

Наставно-научном већу
Факултета заштите на раду у Нишу
Универзитета у Нишу

30.12.2015

01-52/5-4

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану урађене докторске дисертације под називом “Предиктивни термички модели потрошача у системима даљинског грејања”, кандидата мр Милана Протића, дипл. инж. маш.

Одлуком Наставно-научног већа Факултета заштите на раду у Нишу, бр.03-507/3 од 10.12.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације мр Милана Протића, дипл. инж. маш., под насловом: “Предиктивни термички модели потрошача у системима даљинског грејања”. Након прегледа урађене докторске дисертације подносимо Наставно-научном већу Факултета заштите на раду у Нишу следећи:

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1 Наслов и обим дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Милана Протића, дипл. инж. маш. под насловом „Предиктивни термички модели потрошача у системима даљинског грејања“ написана је на 296 страна, ћириличним писмом. Дисертација садржи пет поглавља, закључак и литературу.

1.2 Научна област дисертације

Дисертација „Предиктивни термички модели потрошача у системима даљинског грејања“ припада научној области: Инжењерство заштите животне средине и заштите на раду, ужој научној области: Енергетски процеси и заштита.

1.3 Биографски подаци о кандидату

Милан Протић је рођен у Нишу 21.05.1979. Основну школу „Свети Сава“ и гимназију „Бора Станковић“ завршио је у Нишу као носилац Вукових диплома. Дипломирао је на Машинском факултету у Нишу 2003. године са просечном оценом 9.86 на тему “Климатизација продукционог студија радиодифузног предузећа Б92“. Магистарске студије на Факултету заштите на раду у Нишу уписује 2006. године на којем полаже све испите са просечном оценом 10. Магистарску тезу на тему "Развој стохастичких термичких модела потрошача у системима даљинског грејања применом рекурентних неуронских мрежа" одбранио је 2009. године. Током основних и магистарских студија био је стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја. Добитник је стипендије Краљевске норвешке амбасаде “За генерацију која обећава” за натпросечне резултате у студирању. Био је део пројектног тима који је 2006. године добио CEI (Central European Initiative) награду „From Research to Enterprise“. Учествовао је у реализацији пет пројеката Министарства просвете, науке и технолошког развоја и три међународна пројекта, једног у оквиру новог суседског јадранског програма (Adriatic New Neighborhood Programme INTERREG-CARDS/PHARE) и два IPA пројекта прекограничне сарадње Бугарска-Србија које је финансирала Европска унија. Такође, учествовао је у реализацији већег броја стручних радова из области термоенергетике. Милан Протић је аутор и коаутор шест радова у часописима са IMPACT фактором, од тога четири категорије M21 и два категорије M23; поглавља у тематском зборнику водећег међународног значаја (катеорије M13); једне монографије и једног поглавља у монографији националног значаја; једног индустријског приручника као и већег броја радова на научним скуповима домаћег и међународног значаја. Истраживачки рад му је фокусиран на обновљиве изворе енергије, примарно област термо-хемијске конверзије као и област примене информационих технологија у енергетици. Члан је Савета Факултета заштите на раду у Нишу као и Кординационог одбора за квалитет, едукацију и технолошке иновације Регионалне привредне коморе Ниш. Ради као асистент на Факултету заштите на раду у Нишу.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1 Структура и садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Милан Протића се састоји из четири основна дела, увода и закључка. Поглавља дисертације су: 1. Увод; 2. Системи даљинског грејања – основна разматрања; 3. Израда предиктивних термичких модела потрошача у СДГ – математичке основе; 4. Аквизиција података за израду предиктивних термичких модела потрошача у СДГ; 5. Резултати израде предиктивних термичких модела потрошача и 6. Закључак. На крају је дат

списак коришћене литературе. По садржају и форми задовољава стандарде за докторску дисертацију.

2.2 Кратак приказ појединачних поглавља

Прво, уводно, поглавље садржи преглед области истраживања, циљеве и доприносе, метод истраживања, полазне хипотезе и објављене радове.

У другом поглављу разматра се значај система даљинског грејања (СДГ), као и основне предности и недостаци оваквог начина снабдевања топлотном енергијом становништва у урбаним подручјима. Дат је историјски преглед развоја СДГ као и низа активности које се данас спроводе у развијеним земљама ЕУ у циљу трансформације СДГ у одрживе системе који ће задржати конкуритивност и у будућем декарбонизованом енергетском сектору ЕУ. Потом је дат концизан приказ тржишта топлотне енергије и удела СДГ у снабдевању топлотном енергијом у ЕУ28 и Србији. У последњем делу тог одељка закључује се да се оптимизација рада СДГ у Србији може остварити кроз супституцију постојећих извора топлоте стратешким и променом начина рада СДГ кроз увођење савремених, интелигентних стратегија управљања. У наставку се детаљно разматрају конвенционални и стратешки топлотни извори. Након тога дат је преглед тренутног начина управљања у СДГ као и предлог за унапређење кроз увођење интелигентног управљања којим би се ускладила произведена и захтевана количина топлотне енергије. У даљем тексту је потенцирана потреба израде предиктивних модела топлотног оптерећења потрошача. Поголавље се завршава прегледом литературе из области израде предиктивних термичких модела у СДГ и низом закључака који су искоришћени за формулисање даљег правца истраживања.

У трећем поглављу су дате математичке основе за израду предиктивних модела топлотног оптерећења потрошача у СДГ. Најпре је указано на предности израде статистичких модела потрошача у СДГ у односу на детерминистичке моделе засноване искључиво на законитостима које произилазе из теорије о преносу топлоте. Потом су објашњене разлике између предиктивних и експланаторних модела. Након тога је приказан поступак израде предиктивних модела. У наставку је најпре дато образложење избора примењених метода (неуронских мрежа са директним простирањем сигнала и бајесовском регуларизацијом, методе потпорних вектора и boosting метода) док су у даљем тексту детаљно изложене математичке основе потребне за њихово разумевање.

У четвртном поглављу је детаљно описана експериментална инсталација коришћена за узорковање релевантних величина потребних за израду предиктивних модела. Најпре су дати

основни подаци о нишком и новосадском СДГ а потом и прикази подстаница у овим системима у којима је вршено мерење и аквизиција података.

У петом поглављу су приказани резултати израде предиктивних термичких модела потрошача у нишком и новосадском СДГ. Најпре је дат приказ архивираних временских серија заједно са прегледом њихових најзначајнијих статистика. Потом је извршена прелиминарна валидација развијених алгоритама на McKey-Glass временској серији. Додатно су изложени критеријуми за рангирање и избор модела као и поступак естимације параметара модела. Након тога је дат поступак израде већег броја предиктивних модела топлотног оптерећења заснованих на методама које су описане у трећем поглављу. Најпре су развијани ауторегресиони модели а потом су анализирани модели код којих се поред претходних вредности топлотног оптерећења као улази користе и температура повратног вода примара и спољна температура. Након тога су разматране могућности унапређења најбољих модела кроз увођење прогнозираних вредности спољне температуре. Из тог разлога се у наставку разматра поступак израде предиктивних модела спољне температуре. Такође је разматрана могућност унапређења модела кроз увођење индикаторске величине којом се описује статус функционисања система. Коначно се разматра могућност унапређења најбољих модела кроз алтернацију вредности регуларизационог параметра. Поглавље се завршава закључним разматрањем у коме су синтетисани остварени резултати.

У закључку су анализирани добијени резултати, изведени су закључци и дефинисани су смерови будућег истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1 Савременост и оригиналност

Последњих година рад СДГ, у великом броју градова у Србији, повезан је са бројним проблемима. Проблеми у СДГ у Србији се могу идентификовати у сва три сегмента њиховог рада: топлотним изворима, дистрибутивној мрежи и подстаницама. Ови проблеми су постали евидентни након: примене привременог трговинског споразума са ЕУ из 2013. године којим је онемогућено субвенционирање комуналних предузећа од стране локалне самоуправе; усвајањем Закона о ефикасном коришћењу енергије којим су све топлане у Србији постале обавезне да, од октобра 2014. године, почну са наплатом грејања према потрошњи као и изменом прописа о слободном тржишту природног гаса, из јануара 2015. године, што је директно условило поскупљење цене гаса. Све ове промене допринеле су повећању цене грејања што је довело СДГ у неповољан положај у односу на друге опције за обезбеђење грејања. Због тога је рад на оптимизацији СДГ, којим би се остварио њихов ефикаснији и

економичнији рад изузетно важан и актуелан. У предметној дисертацији се управо разматра ова проблематика. Након подробне анализе проблема у раду СДГ у Србији, исправно се потенцира да унапређење постојећег неефикасног начина управљања, у постојећој констелацији, представља једину од најприхватљивијих опција за оптимизацију рада система даљинског грејања. Одатле директно произилази и актуелност предузетог истраживања. Унапређење управљања предлаже се кроз развој предиктивних термичких модела индивидуалних потрошача чиме се стварају могућности да се уз релативно мала улагања оствари усклађивање произведене и реално потребне топлотне енергије. За развој предиктивних модела коришћене су методе статистичког учења. У дисертацији су утврђени потенцијали ових метода, посебно метода потпорних вектора, за израду робустних и релативно једноставних краткорочних предиктивних модела топлотног оптерећења потрошача у СДГ које се касније могу имплементирати у системе управљања.

На основу прегледане докторске дисертације Комисија констатује да се у дисертацији разматра врло актуелна тема, да је спроведено истраживање оригинално и да добијени резултати представљају научни допринос и пружају могућност за даља истраживања.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Литература коришћена у току израде докторске дисертације је одговара изабраној теми. Укупно је наведено 270 референци. Највећи број референци је новијег датума при чему су оне уско повезане са предметом истраживања докторске дисертације.

3.3 Опис и адекватност примењених научних метода

Методолошки гледано у дисертацији су примењене теоријске, експерименталне и математичке методе. Први, теоретски део истраживања, има шири контекст. У почетном делу је извршена анализа значаја и перспектива СДГ са посебним освртом на проблеме у њиховом раду и потенцијалне начине за превазилажење тих проблема. Потенцирана је важност унапређења начина управљања у СДГ као једне од могућности за брзу и релативно јефтину оптимизацију њиховог рада. Методом анализе сагледана су истраживања у области управљања СДГ, израде предиктивних термичких модела као и краткорочних предиктивних модела климатских величина. У теоријском делу је такође извршена анализа метода статистичког учења са посебним освртом на њихов потенцијал у решавању практичних проблема. Наведено теоријско истраживање је реализовано прегледом и консултовањем иностране и домаће актуелне и компетентне литературе. Синтезом наведених сазнања дефинисан је најпогоднији приступ за практично решење идентификованих проблема. Други, практични део истраживања, организован је из два дела. Најпре је кроз реализацију експерименталне инсталације на месту

топлотне подстанице у нишком СДГ омогућено континуално мерење и узорковање релевантних величина. Инсталацијом експерименталне опреме није се утицало на било који аспект нормалног и неометаног функционисања топлотне подстанице. Потом су добијени подаци искоришћени за израду и верификацију предиктивних термичких модела. У циљу потврде примењених метода, паралелно са израдом предиктивних модела за нишки СДГ, израђени су и статистички предиктивни модели потрошача у новосадском СДГ који је функционално другачије организован у односу на нишки СДГ.

На основу прегледане докторске дисертације може се закључити да су примењене научне методе у потпуној сагласности са спроведеним истраживањем.

3.4 Применљивост остварених резултата

Истраживање у оквиру ове докторске дисертације иницирано је постојањем реалних проблема у СДГ и потребом њиховог што хитнијег решавања. Развијени предиктивни термички модели потрошача засновани су на подацима добијеним директним опсервационим узорковањем, без њихове претходне обраде или трансформације. Добијени резултати предикције указују да се применом ових модела могу добити прихватљиве краткорочне прогнозе будућих вредности топлотног оптерећења потрошача чиме је демонстриран потенцијал примењених метода за рад у реалним системима. Тиме су испуњени основни предуслови за интеграцију развијених модела у системе управљања а самим тим је и потврђена применљивост резултата добијених у овој докторској дисертацији.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1 Приказ остварених научних доприноса

Главни доприноси дисертације могу се систематизовати на следећи начин:

- Сагледане су предности система даљинског грејања као одрживог и енергетски ефикасног начина топлотног снабдевања становништва у урбаним срединама са посебним освртом на могућност употребе обновљивих извора енергије;
- Систематизована су досадашња истраживања у области израде предиктивних термичких модела потрошача у СДГ;
- Израђена је експериментална инсталација и извршено је континуално мерење и узорковање релевантних величина из топлотне подстанице у нишком СДГ;

- Развијено је и тестирано више типова предиктивних модела топлотног оптерећења, за различите хоризонте предикције заснованих на методама статистичког учења: неуронским мрежама са директним простирањем сигнала и бајесовском регуларизацијом, методи потпорних вектора и boosting методи коришћењем експериментално добијених података;
- Анализирана је могућност примене изабраних метода за израду предиктивних модела и у функционално другачије организованом, новосадском СДГ;
- Развијени су краткорочни предиктивни модели спољне температуре и
- Утврђено је да се развијени предиктивни модели топлотног оптерећења могу значајно унапредити увођењем предиктивних модела климатских параметара, посебно спољне температуре.

Свеобухватни научни допринос дисертацији је у развоју предиктивних модела топлотног оптерећења потрошача у СДГ, који представљају основни предуслов за унапређење управљања у овим системима. У дисертацији је показано, коришћењем података узоркованих (кроз обсервационе студије) у нишком и новосадском СДГ, да се применом метода статистичког учења, посебно методом потпорних вектора, могу добити прихватљиве краткорочне прогнозе будућих вредности топлотног оптерећења потрошача. На тај начин су испуњени главни предуслови за реализацију новог, иновативног начина управљања које би се заснивало на усклађивању произведене топлотне енергије и реалних топлотних потреба потрошача у СДГ чиме би се значајно допринело повећању ефикасности и економичности рада СДГ, уз смањење трошкова крајњих корисника.

4.2 Критичка анализа резултата истраживања

Кандидат је у дисертацији критички размотрио проблеме у раду СДГ у Србији и указао на неопходност унапређења постојећег начина управљања чиме би се значајно допринело повећању ефикасности и економичности њиховог рада. У дисертацији се предлаже концепт управљања код кога је фокус на усклађивању потребне и произведене количине топлоте. За реализацију тог циља потребно је познавање будућих топлотних потреба потрошача, кроз њихове предиктивне термичке моделе. Након прегледа и анализе претходних сазнања из разматране области, истраживање је било засновано на изради оригиналних предиктивних модела заснованих на методама статистичког учења. Модели су развијени и верификовани на бази података добијених директним узорковањем у подстаницама у нишком и новосадском СДГ. Добијени су прихватљиви резултати који се могу практично применити.

Анализом постављених хипотеза, циљева истраживања и добијених резултата Комисија констатује да је кандидат успешно одговорио на сва битна питања која произилазе из разматране проблематике. Додатно, докторском дисертацијом трасирани су правци будућег истраживања које треба да буде усмерено ка имплементацији добијених резултата у конкретно управљачко окружење.

4.3 Верификација научних доприноса

Кандидат мр Милан Протић је у својству аутора и коаутора до сада објавио следеће радове из уже области у којој је докторска дисертација:

Категорија M21

Protić, M., Shamshirband, S., Anisi, M. H., Petković, D., Mitić, D., Raos, M., Arif, M., Alam, K. A. (2015). Appraisal of soft computing methods for short term consumers' heat load prediction in district heating systems. *Energy*, 82, 697–704, [IF: 4.844]

Protić, M., Shamshirband, S., Petković, D., Abbasi, A., Mat Kiah, M.L., Unar, J.A., Živković, Lj., Raos, M. (2015). Forecasting of consumers heat load in district heating systems using the support vector machine with a discrete wavelet transform algorithm, *Energy* 87, 343-351, [IF: 4.844]

Petković, D., **Protić, M.**, Shamshirband, S., Akib, S., Raos, M., Marković, D. (2015). Evaluation of the most influential parameters of heat load in district heating systems. *Energy and Buildings*, 104, 264-274, [IF: 2.884]

Категорија M63

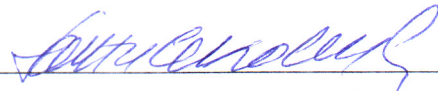
Protić, M., Raos, M., Živković, Lj., Jovanović M. (2015) Savremeni alati za upravljanje sistemom daljinskog grejanja u cilju unapređenja termičkog komfora radne sredine, 12. Nacionalna konferencija sa međunarodnim učešćem: Unapređenje sistema zaštite na radu, zbornik radova, ISBN 978-86-919221-0-8, COBISS.SR-ID 299650311, 281-286

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата мр Милана Протића под насловом „Предиктивни термички модели потрошача у системима даљинског грејања“ представља савремен и оригиналан научни и стручни допринос у области унапређења рада система даљинског грејања. Имајући у виду квалитет, оригиналност и допринос постигнутих резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета заштите на раду у Нишу да прихвати Извештај о урађеној докторској дисертацији: „Предиктивни термички модели потрошача у системима даљинског грејања“, кандидата мр Милана Протића, дипл. инж. маш. и одобри усмену јавну одбрану.

У Нишу,
29.12.2015. године

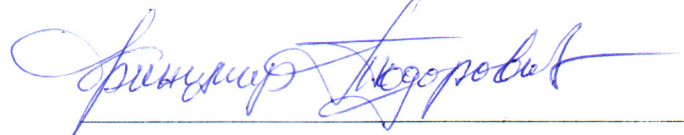
Чланови Комисије:



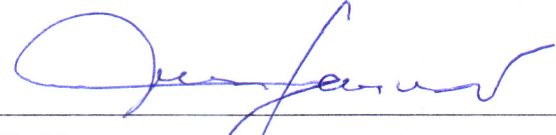
Др Љиљана Живковић, редовни професор
Факултета заштите на раду у Нишу, председник, с.р.



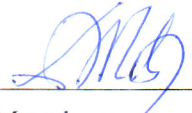
Др Властимир Николић, редовни професор
Машинског факултета у Нишу, члан, с.р.



Др Бранимир Тодоровић, ванредни професор
Природно-математичког факултета у Нишу, члан, с.р.



Др Миомир Раос, ванредни професор
Факултета заштите на раду у Нишу, члан, с.р.



Др Драган Митић, редовни професор у пензији
Факултета заштите на раду у Нишу, ментор, члан, с.р.