

ПЕРИОД РАДА			
Српски	Латиница	Кирилица	Датум
	1100		20.06.2023.

**УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У ЧАЧКУ**

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА
У ЧАЧКУ
ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ**

ПРЕДМЕТ: Извештај комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације и испуњености услова кандидата Драгане Кнежевић, мастер инж. информационих технологија.

Одлуком већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-309/14 од 17.05.2023.године, а на предлог Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Чачку (одлука бр. 012-91-802/12 од 10.05.2023. године), именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације под радним називом:

**„РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ПРОЦЕНУ МЕСЕЧНЕ ПОТРОШЊЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ
ЕНЕРГИЈЕ ЗАСНОВАНОГ НА ТЕХНИКАМА МАШИНСКОГ УЧЕЊА“**

из образовно-научног поља Техничко-технолошких наука, научна област Електротехничко и рачунарско инжењерство, односно њене следеће уже научне области: Информационе технологије и системи и Примењено рачунарство, кандидата Драгане Кнежевић, мастер инж. информационих технологија. На основу пријаве дисертације и увида у научни рад кандидата, достављамо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Научни приступ проблему предложеног нацрта докторске дисертације и процена научног доприноса крајњег исхода рада

Предложена тема докторске дисертације припада научној области примена информационих технологија и техника машинског учења у решавању проблема планирања и производње електричне енергије за крајње потрошаче.

Са убрзаним развојем друштва и појавом иновативних, паметних уређаја у последњих неколико деценија драматично расте и потрошња електричне енергије. Упоредо са растом потрошње расту и трошкови на глобалном нивоу, а тиме потреба за њеном

уштедом, што на другој страни повећава притисак на компаније које се баве производњом и дистрибуцијом електричне енергије. Да би се смањио овај притисак и побољшала ефикасност целокупног система, неопходно је развијање нових метода за процену потребног нивоа електричне енергије. Ово је уједно и главна мотивација истраживања предложене дисертације. Као могуће решење, у дисертацији ће се истраживати могућност примене техника машинског учења за развој модела за процену месечне потрошње електричне енергије у дистрибутивној мрежи, чиме би се омогућило њено праћење и предвиђање за наредни период, за сваког постојећег или новог потрошача. Предложени приступ је посебно значајан јер одржавање баланса између производње/куповине, потрошње/продаје и губитака електричне енергије представља основни услов за стабилан рад електроенергетског система.

Јасно је да се однос производње и потрошње тешко може довести у идеалну равн што наводи на нужност планске производње. Да би планирање производње електричне енергије било могуће неопходно је успоставити адекватан систем процене њене потрошње.

Увођење техника машинског учења у процес предвиђања потрошње електричне енергије у дистрибутивној мрежи има важну практичну примену и повољне последице за читав енергетски сектор. Развој прецизних и поузданих модела вештачких неуронских мрежа омогућава ефикасну процену месечне потрошње електричне енергије, што је од изузетне важности за планирање и управљање енергетским ресурсима како на локалном тако и на глобалном нивоу. Проблем је што за већину потрошача у дистрибутивној мрежи једини расположиви мерени податак представља месечна потрошња електричне енергије.

Како потрошња електричне енергије расте упоредо са развојем друштва, тешко је спознати које карактеристике имају највећи утицај на ниво њене потрошње. Управо проналажење најутицајнијих карактеристика самих потрошача и амбијента представља један од највећих изазова и проблема у процесу процене будућих потрошњи. Други проблем који се јавља истовремено, одмах на почетку поступка процене јесте скуп обележја потрошача бележених у базама података дистрибутивних компанија. Најчешће ови подаци нису довољни за развој предиктивног модела. Предлог представљен у оквиру предложеног истраживања подразумева да се у фази припреме скупа података, постојећим придруже обележја прикупљена из других, екстерних извора.

На основу плана истраживања коју је кандидат представио у пријави дисертације, очекују се следећи научни доприноси:

- развој алгоритма за допуну и адаптацију иницијалног скупа података са записима о потрошњама електричне енергије и на тај начин формирање оптималног скупа обележја;
- оптимизација скупа улазних параметара модела за процену месечних потрошњи електричне енергије;
- развој оригиналног модела неуронских мрежа за процену месечних потрошњи електричне енергије заснованог на употреби специфичних слојева и параметара

модела;

- развој поступка издвајања хомогенијег скупа података ради постизања још већих прецизности и убрзања процеса предвиђања потрошње електричне енергије;
- омогућавање предикције потрошње електричне енергије од стране потрошача који поседују основне вештине у домену информационих технологија;
- дефинисање процедура за откривање „сумњивих“ података у скупу прикупљених података;
- омогућавање предикције потрошње електричне енергије од стране дистрибутивних компанија у дерегулисаним електродистрибутивним системима;
- применљивост представљеног програмског оквира за предвиђање потрошње електричне енергије, на проблеме сличне природе.

