

Универзитет у Београду  
Електротехнички факултет

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Чедомира Зељковића, дипломираног инжењера електротехнике

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду бр. 897/3 од 11.06.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Чедомира Зељковића, дипломираног инжењера електротехнике, под насловом

**Инвестициони и експлоатациони аспекти корисничке дистрибуиране производње у условима неизвјесности**

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

Магистарски рад под насловом „Оптимално ангажовање малих дистрибуираних производних јединица у постојећем електроенергетском систему“ кандидат је одбранио 09.12.2008. године. Кандидат је тему докторске дисертације под насловом „Инвестициони и експлоатациони аспекти корисничке дистрибуиране производње у условима неизвјесности“ пријавио 15.05.2012. године. Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду је 29.05.2012. године именовало Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу: проф. др Никола Рајаковић, проф. др Иван Шкокљев и проф. др Драган Тасић. Извештај Комисије је усвојен на Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду 25.09.2012. године, а Веће области техничких наука Универзитета у Београду дало је на то сагласност 22.10.2012. Кандидат је урађену дисертацију поднео на преглед и оцену 28.05.2013. године, а Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду је 11.06.2013. године именовало Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: проф. др

Никола Рајаковић, проф. др Иван Шкокљев, проф. др Драган Тасић, проф. др Миленко Ђурић и доц. др Предраг Стефанов.

### 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом „Инвестициони и експлоатациони аспекти корисничке дистрибуиране производње у условима неизвјесности“ припада техничким наукама, ужој научној области Електроенергетски системи за коју је матичан факултет Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Ментор докторске дисертације је проф. др Никола Рајаковић, истакнути стручњак из области електроенергетских система. Професор Рајаковић је до данас објавио 26 радова у водећим часописима међународног значаја. У звању редовног професора је од 1995. године.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат мр Чедомир Зељковић, рођен је 08.03.1978. године у Мркоњић Граду, Република Српска, БиХ. Дипломирао је на Електротехничком факултету Универзитета у Бањој Луци 2003. године, на Одсеку за Електроенергетику, са просечном оценом 9,10 у току студија. Тема дипломског рада је била „Реализација микропроцесорског даљински управљаног позиционера антене“, код ментора проф. др Слободана Вукосавића. Годину дана касније на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписао је постдипломске студије (по старом програму) на смеру Електроенергетске мреже и системи. Магистрирао је 2008. године, са просечном оценом 10,00. Тема магистарског рада је била „Оптимално ангажовање малих дистрибуираних производних јединица у постојећем електроенергетском систему“, под менторством проф. др Николе Рајаковића. По окончању дипломских студија 2003. године, запослио се у Хидроелектрани Бочац, где је наредних неколико година радио као инжењер за високонапонска и нисконапонска постројења. Паралелно је био ангажован на Електротехничком факултету Универзитета у Бањој Луци као хонорарни асистент. Крајем 2006. године прешао је у стални радни однос на факултету, а 2009. године биран је у звање вишег асистента. На истом факултету ради и данас, на групи предмета из области електроенергетски системи. Награђиван је златном плакетом Универзитета у Бањој Луци 2003. године за успех постигнут током додипломског школовања, те наградом Савеза студената Електротехничког факултета у Бањој Луци за најбоље оцењеног асистента у школској 2007/2008. години. Аутор је једног рада публикованог у истакнутом међународном часопису, четири рада публикована у зборницима међународних конференција, те више од десет радова презентованим на конференцијама у региону. Рецензент је часописа *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* (M21), те рецензент неколико међународних IEEE спонзорисаних конференција. Учествовао је у имплементацији два пројекта од националног значаја и једног међународног TEMPUS пројекта, из тематике обновљивих извора енергије и енергетске ефикасности.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Дисертација садржи нумерисаних 157 страна текста и остале пратеће странице са подацима захтеваним прописаном формом. Презентовани материјал укључује 80 слика и 21 табелу. Текст дисертације је подељен у 10 поглавља, која су насловљена: 1. Увод; 2. Опште чињенице о дистрибуираној производњи; 3. Инвестициони проблем из перспективе корисника; 4. Моделовање улазних величина; 5. Корист остварена кроз смањење рачуна за утрошену електричну енергију; 6. Корист од комбиноване производње топлотне и електричне енергије; 7. Корист у виду поправљања поузданости снабдевања; 8. Инвестициони трошкови и начини финансирања; 9. Интегрални илустративни пример; 10. Закључак. На крају текста дати су прилози (номенклатура, попис скраћеница, попис слика и попис табела), затим преглед коришћене литературе (78 библиографских референци) и биографија аутора.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Уводно поглавље почиње формулисањем предмета истраживања и набрајањем мотива који дају смисао раду на овако дефинисаној теми докторске дисертације. Говори се о могућим приступима проблематици инвестирања и експлоатисања дистрибуиране производње. Даје се преглед репрезентативне литературе класификоване према приступима. Објашњава се зашто је за тему дисертације одабран приступ посматрања из перспективе корисника. Наводе се отворена питања и наговештава се простор у којем је могуће остварити допринос.

У другом поглављу дат је кратак осврт на дефиницију појма и преглед актуелних технологија дистрибуиране производње. Наводе се најзначајније карактеристике за технологије које су интересантне за постављени задатак.

Треће поглавље се односи на инвестициони аспект дистрибуиране производње из перспективе корисника. Дефинише се проблем оптималног инвестирања у корисничку дистрибуирану производњу и наводе се основне претпоставке. Презентује се методологија за вредновање инвестиционих варијанти у условима неизвесности, уз истицање предности над традиционалним методологијама. Илуструје се принцип постојања оптималне инсталисане снаге дистрибуиране производње.

У четвртом поглављу се даје преглед моделовања улазних величина од интереса. За сваку величину описује се физичка основа и наводе математички принципи моделовања. Као најважније улазне величине истакнути су: кориснички дијаграм потрошње, метеоролошке величине, трошкови купљене електричне енергије и трошкови енергената дистрибуиране производње са уважавањем дугорочних трендова, трошкови покретања агрегата, трошкови услед прекида напајања, поузданост напајања из мреже и поузданост дистрибуиране производње.

Пето поглавље је прво од три наредна поглавља посвећена користима које корисницима може да донесе дистрибуирана производња. Ово поглавље конкретно третира проблематику користи остварене кроз смањење рачуна за утрошену електричну енергију. На почетку се приказује преглед досадашњег истраживања на ову тему и

прави се листа улазних величина које се у целокупном скупу референтне литературе сматрају утицајним. Потом се презентује аутентични метод за ангажовање корисничке дистрибуиране производње у условима неизвесности, с циљем максимизације уштеде. Алгоритам уважава све улазе који су наведени као утицајни и постиже квалитетне резултате у широком опсегу радних режима. Поглавље садржи и тестирање алгоритма на огледним примерима и преглед остварљивих резултата.

У шестом поглављу се приказани алгоритам за ангажовање корисничке дистрибуиране производње тестира у условима комбиноване производње топлотне и електричне енергије (*Combined Heat and Power* – СНР). Квантификују се домети алгоритма и пореде се са резултатима остварљивим традиционалним методама. Показује се да постоји класа проблема где наведени алгоритам постиже квалитетне резултате, али да такође под другачијим околностима постоји простор за даља побољшања.

Седмо поглавље покрива проблематику користи коју дистрибуирана производња доноси кориснику на пољу поправљања поузданости снабдевања електричном енергијом. Презентује се нови алгоритам за квантификовање вредности ове користи. Алгоритам је базиран на рачунању износа избегнуте штете, постигнутог ангажовањем дистрибуиране производње за вријеме нестанака напајања из мреже.

Након три поглавља о користима, осмо поглавље говори о трошковима инвестирања у дистрибуирану производњу. Интегрални дио поглавља је разматрање проблематике начина финансирања, свођења трошкова на годишњи ниво и могућности подстицања инвестиција у дистрибуирану производњу.

У деветом поглављу приказује се практична примена методологије за евалуацију инвестиционих варијанти у корисничку дистрибуирану производњу на једном интегралном илустративном примеру. Разматра се случај једног индустријског корисника, који се снабдева енергијом из дистрибутивне мреже и заинтересован је за куповину микротурбинског постројења на природни гас, у сврху смањења рачуна за енергију и смањења штете услед прекида напајања. Методологија презентована у дисертацији се аплицира на коначан скуп инвестиционих варијанти, квантификују се износи потенцијалног профита, процењују се степени ризика и одређује се варијанта која је најповољнија за корисника. Такође се испитује и осетљивост добијених резултата на промене најважнијих улазних величина. На крају поглавља се дискутује применљивост методологије на услове који владају код нас.

Десето поглавље садржи закључке дисертације. Овде је укратко поновљено како је постављен задатак дисертације и како је решен, уз набрајање доприноса приказаних кроз поједина поглавља и дисертацију у целини.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### **3.1. Савременост и оригиналност**

Употреба дистрибуиране производње представља савремени концепт, који треба да допринесе ефикаснијем, поузданијем и еколошки прихватљивијем начину снабдевања енергијом. У прилог савремености сведочи и актуелност референтне литературе која је

сконцентрисана у последњих десетак година, те присуство сесија насловљених „дистрибуирана производња“ практично у свим актуелним престижним конференцијама из тематике електроенергетских система.

Задаци оптималног инвестирања и експлоатисања дистрибуиране производње из перспективе корисника своје почетке такође бележе у првим годинама XXI века. Првобитна решења су базирана на детерминистичким методама. Приступу су најчешће парцијалног карактера, где се уважава један ограничени скуп улазних величина, док се остатак моделује упрошћено или се у потпуности занемарује.

У дисертацији се презентује оригинални приступ који се одликује свеобухватношћу и темељношћу. Међу аутентичним решењима истичу се оригинална поставка проблема оптималног инвестирања у корисничку дистрибуирану производњу, оригинални метод за ангажовање агрегата корисничке дистрибуиране производње у условима неизвесности, те метод за процену користи на пољу побољшања поузданости снабдевања електричном енергијом.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде дисертације кандидат је детаљно истражио доступну релевантну литературу и коректно навео радове који су у вези са темом. Наведено је укупно 78 библиографских референци. Литература је савремена, махом публикована у последњој деценији. Извори референци су доминантно врхунски и истакнути међународни часописи, те престижне међународне конференције. Листа укључује и неколицину радова које су током истраживања на тему докторске дисертације заједно објавили кандидат и ментор.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру приложене докторске дисертације састоји се у следећем:

- Детаљно је проучена релевантна литература, како у погледу примене дистрибуиране производње у ширем смислу, тако и у издвојеном случају када се на проблем гледа из перспективе корисника.
- На основу систематизованог прегледа литературе и критичке анализе, одређен је простор који је отворен за даље истраживање.
- Извршено је дефинисање задатка дисертације и набројене су претпоставке под окриљем којих се постављени задатак решава.
- Начињена је систематизација улазних величина које су релевантне за проблематику инвестирања и експлоатисања корисничке дистрибуиране производње.
- Извршено је моделовање улазних величина одговарајућим пробабилистичким моделима. Ова процедура је углавном базирана на проналажењу одговарајућих већ развијених модела и адаптацији постојећих модела, развијених за друге примене, конкретном задатку дисертације.

- Развијени су нови алгоритми за ангажовање агрегата корисничке дистрибуиране производње у условима неизвесности и за процену користи на пољу побољшања поузданости снабдевања корисника електричном енергијом.
- Алгоритми су преточени у програмски код и извршено је опсежно тестирање њихових перформанси применом Монте Карло симулација.
- Уочене су предности и недостаци предложених алгоритама и изведени су закључци о валидности њихове примене и могућностима за даље побољшање.
- Применљивост развијене методологије демонстрирана је на интегралном илустративном примеру.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Опсежним тестирањима Монте Карло симулацијама верификовано је да развијена методологија постиже квалитетне резултате у широком опсегу радних режима. Огледни примери су одабрани тако да се директно увиђа применљивост методологије у пракси. Квалитетне перформансе и применљивост методологије се посебно препознаје када се за улазне величине бирају вредности примерене стању у развијеним земљама Европе и Америке. У раду се наводи да је применљивост корисничке дистрибуиране производње у домаћим околностима тренутно ограничена, пошто су цене енергената због увозног карактера релативно високе, а цене електричне енергије се законски регулишу на ниским вредностима. Пуни степен конкурентности се очекује тек у наредним годинама, након провођења процеса либерализације тржишта електричне енергије и енергената за дистрибуирану производњу.

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

Кандидат је у својој дисертацији показао систематичност, свеобухватност и зрелост. Посебно треба истаћи да је област којом се кандидат бави веома актуелна, а да сви добијени резултати значајно унапређују постојећа решења, тако да су доприноси у овој дисертацији оригинални и потврђују способност кандидата за самостални научно-истраживачки рад.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Повлачењем паралеле са актуелним стањем у области, издвајају се следећи доприноси који су представљени у приложеној дисертацији:

- Формирана је аутентична поставка проблема оптималног инвестирања у корисничку дистрибуирану производњу, у којој се уважавају потенцијалне користи остварљиве на пољима смањења корисничког рачуна за електричну енергију, корисне употребе отпадне топлотне енергије и смањења штета услед прекида напајања из дистрибутивне мреже. За овакву поставку проблема реализован је

пробабилистички евалуациони метод за вредновање инвестиционих варијанти у условима неизвесности.

- Развијен је нови алгоритам за ангажовање произвољног броја корисничких дистрибуираних агрегата, са циљем максимизације уштеде у укупном рачуну за енергију. Алгоритам уважава скуп улазних променљивих који је већи него у досадашњим референтним радовима. Монте Карло симулацијама су верификоване високе перформансе предложеног алгоритма. На основу резултата симулација дискутује се које су улазне променљиве од пресудне важности, а које је могуће uproшћено моделовати или у потпуности занемарити.
- Размотрена је употреба развијеног алгоритма за ангажовање агрегата у применама које уз производњу електричне енергије такође укључују комбиновану производњу топлотне енергије. Квантификован је износ корисничке користи. Извршено је поређење са дoметима који се постижу традиционалним алгоритмима и пронађена је класа проблема где примена презентованог алгоритма има пуни смисао.
- Развијен је нови алгоритам за квантификовање користи коју употреба дистрибуиране производње доноси на пољу повећања поузданости напајања, односно на пољу смањења штете услед прекида напајања из дистрибутивне мреже. Дискутоване су добре особине и недостаци овог алгоритма.
- Развијени методи су верификовани тестирањем на огледним примерима, прво појединачно у одговарајућим поглављима, а потом и свеобухватно на интегралном илустративном случају. Дискутована је применљивост у домаћем окружењу.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем постављених хипотеза, циљева истраживања и остварених резултата констатујемо да је кандидат успешно решио предвиђени задатак. У односу на досадашње стање у литератури, приступ који је представио кандидат издваја се као бољи због више уважених улазних променљивих, због већег броја типова користи од дистрибуиране производње посматраних интегрално, те због примене пробабилистичког приступа који уместо јединственог решења даје читави спектар могућих исхода, чиме се отвара простор за детаљнију анализу уз процену инвестиционог ризика.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

У току свог истраживачког рада, у ужој области теме докторске дисертације, кандидат мр Чедомир Зељковић објавио је следеће радове:

#### Истакнути међународни часописи (категорија M22):

- [1] **Zeljković, Č., Rajaković, N.** : Cost-Saving Potential of Customer-Driven Distributed Generation, *-Electric Power Systems Research*, vol. 92, pp. 87-95, 2012 (IF=1,478) (ISSN 0378-7796)

**Саопштења са међународних скупова штампана у целини (категорија M33):**

- [2] **Zeljковић Ћ. V.**, Rajaković N. Lj., Zubić S. J.: „A Method for Cost Minimization Applicable to Load Centers Containing Distributed Generation“, -*Proceedings of the 2009 IEEE PowerTech Conference*, Bucharest, Romania, June 28 - July 02, 2009, pp. 34-39.
- [3] **Zeljковић Ћ. V.**, Rajaković N. Lj., Zubić S. J.: „An Application of Cost Minimization Algorithm to Economic Justification of Installing Distributed Generation“, -*Proceedings of the IFAC Conference on Control Methodologies and Technology for Energy Efficiency CMTEE 2010*, Vilamoura, Portugal, March 29 - 31, 2010, pp. 243-248.
- [4] **Zeljковић Ћ. V.**, Rajaković N. Lj., Zubić S. J.: „Customer-Perspective Approach to Reliability Evaluation of Distributed Generation“, -*Proceedings of the 2011 IEEE PowerTech Conference*, Trondheim, Norway, June 19 - 23, 2011., pp. 1-6.
- [5] **Zeljковић Ћ. V.**, Rajaković N. Lj.: „Assessing the Investments in Customer-Driven Distributed Generation under Uncertainty“, -*Proceedings of the IEEE International Conference on Probability Methods Applied to Power Systems, PMAPS 2012*, Istanbul, Turkey, June 10-14, 2012., pp. 1-6.

**Саопштења са домаћих скупова штампана у целини (категорија M63):**

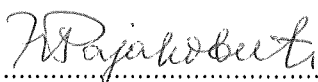
- [6] **Zeljковић, Ћ.**, Rajaković, N., Zubić, S.: „Metod za minimizaciju troškova potrošačkog područja sa distribuiranim proizvodnim resursima“, -*Zbornik radova XXIV međunarodnog savetovanja Energetika*, Zlatibor, 25-28. mart 2008., broj 3, str. 52-58.
- [7] **Zeljковић Ћ.**, Rajaković, N., Zubić S.: „Primjena algoritma za minimizaciju troškova na ekonomsku procjenu isplativosti uvođenja distribuirane proizvodnje“, -*Zbornik radova XXV međunarodnog savetovanja Energetika*, Zlatibor, 24-27. mart 2009., str. 157-162.
- [8] **Zeljковић, Ћ.**, Rajaković, N., Zubić, S.: „Evaluacija isplativosti upotrebe distribuirane proizvodnje kod industrijskih/komercijalnih potrošača“, -*Zbornik radova VIII simpozijuma Indel*, Banja Luka, 4-6. novembar 2010., str. 339-344.
- [9] **Zeljковић, Ћ.**, Rajaković, N.: „Vrednovanje investicija u male izolovane obnovljive proizvodne sisteme simulacionom metodom“, -*Zbornik radova XXVIII međunarodnog savetovanja Energetika*, Zlatibor, 27-30. mart 2012.
- [10] **Zeljковић, Ћ.**, Rajaković, N., Zubić, S., Matić, P.: “Challenges and Opportunities for Customer-Driven Distributed Generation in the Republic of Srpska”, -*Proceedings of the IX Simpozijum Indel*, Banja Luka, November 1-3, 2012., pp. 271-276.
- [11] **Zeljковић, Ћ.**, Rajaković, N., Zubić, S.: „Analiza isplativosti kogenerativne distribuirane proizvodnje iz perspektivne korisnika“, -*Zbornik radova XXIX međunarodnog savetovanja Energetika*, Zlatibor, 26-29. mart 2013., str. 103-109.



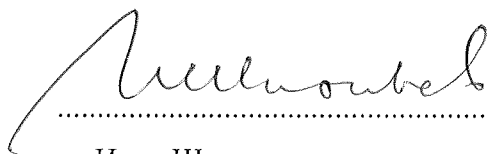
## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега што је наведено, Комисија констатује да дисертација испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме који се уобичајено примењују приликом вредновања докторске дисертације на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Комисија сматра да докторска дисертација мр Чедомира Зељковића садржи оригиналне научне доприносе, који могу имати значајну практичну применљивост у области електроенергетских система. На основу свега изложеног, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Инвестициони и експлоатациони аспекти корисничке дистрибуиране производње у условима неизвјесности“ кандидата мр Чедомира Зељковића прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



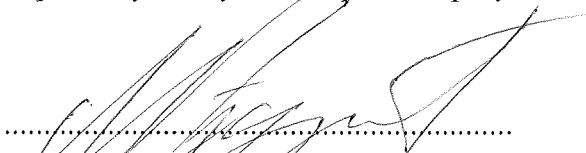
.....  
др Никола Рајаковић, редовни професор  
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



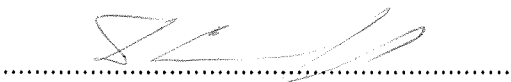
.....  
др Иван Шкокљев, редовни професор  
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



.....  
др Драган Тасић, редовни професор  
Универзитет у Нишу - Електронски факултет



.....  
др Миленко Бурић, редовни професор  
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



.....  
др Предраг Стефанов, доцент  
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет