

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Подобност теме и кандидата Свјетлане Докић за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 5081/11-1 од 19. 07. 2018. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Свјетлане Докић** за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **"Оптимизација рада електроенергетског и гасног система са аспекта критичних испада"**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### 1. Подаци о кандидату

##### 1.1. Биографски подаци

Свјетлана Докић је рођена 1.09.1972. године у Сарајеву. Основну школу "Иван Горан Ковачић" завршила је у Сарајеву после чега уписује средњу математичко-физичко-рачунарску гимназију „Огњен Прица“ и завршава је одличним успехом. Студије наставља на Електротехничком факултету у Београду. Дипломирала је 2002. године на Одсеку за енергетику, Смер за електроенергетске системе. Докторске академске студије је уписала 2011. године на Електротехничком факултету у Београду и положила све испите предвиђене планом и програмом модула за Електроенергетске мреже и системе са просечном оценом 9,60. Тренутно је студент докторских студија.

У периоду од 2002-2007. год радила је у средњој техничкој школи као професор електро групе предмета. Од 20. 01. 2007. запослена је у ЈП Србијагас у Београду, у Сектору за развој као Руководилац одељења. До сада је била ангажована на различитим пројекта, где се бави моделовањем и анализом удеса гасоводних система, проценом ризика од удеса и утицаја на околину, као и изработом Главних пројеката и Елабората заштите од пожара. Такође ради и као противпожарни и противексплозивни надзор на свим инфраструктурним гасоводним објектима у РС у складу са лиценцама МУПа (А, Б1-Б6). Поседује лиценце 350 I522 10 и 352 R040 18

Током докторских студија објавила је један рад у међународном часопису са SCI листе, један у међународном часопису који није са SCI листе и 5 у научним часописима националног значаја.

##### 1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Кандидат је докторске студије уписао 19.01.2012 (школска 2011/2012. година) и положио све испите који су предвиђени планом докторских академских студија на модулу Електроенергетске мреже и системи на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, са просечном оценом 9,6. На основу одлуке Наставно-научног већа Студијски програм је започео у пролећном семестру школске 2011/2012, 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 студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за

завршетак студија за два семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета. Кандидат је пред Комисијом формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета (др Жељко Ђуришић, доцент, др Никола Рајаковић, редовни професор у пензији, др Зоран Радаковић, редовни професор), на јавној усменој одбрани, успешно положио докторски испит, одржан 03.09.2018. године.

#### Преглед положених испита

|    | Назив предмета                                              | Оцена | ЕСПБ |
|----|-------------------------------------------------------------|-------|------|
| 1  | Методе оптимизације у електроенергетским системима          | 8     | 9    |
| 2  | Дистрибутивни системи – оптимално планирање и експлоатација | 10    | 9    |
| 3  | Обновљиви извори енергије и околина                         | 10    | 9    |
| 4  | Мерне спреге и мерни трансформатори                         | 10    | 9    |
| 5  | Поузданост електроенергетских система                       | 10    | 9    |
| 6  | Стабилност електроенергетских система                       | 10    | 9    |
| 7  | Увод у научни рад                                           | 10    | 9    |
| 8  | Уземљивачки системи                                         | 10    | 9    |
| 9  | Примена информационих технологија у електроенергетици       | 8     | 9    |
| 10 | Ветроенергетика и соларна енергетика                        | 10    | 9    |

#### Списак реализованих обавеза

|   | Назив обавезе                 | ЕСПБ |
|---|-------------------------------|------|
| 1 | Научно-стручни рад            | 3    |
| 2 | Студијски истраживачки рад I  | 15   |
| 3 | Студијски истраживачки рад II | 15   |

#### Списак објављених радова

\*Односе се на тему дисертације

#### **Рад публикован у научном часопису са SCI листе**

[1] Dokić S., Rajaković N.: „Security Modelling of Integrated Gas and Electrical Power Systems by Analyzing Critical Situations and Potentials for Performance Optimization“, Energy, maj 2018., <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.165> \*

#### **Рад публикован у међународном часопису који није са SCI листе**

[2] Dokić S., Ratković Ž.: „Gasne elektrane kao strateški izbor Republike Srbije“, Plin, br. 1 – godina XIII, str. 36-41, mart 2013., ISSN 1333-1132 \*

#### **Радови публиковани на међународним научним скуповима**

[3] Dokić S., Ratković Ž.: „Gas power plant management from the aspect of critical situations, Medpower“, Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MedPower 2016), Belgrade, Serbia, novembar 2016, p. 96 (8.)-96 (8.), DOI: [10.1049/cp.2016.1085](https://doi.org/10.1049/cp.2016.1085), ISBN: 978-1-78561-406-4.\*

[4] Dokić S., Rajaković N.: „Impacts of incorporation of the gas pipeline system in the power system of the Republic of Serbia“, 1<sup>st</sup> South East European Conference on Sustainable

#### **Радови публиковани у научним часописима националног значаја**

- [5] Dokić S., Mikulović J., Babić I.: „Solarni paneli u funkciji *off-grid* napajanja gasnih objekata, Energija, Ekologija, Ekonomija, br.3-4, mart 2015, p.15-21, ISSN 0354-8651.
- [6] Dokić S., Ratković Ž.: „Potencijali gasnih elektrana (ekologija+ekonomija), Energija, Ekologija, Ekonomija, br.1-2, mart 2012, p.94-97, ISSN 0354-8651.
- [7] Dokić S., Ratković Ž.: „Alokacija gasnih elektrana prema tehničkim karakteristikama, prirodnim potencijalima i energetsom konzumu“, Energija, Ekologija, Ekonomija, br.1-2, mart 2014, p.243-250 ISSN 0354-8651.
- [8] Dokić S., Štula Vukušić T.: „Ekološki aspekti primene prirodnog gasa kao energenta“, Energija, Ekologija, Ekonomija, br.2, mart 2011, p.143-146, ISSN 0354-8651.
- [9] Štula Vukušić T., Dokić S.: „Prirodni gas u službi održivog razvoja i očuvanja biodiverziteta“, Ecologica, br.59, 2010, p.453-456, ISSN 0354-3285.

#### **Радови публиковани у зборницима скупова националног значаја**

- [10] S. Dokić: „Preventivne mere zaštite u gasnoj tehnici“, 7. Međunarodna „Ex“ tribina – Fruška Gora 2011., 21-23. septembar 2011, p. 201-208.
- [11] S. Dokić: „Ekološki benefiti inkorporacije kogenerativnih gasnih elektrana u elektroenergetski sistem RS“, Gas 2014, Divčibare, 23-26. septembar 2014.
- [12] S. Dokić: „Automatizovani ekološki monitoring primenjen na gasovodni sistem“, Gas 2013, Divčibare, 28-31. maj 2013.

#### 1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат Свјетлана Докић поседује одговарајући ниво знања из електроенергетских и гасних система, гасних електрана и оптимизације рада електрана, области анализе испада и критичних ситуација. Знања из наведених области представљају базу знања неопходну за суочавање са техничким проблемом који се третира у докторској дисертацији. Кандидат је до сада као коаутор публиковао 12 радова / од тога 4 у вези са темом докторске дисертације, 1 у међународном часопису са SCI листе, 1 у међународном часопису који није на SCI листи и 2 рада на међународним стручним скуповима. До сада је положила све испите на докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Кандидат је пред Комисијом формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета, на јавној усменој одбрани, **успешно положио докторски испит, одржан 3.09.2018. године**. На основу наведених резултата кандидата, Комисија је проценила да је кандидат Свјетлана Докић у стању да успешно реализује израду предметне докторске дисертације.

#### **2. Предмет и циљ истраживања**

Подручје анализе интегрисаних гасних и електричних система односно идентификација обима утицаја једног система на други систем или целу мрежу све је заступљенија област истраживања у енергетици. Поуздано и квалитетно снабдевање потпрошача електричном енергијом представља основни захтев у оваквим системима. Процена и квантификација поузданости рада система се мери индикаторима поузданости (нпр. бројем и трајањем отказа у мрежи). Међузависност ова два система показала је потребу за новим приступима и моделима који узимају у обзир и њихову све значајнију интеракцију [1]. Најчешћи домен испитивања интегрисаних електричних и гасних система су економски [2,3,4], односно

тржишни аспекти сигурности снабдевања [5]. Мањи број радова се бави прорачуном поузданости мреже на бази тренутног стања у мрежи као и даљом оптимизацијом рада оваквих система. Међузависност ова два система може се посматрати са два аспекта: (1) гасна зависност електране у електроенергетском систему и (2) електрична зависност компресора у гасном систему [6]. Полазећи од хипотезе да се аквизицијом тренутних величина мреже и стања статусне опреме у њој могу симулирати излазне радне величине когенеративне гасне електране, оператор у сваком моменту може ускладити њен рад са потребама електроенергетског система, а све у циљу минимизирања негативних утицаја отказа гасног система. Тиме ће се постићи већа поузданост целокупног електроенергетског интегрисаног система. У [7] је показано да се подешавањем брзине протока гаса и других гасних величина може достићи ефикасност система од 96 %.

Предмет предложене дисертације биће сигурносне анализе рада интегрисаног гасног и електроенергетског система као и предикција рада гасних електрана у зависности од тренутних вредности гасних величина. Као основа за писање овога рада послужила је референца [8].

Циљ истраживања у оквиру докторске дисертације јесте анализа утицаја отказа гасног система на целокупан интегрисани електроенергетски систем са аспекта ризика њеног испада са мреже, као и могућност оптимизације рада мреже, односно повећање отпорности интегрисаних система у случају индивидуалних поремећаја.

У дисертацији ће се показати да се применом сегментне интерполације радијална гасна мрежа може линеаризовати и посматрати као јединствени део електроенергетске мреже на коју се могу применити одговарајући софтверски алати за даље анализе интегрисане мреже, при чему је грешка која се при овоме прави минимална [9,10]. На овај начин избећи ће се груба линеаризација примењена на цели опсег протока гаса.

Циљ истраживања је да се, кроз квантификацију утицаја у интегрисаној гасној и електричној мрежи, покаже да су испади у гасној мрежи, са аспекта сигурности интегрисане електроенергетске мреже, критичнији од испада у електричним мрежама. Другим речима показаће се да су непредвиђене ситуације у гасном систему од кључног значаја за студије сигурности интегрисаног електроенергетског система. Анализа ће се извршити на примеру реалног електроенергетског и гасоводног система Републике Србије при чему је конекција ова два система остварена преко две гасне електране.

Допринос докторске дисертације јесте и у формирању концепта укључивања гасних електрана у *SMART grid*, односно показаће се како се уградњом паметне опреме у гасоводни систем може оптимизовати рад гасних електрана и на тај начин предупредити дебаланс снаге у интегрисаној електроенергетској мрежи. Предикцијом рада гасних електрана Оператор система ће моћи на време да реагује у случају поремећаја у снабдевању гаса или неких других непредвиђених активности, односно на време да изврши балансирање мреже и уведе заменски извор у погон, реализује интервентни увоз или измени топологију мреже. На сличан начин Оператор може планирати и даљинско укључење гасне електране у електроенергетски систем у случају поремећаја у балансу мреже услед испада неког другог извора или повећане потребе конзума у покривању вршног оптерећења мреже.

Очекује се да резултати добијени у оквиру израде докторске дисертације буду применљиви у реалном гасоводном и електроенергетском систему, како у процесу мониторинга и раног уочавања поремећаја у мрежи, тако и за доношење правовремених одлука о укључењу и искључењу гасне електране из електроенергетског система и увођења других извора у рад. На тај начин ће се повећати поузданост рада интегрисане мреже.

Значај и актуелност самог истраживања се такође може сагледати кроз велики број научно-истраживачких радова из ове области, који су публиковани у различитим међународним часописима и на међународним конференцијама.

Само неки од ових радова су наведени као део библиографије која ће бити коришћена током израде ове дисертације:

- [1] Rubio-Barros R., Ojeda-Esteybar D., Ano O., Vargas A.: „Combined operational planning of natural gas and electric power systems: State of the art”, Chapter 12, Natural Gas, edited by Primoz Potocnik, InTech 2010., pp. 271–288, ISBN: 978-953-307-112-1.
- [2] Lienert M., Lochner S.: „The importance of market interdependencies in modelling energy systems – the case of European electricity generation market”, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, January 2012, vol. 34, pp. 99-113.
- [3] Deane J.P., O. Ciarain M., O.Gallachoir B.P.: „An integrated gas and electricity model of the EU energy system to examine supply interruptions“, Applied Energy, 2017, vol. 193, pp. 479-490.
- [4] Morais M.S., Marangon Lima J.W.: „Combined natural gas and electricity network pricing, Electric Power System Research, vol. 77, 2007, pp. 712-719, ISSN:0378-7796.
- [5] Diagoupis TD, Andrianesis PE, Dialynas EN.: „A planning approach for reducing the impact of natural gas network on electricity markets“, Applied Energy, 2016, vol.175, 189–98, Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.006>
- [6] Cakir Erdener B., Pambour K. A., Bolado Lavin R.: „An integrated simulation model for analysing electricity and gas systems“, Electrical Power & Energy Systems, October 2014, vol. 61, pp 410- 420.
- [7] Zhang Y., Tan H, Li Y., Zheng J., Wang C.: „Feasibility analysis and application design of a novel long-distance natural gas and electricity combined transmission system“, Energy, 2014, vol.77, pp. 710-719.
- [8] Santos MJ, Ferreira P, Araújo M.: „A methodology to incorporate risk and uncertainty in electricity power planning“, Energy, 2016, vol. 115, part 2, pp. 1400-1411.
- [9] Strelec V.: et al. Gas handbook. 6th ed, Energetika marketing, 2001.
- [10] C.S. Cheng, D. Shirmohammadi: „A Three-Phase Power Flow Method for Real-Time Distribution System Analysis“, IEEE Transactions on Power Systems, 1995, vol. 10, no. 2, pp. 671-679.

### 3. Полазне хипотезе

У раду ће се поћи од следећих хипотеза:

- С обзиром на аналогију гасног и електроенергетског система могуће је формирати јединствену заменску шему мреже у циљу даљих анализа на вишем степену интеграције
- Гасна мрежа је већим делом радијална и у случају испада гасовода нема алтернативних праваца напајања гасом
- Рад гасних електрана доминантно је одређен улазним радним величинама и амбијенталним условима па се континуалним праћењем радних величина на гасоводном систему може унапред дефинисати сценарио којим ће се предвидети понашање гасне електране и утврдити мере како би се избегли непожељни и непланирани утицаји на електроенергетски систем
- У циљу остваривања наведених могућности неопходно је предвидети уградњу интелигентне опреме и уређаја којима би се у реалном времену пратило понашање радних величина на систему у његовим карактеристичним тачкама битним за креирање модела предикције понашања гасоводног и електроенергетског система
- Испади гасних електрана су веома неповољни за електроенергетски систем јер је гасна мрежа радијална и не постоји резервно напајање гасом. У циљу минимизације утицаја отказа гасне мреже односно оптимизације система уводи се величина „*line pack*“ при чему ће се гасовод посматрати као складиште гаса, а Оператор ће у сваком моменту моћи прорачунати „*line pack*“ односно преостали број сати рада електране

#### 4. Научне методе истраживања

У првом делу дисертације, користећи *Digsilent Power Factory* софтвер, на моделу интегрисане гасне и електричне 400 kV, 220 kV и 110 kV преносне мреже анализираће се безбедност мреже при критичним испадима. Циљ је да се покаже да су, са аспекта сигурности мреже, испади у гасоводној мрежи опаснији за електроенергетски систем у односу на испаде у електричној мрежи.

У циљу наведених анализа, а узимајући у обзир аналогiju гасне и електроенергетске мреже, извршиће се линеаризација гасне мреже користећи метод сегментне линеаризације. Користећи наведену методу извршиће се линеаризација криве зависности притиска на излазу гасоводне цеви од протока при константном улазном притиску са више праволинијских сегмената, односно за сваку гасоводну цев посебно. На овај начин радијална гасна мрежа биће представљена еквивалентном радијалном електроенергетском мрежом и на њу ће се применити све методе прорачуна токова снага и напонских прилика као и у реалним електроенергетским мрежама.

Користећи *Shirmohamadijev* итеративни метод прорачуна токова снага, показаће се колика се грешка прави при наведеној линеаризацији гасног система.

Применом софтвера *Ebsilon Proffesional v. 11.04.04* извршиће се симулација рада гасне електране. Симулација ће се извршити на моделу комбиноване гасне електране. Разматраће се модели управљања и контроле рада когенеративне гасне електране са аспекта утицаја промене гасних величина (притисак, температура, запремински проток гаса, пад притиска) на излазне електричне величине (производња електричне енергије, степен електричног искоришћења) и предложити оптимални сценарији за понашање Оператора сходно очекиваним догађајима. Предложена решења ће омогућити симулацију понашања гасне електране услед промене радних величина у гасоводу како би се избегле нежељене ситуације и обезбедио поуздан рад електране. На основу тренутно расположиве количине гаса у цевоводу која је заостала после отказа биће процењено време рада гасне турбине при различитој потрошњи гаса у гасној турбини, односно оптерећењу гасне турбине.

У оквиру дисертације биће сагледан и значај предметног истраживања у погледу унапређења услова интеграције обновљивих извора енергије и дистрибуираних гасних електрана у електроенергетски систем као и значај и економска оправданост развоја концепта сложене упетљане гасоводне мреже.

#### 5. Очекивани научни доприноси

- Користећи *DigSILENT Power Factory softwer* примењен на реалну интегрисану електроенергетску мрежу показаће се, кроз квантификацију утицаја, да су, са аспекта сигурности мреже, откази у радијалном гасном систему од пресудног значаја за интегрисани електроенергетски систем у поређењу са отказима у систему електричне енергије.

- У предложеној дисертацији приказаће се методологија уз помоћ које се гасна мрежа може линеаризовати и посматрати као саставни део електроенергетске мреже у циљу даљих анализа на вишем степену интеграције ова два система. Користећи сегментну линеаризацију избећи ће се „груба линеаризација“ примењена на цели опсег протока гаса којом би се правила грешка у прорачуну.

- Анализом грешке која се има због линеаризације применом *Shirmohammadijeve* методе показаће се да је наведена линеаризација оправдана те да је грешка која се при овом прави занемарљиво мала.

- У циљу смањења броја критичних испада интегрисаног система, уз помоћ софтверског алата *Ebsilon Proffesional*, извршиће се симулација понашања реалног система у зависности од улазних гасних величина, амбијенталних услова и оптерећења гасних турбина, те на тај начин дефинисати оптимални услови рада гасних електрана као и критичне вредности при којима се јављају ограничења и проблеми у раду електране. На тај начин помериће се

безбедоносне маргине рада електроенергетског система а Оператор преносног система добиће довољно времена да реагује у случају поремећаја у снабдевању гаса.

## 6. План истраживања и структура рада

План истраживања обухвата следеће активности:

- Преглед и анализа научно-стручне литературе из области интегрисаних гасних и електроенергетских система
- Преглед и анализа најновијих истраживања из области оптимизације рада гасних електрана као и рад на унапређењу методологије за анализу и оптимизацију интегрисане гасне и електроенергетске мреже
- Примена методе сегментне интерполације у циљу линеаризације радијалне гасне мреже као и  $t$  квантификације грешке која се при томе прави применом *DigSILENT Power Factory* софтвера
- Развој методе којом се симулирају критични испади у реалној интегрисаној мрежи и верификација очекиваних последица при оваквим испадима.
- Развој модела за анализу утицаја гасног система на рад електране применом одговарајућег софтверског алата
  - Развој модела предикције рада гасне електране
    - Модел управљања на основу тренутног заосталог складишног капацитета гасовода („*line-pack-a*“)
    - Модел управљања на основу промене радних величина у гасоводу (притиска  $p$  и температуре  $T$  гаса)
    - Модел управљања на основу улазних величина ( температуре амбијента  $T_{amb}$ , сатне потрошње гасне турбине  $Q_{gt}...$ )
- Верификација очекиваних научних доприноса објављивањем резултата истраживања у научним часописима са SCI листе, као и у другим часописима и на конференцијама националног, регионалног и међународног значаја.
- Израда докторске дисертације на основу добијених резултата истраживања и научних доприноса.

Дисертација ће бити организована на следећи начин:

У првом делу дисертације биће предложен симулацијски оквир којим се, у циљу даљих сложенијих анализа, може моделирати интегрисана гасна и електроенергетска мрежа. *Shirmohamadijevom* методом прорачуна токова снага извршиће се анализа грешке која се прави при наведеној линеаризацији гасног система.

Даље, симулацијски оквир интегрисаног модела ће се имплементирати у симулацијски алат *DigSILENT Power Factory* помоћу ког ће се извршити анализа сигурности интегрисане мреже при критичним испадима система.

У другом делу дисертације, кроз концепт укључивања гасних електрана у SMARTgrid показаће се како се аквизицијом статуса управљачке опреме и радних величина гасоводне мреже може утицати на оптимизацију рада гасних електрана

## 7. Закључак и предлог

На основу приложене документације, као и непосредног увида у досадашњи научни рад кандидата Свјетлане Докић, дипломираног инжењера електротехнике, Комисија је закључила да:

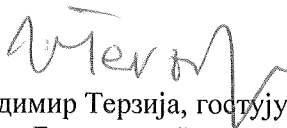
1. Кандидат испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду за одобрење теме за израду докторске дисертације;
2. Предложена тема *Оптимизација рада електроенергетског и гасног система са аспекта критичних испада* научно је заснована, а резултати до којих ће се доћи израдом ове дисертације представљаће значајан и оригиналан допринос у области предметног истраживања.

Свјетлана Докић спроводи истраживања у вези са предложеном темом на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

На основу претходно изложеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидату Свјетлани Докић одобри израду докторске дисертације под наведеним називом, а под менторством др. Владимира Терзије, гостујућег професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У Београду, 20. септембар 2018.

### Чланови комисије



др Владимир Терзија, гостујући професор,  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет  
(ментор)



др Жељко Ђуришић, доцент,  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет  
(председник комисије)



др Никола Рајаковић, редовни професор у пензији,  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет  
(члан комисије који није запослен на ЕТФ-у)



др Зоран Радаковић, редовни професор,  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет  
(члан комисије)