1.1 Веза са досадашњим истраживањима

Истраживањем у оквиру израде докторске дисертације кандидат наставља досадашња истраживања у циљу постизања што прецизнијих предикција потрошње електричне енергије у циљу успостављања оптималног скупа карактеристика потрошача и окружења са највећим утицајем на будуће потрошње. У истраживању најбољег поступку предикције потрошње електричне енергије у различитим условима у основи се ослања на следеће публикације:

- Још 2007., Tso и Yau у [1] врше упоредну анализу различитих техника које се користе за предвиђање потрошње електричне енергије на недељном нивоу, за простор града (Хонг Конг), поредећи резултате стабла одлучивања и неуронских мрежа са регресионом анализом. Закључују да су стабла одлучивања и неуронске мреже добра алтернатива регресионом моделу у процесу одређивања потрошње електричне енергије.
- Готово упоредо, аутори у [2] представљају интегрисани генетски алгоритам (GA) и вештачку неуронску мрежу (ANN) као инструмент за процену и предвиђање потрошње електричне енергије за период од годину дана.
- Такође користећи ANN модел, аутори у [3] врше краткорочно предвиђање потрошње електричне енергије (за наредни сат) у домаћинствима, превасходно оцењујући утицај употребе клима уређаја на укупну потрошњу на територији Палерма, Италија.
- Потврђујући налазе ранијих истраживања, аутори у [4] предлажу ANN као одлично средство за моделирање и предвиђање потрошње електричне енергије у Турској до 2027. године, користећи податке прикупљене између 1975. и 2006. године. Две године касније, исти аутор у [5] користи SVR (Support Vector Regression) за моделирање потрошње електричне енергије, за предвиђање до 2026. године на основу истих података.
- Azadeh и остали у [6] су предложили, тада нови адаптивни систем закључивања (ANFIS) за предвиђање дугорочне потрошње. У овом истраживању анализа је изведена на годишњем нивоу (за наредних осам година) и предложено је шест различитих модела предвиђања тестираних на подацима из неколико земаља (Холандија, Луксембург,

Ирска и Италија).

- У [7], Kargar и Charsooghi користили су модел ANN како би предвидели годишњу потрошњу електричне енергије у Ирану. Након што су упоредили два модела неуронских мрежа (ARIMA и Перцептион), аутори долазе до закључка да NARX неуронске мреже (енг. Nonlinear Autoregressive Network with Exogenous Inputs), дају најпрецизнија предвиђања. До закључака долазе обучавајући модел на подацима који садрже потрошње електричне енергије током 27 година и тестирајући модел на подацима из четири последње.
- Аутори у [8] представљају модел са адаптивним методама обуке, способан да предвиди потрошњу електричне енергије у временским интервалима од 15 минута на нивоу једне комерцијалне зграде.
- Aman, Noor и Prassana у [9], такође врше предвиђања за блиску будућност (за наредних неколико сати) помоћу предиктивног модела узимајући у обзир различите врсте потрошача (индивидуалног потрошача са једне стране и све потрошаче на нивоу једне стамбене зграде, са друге стране). Аутори закључују да прецизна предвиђања потрошње електричне енергије не захтевају велику количину података, већ да крајњи резултати зависе од правилних избора технике и њеног правилног спровођења.
- Насупрот томе, Ни у [10] истиче да је за добијање прецизних резултата потребно користити велики број историјских података о потрошњама. Како је потрошња електричне енергије веома важан економски показатељ једне земље стога је веома важно обезбедити предвиђати потрошњу за наредни период. Аутор препоручује мултиваријантне технике и анализу временских серија као веома прихватљиве моделе за предвиђање потрошњи електричне енергије на нивоу земље (Турска).
- 2018., Yoo и Alvarez у [11] врше предвиђања потрошње електричне енергије у сврху дугорочног планирања на нивоу стамбене зграде у Сеулу, Кореја. Користећи ANN, анализирају утицај великог броја карактеристика потрошача на исход предвиђања, радећи са подацима прикупљаним у току 20 година. Аутори су дошли до закључка да старост потрошача као улазни параметар има највећу тежину у вештачкој неуронској мрежи за предвиђање потрошњи за наредних неколико година.
- Song и остали у [12] су користили осам модела предвиђања потрошње електричне енергије, на нивоу региона Ксинјанг (Xinjiang), за наредних пет година. Сви модели засновани су на сивом моделу (енг. Grey Model, GM), моделу вишеструке регресије (енг. Multiple Linear Regression, MLR) и неуронских мрежа са пропацијом уназад (енг. Error Back Propagation Neural Network, BP) у циљу истраживања могућности веће употребе или допуне производње електричне енергије новим, обновљивим изворима енергије.
- У [13] аутори представљају два приступа у циљу предвиђања будућних потрошњи електричне енергије, заснованих на претходно забележеним потрошњама. Помоћу RNN и LSTM модела постижу повољне вредности RMSE, при чему RNN користи рекурентну неуронску мрежу, а LSTM користи дугу и краткорочну меморију. Предложени модели су тестирани на јавно доступном скупу података са подацима о паметним бројилима у Лондону, правећи краткорочне (дневне), средњорочне (тримесечне) и дугорочне (током 13 месеци) прогнозе за једну стамбену јединицу (кућу) и блок кућа.

