

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Оцена научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Соње Кнежевић

Одлуком 55/29 бр. од 14.01.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Соње Кнежевић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Предиктивно управљање ресурсима у микромрежи“ („*Predictive Control of Resources in Microgrid Systems*“)

(Комисија је предложила измену назива теме у: „Примена вештачке интелигенције за предиктивно управљање ресурсима у дистрибутивним мрежама“ (Application of Artificial Intelligence for Predictive Resource Management in Distribution Networks))

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Кандидат Соња Кнежевић рођена је 17.03.1998. године у Београду, Република Србија. Основну школу завршила је у Кули. Потом је похађала гимназију „Петро Кузмјак“ у Руском Крстуру. Након завршене средње школе, 2016. године уписује Електротехнички факултет Универзитета у Београду. На Електротехничком факултету изабрала је Одсек за енергетику, а затим и Смер за електроенергетске системе. Дана 16.07.2020. године завршила је основне академске студије на студијском програму Основне академске студије Електротехника и рачунарство, модул Енергетика – Смер електроенергетски системи, у трајању од четири године, обима 240 ЕСПБ бодова, са просечном оценом 9,02.

Мастер студије на Електротехничком факултету, Смер за електроенергетске системе, уписала је 2020. године. У току мастер студија остварила је просечну оцену 10,00. Мастер академске студије на студијском програму Електротехника и рачунарство, модул Електроенергетски системи завршила је 15.06.2021. године, са оценом 10 на одбрани мастер рада на тему „Утицај фреквенцијски зависних параметара тла на ударне карактеристике уземљивача“. Ментор на изради мастер рада је био проф. др Златан Стојковић.

Докторске студије на Електротехничком факултету у Београду уписала је школске 2021/2022. године на модулу Електроенергетске мреже и системи. Тренутно је студент докторских студија.

Била је запослена у Електротехничком институту Никола Тесла Београд, у Центру за Електроенергетске објекте где је добила звање истраживача приправника. Од 2022. бави се израдом стручних студија електромагнетних прелазних процеса и тренутно је запослена у

фирми Mott Macdonald. Учествовала је у изради стручног рада на тему примене вештачке интелигенције (Машинско учење; *Big Data*) за дигитализоване технологије у ВН постројењима (IEC61850; МПЛС; *Cyber Security*).

Аутор је три рада у научним часописима међународног значаја са SCI листе, у категорији M23. Такође, аутор је научног рада у часопису националног значаја категорије M52, као и четири рада у зборницима скупова националног значаја.

Активно се служи енглеским језиком, познаје основе немачког и француског језика.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је током докторских студија положио 7 испита и обавио је све друге обавезе предвиђене планом и програмом докторских студија. Кандидат је са великим успехом положио следеће испите:

	Шифра предмета	Назив предмета	Оцена
1	19Д021МО	Методе оптимизације у електроенергетским системима	10
2	19Д021ПЕМ	Прорачун електроенергетских мрежа	10
3	19Д021ЕПП	Електромагнетни прелазни процеси у електроенергетским системима	10
4	19Д021ВСЕ	Ветроенергетика и соларна енергетика	10
5	19Д021ДС	Дистрибутивни системи - оптимално планирање и експлоатација	10
6	19Д021ВИЕ	Вештачка интелигенција у електроенергетици	10
7	19Д021ВНМ	Високонапонска мерења у електроенергетици	10

Током свог досадашњег научноистраживачког рада, кандидат је објавио неколико радова на научно-стручним скуповима међународног значаја, као и у међународним часописима са SCI листе. Листа објављених радова кандидата, од којих су неки, укључујући и рад објављен у часопису са SCI листе, у директној вези са темом докторске дисертације:

Категорија M23 (часописи)

1. **Knežević, Sonja & Dobric, Goran & Žarković, Mileta.** (2024). "Predictive modeling for power system state estimation". *Electrical Engineering*. 1-13. 10.1007/s00202-024-02837-3.
2. **Knežević, Sonja & Žarković, Mileta.** (2024). "Artificial intelligence modeling for power system planning". *Electrical Engineering*. 1-15. 10.1007/s00202-024-02652-w.
3. **Knežević, Sonja, and Darko Šošić.** 2024. "Isolated Work of a Multi-Energy Carrier Microgrid" *Energies* 17, no. 12: 2948. [10.3390/en17122948](https://doi.org/10.3390/en17122948)

Категорија M50 (домаћи часописи)

4. **Knežević, Sonja & Žarković, Mileta.** (2023). "Neural Networks Modelling for Thermal Plants Production Planning". *Energija, ekonomija, ekologija*, 4, XXV. 38-4. 10.46793/EEE23-4.38K

Категорија М60 (конференције)

5. **Кнежевић, Соња** и Стојковић, Златан и Жарковић, Милета. (2023). "Утицај фреквенцијски зависних параметара тла на атмосферске пренапоне". 1503-1513. 10.46793/CIGRE36.1503K.
6. **Кнежевић, Соња** и Стојковић, Златан и Жарковић, Милета. (2023). "Утицај фреквенцијски зависних параметара тла на ударне карактеристике уземљивача". 893-908. 10.46793/CIGRE35.0893K.
7. Влаисављевић, Милица и **Кнежевић, Соња** и Жарковић, Милета. (2023). "Дијагностика стања електроенергетских мрежа помоћу аутоенкодерских неуралних мрежа". 2230-2238. 10.46793/CIGRE36.2230V.
8. **Кнежевић, Соња** и Добрић, Горан и Жарковић, Милета. (2024). "Предикција технички губитака у ЕЕС-у". 23. Међународни симпозијум ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА. ISBN 978-99976-996-2-6

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу пријаве теме докторске, увидом у комплетну поднету документацију и на основу оцене научне заснованости теме докторске дисертације кандидата, комисија сматра да је кандидат Соња Кнежевић способна да самостално ради на изради докторске дисертације на предложеној тему и да поседује све потребне научно-истраживачке квалитете да ефикасно и утемељено донесе одговарајуће закључке на основу постигнутих резултата. Предложена тема је актуелна у области електроенергетских система и представља веома битан аспект у примени вештачке интелигенције у области електроенергетике.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања

Савремени електроенергетски системи пролазе кроз значајну трансформацију услед децентрализације изазване све већом применом обновљивих извора енергије, дистрибуираних извора производње, учешћа прозјумера и складишта електричне енергије. Ова трансформација доводи до повећања комплексности система, захтевајући напредне методе за анализу и управљање великим обимом података. Истовремено, доступност података и развој савремених метода за њихову обраду отварају нове могућности за унапређење предикције потрошње и производње енергије, оптимизацију токова снаге и планирање рада ресурса у електроенергетским системима. Традиционални приступи управљању електроенергетским системима ослањају се на што прецизнију предикцију потрошње и планирање производње уз уважавање оперативних ограничења. У савременим условима, где број и сложеност утицајних фактора значајно расту, постоји потреба за

увођењем метода које омогућавају обраду великих количина података и аутоматизацију процеса одлучивања. Методе као што су *ANN (Artificial Neural Networks)*, *ARIMA (Autoregressive integrated moving average)* модели и *ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System)* показују се као ефикасни алати за предикцију производње и потрошње, као и за оптимизацију рада енергетских ресурса. Микромреже, као специфичан сегмент електроенергетског система, захтевају посебну пажњу услед своје децентрализоване структуре и комплексности управљања. Успешна интеграција микромрежа у шири електроенергетски систем зависи од примене предиктивних метода које омогућавају оптимизацију рада њихових ресурса уз истовремено очување стабилности и поузданости целокупног система.

Циљ истраживања

Главни циљ истраживања је развој предиктивног модела за управљање ресурсима у електроенергетским системима, са посебним освртом на примену савремених метода као што су *ANN*, *ARIMA* и *ANFIS*. Овај модел ће омогућити прецизну предикцију потрошње и производње, оптимизацију токова снаге и побољшање оперативне ефикасности у сложеним системским условима. Посебна пажња биће посвећена примени поменутих метода у микромрежама, као и њиховој интеграцији у виши ниво електроенергетског система.

Значај истраживања

Значај истраживања је унапређење метода за обраду великих количина података и аутоматизацију процеса управљања енергетским ресурсима. Примена развијених модела допринеће побољшању поузданости, флексибилности и ефикасности електроенергетског система, као и интеграцији децентрализованих ресурса, попут микромрежа, у глобални енергетски оквир. Очекује се да резултати добијени у оквиру израде докторске дисертације буду примењиви у процесима планирања и управљања радом електроенергетских система. Развијени модели и примењене методе ће омогућити ефикаснију обраду и анализу великих количина података, чиме ће се подржати експерти у доношењу одлука о ангажовању енергетских ресурса, повећати поузданост система и оптимизовати његова функционалност. Посебан значај резултата огледа се у примени за унапређење предикције потрошње и производње, оптимизацију токова снаге и бољу интеграцију децентрализованих извора енергије.

Релевантна литература коришћена током истраживања кандидата, на коју се надовезује рад кандидата:

1. Knežević S, Dobric G, Žarković M. (2024). "Predictive modeling for power system state estimation". *Electrical Engineering*. 1-13. 10.1007/s00202-024-02837-3
2. Knežević S, Žarković M. (2024). "Artificial intelligence modeling for power system planning". *Electrical Engineering*. 1-15. 10.1007/s00202-024-02652-w
3. Jordan J, Michael E, Logan B, Anya C, Zachary K, Kyle Skolfield J, Fani B, Carl L (2024) Physics-informed machine learning with optimization-based guarantees: Applications to AC power flow. *Int J Electric Power and Energy Syst Electric Power and Energy Syst* 157:109741
4. Kayacik SE, Schrottenboer AH, Ursavas E, Vis IFA (2024) Towards low carbon power networks: Optimal location and sizing of renewable energy sources and hydrogen storage. *Sustain Energy Grids Netw* 38:101394

5. Trinadha Burle, V.V.S. Bhaskara Reddy Chintapalli, Modified load flow algorithm suitable for modern power systems under variable weather conditions, Electric Power Systems Research, Volume 211, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108221>.
6. Knežević S, Šošić D. Isolated Work of a Multi-Energy Carrier Microgrid. Energies. 2024; 17(12):2948. <https://doi.org/10.3390/en17122948>
7. Pascaline Tiam Kapen, Brigitte Astrid Medjo Nouadje, Victorin Chegnimonhan, Ghislain Tchuen, René Tchinda, Techno-economic feasibility of a PV/battery/fuel cell/electrolyzer/biogas hybrid system for energy and hydrogen production in the far north region of Cameroon by using HOMER pro, Energy Strategy Reviews, Volume 44. 2022, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100988>
8. Yuan R, Pourmousavi SA, Soong WL et al (2023) A synthetic dataset of Danish residential electricity prosumers. Sci Data 10:371. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02271-3>
9. Yuan T, Liu D, Yun F et al (2024) Quantum-enhanced multi-objective collaboration for wind and solar hydrogen storage optimization. Opt Quant Electron 56:295. <https://doi.org/10.1007/s11082-023-05883-6>
10. Berraies AA, Tzanetos A, Blondin M (2023) Machine learning to facilitate the integration of renewable energies into the grid. In: Fathi M, Zio E, Pardalos PM (eds) Handbook of smart energy systems. Springer, Cham

3. Полазне хипотезе

Све већа децентрализација електроенергетских система, праћена порастом броја обновљивих и дистрибуираних извора енергије, доводи до раста комплексности управљања и потребе за оптимизацијом рада ресурса. Електроенергетски системи захтевају примену предиктивних метода како би се омогућила прецизна предикција потрошње и производње, боље управљање токовима снаге и интеграција у шири систем.

Основна претпоставка је да се на основу реалних мерних података из различитих извора у микромрежи и ширем систему, уз примену метода вештачке интелигенције, као што су ANN, ARIMA и ANFIS, могу развити модели који ће омогућити ефикасно предиктивно управљање ресурсима. Ови модели могу повећати функционалност система кроз бољу алокацију ресурса, оптимизацију оперативних параметара и смањење утицаја децентрализације на стабилност електроенергетског система.

Друга битна претпоставка је да примена савремених метода обраде великих количина података може премостити ограничења традиционалних приступа планирању и управљању. Ови модели ће омогућити аутоматизацију процеса анализе података и доношења одлука, чиме ће се подржати рад експерата и унапредити ефикасност управљања електроенергетским системима.

4. Научне методе истраживања

Да би се остварио циљ истраживања, примениће се следеће методе:

1. Формирање и примена ANFIS (*Adaptive Neural Fuzzy Interference System*) система

ANFIS ће бити коришћен за процену потрошње и функционисања потрошачког сегмента система, уз уважавање специфичних параметара и променљивих услова у раду електроенергетског система. Овај метод интегрише логику закључивања и вештачке неуралне мреже ради креирања система који се прилагођава динамичким условима.

2. Примена ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*) модела

ARIMA ће бити коришћен за предикцију стања система, омогућавајући поређење са другим методологијама. Овај приступ ће допринети процени тачности и поузданости модела у анализи временских серија, укључујући обрасце потрошње и производње електричне енергије.

3. Формирање и примена вештачке интелигенције кроз неуралне мреже

Вештачке неуралне мреже (ANN) ће бити примењене за предикцију потрошње електричне енергије у електроенергетском систему. Ови модели ће користити велике скупове података за идентификацију обрасца у потрошњи и креирање предиктивних решења са високим степеном прецизности.

4. Тестирање и поређење развијених система

Развијени модели ће бити тестирани и упоређивани на основу реалних података који описују стање електроенергетског система. Тестирање ће обухватити анализу перформанси и прилагођавање модела реалним условима.

5. Краткорочна и дугорочна предикција на сатном нивоу

Истраживање ће обухватити развој модела за краткорочну и дугорочну предикцију, са фокусом на сатни ниво предвиђања. Овај аспект ће осигурати флексибилност и прилагодљивост система различитим временским хоризонтима планирања.

5. Очекивани научни допринос

Међу очекиване научне доприносе убрајају се:

1. Развој нових алгоритама за предикцију потрошње и производње на основу савремених техника вештачке интелигенције, укључујући ANFIS, ARIMA и ANN, чиме ће се обезбедити прецизнији модели за управљање ресурсима.
2. Развој алгоритама за анализу великих скупова података у циљу помоћи експертима да донесу правовремене и правилне одлуке и побољшају функционалност електроенергетског система.
3. Формирање алгоритама за предиктивно планирање рада електроенергетског система, који ће омогућити оптимизацију токова снаге, ефикасно коришћење ресурса и интеграцију децентрализованих извора енергије.
4. Валидација развијених модела и алгоритама кроз тестирање на реалним скуповима података, чиме ће се обезбедити њихова практична примена и доказати ефикасност предложених решења.
5. Допринос аутоматизацији процеса доношења одлука кроз креирање алата који ће експертима олакшати анализу сложених електроенергетских система и убрзати реакције на промене у раду електроенергетског система.

6. План истраживања и структура рада

Истраживање ће се спровести кроз следеће кораке:

1. Преглед научно-стручне литературе ради анализе метода на бази вештачке интелигенције (фази логике и неуралних мрежа) за предикцију потрошње и производње у системима;
2. Преглед научно-стручне литературе ради анализе коришћених предиктивних метода (ARIMA) за предвиђање производње и потрошње електричне енергије;
3. Преглед научно-стручне литературе ради анализе метода на бази вештачке интелигенције за процену параметара микромреже;
4. Преглед научно-стручне литературе ради анализе међусобног рада складишта енергије, обновљивих извора и прозјумера унутар микромреже и утицај на електроенергетски систем;
5. Преглед научно-стручне литературе ради анализе рада електроенергетског система од амбијенталних услова;
6. Развој експертских система на којима ће се базирати нове методе засноване на вештачкој интелигенцији за доношење одлуке о ангажовању енергетских ресурса;
7. Примена програмских пакета са циљем креирања алгоритама на бази неуралних мрежа, ANFIS и ARIMA;
8. Тестирање развијених алгоритама и креираних модела и поређење са реалним стањима.

7. Закључак и предлог

Кандидат је успешно презентовао методологију израде дисертације и главне научне доприносе. На јавној усменој одбрани теме докторске дисертације професор Горан Квашчев је поставио питање у вези коришћених АНН модела, тј. да ли се планира коришћење динамичких или статичких модела. Такође је сугерисао коришћење веће базе података.

Др Александар Милићевић је поставио питање везано за коришћене софтвере, доступност података за обучавање, као и за очекивану грешку предикције. Такође је поставио питање везано за додатно обучавање мреже у случају доступности нових података. Сугерисао је да се обрати пажња на могућност коришћења неуралних мрежа са више излаза.

Професор Горан Добрић је поставио питање у вези повезаности параметара електроенергетске мреже и микромреже. Такође је сугерисао да се временски корак података смањи са сат времена на 15 минута или краће.

Комисија је сугерисала да се наслов дисертације промени у: „Примена вештачке интелигенције за предиктивно управљање ресурсима у дистрибутивним мрежама“.

Кандидаткиња **Соња Кнежевић** је успешно одговорила на постављена питања чланова Комисије.

На основу комплетне приложене документације у сврху пријаве теме докторске дисертације и на основу оцене научне заснованости теме докторске дисертације кандидата **Соње Кнежевић**, комисија предлаже да се прихвати тема докторске дисертације под измењеним насловом „Примена вештачке интелигенције за предиктивно управљање ресурсима у дистрибутивним мрежама“, а за ментора се предлаже др Милета Жарковић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Горан Добрић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

др Александар Милићевић, виши научни сарадник
Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне
науке "Винча"

др Горан Квашчев, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет