

31. 05. 2024.			
Број	Страна	Титул	Вредност
012	1131		

ОБРАЗАЦ 6

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА У ЧАЧКУ

и

ВЕЋУ ЗА ИНТЕРДИСЦИПЛИНАРНЕ И МУЛТИДИСЦИПЛИНАРНЕ ОБЛАСТИ

УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

На седници Већа за интердисциплинарне и мултидисциплинарне области Универзитета у Крагујевцу одржаној 20.5.2024. године (број одлуке: IV-07-384/8) одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом: „РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ПРОЦЕНУ МЕСЕЧНЕ ПОТРОШЊЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ ЗАСНОВАНОГ НА ТЕХНИКАМА МАШИНСКОГ УЧЕЊА”, кандидаткиње Драгане М. Кнежевић, студента докторских академских студија Информационе технологије, за коју је именован ментор др Марија Благојевић, редовни професор.

На основу података којима располажемо достављамо следећи:

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ УРАЂЕНЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

1. Подаци о докторској дисертацији
1.1. Наслов докторске дисертације:
РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ПРОЦЕНУ МЕСЕЧНЕ ПОТРОШЊЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ ЗАСНОВАНОГ НА ТЕХНИКАМА МАШИНСКОГ УЧЕЊА
1.2. Опис докторске дисертације (навести кратак садржај са знаком броја страница, поглавља, слика, шема, графикана, једначина и референци) (до 500 карактера):
Докторска дисертација је организована кроз 7 поглавља са потпоглављима: <ol style="list-style-type: none"> 1. Уводна разматрања (странице: 1-6) 2. Теоријски оквир (странице: 6-39) 3. Методологија истраживања (странице: 40-45) 4. Резултати истраживања (странице: 46-115) 5. Дискусија успешности предложеног модела (странице: 116-117) 6. Мултимодални, експериментални модел ANN као полазна тачка будућих истраживања (странице: 118-124) 7. Закључна разматрања и будући правци истраживања (странице: 125-127) 8. Коришћена литература (странице: 127-137) 9. Прилози (странице: 138-239)
Број страница дисертације без прилога: 137
Број прилога и страница са прилозима: 15 (101)
Број слика: 103

Број једначина: 34

Број референци: 150.

1.3.Опис предмета истраживања (до 500 карактера):

Предмет дисертације је предвиђање потрошње електричне енергије, на месечном нивоу, управо онако како се врши и њен обрачун.

Такав проблем као предмет истраживања чини ову докторску дисертацију врло актуелном, и то не само тренутно већ у дугорочној пројекцији. Резултати постигнути у оквиру дисертације су од изузетне важности јер проблем предвиђања потрошње електричне енергије није само проблем данашњице већ засигурно и проблем будућности.

Стога је у фокусу дисертације развој предиктивног модела заснованог на техникама машинског учења уз формулисање скупа релевантних обележја који ће обезбедити оптималне резултате предикције.

1.4.Анализа испуњености полазних хипотеза:

На почетку истраживања постављена је једна општа и шест посебних хипотеза:

Општа хипотеза:

X0: 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:

X1: Постоји позитивна корелација између временских услова и потрошње електричне енергије што их чини кључним обележјима у процесу предвиђања месечних потрошњи.

X2: Технике машинског учења, преваходно вештачке неуронске мреже, 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 производње и дистрибуције електричне енергије.

X3: Могуће је формирати такав сет параметара модела 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 неуронске мреже, кроз планове потребне ангазоване енергије, може се успоставити систем стабилнијег снабдевања електричном енергијом на било ком подручју.

Сви резултати приказани у дисертацији добијени су тестирањем постављених хипотеза. Истраживањем је утврђено да општа хипотеза мора бити одбачена, јер, на основу података којима располажу дистрибутивне компаније није могуће извршити прецизне прогнозе будућих потрошњи електричне енергије на територији једног града.

Такође, потпуно супротно очекивањима, показало се да временске прилике, иако имају одређеног утицаја, нису кључне за процену потрошње електричне енергије на овом простору. Стога, прва посебна хипотеза, такође мора бити одбачена.

Све друге хипотезе су потврђене и подржане резултатима, што омогућава даљу практичну примену предложеног модела.

1.5. Анализа примењених метода истраживања:

При изради дисертације, а у оквиру целокупног спроведеног истраживања коришћено је више метода и приступа раду сходно проблему истраживања.

Синергијом логичких начела и правила, теоријско-епистемиолошких сазнања, практичних активности и техничких средстава добијени су резултати приказани у дисертацији.

Целокупно истраживање почива на методи студије случаја као једној од метода прикупљања података. Приказани случај у истраживању требало би да постави добре темеље да се сличан поступак може спровести и на другим нивоима. Аналитички поступак интеграције обележја прикупљених из екстерних извора са подацима садржаним у иницијалном сету података, укључује и квантитативне, синтетичке и калкулативне методе.

У иницијалној фази истраживања коришћене су методе анализе и синтезе заједно са индуктивно-дедуктивним методама.

За разумевање података и међузависности обележја коришћене су статистичке методе и приступи, као што је дескриптивна али и експликативна анализа, корелациона и регресиона анализа уз свеprisутно апстраховање.

Претходно побројане методе засноване су на теоријско-епистемиолошким знањима стеченим превасходно кроз преглед доступне литературе. Теоријске парадигме о проблему истраживања и основна сазнајна начела о самој теми, кандидаткиња користи као темељ за читаво истраживање.

У финалној фази истраживања извршено је тестирање неколико техника машинског учења, укључујући и вештачке неуронске мреже ради испитивања способности предикције сваке од њих. Тестирањем је утврђено да су вештачке неуронске мреже најпоузданији алат за предвиђање месечних потрошњи електричне енергије.

Као инструмент у целокупном поступку (за анализу података, моделовање и визуелизацију резултата) коришћен је програмски језик Python и његове библиотеке посебно дизајниране за машинско учење и анализу података.

1.6. Анализа испуњености циља истраживања:

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 сегмента 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.

Предложени приступ и решење у оквиру ове дисертације су значајни јер, не само да су обухваћене различите категорије и групе потрошача на већој територији (сви потрошачи на територији града), већ је предвиђање извршено 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.

Кроз поглавља дисертације и кроз више радова објављених у истакнутим међународним часописима и на међународним конференцијама, резултати потврђују да је постављени циљ остварен. Развијен је модел способан да предвиди потрошње електричне енергије сваког појединачног потрошача или групе потрошача у дистрибутивној мрежи, било да се ради о истицању хомогенијих група потрошача или посматрања разноврсних потрошача у читавом скупу.

Поред формулисања одговарајућег модела способног да предвиди месечне потрошње електричне енергије, у фокусу истраживања је и успостављање оптималног скупа обележја који чине скуп података. Применом више метода и техника успостављен је такав скуп обележја, заснован на особинама потрошача и амбијента у коме се потрошач налази што у великој мери може помоћи будућим истраживањима.

Стога, узимајући у обзир постигнуте резултате, приказане кроз добро организована поглавља дисертације, Комисија сматра да је постављени циљ остварен уз значајан научни допринос. Очекује се да развијени модел у пракси може бити успешно примењен како за предикцију на страни потрошача као индивидуе, тако и са стране дистрибутивне компаније, али и као путоказ будућим истраживачима за даља истраживања.

1.7.Анализа добијених резултата истраживања и списак објављених научних радова кандидаткиња из докторске дисертације (аутори, наслов рада, волумен, година објављивања, странице од-до, DOI број¹, категорија):

Током рада на изради докторске дисертације публиковано је неколико радова уско везаних са темом дисертације: 2 рада у категорији М23, 1 рад у категорији М24 и 3 рада у категорији М33. У наредном периоду, планирано је објављивање још неколико радова у категоријама М20, М50 и М30.

Објављени радови који су у уској вези са темом дисертације:

Категорија М23 - Рад у међународном часопису

- [1] **D. Knežević**, M. Blagojević, and A. Ranković, "Monthly electricity consumption prediction: integrating artificial neural networks and calculated attributes," J. Sci. Ind. Res. JSIR, vol. 83, no. 1, 2024, doi: <https://doi.org/10.56042/jsir.v83i1.3523>.
- [2] **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, doi: <https://doi.org/10.24846/v32i1y202307>.

Категорија М24 – Рад у националном часопису међународног значаја

- [1] **D. Knežević**, M. Blagojević, Classification of electricity consumers using artificial neural networks, *Facta Universitatis*, (2019), Vol. 32, No. 4, pp. 529-538, doi: <https://doi.org/10.2298/FUEE1904529K>;

Категорија М33 - Саопштење са међународног скупа штампано у целини

- [1] **D. Knežević**, M. Blagojević, A. Ranković, "Classification of electricity consumers using model based on neural network", International Multidisciplinary Conference CCHE, Conference of Academies for Applied Studies in Serbia (CAASS), 2024, pp. 403-408, ISBN-978-86-82744-02-3; ISBN-978-86-82744-00-9;
- [2] **D. Knežević**, (2021), The visualisation of electricity consumers and electricity consumption in an urban area, SED 2021, Užice 2021; pp. 1-14, ISBN 978-86-82078-11-1;
- [3] **D. Knežević**, M. Blagojević, A. Ranković, (2019), „Prediction of electricity consumption using

¹ Уколико публикација нема DOI број уписати ISSN и ISBN

artificial neural networks“, KMI, Kopaonik 2020; pp. 101-105 ISBN 978-86-6211-123-4.

Поред побројаних, кандидаткиња је објавила још 12 радова који нису у директној вези са темом дисертације.