- Аутори у [14] су такође предвиђали потрошњу електричне енергије у стамбеним зградама, али у целом региону, који укључује преко 16.000 стамбених зграда и то на месечном нивоу. Користећи неколико техника машинског учења (редукцију димензионалности, декомпозицију вредности, кластеровање, случајне шуме и машине за подршку векторима) аутори на крају долазе до прецизних резултата.

- У [15] аутори су предложили поједностављени модел који се може користити уместо компликованих модела како би се превазишле тешкоће аналитичког моделирања у циљу предвиђања дневних потрошњи. У овом случају, скуп података садржи податке о потрошњи електричне енергије једног тржног центра у Дилиану, Кина, током периода од два месеца. Како би избегли пре-прилагођавање због малог броја података, аутори су користили Бајесову регуларизацију неуронских мрежа (енг. Bayesian Regularization Neural Network - BRNN), а како би одабрали значајне податке, применили су технику утицаја средње вредности параметара (енг. Mean Impact Value - MIV).

- У [16] аутор представља модел заснован на неуронским мрежама, способан да предвиди потрошње на нивоу једног града (Хјустон), за наредни дан, како би се извршило оптимално снабдевање електричном енергијом.

- Да су неуронске мреже подједнако успешне у решавању проблема класификације и предвиђања, показала су истраживања [17] и [18]. У [17] аутори врше класификацију потрошача електричне енергије, на нивоу једног града, на основу сета података са месечним потрошњама, док у [18] предвиђају износ потрошње електричне енергије (у kWh), такође на подручју једног града (Ужице) пратећи њихову потрошњу током четири године. Показало се да се употребом неуронских мрежа, потрошачи могу прецизно класификовати у једну од постојећих група као и да се њихове потрошње могу предвидети са великом прецизношћу, такође употребом неуронских мрежа.

- Касније, исти аутори у [19] долазе до значајних закључака и истичу да се још бољи резултати предвиђања месечних потрошњи на једном великом подручју (град Ужице) могу постићи кластеровањем потрошача по једном од четири приказана критеријума. Наиме, аутори предлажу да се у једном хетерогеном сету података најпре препознају хомогеније групе а затим да се над таквим групама врши предвиђање неуронском мрежом. Такође, аутори предлажу специфичан NN модел, заснован на слојевима са нормализацијама тежина у слојевима (енг. Weight Normalization Layers, WNL), и слојевима нормализације (енг. Layer Normalization Layer, LNL, објашњеним у [20]) који су се раније користили за другачије врсте проблема (обично за процесирање слика као у [21], [22]) али се показало да у овом случају имају значајну улогу.

Приказани преглед литературе у области указује на оригиналну природу спроведеног истраживања и још већу важност добијених резултата.

Кандидат се посебно осврће на ауторе који користе неуронске мреже за предикцију потрошње на одређеном простору, на пример, региона [23], једне државе [4], [5], [7], града [3], [13], [17], [18], [24], на подручју једне графо-станице [25], [26], тржног центра [15], јавне зграде [27], пословне [28] или стамбене зграде [14].

Такође, кандидат посебно истиче и публикације где се аутори баве предвиђањем потрошњи само једне категорије потрошача, на пример: домаћинства [1] и [29],

индустријски потрошачи [30] или чак посматрањем једне врсте електричних уређаја као потрошача, као у [31].

Посебно треба истаћи да кандидат у дисертацији располаже подацима о реалним потрошњама на једном простору оствареним од стране разноврсних потрошача настављајући у правцу истраживања започетим у публикацијама: [17]–[19], а слично онима у [23], [32]–[35].

Истакнута литература:

- [1] G. K. F. Tso and K. K. W. Yau, "Predicting electricity energy consumption: A comparison of regression analysis, decision tree and neural networks", *Energy*, vol. 32, no. 9, pp. 1761–1768, 2007.
- [2] A. Azadeh, S. F. Ghaderi, S. Tarverdian, and M. Saberi, "Integration of artificial neural networks and genetic algorithm to predict electrical energy consumption", *Applied Mathematics and Computation*, vol. 186, no. 2, pp. 1731–1741, 2007.
- [3] M. Beccali, M. Cellura, V. L. Brano, and A. Marvuglia, "Short-term prediction of household electricity consumption: Assessing weather sensitivity in a Mediterranean area", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, no. 8, pp. 2040–2065, 2008.
- [4] K. Kavaklioglu, H. Ceylan, H. K. Ozturk, and O. E. Canyurt, "Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using artificial neural networks", *Energy Conversion and Management*, vol. 50, no. 11, pp. 2719–2727, 2009.
- [5] K. Kavaklioglu, "Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Support Vector Regression", *Applied Energy*, vol. 88, no. 1, pp. 368–375, 2011.
- [6] A. Azadeh, M. Saberi, V. Nadimi, M. Iman, and A. Behrooznia, "An integrated intelligent neuro-fuzzy algorithm for long-term electricity consumption: cases of selected EU countries", *Acta Polytechnica Hungarica*, vol. 7, no. 4, pp. 71–90, 2010.
- [7] M. J. Kargar and D. Charsoghi, "Predicting annual electricity consumption in Iran using artificial neural networks (NARX)", *Indian J. Sci. Res*, vol. 5, no. 1, pp. 231–242, 2014.
- [8] Y. T. Chae, R. Horesh, Y. Hwang, and Y. M. Lee, "Artificial neural network model for forecasting sub-hourly electricity usage in commercial buildings", *Energy and Buildings*, vol. 111, pp. 184–194, 2016.
- [9] S. Aman, M. Frincu, C. Chelmiss, M. U. Noor, Y. Simmhan, and V. Prasanna, *Empirical Comparison of Prediction Methods for Electricity Consumption Forecasting*. 2014.
- [10] Y.-C. Hu, "Electricity consumption prediction using a neural-network-based grey forecasting approach", *Journal of the Operational Research Society*, vol. 68, no. 10, pp. 1259–1264, Oct. 2017.
- [11] S. G. Yoo and H.-Á. Myriam, "Predicting residential electricity consumption using neural networks: A case study", in *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1072, no. 1, p. 012005.
- [12] X. Song, G. Liang, C. Li, and W. Chen, "Electricity consumption prediction for Xinjiang electric energy replacement", *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2019, pp. 1–11, 2019.
- [13] A. Nugaliyadde, U. Somaratne, and K. W. Wong, "Predicting electricity consumption

using deep recurrent neural networks", *arXiv preprint arXiv:1909.08182*, 2019.

[14] H. Cai, S. Shen, Q. Lin, X. Li, and H. Xiao, "Predicting the energy consumption of residential buildings for regional electricity supply-side and demand-side management", *IEEE Access*, vol. 7, pp. 30386–30397, 2019.

[15] M. K. Kim, J. Cha, E. Lee, V. H. Pham, S. Lee, and N. Theera-Umpon, "Simplified neural network model design with sensitivity analysis and electricity consumption prediction in a commercial building", *Energies*, vol. 12, no. 7, p. 1201, 2019.

[16] K. McElwee, "Using neural nets to predict tomorrow's electric consumption", *Medium*, Jul. 30, 2021. <https://towardsdatascience.com/using-neural-nets-to-predict-tomorrows-electric-consumption-cc1ae3ae7cc2> (accessed Sep. 18, 2021).

[17] D. Knežević and M. Blagojević, "Classification of electricity consumers using artificial neural networks", *Facta Universitatis, Series: Electronics and Energetics*, vol. 32, no. 4, pp. 529–538, 2019.

[18] Knežević D, Blagojević M, and Ranković A, "Prediction of electricity consumption using artificial neural networks", in *The higher education technical school of professional studies in novi sad and faculty of economics and engineering management in novi sad fimek*, Kopaonik, 2020.

[19] D. Knežević, M. Blagojević, and A. Ranković, "Electricity Consumption Prediction Model for Improving Energy Efficiency Based on Artificial Neural Networks", *SIC*, vol. 32, no. 1, pp. 69–79, Mar. 2023, doi: 10.24846/v32i1y202307.

[20] J. L. Ba, J. R. Kiros, and G. E. Hinton, "Layer normalization", *arXiv preprint arXiv:1607.06450*, 2016.

[21] T. Salimans and D. P. Kingma, "Weight normalization: A simple reparameterization to accelerate training of deep neural networks", *Advances in neural information processing systems*, vol. 29, pp. 901–909, 2016.

[22] S. Xiang and H. Li, "On the effects of batch and weight normalization in generative adversarial networks", *preprint arXiv:1704.03971*, 2017.

[23] R. R. Rathod and R. D. Garg, "Regional electricity consumption analysis for consumers using data mining techniques and consumer meter reading data", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 78, pp. 368–374, 2016.

[24] P. Tiwari, "Architectural, demographic, and economic causes of electricity consumption in Bombay", *Journal of Policy Modeling*, vol. 22, no. 1, pp. 81–98, 2000.

[25] J. Milojković, V. Litovski, E. fakultet u Nišu, and M. Milić, "Predviđanje mesečne potrošnje električne energije na nivou prigradske trafostanice", presented at the Naučno-stručni simpozijum Energetska efikasnost, Banja Luka, Sep. 2015.

[26] J. Milojković and V. Litovski, "Novi modeli predviđanja potrošnje električne energije zasnovani na VNM", in *54th ETRAN Conference*, Donji Milanovac, Jun. 2010.

[27] M. Zekić-Sušac, R. Scitovski, and A. Has, "Cluster analysis and artificial neural networks in predicting energy efficiency of public buildings as a cost-saving approach", *Croatian Review of Economic, Business and Social Statistics*, vol. 4, no. 2, pp. 57–66, 2018.

[28] M. K. M. Shapi, N. A. Ramli, and L. J. Awal, "Energy consumption prediction by using machine learning for smart building: Case study in Malaysia", *Developments in the Built*

Environment, vol. 5, p. 100037, 2021.

- [29] T. Le, M. T. Vo, B. Vo, E. Hwang, S. Rho, and S. W. Baik, "Improving electric energy consumption prediction using CNN and Bi-LSTM", *Applied Sciences*, vol. 9, no. 20, p. 4237, 2019.
- [30] S. A. Sarswatula, T. Pugh, and V. Prabhu, "Modeling Energy Consumption using Machine Learning", *Frontiers in Manufacturing Technology*, vol. 2, 2022.
- [31] M. Kumar, V. Shenbagaraman, R. N. Shaw, and A. Ghosh, "Predictive data analysis for energy management of a smart factory leading to sustainability", *Innovations in electrical and electronic engineering*, Springer, 2021, pp. 765–773.
- [32] R. F. Berriel, A. T. Lopes, A. Rodrigues, F. M. Varejao, and T. Oliveira-Santos, "Monthly energy consumption forecast: A deep learning approach", *2017 Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, no. May, pp. 4283–4290, 2017.
- [33] M. Zekić-Sušac, R. Scitovski, and A. Has, "Cluster analysis and artificial neural networks in predicting energy efficiency of public buildings as a cost-saving approach", *Croatian Review of Economic, Business and Social Statistics*, vol. 4, no. 2, pp. 57–66, 2018, doi: 10.2478/crebss-2018-0013.
- [34] J. Parraga-Alava, J. D. Moncayo-Nacaza, J. Revelo-Fuelagán, P. D. Rosero-Montalvo, A. Anaya-Isaza, and D. H. Peluffo-Ordóñez, "A data set for electric power consumption forecasting based on socio-demographic features: Data from an area of southern Colombia", *Data in Brief*, vol. 29, 2020, doi: 10.1016/j.dib.2020.105246.
- [35] M. Alanbar, A. Alfarraj, and M. Alghieth, "Energy Consumption Prediction Using Deep Learning Technique", *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, vol. 14, no. 10, pp. 166–177, 2020.

Кандидат се претходно кроз мастер студије, а од уписа и кроз докторске студије бави научном проблематиком предикције потрошње електричне енергије употребом техника машинског учења, посебно вештачких неуронских мрежа. Као резултат тог интересовања произашло је неколико научних радова објављених у часописма категорије М20 (М23 и М24) и међународним конференцијама категорије М33, а у току је даља надоградња истраживања кроз припрему нових публикација и публикација које су у поступку објављивања, што наговештава позитиван крајњи исход рада.

Тема докторске дисертације је врло актуелна, и то не само тренутно већ у дугорочној пројекцији обзиром да је проблем предвиђања потрошње електричне енергије не само проблем данашњице већ засигурно и у будућности.

Предложени план докторске дисертације који је кандидат детаљно образложио у пријави теме указује на свебухватан приступ проблему. Кандидат процесу предвиђања потрошње електричне енергије приступа детаљно приказујући све фазе од прикупљања и адаптације скупа података до приказивања резултата предикције добијених помоћу развијеног модела неуронске мреже, заснованог на специфичним слојевима.

2. Образложење предмета, методе и циља који уверљиво упућују да је предложена тема од значаја за развој науке

Предмет, методе, хипотезе и циљеви обухваћени овом дисертацијом су следећи:

Предмет истраживања ове докторске дисертације је развој модела заснованог на техникама машинског учења, способног да предвиди потрошње сваког потрошача у дистрибутивној мрежи.

Сврха ове дисертације се може сагледати кроз неколико циљева који проистичу из једног превасходног **циља**: допринети унапређењу процеса планирања производње на основу процене потрошње електричне енергије потрошача на једном ширем подручју, развојем прецизног и поузданог модела предикције.

Други циљеви дисертације ослањају се на успешност остварења првог циља:

- развој модела за предвиђање месечне потрошње електричне енергије применљивог у планирању и управљању енергетским ресурсима како на локалном тако и на ширем простору;
- формирање оптималног скупа атрибута, сачињеног од најутицајнијих обележја потрошача и средине, као фактора који доприносе најпрецизнијим предвиђањима месечне потрошње електричне енергије;
- развој и параметрирање модела за предвиђање месечних потрошњи електричне енергије, заснованог на вишеслојним вештачким неуронским мрежама и кластеровану;
- валидација успешности развијеног модела вишеслојне неуронске мреже и утврђивање његове поузданости кроз нумерички изражене мере прецизности.

Имајући у виду својства проблема, истакнутих циљева и предмета овог истраживања, може се исказати општа и неколико посебних хипотеза.

Општа хипотеза:

- Х: На основу података добијених од стране дистрибутивне компаније о месечним потрошњама електричне енергије потрошача различитих категорија на територији једног града, могуће је предвидети њихове будуће потрошње или потрошње нових потрошача са сличним карактеристикама.

Посебне хипотезе дисертације су:

- Х1: Постоји позитивна корелација између атмосферских прилика и потрошње електричне енергије што их чини кључним обележјима у процесу предвиђања месечних потрошњи.
- Х2: Технике машинског учења, превасходно вештачке неуронске мреже и кластероване, се могу користити за предвиђање периода повећане потрошње електричне енергије, као што су празници или сезонске промене, што ће омогућити дистрибутивним компанијама да унапреде своје планирање куповине од произвођача и даљу дистрибуцију електричне енергије.

- X3: Могуће је формирати такав скуп параметара модела вештачке неуронске мреже који ће допринети прецизнијем предвиђању потрошње електричне енергије на подручју са потрошачима разуђених карактеристика.
- X4: Синтезом обележја потрошача електричне енергије на неком подручју и особина амбијента у коме потрошач егзистира, могуће је предвиђати месечне потрошње електричне енергије чак и најразноврснијих потрошача на било ком простору.
- X5: Проблеми проузроковани хетерогеношћу потрошача на одређеном подручју могу се превазићи њиховим груписањем у хомогеније кластере чиме ће се постићи прецизнија предвиђања и поступак предикције месечне потрошње електричне енергије ће се знатно убрзати.
- X6: Применом резултата предикционог модела вишеслојне вештачке неуронске мреже, кроз планове потребне ангазоване енергије, може се успоставити систем стабилнијег снабдевања електричном енергијом на било ком подручју.

Прогноза потрошње има веома важну улогу јер директно утиче на поуздано снабдевање целокупног система електричном енергијом што у крајњој линији доприноси и економској стабилности једне земље.

Током истраживања и израде дисертације кандидат предлаже употребу неколико метода и приступа раду сходно проблему истраживања.

Целокупан процес заснован је на синергији логичких начела и правила, теоријско-епистемолошких сазнања и практичних радњи и техничких средстава.

Предложено истраживање почива на методи студије случаја као једној од метода прикупљања података. Аналитички поступак интеграције обележја прикупљених из екстерних извора са иницијалним подацима садржаним у скупу података о случају, укључује и квантитативне, синтетичке и калкулативне методе.

У иницијалној фази истраживања користе се методе анализе и синтезе заједно са индуктивно-дедуктивним методама.

За разумевање података и међузависности обележја користе се статистичке методе и приступи, као што је дескриптивна али и експликативна анализа, корелациона и регресиона анализа уз свеприсутно апстраховање.

У финалној фази истраживања техникама машинског учења, кластерованем и вештачким неуронским мрежама остварује се и главни циљ: предвиђање месечних потрошњи електричне енергије.

Као инструмент за анализу података, моделовање неуронске мреже и визуелизацију резултата користи се програмски језик Python и његове библиотеке посебно дизајниране за машинско учење и анализу података.

Обзиром на важност решења предложеног проблема и честе недостатке у самим подацима, изузетно је важно приказати и предложени поступак за адаптацију и допуну доступних података.

За прикупљање, обраду, анализу података и приказ резултата користиће се више техника:

- прикупљање података о потрошњама електричне енергије из званичних база података дистрибутивне - иницијални скуп података;
- за адаптацију скупа података додатним обележјима користе се подаци прикупљени из спољних извора (јавно доступних база података), унети хронолошки за сваки временски сегмент у посматраном периоду;
- као допуна иницијалног скупа података, поред обележја прикупљених из спољних извора, један број атрибута се добија калкулативним методама на основу накнадно прикупљених и постојећих података;
- за обраду и анализу података користиће се развијени програмски модули и статистичке процедуре (дескриптивна статистика, корелациона и регресиона анализа...) у програмском језику Python;
- за развој и евалуацију модела вишеслојених неуронских мрежа као и кластеровања, и приказ резултата у виду табела и графика биће коришћене библиотеке и пакети за машинско учење и визуелизацију података у програмском језику Python.

План истраживања докторске дисертације обухвата:

1. сагледавање проблема и одређивање правца истраживања;
2. прикупљање података;
3. селекција улазних података из сета доступних података (иницијални скуп података);
4. адаптација иницијалног скупа података:
 - прикупљање нових обележја из екстерних извора;
 - формирање нових обележја калкулативним методама на основу до сада доступних;
5. синтеза нових улазних података са подацима из иницијалног скупа података;
6. развој поузданог модела вишеслојне неуронске мреже погодног за решавање проблема предвиђања месечних потрошњи електричне енергије;
7. тестирање и евалуација развијеног модела над стварним потрошњама електричне енергије;
8. квантификација успешности развијеног модела вишеслојне неуронске мреже, посредством мера квалитета и техника евалуације модела.

Предложени план ће бити подржан кроз неколико поглавља која ће детаљније бити разрађена кроз њихова потпоглавља. Предлог поглавља:

1. Уводна разматрања

2. Теоријски оквир
3. Преглед сродних истраживања
4. Методологија истраживања
5. Развој модела за предикцију потрошње електричне енергије
6. Резултати и дискусија
7. Закључна разматрања и будући правци истраживања
8. Коришћена литература

Комисија процењује да предложени предмет, методе и циљеви дисертације имају изузетан значај за планирање производње и потрошње електричне енергије на месечном нивоу, кроз развој модела за предвиђање потрошње.

3. Образложење теме за израду докторске дисертације које омогућава закључак да је у питању оригинална идеја или оригиналан начин анализирања проблема

Већина досадашњих истраживања која се баве проценом потрошње електричне енергије се овом темом баве посматрајући проблем у ограниченом временском и просторном смислу. Највећи број истраживања се бави краткорочним предвиђањем потрошње за наредни дан, сат или чак минут што често може давати криву слику о потребним количинама електричне енергије. Закључци до којих се на тај начин долази засновани су на посматрању једног уског поља потрошача са великом базом извршених мерења, најчешће на нивоу једне зграде (бизнис центра, јавне установе или стамбене зграде) што никако не осликава карактеристике разноврсних потрошача на ширем простору.

Предложено решење и приступ приказани у пријави су значајни, јер не само да обухвата различите категорије и групе потрошача на већој територији (све потрошаче на територији града), већ врши предвиђање на месечном нивоу што може бити од великог значаја како за појединачне потрошаче, тако и за дистрибутивну компанију у циљу обезбеђења оптималног снабдевања електричном енергијом.

Управо сагледавањем понашања потрошача у различитим месецима у току године и годишњим добима на ширем простору, може се доћи до значајних закључака у погледу потребних и довољних количина електричне енергије које треба обезбедити на нивоу месеца, квартала и године.

На основу предложених полазних хипотеза, научних циљева, метода истраживања и очекиваних резултата Комисија сматра да је тема ове докторске дисертације изузетно актуелна. Очекује се да развијени модел може бити успешно примењен како за предикцију на страни потрошача као индивидуе, тако и са стране дистрибутивних компанија, али и као путоказ будућим истраживачима за даља истраживања.

4. Усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложене хипотезе, извора података, метода анализе са критеријумима науке уз поштовање научних принципа у изради коначне верзије докторске дисертације

Кандидат Драгана Кнежевић је у достављеној пријави теме докторске дисертације правилно дефинисала предмет истраживања, користећи одговарајућу научну и стручну терминологију. Предложене хипотезе су базиране на теоријско-епистемолошким сазнањима стеченим из опсежног прегледа доступне домаће и међународне научне и стручне литературе како из области вештачких неуронских мрежа тако и области планирања потрошње електричне енергије и фактора који утичу на њу.

Поред свеобухватне анализе проблематике која је предмет докторске дисертације предложен је и одговарајући поступак у припреми података и тестирања самог модела над реалним подацима уз поштовање научноистраживачких принципа.

5. Преглед научно-истраживачког рада кандидата

5.1 Биографски подаци

Драгана Кнежевић је рођена 28. марта 1987. године у Бајиној Башти где је завршила основну и средњу техничку школу.

Основне студије започиње на Високој пословно-техничкој школи у Ужицу а касније прелази на академске студије на Техничком факултету у Чачку, универзитета у Крагујевцу где је дипломирала 2015. године на студијском програму Информационе технологије.

На Техничком факултету у Чачку 2016. године уписује и мастер студије на студијском програму Информационе технологије. Звање Мастер инжењер информационих технологија стиче 2017. године са просечном оценом 9,75 током студија и оценом 10,00 на одбрани мастер рада на тему: *„Анализа карактеристика будућих студената применом техника дата мајнинга“*.

Докторске академске студије кандидат је као мастер инжењер информационих технологија уписао школске 2017/18. године на Факултету техничких наука у Чачку Универзитета у Крагујевцу, на смеру Информационе технологије.

5.2 Списак положених испита на докторским студијама:

Кандидат је положио све планом и програмом предвиђене испите, са просечном оценом 10,00:

1. Рачунарска симулација и анимација
2. Методологија научних истраживања ИТ и научна комуникација
3. Статистичке методе у рачунарству

4. Веб мајнинг
5. Докторска дисертација - теоријске основе
6. Истраживање и публикавање радова
7. Методе и технике вештачке интелигенције
8. ИТ и менаџмент знањем
9. Интелигентни образовни системи
10. Докторска дисертација - СИР1
11. Докторска дисертација - СИР2

5.3 Списак објављених научних и стручних радова из научне области из које је пријављена тема докторске дисертације:

Категорија М23 - Рад у међународном часопису

- [1] **D. Knežević**, Marija Blagojević, Aleksandar Ranković, Electricity Consumption Prediction Model for Improving Energy Efficiency Based on Artificial Neural Networks, *Studies in Informatics and Control*, ISSN 1220-1766, vol. 32(1), pp. 69-79, 2023. <https://doi.org/10.24846/v32i1y202307>

Категорија М24 – Рад у националном часопису међународног значаја

- [1] **D. Knežević**, Marija Blagojević, Classification of electricity consumers using artificial neural networks, *Facta Universitatis*, (2019), Vol. 32, No. 4, pp. 529-538;

Категорија М33 - Саопштење са међународног скупа штампано у целини

- [1] M. Murić, N. Stefanović, M. Milanović, **D. Knežević**, (2022), E-invoicing – Case Study in Serbia, *TIE 2022*, стр. 326-333, Čačak 2022. DOI: 10.46793/TIE22.326M;
- [2] **D. Knežević**, (2021), The visualisation of electricity consumers and electricity consumption in an urban area, *SED 2021*, Užice 2021;
- [3] **D. Knežević**, M. Blagojević, A. Ranković, (2019), Prediction of electricity consumption using artificial neural networks, *KMI*, Kopaonik 2020; ISBN 978-86-6211-123-4;
- [4] **D. Knežević**, The correlation between national e-learning standards of Serbia and its neighboring countries and international standards, *TIE 2018*, ISBN: 978-86-7776-226-1, Čačak 2018;
- [5] **D. Knežević**, M. Blagojević, I. Marinković, Using data mining techniques to discover the correlation between high schools finished and higher education programmes chosen by students, *SED 2017*, ISBN: 978-86-83573-90-5, Užice 2017;
- [6] M. J. Pavlović, **D. Knežević**, S. Petrović, Data visualization and exploration of student database, *SED 2017*, ISBN: 978-86-83573-90-5, Užice 2017;
- [7] **D. Knežević**, 3d multimedia content creation using sophisticated software, *SED 2016*, ISBN: 978-86-83573-82-0, Užice 2016.

Уџбеници и приручници

У процесу публикавања (одобрен за штампу са позитивном оценом рецензата) је помоћни уџбеник под називом „*Корак по корак кроз алате графичког дизајна (Corel и Photoshop)*“, аутори Мурић Милорад и **Кнежевић Драгана**.

6. Предлог за ментора са његовим референцама којим се доказује испуњеност услова за менторство

Комисија предлаже да ментор за израду докторске дисертације буде др Марија Благојевић, ванредни професор Факултета техничких наука у Чачку Универзитета у Крагујевцу, ужа научна област Информационе технологије и системи, с обзиром да предложена тема припада области којом се предложени ментор годинама уназад успешно бави.

Референце којима се доказује испуњеност услова за менторство:

1. **Blagojević Marija**, Blagojević Miladin, Ličina Vlado "Web-based intelligent system for predicting apricot yields using artificial neural networks", *Scientia Horticulturae*, Volume 213, (2016) pp. 125-131. ISSN 0304-4238 (**M21**)
2. Jovanović Željko, **Blagojević Marija**, Peulić Aleksandar, Janković Dragan, "Patient comfort level prediction during transport using artificial neural network", *Turkish journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, Volume 27, Issue 4, (2019), pp. 2817-2832. ISSN 1300-0632 (**M23**)
3. **Blagojević Marija**, Živadin Micić, "The use of artificial neural networks in supporting education and curriculum planning", *International journal of engineering education*, Volume 36, Number 6, (2020), pp. 1752-1759. ISSN:0949-149X (**M23**)
4. Stanković Nebojša, **Blagojević Marija**, Papić Miloš, Karuović Dijana, "Artificial Neural Network Model for Prediction of Students' Success in Learning Programming", *Journal of Scientific & Industrial Research* Vol. 80, (2021), pp. 249-254. ISSN: 0022-4456 (**M23**)
5. Knežević Dragana, **Blagojević Marija**, Ranković Aleksandar, "Electricity Consumption Prediction Model for Improving Energy Efficiency Based on Artificial Neural Networks", *Studies in Informatics and Control*, 32(1) 69-79, (2023), ISSN: 1220-1766 eISSN: 1841-429X (**M23**)

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Кандидат *Драгана Кнежевић, мастер инж. информационих технологија*, испуњава све формалне и суштинске услове који се захтевају Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Крагујевцу и Статутом Факултета техничких наука у Чачку за одобрење теме за израду докторске дисертације.

Предложена тема дисертације **РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ПРОЦЕНУ МЕСЕЧНЕ ПОТРОШЊЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ ЗАСНОВАНОГ НА ТЕХНИКАМА МАШИНСКОГ УЧЕЊА** припада области Техничко-технолошких наука, научна област Електротехничко и рачунарско инжењерство, односно њене следеће уже научне области: Информационе технологије и системи и Примењено рачунарство. На основу предложених полазних хипотеза, научних циљева, метода истраживања, очекиваних резултата и предложене архитектуре модела неуронских мрежа, Комисија сматра да је тема дисертације нова и актуелна.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета техничких наука у Чачку Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да прихвати Извештај комисије и кандидату Драгани Кнежевић одобри израду докторске дисертације под наведеним називом.

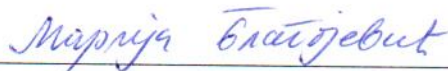
Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде *др Марија Благојевић*, ванредни професор Факултета техничких наука у Чачку Универзитета у Крагујевцу.

Чачак и Источно Сарајево, јун 2023. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



1. др Владимир Вујовић, ванредни професор, ужа научна област: Рачунарске науке, датум избора у звање: 2.8.2021. Електротехнички факултет, Универзитет у Источном Сарајеву, **председник комисије**



2. др Марија Благојевић, ванредни професор, ужа научна област: Информационе технологије и системи, датум избора у звање: 11.9.2019. Универзитет у Крагујевцу, Факултет техничких наука у Чачку, **ментор**



3. др Александар Ранковић, редовни професор, научна област: Електроенергетика, датум избора у звање: 25.6.2020. Универзитет у Крагујевцу, Факултет техничких наука у Чачку, **члан**