

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Маје Грбић

Одлуком бр. 5034/12-3 од 16. 4. 2021. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Маје Грбић, под насловом

„Методологија за оцену изложености људи електричном и магнетском пољу надземних електроенергетских водова заснована на резултатима мерења и прорачуна”

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

Маја Грбић је 14.11.2012. године уписала докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на модулу Електроенергетске мреже и системи. Све испите предвиђене наставним планом и програмом докторских студија положила је са највишом оценом 10.

Кандидаткиња је 28. 3. 2019. године пријавила тему докторске дисертације. За ментора је предложен др Јован Микуловић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Комисија за студије трећег степена је 2. 4. 2019. године разматрала предлог теме за израду докторске дисертације и упутила Наставно-научном већу предлог за именовање Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је на 838. седници именовало Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5034/12-1 од 19. 4. 2019. године), у саставу:

1. др Жељко Ђуришић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет,
2. др Драган Ковачевић, научни саветник, Универзитет у Београду, Електротехнички институт „Никола Тесла”,
3. др Драган Олћан, ванредни професор, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет.

Јавна усмена одбрана теме докторске дисертације одржана је 10. 5. 2019. године. Комисија за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације је усмену одбрану предложене теме оценила као успешну (оцена „задовољно”).

Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду усвојило је Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5034/12-2 од 11. 6. 2019. године). За ментора дисертације именован је др Јован Микуловић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације (Одлука бр. 61206-2721/2-19 од 1. 7. 2019. године).

Кандидаткиња је 22. 3. 2021. године предала докторску дисертацију на преглед и оцену. Комисија за студије трећег степена потврдила је 30. 3. 2021. године испуњеност потребних услова за подношење предлога за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду именovalo је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације под насловом „Методологија за оцену изложености људи електричном и магнетском пољу надземних електроенергетских водова заснована на резултатима мерења и прорачуна” (Одлука бр. 5034/12-3 од 16. 4. 2021. године), у саставу:

1. др Јован Микуловић, редовни професор, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет,
2. др Жељко Ђуришић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет,
3. др Драган Ковачевић, научни саветник, Универзитет у Београду, Електротехнички институт „Никола Тесла”,
4. др Драган Олћан, ванредни професор, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет.

Кандидаткиња Маја Грбић започела је студијски програм 2012. године. На захтев кандидаткиње, сагласно члану 101. Статута Универзитета у Београду и члану 74. Статута Универзитета у Београду – Електротехничког факултета, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма.

1.2. Научна област дисертације

Дисертација кандидаткиње Маје Грбић припада научној области Техничке науке – Електротехника, ужа научна област Електроенергетски системи, за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду. За ментора дисертације одређен је др Јован Микуловић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду, због истакнутих доприноса у ужој области Електроенергетски системи, а посебно у подобласти електромагнетских поља и електромагнетске компатибилности, којом се бави предметна дисертација.

1.3. Биографски подаци о кандидаткињи

Маја Грбић је рођена 7. маја 1985. године у Београду, где је са одличним успехом завршила основну школу и Електротехничку школу „Никола Тесла”. Добитница је Дипломе „Вук Караџић”.

У јулу 2010. године дипломирала је на Електротехничком факултету у Београду, на Одсеку за енергетику, на Смеру за електроенергетске системе, са просечном оценом 9,28 и оценом 10 на дипломском раду. Током завршних година дипломских академских студија била је стипендиста Електротехничког института „Никола Тесла”, Привредног друштва Термоелектране „Никола Тесла” и Фонда за младе таленте Републике Србије.

У септембру 2012. године завршила је мастер академске студије на Електротехничком факултету у Београду, на студијском програму Електротехника и рачунарство, на модулу Електроенергетски системи, са просечном оценом 9,83 и оценом 10 на мастер раду. Мастер рад под називом „Мерење и прорачун електричних и магнетских поља надземних водова у циљу процене изложености људи овим пољима” Привредна комора Београда наградила је као најбољи мастер рад одбрањен током школске 2011/2012. године.

У новембру 2012. године уписала је докторске академске студије на Електротехничком факултету у Београду, на модулу Електроенергетске мреже и системи. Током докторских студија остварила је просечну оцену 10,00.

Од октобра 2010. године запослена је у Електротехничком институту „Никола Тесла”, у Центру за електроенергетске објекте, где се примарно бави истраживањима у области електромагнетских поља. Учествовала је у изради 17 студија, 27 стручних оцена оптерећења животне средине за нове или реконструисане изворе електромагнетских поља, као и 16 елабората, најчешће у функцији руководиоца. Такође је учествовала у изради преко 900 извештаја о испитивањима, од којих се више од 870 односи на испитивања електромагнетских поља. Од 2014. до 2018. године обављала је функцију заменика руководиоца Специјализоване лабораторије за испитивање уземљења, громобранских и електричних инсталација и електромагнетских поља. Од 2018. године обавља функцију руководиоца Специјализоване лабораторије за испитивање електромагнетских поља. Доприanela је активностима из области интегрисаног система менаџмента Института и акредитације Лабораторије за испитивање и еталонирање, као чланица Одбора за интегрисани систем менаџмента Института, заменица руководиоца квалитета Лабораторије за испитивање и еталонирање Института и као ауторка интерних упутстава из области електромагнетских поља. Организовала је девет међулабораторијских поређења из области испитивања електромагнетских поља, у којима су учествовале лабораторије из Републике Србије и региона. Од 2018. године обавља функцију координатора за реализацију *Erasmus* програма Института, а од 2019. године функцију заменика директора Центра за електроенергетске објекте.

Почетком 2016. године је као гостујући истраживач боравила на Политехничком универзитету у Торину, у Италији, где се бавила прорачунима магнетске индукције у околини дистрибутивних трансформаторских станица и системима за заштиту од магнетске индукције.

Објавила је 56 радова, од којих 41 као првоименовани аутор. Од укупно објављених радова, 50 се односи на област електромагнетских поља. Као првоименовани аутор публиковала је два рада у врхунским међународним часописима категорије М21 и 13 радова у зборницима међународних конференција. Такође је публиковала 14 радова у националним часописима и 27 радова у зборницима скупова националног значаја. Добитница је признања за најбољи рад представљен 2012. године на VIII саветовању о електродистрибутивним мрежама, у оквиру стручне комисије „Електродистрибутивна постројења и водови”, за рад под називом „Нивои нејонизујућих зрачења надземних и кабловских водова напонског нивоа 35 kV”, чији је првоименовани аутор. Рад под називом „Мере за смањење јачине електричног и магнетског поља у околини преносних надземних водова”, чији је првоименовани аутор, изабран је за најбољи рад представљен 2019. године на 34. саветовању CIGRE Србија у оквиру студијског комитета Ц3 „Перформансе система заштите животне средине”. Рецензирала је 11 радова пријављених за публикавање на националним конференцијама које су организовали национални комитети CIREN и CIGRE, у истакнутом међународном часопису *IET Science, Measurement and Technology*, као и у другим међународним часописима и на конференцијама.

Чланица је Међународног савета за велике електричне мреже CIGRE и међународног удружења IEEE (*Power and Energy Society, Instrumentation and Measurement Society, Electromagnetic Compatibility Society*). Такође је чланица Српског националног комитета CIGRE (Студијски комитет Ц3 – Перформансе система заштите животне средине и Студијски комитет Ц4 – Техничке перформансе ЕЕС-а), Српског националног комитета CIRED (Стручна комисија 1 – Компоненте мрежа), као и Организационог одбора саветовања „Заштита животне средине и одрживи развој”. Од јуна 2020. године обавља функцију секретара СТК 1 „Компоненте мрежа” Српског националног комитета CIRED.

Течно говори енглески и шпански језик, има средњи ниво знања француског и почетни ниво знања немачког језика.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација је по форми и структури у потпуности усклађена са Упутством о облику и садржају докторске дисертације која се брани на Универзитету у Београду. Докторска дисертација је написана на српском језику, ћириличним писмом, и има укупно 240 страна. Садржи 286 слика, 81 табелу, 90 нумерисаних једначина и 148 библиографских референци. Делови дисертације су:

- Насловна страна на српском језику
- Насловна страна на енглеском језику
- Страна са информацијама о ментору и члановима комисије
- Страна са подацима о докторској дисертацији на српском језику
- Страна са подацима о докторској дисертацији на енглеском језику
- Садржај
- Текст рада по поглављима:
 1. Увод
 2. Преглед међународне и националне правне регулативе из области заштите становништва од електромагнетских поља
 3. Мерење јачине електричног поља и магнетске индукције надземних електроенергетских водова
 4. Прорачун јачине електричног поља и магнетске индукције надземних електроенергетских водова
 5. Основе израчунавања мерне несигурности
 6. Израчунавање компонената несигурности мерења јачине електричног поља
 7. Израчунавање компонената несигурности мерења магнетске индукције
 8. Израчунавање компонената несигурности прорачуна јачине електричног поља
 9. Израчунавање компонената несигурности прорачуна магнетске индукције
 10. Поређење резултата мерења и прорачуна с циљем обезбеђења валидности резултата
 11. Методологија за оцену изложености људи заснована на резултатима мерења и прорачуна
 12. Закључак
- Списак коришћене литературе
- Прилог
- Биографија ауторке
- Изјава о ауторству
- Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада
- Изјава о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу дата су уводна разматрања и истакнути су циљ и значај истраживања које је предмет докторске дисертације. Указано је на ограничења постојећих метода за оцену изложености људи електричном и магнетском пољу у околини надземних водова и истакнут значај развоја методологије која се заснива на истовременом коришћењу резултата добијених мерењем и прорачуном.

У другом поглављу је дат кратак преглед важеће националне и међународне регулативе из области заштите становништва од електромагнетских поља. Приказане су најзначајније одредбе међународних препорука, као и националног закона и правилника и дат је преглед прописаних граница излагања.

Предмет трећег поглавља су мерења електричног и магнетског поља у околини надземних електроенергетских водова. Описана је опрема за мерење јачине електричног поља и магнетске индукције и приказана метода мерења која је дефинисана важећим стандардима. Применом описане методе спроведено је неколико мерења јачине електричног поља и магнетске индукције у околини надземних водова различитих напонских нивоа. Дат је коментар добијених резултата и указано је на предности и недостатке који се јављају у случају када се за оцену изложености људи електричном и магнетском пољу користе резултати мерења.

Предмет четвртог поглавља су прорачуни електричног и магнетског поља у околини надземних електроенергетских водова. Приказане су две методе прорачуна јачине електричног поља и магнетске индукције надземних електроенергетских водова које су примењене у дисертацији. Прорачуни су спроведени за неколико типичних конфигурација надземних водова напонских нивоа 110 kV, 220 kV и 400 kV. Указано је на погодности и ограничења која се односе на случај када се за оцену изложености људи електричном и магнетском пољу користе резултати прорачуна.

У петом поглављу дате су основе прорачуна стандардне, комбиноване и проширене мерне несигурности. Приказана је могућност примене методе „Монте Карло” у прорачунима мерне несигурности. Указано је на значај уважавања мерне несигурности приликом давања изјаве о усаглашености и објашњено је на који начин се у дисертацији уважава несигурност мерења и прорачуна приликом доношења закључака о усаглашености с прописаним границама излагања становништва.

Предмет шестог поглавља је несигурност мерења јачине електричног поља у околини надземних водова. Разматране су компоненте мерне несигурности и извршене су идентификација и квантификација компонената за које је на основу искуства са великог броја мерења закључено да имају најзначајнији допринос проширеној мерној несигурности. Приказан је поступак одређивања грешке мерног система и дат је допринос квантификацији компоненте несигурности која потиче од утицаја присуства испитивача на резултате мерења електричног поља. Развијен је поступак за израчунавање компонената несигурности које су последица грешке позиционирања сонде за мерење јачине електричног поља у простору, у све три просторне координате, чије уважавање има велики значај када се врши поређење резултата мерења с резултатима прорачуна.

Предмет седмог поглавља представља несигурност мерења магнетске индукције у околини надземних водова. На основу искуства из праксе извршене су идентификација и квантификација компонената за које је утврђено да имају најзначајнији допринос укупној мерној несигурности. Приказан је поступак за одређивање грешке мерног система који је примењен приликом спровођења мерења у лабораторији. Применом поступка који је развијен и детаљно описан у шестом поглављу израчунате су компоненте несигурности које потичу од грешке позиционирања сонде за мерење магнетске индукције у простору, у све три просторне координате.

У осмом поглављу идентификоване су најзначајније компоненте несигурности прорачуна јачине електричног поља и развијене методе за њихово израчунавање, које се могу применити на надземне водове различитих напонских нивоа, геометрија и других релевантних карактеристика. Извршено је поређење резултата који се добијају применом две методе прорачуна које су описане у четвртном поглављу. Спроведена је детаљна анализа утицаја занемарења стварног облика проводника, тј. разлика у резултатима прорачуна које се јављају када се надземни вод моделује бесконачно дугачким праволинијским проводницима и када се у моделу уважи да проводници имају облик ланчанице. У случају када се уважава стварни облик проводника, разматрана је и грешка која се јавља када се занемари постојање суседних распона. Развијена је метода за израчунавање компоненте несигурности прорачуна која потиче од грешке мерења висина фазних и заштитних проводника и растојања између њих. Такође је развијена метода за израчунавање компоненте несигурности прорачуна која потиче од грешке мерења напона, која је последица грешке напонских мерних трансформатора. Наведене компоненте несигурности израчунате су за типичне преносне надземне водове напонских нивоа 110 kV, 220 kV и 400 kV, како би се олакшао и убрзао поступак израчунавања проширене несигурности прорачуна у пракси.

У деветом поглављу идентификоване су најзначајније компоненте несигурности прорачуна магнетске индукције и развијене методе за њихово израчунавање. Извршено је поређење резултата који се добијају применом две методе прорачуна које су описане у четвртном поглављу. Анализиран је утицај занемарења стварног облика проводника, као и утицај занемарења постојања суседних распона у случају када се уважава да проводници имају облик ланчанице. Применом методе за израчунавање компоненте несигурности прорачуна која потиче од грешке мерења висина фазних и заштитних проводника и растојања између њих, која је развијена у осмом поглављу, извршено је израчунавање ове компоненте несигурности прорачуна магнетске индукције за типичне конфигурације преносних надземних водова. Развијена је метода за израчунавање компоненте несигурности прорачуна магнетске индукције која потиче од грешке мерења струје, која је последица грешке струјних мерних трансформатора, и извршено је израчунавање ове компоненте несигурности прорачуна за типичне надземне водове.

У десетом поглављу је, на изабраним примерима, извршено поређење резултата мерења и прорачуна јачине електричног поља и магнетске индукције, уз уважавање несигурности мерења и прорачуна. Приказани су резултати израчунавања проширене несигурности мерења и прорачуна, при чему су уважене компоненте несигурности мерења и прорачуна које су израчунате у шестом, седмом, осмом и деветом поглављу. Такође су приказани резултати израчунавања проширене несигурности прорачуна који су добијени применом методе „Монте Карло“. Описано је како се упоређивање резултата јачине електричног поља и магнетске индукције добијених мерењем и прорачуном, с урачунатим проширеним несигурностима, може користити за обезбеђење валидности резултата приликом међулабораторијских поређења или интерних контрола резултата, као и за проверу коришћених мерних система.

У једанаестом поглављу развијена је методологија за оцену изложености људи електричном и магнетском пољу у околини надземних водова која се заснива на коришћењу резултата добијених мерењем и прорачуном. Применом развијене методологије долази се до поузданог и коначног закључка о изложености људи електричном и магнетском пољу у околини надземних водова и превазилазе се ограничења која се јављају када се за оцену изложености користе искључиво резултати добијени једном од наведене две методе. Примена развијене методологије приказана је на неколико реалних примера из праксе.

У завршном, дванаестом поглављу дати су закључци дисертације, приказане су предности развијене методологије за оцену изложености људи електричном и магнетском пољу, приказане су могућности примене добијених резултата у пракси и размотрени су правци даљег научноистраживачког рада.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација под насловом „Методологија за оцену изложености људи електричном и магнетском пољу надземних електроенергетских водова заснована на резултатима мерења и прорачуна” представља оригинални научноистраживачки рад, који је настао као резултат десетогодишњег рада кандидаткиње у области испитивања електромагнетских поља.

Тематика којом се ауторка бави у докторској дисертацији веома је актуелна не само у Републици Србији већ и у свету. Међународна комисија за заштиту од нејонизујућих зрачења – ICNIRP – објавила је 1998. године Препоруку за ограничавање излагања временски променљивим електричним, магнетским и електромагнетским пољима учестаности до 300 GHz. Циљ ове препоруке јесте да обезбеди смернице за ограничавање излагања становништва и радника електромагнетским пољима, које ће обезбедити заштиту од познатих штетних утицаја на здравље. Иако ова препорука није правно обавезујућа, она је представљала основ за усвајање других, правно обавезујућих докумената. Савет Европске уније је 1999. године усвојио Препоруку 1999/519/ЕС, која представља оквир за уједначенију заштиту становништва од нејонизујућег зрачења, којег би требало да се придржавају све земље Европске уније приликом усвајања националних прописа. Након усвајања ове препоруке, државе чланице Европске уније усвојиле су националне прописе којима су регулисале област изложености становништва електромагнетским пољима. Правна регулатива из области заштите становништва од нејонизујућег зрачења у Републици Србији усвојена је током 2009. године, када је донет Закон о заштити од нејонизујућег зрачења и шест пратећих правилника. Усвајање националних прописа у последњих двадесет година у многим земљама иницирало је низ студијских истраживања, као и публикување великог броја научних и стручних радова у часописима и на конференцијама. Усвајање поменутих прописа у великом броју земаља, као и публикување великог броја радова у међународним часописима, сведоче о савремености и актуелности проблематике која је предмет докторске дисертације.

Током десетогодишњег рада у области заштите од електромагнетских поља, кандидаткиња је, осим на студијским истраживањима, била ангажована и на великом броју испитивања, као и на изради преко 870 извештаја о испитивањима електромагнетских поља, од којих се највећи број односи на испитивања у околини надземних водова. У докторској дисертацији је развијена методологија за оцену изложености људи електричном и магнетском пољу надземних електроенергетских водова, која је настала као одговор на реалне проблеме на које је кандидаткиња наилазила у пракси, приликом доношења закључака о усаглашености нивоа поља са прописаним границама излагања. Развијена методологија представља оригинални научни допринос кандидаткиње у овој области, чији је циљ превазилажење проблема који се јављају када се за оцену изложености људи користе резултати добијени искључиво мерењем или прорачуном. Веома значајан оригинални допринос дисертације представља и израчунавање најзначајнијих компонената несигурности прорачуна, што је неопходно за примену развијене методологије у пракси. Да би резултати прорачуна били коришћени за оцену изложености људи, они морају бити исказани са придруженом проширеном несигурношћу. У радовима публикованим у доступној научној литератури презентовани су резултати добијени применом различитих метода прорачуна, при чему није разматрана несигурност тако добијених резултата, чиме се додатно потврђује оригиналност приступа примењеног у дисертацији.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације, кандидаткиња је детаљно истражила релевантну литературу из научне области која је предмет дисертације. Литература наведена у дисертацији броји 148 библиографских јединица, на основу чега се може закључити да је кандидаткиња остварила темељан увид у резултате досадашњих истраживања у предметној научној области. У оквиру наведене литературе налазе се и кандидаткињини радови који су публиковани у међународним и националним часописима и на конференцијама, а који су проистекли из рада на докторској дисертацији, или су у директној вези са темом дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Истраживање спроведено у дисертацији засновано је на теоријским и експерименталним методама које подразумевају мерења и прорачуне јачине електричног поља и магнетске индукције надземних електроенергетских водова. Метода мерења дефинисана је у важећим техничким стандардима. Мерења су спроведена на терену, у околини преносних надземних водова различитих напонских нивоа и карактеристика. Прорачуни јачине електричног поља и магнетске индукције који су спроведени у дисертацији засновани су на моделовању надземног електроенергетског вода и рачунарским симулацијама, при чему су коришћене две методе прорачуна. Прва метода се заснива на претпоставци да су проводници вода праволинијски и бесконачно дугачки, при чему се за прорачун магнетске индукције користи Био–Саваров закон, а за прорачун јачине електричног поља теорема ликова. Друга метода, на којој се заснива рад комерцијалног софтвера XGSLab, подразумева нумерички прорачун применом РЕЕС (енгл. *Partial Element Equivalent Circuit*) методе. У дисертацији су јасно истакнуте предности и недостаци примењених метода које се заснивају на мерењима и прорачунима. Развијена је методологија која се заснива на истовременом коришћењу резултата мерења и прорачуна, чиме се превазилазе наведена ограничења.

У дисертацији је такође приказана могућност примене методе „Монте Карло” за израчунавање несигурности мерења и прорачуна и дат је пример израчунавања проширене несигурности прорачуна применом ове методе.

Примењене методе су у потпуности примерене проблему који је решаван у дисертацији, што је довело до остварења постављених циљева дисертације.

3.4. Применљивост остварених резултата

У дисертацији је развијена методологија за оцену изложености људи електричном и магнетском пољу у околини надземних електроенергетских водова. Развијена методологија има велики практични значај, имајући у виду чињеницу да надземни електроенергетски водови представљају значајне изворе електричног и магнетског поља, због своје дужине, распрострањености и близине зонама повећане осетљивости. Применом развијене методологије превазилазе се ограничења која се јављају када се за оцену изложености људи користе искључиво резултати добијени мерењем или прорачуном. Развијена методологија се може применити код дистрибутивних и преносних, једносистемских и вишесистемских водова свих напонских нивоа, који се међусобно разликују у погледу геометрије и других релевантних карактеристика.

У дисертацији су такође извршене идентификација и квантификација најзначајнијих компонената мерне несигурности. Развијене су методе за израчунавање најзначајнијих компонената несигурности прорачуна, у које спадају компоненте које потичу од грешке мерења висине фазних и заштитних проводника и растојања између њих, као и грешке мерења напона и струја, и извршено је израчунавање ових компонената за типичне конфигурације преносних надземних водова напонских нивоа 110 kV, 220 kV и 400 kV.

Добијени резултати се могу користити у свим ситуацијама када је потребно формирање буџета несигурности мерења и прорачуна и израчунавање проширене несигурности, чиме се у пракси олакшава и убрзава наведени поступак.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидаткиње за самостални научни рад

Маја Грбић је током докторских студија, као и током целокупног досадашњег рада, показала све особине неопходне за самосталан научноистраживачки рад. У прилог томе сведочи и чињеница да је до сада публиковала укупно 56 радова, од којих 41 као први аутор. Као први аутор кандидаткиња је публиковала два рада у врхунским међународним часописима, 13 радова на реномираним међународним конференцијама, седам радова у националним часописима и 19 радова на националним конференцијама. Већину радова публикованих у зборницима с међународних и националних конференција, кандидаткиња је лично презентовала на поменутим скуповима.

Током досадашњег рада кандидаткиња је показала изражену склоност ка научном раду и способност за самосталан научни рад, почевши од систематичног прегледа доступне литературе, преко уочавања недостатака и ограничења постојећих метода, до развоја методологије која превазилази уочене недостатке. Научни рад кандидаткиње одликује темељан и систематичан приступ решавању научних проблема. Начин на који је написана докторска дисертација и научни доприноси који су у њој представљени потврђују спремност кандидаткиње за самосталан научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Најзначајнији научни доприноси коју су остварени у оквиру докторске дисертације огледају се у следећем:

- На основу искуства из праксе издвојене су компоненте несигурности резултата мерења јачине електричног поља и магнетске индукције у околини надземних електроенергетских водова које имају најзначајнији утицај на проширену мерну несигурност.
- Дат је допринос квантификацији компоненте несигурности мерења јачине електричног поља која потиче од присуства испитивача, у случају када се мерење изводи у близини преносних надземних водова.
- Развијена је метода за израчунавање компонената несигурности мерења јачине електричног поља и магнетске индукције која је последица грешке позиционирања мерних сонди у све три просторне координате.
- На основу искуства из праксе издвојене су компоненте несигурности резултата прорачуна јачине електричног поља и магнетске индукције у околини надземних електроенергетских водова које имају најзначајнији утицај на проширену несигурност прорачуна.
- Уведен је приступ израчунавању проширене несигурности прорачуна који, осим компонената несигурности које потичу од примењеног модела, уважава и компоненте несигурности које потичу од несигурности улазних података који се користе приликом прорачуна.
- Дат је допринос израчунавању компоненте несигурности прорачуна јачине електричног поља и магнетске индукције која потиче од занемарења стварног облика проводника вода.

- Развијена је метода за израчунавање компоненте несигурности прорачуна јачине електричног поља и магнетске индукције која потиче од грешке мерења висине фазних и заштитних проводника и растојања између њих.
- Развијена је метода за израчунавање компоненте несигурности прорачуна јачине електричног поља која потиче од грешке мерења напона, која је последица грешке напонских мерних трансформатора.
- Развијена је метода за израчунавање компоненте несигурности прорачуна магнетске индукције која потиче од грешке мерења струје, која је последица грешке струјних мерних трансформатора.
- Развијена је методологија за обезбеђење валидности резултата јачине електричног поља и магнетске индукције која се заснива на поређењу резултата мерења и прорачуна, уз уважавање проширених несигурности мерења и прорачуна.
- Развијена је методологија за оцену изложености људи електричном и магнетском пољу у околини надземних електроенергетских водова, која се заснива на истовременом коришћењу резултата мерења и прорачуна.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У дисертацији су издвојене компоненте несигурности резултата мерења јачине електричног поља и магнетске индукције у околини надземних електроенергетских водова, за које је на основу искуства из праксе утврђено да имају најзначајнији утицај на проширену мерну несигурност. Квантификација компоненте несигурности мерења јачине електричног поља која потиче од присуства испитивача заснована је на резултатима мерења која су спроведена у околини два преносна надземна вода различитих напонских нивоа, чиме је дат допринос тачнијем и поузданијем одређивању ове компоненте несигурности. Развијена је метода за израчунавање компоненте несигурности мерења јачине електричног поља и магнетске индукције која је последица грешке позиционирања мерних сонди у све три просторне координате. Појам несигурности услед грешке позиционирања мерне сонде спомиње се у стандарду који се уопштено бави свим изворима електромагнетског поља у опсегу 0–300 GHz, али детаљније разматрање и израчунавање ове компоненте несигурности за случај мерења у околини надземних водова није спроведено у постојећој научној литератури.

Посебан научни допринос дисертације представља идентификација компоненте несигурности резултата прорачуна јачине електричног поља и магнетске индукције надземних електроенергетских водова које имају најзначајнији утицај на проширену несигурност прорачуна и развој метода за израчунавање ових компоненти. У постојећој научној литератури из ове области приказани су резултати јачине електричног поља и магнетске индукције добијени прорачуном, при чему није разматрана несигурност овако добијених резултата. У постојећој литератури нису разматране компоненте несигурности прорачуна које потичу од несигурности познавања улазних података за прорачун, што је неопходно да би резултати прорачуна могли да буду коришћени за оцену изложености људи и поређење с прописаним границама излагања.

У дисертацији је развијена методологија за обезбеђење валидности резултата о јачини електричног поља и магнетске индукције, која се заснива на поређењу резултата мерења и прорачуна, уз уважавање проширених несигурности мерења и прорачуна. Поменути методологија се може применити приликом спровођења међулабораторијских поређења или интерних контрола резултата, при чему се, осим резултата мерења, у разматрање могу уврстити и резултати прорачуна. Приликом обраде резултата међулабораторијских поређења неопходно је да сваки резултат буде исказан с придруженом проширеном несигурношћу. Израчунавање проширене несигурности резултата прорачуна отвара могућност да се овако

добијени резултат користи приликом међулабораторијских поређења и упоређује са резултатима мерења, те да чак буде прихваћен као додељена вредност, тј. усвојена тачна вредност испитиване величине.

У дисертацији је развијена методологија за оцену изложености људи електричном и магнетском пољу у околини надземних електроенергетских водова, која се заснива на истовременом коришћењу резултата мерења и прорачуна. Методе мерења и прорачуна електричног и магнетског поља надземних водова познате су и примењују се у пракси независно једна од друге. Међутим, у постојећој литератури није дефинисано како се истовременим коришћењем ових метода могу превазићи недостаци и ограничења сваке од њих, ради добијања поузданог и коначног закључка о изложености људи. Такође, није наведено како се поступа у случају када се једном методом добија резултат који је у дозвољеним границама, а другом методом резултат који прекорачује прописану границу излагања, што је у дисертацији детаљно објашњено.

Сагледавањем постављених циљева истраживања, полазних хипотеза и остварених резултата, Комисија закључује да је кандидаткиња Маја Грбић успешно одговорила на сва релевантна питања из области која је предмет докторске дисертације. Комисија констатује да су научни доприноси остварени у докторској дисертацији објављени у врхунским међународним часописима *International Journal of Electrical Power and Energy Systems* и *Electric Power Systems Research*, категорије M21, чиме је потврђено да се истраживањима у оквиру дисертације дошло до нових сазнања и резултата који до сада нису били публиковани.

4.3. Верификација научних доприноса

Маја Грбић је објавила 56 радова, од којих 41 као првоименовани аутор. Од укупно 56 радова, 50 се односи на област електромагнетских поља. Као првоименовани аутор публиковала је два рада у врхунским међународним часописима категорије M21 и 13 радова у зборницима међународних конференција. Такође је публиковала 14 радова у националним часописима и 27 радова у зборницима скупова националног значаја.

Научни доприноси који представљају резултат истраживања у оквиру докторске дисертације публиковани су у два рада у врхунским међународним часописима, шест радова с међународних конференција, једном раду у националном часопису и 12 радова са скупова националног значаја. Списак наведених радова дат је у наставку.

Категорија M21:

- [1] **Maја Grbić**, Jovan Mikulović, Dragutin Salamon: “Influence of Measurement Uncertainty of Overhead Power Line Conductor Heights on Electric and Magnetic Field Calculation Results”, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2017, Vol. 98 (2018), pp. 167–175, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2017.11.038>. (IF = 3,289)
- [2] **Maја Grbić**, Dragutin Salamon, Jovan Mikulović: “Analysis of Influence of Measuring Voltage Transformer Ratio Error on Single-Circuit Overhead Power Line Electric Field Calculation Results”, *Electric Power Systems Research*, 2019, Vol. 166, pp. 232–240, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.10.001>. (IF = 2,856)

Категорија М33:

- [1] **Maја Grbić**, Aleksandar Pavlović, Branislav Vulević: “Interlaboratory Comparison of Measuring and Calculation Results of Electric Field Strength near 35 kV Overhead Power Line”, The 2nd International Conference on Radiation and Dosimetry in Various Fields of Research “RAD”, University of Niš, Faculty of Electronic Engineering, Niš, Republic of Serbia, May 27–30, 2014, pp. 255–258, ISBN 978-86-6125-101-6.
- [2] **Maја Grbić**, Aleksandar Pavlović: “Measurements and Calculations of Non-Ionizing Radiation Levels in the Vicinity of 35 kV Overhead Power Lines”, The 23rd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution – CIRED, Lyon, France, June 15–18, 2015, Paper No. 1540, ISSN: 2032-9644.
- [3] **Maја Grbić**, Dragana Naumović-Vuković, Aleksandar Pavlović: “Calibration of Magnetic Field Analyzer”, The 21st IMEKO World Congress “Measurement in Research and Industry”, IMEKO, Prague, Czech Republic, August 30 – September 4, 2015, pp. 663–666, ISBN: 978-80-01-05793-3.
- [4] **Maја Grbić**, Aleksandar Pavlović: “Determining the Zone of Influence of Transmission Overhead Power Lines from the Aspect of Non-Ionizing Radiation”, The 6th International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research “RAD”, University of Niš, Faculty of Electronic Engineering, Ohrid, Republic of Macedonia, June 18–22, 2018, RAD Conference Proceedings, vol. 3, pp. 52–57, ISSN 2466-4626 (online), DOI: 10.21175/RadProc.2018.11.
- [5] **Maја Grbić**, Aleksandar Pavlović: “Quantification of the Operator Proximity Effect on the Measurement Results of Electric Field Strength in the Vicinity of Overhead Power Lines”, The 6th International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research “RAD”, University of Niš, Faculty of Electronic Engineering, Ohrid, Republic of Macedonia, June 18–22, 2018, RAD Conference Proceedings, vol. 3, pp. 58–62, ISSN 2466-4626 (online), DOI: 10.21175/RadProc.2018.12.
- [6] **Maја Grbić**, Aleksandar Pavlović: “Zoning of Areas in the Vicinity of 110 kV, 220 kV and 400 kV Single-Circuit Overhead Power Lines from an Aspect of the Non-Ionizing Radiation”, International Conference Energy and Ecology Industry, Academy of Engineering Sciences of Serbia (AESS), Belgrade, Republic of Serbia, October, 10–13, 2018, Conference Proceedings, vol. 1, pp. 227–234, ISBN: 978-86-7466-751-4.

Категорија М53:

- [1] **Maја Grbiћ**, Aleksandar Pavloviћ: „Meђулабораторијско поређење резултата мерења магнетске индукције надземног вода напонског нивоа 400 kV”, Зборник радова, Електротехнички институт „Никола Тесла”, Београд, 2012. година, књига 22, стр. 209–221, ISSN 0350-8528, УДК: 621.317.42, DOI: 10.5937/zeint22-2336.

Категорија М63:

- [1] **Maја Grbiћ**, Aleksandar Pavloviћ: „Мерна несигурност при мерењу електричног и магнетног поља индустријске учестаности”, 30. саветовање CIGRE Србија, Српски национални комитет Међународног савета за велике електричне мреже, Златибор, Република Србија, 29. 5. – 3. 6. 2011. године, Зборник радова, РЦ4 07, ISBN: 978-86-82317-69-2.

- [2] **Маја Грбић**, Александар Павловић, Милица Таушановић, Владимир Шиљкут: „Нивои нејонизујућих зрачења надземних и кабловских водова напонског нивоа 35 kV”, VIII саветовање о електродистрибутивним мрежама Србије са регионалним учешћем, Национални комитет CIRED Србија, Врњачка Бања, Република Србија, 23–28. 9. 2012. године, Зборник радова, Р-1.13, ISBN: 978-86-83171-17-0.
- [3] **Маја Грбић**, Александар Павловић, Бранислав Вулевић, Чедомир Белић: „Међулабораторијско поређење резултата мерења магнетске индукције дистрибутивног надземног вода”, VIII саветовање о електродистрибутивним мрежама Србије са регионалним учешћем, Национални комитет CIRED Србија, Врњачка Бања, Република Србија, 23–28. 9. 2012. године, Зборник радова, Р-1.14, ISBN: 978-86-83171-17-0.
- [4] **Маја Грбић**, Драгутин Саламон, Јован Микуловић: „Анализа утицаја геометрије надземног вода на расподелу јачине електричног поља”, 31. саветовање CIGRE Србија, Српски национални комитет Међународног савета за велике електричне мреже, Златибор, Република Србија, 26–30. 5. 2013. године, Зборник радова, Р Ц4 08, ISBN: 978-86-82317-72-2.
- [5] **Маја Грбић**: „Нејонизујуће зрачење у околини надземних електроенергетских водова: прописи, начини испитивања, нивои и мере заштите”, „Заштита животне средине и одрживи развој – енергетика и рударство 2015”, 3. саветовање са међународним учешћем, Привредна комора Србије, Златибор, Република Србија, 2–5. 3. 2015. године, Зборник радова, стр. 86–94, ISBN: 978-86-80809-96-0.
- [6] **Маја Грбић**, Бранислав Јелкић: „Анализа нивоа нејонизујућих зрачења у околини надземних водова на различитим висинама изнад тла”, 32. саветовање CIGRE Србија, Српски национални комитет Међународног савета за велике електричне мреже, Златибор, Република Србија, 17–21. 5. 2015. године, Зборник радова, Р Ц4 10, ISBN: 978-86-82317-77-7.
- [7] **Маја Грбић**, Драгутин Саламон: „Упоредна анализа нивоа нејонизујућих зрачења у околини два једнострука и једног двоструког 400 kV надземног вода и избор оптималног решења”, 32. саветовање CIGRE Србија, Српски национални комитет Међународног савета за велике електричне мреже, Златибор, Република Србија, 17–21. 5. 2015. године, Зборник радова, Р Ц4 11, ISBN: 978-86-82317-77-7.
- [8] Александар Павловић, **Маја Грбић**, Дејан Хрвић, Момчило Петровић, Милица Јовановић, Бранислав Вулевић: „Одређивање зоне утицаја нејонизујућих зрачења у околини надземних електроенергетских водова”, „Заштита животне средине и одрживи развој – енергетика и рударство 2016”, 4. саветовање са међународним учешћем, Привредна комора Србије, Дрвенград, Република Србија, 1–3. 3. 2016. године, Зборник радова, стр. 136–140.
- [9] Бранислав Вулевић, **Маја Грбић**: „Испитивање нивоа електричних и магнетских поља ниских учестаности: један пример одређивања мерне несигурности”, X јубиларно саветовање о електродистрибутивним мрежама Србије са регионалним учешћем, Национални комитет CIRED Србија, Врњачка Бања, Република Србија, 26–30. 9. 2016. године, Зборник радова, И-1.28, ISBN: 978-86-83171-20-0.
- [10] Александар Павловић, **Маја Грбић**, Милица Јовановић, Сандра Петровић, Дејан Хрвић, Бранислав Вулевић: „Испитивања електричних и магнетских поља у околини надземних електроенергетских водова”, „Заштита животне средине и одрживи развој – енергетика и рударство 2017”, 5. саветовање са међународним учешћем, Привредна комора Србије, Тара, Република Србија, 15–17. 3. 2017. године, Зборник радова, стр. 81–87, ISBN: 978-86-80420-12-7.

- [11] Александар Павловић, **Маја Грбић**, Милиша Јовановић, Сандра Петровић: „Поступак доказивања усаглашености са прописаним границама излагања становништва нејонизујућим зрачењима у околини преносних надземних електроенергетских водова”, „Заштита животне средине и одрживи развој – енергетика и рударство 2018”, 6. саветовање са међународним учешћем, Привредна комора Србије, Сремски Карловци, Република Србија, 28–30. 3. 2018. године, Зборник радова, стр. 64–67, ISBN: 978-86-80420-16-5.
- [12] **Маја Грбић**, Александар Павловић: „Утицај граница излагања становништва електричном и магнетском пољу на пројектовање и изградњу преносних надземних водова”, 6. саветовање Црногорског комитета CIGRE, Црногорски национални комитет Међународног савета за велике електричне мреже, Бечићи, Црна Гора, 14–17. 5. 2019. године, Зборник радова, Р Ц4 14.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидаткиње Маје Грбић под насловом „Методологија за оцену изложености људи електричном и магнетском пољу надземних електроенергетских водова заснована на резултатима мерења и прорачуна” у целини је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме и испуњава све суштинске и формалне услове предвиђене Законом о високом образовању, као и прописима Универзитета у Београду и Електротехничког факултета.

У дисертацији је развијена методологија за оцену изложености људи електричном и магнетском пољу у околини надземних електроенергетских водова која се заснива на резултатима добијеним мерењем и прорачуном и коришћењу предности оба приступа, с циљем доношења поузданог и коначног закључка о усаглашености нивоа поља са прописаним границама излагања. Развијена методологија, осим научног, има и велики практични значај и доприноси поузданој оцени изложености становништва електромагнетским пољима. У дисертацији је развијена метода за израчунавање компонената несигурности прорачуна које потичу од грешке мерења висине фазних и заштитних проводника и растојања између њих, грешке мерења напона и струја, као и грешке услед занемарења стварног облика проводника надземног вода, а добијени резултати су публиковани у два рада у врхунским међународним часописима. Такође је дат допринос одређивању компонената мерне несигурности које потичу од грешке позиционирања мерне сонде и компоненте несигурности мерења електричног поља услед присуства испитивача.

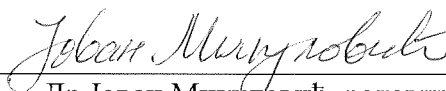
Докторска дисертација кандидаткиње Маје Грбић представља резултат десетогодишњег истраживачког рада у области електромагнетских поља ниских учестаности. Маја Грбић је објавила 56 радова, од којих 41 као првоименовани аутор, при чему се од укупног броја објављених радова 50 односи на област електромагнетских поља. Научне доприносе који представљају резултат истраживања у оквиру докторске дисертације кандидаткиња је публиковала у два рада у врхунским међународним часописима и шест радова са међународних конференција, чији је први аутор, као и у једном раду у националном часопису и 12 радова са скупова националног значаја. На основу увида у докторску дисертацију и објављене радове кандидаткиње, Комисија закључује да докторска дисертација представља оригиналан и савремен научни допринос.

Током израде докторске дисертације, као и током целокупног трајања докторских студија, кандидаткиња Маја Грбић је показала изражену склоност ка научноистраживачком раду и способност за самосталан научноистраживачки рад. Комисија констатује да је кандидаткиња Маја Грбић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, испунила све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Имајући у виду наведено, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Методологија за оцену изложености људи електричном и магнетском пољу надземних електроенергетских водова заснована на резултатима мерења и прорачуна” кандидаткиње **Маје Грбић** прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 24. 05. 2021. године.

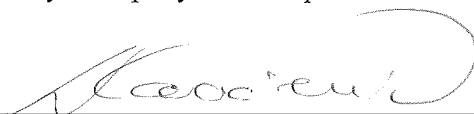
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



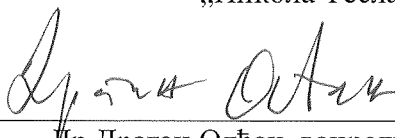
Др Јован Микуловић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



Др Жељко Ђурић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



Др Драган Ковачевић, научни саветник
Универзитет у Београду – Електротехнички институт
„Никола Тесла”



Др Драган Олђан, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

