

**ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

**- обавезна садржина - свака рубрика мора бити попуњена**

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

**I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ**

1. Датум и орган који је именовао комисију  
29.09.2022, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад,  
Решење бр. 012-199/51-2021
2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:
  1. др Душко Бекут, редовни професор, председник комисије  
УНО: Електроенергетика, 13.10.2004.  
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад
  2. др Драган Тасић, редовни професор, члан комисије  
УНО: Електроенергетика, 20.03.2007.  
Универзитет у Нишу, Електронски Факултет, Ниш
  3. др Лука Стрезоски, доцент, члан комисије  
УНО: Електроенергетика, 01.03.2018.  
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад
  4. др Милан Гаврић, доцент, члан комисије  
УНО: Примењено софтверско инжењерство, 01.10.2018.  
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад
  5. др Горан Швенда, редовни професор, ментор  
УНО: Електроенергетика, 14.11.2013.  
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука Нови Сад
  6. др Александар Ердељан, редовни професор, ментор  
УНО: Аутоматика и управљање системима, 14.07.2016.  
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад

**II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ**

1. Име, име једног родитеља, презиме:  
  
Игор Зоран Манојловић
2. Датум рођења, општина, држава:  
  
25.05.1990, Нови Сад, Србија

3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив

Основне академске студије:

2009-2012

Универзитет у Новом Саду

Природно-математички факултет

Информатика

Информатичар

Мастер академске студије:

2012-2014

Универзитет у Новом Саду

Природно-математички факултет

Информационе технологије

Мастер информатичар

Специјалистичке академске студије:

2014-2018

Универзитет у Новом Саду

Факултет техничких наука

Енергетика, електроника и телекомуникације

Специјалиста инжењер електротехнике и рачунарства

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

2018, Енергетика, електроника и телекомуникације

5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:

Факултет техничких наука, Алгоритми за агрегацију временских серија у реалном времену, Електротехничко и рачунарско инжењерство – Енергетика, електроника и телекомуникације, 24.10.2018.

6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:

Електротехничко и рачунарско инжењерство – Енергетика, електроника и телекомуникације

### **III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Краткорочна пробабилистичка прогноза оптерећења на ниском напону у електродистрибутивним мрежама

### **IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Докторска дисертација је написана на српском језику на 87 страна и садржи: 5 глава, 199 цитата, 6 табела и 55 слика. Апстракт тезе у кључној документацијској информацији је представљен на српском и енглеском језику. Текст докторске дисертације је организован по следећим главама:

1. Увод
2. Теоретске основе
3. Предлог решења
4. Студија случаја
5. Закључак

- У првој глави је представљен предмет истраживања, дат је преглед стања у области, и представљене су потребе за истраживањем и циљеви истраживања.

- Друга глава садржи теоретске основе статистичких метода и метода машинског учења на којима се заснива предлог новог решења за прогнозу оптерећења, као и теоретске основе конкурентних решења из актуелног стања у области.
- Трећа глава садржи предлог новог решења за краткорочну пробабалистичку прогнозу оптерећења на ниском напону у електродистрибутивним мрежама.
- У четвртој глави су представљени резултати студије случаја која је изведена са циљем верификације предложеног решења над скупом реалних података из једне северноамеричке и једне аустралијске дистрибутивне мреже. Предложено решење је притом упоређено са конкурентним решењима из актуелног стања у области.
- На крају, у петој глави, представљен је закључак дисертације и правац даљег истраживања.

## V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У овој дисертацији је представљено ново решење за краткорочну пробабалистичку прогнозу оптерећења на ниском напону у дистрибутивним мрежама (ДМ). У циљу верификације, предложено решење је примењено у студији случаја над скупом реалних података који су сакупљени са паметних бројила, у једној северноамеричкој и једној аустралијској ДМ.

У **Уводу** је истакнут значај повећања ефикасности електроенергетских система, а прогноза оптерећења ДМ представљена као једно од средстава која су неопходна за постизање тог циља. Проблем краткорочне пробабалистичке прогнозе оптерећења на ниском напону у ДМ је представљен као основни предмет истраживања докторске дисертације. Теоретски и практично, таква прогноза је изазовнија од прогнозе оптерећења на средњем и високом напону због природно значајно већих варијација (неизвесности) у оптерећењу, и значајно веће количине података, који су последица већег броја посматраних чворова мреже. Међутим, такав вид прогнозе је такође веома важан електродистрибутивним предузећима која покушавају да се прилагоде растућем тренду декарбонизације, децентрализације и дигитализације у свакодневном раду. Квантификација варијабилности оптерећења у виду пробабалистичке прогнозе је витални део управљања ризицима и пресудна је за смањење оперативних трошкова, оптимално одлучивање и управљање ДМ. У складу с тим, идентификоване су две потребе за истраживањем: 1) потреба за прорачуном краткорочне пробабалистичке прогнозе који квантификује варијабилност оптерећења на ниском напону, и 2) потреба за повећањем тачности прогнозе оптерећења на ниском напону без неоправданог повећања рачунарских ресурса. Затим је постављен глобални циљ истраживања: да се развије ново решење за краткорочну пробабалистичку прогнозу оптерећења на ниском напону које ће уважити варијабилност оптерећења и понудити конкурентну тачност прогнозе уз високу ефикасност са становишта заузећа рачунарских ресурса. Ради постизања наведеног глобалног циља, постављени су следећи индивидуални циљеви:

- 1) Развити ново решење тако да се редукује модел података о оптерећењу на ниском напону, без губитка значајних информација о варијабилности оптерећења, и на тај начин смањити заузеће рачунарских ресурса у прогнози.
- 2) Развити ново решење тако да се омогући примена софистицираних регресионих метода над редукованим моделом података, и на тај начин понуди конкурентну тачност прогнозе.
- 3) Верификовати оправданост примене предложеног решења над скупом реалних података.
- 4) Упоредити предложено решење са конкурентним решењима из актуелног стања у области.

У **другој** глави (*Теоретске основе*) описане су статистичке методе и методе машинског учења на којима се заснива предлог новог решења за прогнозу оптерећења, као и конкурентна решења из актуелног стања у области. Машинско учење и статистика се у дисертацији користе за: 1) редукацију димензионалности података (репрезентацију, или учење атрибута); 2) организацију објеката у групе, које се називају кластерима, а које су уједно компактне и различите (кластеризација); 3) креирање модела података који описује повезаност датих улазних и излазних вредности и који омогућава израчунавање излазних вредности на основу нових улазних вредности (регресија), и 4) подешавање

параметара регресионог модела (оптимизација). Репрезентација и кластеризација омогућавају откривање шаблона и скривених информација из историјских података о оптерећењу. Због тога оне проналазе велику примену у припреми података за прогнозу оптерећења. Регресија се истиче као главно средство за прогнозу оптерећења, а оптимизација као неопходно средство за тренирање регресионих модела.

У **трећој** глави (*Предлог решења*) је описано ново решење за краткорочну пробабилистичку прогнозу оптерећења на ниском напону у ДМ. Предложено решење се заснива на примени статистичких метода и метода машинског (дубоког) учења у репрезентацији података (екстракцији и одабиру атрибута), кластеризацији и регресији. Прогноза се врши на основу временских серија централних момената оптерећења (просека и стандардне девијације) на нивоу групе потрошача са сличним шаблонима оптерећења. Централни моменти (просек и стандардна девијација) се прво изводе на нивоу потрошача, а затим на нивоу потрошачких група. Резултујући центроиди оптерећења се затим користе у регресији, која се заснива на претходним вредностима центроида оптерећења, временским одредницама и метеоролошким факторима. Прогнозиране вредности центроида оптерећења добијене регресијом примењују се на све потрошаче унутар потрошачке групе, чиме се добија пробабилистичка прогноза оптерећења на нивоу потрошача.

У **четвртој** глави (*Студија случаја*) представљени су резултати студије случаја која је изведена са циљем верификације предложеног решења над скупом реалних података из једне северноамеричке и једне аустралијске ДМ. Резултат примене предложеног решења је висока тачност прогнозе и кратко време извршавања у поређењу са конкурентним решењима из актуелног стања у разматраној области. На тај начин је експериментално потврђено да је ново решење за краткорочну пробабилистичку прогнозу оптерећења на ниском напону погодно за примену у савременим системима за управљање у дистрибутивним мрежама.

У **Закључку** је констатовано да се варијабилност оптерећења на нивоу нисконапонских потрошача може квантификовати пробабилистичком прогнозом на нивоу потрошачких група применом предложеног решења. Према томе, модел оптерећења се може редуковати тако да омогући примену дубоког учења за прогнозу оптерећења на ниском напону без прекомерног заузећа рачунарских ресурса. Заузврат, дубоко учење омогућава откривање и веома сложенијих нелинеарних веза између високо варијабилног оптерећења и променљивих фактора који на то оптерећење утичу. На тај начин, додатно је повећана тачност резултата прогнозе.

## **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 часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01.јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

Радови у врхунским међународним часописима (**M21**):

1. Igor Manojlović, Goran Švenda, Aleksandar Erdeljan, Milan Gavrić: Time series grouping algorithm for load pattern recognition, *Computers in Industry*, Vol. 111, October 2019, pp. 140-147, DOI: [10.1016/j.compind.2019.07.009](https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.07.009)
2. Igor Manojlović, Goran Švenda, Aleksandar Erdeljan, Milan Gavrić, Darko Čapko: Hierarchical multiresolution representation of streaming time series, *Big Data Research*, Vol. 26, Issue C, November 2021, 100256, DOI: [10.1016/j.bdr.2021.100256](https://doi.org/10.1016/j.bdr.2021.100256)

Саопштења са међународних скупова штампана у целини (**M33**):

3. Igor Manojlović, Aleksandar Erdeljan: Efficient aggregation of time series data, *ICIST 2017*, Proceedings 1, 2017, pp. 102-107, <https://www.eventiotic.com/eventiotic/library/paper/258>

4. Igor Manojlović, Goran Švenda, Aleksandar Erdeljan: Load pattern recognition method for probabilistic short-term load forecasting at low voltage level, *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*, Session 20: Industry Application – Part I, Paper no. ID-11137, October 10-12, 2022, Novi Sad, Serbia

## VII ZAKЉUČCI OДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У овој докторској дисертацији је адресиран проблем краткорочне пробабилистичке прогнозе оптерећења на ниском напону у ДМ. Такав вид прогнозе је изазован због високе варијабилности оптерећења на ниском напону и велике количине података о оптерећењу, који су последица већег броја посматраних чворова мреже. Проблем истраживања је адресиран развојем новог решења са глобалним циљем да уважи варијабилност оптерећења и понуди конкурентну тачност прогнозе уз високу ефикасност са становишта заузећа рачунарских ресурса. Глобални циљ истраживања је постигнут кроз четири индивидуална циља на следећи начин.

Предложено решење се заснива на прогнози центроида оптерећења – временских серија централних момената оптерећења (просека и стандардне девијације) на нивоу потрошачких група. Централни моменти се прво изводе на нивоу потрошача, а затим на нивоу потрошачких група. За сваку потрошачку групу се гради по један регресиони модел који се заснива на примени дубоког учења. Улазни подаци у регресији су претходне вредности центроида оптерећења, временске одреднице и метеоролошки фактори, а резултат су прогнозиране вредности центроида оптерећења на нивоу сваке групе. Множењем тих вредности са квантитативним показатељима оптерећења, прогнозиране, нормализоване вредности на нивоу групе се трансформишу у вредности на нивоу чланова групе, у апсолутним јединицама. Према томе, коначан резултат су централни моменти оптерећења у апсолутним вредностима, на нивоу потрошача, који представљају циљану пробабилистичку прогнозу. Тако је постигнут **први циљ** ове докторске дисертације – развити ново решење тако да се редукује модел података о оптерећењу на ниском напону без губитка значајних информација о варијабилности оптерећења и на тај начин смањи заузеће рачунарских ресурса у прогнози.

Предложено решење указује на то да се варијабилност оптерећења на нивоу нисконапонских потрошача може квантификовати пробабилистичком прогнозом на нивоу потрошачких група. Према томе, модел оптерећења се може редуковати тако да омогући примену дубоког учења за прогнозу оптерећења на ниском напону без прекомерног заузећа рачунарских ресурса. Заузврат, дубоко учење омогућава откривање и веома сложених нелинеарних веза између високо варијабилног оптерећења и променљивих фактора који на то оптерећење утичу. Применом дубоког учења је постигнут **други циљ** ове докторске дисертације – развити ново решење тако да омогући примену софистицираних регресионих метода над редукованим моделом података и на тај начин понуди конкурентну тачност прогнозе.

Ефикасност предложеног решења је верификована у студији случаја над скупом реалних података који су сакупљени са паметних бројила, у једној северноамеричкој и једној аустралијској ДМ. Тако је постигнут **трећи циљ** ове докторске дисертације – верификовати оправданост примене предложеног решења над скупом реалних података. Резултат примене предложеног решења је висока тачност прогнозе и кратко време извршавања у поређењу са конкурентним решењима из актуелног стања у области. На тај начин је постигнут и последњи, **четврти циљ** ове докторске дисертације – упоредити предложено решење са конкурентним решењима из актуелног стања у области.

Студија случаја показује да предложен одабир и начин примене статистичких метода и метода машинског (дубоког) учења у репрезентацији података (екстракцији и одабиру атрибута), кластеризацији и регресији, воде ка побољшању тачности прогнозе оптерећења. Примена предложеног решења води ка тачнијој прогнози него примена решења која се не заснивају на дубоком учењу, или на прогнози центроида оптерећења. Поред тога, примена дубоког учења за директну прогнозу оптерећења на нивоу појединачних потрошача изискује знатно веће рачунарске ресурсе. Због тога је предложено решење погодније за прогнозу оптерећења на ниском напону у ДМ.

Према томе, постоји могућност да се предложено решење примени као додатан софтверски алат у

савременом дистрибутивним менаџмент системима (ДМС). Његовом применом би се подигла тачност решења готово свих напредних ДМС функција за анализу, управљање и планирање ДМ. То би свакако допринело ефикаснијем управљању ДМ, на више начина: кроз правовремене реакције на потражњу електричне енергије; кроз интеграцију дистрибуираних енергетских извора и контролу складиштења електричне енергије. Квантификација варијабилности оптерећења на ниском напону у виду пробабилистичке прогнозе коју пружа предложено решење омогућила би ефикасније управљање ризицима, смањење оперативних трошкова, оптимално одлучивање и управљање ДМ. Коначно, квалитетна краткорочна пробабилистичка прогноза оптерећења на ниском напону у ДМ, омогућила би њену бржу и квалитетнију дигитализацију, декарбонизацију и децентрализацију.

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

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

Докторска дисертација је коректно и систематично приказала:

- стање у области истраживања (анализирано на основу доступне литературе),
- постигнуте резултате истраживања и упоредила их са постојећим методама, притом уз резултате су дата јасна и одговарајућа образложења,
- доприноси рада су јасно истакнути, као и могући правци за даља истраживања.

**Текст докторске дисертације је проверен у софтверу за детекцију плагијаризма iThenticate у Библиотеци Факултета техничких наука, који није показао значајно подударње са другим изворима литературе.**

**Сходно томе, Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења постигнутих резултата истраживања са закључком да је докторска дисертација оригинално дело кандидата Игора Манојловића.**

### **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ 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  
**ДА**

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе  
**ДА**

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Главни допринос ове докторске дисертације је ново решење за краткорочну пробабилистичку прогнозу оптерећења на ниском напону у електродистрибутивним мрежама које је погодно за примену у савременим системима за управљање у ДМ. Ново решење је развијено са циљем да уважи варијабилност оптерећења на ниском напону и понуди конкурентну тачност прогнозе уз високу ефикасност са становишта заузећа рачунарских ресурса. Ново решење се заснива на примени статистичких метода и метода машинског (дубоког) учења у репрезентацији података (екстракцији и одабиру атрибута), кластеровању и регресији. Ефикасност новог решења је верификована у студији случаја над скупом реалних података са паметних бројила. Резултат примене новог решења је повећање тачности прогнозе, и кратко време извршавања, у поређењу са конкурентним решењима из актуелног стања у области.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања  
Докторска дисертација не садржи недостатке који би утицали на резултате истраживања.

**X ПРЕДЛОГ:**

На основу укупне оцене дисертације и сагласно свим претходно изнетим чињеницама у овом Извештају, Комисија предлаже да се докторска дисертација под називом

Краткорочна пробабилистичка прогноза оптерећења  
на ниском напону у електродистрибутивним мрежама

кандидата Игора Манојловића прихвати, а кандидату одобри одбрана.

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ  
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

---

др Душко Бекут, редовни професор  
Факултет техничких наука у Новом Саду

---

др Драган Тасић, редовни професор  
Електронски Факултет у Нишу

---

др Лука Стрезоски, доцент  
Факултет техничких наука у Новом Саду

---

др Милан Гаврић, доцент  
Факултет техничких наука у Новом Саду

---

др Горан Швенда, редовни професор  
Факултет техничких наука у Новом Саду

---

др Александар Ердељан, редовни професор  
Факултет техничких наука у Новом Саду

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.