

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Данке Вељковић за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр.: 2300/27 од 10.12.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Данке Вељковић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под насловом:

Оптимизација ограничења преносне мреже у условима несигурности производње из обновљивих извора енергије

(енг. „*Optimization of transmission network constraints under conditions of uncertainty of production from renewable energy sources*“).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Данка Вељковић је рођена 15. јануара 1991. године у Сарајеву. Основну школу и гимназију је завршила у Источном Сарајеву, где остварује изузетне резултате на републичким такмичењима из физике, математике и хемије. Електротехнички факултет у Београду је уписала 2009. године.

Основне студије на Електротехничком факултету, Одсек за енергетику, Смер Електроенергетски системи, завршила је у септембру 2013. године са просечном оценом 8,80 одбраном завршног рада „Развој модела за предикцију производње вјетроелектрана у Банату“. Ментори при изради дипломског рада били су Др Жељко Ђуришић и Др Јован Микуловић. Добитник је треће награде за најбољи дипломски рад ETF BAFA USA на основним академским студијама на Електротехничком факултету у Београду у школској 2012/2013 години. Исте године је уписала и мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, модул Електроенергетски системи и положила све испите са просечном оценом 9,80. Мастер рад под називом „Балансирање производње ветроелектрана кроз управљање потрошњом у интелигентним дистрибутивним мрежама“ је одбранила 2014. године. Ментор при изради мастер рада био је Др Жељко Ђуришић. Докторске студије је уписала исте године на Електротехничком факултету у Београду, модул Електроенергетске мреже и системи, где је положила све испите са просечном оценом 9,80.

Обавила је инжењерску праксу у сектору за прикључење ветроелектрана на мрежу у компанији General Electric Wind Energy GmbH у Немачкој у периоду 2014-2015. године. Од 2016. године је запослена у Електроенергетском координационом центру (ЕКЦ) где тренутно ради на позицији водећег инжењера. Главне области професионалног ангажовања су развој софтверских решења за анализе система, моделовање преносне мреже и прорачуне прекограничних капацитета. Такође се активно бави развојем метода за управљање

загушењима и прорачун преносних капацитета. Учествовала је на великом броју међународних пројеката и има искуство у планирању и раду преносног система, уз дубинско познавање преносних мрежа континенталне Европе и УАЕ. Извршила је бројне студије везане за планирање и експлоатацију преносног система, укључујући анализе токова снага, анализе кварова и анализе динамичке стабилности, као и студије прикључења електрана на преносни систем.

Аутор је више радова публикованих на домаћим и међународним конференцијама и часописима. Добитник је признања за најзапаженији рад на 35. Саветовању CIGRE Србија за рад „Координисани прорачуни капацитета уз поштовање СЕР захтева за 70% MACZT“.

Течно говори енглески и српски (матерњи) језик.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је уписао докторске студије на Електротехничком факултету у Београду школске 2014/2015. године на модулу Електроенергетске мреже и системи. Током докторских студија испунио је све обавезе и положио испите предвиђене наставним планом.

Р.Бр.	Назив предмета/обавезе	Оцена	ЕСПБ
1	Планирање рада електроенергетских система у интерконекцији	10	9
2	Високонапонска расклопна опрема	9	9
3	Мерне спреге и мерни трансформатори	10	9
4	Увод у научни рад	10	6
5	Стабилност електроенергетских система	10	9
6	Дистрибутивни системи - оптимално планирање и експлоатација	9	9
7	Фактор снаге и методе за поправку фактора снаге у присуству виших хармоника	10	9
8	Ветроенергетика и соларна енергетика	10	9
9	Уземљивачки системи	10	9
10	Интеграција обновљивих извора у дистрибутивни систем	10	9
11	Студијски истраживачки рад I		15
12	Научно стручни рад		3
13	Студијски истраживачки рад II		15
	Укупно		120

У даљем тексту је наведен списак публикација кандидата Данке Вељковић.

Категорија M22: Радови публиковани у истакнутим међународним часописима

- **D. Veljković, Z. Vujasinović, M. Ivanović, Ž. Đurišić,** Determination of optimal transmission network constraints for novel close-to-real-time flexible energy market, Energy Reports, vol. 12, pp. 1014–1024, Dec. 2024, doi: doi.org/10.1016/j.egyr.2024.07.003 (IF = 4.7 за 2023. годину)

Категорија M33: Радови саопштени на међународним конференцијама штампани у целини

- **D. Todorović**, Ž. Đurišić, J. Tuševljak, A day-ahead real net transfer capacity forecast based on the prediction of the real cooling conditions for interconnection overhead lines, International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Palermo, Italy: IEEE, Nov. 2015, pp. 630–635. doi: 10.1109/ICRERA.2015.7418489
- U. Marković, **D. Todorović**, Ž. Đurišić, Prediction of production of perspective wind farms in South-Banat region, Serbia, Proceedings of European Wind Energy Conference (EWEA 2013), Wien, Austria, February 2013.

Категорија М34: Радови саопштени на међународним конференцијама штампани у изводу

- **D. Todorović**, Ž. Đurišić, Forecasted line rating for improved wind power integration into power system, European Wind Energy Conference (EWEA 2015), PO-159, Paris, France, November 2015.
- **D. Todorović**, Ž. Đurišić, Partially linear model for wind farm power forecasting: case study of Banat region, Serbia, European Wind Energy Conference (EWEA 2014), Barcelona, Spain, 2014.
- Ž. Đurišić, **D. Todorović**, M. Milinković, Wind farm lightning protection system with a kite, European Wind Energy Conference (EWEA 2014), Barcelona, Spain, 2014.
- **D. Todorović**, U. Marković, Đurišić Ž, Innovative system for energy supply of data centers, European Wind Energy Conference (EWEA), Vienna, Austria, 2013.

Категорија М63: Радови саопштени на домаћим конференцијама

- **D. Veljković**, B. Lutovac, B. Leković, Z. Vujasinović, Koordinisani proračuni kapaciteta uz poštovanje CEP zahteva za 70% MACZT, 35. savetovanje CIGRE Srbija, pp. Ref R – C5-02, Zlatibor, Oct, 2021 (*nagrada za najzapaženiji rad)
- K. Džodić, **D. Todorović**, M. Žerajić, Ž. Đurišić, Analiza realnih kapaciteta nadzemnih vodova za priključenje vetroelektrana i solarnih elektrana velike snage, 35. savetovanje CIGRE Srbija, pp. Ref R - B2-06, Zlatibor, Oct, 2021
- Z. Vujasinović, **D. Todorović**, B. Lutovac, Predlog metoda za kombinovani proračun margine pouzdanosti toka snage (FRM) i margine pouzdanosti prenosa (TRM)—, 34. savetovanje CIGRE Srbija, pp. Ref R – C5-10, Vrnjacka Banja, Jun 2019
- **D. Todorović**, Ž. Đurišić, Predikcija prenosnih kapaciteta nadzemnih vodova u vetrovitim regionima, 32. savetovanje CIGRE, Ref. B2-04, Zlatibor 2015.
- J. Tuševljak, **D. Todorović**, Ž. Đurišić, Identifikacija naponskih asimetrija statora na osnovu harmonijske analize struje rotora asinhronne mašine, XIV Međunarodni naučno-stručni simpozijum Infoteh Jahorina, Vol.14, pp. 198-202, Mart 2015.
- D. Grujić, D. Bajović, **D. Todorović**, Ž. Đurišić, Izbor optimalnog preseka priključnog kabla vetroelektrane, XIII Međunarodni naučno-stručni simpozijum Infoteh Jahorina, Bosna i Hercegovina, Mart 2014.
- **D. Todorović**, U. Marković, Ž. Đurišić, Predikcija proizvodnje perspektivnih vetroelektrana u regionu Banata, XII Međunarodni naučno-stručni simpozijum Infoteh Jahorina, Bosna i Hercegovina, Mart 2013.

У наставку је наведена листа неких значајнијих пројеката и студија кандидата Данке Вељковић:

Datum od- do	Lokacija	Pozicija	Opis
02.2024. – 02.2025.	Srbija	Rukovodilac projekta u EKC-u	Analiza varijabilnosti pogonskih parametara elemenata prenosnog sistema Srbije pri različitim pogonskim stanjima i ambijentalnim uslovima, <i>Konzorcijum: ETF – EKC, Naručilac: Elektromreža Srbije AD - EMS AD (Srbija)</i>
10.2023. – 05.2024.	Srbija	Rukovodilac projekta	Nadogradnja TNA softvera u skladu sa zahtevima CEP regulative, EMS, <i>Naručilac: Elektromreža Srbije AD - EMS AD (Srbija)</i>
09.2023. – 04.2024.	Austrija	Ekspert za upravljanje zagušenjima i alokaciju prenosnih kapaciteta	TNA – Unapređenje funkcije za “Flow based” proračune prenosnih kapaciteta za austrijskog Operatora Prenosnog Sistema (APG), <i>Naručilac: APG Austrian Power Grid (Austria)</i>
12.2023. – 01.2024.	Crna Gora	Inženjer za planiranje i analizu EES	Sedam studija priključenja za CGES, <i>Naručilac: CGES a.d. (Crna Gora)</i>
10.2019. – 09.2023.	Jugoistočna Evropa	Ekspert za razvoj softverskih rešenja za analizu prenosne mreže	TRINITY: Unapređenje funkcionisanja elektroenergetskog sistema i tržišta električne energije primenom pametnih tehnologija, <i>Naručilac: Evropska komisija (Belgija)</i>
01.2018. – 12.2021.	ENTSO-E zemlje	Ekspert za razvoj softverskih rešenja za analizu prenosne mreže	OSMOSE - Optimalan izbor fleksibilnih rešenja za evropski elektroenergetski sistem, <i>Naručilac: European Commission (Belgija)</i>
06.2021. – 11.2021.	Austrija	Rukovodilac projekta	TNA moduli za optimizaciju besplatnih korektivnih akcija i uklanjanje redundantnih ograničenja kod proračuna kapaciteta zasnovanog na tokovima snaga, <i>Naručilac: APG Austrian Power Grid (Austria)</i>
07.2021. – 10.2021.	Austrija	Rukovodilac projekta	Opravdanost razloga za derogaciju prema članu 16.9 EU regulative 2019/943 (MNCCmargin i LFthreshold), <i>Naručilac: Austrian Power Grid (Austrija)</i>
05.2021. – 08.2021.	Bosna i Hercegovina	Inženjer za planiranje i analizu EES	Tehničko rešenje priključka solarne elektrane Trebinje na elektroenergetski sistem Bosne i Hercegovine, <i>Naručilac: ZD IRCE, MH Elektroprivreda Republike Srpske (Bosna i Hercegovina)</i>
07.2020. – 01.2021.	Austrija	Rukovodilac projekta, Ekspert za upravljanje zagušenjima	Softver za proračune prenosnog kapaciteta u skladu sa pravilom 70% CEP regulative 2019/943, <i>Naručilac: Austrian Power Grid – APG (Austrija)</i>
01.2020. – 01.2021.	Bosna i Hercegovina	Rukovodilac projekta	Proširenje funkcija TNA softvera za NOS BiH, <i>Naručilac: NOS BiH (Bosna i Hercegovina)</i>
01.2020. – 06.2020.	Bosna i Hercegovina	Inženjer za energetiku	Tehničko rešenje priključka elektrana u vlasništvu ERS-a na elektroenergetski sistem Bosne i Hercegovine, <i>Naručilac: IRCE a.d., Elektroprivreda Republike Srpske (Bosna i Hercegovina)</i>
08.2019. - 02.2020.	Jugoistočna Evropa	Rukovodilac projekta	Konsultantske usluge: Unapređenje softverskog rešenja za automatsku proizvodnju prognoziranih modela za dan unapred, <i>Naručilac: KfW Bank (Nemačka), OST (Albanija)</i>
05.2019. - 03.2020.	Jugoistočna Evropa	Inženjer za planiranje i analizu EES	Analiza integracija varijabilnih obnovljivih izvora u Crnoj Gori, <i>Naručilac: Svetska banka (Sjedinjene Američke Države)</i>
08.2019. - 11.2019.	Ujedinjeni Arapski Emirati	Inženjer za planiranje i analizu EES	Šardža Energija iz otpada – Uticaj na prenosnu i distributivnu mrežu, <i>Naručilac: EDF CIST (Francuska)</i>
09.2018. - 03.2019.	Srbija	Rukovodilac projekta	Izrada CGMES node-breaker modela mreže Srbije, <i>Naručilac: Elektromreža Srbije AD - EMS AD (Srbija)</i>
02.2018. - 02.2019.	Slovenija	Ekspert za upravljanje zagušenjima i alokaciju prenosnih kapaciteta	Konsultantske usluge: Metodologije za raspodelu troškova usled redispečinga u Kontinentalnoj Evropi i revizija studije o Cenovnim zonama, <i>Naručilac: ELES d.o.o. (Slovenija)</i>
11.2018. - 02.2019.	Srbija	Inženjer za analize elektroenergetskog sistema - junior	Sistemske analize za izradu studije povezivanja vetroelektrane 102MW na prenosnu mrežu Srbije - VE Plandište, <i>Naručilac: Elektromreža Srbije AD - EMS AD (Srbija)</i>
07.2018. - 01.2019.	Srbija	Inženjer za analize elektroenergetskog sistema - junior	Ispitivanje usaglašenosti rada VE Čibuk 1 sa zahtevima iz Pravila o radu prenosnog sistema, <i>Naručilac: Vetroelektrane Balkana d.o.o. (Srbija)</i>
07.2018. - 10.2018.	Ukrajina	Ekspert za upravljanje zagušenjima i alokaciju prenosnih kapaciteta	Izrada nacrtu metodologije za proračun raspoloživih prekograničnih kapaciteta i margine pouzdanosti prenosa za Ukrajinu, <i>Naručilac: The Energy Community Secretariat (Austrija)</i>
05.2018. - 09.2018.	Jugoistočna Evropa	Ekspert za upravljanje zagušenjima i alokaciju prenosnih kapaciteta	Tehnička pomoć implementaciji koordinisanih proračuna prenosnih kapaciteta na regionalnom nivou na Zapadnom Balkanu, <i>Naručilac: The Energy Community Secretariat (Austrija)</i>
12.2017. -	Bosna i	Inženjer za analizu	Elaborat tehničkog rešenja priključenja HE Janjici na prenosnu mrežu,

Datum od- do	Lokacija	Pozicija	Opis
03.2018.	Hercegovina	elektroenergetskog sistema - junior	<i>Naručilac: Elektroprivreda BiH (Bosna i Hercegovina)</i>
07.2016. – 07.2017.	Jugoistočna Evropa	Inženjer za planiranje i analizu EES	Planovi za razvoj elektroenergetskog sektora u jugoistočnoj Evropi (SEERMAP), <i>naručilac: REKK Energiapiaci Tanácsadó Kft (Mađarska)</i>
07.2016. – 03.2017.	Austrija	Inženjer za upravljanje zagušenjima i alokaciju prenosnih kapaciteta	Revizija evropskih cenovnih zona kroz proračune zasnovane na tokovima snaga i analize tržišta, <i>naručilac: APG (Austrija)</i>
12.2016. – 02.2017.	Srbija	Inženjer za analize elektroenergetskog sistema-junior	Sistemske analize za izradu studije povezivanja vetroelektrane 120MW na prenosnu mrežu Srbije – VE Bela Anta, <i>Naručilac: Elektromreža Srbije – EMS (Srbija)</i>
09.2016. – 12.2016.	Srbija	Inženjer za analize elektroenergetskog sistema-junior	Sistemske analize za izradu studije povezivanja vetroelektrane 116MW na prenosnu mrežu Srbije – VE Košava, <i>Naručilac: Elektromreža Srbije – EMS (Srbija)</i>
08.2016. – 11.2016.	Srbija	Inženjer za analize elektroenergetskog sistema-junior	Sistemske analize za izradu studije povezivanja vetroelektrane (102,3MW) na prenosnu mrežu Srbije – VE Krivača, <i>naručilac: Elektromreža Srbije – EMS (Srbija)</i>
05.2016- 11.2016.	Francuska, UAE	Inženjer za planiranje i analizu EES	Konsultantske usluge za izradu studije „Izvodljivost povezivanja juga i severa Dubajja kablovskom vezom“ – DEWA
07.2016. – 10.2016.	Crna Gora	Inženjer za analize elektroenergetskog sistema-junior	Studija priključenja VE Možura na prenosni sistem Crne Gore, <i>naručilac: CGES (Crna Gora)</i>

Дана 24.12.2024. године на Електротехничком факултету у Београду, Данка Вељковић је имала јавни усмени испит о подобности теме и кандидата пред комисијом у саставу:

1. др Александар Савић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
2. др Владан Дурковић, доцент, Универзитет Црне Горе – Електротехнички факултет
3. др Богдан Брковић, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

Комисија је једногласно закључила да кандидат испуњава услове за рад на предложеној теми докторске дисертације и оценила испит оценом задовољно.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу претходног приказа резултата досадашњег рада кандидата Данке Вељковић и узимајући у обзир претходно наведене чињенице, Комисија је стекла увид у способности и научно-истраживачки рад кандидата, те констатује да је кандидат:

- Положио све испите и завршио све обавезе предвиђене наставним планом и програмом и тиме остварио 120 ЕСПБ бодова.
- Јавно одбранио тему докторске дисертације 24.12.2024. године пред комисијом формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду.
- Публиковао укупно четрнаест радова, од којих један публикован у истакнутом међународном часопису, шест на међународним скуповима (два у целости и четири у изводу) и седам на скуповима националног значаја, што га квалификује за научни рад.
- Има вишегодишње искуство у планирању и анализама преносног система, развоју методологија и софтверских решења за анализе система, моделовање преносне мреже и прорачуне прекограничних капацитета, као и у истраживачком раду на међународним

пројектима у вези са унапређењем рада електроенергетског система применом флексибилних решења.

Комисија закључује да кандидат Данка Вељковић у сваком погледу испуњава услове за рад на предложеној теми.

2. Предмет, циљ и значај истраживања

Стохастичка и непредвидива природа обновљивих извора енергије (ОИЕ) уноси додатну димензију несигурности у планирању рада преносног система за све временске хоризонте [1], [2]. Овај проблем има просторну и временску димензију јер на њега утиче алокација обновљивих извора енергије, као и њихов временски профил [3], [4]. У глобалном електроенергетском систему све су више присутни интермитентни обновљиви извори енергије, као што су ветроелектране и соларне електране [5]. Производња из ових извора се не може поуздано планирати, јер је она диктирана ветром и соларном радијацијом [6].

Савремени електроенергетски системи са великим уделом обновљивих извора енергије захтевају нови приступ у погледу дефинисања ограничења преносне мреже за потребе оперативног планирања рада система, укључујући анализе токова снага и сигурности, прогнозу губитака, као и прорачуне преносних капацитета [7], [8]. За нормално функционисање тржишта електричне енергије и оптимално планирање система од великог значаја је познавање реалних мрежних ограничења за дан унапред. Мрежна ограничења су дефинисана детаљним моделом преносне мреже са прогнозираним инјектирањима и планираним тополошким стањем, максимално дозвољеним преносним капацитетима водова, листом критичних мрежних елемената и непредвиђених испада који могу да утичу на сигурност рада система, као и маргине поузданости за прекограничне капацитете. Како прогноза производње из ОИЕ за дан унапред и даље има висок степен грешке, потребно је уважити утицај ове несигурности при одређивању мрежних ограничења. Модел преносне мреже представља најбољу могућу прогнозу производње која је доступна у тренутку прављења модела. Оператор преносног система у фази оперативног планирања рада система анализира испаде свих елемената преносне мреже ради провере N-1 критеријума сигурности. У случају неисушености овог критеријума за дан унапред, ограничавају се сатне производње свих соларних и ветроелектрана које имају дефинисане такве услове прикључења. Један од задатака у предложеној дисертацији је оптимизација ограничења преносне мреже уважавајући осетљивост промене токова снага по далеководима у случају критичног испада уважавајући несигурности производње из ОИЕ.

Брза интеграција обновљивих извора енергије, коју карактерише висока несигурност у планирању производње, наглашава критичну потребу за флексибилношћу у електроенергетским системима [9]. Флексибилност има кључну улогу у омогућавању успешне интеграције обновљивих извора енергије у електроенергетски систем и компензацији грешке у прогнози производње уз обезбеђивање поузданог и ефикасног рада преносног система. У циљу максималног искоришћења преостале флексибилности у електроенергетском систему уз обезбеђивање сигурног рада, предлаже се нови алгоритам за максимизацију производње ветроелектрана и соларних електрана уз оптимизацију критичних мрежних ограничења. Користећи затворену петљу оптимизације могућих варијација у производњи из ОИЕ на нивоу чворова и стања мреже, алгоритам оптимизује производњу из ОИЕ и критична мрежна ограничења, омогућавајући додатну безбедну евакуацију енергије из ветроелектрана и соларних електрана, уз одржавање сигурног рада система. Прецизно и поуздано одређивање ограничења преносне мреже је од кључне важности за омогућавање ове евакуације. У предложеној докторској дисертацији биће предложена методологија за одређивање кључних

мрежних ограничења за прорачун прекограничних капацитета за краткорочно тржиште са циљем оптимизације употребе флексибилних јединица у преносној мрежи [10].

Интеграција интермитентних обновљивих извора енергије захтева ефикасније искоришћење постојеће инфраструктуре електроенергетске мреже и намеће потребу за другачијим приступом у сагледавању постојећих преносних капацитета водова при реалним експлоатационим условима у погледу загревања и хлађења [11], [12], [13], [14]. У предложеној докторској дисертацији биће развијен модел за динамички прорачун максимално дозвољеног оптерећења водова на основу амбијенталних услова, параметара ветра и инсолације, уз уважавање просторног и висинског аспекта [15], [16]. Биће анализиран утицај динамичког одређивања максималног оптерећења водова на сигурност система у односу на традиционалан приступ сезонски дефинисаних максимално дозвољених оптерећења водова. Осим тога, предложен је модел за прогнозу реалних капацитета далековода заснован на прогнози амбијенталних услова (температура амбијента и сунчево зрачење дуж трасе надземног вода), параметара ветра (брзина и смер ветра на висини фазних проводника) и идентификацији критичних распона у погледу загревања за сваки анализирани далековод. Познавање реалних капацитета дан унапред и узимање у обзир при дефинисању мрежних ограничења при анализама сигурности у оквиру оперативног планирања рада система може битно смањити потребу за лимитирањем производње ветроелектрана у неким критичним сатима. Допринос овог модела је да прикаже како се постојећа инфраструктура мреже може искористити на ефикаснији начин и одржати сигуран рад система без додатних ојачања при повећаној интеграцији ветроелектрана и фотонапонских електрана.

