

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

На 748. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду одржаној 29.05.2012. године, одређени смо за чланове Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације Чедомира Зељковића, магистра електротехнике, под насловом "Инвестициони и експлоатациони аспекти корисничке дистрибуиране производње у условима неизвјесности". На основу увида у приложени материјал, Наставно-научном већу подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. 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 Рајакловића.

Кандидат мр Чедомир Зељковић, 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. Учествовао је у имплементацији два пројекта од националног значаја, из тематике обновљивих извора енергије и енергетске ефикасности.

Списак објављених радова релевантих за рад на предложеној теми:

Радови кандидата објављени у међународним часописима:

- [1] Č. Zeljković, N. Rajaković „Cost-Saving Potential of Customer-Driven Distributed Generation“, Electric Power Systems Research, (doi 10.1016/j.epsr.2012.06.008), impact factor 1,478 (2011).

Радови кандидата објављени у зборницима међународних конференција:

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

Радови кандидата објављени у зборницима конференција националног значаја:

- [1] Č. Zeljković, N. Rajaković, S. Zubić „*Metod za minimizaciju troškova potrošačkog područja sa distribuiranim proizvodnim resursima*“, Energetika, Međunarodno savetovanje, Zlatibor, Mart 2008.
- [2] Č. Zeljković, N. Rajaković, S. Zubić „*Primjena algoritma za minimizaciju troškova na ekonomsku procjenu isplativosti uvođenja distribuirane proizvodnje*“, Energetika, Međunarodno savetovanje, Zlatibor, Mart 2009.
- [3] Č. Zeljković, N. Rajaković, S. Zubić „*Evalvacija isplativosti upotrebe distribuirane proizvodnje kod industrijskih/komercijalnih potrošača*“, Simpozijum Indel, Banja Luka, Novembar 2010.
- [4] Č. Zeljković, N. Rajaković „*Vrednovanje investicija u male izolovane obnovljive proizvodne sisteme simulacionom metodom*“, Energetika, Međunarodno savetovanje, Zlatibor, Mart 2012.

2. Предмет и циљ истраживања

Крајем XIX века Тесла је извојевао *Пат струја* и отворио пут развоју електроенергетских система у којима се енергија производи у моћним централизованим електранама и до корисника преноси на велике раздаљине. Стотињак година касније, свету се поново намеће потреба да се дио енергије производи у близини корисника. За производне јединице релативно мале снаге, које су инсталисане непосредно уз кориснике електричне енергије, усвојен је термин дистрибуирана производња (енгл. *distributed generation* - DG). Аргументи којима се оправдава употреба дистрибуиране производње су разна побољшања за власника мреже, корисника електричне енергије, те за друштво уопште. Највише радова у области покрива тематику побољшања које може остварити власник мреже. Показује се да увођење дистрибуиране производње у електроенергетски систем помаже власнику мреже да смањи губитке у преносу, побољша напонске прилике, одложи инвестиције у нове капацитете итд. Велики број радова анализира користи које од инсталације дистрибуиране производње може имати шира заједница. Од ових користи превасходно се могу поменути повећање енергетске ефикасности на нивоу државе, повећање сигурности снабдевања, смањење емисије штетних гасова, увођење новијих

еколошки прихватљивијих технологија производње енергије, отварање нових радних места и сл. Најмање су заступљени радови који на проблем употребе дистрибуиране производње гледају из перспективе корисника. Корисник, придруживањем локалних производних јединица традиционалном начину снабдевања из дистрибутивне мреже, може смањити укупни рачун за утрошену енергију, повећати поузданост снабдевања, корисно употребити отпадну топлотну енергију за гријање и хлађење итд.

Из разлога најмање заступљености, предмет истраживања ове докторске дисертације је управо *кориснички поглед на оцену употребљивости дистрибуиране производње*.

Преглед мотива такође укључује и следеће ставке:

- Могућност дистрибуиране производње да учествује у смањењу вршне потрошње. Наиме, највише корисника електричне енергије у свету енергију плаћа по TOU (енгл. *time-of-use*) начину тарифирања. Тарифа за индустријске (а често и комерцијалне) кориснике у највећем броју случајева укључује ставку вршне снаге. Надокнада за вршну снагу може значајно да партиципира у укупном рачуну за енергију. Дистрибуирана производња, ангажовањем у одговарајућим временским интервалима, има потенцијал да помогне у смањењу вршне снаге потрошње. Испоставља се да чак и употреба производних јединица чији су трошкови по произведеном киловат-часу знатно већи од цене енергије купљене од снабдјевача опет може довести до смањења свеукупног рачуна за потрошену енергију.
- Развој технологија дистрибуиране производње води ка смањењу капиталних трошкова, те све већој доступности, једноставности и поузданости употребе. Примјер представља технологија микротурбина која је у претходној деценији толико усањена да сада на тржишту постоје једноставна, типска рјешења за широки опсег инсталираних снага.
- Флексибилност избора енергената. На примјер, савремену алтернативу природном гасу представља гас из шкриљаца, чији је рапидни развој експлоатације у Сјеверној Америци довео до смањења тржишне цене гаса на најмањи ниво у протеклих десет година. Другу алтернативу представља биогас, чије се технологије такође интензивно развијају.
- Потенцијал дистрибуиране производње да снабдева кориснике у периодима када дође до прекида у напајању од стране дистрибутивне мреже. Ово је посебно важно код корисника са осјетљивим радним процесима, код којих се јављају штете великих размјера, као што су нпр. процесна индустрија, финансијске корпорације, здравствене установе и слично.
- Могућност комбиноване производње топлотне и електричне енергије (енгл. *combined heat and power* - *CHP*), чиме се у савременим рјешењима постиже сумарни коефицијент искоришћења и до 90%.

Оцена употребљивости дистрибуиране производње подразумева инвестициону и експлоатациону компоненту. Разлог за то је чињеница да начин ангажовања дистрибуираних агрегата директно утиче на њихов инвестициони потенцијал. Предмет истраживања ове докторске дисертације зато укључује *проблематику оптималне стратегије ангажовања дистрибуираних агрегата и проблематику оптималног избора инвестиционе варијанте дистрибуиране производње*.

Циљна група корисника су индустријски и комерцијални средње и велике снаге, који електричну енергију плаћају по TOU тарифи, уз обавезно постојање ставке вршне снаге (€/kW). Овај случај је у пракси најчешћи, а математички је један од најзахтевнијих.

Када корисник не би био спојен на мрежу, него би се његово напајање вршило само помоћу властитих агрегата, проблем би се свео на класични проблем ангажовања производних агрегата (енгл. *generation scheduling*), који је постављен пре више од пола века и чије је решавање прилично усавршено. Ако би корисник био спојен на мрежу, али када би кориснички рачун за енергију садржавао само ставку утрошене енергије (€/kWh), проблем не би био много сложенији, јер би се мрежа могла посматрати као још један агрегат који има еквивалентну функцију трошкова. Највише компликација се јавља у случају када тарифа садржи ставку месечне вршне снаге. Проблем постаје спрегнут, тј. вршна снага коју корисник ангажује из мреже само једном у току месеца, може значајно да партиципира у корисничком рачуну који плаћа дистрибутивној компанији. У овом случају оптимизација се не може изводити на сатном нивоу, него се цели месец мора посматрати као целина.

Досадашње истраживање на тему оптималног ангажовања дистрибуиране производње из перспективе корисника који плаћа и ставку ангажоване вршне снаге, углавном је сконцентрисано у последњих десетак година. Објављени радови се разликују по улазним величинама које су узете у обзир, по начинима моделовања уважених улазних величина и по употребљеним математичким методама. У првим радовима поставке проблема и методологије решавања подразумевају потпуно детерминистички приступ, где су кориснички дијаграм потрошње, цене електричне енергије и енергената познати за цели период посматрања унапред. Потом се појављује решење познато као *threshold control*, где се сопствена производна јединица ангажује, у тренуцима када је снага ангажована из мреже већа од предефинисане вредности – прага (енгл. *threshold*). Оптимизација је ипак лимитирана на управљање једном, савршено поузданом микротурбином, чији су трошкови по произведеном киловат-часу сматрани једнаким без обзира на излазну снагу, што у пракси није тачно. Постоје још неке варијације метода за управљање дистрибуираним агрегатима, али увек уз низ упрошћења модела и усвајање детерминистичких претпоставки.

Из прегледа референтне литературе закључује се да не постоји метод за управљање корисничком дистрибуираном производњом који укључује све релевантне улазне величине, а који је с друге стране довољно једноставан да се лако реализује у пракси.

Други дио предмета истраживања ове докторске дисертације представља инвестициони проблем. Наиме, кориснику се намеће питање да ли је уопште исплативо инвестирати у дистрибуирану производњу или је боље остати само на традиционалном снабдевању енергијом из дистрибутивне мреже. Из тог разлога је потребно поредити износе потенцијалне уштеде које може донети употреба DG са инвестиционим трошковима за набавку и инсталацију DG. Ако се испостави да је инвестирање у DG исплативо, намеће се и друго питање: која варијанта међу комерцијално доступним решењима представља најповољнију инвестицију за корисника.

Слично као и код развоја алгоритама за управљање DG јединицама, првобитна решења инвестиционог проблема била су потпуно детерминистичка. Могућност грешке код оваквих приступа је велика, јер се врло тешко може десити да се процене за кретање улазних величина у периоду од 15-20 година савршено тачно остваре. Такође, на основу детерминистичког резултата није могуће судити о ризику улагања у одређену инвестициону варијанту. Из наведених разлога, у наредном сету радова уважава се стохастичка природа најбитнијих улазних величина – цена енергената. Овај корак јесте јако важан, али у овим радовима се углавном остале улазне величине третирају као

детерминистичке, а такође ни у једном случају ће не узима у обзир утицај начина ангажовања агрегата. Тиме се отвара и друга, инвестициона ставка, која се укључује у предмет истраживања предложене докторске дисертације.

Релевантни библиографски извори

- [1] T. Ackermann, G. Andersson, L. Söder, Distributed Generation: a Definition, *Elect. Power Syst. Res.* 57 (2001) 195-204.
- [2] G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, W. D'haeseleer, Distributed generation: definition, benefits and issues, *Energy Pol.* 33 (2005) 787-798.
- [3] A. A. Chowdhury, S. K. Agarwal, D. O. Koval, Reliability modeling of distributed generation in conventional distribution systems planning and analysis, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, (39) 2003, 1493-1498.
- [4] A. Moreno-Munoz, J. J. G. de-la-Rosa, M. A. Lopez-Rodriguez, J. M. Flores-Arias, F. J. Bellido-Outerino, M. Ruiz-de-Adana, Improvement of power quality using distributed generation, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 32(2010) 1069-1076.
- [5] H. A. Gil, G. Joos, On the quantification of the network capacity deferral value of distributed generation, *IEEE Trans. Power Syst.*, 21 (2006) 1592-1599.
- [6] H. A. Gil, G. Joos, Models for quantifying the economic benefits of distributed generation, *IEEE Trans. Power Syst.*, 23 (2008) 327-335.
- [7] I. -S. Bae, J. O. Kim, J. -C. Kim and C. Singh, Optimal operating strategy for distributed generation considering hourly reliability worth, *IEEE Trans. Power Syst.*, 19 (2004) 287-292.
- [8] A. Barina, L. F. Pozzatti, L. N. Canha, R. Q. Machado, A. R. Abaide, G. Arend, Multi-objective analysis of impacts of distributed generation placement on the operational characteristics of networks for distribution system planning, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 32 (2010) 1157-1164.
- [9] M.F. Akorede, H. Hizam, E. Pouresmaeil, Distributed energy resources and benefits to the environment, *Ren. Sust. Energy Rev.*, 14 (2010) 724-734.
- [10] A.G. Tsikalakis, N.D. Hatziargyriou, Environmental benefits of distributed generation with and without emissions trading, *Energy Pol.*, 35 (2007) 3395-3409.
- [11] C. Marnay, J. Chard, K. Hamachi, T. Lipman, M. Moezzi, B. Ouaglal, A. Siddiqui, Modeling of customer adoption of distributed energy resources, Lawrence Berkeley National Laboratory Rpt. LBNL-49582, Berkeley, CA, USA, 2001.
- [12] B. Coffey, E. Kutrowski, Demand charge considerations in the optimization of cogeneration dispatch in a deregulated energy market, *Int. J. Energy Res.* 30 (2006) 535-551.
- [13] P.S. Curtiss, J.F. Kreider, Recent developments in the control of distributed electrical generation systems, *ASME J. Solar Energy Eng.* 125 (2003) 352-358.
- [14] Č.V. Zeljković, N.Lj. Rajaković, S.J. Zubić, A method for cost minimization applicable to load centers containing distributed generation, in: *IEEE PowerTech Conf.*, Bucharest Romania, June 28 – July 2, 2009.
- [15] R. Firestone, M. Stadler, C. Marnay, Integrated energy system dispatch optimization, in: *4th Annual IEEE Conf. on Industrial Informatics*, Aug. 2006.
- [16] H.Y. Yamin, Review on methods of generation scheduling in electric power systems, *Electr. Power Syst. Res.* 69 (2004) 227-248.

- [17] A. S. Siddiqui, C. Marnay, R. M. Firestone, and N. Zhou, "Distributed generation with heat recovery and storage", J. Energy Eng. 133 (2007) 181-210.
- [18] Č. V. Zeljković, N. Lj. Rajaković, and S. J. Zubić, "An application of cost minimization algorithm to economic justification of installing distributed generation", in: Proc. IFAC CMTEE Conference Vilamoura, Portugal, March 29-31, 2010.
- [19] S.-E. Fleten, K.M. Maribu, and I. Wangensteen, "Optimal investment strategies in decentralized renewable power generation under uncertainty", Energy 32 (2007) 803-815.
- [20] A. S. Siddiqui and C. Marnay, "Distributed generation investment by a microgrid under uncertainty", Energy 33 (2008) 1729-1737.
- [21] K.M. Maribu and S.-E. Fleten, "Combined heat and power in commercial buildings: Investment and risk analysis," The Energy Journal, 29 (2008) 123-150.
- [22] H. Asano, W. Ariki, and S. Bando, "Value of investment in a microgrid under uncertainty in the fuel price", 2010 IEEE Power and Energy Society General Meeting, Minneapolis, USA, July 25-29, 2010.

3. Полазне хипотезе

Основне хипотезе предложене докторске дисертације су:

- Да је могуће одредити максимални теоријски износ уштеде које кориснику може донети рационална употреба *и* дистрибуираних производних јединица у комбинацији са куповином енергије из дистрибутивне мреже.
- Да је могуће одредити стратегију управљања дистрибуираним агрегатима, којом ће се реални износ уштеде у условима неизвесности значајно приближити теоријском максимуму, остваривом у детерминистичком случају, када би све улазне величине биле познате за цели посматрани период унапред.
- Да је могуће, знајући начин управљања дистрибуираним агрегатима, развити методологију којом ће се вредновати инвестиционе варијанте доступне на тржишту.

Основни циљ ове докторске дисертације јесте потврђивање полазних хипотеза, кроз развој одговарајућих метода и алгоритама за ангажовање и економско вредновање дистрибуиране производње.

Остале претпоставке које би требало да испуни предложена докторска дисертација: Алгоритам управљања треба бити једноставан за имплементацију, а с друге стране, треба да уважи све чињенице које се у досадашњим истраживањима наводе као утицајне. Обавезно је уважити да корисник дистрибутивне мреже плаћа ангажовану вршну месечну снагу, док цена енергије може бити константна или варијабилна. Дистрибуиране јединице могу бити реализоване у разнородним технологијама, и бити било диспечабилне (микротурбине, дизел агрегати, и сл.), било недиспечабилне јединице стохастичке излазне снаге (ветротурбине, фотонапонски системи, и сл.). Могућности отказа појединих агрегата требају бити узети у обзир. Функције трошкова агрегата могу бити нелинеарне и прекидне. Стохастичка природа корисничког дијаграма потрошње се узима у обзир, а такође и стохастичка промена метеоролошких величина као што су брзина ветра и инсолација.

4. Научне методе истраживања

Теоријске методе предвиђене за истраживање током израде ове дисертације укључивале би:

- Прикупљање података о улазним величинама које су од значајног утицаја;

- Бирање адекватних математичких модела за представљање улазних величина, било усвајањем постојећих, било развојем нових модела;
- Теоријски развој нових метода за блиско-оптимално управљање агрегатима дистрибуиране производње у условима неизвесности;
- Теоријски развој нових метода за економско вредновање инвестиција у корисничку дистрибуирану производњу у условима неизвесности;

Практичне методе истраживања односиле би се на:

- Развој рачунарског програма којим се имплементира предложени алгоритам за управљање агрегатима дистрибуиране производње;
- Развој рачунарског програма којим се имплементира метод за економско вредновање инвестиционих варијанти дистрибуиране производње;
- Тестирање метода на огледним случајевима.

5. Очекивани научни допринос

Очекивани доприноси предложене докторске дисертације су:

- Идентификација кључних улазних параметара и формирање одговарајућих стохастичких модела,
- Развој нове свеобухватне методологије за оптимизацију управљања агрегатима дистрибуиране производње у условима неизвесности,
- Примена методологије управљања дистрибуираном производњом на оцену исплативости инвестирања у DG и упоредно вредновање инвестиционих варијанти.
- Тестирање методологије на огледним случајевима примереним реалности и дискусија добијених резултата.

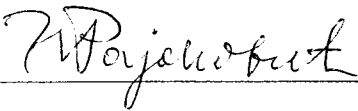
6. План истраживања и структура рада

У првом делу рада био би дат преглед референтне литературе и осврт на методе које су досад употребљаване за економско вредновање инвестиција и ангажовање агрегата дистрибуиране производње. Потом би били набројани и анализирани сви аспекти који утичу на наведену проблематику, те би се детаљно говорило о њиховом моделовању. Затим би били изложени нови инвестиционо-експлоатациони методи које развија кандидат, укључујући упоредну анализу са досадашњим решењима. Следио би практични дио у којем се метод примењује на сценарије из праксе, како у нашим, тако и светским околностима.

7. Закључак и предлог

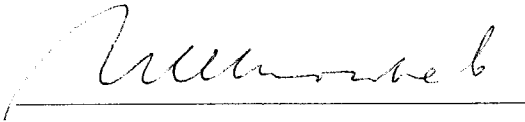
На основу свега изложеног, Комисија сматра да кандидат Чедомир Зељковић, магистар електротехнике, испуњава све формалне и суштинске услове за приступање изради докторске дисертације у области електротехнике. Резултати до којих би кандидат требало да дође имали би значајан допринос у области валоризације дистрибуиране производње у условима неизвесности и на страни производње и на страни потрошње. Стога Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидату Чедомиру Зељковићу одобри израду докторске дисертације под насловом "Инвестициони и експлоатациони аспекти корисничке дистрибуиране производње у условима неизвесности" и да за ментора именује проф. др Николу Рајаковића.

Чланови комисије:



Др Никола Рајаковић, редовни проф., ментор

Електротехнички факултет Универзитета у Београду



Др Иван Шкокљев, редовни проф.

Електротехнички факултет Универзитета у Београду



Др Драган Тасић, редовни проф.

Електронски факултет Универзитета у Нишу