

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Невене Здјеларевић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства

Одлуком бр. 5043/08-3 од 23.9.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Невене Здјеларевић, мастера инжењера електротехнике и рачунарства, под насловом

### **"Ефекти јонизујућег зрачења у фазно променљивим меморијама"**

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

На основу Захтева кандидаткиње, на седници Комисије за студије трећег степена Електротехничког факултета одржаној 9.4.2013. године констатовано је да је Невена Здјеларевић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, пријавила докторску дисертацију под називом "Радијациона поузданост фазно променљивих меморија". У складу са Статутом Електротехничког факултета, Наставно-научном већу Електротехничког факултета је предложена Комисија за оцену услова и прихватање теме у саставу: др Милош Вујисић, доц. (Електротехнички факултет Универзитета у Београду), др Предраг Осмокровић, ред. проф. (Електротехнички факултет Универзитета у Београду), др Бранислав Вулевић, научни сарадник (јавно предузеће "Нуклеарни објекти Србије"). За ментора дисертације је предложен др Милош Вујисић.

На 761. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета одржаној 16.4.2013. године прихваћен је предлог Комисије за студије трећег степена и потврђена је предложена Комисија за оцену услова и прихватања теме, као и предложени ментор. Именована Комисија је 26.4.2013. године, на основу материјала приложеног уз Захтев кандидаткиње, Научно-наставном већу Електротехничког факултета поднела Извештај о подобности теме "Радијациона поузданост фазно променљивих меморија" и кандидаткиње Невене Здјеларевић за израду докторске дисертације. На 762. седници Научно-наставног већа Електротехничког факултета одржаној 14.5.2013. године предложена тема је усвојена.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је на седници одржаној 27.5.2013. године наложило промену назива теме докторске дисертације, због терминолошке неусаглашености појмова из првобитног назива.

Након промене назива теме у "Ефекти јонизујућег зрачења у фазно променљивим меморијама", Комисија за оцену услова и прихватања теме је 31.5.2013. године Научно-наставном већу Електротехничког факултета поднела Извештај о подобности теме и кандидаткиње Невене Здјеларевић за израду докторске дисертације. На 763. седници Научно-наставног већа Електротехничког факултета одржаној 11.6.2013. године предложена тема је усвојена. На основу те одлуке, Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност да се предложена тема прихвати, на седници одржаној 8.7.2013. године.

У школској 2013/14. години докторске академске студије кандидаткиње биле су у стању мировања.

На седници Комисије за студије трећег степена одржаној 8.9.2015. године констатовано је да је кандидаткиња Невена Здјеларевић предала урађену докторску дисертацију. На основу увида у дисертацију и пратећих докумената, а у складу са Статутом електротехничког факултета, Комисија за студије трећег степена је потврдила испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације. Комисија за студије трећег степена је Наставно-научном већу Електротехничког факултета предложила Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: др Милош Вујисић, доц. (Електротехнички факултет Универзитета у Београду), др Предраг Маринковић, ред. проф. (Електротехнички факултет Универзитета у Београду), др Бранислав Вулевић, научни сарадник (јавно предузеће "Нуклеарни објекти Србије").

На 790. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета одржаној 15.9.2015. године је овај предлог Комисије за студије трећег степена прихваћен, уз проширење Комисије за преглед и оцену докторске дисертације са два члана: др Вујо Дрндаревић, ред. проф. (Електротехнички факултет Универзитета у Београду) и др Ковиљка Станковић, доц. (Електротехнички факултет Универзитета у Београду).

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

Докторска дисертација под насловом "Ефекти јонизујућег зрачења у фазно променљивим меморијама" припада научним областима физичке електронике и нуклеарне технике (у ужем смислу, области изучавања ефеката зрачења у материјалима и електронским компонентама), при чему садржи елементе примењене математике (нумеричке симулације транспорта зрачења кроз средину, засноване на пробабилистичком моделовању физичких интеракција). Ментор дисертације, др Милош Вујисић, доцент на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, дуги низ година се бави наставним и научноистраживачким радом у областима физичке електронике, метрологије и нуклеарне технике, а посебно утицајем јонизујућег зрачења на електротехничке материјале и компоненте.

## 1.3. Биографски подаци о кандидаткињи

Невена Здјеларевић рођена је 26.9.1984. године у Београду. Основну школу завршила је у Београду са Вуковом дипломом и звањем ђака генерације. Математичку гимназију у Београду завршила је са одличним успехом и 2003. године уписала се на Електротехнички

факултет у Београду. Основне студије на одсеку за Физичку електронику, смер Биомедицински и еколошки инжењеринг, завршила је 2007. године, са општим успехом 9,70 у току студија и оценом 10 на дипломском испиту. Дипломски рад под називом *"Заштита од зрачења код примене  $Ir^{192}$  у индустријској радиографији"* одбранила је код проф. Предрага Осмокровића. Мастер студије на одсеку за Физичку електронику, смер Биомедицински и еколошки инжењеринг, завршила је 2008. године, са просечном оценом 10,00. Мастер рад под називом *"Одређивање ефикасних пресека за интеракцију радиотерапијског гама зрачења са ткивом"* одбранила је под менторством проф. Предрага Осмокровића, са оценом 10. На докторске студије на студијском модулу Нуклеарна, медицинска и еколошка техника уписала се школске 2008/2009, положила је све испите са просечном оценом 10,00 и одрадила све обавезе предвиђене наставним програмом докторских студија за прве две године.

Од септембра 2008. запослена је као инжењер за заштиту од зрачења у Лабораторији за заштиту од зрачења и заштиту животне средине Института за нуклеарне науке "Винча", где је радила на пословима оперативне радијационе сигурности на пројекту "ВИНД".

2009. године похађа и успешно завршава 182. специјални курс заштите од јонизујућих зрачења под називом "Мере радијационе и нуклеарне сигурности у Институту Винча".

Током 2009-2010. године завршава низ обука: мерење садржаја гама-активних радионуклида у целом телу човека, алфа-бета спектрометријско мерење на тачном сцинтилационом спектрометру и анализа резултата, коришћење преносних монитора зрачења са сондама и електронских личних дозиметара, гамаспектрометријска мерења, итд.

На регионалном скупу 2009. године, у организацији Међународне агенције за атомску енергију, под називом "Regional Workshop on Safety of Radioactive Waste Management" у Немачкој, представља нашу земљу као експерт заштите од зрачења и држи националну презентацију у вези са радијационом сигурношћу.

Од 1.10.2009. је запослена у Јавном предузећу "Нуклеарни објекти Србије" као инжењер за оперативну радијациону сигурност. У јулу 2010. завршава обуку на "Националном курсу о сигурном и безбедном отпремању истрошеног нуклеарног горива из Републике Србије у Руску Федерацију". Током препакивања и транспорта нуклеарног горива из Републике Србије у Руску Федерацију ради као руководиоца сменског особља. Након завршетка пројекта "ВИНД", испитује и врши мерења алфа и бета активности у биолошким узорцима и узорцима воде и врши мерења екстерног излагања професионално изложених лица у Јавном предузећу "Нуклеарни објекти Србије".

Са тимом сарадника учествује у акредитовању метода Лабораторије за испитивање Јавног предузећа "Нуклеарни објекти Србије" према стандарду ISO/IEC 17025.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Невене Здјеларевић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, под називом "Ефекти јонизујућег зрачења у фазно променљивим меморијама" написана је на 207 страна, латиничним писмом, подељена је на седам поглавља и садржи списак литературе

са 96 референци. Поглавља докторске дисертације су следећа: 1. Увод (2 стране), 2. Интеракција зрачења са материјом (16 страна, 5 слика), 3. Фазно променљиве меморије (45 страна, 33 слике), 4. Механизми електричног провођења и прекидања у фазно променљивим меморијама (24 стране, 15 слика), 5. Радијациона оштећења у фазно променљивим меморијама (16 страна, 3 слике), 6. Нумеричка анализа и моделовање радијационих оштећења у фазно променљивим меморијама (92 стране, 36 слика, 49 табела) 7. Закључак (3 стране).

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводу рада је изложена проблематика и актуелност теме којом се дисертација бави.

У другом поглављу је дат преглед интеракција јонизујућег зрачења са материјалом. Засебно су описане интеракције наелектрисаних честица, неутрона и фотона. Поглавље почиње објашњењем основних појмова везаних за интеракционе процесе тешких и лаких наелектрисаних честица, као што су зауставна моћ (три типа), масена зауставна моћ, Брагова крива и домет. У наставку су представљени интеракциони процеси неутрона, а затим и фотонске интеракције (фотоелектрични ефекат, три врсте ресејања фотона на електрону и производња пара електрон-позитрон). Већ у овом поглављу направљена је и дистинкција између јонизујућих и нејонизујућих губитака енергије зрачења, који се изражавају кроз LET и NIEL, респективно.

Треће поглавље, под називом *Фазно променљиве меморије*, подељено је у три целине, које се, редом, односе на принципе функционисања ових меморија, фазно променљиве материјале који се у њима користе и физику фазних прелаза. У овом поглављу представљени су структура фазно променљиве меморијске ћелије, архитектура меморијске матрице и периферних кола и рад фазно променљиве меморије. Посебна пажња посвећена је микроскопској структури и особинама фазно променљивих материјала у кристалном и аморфном стању, као и физици фазних прелаза између ова два стања, који чине основ функционисања фазно променљивих меморија и полазиште за анализу радијационих ефеката у каснијим поглављима. Показано је да фазно променљиви материјали анализирани у раду са електричног становишта могу да се представе као дегенерисани полупроводници са уским енергетским процепом, Фермијевим нивоом унутар валентне зоне и зоном енергетских нивоа дефеката у близини валентне зоне.

Четврто поглавље, под називом *Механизми електричног провођења и прекидања у фазно променљивим меморијама*, бави се специфичним аспектима провођења у аморфном и кристалном стању материјала. Након одељка о енергетским нивоима дефеката, описана су два основна механизма транспорта носилаца наелектрисања у аморфним материјалима. Објашњени су модели који описују пражно прекидање у фазно променљивим меморијама, као и феномен отклоне отпорности. Завршни одељак овог поглавља односи се на електрично провођење у кристалној структури.

У петом поглављу, које носи назив *Радијациона оштећења у фазно променљивим меморијама*, најпре се анализирају механизми настајања радијационих оштећења у полупроводницима, а затим се ова разматрања примењују за анализу промене фазе меморијске ћелије услед дејства зрачења. Обједињавањем теорије изнете у претходна три поглавља, аморфизација фазно променљивог материјала препозната је као примарни вид промене изазване зрачењем, што у функционалном погледу доводи до погрешног читавања

стања меморијске ћелије. Дефинисан је параметар неуређености и описана појава аморфних трагова (тзв. латентних трагова) дуж путања брзих тешких јона кроз материјал.

У шестом поглављу, *Нумерички експерименти и моделовање радијационих оштећења у фазно променљивим меморијама*, приказани су резултати симулације транспорта зрачења (протона, алфа честица, јона гвожђа и аргона, различитих енергија) кроз фазно променљиве меморије. Анализиран је утицај зрачења на два различита фазно променљива материјала, чије су дебљине мењане у опсегу 25–100 nm. Развијен је оригиналан код за прорачун дозиметријских величина од интереса за квантификовање радијационе осетљивости меморија. Приказане су трајекторије наелектрисаних честица кроз целу дубину фазно променљиве меморијске ћелије, за оба испитивана материјала. Такође, приказан је однос јонизационих енергетских губитака који потичу од упадних јона и од измештених атома материјала. Дат је и приказ просторне расподеле измештених атома у два посматрана материјала. Расподела фонона је представљена упоредо за упадне јоне и измештене атоме, а прорачунати су и енергетски губици упадних снопова на фононске побуде у читавој структури меморијске ћелије. Масене зауставне моћи, односно јонизациони и нејонизациони преноси енергије (LET и NIEL), приказани су графички кроз целу ћелију, као и дистрибуција насталих ваканција у материјалима ћелије. Прорачунате су и детаљно изложене укупне јонизационе дозе и дозе измештања за оба посматрана фазно променљива материјала и све коришћене типове зрачења, при чему се као варијабилни параметри појављују дебљина материјала и енергија зрачења. Дозе су на основу симулација рачунате у целој ћелији и засебно у фазно променљивом слоју ћелије. Нејонизујући енергетски губици у фазно променљивим слојевима прорачунати су и у зависности од енергије упадног снопа. За два испитивана фазно променљива материјала приказани су резултати прорачуна пречника латентних трагова јона у зависности од линеарног преноса енергије, на две температуре (300 K и 2,7 K). Последњи део шестог поглавља посвећен је анализи и дискусији резултата добијених симулацијама и прорачунима.

У седмом поглављу изнети су закључци до којих се у дисертацији дошло на основу изложених резултата и резимирани ефекти које јонизујуће зрачење производи у фазно променљивим меморијама.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Потреба за већим капацитетом и бржим радом постојаних меморија за резултат има непрестан развој нових врста меморија, које би замениле флеш меморије. Као један од најперспективнијих скоријих кандидата за ову улогу издвојиле су се фазно променљиве меморије. Многе примене постојаних меморија подразумевају њихов боравак у пољима јонизујућег зрачења, те је проучавање дејства зрачења на материјале од којих су оне сачињене од изузетног значаја приликом анализе исправности и поузданости рада ових компоненти. Израда и шира примена фазно променљивих меморија актуелни су тек неколико година, а анализа утицаја јонизујућег зрачења на рад ових меморија спроведена у дисертацији Невене Здјеларевић међу првим је у свету. Нумеричке симулације и математички алгоритми коришћени у дисертацији су на оригиналан начин доведени у везу са теоријским моделима рада ћелије фазно променљиве меморије.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Литература коришћена у дисертацији је пажљиво одабрана и садржи најзначајније књиге везане за ефекте јонизујућег зрачења у материјалима и функционисање фазно променљивих меморија. Поред историјски најзначајнијих радова везаних за фазно променљиве меморије, коришћене су и најактуелније публикације и радови објављени у престижним међународним часописима на тему фазно променљивих меморија. Међу наведеним референцама се налазе и научни радови чији је аутор, односно коаутор, Невена Здјеларевић.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Специфичним физичким особинама фазно променљивих меморија у дисертацији је најпре приступљено са становишта теоријског моделовања. Потом су извршени нумерички експерименти (симулације) проласка више врста јонизујућег зрачења кроз ћелије фазно променљивих меморија различитих структура и материјалних састава. Помоћу резултата симулација прорачунате су вредности релевантних дозиметријских величина, које служе за квантификовање радијационих ефеката. Коначно су, комбиновањем квантитативне и квалитативне анализе дејства зрачења, изнети закључци о понашању фазно променљивих меморија у условима озрачености. Истраживање спроведено у дисертацији је методолошки исправно и целовито.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати приказани у дисертацији имају фундаментални значај за будућа истраживања везана за радијациону отпорност фазно променљивих меморија, од којих ће зависити њихова применљивост у будућим генерацијама електронских кола. Закључци до којих се дошло у дисертацији указују на правце оптималног дизајна фазно променљивих меморија и пружају могућност одабира погодних материјала тако да непожељни ефекти зрачења у овим меморијама буду што мањи.

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

Кандидаткиња Невена Здјеларевић је у највећој мери самостално урадила изложену дисертацију. Преданим праћењем савремених истраживања у домену меморијских компоненти и утицаја јонизујућег зрачења на ове компоненте, уочила је потребу за детаљним анализирањем ефеката које јонизујуће зрачење производи у тренутно изузетно актуелним фазно променљивим меморијама. Кроз темељан научно-истраживачки приступ проблему, кандидаткиња је успела да пружи обухватну и оригиналну анализу ефеката јонизујућег зрачења у фазно променљивим меморијама.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

- У дисертацији су упоређени различити видови депоновања енергије јонизујућег зрачења при проласку кроз ћелију фазно променљиве меморије, а затим и квантификовани кроз вредности укупне јонизационе дозе и дозе измештања, у целој ћелији и у фазно променљивом слоју, у зависности од материјалног састава и димензија структурних делова ћелије, врсте и енергије упадног зрачења.

- Показано је да су, с обзиром на састав, структуру и димензије, фазно променљиве меморије посебно радијационо осетљиве на поједине врсте тешких јона и идентификовани су енергетски опсези јонских снопова за које су радијациона оштећења у овим меморијама најизраженија.
- Аморфизација фазно променљивог материјала препозната је као најзначајнији макроскопски уочљив радијациони ефекат у фазно променљивим меморијама, јер одговара промени логичког стања ћелије, односно грешци у уписаном податку.
- Идентификовани су и објашњени механизми који доводе до аморфизације у озраченом фазно променљивом слоју ћелије: измештање атома и настанак дефеката (који повећавају неуређеност), загревање фононским побуђивањем кристалне решетке (до ког доводе чак и јонизујући губици енергије, посредством расејавања секундарних електрона на фононима) и појава латентних аморфних трагова дуж путања упадних јона.
- Дате су препоруке које се односе на дизајн ћелија фазно променљивих меморија и избор материјала који улазе у њихов састав, са циљем радијационог очвршћавања ових компоненти.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем актуелности проблематике, постављених циљева, примењене методологије и постигнутих резултата, констатујемо да је кандидаткиња Невена Здјеларевић успешно спровела испитивање ефеката јонизујућег зрачења у фазно променљивим меморијама. Нумерички и математички алгоритми, приказани резултати и описи физичких механизма појаве радијационих ефеката представљају значајан научни и стручни допринос.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Током досадашњег научно-истраживачког рада, Невена Здјеларевић је објавила, у својству аутора и коаутора, један рад у истакнутом међународном часопису (са SCI листе), један рад у међународном часопису (са SCI листе), један рад на скупу међународног значаја и осам радова на скуповима националног значаја.

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. Кнежевић, И., **Здјеларевић, Н.**, Обреновић М., Вујисић М.: Absorbed Dose Assessment in Particle-Beam Irradiated Metal-Oxide and Metal-Nonmetal Memristors, *Nuclear Technology & Radiation Protection*, vol. 27, no. 3, pp. 290-296, 2012 (**IF=1,000**) (ISSN 1451-3994) (DOI: 10.2298/NTRP1203290K)

Рад у међународном часопису (M23)

1. **Здјеларевић, Н.**, Вујисић, М.: TID and NIEL assessment in alpha irradiated phase change memory cells based on simulations, *Journal of Ovonic Research*, vol. 11, no. 4, pp. 175-182, 2015 (**IF=0,488**) (ISSN 1842-2403) (Нема DOI идентификацију)

Саопштење са скупа међународног значаја штампано у целини (M33)

1. **Здјеларевић, Н.**, Тимотијевић, Љ., Марић, Р., Станковић, К., Вујисић, М.: Calculations of absorbed dose in heavy-ion irradiated phase-change memory cells, *Advanced Materials Research*, vol. 906, pp.81-88, 2014 (DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.906.81)

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (М63)

1. Кнежевић, И., **Здјеларевић, Н.**, Обреновић М., Долићанин Е., Вујисић М.: Радијациони ефекти у мемристорима на бази титанијум диоксида, *31. Међународно саветовање за велике електроенергетске системе CIGRE Србија*, Зборник радова, Р Д1 11, Златибор, Србија, 2013
2. **Здјеларевић, Н.**, Кнежевић, И., Перазић, Л., Лазаревић, Н.: Радиолошка карактеризација транспортног паковања типа ШКОДА ВПВР/М приликом утовара и транспорта озраченог нуклеарног горива из истраживачког реактора РА у Руску Федерацију, *XXVII симпозијум друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе*, Зборник радова, Врњачка бања, 2013, стр. 280-284.
3. **Здјеларевић, Н.**, Кнежевић, И., Перазић, Л., Лазаревић, Н.: Радиолошка карактеризација транспортног паковања типа ТУК-19 приликом утовара и транспорта озраченог нуклеарног горива из истраживачког реактора РА у Руску Федерацију, *XXVII симпозијум друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе*, Зборник радова, Врњачка бања, 2013, стр. 275-279.
4. Лазаревић, Н., **Здјеларевић, Н.**, Кнежевић И., Мандић, М. Деконтаминација манипулатора применом ултразвучне каде, *XXVII симпозијум друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе*, Зборник радова, Врњачка бања, 2013, стр. 347-349.
5. Кнежевић, И., **Здјеларевић, Н.**, Перазић, Л., Лазаревић, Н.: Специфична активност Cs i Co у урину код професионално изложених лица приликом препакивања озраченог нуклеарног горива, *XXVII симпозијум друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе*, Зборник радова, Врњачка бања, 2013, стр. 255-258.
6. Перазић, Л., **Здјеларевић, Н.**, Кнежевић, И.: Примена дозиметара са оптички стимулисаном луминесценцијом (ОСЛ) у личној дозиметрији, *XXVII симпозијум друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе*, Зборник радова, Врњачка бања, 2013, стр. 267-270.
7. **Бајчетић Н.**, Кнежевић И.: Испитивање стабилности карактеристика гасних одводника пренапона при излагању јонизујућем зрачењу ( $n$  и  $\gamma$ ), *29. Међународно саветовање за велике електроенергетске системе CIGRE Србија*, Зборник радова, Р Д1 05, Златибор, Србија, 2009
8. Кнежевић И., **Бајчетић Н.**: Испитивање утицаја температуре на стабилност карактеристика пренапонске диоде, *29. Међународно саветовање за велике електроенергетске системе CIGRE Србија*, Зборник радова, Р Д1 07, Златибор, Србија, 2009

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

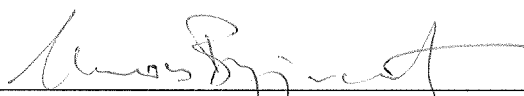
Докторска дисертација Невене Здјеларевић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, под називом "Ефекти јонизујућег зрачења у фазно променљивим меморијама" представља савремен и оригиналан научни допринос у областима нуклеарне технике и физичке електронике, верификован радом објављеним у часопису са SCI листе. Фазно променљиве меморије представљају актуелну и перспективну класу постојаних меморија, чија будућност битно зависи и од њихове радијационе отпорости, која је темељно проучена у дисертацији. На основу свега изложеног у овом реферату, Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију Невене Здјеларевић.



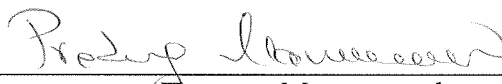
С обзиром да је кандидаткиња испунила све услове предвиђене Законом о високом образовању, као и Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да прихвати оцену Комисије, изложи докторску дисертацију на увид јавности и упути Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на коначно усвајање и давање одобрења кандидаткињи да приступи усменој одбрани.

У Београду, 27.11.2015.

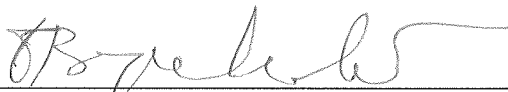
#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



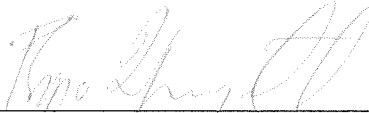
др Милош Вујић, доцент (ментор)  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Предраг Маринковић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Бранислав Вулевић, научни сарадник  
Јавно предузеће "Нуклеарни објекти Србије"



др Вујо Дрндаревић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Ковиљка Станковић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет