Побољшање стандардизоване процедуре за верификацију квалитета нисконапонских електричних инсталација

НЕЏАД А. ХАЏИЕФЕНДИЋ, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, Београд
ЈОВАН В. ТРИФУНОВИЋ, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, Београд
НЕМАЊА М. КОСТИЋ, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, Београд

Прегледни рад
UDC: 621.315(497.11)
621.316.93
DOI: 10.5937/tehnika2202215H

Периодична верификација квалитета нисконапонских електричних инсталација је веома важна са становишта безбедности људи у објекту од електричног удара и почетног пожара који је узрокован кваровима на нисконапонским електричним инсталацијама (најчешће лош електрични контакт). Стандардизована процедура за верификацију квалитета електричних инсталација електричним мерењима подразумева проверу којом се са сигурношћу може констатовати само да ли је систем заштите аутоматским искључењем напајања у случају квара ефикасан или не. Међутим, том провером се могу детектовати само неки лоши електрични контакти у струјном колу који су потенцијални узрочници пожара. У раду је дат преглед публикованих резултата истраживања која су извршена у оквиру реализације пројекта Министарства просвете (евиденциони број пројекта 36018) на основу којих је предложена корекција постојеће процедуре периодичне верификације квалитета електричних инсталација. Предложена корекција, која је развијена на основу искустава добијених вршењем периодичне верификације квалитета електричних инсталација на терену, као и анализе резултата мерења добијених експерименталним путем у лабораторијским условима, омогућава да се лоши електрични контакти на време детектују.

Кључне речи: *нисконапонске електричне инсталације, периодична верификација, лош електрични контакт, пожар, отпорност петље квара*

1. УВОД

Верификација квалитета нисконапонских електричних инсталација се у Републици Србији спроводи применом важећих стандарда и правилника [1, 2]. Стандардна процедура омогућава да се открију само неке нерегуларне ситуације - кварови.

Периодична провера квалитета нисконапонских електричних инсталација коју спроводимо помоћу тестера инсталација подразумева [2]:

- испитивање да ли је заштитни проводник (про водник за изједначење потенцијала) непрекинут,
- испитивање да ли је дошло до смањења вредности отпорности изолације проводника,
- испитивање спроведене заштитне мере галванског одвајања, и
- испитивање функционалности (ефикасности) система за аутоматско искључење у случају квара на електричној инсталацији.

Основни циљ периодичне верификације квалитета нисконапонских електричних инсталација:

- заштита корисника објекта од електричног удара и других повреда,
- заштита објекта од пожара које изазивају кварови у инсталацијама на којима се ослобађа топлота,
- провера да ли је дошло до пада квалитета и нефункционалности електричне инсталације која у будућности може да умањи безбедност људи у објекту, и

Адреса аутора: Неџад Хаџиефендић, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, Београд, Булевар краља Александра 73
e-mail: nedzad@etf.rs
Рад примљен: 07.03.2022.
Рад прихваћен: 19.04.2022.

- откривање кварова коју су настали после почетне верификације.

У раду, који представља преглед објављених научно – истраживачких резултата истраживања која су извршена у оквиру реализације пројекта Министарства просвете (евиденциони број пројекта 36018), анализирани су недостаци постојећих процедура које се односе на проверу непрекидности заштитног проводника, као и на проверу функционалности система заштите од струјног удара искључењем напајања када се деси квар. При томе су коришћени подаци добијени провером и испитивањем енергетских инсталација на терену (анализирани су извештаји који су израђени од стране истраживача запослених у Лабораторији на Катедри за енергетске претвараче и погоне, у периоду 2010–2013) [3–12], као и резултати мерења добијени експерименталним путем када је намерно изазван лош електрични контакт [13–21]. Све анализе су ограничене на TN систем заштите од струјног удара (нуловање), који је већином примењен систем заштите од струјног удара у урбаним срединама. Познато је да се помоћу тестера инсталација мерењем отпорности петље квара RsL-PE врши провера ефикасности система заштите од струјног удара, при чему се аутоматски врши и провера непрекидности заштитног проводника који је увек саставни део укупне отпорности петље квара. Проблеми који се појављују у пракси су да заштитни проводник уопште није изведен или да је он изведен али да је током експлоатације дошло до његовог прекида или лабаве везе, а оно што се најчешће дешава, а што може остати непримећено, је значајно повећања отпорности петље квара услед појаве једног или више лоших електричних контаката у струјном колу. У раду је дат предлог корекције постојеће процедуре периодичне верификације квалитета електричних инсталација, која омогућава да се највећи број лоших електричних контаката на време детектује.

2. ЛОШИ ЕЛЕКТРИЧНИ КОНТАКТИ

Лоши електрични контакти су најчешћи узрок прегревања електроинсталационих компоненти [13, 14, 16, 18, 22]. Уколико се лош електрични контакт на време не уочи он лако може да постане прогресивно тежи квар – редни електрични лук. Проблем представља и чињеница да ове кварове не могу да детектују класичне заштитне компоненте (осигурачи са топљивим умецима, ФИД склопке, аутоматски прекидачи...) [16, 20]. Једна од дефиниција лошег електричног контакта може да гласи: то је електрични контакт код кога је повећана контактна отпорност из неког од разлога - смањење момента затезања шрафа на електроинсталационој компоненти, смањена додирна површина металних контактних површина, стварање слоја бакарних оксида на контактним површинама услед атмосферског утицаја и стварање нагомилане нечистоће на месту оствареног електричног контакта [13, 18, 20].

Када се иницијално појави лош електрични контакт чија контактна отпорност временом расте, он веома често пређе у тежи квар – редни електрични лук. Услед Џуловог ефекта на електричном контакту долази до ослобађања топлоте, она поспешује даљу оксидацију контактних површина, а неретко се дешава да долази и до микропомерања делова контакта [13, 20, 21, 22].

Управо због тога долази до пораста температуре на електричном контакту. Температура непрекидно расте све док се не успостави термодинамичка равнотежа која означава стање у коме су се изједначиле снага топлоте која је произведена на електричном контакту и снага одвођења топлоте са лошег електричног контакта на околну средину – претежно струјањем и провођењем [13, 18, 21].

Када се у струјном колу појави лош електрични контакт након извесног времена (дан, месец, година), а у зависности од вредности струје, пораста температуре и врсте материјала који учествују у лошем електричном контакту, формира се проводни и непроводни део моста. Проводни део моста је састављен од атома бакра и слоја Cu_2O, док је део моста који слабије проводи струју формиран од једињења CuO. Пошто је проводни део моста смањеног попречног пресека у њему ће услед Џуловог ефекта доћи до значајног повећања температуре које ће изазвати топљење слоја Cu_2O (температуре око 1230°C), када највероватније може доћи до прекида проводног канала и настанка редног електричног лука [23–26].

На слици 1 приказани су примери оштећења електричних компоненти (утикача, редне клеме, аутоматског прекидача, продужног кабла и шукоутичнице), која су изазвана појавом лошег електричног контакта. Иако су класичне заштитне компоненте неосетљиве на појаву лошег електричног контакта, у случају приказаних примера није дошло до пожара, зато што су корисници тих објеката срећом благовремено детектовали проблеме чулом мириса, вида или слуха (ослобађали су се гасови из нагорелих PVC делова електроинсталационих компоненти који имају карактеристичан мирис, на месту лошег електричног контакта појављује се видљиви дим услед сагоревања PVC делова или ако лош електрични контакт почне да „искри“ чује се карактеристичан звук варничења).

Слика 1 – Случајеви настанка оштећења електричних компоненти због појаве лошег електричног контакта [20, 21, 27]

Када дође до појаве лошег електричног контакта у електричној инсталацији до пожара долази под одређеним условима:

- да би се упалила материја као што је тканина, прекривачи, ћебад итд, а налазе се у директном додиру са местом где је настао лош електрични контакт минимална снага дисипације мора бити 28 W,
- да би се упалила пластична кућишта електричних компоненти која су у директном додиру са лошим електричним контактом потребна је минимална снага дисипације 30 W, и
- да би се упалили дрвени конструктивни елементи (или предмети од дрвета) потребна је минимална снага дисипације у оспегу 35-50 W. [21, 22]

3. ПРОБЛЕМ ДЕТЕКЦИЈЕ ЛОШЕГ ЕЛЕКТРИЧНОГ КОНТАКТА

У циљу побољшања стандардима и правилницима прописане процедуре која се спроводи електричним мерењима у оквиру периодичне верификације квалитета нисконапонских електричних инсталација [1, 2] урађена је експертиза резултата мерења остварених на терену [3–12]. Како би спречили настанак пожара, услед појаве слабих електричних контаката у енергетским инсталацијама, постављен је циљ да се изврши корекција постојеће стандардне процедуре за верификацију квалитета електричних инсталација, а која ће се утврдити проналажењем везе између измерених вредности импедансе (отпорности) петље квара и кратког споја, а све у функцији повећања вредности контактне отпорности [21]. Постојећим процедурама и проверама (најпознатија је провера лоших електричних контаката помоћу термовизијске камере) само у неким случајевима се открију слаби контакти у струјним круговима, а неки слаби контакти остају недетектовани [19, 23, 28–30]. У наставку су објашњени основни недостаци постојеће процедуре.

Највеће вредности отпорности петље квара (R_{sMAX}) које омогућавају исправан рад стандардних електричних компоненти (брзих и спорих топљивих уметака) и аутоматских прекидача (врсте *B* и *C*), са номиналним струјама (I_r) у опсегу 6–25 A, у случају примене нуловања као система заштите, дате су у табелама 1 и 2, респективно [21, 31, 32]. За сваку од наведених компоненти (топљиви умеци), са њихових карактеристика реаговања очитане су минималне струје I_a [33] које обезбеђују њихову реакцију у оквиру 0.4 s (захтев преузет из стандарда [34]). У случају аутоматских прекидача, најмања струја реаговања I_a за коју аутоматски прекидачи одреагују у оквиру 0.1 s износи 5 I_r и 10 I_r, редом за врсте *B* и *C* [35]. За сваки од ових случајева, вредност највеће вредности отпорности петље квара се добије дељењем ефективне вредности номиналног фазног напона (230 V) са минималном струјом реаговања I_a.

Табела 1. Подаци: I_a и R_{sMAX} за топљиве уметке осигурача (I_r = 6–25 A) [21, 31, 32]

I_r (A)	I_a (A)		R_{sMAX} (Ω)	
	брзи	спори	брзи	спори
6	16.71	29.65	13.76	7.75
10	34.08	55.65	6.74	4.13
16	51.07	86.86	4.50	2.64
20	67.62	110.01	3.40	2.09
25	94.69	138.13	2.42	1.66

Табела 2. Подаци: I_a и R_{sMAX} за аутоматске прекидаче врсте B и C (I_r = 6–25 A) [21, 31, 32]

I_r (A)	I_a (A)		R_{sMAX} (Ω)	
	Врста B	Врста C	Врста B	Врста C
6	30	60	7.67	3.83
8	40	80	5.75	2.87
10	50	100	4.60	2.30
13	65	130	3.53	1.76
16	80	160	2.87	1.43
20	100	200	2.30	1.15
25	125	250	1.84	0.92

Прегледом табеле 1 и 2 може лако да се установи да су вредности R_{sMAX} у пракси значајно веће од измерених вредности отпорности петље квара, односно да није проблем испунити услов за ефикасно реаговање заштитних компоненти када дође до квара како би се спречила појава струјног удара. Управо због тога, неретко се дешава да верификатор електричних инсталација спроводи редовну процедуру испитивања електричних

инсталација и констатује да је овај услов задовољен, а да у струјном колу егзистира лош електрични контакт који је потенцијални узрок пожара [21]. Претходно речено се потврђује када анализирамо најчешће примере струјних кругова која се штите брзим или спорим топљивим умецима номиналне струје 10 A или 16 A, као и аутоматским прекидачима врсте *B* или *C* истих номиналних струја, када су вредности R_{sMAX} велике. Према тебели 1 оне имају вредност 6.74 Ω и 4.50 Ω (за брзе топљиве уметке), 4.13 Ω и 2.64 Ω (за споре топљиве уметке), а према табели 2 оне имају вредност 4.60 Ω и 2.30 Ω (за аутоматске прекидаче врсте *B*), и 2.87 Ω и 1.43 Ω (за разматране аутоматске прекидаче врсте *C*) [21, 31]. Према резултатима експеримената извршених у лабораторијским условима [21, 31], на намерно олабављеним контактима на шуко-утичницама тестером инсталација су измерене отпорности петље квара у распону 0.59–2.35 Ω, када су на лошем контакту регистроване високе температуре преко 700°C. Као што можемо да се уверимо, ове вредности су мање од највећег броја вредности R_{sMAX} које одговарају заштитним уређајима (аутоматским прекидачима и топљивим умецима) номиналне струје 10 A или 16 A [21, 31]. Дакле, стандардном процедуром оваква струјна кола са опасним „врелим“ тачкама која могу да изазову пожар била би проглашена исправним јер задовољавају услов којим се проверава функционалност система аутоматског реаговања заштитне компоненте у случају квара ($R_{sL-PE}<R_{sMAX}$)! Анализирано струјно коло је безбедно са становишта заштите од електричног удара, али сигурно није безбедно са становишта могућности и потенцијала да изазове пожар на лошем електричном контакту [21].

Још један велики недостатака постојеће процедуре верификације квалитета нисконапонских електричних инсталација је непостојање процедуре за проверу заштите од пожара ако се лош електрични контакт појавио на неутралном проводнику (по важећој процедури не захтева се провера отпорности кратког споја R_{sL-N}, којом он може да се детектује) [21].

4. ПОБОЉШАЊЕ ПРОЦЕДУРЕ ЗА ДЕТЕКЦИЈУ ЛОШЕГ ЕЛЕКТРИЧНОГ КОНТАКТА

Урађена је експертиза стручних налаза о периодичном испитивању енергетских инсталација које су израдили верификатори (са лиценцом Инжењерске коморе РС) запослени у Лабораторији Катедре за енергетске претвараче и погоне у привредним објектима корисне површине око 150.000 m^2, када је мерење импедансе петље квара извршено на 11.243 шуко-прикључнице [3–12].

Приликом мерења отпорности петље квара R_{sL-PE} на 82 утичнице је измерена вредност већа од R_{sMAX}. Ова струјна кола су редовном процедуром означена као неисправна, јер постоји опасност да у случају квара дође до струјног удара. Измерене отпорности петље квара налазиле су се у опсегу 1.79–7.68 Ω, на основу чега закључујемо да у анализираним струјним круговима егзистира један или више лоших електричних контаката, па постоји опасност од пожара и/или електричног удара [21, 31, 32].

Међутим, детектовани су струјни кругови у којима је вредност R_{sL-PE} била нижа од максимално дозвољене вредности, али су се за најмање 0.5 Ω разликовале од вредности R_{sL-PE} измерене на суседним утичницама. Забележено је укупно 84 оваква случаја када је измерена вредност отпорности петље квара била у опсегу 1.3–4.38 Ω [21, 31, 32]. У свим овим случајевима имали смо задовољен критеријум ефикасног и поузданог рада заштитних компоненти као меру спречавања настанка електричног удара, али је ипак прописана мера провере електричних инсталација и елиминисања потенцијално опасних електричних контаката. Резултати мерења добијени са терена су у корелацији са извршеним експериментима спроведеним у лабораторијским условима [21, 31, 32]. Дакле, у лабораторијским условима је показано да се на лошем електричном контакту коме је електрична отпорност контакта повећана за око 0.5 Ω може појавити „врела“ тачка потенцијални узрочник пожара, чак и при струјама (оптерећењима) које су значајно мање од називних ако су довољно дуго успостављене у струјном колу када се кумулативним ефектом повећава слој оксида на контакту (контактна отпорност постаје временом све већа).

После експертизе резултата мерења извршених на терену, као и анализом експеримената спроведеним у лабораторијским условима, тешко је могла да се утврди јединствена максимална вредност прихватљиве отпорности петље квара (R_{lim}) [21, 31]. Као пример узмимо зграду где су измерене вредности R_{sL-PE} на утичницама биле у распону 0.37–0.46 Ω, осим једне чија је вредност износила 0.89 Ω (накнадно је установљено да она има лош електрични контакт). Међутим, све измерене отпорности R_{sL-PE} на утичницама у поткровљу биле су веће од 0.89 Ω (биле су у распону 0.97–1.16 Ω), а све су биле без лошег контакта. Као инжењерски најприхватљивије решење за примену у пракси утврђена је гранична вредност R_{sL-PE} која указује да постоји слаб електрични контакт у струјном колу (R_{lim}), а то је она која за бар 0,5 Ω има већу вредност од највеће R_{sL-PE} вредности измерене на суседним прикључницама [21, 31, 32].

Извршени експерименти [21, 31, 32] су потврдили да се слаб електрични контакт може бити и на нултом проводнику. Постојећом процедуром не може да се открије лош електрични контакт на неутралном проводнику. Када се мерењем на утичницама добију вредности R_{sL-PE} и/или R_{sL-N} већа од R_{lim} тада можемо да претпоставимо да у струјном колу егзистира најмање један слаб контакт на фазном, нултом и/или заштитном проводнику [21, 31, 32].

Закључујемо да приликом вршења периодичне верификације квалитета нисконапонских електричних инсталација, поред мерења отпорност петље квара R_{sL-PE} треба вршити и мерење отпорност петље кратког споја R_{sL-N}. Дужина трајања испитивања једног струјног кола неће се значајно продужити када се мерење врши стандардним мерним инструментом – тестером електричних инсталација. Максимално продужење времена мерења по једној шуко утичници је око пет секунди [21, 28, 29]. На основу измерених вредности (R_{sL-PE} и R_{sL-N}) једноставном анализом сваки верификатор (стручно лице) електричних инсталација једноставно може да утврди да ли у струјним колима постоје или не постоје лоши електрични контакти. У табели 3 је приказана процедура коју треба примењивати за детекцију лоших електричних контаката како у будућности они не би постали узрок пожара. Ова процедура ће се примењивати само у случајевима када је измерена вредност R_{sL-PE} мања од R_{sMAX}, јер би у супротном случају испитивано струјно коло редовним поступком било детектовано као струјно коло које може да изазове електрични удар или изазове пожар на лошем електричном контакту [21, 31, 32].

Анализа струјних кола која подразумева да се поред отпорности R_{sL-PE} мери и отпорност R_{sL-N}, може се сматрати новом процедуром за откривање лоших електричних контаката. Нова процедура се подједнако може примењивати и на монофазне и на трофазне утичнице. Анализа која је дата у табели 3 у потпуности важи и за трофазна струјна кола уз напомену да се за сваки фазни проводник мора извршити посебна провера отпорности R_{sL-PE} и R_{sL-N} [21, 31].

Ова мерења би се спроводила у оквиру постојеће процедуре која се односи на електрична мерења приликом вршења периодичне верификације квалитета нисконапонских електричних инсталација. Када је измерена вредност R_{sL-PE} већа од R_{sMAX}, после отлањања уоченог недостатка од стране електричара, обавезно се мора поновити испитивање по новој предложеној процедури (датој у табели 3).

Нова процедура која омогућава да детектујемо лоше електричне контакте је примењена 2019. године у неколико стамбених јединица које су биле изграђене у периоду 1960-2010. године [21, 32]. Приликом вршења верификације у два стана су детектоване повећане вредности контактне отпорности на трофазним шуко – утичницама које су електричном енергијом напајале електричне шпорете ($R_{sL-PE}<R_{sMAX}$, $R_{sL-PE}>R_{lim}$).

Након интервенције електричара када су замењене старе трофазне шуко – утичнице новим, после поновљеног испитивања измерене вредности R_{sL-PE} имале су сличне вредности измерене на суседним прикључницама. У још две стамбене јединице применом нове процедуре такође су детектоване две монофазне шуко-утичнице, које су имале лош електрични контакт на прикључку заштитног проводника ($R_{sL-PE} <R_{sMAX}$, али је у том случају важило $R_{sL-PE} >>R_{lim}$, што је упућивало на то да постоји лош контакт).

Табела 3. Преглед могућих случајева када у струјном колу може да егзистира лош електрични контакт који се не може детектовати стандардном процедуром периодичне верификације квалитета електричних инсталација [21, 31, 32]

	$R_{sL-PE}<R_{lim}$	$R_{sL-PE}>R_{lim}$	$R_{sL-PE}<R_{lim}$	$R_{sL-PE}>R_{lim}$
	$R_{sL-N}<R_{lim}$	$R_{sL-N}<R_{lim}$	$R_{sL-N}>R_{lim}$	$R_{sL-N}>R_{lim}$
Локација лошег електричног контакта	Струјно коло вероватно нема лош електрични контакт	Лош електрични контакт на заштитном проводнику	Лош електрични контакт на неутралном проводнику	- Могућ проблем на фазном проводнику или - Могућ проблем на два проводника (могуће су све три варијанте), или - Слаби електрични контакти на сва три проводника
Опасност од пожара (последице кварова)	Вероватно не постоји	Не постоји (у случају квара заштитна компонента реагује на време)	Могућа, због „вреле“ тачке на неутралном проводнику	Могућа, због „вреле“ тачке на фазном и/или неутралном проводнику (у случају квара заштитна компонента ће одреаговати на време)

На крају треба констатовати да се поједини слаби електрични контакти неће уочити процедуром коју предлажемо. Као пример, наведимо да у случају нове електричне инсталације, када су контактне отпорности на лошем електричном контакту веома мале (износе пар десетина mΩ), мерењем класичним тестером инсталација не можемо детектовати мале промене контактне отпорности тј. лош контакт [21].

Треба посебно истаћи да ни у старим електричним инсталацијама новом процедуром не можемо да откријемо лоше електричне контакте на фиксним пријемницима електричне енергије (нпр. светиљка, бојлер, електрични котао...), јер у њиховим струјним колима ни приликом редовне верификације у пракси не вршимо мерење вредности отпорности петље квара $R_{sL\text{-}PE}$ [21].

5. ЗАКЉУЧАК

Важећом процедуром у складу са важећим стандардима и правилником приликом прегледа и испитивања електричних инсталација води се рачуна превасходно о функционалности система заштите од струјног удара када настане квар.

Међутим, струјна кола са лошим електричним контактом могу да остану неоткривена. Анализом експеримената спроведених у лабораторији и резултата мерења из испитивања у објектима развијена је метода за откривање слабих електричних контаката.

Нова метода (процедура) за детекцију слабог електричног контакта је утемељена на оствареној вези између измерених импеданси $R_{sL\text{-}PE}$ и $R_{sL\text{-}N}$ са погоршањем (повећањем) отпорности електричног контакта.

На основу резултата мерења добијених на терену, као и експериментално добијених резултата лабораторијским испитивањима, дошло се до закључка да је поред отпорности петље квара неопходно вршити и мерење отпорности кратког споја.

Веза резултата мерења добијених експериментално у лабораторијским условима и експертизе резултата мерења обављених на терену је исказана инжењерском препоруком да се измерена отпорност за 0,5 Ω већа од највеће измерене отпорности $R_{sL\text{-}PE}$ ($R_{sL\text{-}N}$) на суседним прикључницама усваја као гранична отпорност (R_{lim}) која указује да слаб електрични контакт егзистира у испитиваном струјном кругу. Применом ове кориговане методе у оквиру важеће процедуре за верификацију квалитета нисконапонских електричних инсталација могу се предупредити многи пожари на електричним инсталацијама.

6. ЗАХВАЛНИЦА

У оквиру рада су изложени истраживачки резултати настали реализацијом пројекта МНТР (бр. ТР 36018).

ЛИТЕРАТУРА

[1] SRPS HD 60364-6, Електричне инсталације ниског напона, Део 6: Верификација, 2012.

[2] Правилник о техничким нормативима за електричне инсталације ниског напона *Службени лист СФРЈ*, бр. 53/88, 54/88, 28/95.

[3] Лабораторија за испитивање нисконапонских електричних и громобранских заштитних инсталација, *Стручни налаз периодичног прегледа нисконапонских електричних инсталација* (одговорно лице: Нецад Хаџиефендић), Наручилац: Клуб студената технике КСТ, ул. Булевар краља Александра 73, Београд, 2010.

[4] Лабораторија за испитивање нисконапонских електричних и громобранских заштитних инсталација, *Стручни налаз периодичног прегледа нисконапонских електричних инсталација* (одговорно лице: Нецад Хаџиефендић), Наручилац: ЕДБ Јавно осветљење, ул. Булевар краља Александра 73а, Београд, 2010.

[5] Лабораторија за испитивање нисконапонских електричних и громобранских заштитних инсталација, *Стручни налаз периодичног прегледа нисконапонских електричних инсталација* (одговорно лице: Нецад Хаџиефендић), Наручилац: Нови завод затвореног типа за смештај осуђених лица у Падинској Скели, Зрењанински пут бб, кп 1770/1 КО Ковилово, Општина Палилула, Београд, 2011.

[6] Лабораторија за испитивање нисконапонских електричних и громобранских заштитних инсталација, *Стручни налаз периодичног прегледа нисконапонских електричних инсталација* (одговорно лице: Нецад Хаџиефендић), Наручилац: Грађевински факултет Универзитета у Београду, ул. Булевар краља Александра 73, Београд, 2011.

[7] Лабораторија за испитивање нисконапонских електричних и громобранских заштитних инсталација, *Стручни налаз периодичног прегледа нисконапонских електричних инсталација* (одговорно лице: Нецад Хаџиефендић), Наручилац: Архитектонски факултет Универзитета у Београду, ул. Булевар краља Александра 73, Београд, 2011.

[8] Лабораторија за испитивање нисконапонских електричних и громобранских заштитних инста-

лација, *Стручни налаз периодичног прегледа нисконапонских електричних инсталација* (одговорно лице: Нецад Хаџиефендић), Наручилац: Електроисток изградња д.о.о., Хусинских рудара 19, Београд, 2011.

[9] Лабораторија за испитивање нисконапонских електричних и громобранских заштитних инсталација, *Стручни налаз периодичног прегледа нисконапонских електричних инсталација* (одговорно лице: Нецад Хаџиефендић), Наручилац: Електроисток изградња д.о.о., Булевар 12. фебруара 79, Ниш, 2011.

[10] Лабораторија за испитивање нисконапонских електричних и громобранских заштитних инсталација, *Стручни налаз периодичног прегледа нисконапонских електричних инсталација* (одговорно лице: Нецад Хаџиефендић), Наручилац: Факултет спорта и физичког васпитања, Благоја Паровића 156, Београд, 2012.

[11] Лабораторија за испитивање нисконапонских електричних и громобранских заштитних инсталација, *Стручни налаз периодичног прегледа нисконапонских електричних инсталација* (одговорно лице: Нецад Хаџиефендић), Наручилац: Електротехнички факултет Универзитета у Београду, Булевар краља Александра 73, Београд, 2012.

[12] Лабораторија за испитивање нисконапонских електричних и громобранских заштитних инсталација, *Стручни налаз периодичног прегледа нисконапонских електричних инсталација* (одговорно лице: Нецад Хаџиефендић), Наручилац: Кућа хране Лазаревић, Цвијићева 39, Земун, 2013.

[13] Хаџиефендић Н, Трифуновић Ј, Костић Н, Костић М, Анализа утицаја лоших контаката у електричним инсталацијама на изазивање пожара, *Техника*, Вол. 68, бр. 1, стр. 81–87, 2013.

[14] Костић Н, Вуковић М, Хаџиефендић Н, Методологија за превентивне периодичне прегледе нисконапонских електричних инсталација у зградама, *Техника*, Вол. 68, бр. 2, стр. 285–292, 2013.

[15] 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 стр. 35–52, 2015.

[16] Хаџиефендић Н, Костић Н, Давидовић М, Кварови у нисконапонским електричним инсталацијама и њихова детекција употребом савремених заштитних компоненти, *Друга регионална конференција Примењена заштита и њени трендови*, Златибор, стр. 205-215, 2015.

[17] 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 стр. 155–169, 2016.

[18] 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, стр. 178–188, 2017.

[19] 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, стр. 65–80, 2017.

[20] Хаџиефендић Н, Трифуновић Ј, Костић Н, Давидовић М, Костић М, *Метода за откривање лоших електричних контаката у нисконапонским електричним инсталацијама*, Шеста регионална конференција Примењена заштита и њени трендови, Златибор, стр. 30–44, 2017.

[21] Хаџиефендић Н, Утицај лоших електричних контаката на настанак почетног пожара и метода за њихово откривање у нисконапонским електричним инсталацијама, *Докторски рад*, Електротехнички факултет у Београду, 2019.

[22] Babrauskas V, How Do Electrical Wiring Faults Lead to Structure Ignitions?, *Proc. Fire and Materials 2001 Conf., Interscience Communications Ltd.*, London, 39–51, 2001.

[23] Костић М, Хаџиефендић Н, Трифуновић Ј, Термовизијска детекција лоших контаката и AFCI техника прекидања редног електричног лука, *Зборник радова II саветовања у области заштите од пожара*, Београд, сс. 25–42, 2013.

[24] Хаџиефендић Н, Штетни ефекти појаве редног електричног лука у нисконапонским електричним инсталацијама, *Магистарски рад*, Електротехнички факултет у Београду, 2002.

[25] Hadziefendic N, Kostic M, Radakovic Z, Detection of series arcing in low-voltage electrical installations, *European Transactions on Electrical Power* 19, 423–432, 2009.

[26]Shea J, Identifying causes for certain types of electrically initiated fires in residential circuits, *Fire and Materials* 35, 19–42, 2011.

[27]Зарев И, Хаџиефендић Н, Откривање редног електричног лука у нисконапонским електричним инсталацијама употребом савремених заштитних компоненти, *Техника*, Вол. 69, бр. 4, сс. 637–644, 2014.

[28]Ђенић Н, Зарев И, Костић Н, Хаџиефендић Н, Трифуновић Ј, Живановић Ј, Превентивни термовизијски преглед електричних контаката, *Заштита у пракси*, Вол. XXV, бр. 287, стр. 15–21 2018.

[29]N. Hadziefendic, J. Trifunovic, I. Zarev, N. Kostic, M. Davidovic, The importance of preventive thermographic inspections within periodic verifications of the quality of low-voltage electrical installations, *XVII International Scientific Congress Machines. Technologies. Materials.* 2020. (Winter Session), Proceedings Volume I, pp. 64 - 68, Scientific Technical Union of Mechanical Engineering Industry-4.0, Borovets, Bulgaria, Mar, 2020.

[30]Н. Костић, N. Hadžiefendić, Д. Тасић, М. Костић, Improved measurement accuracy of industrial-commercial thermal imagers when inspecting low-voltage electrical installations, *MEASUREMENT*, Vol. 185, pp. - - -, Nov, 2021.

[31]N. Hadziefendic, N. Kostic, J. Trifunovic, M. Kostic, Detection of poor contacts in low-voltage electrical installations, *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology* 9 (2019) 129–137.

[32]N. Hadziefendic, J. Trifunovic, N. Kostic, M. Davidovic, M. Kostic, A new method for the detection of poor electrical contacts in low-voltage electrical installations characterised by the TN protection system – field validation in residential buildings, *XVII International Scientific Congress Machines. Technologies. Materials*. 2020. (Winter Session), Proceedings Volume I, pp. 59–63, Scientific Technical Union of Mechanical Engineering Industry-4.0, Borovets, Bulgaria, Mar, 2020.

[33]Low-voltage fuses – Part 1: General requirements, document IEC 60269-1, 2006.

[34]Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock, document IEC 60364-4-41, 2005.

[35]Electrical accessories – Circuit-breakers for overcurrent protection for household and similar installations – Part 1: Circuit-breakers for a.c. operation, document IEC 60898-1, 2015.

SUMMARY

IMPROVEMENT OF THE STANDARDIZED PROCEDURE FOR VERIFYING THE QUALITY OF LOW-VOLTAGE ELECTRICAL INSTALLATIONS

Periodic verification of the quality of low-voltage electrical installations is very important from the point of view of safety of people in the building from electric shock and initial fire caused by failures of low-voltage electrical installations (usually poor electrical contact). The standardized procedure for verifying the quality of electrical installations by electrical measurements involves checking which can determine with certainty only whether the protection system by automatic shutdown of the power supply in case of failure is effective or not. However, this check can only detect some poor electrical contacts in the circuit that are potential causes of fire. The paper provides an overview of research results conducted within the project of the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia (project record number 36018), on the basis of which the correction of the existing procedure of periodical verification of the quality of electrical installations is proposed. The proposed correction, which was developed based on the experience gained by performing periodical verification of the quality of electrical installations in the field, as well as analysis of measurement results obtained experimentally in laboratory conditions, allows poor electrical contacts to be detected in a timely manner.

Key Words: *low voltage electrical installations, periodical verification, poor electrical contact, fire, fault loop resistance*