

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовao комисију: 30.03.2022. Наставно-научно веће Факултета техничких наука		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1. <b>Ердељан др Александар</b>	Редовни професор	Аутоматика и управљање системима
презиме и име	звање	ужа научна област
Факултет техничких наука, Нови Сад		Председник
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2. <b>Лендак др Имре</b>	Ванредни професор	Примењено софтверско инжењерство
презиме и име	звање	ужа научна област
Факултет техничких наука, Нови Сад		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
3. <b>Бекут др Душко</b>	Редовни професор	Електроенергетика
презиме и име	звање	ужа научна област
Факултет техничких наука, Нови Сад		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4. <b>Цветићанин др Стеван</b>	Доцент	Електроенергетика
презиме и име	звање	ужа научна област
Факултет техничких наука, Нови Сад		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
5. <b>Савић др Александар</b>	Ванредни професор	Електроенергетски системи
презиме и име	звање	ужа научна област
Електротехнички факултет, Београд		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
6. <b>Селаков др Александар</b>	Доцент	Примењено софтверско инжењерство
презиме и име	звање	ужа научна област
Факултет техничких наука, Нови Сад		Члан, ментор
установа у којој је запослен-а		функција у комисији

## II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме:

Зоран (Никола) Јанковић

2. Датум рођења, општина, држава:

24.07.1980. Бачка Паланка, Србија

3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив:

Природно-математички факултет у Новом Саду, магистарске студије – Рачунарске науке, Магистар информатичких наука

4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија:

2017, Енергетика, електроника и телекомуникације

## III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Адаптивни модел прогнозе временских серија у паметним инфраструктурним мрежама

## IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл.

У дисертацији је обрађено креирање напредног адаптивног модела краткорочне прогнозе вредности временских серија у паметним инфраструктурним мрежама. Појаве које модел прогнозира односе се пре свега на потрошњу ресурса као што су електрична енергија, природни гас и пијаћа и техничка вода. Модел користи постојеће методе машинског учења, које унапређује како у погледу тачности прогнозе тако и у погледу перформанси рада.

Основа модела је оптимизација избора узорка који користе методе машинског учења у поступку прогнозе. Узорак се односи на дане из историјске базе података. Узорак је репрезентативнији што су дани из узорка сличнији прогнозираном дану. Сличност дана се одређује на основу релевантних фактора сличности. Модел је адаптиван јер омогућава прилагођавање утицаја фактора сличности, као и додавање нових фактора сличности.

Механизам селекције узорка имплементиран је кроз иновативне филтере сличних дана. Циљ ових филтера је процена сличности и издвајање дана за које је процењено да поседују довољан степен сличности за оптималну прогнозу. Филтерима се иницијално одбацују дани за које се утврди да немају основне карактеристике сличности. За преостале дане израчунавају се коефицијенти сличности на основу релевантних фактора сличности. Коначно, избацују се они дани за које је процењено да крива потрошње сувише одступа од остатка групе изабраних дана.

Иновативна техника која се користи путем филтера сличних дана је, између осталих, поређење низова дана уместо поређења појединачних дана у одређивању сличности. На овај начин се у селекцији сличних дана узимају у обзир фактори инерције.

Утицај појединачних фактора сличности оптимизује се метахеуристички, коришћењем генетског алгорита. У извршавању генетског алгорита у адаптивном моделу прогнозе уочени су проблеми, који су описани а затим и решени увођењем иновативних техника који унапређују конвергенцију, а последично и тачност коначних резултата прогнозе.

Модел поседује могућност континуалног унапређења кроз прилагођавање промењеним календарским и временским околностима. Ова адаптивност омогућена је кроз механизам извршавања генетског алгорита на дневном и кварталном нивоу, чиме се краткорочно и дугорочно оптимизује утицај фактора сличности.

Модел је такође прилагођен специјалним данима – празницима и другим данима чији профили потрошње одступају у односу на стандардне дане. Предложеним решењем у моделу специјални дани се препознају и за њих се извршава прогноза коришћењем посебног алгорита којим се примењују специфична правила понашања потрошње.

Верификација модела извршена је на студији случаја краткорочне потрошње електричне енергије у преносној мрежи електроенергетског система за подручје Србије и на студији случаја краткорочне прогнозе природног гаса у дистрибутивној мрежи за један регион у Холандији.

Физички опис рада: 9 поглавља / 155 страна / 126 цитата / 41 табела / 63 слике / 25 графикона / 1 прилог

## V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У поглављу 1 дат је увод, где је сажето описана проблематика на основу које је дисертација настала. Уведени су појмови неопходни за разумевање материје и описан је предмет истраживања. Описан је главни циљ и пратећи циљеви дисертације. Главни циљ јесте унапређење постојећих техника машинског учења кроз увођење иновативног модела за прогнозу временских серија. Унапређење подразумева побољшање тачности резултата прогнозе и перформанси извршавања.

У поглављу 2 представљен је концепт прогнозе временских серија у паметним инфраструктурним мрежама. Такође, објашњени су појмови који су неопходни за сагледавање проблема: прогноза потражње за ресурсима и прогноза временских серија. У оквиру прогнозе потражње за ресурсима анализирана је прогноза потражње различитих врста ресурса, као што су електрична енергија, вода и природни гас. У разматрању прогнозе временских серија представљено је машинско учење као примарна научна област која се користи за потребе прогнозе потражње за ресурсима. Посебно су анализирани линеарне и нелинеарне методе машинског учења, као и могућност њихове примене у поступцима прогнозе. Коначно, уведена је могућност избора сличних дана као узорка у алгоритмима машинског учења.

У поглављу 3 постављена је хипотеза дисертације, која се односи на креирање јединственог адаптивног модела прогнозе који ће омогућити побољшање крајњих резултата прогнозе. У овом поглављу представљене су и појединачне ставке које се односе на начин остварења основне хипотезе.

У поглављу 4 направљен је преглед литературе која је у вези са проблематиком дисертације. Описани су начини избора узорка у краткорочној прогнози потрошње ресурса који су до сада обрађени у литератури. Наведени су радови који се баве избором узорка у прогнози потрошње краткорочне енергије, воде и природног гаса. Посебно је обрађена област метахеуристичких метода, који представљају основу оптимизације узорка у дисертацији.

У поглављу 5 представљена је софтверска архитектура предложеног модела: појединачни елементи и везе између њих. Посебно су обрађени иновативни филтери који служе за селекцију сличних дана и метахеуристичка оптимизација. У овом поглављу представљени су могући избори метахеуристичке методе, и на основу урађених анализа изабран је модификовани генетски алгоритам као метод оптимизације.

Поглавље 6 бави се унапређењем концепта генетског алгоритма ради што ефикасније оптимизације у предложеном моделу. Представљени су иновативни концепти насељавања, мутације засноване на диверзитету и мутације ка екстремима.

У поглављу 7 представљена је имплементација адаптивног модела прогнозе временских серија кроз дизајн апликације која примењује концепте модела. Приказане су функционалности апликације, архитектура, модел података и апликативни модели. За приказ дизајна коришћен је UML језик моделовања.

Поглавље 8 обухвата две студије случаја које на реалним моделима приказују примену концепата описаних у моделу. Прва студија се бави прогнозом потрошње електричне енергије у преносној мрежи електроенергетског преносног система „Електро мрежа Србије“. Анализирају се кораци прогнозе за један стандардни и један специјални дан. Посебно се анализира оптимизација параметара генетским алгоритмом. Анализа резултата се бави периодом од једне године, у 2020. и 2021. години. Да би се утврдио допринос предложеног модела у студији, пореде се резултати прогнозе коришћењем саме неуронске мреже и коришћењем адаптивног модела прогнозе временских серија. Друга студија бави се прогнозом потрошње природног гаса у дистрибутивној мрежи, за један регион у Холандији. Тачан регион није наведен, због поверљивости података. Анализирају се кораци прогнозе за један стандардни дан. Анализа резултата бави се периодом за један месец у 2018. години. Резултати за обе студије случаја упоређени су са резултатима других техника у доступној литератури.

Поглавље 9 садржи закључна разматрања и правце даљег истраживања.

## **VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ:**

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

1. Janković Z., Selakov A., Bekut D., Đorđević M.: *Day similarity metric model for short-term load forecasting supported by PSO and artificial neural network*, *Electrical Engineering*, 2021, 1-16, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00202-021-01286-6>, ISSN 0948-7921 (M23)
2. Janković Z., Vesin B., Selakov A., Berntzen L.: *Gab-SSDS: an AI-based similar days selection method for load forecast*, *Frontiers in Energy Research*, 2022 (M22) – *accepted for publication*

## **VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:**

У дисертацији је представљен иновативни адаптивни модел прогнозе временских серија, који може да има употребу у прогнози потрошње различитих типова ресурса. Постављени циљ, односно унапређење тачности резултата прогнозе и побољшање перформанси, испуњен је.

Предложени модел је адаптиван и то се огледа у адаптивности софтверске архитектуре, у адаптивности прогнозе у односу на промењене околности рада система, као и у адаптивности у односу на специфичне, односно специјалне дане.

У раду је посебна пажња посвећена оптимизацији избора узорка, на основу чега је осмишљено и представљено више иновативних филтера сличних дана. Оптимизација ових филтера потпомогнута је метахеуристичком оптимизацијом. За технику метахеуристичке оптимизације изабран је генетски алгоритам. Оптимизација у генетском алгоритму је додатно унапређена кроз иновативне концепте у корацима селекције, укрштања и мутације.

Модел садржи и могућност одвојене оптимизације прогнозе за специјалне дане – празнике и друге дане чији профили потрошње одступају у односу на стандардне дане.

Верификација модела извршена је кроз две студије случаја. Прва студија случаја обухвата поступак краткорочне прогнозе потрошње електричне енергије у преносној мрежи електроенергетског преносног система „Електро mreжа Србије“. У студији случаја је приказан поступак прогнозе за један стандардни и један специјални дан. Модел је дао одговарајуће резултате у односу на захтеве преносног система. Студија случаја обухватила је и извршавање прогнозе електричне енергије за једну годину, коришћењем неуронске мреже са и без предложеног модела. Резултати са предложеним моделом су се показали као видно тачнији у односу на прогнозу без предложеног модела, коришћењем саме неуронске мреже. Друга студија случаја обухвата поступак краткорочне прогнозе потрошње природног гаса у дистрибутивној мрежи за један регион у Холандији. Поступак је описан за један стандардни дан. Резултати добијени коришћењем предложеног модела анализирани су за период од једног месеца у току 2018. године, и ови резултати су упоређени са резултатима прогнозе за исти период коришћењем саме неуронске мреже. Резултати добијени коришћењем предложеног модела дају видно тачније резултате. У обе студије случаја резултати су упоређени са резултатима других техника које су наведене у доступној литератури. Резултати добијени предложеним моделом надмашују резултате добијене техникама из доступне литературе.

### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Докторском дисертацијом су свеобухватно, систематично и коректно:

- 1) Описане постојеће методе и технике које се користе у прогнозама потрошње ресурса у временским серијама.
- 2) Предложен је нови модел прогнозе временских серија, који подразумева пре свега оптимизацију узорка који се користи у методама машинског учења.
- 3) Предложени су иновативни концепти и технике за краткорочну прогнозу потрошње ресурса у временским серијама.
- 4) Решења предложена у дисертацији су верификована на реалном електроенергетском преносном систему „Електро mreжа Србије“ и на примеру краткорочне прогнозе потрошње природног гаса у дистрибутивном систему једног региона у Холандији.
- 5) Дати су закључци и могући правци даљег истраживања.

Докторска дисертација је проверена на плагијаризам у софтверу за детекцију плагијаризма iThenticate на основу чега је потврђено да текст не садржи елементе плагијаризма, односно да је преклапање текста у дозвољеним границама.

### **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?

Докторска дисертација је у потпуности написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Докторска дисертација садржи све битне елементе.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Докторска дисертација предлаже нови модел прогнозе временских серија, чије коришћење унапређује тачност резултата и перформансе прогнозе потрошње ресурса у инфраструктурним мрежама. Модел се може користити за различите врсте ресурса, као што су електрична енергија, природни гас и вода. Моделом се унапређују постојеће технике машинског учења у прогнози потрошње ресурса тако што оптимизује избор узорка, кроз специфичан начин избора сличних дана у прорачунима. Оптимизација параметара модела се врши путем генетског алгорита, чија је оптимизација такође унапређена увођењем нових концепата. Оптималан избор узорка обухвата препознавање оптималних вредности тежинских коефицијената фактора од утицаја. Оптималан избор узорка је предложеним моделом омогућен током целе године, коришћењем дневне и кварталне оптимизације.

Предложени модел повећава тачност и за специјалне дане – празнике и друге дане који садрже специфичности захваљујући којима профили потрошње одступају од стандардних и очекиваних вредности.

Повећање тачности резултата се референцира на тренутно стање у области, а потврђује се краткорочном прогнозом електричне енергије, у реалном систему преносне мреже „Електро mreжа Србије“, као и краткорочном прогнозом потрошње природног гаса за један регион у Холандији. Коришћење модела и резултати показују унапређење како у погледу резултата, тако и у погледу перформанси.

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?

Докторска дисертација нема недостатака који би имали утицај на остварене резултате истраживања.

<b>X ПРЕДЛОГ:</b>
На основу наведеног, комисија предлаже:
- <b>да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана;</b> На основу претходно изнетих чињеница, Комисија предлаже да се докторска дисертација под називом <i>Адаптивни модел прогнозе временских серија у паметним инфраструктурним мрежама</i> , кандидата Зорана Јанковића прихвати и да се кандидату одобри одбрана.

Место и датум:  
Нови Сад,  
21 04. 2022.

**НАПОМЕНА:** Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.

1. др Александар Ердeљан, редовни професор  
\_\_\_\_\_, председник

2. др Имре Лендак, ванредни професор  
\_\_\_\_\_, члан

3. др Душко Бекут, редовни професор  
\_\_\_\_\_, члан

4. др Стеван Цветићанин, доцент  
\_\_\_\_\_, члан

5. др Александар Савић, ванредни професор  
\_\_\_\_\_, члан

6. др Александар Селаков, доцент  
\_\_\_\_\_, члан, ментор