

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Саобраћајни факултет

САОБРАЋАЈНИ ФАКУЛТЕТ УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ			
ПРИМЉЕНО:		04 JUN 2018	
Срп Јед	Број	Прилог	Презимет
	321/5		

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Јасне Марковић-Петровић, дипл. инж. електротехнике

Одлуком бр. 321/4 од 17.04.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **мр Јасне Марковић-Петровић**, дипл. инж. електротехнике под насловом

Процена безбедносног ризика у индустријским системима даљинског управљања

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

- 21.09.2011. На Електротехничком факултету Универзитета у Београду, кандидат мр Јасна Марковић-Петровић одбранила је магистарску тезу, под називом „Принципи пројектовања мултисервисних IP мрежа у електропривреди“, и тиме стекла академски назив магистра електротехничких наука.
- 13.01.2014. Кандидат мр Јасна Марковић-Петровић поднела је пријаву и предлог теме докторске дисертације Наставно-научном већу Саобраћајног факултета (број 25/1), уз захтев да се спроведе поступак за оцену подобности кандидата и предложене теме и за ментора предложила др Мирјану Стојановић, ванредног професора Саобраћајног факултета Универзитета у Београду.
- 19.02.2014. На седници Наставно-научног већа Саобраћајног факултета донета је одлука (број 25/3) о формирању Комисије за оцену подобности кандидата и теме за израду докторске дисертације кандидата мр Јасне Марковић-Петровић у саставу:
1. Ментор, др Мирјана Стојановић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет
 2. Др Миодраг Бакмаз, редовни професор, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет
 3. Др Валентина Радојичић, редовни професор, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет
 4. Др Андреја Самчовић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет
 5. Др Нинел Чукалевски, научни саветник, Универзитет у Београду – Институт „Михајло Пупин“

- 14.03.2014. Комисија за оцену подобности кандидата и теме докторске дисертације је поднела извештај (број 25/4) и предложила Наставно-научном већу Саобраћајног факултета да прихвати и одобри израду докторске дисертације.
- 26.03.2014. На седници Наставно-научног већа Саобраћајног факултета позитивно је оцењена научна заснованост и подобност кандидата и прихваћена је предложена тема за израду докторске дисертације (одлука број 25/5).
- 12.05.2014. На захтев Саобраћајног факултета, Веће научних области техничких наука, на својој седници, донело је одлуку (број 61206-1784/2014) о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације кандидата мр Јасне Марковић-Петровић.
- 29.03.2018. Кандидат мр Јасна Марковић-Петровић предала је неукоричене примерке завршене докторске дисертације и поднела захтев Наставно-научном већу Саобраћајног факултета да отпочне поступак за оцену и одбрану докторске дисертације (број 321/1).
- 17.04.2018. На седници Наставно-научног већа Саобраћајног факултета донета је одлука (број 321/4) о формирању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације, у саставу:
1. Ментор, др Мирјана Стојановић, редовни професор, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет
 2. Др Миодраг Бакмаз, редовни професор, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет
 3. Др Валентина Радојичић, редовни професор, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет
 4. Др Андреја Самчовић, редовни професор, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет
 5. Др Нинел Чукалевски, научни саветник, Универзитет у Београду – Институт „Михајло Пупин“

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под називом „Процена безбедносног ризика у индустријским системима даљинског управљања“ припада ужој научној области „Информационо-комуникационе технологије“, за коју је матичан Саобраћајни факултет Универзитета у Београду.

Ментор на изради докторске дисертације је др Мирјана Стојановић, редовни професор на Катедри за телекомуникациони саобраћај и мреже Саобраћајног факултета Универзитета у Београду. Научно-истраживачки рад проф. др Мирјане Стојановић обухвата телекомуникационе системе и мреже, дизајн и анализу телекомуникационих протокола, као и системе за надзор и управљање телекомуникационим мрежама. Као аутор или коаутор објавила је 160 публикација, од тога 10 радова у часописима са JCR листе, 5 поглавља у тематским зборницима међународног значаја, једну научну монографију националног значаја, 18 радова у часописима националног значаја и 126 радова на међународним и домаћим научним и стручним скуповима.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Јасна Д. Марковић-Петровић рођена је 4. јула 1968. године у Неготину. Основну школу завршила је у Неготину, а гимназију у Београду као носилац Вукових диплома. Електротехнички факултет Универзитета у Београду уписала је 1987. године. Дипломирала је на Профилу Електроника и телекомуникације са просечном

оценом 9,26. Дипломски рад, са темом „Примена виших програмских језика у телекомуникацијама“, одбранила је 1992. године, са оценом 10. Последипломске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, смер Дигитални пренос података, уписала је 1993. године. Положила је испите предвиђене наставним планом и програмом са просечном оценом 10. Магистарску тезу, под називом „Принципи пројектовања мултисервисних IP мрежа у електропривреди“, одбранила је 21. септембра 2011. године и тиме стекла звање магистра електротехничких наука.

Прво запослење мр Јасне Марковић-Петровић било је у институту ИРИТЕЛ, 1993. године, на пословима развоја оперативног система за чворну телефонску централу.

Од јуна 1993. године запослена је у ЈП Електропривреда Србије, у Огранку ХЕ Ђердап. У периоду 1993–2007. године била је распоређена на радна места: Инжењер за информатику, Самостални инжењер за информатику и Водећи инжењер за информатику, а затим на радна места: Руководилац Техничке службе (2007–2009. године) и Заменик директора ХЕ „Ђердап 2“ за производњу (2009–2013. године). Тренутно обавља послове Водећег инжењера за информатику.

Руководила је развојем и модернизацијом више телекомуникационих, информационих, мерних и контролно-управљачких система, који су од интереса за производњу електричне енергије: имплементација и одржавање система за даљински надзор и управљање; успостављање Техничког система управљања; успостављање и одржавање система за мерење електричне енергије; изградња и одржавање телекомуникационе мреже; имплементација пословног информационог система; имплементација и одржавање система за контролу приступа и евиденцију присуства запослених; руковођење реализацијом пројекта модернизације система за даљински надзор и управљање и централне команде; руковођење реализацијом пројекта телекомуникационог повезивања електрана ХЕ „Ђердап 2“ и *Portile de Fier II* (Румунија). Била је председник Тима за опоравак пословног континуитета у ХЕ „Ђердап 2“ у оквиру система за управљање безбедношћу информација. Учествовала је у раду тима за дефинисање Производно техничког информационог система у ЈП Електропривреда Србије (ПРОТИС). Такође је била члан више Стручних савета формираних у ЈП Електропривреда Србије и ХЕ Ђердап. Похађала је бројне специјалистичке курсеве, који се односе на базе података, програмирање и процесно управљање.

Члан је Студијског комитета Д2 (Информациони системи и телекомуникације) у српском националном комитету CIGRÉ – „CIGRÉ Србија“.

Као аутор или коаутор објавила је 18 публикација, од тога један рад у часопису са JCR листе и 17 радова на међународним и домаћим научним и стручним скуповима.

Била је рецезент научно-стручних радова у домаћем часопису *Техника* и поглавља у тематском зборнику међународног значаја: *Encyclopedia of Information Science and Technology*, M. Khosrow-Pour (ed.), IGI Global, 2016.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Дисертација под насловом „Процена безбедносног ризика у индустријским системима даљинског управљања“ мр Јасне Марковић-Петровић написана је латиничним писмом на 129 страна куцаног текста на српском језику и садржи 48 слика и 25 табела. По форми и структури одговара Упутству за обликовање докторске дисертације и

Упутству за формирање репозиторијума докторских дисертација Универзитета у Београду од 20. јуна 2016. године. Садржи насловну страну на српском и енглеском језику, страну са подацима о ментору и члановима комисије, резиме на српском и енглеском језику са кључним речима и библиографским референцама (научна област, ужа научна област и одговарајући број према универзалној децималној класификацији), а затим садржај, спискове слика и табела, као и списак коришћених скраћеница и ознака.

Докторска дисертација садржи осам поглавља, под следећим називима:

1. Увод
2. Безбедност индустријских система даљинског управљања
3. Преглед литературе и анализа актуелних проблема истраживања
4. Анализа перформанси система даљинског управљања у условима симултаних, дистрибуираних напада на инфраструктуру IP мреже
5. Предлог квантитативних параметара и метода процене безбедносног ризика у индустријским системима даљинског управљања
6. Верификација предложених метода
7. Предлог мера за ограничавање безбедносног ризика
8. Закључна разматрања

У наставку дисертације су списак коришћене литературе и биографија аутора. На крају дисертације дати су Прилози прописани Упутством за формирање репозиторијума докторских дисертација Универзитета у Београду који садрже потписане изјаве о ауторству, истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и начину коришћења докторске дисертације.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу докторске дисертације приказани су проблеми безбедности индустријских система даљинског управљања који су део критичне инфраструктуре. Ови проблеми су актуелни због повезивања мрежа SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) система са мрежама других информационих и комуникационих система који су повезани на Интернет, применом стандардних протокола, као и омогућавањем удаљеног приступа. Указано је на неопходност имплементације процеса управљања безбедносним ризиком у различитим фазама животног циклуса индустријског система даљинског управљања. Процена безбедносног ризика, која је најзначајнији део овог процеса, треба да омогући стратегију о поступању са ризиком, доношење одлуке о исплативој инвестицији у механизме заштите и дефинисање прихватљивог нивоа ризика. Из тога је проистекла мотивација за избор теме докторске дисертације, јер традиционални методи процене безбедносног ризика нису адекватни за примену у индустријским системима даљинског управљања због њихове специфичности у аспектима расположивости, захтева за квалитет сервиса и примењених протокола. Поглавље садржи и полазне хипотезе, као и преглед научних метода истраживања.

У другом поглављу анализирана је безбедност SCADA система. Прво су приказане основне карактеристике и структура SCADA система, са нагласком на разлоге за угрожену безбедност ових система. У наставку поглавља приказана је класификација напада на инфраструктуру информационих и комуникационих система. Посебна пажња посвећена је нападима који су специфични за SCADA системе, као и ресурсима и мотивима потцејалних извршилаца напада. Преглед неких успешно изведених напада на инфраструктуру SCADA система илуструје разноврсност метода, намера као

и група нападача. С обзиром да су у дисертацији анализирани инфраструктурни DDoS (*Distributed Denial of Service*) напади, препоручена је имплементација система за детекцију и превенцију напада (IDPS – *Intrusion Detection and Prevention System*). Технологије ових система, са посебно истакнутим специфичностима примене у индустријским системима даљинског управљања, приказане су на крају поглавља.

У трећем поглављу детаљно је приказан процес управљања безбедносним ризиком, а посебно је анализиран поступак процене ризика. У наставку поглавља дат је опсежан преглед литературе која је класификована у три групе. У прву групу убрајају се стандарди и препоруке за управљање безбедносним ризиком који су релевантни за SCADA системе. Другом групом обухваћени су методи за процену безбедносног ризика у информационим и комуникационим системима опште намене, а посебно је анализирана њихова применљивост у индустријским системима даљинског управљања. Трећу, најважнију групу чини литература у којој су предложени методи намењени за процену безбедносног ризика SCADA система. Овом групом је обухваћено 28 метода, а упоредна анализа указује на релације између метода са аспекта модела ризика, предложених механизма заштите, области примене и евалуације метода.

Четврто поглавље посвећено је анализи перформанси система даљинског управљања у условима симултаних, дистрибуираних напада на инфраструктуру мреже SCADA система која је заснована на технологији Интернет протокола. Анализиране су перформансе (расположивост, кашњење, проценат изгубљених пакета, оптерећење процесорских ресурса) оперативног сервиса даљинског управљања у условима DDoS напада. Развијен је симулациони модел SCADA система хидроелектране која је повезана са корпоративном мрежом која има везу ка Интернету. Симулацијом је обухваћена израда тополошког модела мреже и модела саобраћаја, а симулиран је напад на инфраструктуру SCADA система. Резултати симулације указују на деградацију перформанси која се манифестује кроз увећани степен искоришћења процесора и степен одбачених пакета, као и повећано кашњење пакета корисног саобраћаја у чвору жртве напада. Крајњи исход је ускраћивање услуга оперативног сервиса даљинског управљања.

У петом поглављу предложена су два метода за процену безбедносног ризика у индустријским системима даљинског управљања. Методи подразумевају низ активности у циљу анализе и процене безбедносног ризика. Предложени методи су засновани на чињеници да је ризик сразмеран губицима који су последица сајбер напада на инфраструктуру индустријског система даљинског управљања. У циљу мерења утицаја сајбер напада потребно је идентификовати и дефинисати кључне показатеље учинка у складу са циљевима пословања и услове који утичу на степен губитака услед реализованог напада. У овом поглављу предложен је начин избора ових квантитативних параметара и поступак одређивања њихове вредности. Предложена су два метода: (1) основни метод у коме се квантитативни параметари одређују на основу статистичке анализе релевантних архивираних величина и (2) хибридни метод у коме се квантитативни параметри осим статистичком анализом архива одређују и на основу мишљења релевантних стручњака. У зависности од примене метода предложена су два начина изражавања мере ризика, квалитативно и монетарно. Завршна фаза метода је избор механизма заштите и *cost/benefit* анализа имплементације контролних мера на основу процењене мере ризика.

У шестом поглављу приказани су резултати верификације предложених метода у две студије случаја. Прва студија случаја претпоставља примену метода у проточној хидроелектрани. Анализирана је примена основног метода, а на основу добијених параметара одређена је мера ризика и спроведена *cost/benefit* анализа за предложене

механизме заштите. На истом примеру примењен је и хибридни метод. Утицај субјективне компоненте утврђен је компаративном анализом резултата оба метода. У другој студији случаја симулирана је примена метода у транспортном систему природног гаса, чији је модел предложен у стручној литератури. Метод је примењен у фази пројектовања система за даљинско управљање, када архиве релевантних мерених величина нису расположиве. Примењена је само фаза у којој се квантитативни параметри одређују на основу мишљења стручњака.

Седмо поглавље посвећено је ограничавању безбедносног ризика у индустријским системима даљинског управљања и предлогом адекватних мера. Прво је приказана архитектура SCADA система са аспекта безбедности у складу са *Defense-in-Depth* стратегијом. У наставку су предложене четири категорије мера за ограничење безбедносног ризика.

Осмо поглавље обухвата закључна разматрања, као и правце могућег будућег истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација посвећена је врло актуелној проблематици безбедности индустријских система даљинског управљања. Ови системи управљају у реалном времену процесном опремом смештеном на већем броју географски дистрибуираних локација. У широкој употреби су у индустријском сектору, првенствено у производњи, преносу и дистрибуцији електричне енергије, саобраћају и транспорту, индустрији нафте и гаса, водопривреди, као и у другим гранама индустрије. Индустријски системи даљинског управљања су од виталног значаја за функционисање критичне инфраструктуре, тако да откази и неисправан рад могу проузроковати озбиљне последице због њихове незаменљиве улоге у светској привреди.

Развој SCADA система почео је пре употребе Интернета, а мере безбедности су се зазвивале на заштити од физичког приступа рачунарима система. Током последњих двадесет година, повећали су се број и врсте конекција на SCADA системе, као и коришћење технологија заснованих на Интернету. За разлику од првобитно коришћених, наменских/произвођачких, данас су у употреби стандардизовани протоколи. Таква тенденција ће се сигурно наставити с обзиром на потребу стандардизације система, пре свега са аспекта приступа, прикупљања и обраде података. Развој се додатно убрзава применом концепције паметних мрежа (*smart grid*), увођењем концепата вештачке интелигенције/машинског учења и сложених система даљинског надзора, све већег броја удаљених корисника, појаве нових мобилних уређаја, као и коришћења јавних и приватних *cloud computing* сервиса. Истовремено се повећава број и разноврсност напада на телекомуникационе мреже система даљинског управљања. Као последица, SCADA системи су у много већој мери изложени претњама, што потврђују регистровани сајбер напади на индустријске системе даљинског управљања.

Примена конвенционалних механизма заштите није увек добро решење за SCADA системе, јер се захтеви у аспектима поузданости, квалитета сервиса и примењених информационих и комуникационих технологија разликују за пословне информационе и SCADA системе. Узимајући у обзир евидентну потребу за имплементацијом специфичних механизма заштите у мрежи индустријских система даљинског управљања, пожељно је да се, при пројектовању безбедносних система и касније у току

експлоатације, изврши процена безбедносног ризика, са циљем да се одреди рационалан ниво улагања у заштиту.

Из свега наведеног произилази да је заштита индустријских система даљинског управљања и процена њихове безбедности актуелна област истраживања у којој се очекују конкретна и унапређена решења процеса управљања безбедносним ризиком.

Предмет проучавања ове докторске дисертације управо је безбедност индустријских система даљинског управљања, анализа рањивости на инфраструктурне нападе, анализа механизма заштите од ове врсте напада, са нагласком на процену безбедносног ризика и избор рационалног решења заштите. Стога се ова дисертација бави једним од врло значајних истраживачких проблема у области информационих и комуникационих технологија.

На основу свега наведеног, истраживање и резултати приказани у докторској дисертацији кандидата мр Јасне Марковић-Петровић представљају значајан и применљив допринос управљању безбедносним ризиком у индустријским системима даљинског управљања.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Референтна литература је из области безбедности SCADA система, IDPS технологија и анализе напада који проузрокују одбијање сервиса (DDoS).

Списак литературе који је наведен у дисертацији садржи 110 библиографских јединица. Коришћена литература показује да је кандидат мр Јасна Марковић-Петровић детаљно анализирао и коректно навела референце на радове који су у вези са темом дисертације. Највећи број референци односи се на методе процене безбедносног ризика у пословним, а пре свега у индустријским системима даљинског управљања. Поред већег броја недавно објављених радова из високо реномираних часописа, коришћена литература обухвата и стандарде који се односе на управљање безбедносним ризиком, као и студије и извештаје међународних организација чији је рад усмерен на безбедност индустријских система даљинског управљања.

Дисертација садржи свеобухватни приказ, анализу и критички осврт на коришћену литературу. Списак литературе садржи 10 ауторских и коауторских радова мр Јасне Марковић-Петровић, у којима су презентовани оригинални резултати научно-истраживачког рада из кога је проистекла ова докторска дисертација.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

При изради докторске дисертације коришћени су поред општих метода научно истраживања и класични методи прикупљања, систематизације и компаративне анализе при прегледу и класификацији до сада формулисаних и у пракси примењених резултата. У циљу анализе перформанси система даљинског управљања у условима инфраструктурних напада коришћен је метод рачунарске симулације којим је развијен симулациони модел. У поступку дефинисања и верификације метода процене безбедносног ризика коришћени су методи статистичке анализе, израда модела и студија случаја.

Узимајући у обзир остварене резултате, закључује се да примењени научни методи представљају адекватан избор, одговарају по значају, структури и примени теми докторске дисертације и представљеном истраживању.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати докторске дисертације, поред научне вредности, имају и практичну примену. Практична примена метода за процену безбедносног ризика у индустријским системима даљинског управљања огледа се у могућности њихове имплементације у процес управљања ризиком са циљем избора ефикасних механизма заштите мреже од инфраструктурних напада. Такође, метод естимације заснован на субјективном мишљењу стручњака применљив је и у фази пројектовања мреже, када архивски подаци нису расположиви. У дисертацији су приказане две студије случаја у различитим секторима критичне инфраструктуре (електропривреда, саобраћај и транспорт), а примена метода у погледу процене нивоа ризика и *cost/benefit* анализа нису ограничене само на те гране индустрије, већ су методи генерално применљиви у свим гранама индустрије у којима је имплементиран систем даљинског управљања.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације кандидат мр Јасна Марковић-Петровић стекла је значајно истраживачко и практично искуство и показала самосталност почевши од избора, систематичног прегледа актуелне литературе и критичког осврта на постојеће методе процене безбедносног ризика, па до развоја симулационог модела за анализу перформанси система даљинског управљања у условима напада на инфраструктуру мреже са технологијом Интернет протокола и развоја оригиналних метода процене безбедносног ризика у индустријским системима даљинског управљања. На основу рада са кандидатом, као и на основу анализе докторске дисертације и верификације остварених резултата истраживања, Комисија сматра да је мр Јасна Марковић-Петровић несумњиво показала способност за самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

На основу прегледа докторске дисертације кандидата мр Јасне Марковић-Петровић, Комисија сматра да су остварени следећи оригинални научни доприноси:

- Развој симулационог модела SCADA мреже интегрисане у корпоративну телекомуникациону мрежу, намењеног за анализу перформанси сервиса даљинског управљања у условима дистрибуираних инфраструктурних напада на мрежу SCADA система.
- На развијеном моделу утврђен је степен деградације кључних перформанси (расположивост, кашњење, проценат изгубљених пакета, оптерећење процесорских ресурса) у различитим условима дистрибуираних напада на информациони и комуникациони систем за подршку даљинског управљања.
- Дефинисање нових параметара безбедносног ризика, заснованих на учестаности дистрибуираних напада и њиховом утицају на кључне перформансе система.
- Предлог и евалуација два оригинална метода процене безбедносног ризика у индустријским системима даљинског управљања, заснованог на претходно дефинисаним квантитативним параметрима ризика:
 - Први, основни, метод заснива се на идентификовању услова који утичу на индиректне губитке услед напада на инфраструктуру индустријског система даљинског управљања и статистичкој анализи архивских података из SCADA система, који су релевантни за препознате услове у циљу квантификације губитака.

- Други, хибридни метод, поред статистичке анализе архивираних вредности, узима у обзир субјективно мишљење релевантних стручњака из различитих сфера индустријског система даљинског управљања. Предност овог метода огледа се у могућности примене у условима када нису расположиви историјски подаци.
- Евалуација предложених метода извршена је помоћу студија случаја SCADA система у различитим индустријским секторима.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Резултати проистекли из дисертације представљају значајан допринос управљању ризиком у смислу унапређења процене безбедносног ризика индустријских система даљинског управљања.

Предложени методи процене безбедносног ризика су оригинални и ефикасни у погледу начина изражавања мере ризика, *cost/benefit* анализе и избора рационалних механизма заштите. Резултати студија случаја су показали да су методи погодни за идентификацију рањивости система, као и да су практични и применљиви у различитим индустријским секторима. На крају, показало се да су методи ефикасни у процени мере безбедносног ризика од инфраструктурног напада и процени исплативости улагања у побољшање безбедности информационе инфраструктуре посматраног SCADA система. Студија случаја у магистралном гасоводу показала је да је метод применљив у фази пројектовања система, када архиве са релевантним подацима нису доступне.

Узимајући у обзир полазне претпоставке, постављене циљеве и предмет истраживања, Комисија сматра да резултати остварени у докторској дисертацији дају одговоре на питања постављена током истраживања и да представљају оригиналан и савремен приступ.

4.3. Верификација научних доприноса

Остварени научни доприноси у оквиру ове докторске дисертације верификовани су објављивањем 10 публикација, и то једним радом у међународном часопису са JCR листе и 9 радова на међународним и домаћим, научним и стручним скуповима. Научни доприноси дисертације верификовани су објављивањем следећих радова:

Категорија M23:

- [1] **Markovic-Petrovic, J. D.**, Stojanovic, M. D.: An Improved Risk Assessment Method for SCADA Information Security, *-Elektronika ir Elektrotehnika*, vol. 20, no. 7, pp. 69-72, September 2014. ISSN (print) 1392-1215, ISSN (online) 2029-5731. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.eee.20.7.8027>. **IF₂₀₁₄=0.561**.

Категорија M33:

- [2] **Markovic-Petrovic, J.**, Stojanovic, M.: „A Hybrid Security Risk Assessment Method for SCADA Networks“, *-Proceedings of the 6th International Symposium on Industrial Engineering (SIE 2015)*, Belgrade, Serbia, 24-25 September, 2015, pp. 57–60. ISBN 978-86-7083-864-2. <http://ie.mas.bg.ac.rs/sie2015/>.

- [3] **Markovic-Petrovic, J.**, Stojanovic, M.: „Analysis of SCADA System Vulnerabilities to DDoS Attacks“, -*Proceedings of the 2013 11th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite Cable and Broadcasting Services - TELSIKS 2013*, vol. 2, pp. 591–594, Niš, 16-19 October 2013. ISBN 978-86-6125-091-0, 978-1-4799-0899-8. <http://dx.doi.org/10.1109/TELSKS.2013.6704448>.

Категорија М61:

- [4] Стојановић, М., Боштјанчич Ракас, С., **Марковић–Петровић, Ј.**: „SCADA системи у *cloud* окружењу“, - *Зборник радова XXXV Симпозијума о новим технологијама у поштанском и телекомуникационом саобраћају – ПОСТЕЛ 2017*, Београд, 5-6. децембар, 2017., стр. 181-190. ISBN 978-86-7395-384-7.
- [5] Стојановић, М., **Марковић–Петровић, Ј.**: „IDPS технологије у индустријским системима даљинског управљања“, - *Зборник радова XXXII Симпозијума о новим технологијама у поштанском и телекомуникационом саобраћају – ПОСТЕЛ 2014*, Београд, 2-3. децембар, 2014., стр. 235-246. ISBN 978-86-7395-328-1.
- [6] Стојановић, М., **Марковић–Петровић, Ј.**: „Принципи реализације IP мрежа за подршку даљинског управљања електроенергетским објектима“, - *Зборник радова XXXI Симпозијума о новим технологијама у поштанском и телекомуникационом саобраћају – ПОСТЕЛ 2013*, Београд, 3-4. децембар, 2013., стр. 323–332. ISBN 978-86-7395-314-4.

Категорија М63:

- [7] Јевтовић, Н., Пањевац, Н., **Марковић–Петровић, Ј.**, Живковић, З.: „Имплементација безбедносног механизма у систем даљинског надзора и управљања ХЕ „Ђердап 2““, - *Зборник радова 32. Саветовања CIGRÉ Србија, RD2–11*, Златибор, мај, 2015. ISBN 978-86-82317-76-0.
- [8] **Марковић–Петровић, Ј.**, Стојановић, М.: „Анализа метода за процену безбедносног ризика SCADA система“, - *Зборник радова 16. Симпозијума УПРАВЉАЊЕ И ТЕЛЕКОМУНИКАЦИЈЕ У ЕЕС, CIGRÉ Србија, RD2–14*, Кладово, октобар, 2014. ISBN 978-86-82317-75-3.
- [9] **Марковић–Петровић, Ј.**, Стојановић, М.: „Перформансе оперативног сервиса даљинског управљања у условима DDoS напада“, - *Зборник радова 31. Саветовања CIGRÉ Србија, Златибор, мај 2013, RD2–13*, ISBN 978-86-82317-73-9.
- [10] **Марковић–Петровић, Ј.**, Живковић, З., Цар, А., Јемуовић, Н., Ћирић, И.: „Модернизација система даљинског надзора и управљања у ХЕ „Ђердап 2““, - *Зборник радова 31. Саветовања CIGRÉ Србија, Златибор, мај 2013, RD2–01*, ISBN 978-86-82317-73-9.

На основу података са *Google Scholar*, радови [1] и [3] цитирани су у девет међународних публикација (хетероцитати), од којих је пет публикација у часописима са JCR листе.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Разматрајући структуру рада, научне доприносе, примењене научне методе, обим и квалитет истраживања, развијене моделе и добијене резултате, Комисија закључује да докторска дисертација кандидата мр Јасне Марковић-Петровић, дипл. инж. електротехнике, испуњава све критеријуме, стандарде и услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Београду и Статутом Саобраћајног факултета.

Докторска дисертација представља значајан и практично применљив научни допринос управљању безбедносним ризиком у индустријским системима даљинског управљања. Предложени методи процене безбедносног ризика и резултати приказани у овој докторској дисертацији верификовани су објављивањем 10 радова, од којих је један рад у међународном часопису са JCR листе и 9 радова на међународним и домаћим научним и стручним скуповима. Дисертација је оригиналан научни рад и доказ научно-истраживачке зрелости кандидата.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Саобраћајног факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Процена безбедносног ризика у индустријским системима даљинског управљања“, кандидата мр Јасне Марковић-Петровић, дипл. инж. електротехнике, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 01.06.2018. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Мирјана Стојановић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

Др Миодраг Вакмаз, редовни професор,
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

Др Валентина Радојичић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

Др Андреја Самчовић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

Др Нинел Чукалевски, научни саветник,
Универзитет у Београду, Институт „Михајло Пупин“