У Европи се примењују два принципа дефинисања преносних капацитета, као прорачунатог ограничења за прекограничне размене између ценовних зона, а које обезбеђују сигурност преносне мреже: Нето Преносни Капацитет (Net Transfer Capacity - NTC) и ограничења заснована на токовима снага (Flow-Based - FB) [17]. Регулатива 2019/943 [18] намеће озбиљан захтев Операторима преносног система да понуде најмање 70% преносног капацитета тржишту на временском хоризонту за дан унапред, док преосталих 30% садрже маргину поузданости, кружне и интерне токове снага [19], [20]. На основу захтева Регулативе наведених у члану 16, Оператори преносног система не смеју ограничити капацитет доступан за прекограничну трговину ради решавања интерних загушења унутар ценовних зона или интерних и кружних токова. Одређивање маргине поузданости је од кључног значаја за прорачуне капацитета и боље искоришћење мрежних капацитета [21]. Маргина поузданости у прорачунима прекограничних капацитета треба да покрије све непредвиђене девијације и несигурности производње укључујући специфичну грешку прогнозе производње из ветроелектрана и фотонапонских електрана. Маргина поузданости укључује све неизвесности које се могу јавити у периоду између тренутка креирања заједничког модела мреже и прорачуна капацитета и реалног времена енергетске трансакције и тиме директно утичу на прорачун капацитета. Тренутно се користе статичке вредности маргина поузданости тока и преноса, што није применљиво у условима несигурности производње из обновљивих извора енергије. Истраживања у предложеној дисертацији ће обухватити статистичку анализу утицаја грешке и биће предложен пробабилистички модел за анализу утицаја грешке у прогнози производње из ОИЕ за дан унапред на поузданост прорачуна прекограничног капацитета у случају принципа заснованог на токовима снага, као и у случају трансакцијских прорачуна прекограничних капацитета. Овај концепт је основа за периодично процењивање маргина поузданости које се захтевају у оквиру процеса координисаног прорачуна капацитета, а које је нарочито важно узети у обзир након значајног прикључења обновљивих извора енергије.

- [1] Y. Jiang and R. Preece, "Analysis of the impacts of wind power forecast error on power system operation," *J. eng.*, vol. 2019, no. 18, pp. 4847–4851, Jul. 2019, doi: 10.1049/joe.2018.9363.
- [2] R. Tawn and J. Browell, "A review of very short-term wind and solar power forecasting," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 153, p. 111758, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.rser.2021.111758.
- [3] E. Arslan Tuncar, Ş. Sağlam, and B. Oral, "A review of short-term wind power generation forecasting methods in recent technological trends," *Energy Reports*, vol. 12, pp. 197–209, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.egyr.2024.06.006.
- [4] M. Bai *et al.*, "Spatial-temporal characteristics analysis of solar irradiance forecast errors in Europe and North America," *Energy*, vol. 297, p. 131187, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.energy.2024.131187.
- [5] W. Zhang, X. Zhang, S. Huang, Y. Xia, X. Fan, and S. Mei, "Evolution of a transmission network with high proportion of renewable energy in the future," *Renewable Energy*, vol. 102, pp. 372–379, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.renene.2016.10.057.
- [6] D. Yang and Z. Dong, "Operational photovoltaics power forecasting using seasonal time series ensemble," *Solar Energy*, vol. 166, pp. 529–541, May 2018, doi: 10.1016/j.solener.2018.02.011.
- [7] O. Mirzapour, X. Rui, and M. Sahraei-Ardakani, "Grid-enhancing technologies: Progress, challenges, and future research directions," *Electric Power Systems Research*, vol. 230, p. 110304, May 2024, doi: 10.1016/j.epsr.2024.110304.
- [8] M. Aien, A. Hajebrاهيمi, and M. Fotuhi-Firuzabad, "A comprehensive review on uncertainty modeling techniques in power system studies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 57, pp. 1077–1089, May 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.12.070.
- [9] S. Impram, S. Varbak Nese, and B. Oral, "Challenges of renewable energy penetration on power system flexibility: A survey," *Energy Strategy Reviews*, vol. 31, p. 100539, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.esr.2020.100539.
- [10] D. Veljković, Z. Vujasinović, M. Ivanović, and Ž. Đurišić, "Determination of optimal transmission network constraints for novel close-to-real-time flexible energy market," *Energy Reports*, vol. 12, pp. 1014–1024, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.egyr.2024.07.003.
- [11] R. Dupin, G. Kariniotakis, and A. Michiorri, "Overhead lines Dynamic Line rating based on probabilistic day-ahead forecasting and risk assessment," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 110, pp. 565–578, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.ijepes.2019.03.043.
- [12] A. Michiorri *et al.*, "Forecasting for dynamic line rating," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 52, pp. 1713–1730, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.07.134.
- [13] N. H. Abas, M. Z. A. Ab Kadir, N. Azis, J. Jasni, N. F. Ab Aziz, and Z. M. Khurshid, "Optimizing Grid With Dynamic Line Rating of Conductors: A Comprehensive Review," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 9738–9756, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3352595.
- [14] O. A. Lawal and J. Teh, "Dynamic line rating forecasting algorithm for a secure power system network," *Expert Systems with Applications*, vol. 219, p. 119635, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.eswa.2023.119635.

- [15] D. Todorovic, Z. Durisic, and J. Tusevljak, "A day-ahead real net transfer capacity forecast based on the prediction of the real cooling conditions for interconnection overhead lines," in *2015 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, Palermo: IEEE, Nov. 2015, pp. 630–635. doi: 10.1109/ICRERA.2015.7418489.
- [16] "IEC TR 61597:1995." Accessed: Nov. 06, 2024. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/en/publication/5649>
- [17] D. Schönheit, M. Kenis, L. Lorenz, D. Möst, E. Delarue, and K. Bruninx, "Toward a fundamental understanding of flow-based market coupling for cross-border electricity trading," *Advances in Applied Energy*, vol. 2, p. 100027, May 2021, doi: 10.1016/j.adapen.2021.100027.
- [18] "REGULATION (EU) 2019/943 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 5 June 2019 on the internal market for electricity;" <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0943>.
- [19] D. Veljković, B. Lutovac, B. Leković, Z. Vujasinović, "Capacity calculation in compliance with 70% CEP requirement for margin available for cross-zonal trade (MACZT)," *Proceedings of 35nd Conference CIGRE, Zlatibor, Serbia, Oct 3, 2021 (*Best paper award)*.
- [20] P. Henneaux, P. Lamprinakos, G. de Maere d'Aertrycke, and K. Karoui, "Impact assessment of a minimum threshold on cross-zonal capacity in a flow-based market," *Electric Power Systems Research*, vol. 190, p. 106693, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.epsr.2020.106693.
- [21] Zoran Vujasinović, Danka Todorović, and Bogdan Lutovac, "Proposal of the methods for combined calculation of flow reliability margin (FRM) and transmission reliability margin (TRM)," *Proceedings of 34nd Conference CIGRE, Vrnjaska Banja, Serbia, Jun 1, 2019*.

3. Полазне хипотезе

Полазне хипотезе на основу којих ће бити спроведена истраживања која су предмет ове докторске дисертације су:

- Планиране локације и инсталисане снаге перспективних ветроелектрана и соларних електроана су познате и у демонстрационим примерима за ЕЕС Србије биће преузете из Плана развоја преносног система до 2030. године. и јавно доступних података.
- За анализу будућих сценарија, усвојена је расподела грешке у прогнози производње ветроелектрана и соларних електроана изведена на основу статистичких података о прогнозираним и оствареним сатним снагама производње постојећих ОИЕ у Србији и региону.
- Резерве потребне за балансирање неусклађености производње и потрошње, које могу настати због разлике између стварне и прогнозиране снаге производње, увек су доступне и систем је способан да компензује било које одступање снаге. Помоћу аутоматске генераторске регулације (АГЦ), дисбаланс узрокован грешком у прогнози се дистрибуира пропорционално генерисању у датом режиму рада.
- Прорачун температуре проводника је могућ на основу параметара проводника, стандардних метеоролошких података и струјног оптерећења проводника.

4. Научне методе истраживања

- Анализа утицаја грешке у прогнози производње ОИЕ за дан унапред на токове снага биће спроведена на основу статистичке анализе доступних историјских података о прогнозираним и оствареним вредностима сатне производње ветроелектрана и соларних електрана.
- Пробабилистички модел за симулацију грешке у прогнози производње ОИЕ биће развијен применом *Monte Carlo* симулација на различите режиме рада ветроелектрана и соларних електрана и расподелу грешке у производњи ОИЕ са просторног аспекта.
- Одређивање најкритичнијег распона у погледу загревања проводника за сваки анализирани далековод и за сваки смер ветра вршиће се у оквиру „hot spot“ анализе коришћењем стварних метеоролошких мерења и софтвера за регионалну процену ресурса енергије ветра уважавајући критеријум минималне снаге хлађења конвекцијом.
- Модел за прогнозу максималног дозвољеног капацитета далековода заснован је на прогнози амбијенталних услова (температура амбијента и сунчево зрачење дуж трасе надземног вода), параметара ветра (брзина и смер ветра дуж трасе вода на висини фазних проводника) и идентификацији критичних распона у погледу загревања за сваки анализирани далековод.
- Алгоритам за максимизацију производње ветроелектрана и соларних електрана уз оптимизацију критичних мрежних ограничења ће бити развијен применом различитих метода линеарног програмирања.
- Прорачун, обрада и приказ резултата ће бити вршени применом програмских пакета Transmission Network Analyzer (TNA), Python, WAsP и MATLAB.
- Демонстрација практичне употребе предложених алгоритама и модела биће спроведена кроз симулације на реалном електроенергетском систему коришћењем реалних метеоролошких и других података.

