.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Мр Неџад Хациефендић је рођен у Прокупљу, 9. априла 1971. године. Електротехнички факултет Универзитета у Београду уписао је 1992. године, где је дипломирао 1997. године. Завршио је Енергетски одсек – смер Енергетски претварачи и погони са просечном оценом 8,75 као студент генерације. Магистрирао је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду (2001) – постдипломске студије је завршио са просечном оценом 10. Његов магистарски рад под насловом „Заштита од штетних ефеката појаве редног електричног лука у нисконапонским електричним инсталацијама“ припада области заштите од пожара. Положио је стручне испите за пројектовање електроенергетских инсталација ниског и средњег напона (2003) и обављање послова заштите од пожара (2006), безбедности и здравља на раду (2007) и испитивања услова радне околине (2010).

Значајно је допринео формирању две нове лабораторије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду: Лабораторије за испитивање нисконапонских електричних и громобранских заштитних инсталација и Лабораторије за испитивање услова радне околине. У обе лабораторије има функцију одговорног лица.

Објавио је 4 научна рада из области заштите од пожара (3 из области докторске дисертације) у еминентним светским часописима са импакт фактором, као и укупно 26 научностручних радова у домаћим часописима и на међународним и домаћим конференцијама (17 из области заштите од пожара). Од 2004. године редован је учесник на пројектима Министарства просвете, науке и технолошког развоја, од којих је последњи у директној вези са облашћу заштите од пожара: Препоруке за извођење и правилно

коришћење нисконапонских електричних и громобранских заштитних инсталација и развој методологије за верификацију њиховог квалитета са аспекта заштите грађевинских објеката од пожара – ТР 36018 (2011–2019).

Рад на докторској дисертацији на Електротехничком факултету Универзитета у Београду започео је 2011, а 2014. године прихваћена му је тема дисертације под насловом „Утицај лоших електричних контаката на настанак почетног пожара и метода за њихово откривање у нисконапонским електричним инсталацијама“.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Утицај лоших електричних контаката на настанак почетног пожара и метода за њихово откривање у нисконапонским електричним инсталацијама“ написана је на српском језику, ћиричним писмом, на 179 страна и садржи 69 слика и 41 табелу (без прилога). Текст докторске дисертације је организован у следећих шест поглавља:

1. Увод
2. Лош контакт настао услед смањења ефективне површине контакта
3. Лош контакт настао услед редукције момента затезања завртња на прикључном елементу електроинсталационе компоненте
4. Развој методе за детекцију струјних кола у којима постоје лоши електрични контакти
5. Испитивање функционалности рада AFDD компоненте
6. Закључци

Списак коришћене литературе садржи 117 референци (наведених према реду појављивања у тексту) које детаљно приказују тренутно стање у области која проучава утицај лоших електричних контаката у нисконапонским електричним инсталацијама на настанак почетног пожара.

На крају дисертације су дати: списак коришћене литературе, прилози I-V, биографија аутора, Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјава о коришћењу.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу је представљена статистика пожара код нас и у свету, са посебним освртом на пожаре које изазивају кварови и нерегуларне ситуације у електричним инсталацијама. Дат је преглед кварова и нерегуларних ситуација (каква је, на пример, преоптерећење струјног кола), као и преглед и принципи рада класичних заштитних компоненти (осигурача са топљивим уметком, аутоматског прекидача, ЗУДС-а...). Објашњен је значај савремене технике за рано откривање лоших електричних контаката засноване на термовизијском снимању електроинсталационих компоненти, са посебним освртом на подешавање релевантних квантитативних параметара које се врши приликом термовизијског снимања. Такође, дате су препоруке за анализу резултата снимања, као и критеријуми за доношење одлуке о приоритетима отклањања уочених недостатака. Као заштита од нежељеног редног електричног лука, представљене су савремене заштитне компоненте, које помоћу „паметне“ електронике и утврђеног алгоритма могу да препознају карактеристике горења редног електричног лука и прекину напајање струјног кола у коме се он појавио. Представљена је регулатива, код нас и у свету, која се односи на верификацију квалитета нисконапонских електричних инсталација, а посебно је истакнут проблем детекције лошег електричног контакта. У последњем делу уводног поглавља дат је детаљан преглед

публикованих резултата у вези са топлотним ефектима на лошем електричном контакту, на основу кога је дефинисан предмет истраживања докторске дисертације.

Друго поглавље обрађује лош електрични контакт настао услед непотпуног налегања бакарног проводника и контактне површине електроинсталационог елемента. Електрични контакт по правилу образују бакарни проводници или бакарни проводник и контактна површина одговарајућег дела електроинсталационе компоненте (нпр. стезалке, папучице, клеме) која је израђена од другачијег материјала (у пракси се најчешће користе месинг или нерђајући челик – прохром). Изведен је велики број експеримената са електродама од бакра, месинга и нерђајућег челика (попечних пресека:  $1,5 \text{ mm}^2$ ,  $2,5 \text{ mm}^2$  и  $4 \text{ mm}^2$ ) и анализирани су добијени резултати. Установљена је критична комбинација материјала коју при истим условима (једнако струјно оптерећење, исти пресек проводника и исти степен погоршања контакта) карактерише највећи пораст температуре и максимална дисипација снаге. Лош електрични контакт за све реализоване експерименте симулиран је на посебно конструисаној апаратури.

Лош електрични контакт настао услед редукције момента затезања завртња у електроинсталационој компоненти анализиран је у трећем поглављу. Изведен је велики број експеримената са циљем да се установи како редукција момента затезања завртња (на бакарни проводник пуног пресека или лицнасти бакарни проводник) утиче на пораст температуре контакта у шуко-утикачу и шуко-утичници. Утврђено је да су неповољнији лоши контакти у уграђеној електричној инсталацији објекта (која се уобичајено изводи бакарним проводницима пуног пресека) у односу на лоше контакте у напојним кабловима пријемника, који су најчешће израђени од лицнастих бакарних проводника.

У четвртом поглављу је развијена методологија за откривање лоших електричних контаката, чиме је значајно унапређена постојећа процедура за верификацију квалитета електричних инсталација ниског напона која се односи на испитивања електричним мерењима. Мерење отпорности петље квара обавља се у оквиру периодичних верификација квалитета нисконапонских електричних инсталација и служи за проверу ефикасности система заштите аутоматским искључењем напајања у случају квара. Утврђено је да повећана вредност отпорности петље квара (најчешће услед појаве лошег контакта) најчешће задовољава са становишта провере ефикасности система заштите у случају квара, иако постоји реална опасност од појаве „вреле“ тачке у струјном колу. Унапређење постојеће процедуре заснива се на увођењу додатног мерења – поред отпорности петље квара, мери се и отпорност кратког споја за свако струјно коло. Препорука за вршење превентивног притезања контаката у струјном колу заснива се на измереним вредностима отпорности петље квара и кратког споја: препоручиће се да се оно врши када њихове измерене вредности пређу гранично дозвољене. Гранично дозвољене вредности су установљене како на основу извршених експеримената (у лабораторији) тако и на основу статистичке анализе података изузетно великог броја мерења отпорности петље квара изведених на терену. Урађен је низ експеримената на утичници која је коришћена 30 година, као и велики број експеримената на новим утичницама, али са електричним контактима намерно изложеним корозији. Да би се убрзао процес корозије, у једној од нових утичница прикључак фазног проводника третиран је царском водом (концентрована  $\text{HNO}_3$  : концентрована  $\text{HCl} = 1:3$  (v / v)), а у другој новој утичници прикључак неутралног проводника третиран је концентрованом сумпорном киселином ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Коришћењем тих хемикалија симулиран је ефекат дуготрајног излагања електричних контаката електроинсталационих компоненти киселој атмосфери. Поређењем резултата мерења која су за циљ имала да се упореде ефекти редукције момента затезања завртња на прикључцима утичница (старе (коришћене) утичнице и две нове утичнице (са намерно кородираним спојевима)) на загревање и електричну отпорност контакта, показано је њихово слично понашање. Успостављена је корелација између измерене вредности отпорности петље квара и отпорности кратког споја и степена погоршања контакта (повећања његове електричне отпорности). Спровођењем предложене процедуре у оквиру

редовне периодичне верификације квалитета нисконапонских електричних инсталација, контролише се стање свих електричних контаката у струјним колима и омогућава да се правовременим превентивним акцијама притезања контаката (или замене оштећене електричне компоненте) спречи настајање (одржавање) „врелих“ тачака на њима. Увођењем описане процедуре решен је проблем немогућности да се термовизијском камером открију опасне „вреле“ тачке које се не налазе на видним местима. На крају четвртог поглавља дати су резултати мерења изведених у оквиру верификација квалитета нисконапонских електричних инсталација у којима је успешно примењена нова методологија за рано откривање лошег електричног контакта у стамбеним јединицама различите старости (10–60 година). Закључено је да се на основу малог броја извршених верификација не може успоставити веза између старости стамбене јединице (тачније, старости њених електричних инсталација) и вероватноће настанка опасне „вреле“ тачке на лошем електричном контакту.

У петом поглављу је разматрана функционалност рада Siemens-ове AFDD (Arc Fault Detection Device) компоненте, која представља заштиту у случају настанка редног електричног лука. Представљени су резултати великог броја лабораторијских експеримената помоћу којих су симулиране све релевантне ситуације успостављања редног електричног лука и понашања AFDD-а у таквим ситуацијама. Извршени су:

- експерименти помоћу којих је проверавана функционалност (реаговање) AFDD компоненте у случају успостављања редног електричног лука, и то за следеће комбинације материјала електрода: бакар–бакар и бакар–месинг,
- експерименти помоћу којих је проверавана функционалност (нераговање) AFDD компоненте при нормалном раду нелинеарних пријемника који садрже енергетску електронику (фрижидера, персоналних рачунара, ласерских штампача, микроталасних пећница и клима-уређаја),
- експерименти помоћу којих је проверавана функционалност (нераговање) AFDD компоненте при нормалном раду пријемника који садрже колекторски мотор (усисивач, бушилица и фен),
- експерименти помоћу којих је проверавана функционалност (реаговање) AFDD компоненте при појави редног електричног лука у струјном колу термичког пријемника на које су прикључени и нелинеарни пријемници или пријемници који у свом саставу имају колекторске моторе (рачунари, ласерски штампачи, микроталасна пећница, клима-уређај, фрижидер, усисивач, фен, бушилица итд.). Помоћу тих тестова је вршена провера да ли струје наведених пријемника могу да „маскирају“ јединствен таласни облик струје редног електричног лука.

На основу резултата наведених експеримената, дата је препорука за инсталирање AFDD компоненте у објектима у којима се окупља велики број људи.

На крају рада, у оквиру закључног поглавља, сажето су приказани сви важнији резултати истраживања у оквиру докторске дисертације, као и главни доприноси дисертације на пољу заштите грађевинских објеката од пожара узрокованих појавом лошег електричног контакта на нисконапонским електричним инсталацијама. Изведени су најважнији закључци и на основу њих дате смернице за даља истраживања у овој области. Такође, дате су и смернице за промоцију и примену нове методе за детекцију лоших електричних контаката у нисконапонским електричним инсталацијама.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### **3.1. Савременост и оригиналност**

Докторска дисертација под насловом „Утицај лоших електричних контаката на настанак почетног пожара и метода за њихово откривање у нисконапонским електричним инсталацијама“ представља оригиналан научноистраживачки рад у области верификације

квалитета нисконапонских електричних инсталација. У оквиру дисертације је развијена метода за откривање лоших електричних контаката у нисконапонским електричним инсталацијама, која је заснована на успостављању корелације између измерених вредности електричне отпорности петље квара ( $R_{SL-PE}$ ) и кратког споја ( $R_{SL-N}$ ) и степена погоршања електричног контакта, односно повећања његове отпорности.

Важећи стандарди и правилници (код нас и у свету) којима је уређена област верификације квалитета нисконапонских електричних инсталација прописују да је потребно извршити проверу ефикасности система аутоматског искључења напајања у случају квара, помоћу које могу да се детектују нека неисправна струјна кола. Иако се тим проверама детектују неки лоши контакти у струјним колима, има и оних који остају неоткривени. У завршном дефинисању нове методе за откривање лоших електричних контаката анализирани су наведени недостаци постојеће процедуре, при чему су поред резултата мерења у лабораторији коришћени и подаци добијени бројним верификацијама квалитета нисконапонских електричних инсталација на терену. Закључено је да се може дефинисати процедура за рано откривање лошег електричног контакта која се базира не само на познавању отпорности петље квара већ и отпорности кратког споја у струјном колу.

Примена нове методе за откривање лоших електричних контаката од стране фирми које врше верификацију квалитета нисконапонских електричних инсталација значајно може да смањи број пожара који настају услед постојања лоших електричних контаката, што представља најбољи показатељ савремености дисертације.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде дисертације кандидат је детаљно проучио постојећу литературу из области дисертације и навео 117 референци које су уско повезане са обрађеном темом. Литература обухвата широк опсег доступних публикација, од старијих до савремених. Кроз наведену литературу је остварен добар преглед стања предметне области и постављена добра основа за рад на одабраној теми дисертације.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

За успешну реализацију циљева истраживања постављених у докторској дисертацији, коришћене су основне и посебне методе логичког расуђивања и научног сазнања. Од основних метода научног истраживања коришћене су:

- експериментална метода (уз практичне симулације и верификације на терену),
- метода анализе, и
- метода синтезе.

Поред наведених основних метода истраживања, коришћене су и следеће посебне методе:

- метода компаративне анализе, и
- индуктивна и дедуктивна метода закључивања.

У докторској дисертацији је извршена анализа утицаја лоших електричних контаката на настанак почетног пожара и развијена методе за њихово рано откривање у нисконапонским електричним инсталацијама. У оквиру великог броја извршених експеримената у којима су коришћене разне комбинације материјала од којих се израђују контакти у нисконапонским електричним инсталацијама (бакар–бакар, бакар–месинг и бакар–нерђајући челик), уз помоћ посебно конструисане апаратуре, симулиран је лош електрични контакт који настаје услед непотпуног налегања (преклапања) бакарног проводника и површине електроинсталационог елемента на прикључку електроинсталационе компоненте. Компаративном анализом је утврђено да бакар–нерђајући челик представља критичну комбинацију материјала за које контакт при истим условима (истом струјном оптерећењу, пресеку проводника и степену погоршања контакта у смислу истог процентуалног смањења ефективне површине преклапања) најбрже достиже максималну

трајно дозвољену температуру и има највећу дисипацију снаге пре појаве редног електричног лука. На основу великог броја експеримената утврђен је и утицај редукције момента затезања завртња у електроинсталационој компоненти на настајање „вреле“ тачке у шуко-утикачима и шуко-утичницама. Такође, компаративном анализом је закључено да су за настанак „вреле“ тачке неповољнији лоши електрични контакти настали у уграђеној електричној инсталацији објекта (где је уобичајен бакарни проводник пуног пресека) у односу на лоше електричне контакте настале у напојним кабловима пријемника (где се уобичајено користи лицнасти бакарни проводник).

На основу резултата великог броја изведених експеримената у којима је анализиран утицај лоших електричних контаката на настанак „врелих“ тачака на шуко-утичницама, као и на основу података добијених из великог броја стручних налаза о верификацији квалитета нисконапонских електричних инсталација у индустријским и административним објектима (које је израдила Лабораторија за испитивање нисконапонских електричних и громобранских заштитних инсталација Електротехничког факултета у Београду), развијена је нова метода за откривање лоших електричних контаката. Она је заснована на успостављању корелације између измерених отпорности петље квара и петље кратког споја и степена погоршања контакта, односно повећања његове електричне отпорности. Урађен је низ експеримената са утичницом која је била коришћена дуги низ година, као и низ експеримената са новим утичницама, али са електричним контактима који су претходно били намерно изложени корозији. Упоредивањем резултата мерења која су за циљ имала да се анализирају ефекти редукције момента затезања завртња на прикључцима тестираних утичница ((старе (коришћене) утичнице и две нове утичнице (са намерно кородираним спојевима)) на загревање и електричну отпорност контакта, показано је да оне имају сличне карактеристике.

Неоткривен лош електрични контакт у електричним инсталацијама може да проузрокује редни електрични лук, који је чест узрок пожара. За разлику од лошег електричног контакта, редни електрични лук може бити откривен применом савремених заштитних компоненти. У лабораторијским условима, експериментално је извршена провера функционалности рада *AFDD* (Arc-Fault Detection Device) компоненте намењене европском тржишту, чија је основна намена заштита од нежељеног редног електричног лука. Провера функционалности је почивала на великом броју експеримената помоћу којих су симулиране скоро све релевантне ситуације успостављања редног електричног лука, и то за различите комбинације материјала електрода (бакар–бакар и бакар–месинг). Такође, реализовани су експерименти помоћу којих је констатовано да *AFDD* компонента није реаговала при нормалном раду нелинеарних пријемника који садрже енергетску електронику, као и при нормалном раду пријемника који садрже колекторске моторе, иако се током њиховог рада нормално успостављају електрични лукови. На основу анализе резултата тих експеримената израђена је препорука за инсталирање *AFDD* компоненте у објектима у којима се окупља велики број људи, односно дато је мишљење о адекватности њене употребе у Републици Србији.

Горе наведене чињенице показују да примењена методологија у потпуности одговара међународним стандардима научноистраживачког рада. Уз то, све примењене методе су у сагласности са постављеним циљевима дисертације.

#### 3.4. Применљивост остварених резултата

Главни научни допринос дисертације је нова метода (процедура у оквиру периодичне верификације квалитета нисконапонских електричних инсталација) за откривање лоших електричних контаката у нисконапонским електричним инсталацијама, која је заснована на мерењима отпорности петље квара ( $R_{SL-PE}$ ) и петље кратког споја ( $R_{SL-N}$ ) и њиховог поређења са граничном отпорношћу  $R_{lim}$ , која је у дисертацији дефинисана као отпорност за  $0,5 \Omega$  већа од највеће измерене отпорности  $R_{SL-PE}$  ( $R_{SL-N}$ ) на околним утичницама. Додатно мерење отпорности петље кратког споја ( $R_{SL-N}$ ), предложено у дисертацији, продужило би време

испитивања једне шуко-утичнице конвенционалним инструментом за само пет секунди, због чега се може закључити да примена нове методе није захтевна у погледу дужине трајања испитивања.

Напоменимо да нова процедура за детекцију лоших електричних контаката у нисконапонским електричним инсталацијама важи за оба типа утичница (монофазне и трофазне).

Предложена метода за откривање лошег електричног контакта успешно је примењена приликом вршења верификације квалитета нисконапонских електричних инсталација у стамбеним јединицама различите старости (10–60 година). Њеном применом су у неколико струјних кола детектовани лоши електрични контакти, који не би били откривени процедуром дефинисаном важећим стандардима, а представљају потенцијалан узрок настанка пожара.

На крају истраживања су представљени резултати експерименталног испитивања функционалности *AFDD* компоненте, која треба да препозна јединствене карактеристике редног електричног лука насталог услед квара или неке нерегуларне ситуације и да после тога струјно коло у коме се он појавио искључи са мрежног напајања. Испитивања су показала да није било лажног реаговања *AFDD* компоненте, као и да је до њеног реаговања увек долазило када је у струјном колу био успостављен редни електрични лук (стабилан или нестабилан) настао услед квара или неке нерегуларне ситуације. Тиме су практично потврђене карактеристике *AFDD* компоненте декларисане од стране произвођача. Због тога је дата препорука да компоненте сличне *AFDD*-у треба инсталирати како у стамбеним тако и у јавним објектима у којима се окупља већи број људи, са циљем умањивања ризика од настанка пожара у објекту. Такви објекти су, на пример, обданишта, школе, факултети, болнице, спортске хале, тржни центри, биоскопи, позоришта итд. Такође их треба инсталирати на свим местима на којима има лако запаљивог или скупоценог материјала (разна складишта и радионице, музеји, библиотеке итд.).

Нова метода ће се у будућности примењивати у свим периодичним верификацијама квалитета нисконапонских електричних инсталација које буде вршила Лабораторија за испитивање нисконапонских електричних и громобранских заштитних инсталација Електротехничког факултета у Београду. Очекује се да ће се временом, кроз израђене стручне налазе о верификацији квалитета нисконапонских електричних инсталација, прикупити довољно резултата мерења који ће се употребити за успостављање везе између старости грађевинских објеката (тачније, старости њихових електричних инсталација) и вероватноће настанка опасне „вреле“ тачке на лошем електричном контакту у струјним колима и монофазних и трофазних пријемника.

Лабораторија за испитивање нисконапонских електричних и громобранских заштитних инсталација радиће на промоцији нове методе за рано откривање лоших електричних контаката. Нова метода ће бити представљена на стручним саветовањима и семинарима чија је тема превентивна заштита од пожара, како у Србији тако и у иностранству. Такође, фирмама које врше верификацију квалитета нисконапонских електричних инсталација, кроз кратко упутство и примере, биће представљена практична примена нове методе за детекцију лоших електричних контаката. Претпоставља се да ће због једноставности примене и веома малог продужења времена испитивања у односу на стандардну процедуру са конвенционалним мерним инструментом (мерење је по утичници дуже за око пет секунди) нова метода ускоро почети широко да се примењује.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самосталан научни рад

Кандидат је досадашњим радом, кроз три публикације у часописима са *JCR* листе и великим бројем радова које је објавио у домаћим часописима и представио на међународним и домаћим конференцијама, учешћем на пројектима, као и кроз активности на припреми и изради докторске дисертације, стекао самосталност у научноистраживачком раду. Резултати



презентовани у дисертацији показују истраживачку зрелост кандидата и способност за свеобухватну и критичку анализу научне литературе на основу којих кандидат развија и предлаже иновативна и оригинална решења која доводе до бољих резултата у односу на до сада публикована решења.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Основни научни доприноси остварени у оквиру дисертације су:

1. За разне комбинације електричних контаката у нисконапонским електричним инсталацијама (бакар – бакар, бакар – месинг и бакар – нерђајући челик) утврђена је критична комбинација материјала на лошем контакту насталом услед непотпуног налегања бакарног проводника и контактне површине електроинсталационог елемента (критична је комбинација бакар – нерђајући челик која при истим условима (једнаком струјном оптерећењу, истом пресеку проводника и истом степену погоршања контакта) прва достиже максималну трајно дозвољену температуру PVC изолације и има највећу дисипацију снаге пре појаве редног електричног лука).
2. Утврђен је утицај редукције момента затезања завртња у електроинсталационој компоненти на настајање „вреле“ тачке у шуко-утикачу и шуко-утичници. Показано је да су неповољнији лоши електрични контакти настали у уграђеној инсталацији објекта (где је уобичајен бакарни проводник пуног пресека) у односу на лоше електричне контакте настале у напојним кабловима пријемника (где је уобичајен лицнасти бакарни проводник).
3. Коришћењем хемикалија (царске воде и концентроване сумпорне киселине) симулиран је ефекат дуготрајног излагања електричних контаката електроинсталационих компоненти киселој атмосфери. Закључено је да се нови, али намерно кородирани, прикључци изведени завртњем на утичницама могу користити за симулацију како пораста температуре тако и електричне отпорности дуго коришћених (старих) утичница.
4. Дата је препорука да компоненте сличне *AFDD*-у треба инсталирати и у стамбеним и у јавним објектима у којима се окупља већи број људи. Такви објекти су, на пример, обданишта, школе, факултети, болнице, спортске хале, робне куће, биоскопи, позоришта итд.
5. Развијена је метода за откривање лоших електричних контаката која се заснива на успостављању корелације између измерених вредности отпорности петље квара и петље кратког споја и степена погоршања контакта.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Након завршене анализе резултата експеримената спроведених у лабораторији, приступило се анализи резултата мерења остварених на терену како би се развила метода за откривање лоших електричних контаката. Она се заснива на успостављању корелације између измерених вредности електричне отпорности петље квара и петље кратког споја и степена погоршања контакта, односно повећања његове електричне отпорности. Закључено је да се додатним мерењем отпорности петље кратког споја ( $R_{SL-N}$ ), уз стандардно мерење отпорности петље квара ( $R_{SL-PE}$ ), може дефинисати процедура за рано откривање лошег електричног контакта. Корелација између резултата мерења добијених у лабораторији и на терену показала је да се може утврдити гранична отпорност ( $R_{lim}$ ) при којој у струјном колу вероватно постоји лош електрични контакт.

Примена нове процедуре је ограничена на *TN* систем заштите, који је најчешће примењен систем заштите од електричног удара у случају квара. Простор за даље истраживање може да буде рад на усавршавању нове методе како би она могла успешно да се примењује и у *TT* систему заштите, који је више заступљен у руралним подручјима, где се за напајање најчешће користи ваздушна дистрибутивна мрежа.

Такође, треба нагласити да се неки лоши контакти не могу открити применом нове методе. На пример, не могу да се детектују лоши контакти у новим нисконапонским електричним инсталацијама. Разлог томе је чињеница, експериментално утврђена у оквиру дисертације, да деградација контакта на новој електричној инсталацији постоји и када је његова отпорност само  $80 \text{ m}\Omega$ , а тако мале промене отпорности у струјном колу не могу се детектовати мерењем. Због тога, применом нове методе у случају испитивања нових електричних инсталација одговорно лице које врши почетну верификацију нисконапонских електричних инсталација може извести погрешан закључак (мерењем малих отпорности  $R_{SL-PE}$  и  $R_{SL-N}$ ) да је инсталација исправна, иако у њој постоји олабављена веза (најчешће је то лош електрични контакт настао услед непрофесионалног рада електричара).

Треба нагласити да ни на старим (коришћеним) електричним инсталацијама применом нове процедуре не могу да се открију лоши електрични контакти у струјним колима неких фиксних пријемника (као што су нпр. светиљке), јер се код њих, по правилу, не примењује редовна процедура мерења отпорности петље квара  $R_{SL-PE}$  (не постоји опасност од електричног удара, јер је светиљка ван домаћаја руке, а у појединим струјним колима осветљења није ни изведен заштитни проводник).

#### 4.3. Верификација научних доприноса

У току истраживачког рада у ужој научној области теме докторске дисертације кандидат мр Нецад Хациефендић објавио је следеће радове:

##### Категорија M20:

1. Hadziefendic N., Davidovic M., Djordjevic V., Kostic M.: *The Impact of an Incomplete Overlap of a Copper Conductor and the Corresponding Terminal on the Contact Temperature*, IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Vol. 7, Issue 10, 2017, pp. 1644-1654, DOI: 10.1109/TCPMT.2017.2720421 (M22) (IF 1.581) ISSN 2156-3950.
2. Hadziefendic N., Trifunovic J., Kostic M.: *Effects of a Reduced Torque on Heating of Electrical Contacts in Plugs and Receptacles*, IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Vol. 8, Issue 11, 2018, pp. 1905-1913, DOI: 10.1109/TCPMT.2018.2827080 (M22) (IF 1.749) ISSN 2156-3950.
3. Hadziefendic N., Kostic N., Trifunovic J., Kostic M.: *Detection of Poor Contacts in Low-Voltage Electrical Installations*, IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Vol. 9, Issue 1, 2019, pp. 129-137, DOI: 10.1109/TCPMT.2018.2882626 (M22) (IF 1.749) ISSN 2156-3950.

##### Категорија M50:

1. Хациефендић Н., Трифуновић Ј., Костић Н., Костић М.: *Анализа утицаја лоших контаката у електричним инсталацијама на изазивање пожара*, Техника, Вол. 68, бр. 1, 2013, стр. 81-87 (M52), ISSN 0040-2176.

2. Костић Н., Вуковић М., Хаџиефендић Н.: *Методологија за превентивне периодичне прегледе нисконапонских електричних инсталација у зградама*, Техника, Вол. 68, бр. 2, 2013, стр. 285-292 (M52), ISSN 0040-2176.
3. Зарев И., Хаџиефендић Н.: *Откривање редног електричног лука у нисконапонским електричним инсталацијама употребом савремених заштитних компоненти*, Техника, Вол. 69, бр. 4, 2014, стр. 637-644 (M51), ISSN 0040-2176.

#### Категорија М60:

1. Костић М., Хаџиефендић Н., Трифуновић Ј.: *Термовизијска детекција и AFCI уређаји*, Зборник радова II саветовања у области заштите од пожара, Београд 2013, стр. 25-42 (M61), ISBN 978-86-909119-9-8.
2. Хаџиефендић Н., Таталовић А., Давидовић М., Вукајловић В., Трифуновић Ј.: *Могућност унапређења заштите објекта од пожара инсталирањем компоненти за детекцију редног електричног лука*, Зборник радова III саветовања у области заштите од пожара, Београд 2013, стр. 45-66 (M61), ISBN 978-86-89747-00-3.
3. Хаџиефендић Н., Костић Н., Давидовић М., Таталовић А., Зарев И.: *Унапређена методологија за верификацију квалитета нисконапонских електричних инсталација*, Пето стручно саветовање у области заштите од пожара, Београд 2015 (M61), ISBN 978-86-89747-02-7.
4. Хаџиефендић Н., Костић Н., Давидовић М.: *Кварови у нисконапонским електричним инсталацијама и њихова детекција употребом савремених заштитних компоненти*, Друга регионална међународна конференција Примењена заштита и њени трендови, Златибор 2015, стр. 205-215 (M63), ISBN 978-86-80048-03-1 .
5. Хаџиефендић Н., Костић Н., Давидовић М.: *Практична искуства настала верификацијом квалитета нисконапонских електричних инсталација са посебним освртом на заштиту од пожара и електричног удара*, Трећа регионална конференција Примењена заштита и њени трендови, Златибор 2016, стр. 155-169 (M63), ISBN 978-86-80048-05-5.
6. Хаџиефендић Н., Давидовић М., Костић Н., Зарев И.: *Пожари на електричним инсталацијама изазвани лошим електричним контактом на прикључцима електроинсталационих компоненти*, Четврта регионална конференција Примењена заштита и њени трендови, Златибор 2017, стр. 178-188 (M63), ISBN 978-86-80048-09-3.
7. Ђенић Н., Зарев И., Костић Н., Хаџиефендић Н., Трифуновић Ј., Живановић Ј.: *Значај могућности раног откривања лоших електричних контаката као могућег узрочника пожара термовизијским прегледом*, Шесто саветовање Управљање ризицима, Пожаревац 2018, стр. 65-80 (M63) ISSN 0354-835X.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу чињеница изложених у овом реферату, Комисија је закључила да докторска дисертација кандидата **мр Неџада Хаџиефендића** под називом „Утицај лоших електричних контаката на настанак почетног пожара и метода за њихово откривање у нисконапонским електричним инсталацијама” испуњава све суштинске и формалне услове предвиђене Законом о високом образовању, као и Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Докторска дисертација представља научни допринос у области нисконапонских електричних инсталација. У оквиру ње је детаљно приказан оригиналан приступ на основу кога је развијена метода за откривање лоших електричних контаката у нисконапонским електричним инсталацијама. Кроз дисертацију су приказане изузетне вештине кандидата у коришћењу савремених истраживачких метода уз поштовање свих етичких норми.

Комисија посебно истиче да ће метода развијена у докторској дисертацији поред научних доприноса имати и практичну примену у области заштите од пожара које узрокују неисправне електричне инсталације.

У складу са напред наведеним, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Утицај лоших електричних контаката на настанак почетног пожара и метода за њихово откривање у нисконапонским електричним инсталацијама“ кандидата **мр Неџада Хаџиефендића** изложи на увид јавности, прихвати и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду,  
24. 4. 2019. год.

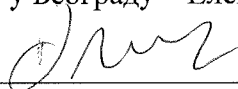
### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



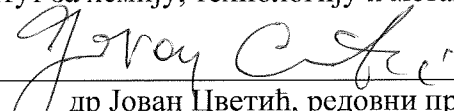
др Миомир Костић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Зоран Радаковић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Драгана Ђорђевић, научни саветник  
Институт за хемију, технологију и металургију



др Јован Цветић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Јован Трифуновић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет