

Универзитет у Београду
Електротехнички факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Наташе Максић

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду бр. 5028/2007-3 од 31.3.2014. године именовани смо чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације Наташе Максић, дипломираног инжењера електротехнике, под насловом

Оптимизација и имплементација напредних протокола за рутирање

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

Кандидаткиња је тему под насловом „**Оптимизација и имплементација напредних протокола за рутирање**” пријавила 28.06.2013. Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на седници одржаној 11.7.2013. године именовало Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу: др Александра Смиљанић, ванредни професор (ментор, Електротехнички факултет у Београду), др Зоран Чича, доцент (Електротехнички факултет у Београду) и др Жарко Марков, научни саветник (Институт за телекомуникације и електронику „Ирител”).

Кандидаткиња Наташа Максић је у оквиру докторских студија положила следећих десет испита, све са оценом 10: Комуникационе и рачунарске мреже (проф. др Александра Смиљанић), Теорија и пракса комутација (проф. др Александра Смиљанић), Теорија телекомуникационог саобраћаја (проф. др Гроздан Петровић), Синхронизација у телекомуникационим мрежама (проф. др Гроздан Петровић), Системи за надзор и управљање телекомуникационим мрежама (проф др. Мирјана Стојановић), Случајни процеси у телекомуникацијама (проф. др Предраг Иваниш), Савремене

технике контроле грешака у телекомуникацијама (проф. др Предраг Иваниш), Одабрана поглавља из симболичке алгебре (проф. др Бранко Малешевић), Линеарна алгебра (проф. др Зоран Радосављевић) и Увод у научни рад (проф. др Зоран Поповић).

Извештај комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације је усвојен на 765. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета одржаној 3.9.2013. године. Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предложену тему докторске дисертације на седници одржаној 16.9.2013. године. (Број одлуке 61206-4003/2-13 од 16.9.2013. године).

Одлуком Наставно-научног већа број 5028/2007-3 од 31.3.2014. године именована је Комисија за преглед и оцену урађене докторске дисертације у саставу: др Александра Смиљанић, ванредни професор (ментор, Електротехнички факултет у Београду), др Ирине Рељин, редовни професор (Електротехнички факултет у Београду), др Бранислав Тодоровић, виши научни сарадник (Истраживачко-развојни институт РТ-РК) и др Зоран Чича, доцент (Електротехнички факултет у Београду).

На основу одлуке Наставно–научног већа бр. 2944/2 од 11.10.2007. године, Студијски програм је започео у пролећном семестру школске 2007/2008, па се рок за завршетак докторских академских студија рачуна од почетка тог семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета. По истеку законског рока за завршетак докторских академских студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак ових студија за још два семестра, сагласно члану 92. став 4 Статута Универзитета у Београду.

1.2. Научна област дисертације

Дисертација припада научној области Техничке науке – електротехника, ужој научној области Телекомуникационе мреже.

Ментор кандидаткиње је др Александра Смиљанић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Др Александра Смиљанић се више година бави научноистраживачким и наставним радом у области телекомуникација и телекомуникационих мрежа и аутор је и коаутор већег броја радова из ове области у истакнутим међународним часописима.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидаткиња Наташа Максић рођена је 6.2.1983. године у Београду, где је завршила основну школу и Математичку гимназију, као носилац Вукових диплома. Диполомирала је 2007. године на

Електротехничком факултету у Београду на Одсеку за електронику, телекомуникације и аутоматику, смер Телекомуникације, са просечном оценом у току студија 10 и оценом на дипломском 10. Докторске студије на Електротехничком факултету у Београду је уписала 2008. године, и све испите је положила са оценом 10.

Добила је награде компаније YUBC SYSTEM A.D. као најбољи студент 3. и 4. године Одсека за електронику, телекомуникације и аутоматику. Као студент 5. године награђена је од стране Електротехничког факултета за најбољи успех на њеном одсеку у школској 2005/2006. години. Од Електротехничког факултета је 2008. године награђена за најбољи успех међу студентима који су дипломирали 2007/2008. године на њеном одсеку. Од стране Теленор фондације добила је награду проф. др Илија Стојановић за допринос у области телекомуникација у категорији најбољег дипломираног студента на Одсеку за електронику, телекомуникације и аутоматику.

Била је стипендиста Министарства просвете и задужбине Студеница. 2006. године је добила је Eurobank EFG школарину за студенте завршне године државних факултета за остварене изванредне резултате током студија.

Од 2008. године ради као истраживач у Иновационом центру Електротехничког факултета. Учествовала је на пројекту Министарства науке Републике Србије „Системска интеграција Интернет рутера” од 2008. до 2010. године, и учествује на пројекту Министарства науке „Развој сервиса и безбедности Интернет рутера високог капацитета” од 2011. године.

Аутор је два рада у часописима врхунског међународног значаја, два рада у часописима националног значаја, три рада на међународним и четири рада на домаћим конференцијама. Добитник је награда за најбољи рад у области телекомуникација у категорији младих истраживача на конференцијама ЕТРАН 2009 и ЕТРАН 2012.

Рецензент је за часописе IEEE Communication Letters и IEEE Journal on Selected Areas in Communications, и за конференцију IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing, у чијој организацији је учествовала 2012. године. Добила је признање Exemplary Reviewer за рецензије урађене у току 2011. године у часопису IEEE Communication Letters.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње садржи 166 страна, и по форми и структури одговара Упутству за формирање репозиторијума докторских дисертација Универзитета у Београду од 14.

децембра 2011. године. Дисертација садржи следећа поглавља: Увод, Напредни протоколи за рутирање у дата центрима, Ажурирање лукап табела, Имплементација за прототип интернет рутера и Закључак.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу, изложена је мотивација за оптимизацију и имплементацију напредних протокола рутирања, и описани су предмет и циљ истраживања, као и структура дисертације.

Тема другог поглавља су напредни протоколи рутирања у дата центрима. Прво потпоглавље овог поглавља садржи опис девет важних топологија дата центара: n -димензиона меш топологија, торус, хиперкоцка, топологија стабла са више корена, *fat-tree*, *flattened butterfly*, *dragonfly*, BCube и DCell. Потом су у другом потпоглављу представљени протоколи рутирања који се користе у дата центрима. У овом потпоглављу уведени су ECMP и Валиант рутирање, која си применљива у свим топологијама дата центара, и рутирања прилагођена специфичним топологијама, као што су рутирања по димензијама у n -димензионој меш топологија, торусу и хиперкоцки. Описани су *Multipath* TCP и *Hedera* протоколи чији је циљ побољшање усмеравања TCP саобраћаја, као и врсте адаптивних протокола рутирања прилагођених примени у дата центрима.

Треће потпоглавље другог поглавља фокусира се на коришћење двофазних протокола рутирања у дата центрима. Оно садржи опис Валиант рутирања, затим оптимизованог двофазног рутирања, LB-SPR оптимизованог двофазног рутирања у мрежама са основним рутирањем најкраћом путањом, LB-SPRm оптимизованог рутирања са измењеним начином формирања стабла најкраћих путања, и LB-ECR оптимизованог рутирања у мрежама дата центара. У овом потпоглављу упоређена су директна рутирања и рутирања са двофазним балансирањем и објашњено је зашто рутирања са двофазним балансирањем могу дати добре резултате у мрежама дата центара које имају правилне топологијама са алтернативним путањама једнаких цена. Четврто потпоглавље другог поглавља садржи поређење алгоритама рутирања у дата центрима. Обухваћени су Валиант рутирање, ECMP, SPR, SPRm, LB-SPR, LB-SPRm и LB-ECR рутирање за *fat-tree*, *flattened butterfly* и *dragonfly* топологије. У овом потпоглављу представљена је анализа најгорег случаја оптерећености линка и упоређени су прорачунати нормализовани протоци при којима настају губици пакета. Понашање мрежа у ширем опсегу интензитета саобраћаја испитан је симулационо, коришћењем мрежног симулатора *ns-3* и анализирани су добијене криве укупног протока у зависности од понуђеног саобраћаја.

Треће поглавље је посвећено алгоритмима ажурирања лукап блокова рутера високих перформанси, користећи информације које рутери добијају према протоколима за рутирање. У првом потпоглављу овог поглавља дат је преглед лукап процедура и њима придружених алгоритама ажурирања. Овај преглед обухвата TCAM лукап процедуре, лукап процедуре засноване на битским стаблима укључијући *Lulea*, *Tree bitmap*, приоритетно стабло, POLP и BPFL, затим лукап процедура заснована на претрази по дужинама префикса и лукап процедура базирана на претрази по границама опсега префикса. У другом потпоглављу трећег поглавља представљена је анализа перформанси алгоритама ажурирања BPFL и POLP лукап процедура. Ова анализа обухвата прорачун најгорег случаја заузећа меморије за BPFL и POLP и опис процедуре за генерисање табела рутирања које доводе до максималног заузећа меморије, за задату расподелу дужина префикса. Приказани су симулациони резултати заузећа меморије за практичне табеле рутирања различитих величина за IPv4, и симулациони резултати заузећа меморије за IPv6, за претпостављене практичне табеле рутирања и табеле рутирања које заузимају максималну количину меморије. Поред заузећа меморије лукап блока представљени су и резултати симулационог мерења броја приступа меморијама лукап блока у току ажурирања, и времена извршавања алгоритма ажурирања лукап блока.

Четврто поглавље садржи опис имплементација протокола рутирања и алгоритама ажурирања лукап блока. У првом потпоглављу су описане имплементације SPR, ECMP, LB-SPR и LB-ECR и њихова интеграција у оквиру *ospfd* софтвера за рутирање. Такође, описана је имплементација програма за усмеравање пакета у мрежи са балансирањем коришћењем изворног рутирања. У другом потпоглављу су описане имплементације алгоритама ажурирања POLP и BPFL лукап процедуре, као и лукап процедуре засноване на приоритетном стаблу. Треће потпоглавље разматра начин интеграције описаних имплементација у оквиру рутера.

Пето поглавље садржи закључак са прегледом важних резултата дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Дисертација обухвата веома значајне теме савремених телекомуникације. Веома важан проблем је унапређење перформанси рутирања у дата центрима. Савремени дата центри обухватају стотине хиљада сервера, са телекомуникационом мрежом која их повезује. Постојећа решења рутирања не обезбеђују оптимално искоришћење ресурса дата центра, па се губици пакета дешавају и у ситуацијама када би пакети могли бити пренети алтернативним путањама без губитака.

Предложено решење са једне стране избегава проблеме са стабилношћу које са собом носе адаптивни алгоритми. Са друге стране предложено решење коришћењем двофазног балансирања саобраћаја елиминише из прорачуна директну везу између извора и одредишта саобраћаја и тиме омогућава формирање практично употребљивог оптимизационог модела. Двофазно балансирање омогућава равномерну расподелу саобраћаја између линкова мреже, док оптимизациони модел урачунава укупни саобраћај који сваки свич шаље ка другим свичевима и прима од других свичева. Предложено решење двофазног рутирања које је засновано на ЕСМР у мрежама дата центара је оригинално и омогућава померање граница ефикасности мрежа дата центара за све испитане топологије.

Друга значајна тема рада јесу алгоритми ажурирања лукап блокова рутера високих перформанси. Лукап блок, који проналази најдуже поклапање одредишне адресе пакета са префиксима табеле рутирања у циљу одређивања одредишног порта пакета, је једна од критичних компоненти рутера. Рутери високих перформанси обрађују велики број пакета у јединици времена и садрже табеле рутирања које могу имати стотине хиљада записа, па је повећање броја обрађених пакета важна тема савременог истраживања. Алгоритми ажурирања могу имати директан утицај на перформансе лукап блока кроз уписе у меморије лукап блока који могу довести до краткотрајних прекида процеса лукапа. Такође, анализа алгоритама ажурирања указује на потребну величину меморија лукап блока за предвиђени број рута, и на процесорску снагу рутера потребну за извршавање алгорита ажурирања. Представљена анализа ових величина за две лукап процедуре високих перформанси пружа нове информације важне за увид у функционисање савремених рутера и за њихово пројектовање.

У оквиру тезе су имплементирани кључни модули Интернет рутера, који имају практични значај и могу се директно применити у оквиру савремених Интернет рутера. Описана имплементација указује на њену сложеност, и компатибилност са софтверским алатима отвореног кода.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Кандидаткиња је детаљно истражила и у дисертацији користила постојећу релевантну литературу и коректно је навела референце у вези са темом дисертације. Наведене референце су пажљиво одабране и садрже најважније радове везане за тему дисертације, и укључују и најновије радове из те области укључујући и радове које је објавила кандидаткиња Наташа Максић. Релевантни приступи теми дисертације су анализирани и добро поткрепљени референцама.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Дисертација обухвата комплетан развојни циклус новог протокола рутирања: преглед и анализу постојећег стања, дефиницију новог протокола и његовог теоријског образложења, поређење са другим решењима, имплементацију предложеног решења, његову евалуацију коришћењем симулације и поређење са другим решењима. При евалуацији максималног оптерећења линка критични скуп комуникационих парова рачунат је коришћењем алгоритма упаривања чворова бипартитног графа, при чему су тежинама грана додељена прорачуната саобраћајна оптерећења која потичу од сваког комуникационог пара. Критична матрица максимално оптерећеног линка је коришћена као основа за прорачун максималног гарантованог протока кроз мрежу без губитака. Ова матрица саобраћаја је уједно била основа за симулацију у циљу сагледавања понашања протока за шири опсег вредности понуђеног саобраћаја.

У оквиру анализе алгоритама ажурирања лукап табела рутера, извршена је теоријска анализа за прорачун најгорег случаја заузећа меморије и алгоритамске комплексности, и различите врсте симулација које су потврдиле теоријске резултате и дале шири увид у особине алгоритама ажурирања. На пример, мерење броја уписа у меморију лукап блока вршено је симулацијом реалне мреже и кварова у њој, али и случајним изменама табела рутирања различитих величина.

Научне методе и технике примењене у дисертацији одговарају теми дисертације и адекватно су употребљене при испуњавању циљева дисертације.

3.4. Примењивост остварених резултата

Резултати дисертације имају вишеструку примену. Предложени протокол рутирања у дата центрима може бити употребљен за повећање искоришћености постојећих и будућих дата центара. С обзиром на величине савремених дата центара, који имају и стотине хиљада сервера, предложени протокол може повећањем гарантованог протока без губитака донети велике уштеде.

Резултати анализе протокола ажурирања могу имати примену у дизајну рутера. У раду су детаљно анализирана два представника лукап процедура високих перформанси. Теоријска анализа максималног заузећа меморије представљена у дисертацији може омогућити димензионисање меморија лукап блокова, као и резултати анализе везани за заузеће меморије реалних табела рутирања, број приступа меморији лукап блока и времена извршавања алгоритма ажурирања.

Дисертација садржи описе имплементација оптимизованих двофазних протокола рутирања и алгоритама ажурирања лукап блока. Ове имплементације су употребљене у оквиру прототипа Интернет рутера на Електротехничком факултету у Београду, и у дисертацији су употребљене у

оквиру *ns-3* симулационог софтвера и у оквиру симулација базираних на *ospfd* софтверу за рутирање.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидаткиња је у току израде дисертације и научноистраживачког рада дала веома квалитетна решења актуелних научних проблема. У оквиру овог рада кандидаткиња је показала способност за критичку анализу постојећег стања у области истраживања, уочила могућности за побољшања и предложила решења која је и имплементирала и теоријски и симулационо анализирали и упоредила са постојећим решењима. Тиме је показала способност за све аспекте самосталног научног рада.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

- Протокол рутирања у мрежама дата центара предложен у дисертацији представља иновативан приступ проблему рутирања у дата центрима, и због својих перформанси представља веома важан научни допринос. Овај протокол узима у обзир топологију дата центра и укупне саобраћајне захтеве појединачних сервера. На основу ових података, коришћењем ефикасног оптимизационог модела практично решивог за велике модерне дата центре, предложени протокол прорачунава оптималне коефицијенте двофазног балансирања. У предложеном протоколу, рутирање у првој и другој фази балансирања користи путање једнаке цене, чије је присуство карактеристика мрежа дата центара.
- Предложени протокол одређује горњу границу рутирања саобраћаја без губитака. Дисертација садржи обједињени дијаграм прорачуна за протоколе са директним и двофазним рутирањем који за све протоколе омогућавају прорачун критичног оптерећења линка и матрице саобраћаја која до њега доводи, као и добијање решења оптимизационог модела за двофазно рутирање.
- Дисертација садржи теоријску анализу најгорег случаја за велики број различитих протокола рутирања, укључујући и предложени протокол рутирања, као и симулације кроз које су потврђени теоријски резултати и које дају детаљан увид у функционисање испитиваних протокола рутирања.
- Теоријска анализа максималног заузећа меморије за два представника лукап процедура резултовала је формулама за прорачун максималног заузећа и алгоритмом генерисања

табела рутирања које остварују максимално заузеће меморије. Одређена је и комплексност алгоритама ажурирања ове две лукап процедуре.

- Дисертација садржи имплементације алгоритама двофазног рутирања и ажурирања табела рутирања, и низ симулација за испитиване протоколе рутирања и алгоритме ажурирања табела рутирања. Имплементације се користе у прототипу Интернет рутера развијеном на Електротехничком факултету.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Предложени протокол рутирања у дата центрима у дисертацији је теоретски образложен и анализиран и представљени су резултати симулације коришћењем *ns-3* симулационог програма. Представљена анализа даје јасне резултате везане за максимални гарантовани саобраћај без губитака, који су потврђени и симулацијама саобраћаја у дата центрима различитих топологија и са различитим врстама рутирања.

Резултати анализе алгоритама ажурирања табела рутирања дају исцрпне резултате за два изабрана представника лукап процедура, и смернице за анализу сличних лукап процедура. Ове смернице могу бити коришћене као основа при анализи других алгоритама ажурирања про пројектовању рутера високих перформанси.

4.3. Верификација научних доприноса

У току истраживачког рада у области теме докторске дисертације Наташа Максић је објавила два рада у врхунским међународним часописима са SCI листе. Поред тога у области теме докторске објавила је два рада у часописима националног значаја, два рада је презентovala на конференцијама међународног значаја и три на конференцијама националног значаја.

Категорија M21

1. **Nataša Maksić**, Aleksandra Smiljanić, "Improving Utilization of Data Center Networks," *IEEE Communications Magazine*, November 2013, pp. 32-38., (IF=3.661), (doi: 10.1109/MCOM.2013.6658649), ISSN 0163-6804.
2. Marija Antić, **Nataša Maksić**, Petar Knežević, Aleksandra Smiljanić, "Two Phase Load Balanced Routing using OSPF," *IEEE Journal on Selected Areas in Communication (JSAC)*, January 2010, pp. 51-59., (IF=4.232), (doi: 10.1109/JSAC.2010.100106), ISSN 0733-8716.

Категорија M51

3. **Nataša Maksić**, Aleksandra Smiljanić, "Platform for Capacity Reservation in IP Networks," *Serbian Journal of Electrical Engineering*, Vol.10, No. 1, February 2013, pp. 103-111., (DOI: 10.2298/SJEE1301103M), UDK 004.738.2., ISSN 1451-4869.

Категорија M53

4. **Nataša Maksić**, Petar Knežević, Marija Antić, Aleksandra Smiljanić, "Influence of Load Balancing on Quality of Real Time Data Transmission," *Serbian Journal of Electrical Engineering*, Vol. 6, No. 3, December 2009, pp. 515-524., ISSN 1451-4869.

Категорија M33

5. **Nataša Maksić**, Zoran Čiča, Aleksandra Smiljanić, "Updating Designed for Fast IP Lookup," *Proceedings of IEEE Conference on High Performance Switching and Routing 2012*, Belgrade, Serbia, June 2012., E-ISBN: 978-1-4577-0832-9
6. **Nataša Maksić**, Petar Knežević, Marija Antić, Aleksandra Smiljanić, "On the Performance of the Load Balanced Shortest Path Routing," *IEEE PACRIM*, Canada, August 2009.

Категорија M63

7. **Nataša Maksić**, Aleksandra Smiljanić, "Platforma za rezervaciju kapaciteta u IP mrežama," *ETRAN 2012*, Zlatibor, Jun 2012. (ISBN 978-86-80509-67-9).
8. Marija Antić, Zoran Čiča, **Nataša Maksić**, Aleksandra Smiljanić, "Testiranje prototipa skalabilnog Internet rutera," *ETRAN 2011*, Banja Vrućica, Jun 2011. (ISBN 978-86-80509-66-2).
9. **Nataša Maksić**, Petar Knežević, Marija Antić, Aleksandra Smiljanić, "Uticaj rutiranja sa balansiranjem na kvalitet prenosa podataka u realnom vremenu," *ETRAN 2009*, Vrnjačka Banja, Jun 2009. (ISBN 978-86-80509-64-8).

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација Наташе Максић под насловом „**Оптимизација и имплементација напредних протокола за рутирање**” у целини је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме и садржи све елементе који се захтевају Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Дисертација предлаже алгоритам рутирања саобраћаја у дата центрима који омогућава бољу расподелу саобраћаја у мрежи и унапређење искоришћења ресурса. У оквиру теме рутирања у дата центрима представљене су важне топологије дата центара, начини рутирања у њима, и теоријска анализа и симулациона евалуација протокола директног рутирања и двофазног рутирања. У дисертацији су анализирани и алгоритми ажурирања лукап структура података рутера високих перформанси. Описане су важне лукап структуре података и начини њиховог ажурирања, и за два представника лукап процедура високих перформанси представљена је анализа максималног заузећа меморије лукап блока, заузећа меморије при коришћењу реалних табела рутирања, број приступа меморији лукап блока у току ажурирања, и време извршавање алгоритма ажурирања. Дисертација садржи имплементације протокола двофазног рутирања и ажурирања лукап структура података.

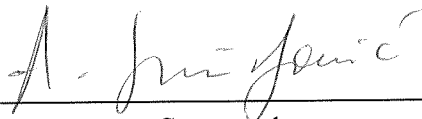
Резултате проистекле из истраживања спроведеном у оквиру докторске дисертације кандидаткиња је објавила у врхунским међународним часописима са SCI листе и презентовала стручној јавности на конференцијама од међународног и националног значаја. Значај научног доприноса дисертације додатно је потврђен цитатима у врхунским међународним часописима и на конференцијама међународног значаја.

На основу увида у докторску дисертацију и објављене радове кандидаткиње, Комисија констатује да дисертација „**Оптимизација и имплементација напредних протокола за рутирање**” Наташе Максић садржи оригиналне научне доприносе.

На основу претходног Комисија констатује да је Наташа Максић, дипломирани инжењер електротехнике, испунила све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да се овај реферат прихвати, и у складу са законском процедуром упути Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на коначно усвајање и давање одобрења кандидаткињи да приступи усменој одбрани.

Београд, 23.06.2014.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



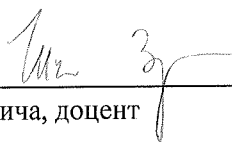
др Александра Смиљанић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Ирине Рељић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Бранислав Тодоровић, виши научни сарадник
Истраживачко-развијни институт РТ-РК



др Зоран Чича, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет