

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње мр Александре Грујић

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета донетом на седници бр. 795 одржаној 19.1.2016. године (број одлуке 910/3 од 27.1.2016. године), именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидаткиње мр Александре Грујић под насловом

**„Моделовање зоне заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења“**

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

### РЕФЕРАТ

#### 1. УВОД

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

23.6.2006. године кандидаткиња мр Александра Грујић је, на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, одбранила магистарски рад под насловом „Анализа метода прорачуна зоне заштите громобранске инсталације објеката опште и посебне намене“.

26.2.2013. године кандидаткиња мр Александра Грујић је пријавила тему за израду докторске дисертације под насловом „Моделовање зоне заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења“.

5.3.2013. године Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени подобности теме и кандидаткиње упутила Наставно–научном већу на усвајање.

12.3.2013. године Наставно-научно веће на седници број 760 (бр. одлуке 910/1 од 12.3.2013. године) именовало је Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу:

др Златан Стојковић, редовни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет,

др Јован Микуловић, доцент, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет,

др Милан Савић, редовни професор у пензији, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет, и

др Драгутин Саламон, ванредни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет.

16.4.2013. године Наставно-научно веће на седници број 761 (број одлуке 910/2 од 16.4.2013.године) је усвојило Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације.

27.5.2013. године Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације под насловом: „Моделовање зоне заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења“ (број одлуке 61206-2328/2-13 од 27.5.2013. године). За ментора је одређен др Златан Стојковић, редовни професор на Универзитету у Београду – Електротехнички факултет.

Кандидаткиња је урађену дисертацију поднела на преглед и оцену 10.12.2015. године. Комисија за студије трећег степена је 15.12.2015. године потврдила испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

19.1.2016. године Наставно-научно веће Електротехничког факултета на седници бр. 795 (број одлуке 910/3 од 27.1.2016. године), именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у следећем саставу:

др Златан Стојковић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,

др Јован Микуловић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,

др Драгутин Саламон, ванредни професор у пензији, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,

др Жељко Ђуришић, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, и

др Александар Ранковић, ванредни професор, Универзитет у Крагујевцу – Факултет техничких наука у Чачку.

## 1.2. Научна област дисертације

Дисертација кандидаткиње мр Александре Грујић припада научној области Техничке науке – Електротехника, ужа научна област Електроенергетски системи. За ментора дисертације одређен је др Златан Стојковић, редовни професор на Универзитету у Београду - Електротехнички факултет, због истакнутих доприноса у ужој области Електроенергетски системи, а посебно у подобласти пројектовања заштите електроенергетских објеката од атмосферског пражњења, којом се бави предметна дисертација.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Александра Грујић је рођена 7.3.1975. године у Зајечару. Основну школу, средњу школу и Електротехнички факултет завршила је у Београду. Дипломирала је 14.7.2000. године на смеру Електроенергетски системи. Последипломске студије на Електротехничком факултету у Београду на смеру Електроенергетска постројења и опрема уписала је 2000. године. Магистарски рад на тему „Анализа метода прорачуна зоне заштите громобранске инсталације објеката опште и посебне намене“ одбранила је 23.6.2006. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Ментор при изради магистарског рада био је проф. др Златан Стојковић.

Запослила се 2000. године у Вишој електротехничкој школи у Београду као стручни сарадник на предметима: Апликативни софтвер, Електричне машине 1 и 2, Електромоторни погони, Електране и разводна постројења, Основи електротехнике 1 и 2 и Увод у оперативне системе. Учествовала је као предавач у информатичкој обуци незапослених са тржишта рада. Учествовала је у изради задатака за општинска и републичка такмичења средњошколаца из Основа електротехнике. Звање предавача Више електротехничке школе у Београду стекла је 2006. године. Од 2007. године ангажована је у звању предавача у Високој школи

електротехнике и рачунарства струковних студија у Београду у оквиру основних струковних студија на следећим предметима: Нове енергетске технологије, Дистрибуција и тржиште електричне енергије, Техника високог напона и Обновљиви извори енергије. Од 2012. године ангажована је као предавач у оквиру специјалистичких струковних студија на предмету Квалитет електричне енергије. Ментор је преко 100 завршних радова основних и специјалистичких студија у Високој школи електротехнике и рачунарства у Београду.

Аутор/коаутор је 23 научна и стручна рада. Први аутор је једног рада публикованог у научном часопису међународног значаја категорије М23 и једног рада који је прихваћен за објављивање у научном часопису међународног значаја категорије М23. Коаутор је пет радова публикованих у зборницима међународних и регионалних научних скупова, три рада публикована у часописима националног значаја и тринаест радова публикованих у зборницима скупова националног значаја.

У периоду од 2003 до 2005. године обављала је функцију секретара смера Енергетика. У школској 2011/12. години учествовала је у рекредитацији студијског програма Нове енергетске технологије и акредитацији студијског програма специјалистичких студија Нове енергетске технологије у Високој школи електротехнике и рачунарства струковних студија у Београду. Од 2012. године обавља функцију руководиоца студијског програма Нове енергетске технологије. Формирала је лабораторију за Обновљиве изворе енергије у Високој школи електротехнике и рачунарства струковних студија у Београду.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Моделовање зоне заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења“ написана је на српском језику, на 195 страна и садржи 128 слика и 55 табела. Подељена је на 8 поглавља: 1. Увод; 2. Тренутно стање у области заштите електроенергетских објеката од атмосферског пражњења; 3. Модели за формирање зоне заштите постројења од директног атмосферског пражњења засновани на теорији ударног растојања; 4. Методологија прорачуна ризика квара и трошкова губитака код постројења са применом фази логике; 5. Методологија прорачуна ризика квара, трошкова губитака и неиспоручене електричне енергије услед директног атмосферског пражњења у ветротурбину; 6. Формирање алгорита и софтверских алата за моделовање зоне заштите и процену ризика квара од директног атмосферског пражњења у постројење; 7. Примери примене на реалним постројењима; 8. Закључак. Литература садржи 97 референци које детаљно приказују тренутно стање у области пројектовања заштите електроенергетских објеката од атмосферског пражњења. Прилози дају низ важних елемената који су узети у обзир при реализацији моделовања зоне заштите високонапонских постројења различитих електроенергетских објеката од директног атмосферског пражњења.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом, уводном, поглављу указано је да на поузданост рада ЕЕС-а у знатној мери утиче поузданост рада високонапонских постројења која су у пракси изложена директним атмосферским пражњењима. При пројектовању високонапонских постројења наглашена је неопходност формирања одговарајуће громобранске заштите као скупа заштитних мера против директног удара грома и његовог секундарног дејства. Указано је на сву сложеност моделовања зоне заштите прихватног система, као последица различитих емпиријских или физичких модела. Наведени су недостаци електрогеометријског и геометријског модела, као два најчешће коришћена модела. Наглашен је значај примене новог, генеричког модела, који је базиран на значајном проширењу знања о физичком моделу прескока на дугим

растојањима. Оптимално моделовање зоне заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења, као циљ истраживања, урађено је на основу анализе осетљивости зоне заштите у зависности од диспозиције високонапонског постројења, метода прорачуна и примењеног типа заштитног уређаја. Наведено је да су методологија и алгоритми за прорачун ризика квара високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења имплементирани у софтверске алате чија примена омогућује формирање одговарајуће мапе ризика. У дисертацији је реализована и мапа ризика кварова високонапонских постројења од директног атмосферског пражњења што је од практичног значаја за постизање правовремених и одговарајућих одлука у вези мера, обима и средстава за громобранску заштиту високонапонских постројења. Остварење наведених циљева дисертације је приказано на примерима значајних и сложених високонапонских постројења која припадају Електроенергетском систему Србије.

У другом поглављу приказано је тренутно стање у области заштите електроенергетских објеката од атмосферског пражњења. Дате су сличности и разлике у моделовању зоне заштите прихватног система громобранске инсталације високонапонских постројења као и у типовима заштитних уређаја који се користе код нас и у свету.

Модел за формирање зоне заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења, засновани на теорији ударног растојања, детаљно су приказани у трећем поглављу. Геометријски модел претпоставља да је ударно растојање независно од амплитуде струје атмосферског пражњења и локалне геометрије разматраног објекта. Према електрогеометријском моделу, ударно растојање приказано је као функција само амплитуде струје атмосферског пражњења, а не и локалне геометрије објекта. Указано је на основни недостатак поменутих модела који се односи на неуважавање једног утицаја (електрогеометријски модел) или оба утицаја (геометријски модел). У литератури публикованој последњих година приказан је нови, генерички модел, који је базиран на значајном проширењу знања о физичком моделу прескока на дугим растојањима. Према овом моделу ударно растојање представљено је као функција и амплитуде струје атмосферског пражњења и локалне геометрије објекта. На основу прегледа доступне литературе закључено је да примена генеричког модела није довољно заступљена у одређивању зоне заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења. У дисертацији је указано да је при пројектовању громобранске заштите високонапонских постројења у односу на надземне водове потребно користити значајно измењене релације за прорачун ударног растојања. Ова потреба је последица чињенице да се за надземне водове висине заштитног ужета и фазних проводника не разликују битно, што омогућава претпоставку о једнаким вредностима ударних растојања за заштитно уже и фазне проводнике. Међутим, код високонапонских постројења висина објекта који се штити варира од врло малих вредности (близу нивоа земље) до вредности блиских висини заштитног ужета. Из овог разлога, ударно растојање за објекат који се штити једнако је ударном растојању према земљи за ниске објекте, односно ударном растојању за заштитно уже за објекте приближно високе као заштитно уже. Из наведених разлога у дисертацији су коришћена три различита ударна растојања: за заштитно уже или штапну хватаљку, за штићени објекат и за тло.

У четвртном поглављу приказана је методологија прорачуна ризика квара и трошкова губитака код постројења са применом фази логике. У дисертацији су дати модификовани изрази у односу на изразе дате у одговарајућим међународним стандардима. Тако формиран израз за ризик квара и трошкове губитака услед директног атмосферског пражњења одговарају проблематици која се односи на високонапонска постројења. Методологија процене ризика квара и трошкова губитака услед директног атмосферског пражњења у постројење је имплементирана у развијени софтверски алат "*Risk management and cost effective by IEC 62305*" чија примена омогућује брз и ефикасан поступак процене ризика и трошкова губитака уз уважавање свих битних карактеристика постројења. Применом фази логике, као алата вештачке интелигенције, описане су неодређености између остварене зоне

заштите громобранске инсталације и ризика квара услед директног атмосферског пражњења у постројење. Детаљно је приказана реализација свих фаза у пројектовању конкретног фази система, од идентификације проблема, дефинисања улазних и излазних променљивих, фазификације, дефинисања базе фази правила, развијања алгорита апроксимативног резонувања до, коначно, дефазификације.

Методологија прорачуна ризика квара, трошкова губитака и неиспоручене електричне енергије услед директног атмосферског пражњења у ветротурбину предмет је петог поглавља. Ветротурбине, као високи нестандардни објекти који се обично инсталирају на локацијама на којима је изокераунички ниво веома висок, често су изложене атмосферском пражњењу. Из тог разлога у дисертацији је посвећена пажња њиховој заштити од атмосферског пражњења. Анализиран је ризик ветротурбине од атмосферског пражњења у зависности од висине објекта, локалне топологије земљишта и локалног нивоа грмљавинске активности. Поступак управљања ризиком услед атмосферског пражњења у ветротурбину спроведен је на основу стандарда ИЕС 61400 – 24. Методологија прорачуна ризика квара и трошкова губитака имплементирана је у развијени софтверски алат *“Risk Management and cost effective for WT”*. Приказана је и методологија прорачуна неиспоручене електричне енергије која се заснива на прорачуну просечне вероватноће појаве атмосферског пражњења и вероватноће да ће директно атмосферско пражњење у ветротурбину изазвати испад исте или целог припадајућег постројења.

У шестом поглављу приказани су алгоритми и развијени софтверски алати за моделовање зоне заштите и процену ризика квара од директног атмосферског пражњења у постројење. На основу прорачуна ударног растојања на бази генеричког модела, моделоване су зоне заштите постројења различитих структура и напонских нивоа. Поступак моделовања зоне заштите је имплементиран у развијени софтверски алат за 3Д приказ остварене зоне заштите *“VN Postrojenja”* у односу на комплексну геометрију свих високонапонских елемената унутар постројења. Ефикасном техником приказа пуног тела у 3Д погледу омогућен је приказ и зоне заштите и постројења у облику погодном за визуелну анализу громобранске инсталације. Детаљно су приказани резултати симулација и анализе осетљивости зоне заштите и ризика квара које су спроведене за различите амплитуде струје атмосферског пражњења и различите изразе за одређивање ударних растојања унутар геометријског, електрогеометријског и генеричког модела.

Седмо поглавље се односи на примере примене методологије, алгоритама и развијених софтверских алата на конкретним постројењима. Модели, алгоритми и развијени софтверски алати су тестирани на реалним примерима високонапонских постројења која се налазе у склопу Електроенергетског система Србије. Детаљно је анализирана промена зоне заштите у зависности од метода прорачуна, типа заштитног уређаја и диспозиције високонапонског постројења. Посебан значај је дат коришћењу заштитних ужади, као честих громобранских заштитних уређаја у постројењима сложене геометрије. На тај начин је омогућено сагледавање свих утицајних фактора које је потребно уважити у моделовању зоне заштите и пројектовању оптималног решења заштите постројења од директног атмосферског пражњења. За објекте ХЕ „Ђердап 1”, ТЕ „Морава” и ХЕ „Бистрица”, применом предложене методологије, алгоритама и развијених софтверских алата, добијени су резултати на основу којих је формирана мапа ризика. Предложена мапа ризика јесте од практичног значаја при сагледавању правовремених и одговарајућих одлука у вези мера, обима и средстава за заштиту високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења. Такође, на примеру ветроелектране урађене су процене ризика квара од директног атмосферског пражњења у ветроелектрану и припадајуће постројење и процена неиспоручене енергије услед директног атмосферског пражњења у ветротурбину унутар ветроелектране или у припадајуће постројење.

У оквиру осмог, закључног поглавља, дат је сумарни преглед доприноса докторске дисертације и показано је да је дат одговор на полазне хипотезе и постављене захтеве. У Прилогу 10.1 приказан је комплетан пример високонапонског постројења. Примери 10.2,

10.3 и 10.4 се односе на параметре ХЕ „Ђердап 1”, ТЕ „Морава” и ХЕ „Бистрица” са припадајућим високонапонским постројењима. У Прилогу 10.5 дат је пример припадајућег постројења 110 kV при ветроелектрани.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Разматрана докторска дисертација представља оригинални научно-истраживачки рад у области пројектовања заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења. У оквиру дисертације је развијена општа методологија за моделовање зоне заштите високонапонског постројења која укључује различите методе прорачуна, типове заштитног уређаја и диспозицију високонапонског постројења. Примени генеричког модела у одређивању зоне заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења, као физички најпотпунијег модела, посвећена је посебна пажња, чиме је елиминисана недовољна заступљеност овог приступа у савременој литератури. Развијени су и приказани алгоритми и методологија прорачуна ризика квара и трошкова губитака код постројења са применом фази логике. Оригиналност методолошког приступа огледа се у увођењу модификованих израза у односу на изразе дате у одговарајућим међународним стандардима, чиме је омогућено спровођење техничко-економске анализе заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења. На основу тако формираних алгоритама и методологије развијени су савремени софтверски алати чија примена омогућује брз и ефикасан поступак процене техничких и економских аспеката заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења. Оригиналан приступ заступљен у дисертацији омогућио је формирање мапе ризика високонапонских постројења у реалном електроенергетском систему, што омогућује менаџменту постизање правовремених и одговарајућих одлука у вези сагледавања мера, обима и средстава за громобранску заштиту високонапонских постројења.

#### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде дисертације кандидаткиња је истражила постојећу релевантну литературу и коректно навела 97 референци које су од значаја за тему дисертације. Литература обухвата широк опсег доступних публикација, од старијих до савремених. Литература укључује и 7 публикација на којима је кандидаткиња аутор/коаутор (један рад у научном часопису међународног значаја категорије М23, један рад који је прихваћен за објављивање у научном часопису међународног значаја категорије М23, један рад у националном часопису категорије М51 и четири рада у зборницима националних конференција категорије М63), а који су директно проистекли из рада на дисертацији.

#### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У дисертацији су проучени геометријски модел и електрогеометријски модел, као најчешће заступљени модели за формирање зоне заштите постројења од директног атмосферског пражњења у постојећој литератури. Уочени су недостаци ових модела и потреба за њиховим проширењем које је засновано на знању о физичком моделу прескока на дугим растојањима (генерички модел). Изрази за ударна растојања према генеричком моделу, предложени од стране више аутора, су имплементирани са циљем уважавања и амплитуде струје атмосферског пражњења и локалне геометрије објекта у поступку формирања зоне заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења. Применом овог метода тачније је одређена зона заштите високонапонског

постројења што је закључено на основу упоредне анализе низа резултата и визуелизације ове зоне.

У међународним стандардима су дати изрази за прорачун ризика квара и трошкова губитака услед атмосферског пражњења у објекте опште намене. С обзиром да високонапонска постројења спадају у објекте посебне намене, урађена је модификација предложених изрази, чиме је у методолошком смислу, према сазнањима из доступне литературе, први пут направљен помак који омогућује анализу ових објеката. Варирањем релевантних параметара уочене су неодређености између остварене зоне заштите громобранске инсталације и ризика квара услед директног атмосферског пражњења у постројење. Ове неодређености су описане применом фази логике, као алата вештачке интелигенције. У наставку су развијени и имплементирани алгоритми базирани на примени фази логике са циљем спровођења техничко-економске анализе заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења.

На основу формираних модела и алгоритама развијени су савремени софтверски алати чија примена је омогућила јасно сагледавање утицаја свих релевантних параметара. Овако формирано софтверски алати омогућили су аутоматизацију поступка одређивања зоне заштите високонапонског постројења што је неопходан корак у пројектовању заштите ових постројења. У том смислу, низом прорачуна урађених применом развијених софтверских алата, одређена је мапа ризика за реална и веома сложена високонапонска постројења која припадају Електроенергетском систему Србије. Проучавањем квантитативних показатеља техничко-економске анализе заштите високонапонских постројења на основу мапе ризика може се постићи оптимално пројектовање високонапонских постројења са аспекта мера, обима и средстава за њихову громобранску заштиту.

Валидација предложених модела, алгоритама и развијених софтверских алата урађена је на примерима високонапонских постројења која се налазе при ХЕ „Ђердап 1”, као најсложенијем хидроенергетском објекту у Електроенергетском систему Србије, при ТЕ „Морава”, при ХЕ „Бистрица” и при конкретној ветроелектрани чије пројектовање је у току.

Примењена методологија у потпуности одговара светским стандардима научно-истраживачког рада. Наведени поступци су у сагласности са постављеним циљевима дисертације.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Формирани модификовани методи, алгоритми и развијени софтверски алати, приказани у оквиру докторске дисертације, представљају систем који има непосредну примену у пројектовању заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења. Комплетан систем је тестиран на следећим електроенергетским објектима: 1) ХЕ „Ђердап 1” са браном, машинском зградом и припадајућим високонапонским постројењима напонских нивоа 400 kV и 110 kV. Ова хидроелектрана је изабрана с обзиром да представља најзначајнији хидроенергетски објекат у Електроенергетском систему Србије. Евалуација система је показала да је он применљив и за најсложеније електроенергетске објекте по својој структури, са могућношћу уважавања свих коришћених заштитних уређаја; 2) ТЕ „Морава” са припадајућим високонапонским постројењем напонског нивоа 110 kV; 3) ХЕ „Бистрица” са припадајућим високонапонским постројењем напонског нивоа 220 kV; 4) Конкретна ветроелектрана која се састоји од девет ветротурбина, типа Vestas V100-2 MW, висине стуба 95 m и дужине лопатица 50 m.

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

Александра Грујић је завршила петогодишње редовне студије и магистарске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Кандидаткиња је на крају магистарских студија одбранила магистарски рад и тиме стекла услове да приступи изради



докторске дисертације у складу са Законом и правилима Универзитета и Факултета. У току магистарских студија је показала интерес и вештине које су истакле склоност ка научном раду. Способност да дефинише методологију за решавање проблема, успешност у применама модификованих метода и развоју софтверских алата одликују научни рад кандидаткиње. Начин на који је написана дисертација показује, уз научне доприносе који су публиковани у часописима и приказани на конференцијама, истраживачку зрелост кандидаткиње и способност приказивања резултата на јасан начин.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси остварени у дисертацији су:

- 1) Нови приступ у моделовању зоне заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења на основу примене генеричког модела уз уважавање свих заштитних уређаја и диспозиције високонапонског постројења.
- 2) Развој и имплементација модификованих метода и алгоритама за прорачун ризика квара високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења.
- 3) Формирање мапе ризика и анализа техничко-економских аспеката за постизање правовремених и одговарајућих одлука у вези мера, обима и средстава за громобранску заштиту високонапонског постројења.
- 4) Евалуација резултата добијених применом оригинално развијених софтверских алата у случајевима реалних високонапонских постројења сложене структуре.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Дисертација јасно и недвосмислено приказује унапређене методе за одређивање зоне заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења. Унапређење се огледа у имплементацији новог, тачнијег, генеричког метода и аутоматизацији одређивања и приказа зоне заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења. Резултати приказани у дисертацији су оправдали потребу за коришћењем значајно измењених релација за прорачун ударног растојања при пројектовању громобранске заштите високонапонских постројења у односу на надземне водове. Нови приступ у моделовању зоне заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења омогућио је и уважавање свих типова заштитних уређаја који се користе у пракси, као и диспозиције високонапонског постројења.

Методологија прорачуна ризика квара и његовог управљања, која се може наћи у доступној литератури, односила се на објекте опште намене. У дисертацији је наглашен недостатак методолошког поступка за потребе спровођења техничко-економске анализе заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења, као објекта посебне намене. Резултати спроведених истраживања на основу предложеног модификованог метода су јасно указали на оправданост ове модификације, чиме су обухваћене све специфичности високонапонског постројења у погледу примењених напонских нивоа, заштитних уређаја и диспозиције.

Варирањем релевантних параметара током вишегодишњег истраживања уочене су неодређености између остварене зоне заштите громобранске инсталације и ризика квара услед директног атмосферског пражњења у постројење. Из тог разлога је предложен метод заснован на примени фази логике, као алата вештачке интелигенције. Имплементиран алгоритам апроксимативног резоновања за прорачун ризика од атмосферског пражњења је омогућио формирање резултата који су јасно указали на утицај начина извођења



громобранске инсталације високонапонског постројења на ризик, од случаја најбоље могуће изведене громобранске инсталације до случаја непостојања громобранске инсталације.

Развијени софтверски алати омогућују директну примену у научно-истраживачком и пројектантском приступу пројектовању заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења, што је показано на примерима реалних и сложених високонапонских постројења, различитих напонских нивоа и примењених заштитних уређаја.

Комисија са задовољством констатује да су научни доприноси остварени у дисертацији објављени у часописима и зборницима националних конференција.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Кандидаткиња је аутор/коаутор 7 научних публикација из области дисертације и од тога: један рад у научном часопису међународног значаја категорије M23, један рад који је прихваћен за објављивање у научном часопису међународног значаја категорије M23, један рад у националном часопису категорије M51 и четири рада у зборницима националних конференција категорије M63.

#### Листа радова:

##### Категорија M23:

1. **Grujić A.**, Stojković Z. : Software tool for estimating the 3D lightning protection zone of high voltage substations; International Journal of Electrical Engineering Education (IJEEE) – Special Issue: Technology transfer – new perspectives on delivering electrical and electronics engineering education, Vol. 48, No. 3, July 2011, pp. 307-322, IF (2011) = 0,119, ISSN: 0020-7209, doi:10.7227/IJEEE.48.3.8.
2. **Grujić A.**, Stojković Z. : Fuzzy logic based concept for high voltage substation risk management against lightning; IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol. 11, No. S1, June 2016 supplementary issue, IF (2014) = 0,213, Online ISSN: 1931-4981, doi:10.1002/tee.22233, rad prihvaćen za publikovanje.

##### Категорија M51:

1. **Grujić A.**, Stojković Z. : Procena rizika kvara visokonaponskih postrojenja od atmosferskog pražnjenja, Tehnika 2013, Vol. 68, No. 1, str. 95-102, ISSN: 0013-5836.

##### Категорија M63:

1. Stojković Z., **Grujić A.**, Tenbohlen S. : Projektovanje gromobranske zaštite razvodnih postrojenja i nadzemnih vodova, 28. Savetovanje JUKO-CIGRE, Ref. C4-01, Vrnjačka Banja, 30. septembar – 05. oktobar 2007, Zbornik radova sa konferencije, str. 167-172, ISBN: 978-86-82317-60-9.
2. Stojković Z., **Grujić A.** : Programski alat za projektovanje gromobranske zaštite razvodnih postrojenja, 30. Savetovanje CIGRE Srbija, Ref. C4-03, Zlatibor, 29. maj – 03. Jun 2011, Zbornik radova u elektronskom izdanju, str.1-12, ISBN: 978-86-82317-69-2.
3. **Grujić A.**, Stojković Z. : Primena fuzzy logike u proceni rizika kvara visokonaponskog postrojenja od atmosferskog pražnjenja, 31. Savetovanje CIGRE Srbija, Ref. C4-03, Zlatibor, 26. maj – 30. maj 2013, Zbornik radova u elektronskom izdanju, str. 1-12, ISBN: 978-86-82317-72-2.
4. **Grujić A.**, Stojković Z. : Upravljanje rizikom kvara od atmosferskog pražnjenja u vetropark, 32. Savetovanje CIGRE Srbija, Ref. C4-04, Zlatibor, 17. maj – 21. maj 2015, Zbornik radova u elektronskom izdanju, str. 1-12, ISBN: 978-86-82317-77-7.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

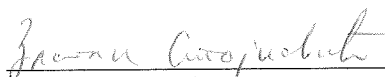
Комисија са задовољством констатује да на основу претходног школовања и публикованих резултата **мр Александра Грујић** испуњава све суштинске и формалне услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У дисертацији је детаљно приказан оригинални приступ моделовању зоне заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења. Кроз дисертацију су приказане способности кандидаткиње у коришћењу савремених истраживачких метода и њиховом побољшању, уз поштовање свих захтеваних етичких норми. Кандидаткиња је у дисертацији пратила светске стандарде у области пројектовања заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења. Кандидаткиња је унапредила методе и развила више савремених софтверских алата који се у ту сврху користе. Комисија посебно истиче да формирано методи, алгоритми и софтверски алати који су приказани у дисертацији, поред научних доприноса, имају и практичну примену у области пројектовања заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења.

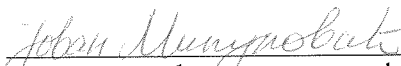
У складу са напред изнетим, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под насловом „Моделовање зоне заштите високонапонског постројења од директног атмосферског пражњења“ кандидаткиње **мр Александре Грујић** прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, као и да се после њеног усвајања одобри јавна усмена одбрана дисертације.

Београд, 4.4.2016. године

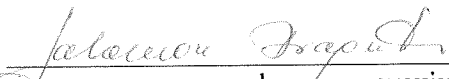
### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Златан Стојковић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Јован Микуловић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



Др Драгутин Саламон, ванредни професор у пензији  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Жељко Ђуришић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Александар Ранковић, ванредни професор  
Универзитет у Крагујевцу – Факултет техничких наука у Чачку