1.8. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области и анализа извештаја о провери докторске дисертације на плагијаризам (до 1000 карактера):

На основу Извештаја о провери на плагијаризам докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу и Оцене ментора о извештају и провери оригиналности докторске дисертације од 28.3.2024. и увида у литературне податке, утврђено је да је докторска дисертација под насловом „Развој модела за процену месечне потрошње електричне енергије заснованог на техникама машинског учења“ кандидаткиње Драгане Кнежевић, мастер инжењера информационих технологија, резултат оригиналног научног рада кандидаткиње.

1.9. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области:

О значају и доприносу докторске дисертације у области најбоље говоре признати радови, објављени у истакнутим међународним часописима.

Кандидаткиња процесу предвиђања потрошње електричне енергије приступа темељно приказујући све фазе од прикупљања и адаптације скупа података до крајњих резултата предикције постигнутих употребом развијеног модела неуронске мреже, заснованог на специфичним слојевима.

Превасходно, испуњена су очекивања постављена на почетку истраживања и кроз саму пријаву теме дисертације. Ова очекивања проширена су секундарним доприносима оствареним индиректно кроз примарне доприносе. Од свих треба посебно истаћи неколико:

1. Утврђена је (међу)зависност обележја и њихова релевантност за предвиђање потрошњи електричне енергије. На тај начин формиран је сет обележја која доприносе минималним грешкама у предикцији и узрокују да развијени модел препознаје шаблоне у потпуно хетерогеном сету потрошача електричне енергије.

2. Тестирањем неколико техника и модела машинског учења, откривена је најповољнија техника (вештачке неуронске мреже) и развијен модел за предвиђање месечне потрошње електричне енергије применљив на било који простор сличних карактеристика без обзира на разуђеност потрошача.

3. Модел заснован на вештачким неуронским мрежама које су се при тестирању показале као најбоље, даље је унапређен применом специфичних слојева, нестандартних, раније коришћених за потпуно другачију врсту проблема.

4. Начињен је и корак даље и успостављен адаптиван модел, такође заснован на вештачким неуронским мрежама. Адаптивност овог решења се огледа у могућности примене модела универзалне архитектуре на скупове обележја са великим распоном броја улаза у мрежу. На овај начин се број неурона у скривеним слојевима прилагођава броју неурона на улазу у мрежу.

5. Сходно природи проблема, резултати показују да се велике прецизности у предикцији постижу како у хетерогеном скупу са разноврсним категоријама и групама потрошача, тако и у хомогенијим групама потрошача па и за сваког појединачног потрошача. Овим се посебно истиче могућност примене предложеног решења не само на страни дистрибутивне компаније у циљу успостављања оптималне производње и обезбеђења оптималног снабдевања, већ и на страни појединачног потрошача.

6. Будући рад подразумева развој апликације доступне управо појединачним, крајњим потрошачима, који ће уносом одређених карактеристика бити у стању да предвиди потрошњу за циљани месец у години.

Стога, закључујемо да докторска дисертација под насловом „Развој модела за процену месечне потрошње електричне енергије заснованог на техникама машинског учења“ кандидаткиње Драгане Кнежевић, поред побројаних директних доприноса, има потенцијал за више индиректних доприноса у области истраживања али и другим областима.

1.10. Оцена испуњености услова за одбрану докторске дисертације у складу са студијским програмом, општим актом факултета и општим актом Универзитета (до 1000 карактера):

На основу прегледа докторске дисертације под називом „Развој модела за процену месечне потрошње електричне енергије заснованог на техникама машинског учења“ кандидаткиње Драгане Кнежевић, Комисија констатује да је кандидаткиња испунила све обавезе предвиђене планом и програмом, и у складу са Правилником о докторским студијама и стицању звања доктора наука на Факултету техничких наука у Чачку и Правилнику о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу испунила услове за одбрану докторске дисертације.

2. ЗАКЉУЧАК

На основу анализе докторске дисертације и приложене документације Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом „РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ПРОЦЕНУ МЕСЕЧНЕ ПОТРОШЊЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ ЗАСНОВАНОГ НА ТЕХНИКАМА МАШИНСКОГ УЧЕЊА”, кандидата Драгане Д. Кнежевић, предлаже надлежним стручним органима да се докторска дисертација прихвати и да се одобри њена одбрана.

Чланови комисије:



др Олга Ристић, ванредни професор

Факултет техничких наука Чачак, Универзитет у Крагујевцу

Електротехничко и рачунарско инжењерство
/Информационе технологије и системи

Председник комисије



др Александар Ранковић, редовни професор

Факултет техничких наука Чачак, Универзитет у Крагујевцу

Електротехничко и рачунарско
инжењерство/Електроенергетика

Члан комисије



др Владимир Вујовић, ванредни професор

Електротехнички факултет, Универзитет у Источном Сарајеву

Природне науке/Рачунарске науке

Члан комисије