5. Очекивани научни доприноси

Очекивани научни доприноси предложене докторске дисертације су:

- Развијен алгоритам за одређивање критичних мрежних ограничења за прорачуне прекограничних капацитета са циљем оптимизације употребе флексибилних јединица уз уважавање ефекта грешке у прогнози производње ОИЕ.
- Развијен алгоритам за максимизацију производње ветроелектрана и соларних електрана уз оптимизацију критичних мрежних ограничења, који се може применити у оперативном планирању рада система.
- Развијен алгоритам за идентификацију критичних распона у погледу загревања проводника за сваки смер ветра и прорачун максималног преносног капацитета далековода уважавајући реалне услове загревања и хлађења проводника, који омогућава да се постојећа мрежна инфраструктура ефикасније користи у случају повећане интеграције енергије ОИЕ.

- Развијен модел за прогнозу расположивих капацитета далековода у преносној мрежи на сатном нивоу за дан унапред.
- Развијен модел за процену маргине поузданости тока снаге у условима несигурности прогнозе производње из обновљивих извора енергије.

6. План истраживања и структура рада

Основни кораци истраживања у оквиру предложене докторске дисертације су:

- Анализа расподеле грешке у прогнози производње ветроелектрана и соларних електрана за дан унапред на основу доступних историјских података о прогнозираним и оствареним вредностима сатне производње електрана
- Креирање пробабилистичког модела за симулацију и балансирање грешке у прогнози производње свих појединачних планираних електрана узимајући у обзир њихову просторну алокацију
- Дефинисање сценарија за анализу утицаја грешке симулацијом различитих режима производње за тренутно стање и амбициозни сценарио развоја обновљивих извора енергије
- Упознавање са моделима и методологијама за прорачуне преносних капацитета заснованих на токовима снага (*Flow-based*, *PTDF/RAM*), и трансакцијске прорачуне прекограничних капацитета (*NTC*)
- Анализа утицаја грешке у прогнози производње ветроелектрана и соларних електрана на токове снага, резултате анализе сигурности у случају Н-1 испада и поузданост прорачуна прекограничних капацитета уз одређивање нивоа маргине поузданости тока и маргине поузданости преноса
- Развој алгоритма за одређивање критичних мрежних ограничења за прорачуне прекограничних капацитета са циљем оптимизације употребе флексибилних јединица у преносној мрежи
- Развој алгоритма за максимизацију производње ветроелектрана и соларних електрана уз оптимизацију критичних мрежних ограничења
- Развој модела за идентификацију критичних распона у погледу загревања проводника и прорачун максималног преносног капацитета далековода уважавајући реалне услове хлађења проводника
- Развој и анализа примене модела за прогнозу динамичких преносних капацитета на оперативно планирање рада система и интеграцију ОИЕ
- Демонстрација ефеката развијених алгоритама на реалном електроенергетском систему.

Текст докторске дисертације биће написан на српском језику.

7. Закључак и предлог

На основу приложене документације и непосредног увида у досадашњи рад кандидаткиње Данке Вељковић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, Комисија закључује следеће:

1. Кандидат испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Београду и Статутом Електротехничког факултета у Београду за израду докторске дисертације.
2. Предложена тема „Оптимизација ограничења преносне мреже у условима несигурности производње из обновљивих извора енергије” (енглески: „*Optimization of transmission network constraints under conditions of uncertainty of production from renewable energy sources*”) је научно заснована, а резултати до којих ће се доћи израдом ове докторске дисертације представљаће значајан и оригиналан допринос. Тема припада ужој научној области Електроенергетски системи.

На основу претходно изложеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидаткињи Данки Вељковић одобри израду докторске дисертације под називом „Оптимизација ограничења преносне мреже у условима несигурности производње из обновљивих извора енергије” (енглески: „*Optimization of transmission network constraints under conditions of uncertainty of production from renewable energy sources*”), а под менторством др Жељка Ђуришића, редовног професора Електротехничког факултета у Београду.

У Београду, 25. 12. 2024.

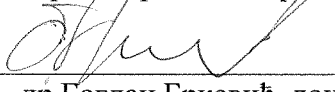
Чланови комисије



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



др Владан Дурковић, доцент,
Универзитет Црне Горе – Електротехнички факултет



др Богдан Брковић, доцент,
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет