

Универзитет у Београду  
Електротехнички факултет

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Предрага Јовановића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства

Одлуком бр. 5046/08-3 од 5.11.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Предрага Јовановића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, под насловом:

### **Симулациони модел за процену излазне снаге GSM базне станице**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала, као и разговора с кандидатом, Комисија је сачинила следећи

## РЕФЕРАТ

### 1. УВОД

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Предраг Јовановић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, уписао је докторске студије на Универзитету у Београду - Електротехничком факултету (у даљем тексту: ЕТФ) 15.1.2009. године.

Пријаву докторске дисертације под називом „Симулациони модел за процену излазне снаге GSM базне станице“ поднео је 6.5.2013. године, и за ментора предложио доц. др Милана Бјелицу. На основу предлога Комисије за студије III степена, на 762. седници Наставно-научног већа ЕТФ, одржаној 14.5.2013. године, именована је Комисија за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације, у саставу: доц. др Милан Бјелица (ЕТФ), в. проф. др Милан Илић (ЕТФ), др Жарко Марков, научни саветник (Институт „Ирител“ Београд) и в. проф. др Александар Нешковић (ЕТФ).

Наставно-научно веће ЕТФ усвојило је извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације на својој 763. седници, одржаној 11.6.2013. године.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације на седници одржаној 8.7.2013. године.

Кандидат је урађену дисертацију поднео на преглед и оцену 27.9.2013. године. На основу предлога Комисије за студије III степена, на својој 768. седници одржаној 5.11.2013. године Научно-наставно веће ЕТФ одлуком бр. 5046/08-3 именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: доц. др Милан Бјелица (ЕТФ), р. проф. др Ирине Рељин (ЕТФ), др Жарко Марков, научни саветник (Институт „Ирител“ Београд), в. проф. др Милан Илић (ЕТФ) и в. проф. др Александар Нешковић (ЕТФ) .

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под називом „Симулациони модел за процену излазне снаге GSM базне станице“ припада научној области техничке науке – електротехника, ужа научна област телекомуникације, за коју је Универзитет у Београду – Електротехнички факултет матични факултет.

За ментора докторске дисертације одређен је др Милан Бјелица, доцент на Универзитету у Београду – Електротехничком факултету, као препознатљив стручњак у области енергетске ефикасности у телекомуникацијама.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Предраг Јовановић је рођен 16.3.1985. године у Чачку. Основну школу и гимназију завршио је у Инђији. Дипломирао је на Универзитету у Београду - Електротехничком факултету 2007. године. Уписао је мастер студије на истом факултету 2007. године на одсеку за Микроталасну технику. Мастер тезу „Напонски контролисан осцилатор на 12 GHz“ (ментор в. проф. др Милан Илић), одбранио је 2008. године с оценом 10.

Запослен је од 2010. године у Институту Ирители а.д. Београд, у сектору за радио комуникације. У току свог радног ангажовања учествовао је у пројектовању и развоју: система за управљање у реалном времену, софтверских система различите намене и модула на бази софтверски дефинисаног радија.

Научно-истраживачко звање истраживач сарадник стекао је 2013. године. До сада као аутор и коаутор има објављена 4 рада у међународним часописима са SCI листе, 5 радова на међународним конференцијама и 1 рад на конференцији националног значаја. Учествовао је на пројектима научноистраживачког развоја Министарства просвете, науке и технолошког развоја. Тренутно је ангажован на пројекту TR32051 “Развој и реализације наредне генерације система, уређаја и софтвера на бази софтверског радија за радио и радарске мреже”.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Предрага Јовановића под насловом „Симулациони модел за процену излазне снаге GSM базне станице“ написана је на 194 стране, организоване у 8 поглавља. Наслови поглавља су: 1. Увод, 2. Основи GSM мреже, 3. Теорија телекомуникационог саобраћаја, 4. Симулација телекомуникационог саобраћаја, 5. Прорачун излазне снаге базне станице, 6. Симулациони модел базне станице, 7. Анализа и дискусија резултата, 8. Закључак.

Дисертација садржи 78 слика и 8 табела, а наведено је 86 библиографских референци.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Прво поглавље је уводно. У њему је дефинисан предмет, објашњена је мотивација и постављени су циљеви истраживања.

У поглављу 2 су размотрени аспекти мобилних GSM мрежа који су битни за наставак излагања, као што су структура канала и поступак управљања излазном снагом једне везе.

Такође су размотрени утицаји међусобне удаљености мобилних и базних станица на емисиону снагу, утицај околине на слабљење сигнала, те густина мобилних станица у ћелији. Описана је појава унутарћелијских веза које су честе у ретко насељеним областима и приватним мобилним мрежама.

У поглављу 3 је дата основа теорије телекомуникационог саобраћаја, с акцентом стављеним на његова статистичка својства. Дефинисани су понуђени, опслужени и изгубљени саобраћај, губици по времену, губици позива итд. Описани су процеси долазака позива и процеси њиховог опслуживања у мрежи која се проучава у овом истраживању. Анализиран је модел савршеног саобраћајног снопа, као и модели с губицима (*Erlang*-ов и *Engset*-ов). Поменути су и модели с мултидимензионалним саобраћајним процесима.

У поглављу 4 се разматрају поступци симулације телекомуникационог саобраћаја. Уводи се метод *Monte Carlo*, који се потом користи за генерисање и прекидање везе; анализирани су појмови симулационог времена и генерисање случајних удаљености између мобилне и базне станице методом трансформације вероватноће. Потом су приказани методи за обраду резултата симулације. На крају поглавља, дат је преглед актуелних програмских алата погодних за симулацију мобилних мрежа.

У поглављу 5 је дат прорачун снаге једног канала базне станице. Аналитички су одређене средња вредност, густина и функција расподеле вероватноће снаге једног канала. Разматрана је зависност снаге једног канала од слабљења сигнала и густине корисника. Потом је приказан поступак прорачуна својстава излазне снаге групе саобраћајних канала у ћелији и средње излазне снаге базне станице. Прорачунат је утицај слабљења сигнала и густине корисника у ћелији на емисиону снагу базне станице. На крају је анализиран утицај унутарћелијског саобраћаја и ограниченог броја корисника на емисиону снагу базне станице.

У поглављу 6 су представљени симулациони модели базне станице. У првом кораку је уведен симулациони модел једног канала базне станице и приказани су резултати симулације - средња снага, густина вероватноће и функција расподеле вероватноће снаге. Потом је симулирана група канала, при чему су поново посматране средња снага, њена густина вероватноће и функција расподеле. У оквиру модела групе канала, урачунати су и утицаји сигнализације, носиоца ВССН и емитовања с прекидима. Приказани су резултати симулације за групу канала у зависности од густине корисника и слабљења сигнала. Потом су приказани резултати симулација за групу канала у зависности од унутарћелијског саобраћаја и ограниченог броја корисника. Приказани су и сложени модели који обухватају претходно наведене случајеве, а за које није једноставно добити аналитичко решење.

У поглављу 7 су анализирани и дискутовани добијени резултати. На основу ове анализе, формулисани су могући приступи за уштеду енергије у мобилним мрежама.

У поглављу 8, дата су закључна разматрања, у смислу осврта на циљеве који су постављени на почетку истраживања, као и смернице за даљи рад.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Тема докторске дисертације припада домену нових истраживачких праваца на пољу повећања енергетске ефикасности телекомуникационих мрежа. Мобилне мреже су у истраживачким круговима препознате као идеални кандидати за разматрање енергетске ефикасности стога што је њихова инфраструктура – првенствено у смислу базних станица –

енергетски предимензионисана, јер се још увек инсистира на редунаци која треба да омогући поуздано опслуживање релативно ретких вршних саобраћајних оптерећења. Пошто је у највећем делу дана интензитет саобраћаја знатно мањи од вршног, потрошња базних станица је непотребно велика.

Истраживање које је представљено у овој дисертацији односи се на повећање енергетске ефикасности постојећих мрежа пре свега изменом протокола (тј. софтвера), уз никакве или минималне интервенције на страни хардвера, што је од великог потенцијалног значаја за операторе мрежа.

Оригиналноста дисертације огледа се у томе што је питање енергетске ефикасности телекомуникационих мрежа у литератури до сада разматрано или с хипотетичког (симулациони модели нових технологија) или с дескриптивног становишта (мерења потрошње постојећих технологија). Приступ који је овде примењен полази од дефиниције предмета истраживања, према коме је развијен детаљан симулациони модел GSM базне станице с аспекта потрошње електричне енергије, који је потом примењен за анализу карактеристичних реалних сценарија. Добијени резултати показали су добро слагање с аналитичким, тамо где ови постоје, или са експериментално добијеним мерењима.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Списак коришћене литературе указује на то да је кандидат при истраживању и изради дисертације проучио и користио највећи број релевантних научних публикација које су од значаја за научну област којој дисертација припада. Литература садржи и три рада чији је коаутор кандидат.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Истраживање које је приказано у дисертацији обухватило је следеће фазе:

- упознавање с архитектуром GSM мреже,
- упознавање са основима теорије телекомуникационог саобраћаја,
- упознавање са симулацијом процеса у телекомуникацијама,
- сагледавање чинилаца који утичу на статистичку расподелу излазне снаге базне станице,
- одређивање зависности емисионе снаге једног корисничког канала од случајног положаја корисника,
- истраживање утицаја расподеле корисника на расподелу укупне емисионе снаге,
- истраживање утицаја слабљења сигнала,
- разматрање утицаја унутарћелијског саобраћаја на заузимање ресурса у мобилним мрежама,
- опис поступка симулације саобраћаја у GSM мрежи,
- израду симулационог модела за проверу једноставних теоријских модела и познатих резултата,
- израду симулационог модела за проверу сложених модела у погледу расподеле

густине корисника у ћелији,

- израду симулационог модела за проверу сложених модела у погледу слабљења сигнала,
- израду симулационог модела за проверу сложених модела с великим унутарћелијским саобраћајем,
- израду симулационог модела за проверу сложених модела с утицајем ограниченог броја извора саобраћаја.

Примењена методологија у потпуности одговара стандардима научноистраживачког рада. Наведени поступци истраживања сагласни су постављеним циљевима дисертације.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Сви резултати који су представљени у оквиру дисертације имају примену у области пројектовања енергетски ефикасних телекомуникационих мрежа. Симулациони модел, с једне стране, може се искористити за даља теоријска истраживања у овој области, нпр. у циљу формулисања ефикасних алгоритама за динамичко управљање базним станицама у зависности од процењеног саобраћајног оптерећења и густине корисника. Нумерички резултати могу се искористити за оптимизацију постојећих мрежа, у циљу налажења компромиса између њихове саобраћајне редунадансе и потрошње енергије. Коначно, модел за генерисање саобраћаја може се једноставно прилагодити и другим мрежним технологијама, чиме се отвара пут за наставак рада.

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

Квалитет рада кандидата, организованост, систематичност, мотивисаност и кооперативност које је исказао током израде докторске дисертације, елементи су који га квалификују за будући успешан научноистраживачки рад. Савременост и оригиналност приказаних резултата показују висок ниво спремности кандидата за самостално бављење научноистраживачком радом.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни допринос дисертације огледа се у комплетном развоју симулационог модела за процену статистичких својстава излазне снаге базне станице у GSM мрежи. Као конкретни научни доприноси приказани у дисертацији, могу се истаћи следећи резултати:

1. Дат је допринос аналитичком моделирању утицаја параметара GSM мреже на излазну снагу базне станице;
2. Развијен је модел за симулирање саобраћаја у GSM мрежи;
3. Развијен је заокружен симулациони модел за процену статистичких параметара излазне снаге GSM базне станице;
4. Дат је допринос разумевању утицаја комплексних сценарија дешавања на излазну снагу GSM базне станице;

5. Формулисане су практичне смернице за оптимизацију GSM мрежа по питању енергетске ефикасности.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу увида у дисертацију, констатујемо да је кандидат остварио значајне резултате и одговорио на све проблеме који су постављени приликом дефинисања истраживања. Развијени су теоријско-симулациони поступци за процену излазне снаге GSM базне станице у зависности од различитих чинилаца, што омогућава дефинисање стратегија за уштеду енергије. Развијени симулациони модели потврђују резултате добијени теоријским путем. Увидом у радове које је кандидат публиковао, закључујемо да су у докторској дисертацији приказани нови, савремени и оригинални резултати.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Резултати досадашњег истраживања приказани су у следећим радовима који припадају ужој научној области дисертације:

*Категорија M23:*

1. **Jovanović P.**, Šuh T., Lebl A., Mitić D., Markov Ž: “Influence of Intra-cell Connections on the Traffic Calculations of Radio Resources in Mobile Network”, *Frequenz*, Vol. 67, Issue 9-10, 2013, ISSN (Online) 2191-6349, ISSN (Print) 0016-1136, DOI: 10.1515/freq-2012-0124.
2. **Jovanović P.**, Mileusnić M., Lebl A., Mitić D., Markov Ž.: “Calculation of the Mean Output Power of Base Transceiver Station in GSM”, *Automatika Journal*, ISSN 1848-3380, 2013. (објављено електронско издање)
3. Šuh T., **Jovanović P.**, Lebl A., Mitić D., Markov Ž: “Comparison of the influence of intra-cell traffic and finite number of mobile phones on the determination of number of channels in the BTS of GSM network”, *Frequenz*, 2013, ISSN (Online) 2191-6349, ISSN (Print) 0016-1136. (објављено електронско издање)
4. **Jovanović P.**, Bjelica M: “Estimation of GSM Base Station Output Power Cumulative Distribution Function”, *AEÜ*, ISSN 1434-8411, 2014. (објављено електронско издање)

### **5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ**

На основу оцењене дисертације, достигнуте способности кандидата за научноистраживачки рад, остварених научних доприноса, критичке анализе резултата истраживања и верификације научних доприноса, Комисија констатује да докторска дисертација „Симулациони модел за процену излазне снаге GSM базне станице“ кандидата **Предрага Јовановића** испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме који се обично примењују приликом вредновања докторске дисертације на Универзитету у Београду - Електротехничком факултету. Комисија сматра да докторска дисертација садржи оригиналне научне доприносе који могу имати практичну примену у инжењерској пракси.

На основу изложеног, предлажемо Комисији за студије III степена Универзитета у Београду – Електротехничког факултета и Наставно-научном већу Универзитета у Београду –

Електротехничког факултета да се докторска дисертација кандидата **Предрага Јовановића**, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, под називом „**Симулациони модел за процену излазне снаге GSM базне станице**“ прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и да се одобри њена јавна усмена одбрана.

Београд, 28. април 2014.

#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Милан Бјелица, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Ирини Рељин, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Жарко Марков, научни саветник  
Институт „Ирител“ Београд



др Милан Илић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Александар Нешковић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет