

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Веће научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно

члану 6. и чл. 7 став 1. овог правилника)

798/4

(Број захтева)

02.06.2016. године

(Датум)

ЗАХТЕВ**за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији**

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5 тач. 4. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

АЛЕКСАНДРЕ (АЛЕКСАНДАР) СРЕТЕНОВИЋ

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **АЛЕКСАНДРА (АЛЕКСАНДАР) СРЕТЕНОВИЋ** уписана на Докторске студије 2010 год.

(име, име једног од родитеља и презиме)

Поднео је захтев за израду докторске дисертације:

ПРЕДВИЂАЊЕ ПОТРОШЊЕ КГХ СИСТЕМА ПРИМЕНОМ МЕТОДА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕУниверзитет је дана 08.02.2016. год. својим актом под бр. 61206-393/2-16 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:**ПРЕДВИЂАЊЕ ПОТРОШЊЕ КГХ СИСТЕМА ПРИМЕНОМ МЕТОДА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ**Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **АЛЕКСАНДРЕ (АЛЕКСАНДАР) СРЕТЕНОВИЋ**
(име, име једног од родитеља и презиме)Образована је на седници одржаној 07.04.2016. године, одлуком факултета под бр. 798/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. Др Бранислав Живковић	Ред.проф	Термотехника	Машински факултет Београд
2. Др Радиша Јовановић	Доц.	Аутоматско управљање	Машински факултет Београд
3. Др Зоран Миљковић	Ред.проф.	Производно машинство	Машински факултет Београд
4. Др Александар Јововић	Ред.проф.	Процесна техника	Машински факултет Београд
5. Др Милица Јовановић Поповић	Ред.проф.	Еколошка архитектура и Енергетски ефикасна арх.	Архитектонски факултет Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 02.06.2016. године.ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТАпроф.др Радивоје МитровићПрилог: 1. Извештај комисије са предлогом.
2. Акт Наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја.
3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности,
уколико је таквих примедби било.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 798/4
Датум: 02.06.2016. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета и реферата Комисије у саставу: др Бранислав Живковић, ред. проф., ментор, др Радиша Јовановић, доц., ментор, др Зоран Миљковић, ред. проф., др Александар Јововић, ред. проф. и др Милица Јовановић Поповић, ред. проф., Архитектонски факултет Београд, о оцени докторске дисертације „Предвиђање потрошње КГХ система применом метода вештачке интелигенције“ студента докторских студија **Александре Сретеновић, дипл. маш.инж.**, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 02.06.2016. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„ПРЕДВИЂАЊЕ ПОТРОШЊЕ КГХ СИСТЕМА ПРИМЕНОМ МЕТОДА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ“** студента **АЛЕКСАНДРЕ СРЕТЕНОВИЋ, дипл. маш. инж.**

Докторску дисертацију и реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији доставити на давање сагласности Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, по истеку рока од 30 дана у коме су били на увиду јавности.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, студенту, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата
Александре А. Сретеновић, дипл. маш. инж., студента докторских студија

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета број 798/2 од 07.04.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом

„ПРЕДВИЂАЊЕ ПОТРОШЊЕ КГХ СИСТЕМА ПРИМЕНОМ МЕТОДА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ“

кандидата Александре А. Сретеновић, дипл. маш. инж., студента докторских студија.

Након прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала, као и разговора с кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1 Хронологија одобравања и израде дисертације

На докторске студије на Машинском факултету, кандидат Александра А. Сретеновић уписана је 2010. године, по наставном плану који је Сенат Универзитета прихватио 2007. године на основу Закона о високом образовању из 2005. године, а по којем докторске студије не могу трајати дуже од 6 година. По овим правилима, Александра А. Сретеновић има обавезу да дисертацију одбрани до 30. септембра 2016. године.

По захтеву кандидата Александре А. Сретеновић број 2526/1 од 04.12.2015., предлога проф. др Бранислава Живковића и доц. др Радише Јовановића и сагласности Катедре за термотехнику број 2526/2 од 17.12.2015. да јој се одобри пријава теме докторске дисертације и именује Комисија за подношење извештаја о прихватању теме, Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду донело је Одлуку број 2526/3 од 24.12.2015. којом се прихвата тема докторске дисертације и именују ментори проф. др Бранислав Живковић и доц. др Радиша Јовановић и Комисија за подношење извештаја о прихватању теме докторске дисертације и њене научне заснованости у саставу:

- проф. др Бранислав Живковић, ментор
- доц. др Радиша Јовановић, ментор
- проф. др Зоран Миљковић, редовни професор
- проф. др Александар Јововић, редовни професор,
- проф. др Милица Јовановић Поповић, редовни професор Архитектонског факултета у Београду

На основу извештаја Комисије бр. 86/1 од 14.01.2016. године и одлуке ННВ поднет је захтев Машинског факултета Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду које је на седници бр. 61206-393/2-16 одржаној 08.02.2016. године донело Одлуку да се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације Александре А. Сретеновић, дипл. инж. маш. под називом **„Предвиђање потрошње КГХ система применом метода вештачке интелигенције“** под менторством проф. др Бранислава Живковића и доц. др Радише Јовановића.

На основу обавештења проф. др Бранислава Живковића и доц. др Радише Јовановића, ментора, да је докторанд Александра А. Сретеновић, дипл. инж. маш. завршила докторску дисертацију под називом **„Предвиђање потрошње КГХ система применом метода вештачке интелигенције“**, предлога Катедре за термотехнику, Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду донело је Одлуку број 798/2 од 07.04.2016. године о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- проф. др Бранислав Живковић, ментор
- доц. др Радиша Јовановић, ментор
- проф. др Зоран Миљковић, редовни професор
- проф. др Александар Јововић, редовни професор,
- проф. др Милица Јовановић Поповић, редовни професор

1.2 Научна област дисертације

Докторска дисертација Александре А. Сретеновић, под насловом **„Предвиђање потрошње КГХ система применом метода вештачке интелигенције“**, припада области техничких наука – машинство, ужа научна област термотехника, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду.

Израдом докторске дисертације руководили су др Бранислав Живковић, редовни професор за ужу научну област термотехнике (групе предмета везаних за климатизацију) и др Радиша Јовановић, доцент на групи предмета из области аутоматског управљања (интелигентни системи управљања, фази системи управљања и нелинеарни системи) на Машинском факултету Универзитета у Београду. Као аутор или коаутор, др Бранислав Живковић је публиковао 7 радова у часописима са SCI листе (1 у категорији M21 и 6 у категорији M22). Др Радиша Јовановић је објавио 6 радова у часописима са SCI листе (два у категорији M21, два у M22, два у M23) у области аутоматског управљања и вештачке интелигенције.

1.3 Биографски подаци о кандидату

Кандидаткиња Александра Сретеновић рођена је 31.01.1986. године у Београду. Земунску гимназију природно-математичког смера завршила је 2004. године. За изузетан успех током школовања награђена је Вуковом дипломом (и у основној школи и у гимназији).

Машински факултет Универзитета у Београду уписала је 2004. године. Све време студирања била је награђивана за одличан успех. Награде за најбоље студенте Машинског факултета добила је 2005, 2006, 2007, 2008 и 2009. године. Студије је завршила у року с просечном оценом 9,89. Тема дипломског рада из предмета Климатизација била је „Примена система тригенерације и анализа предности у односу на конвенционални систем климатизације рачунског центра“. Дипломирала је на одсеку за Термотехнику 16.06.2009. године с оценом 10.

Као одличан студент Машинског факултета, Александра Сретеновић је била стипендиста Фонда за младе таленте Републике Србије – најбољих 1000 студената, а добила је и стипендију града Београда. Добитница је престижне награде „Професор др Војислав К. Стојановић“ за изванредан успех постигнут током студија. Током студија више пута је представљала Машински факултет на Сајму образовања, а учествовала је у промоцији Факултета у средњим школама у Србији.

Докторске студије је уписала 2010/11. године на Машинском факултету Универзитета у Београду, и положила је све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 10 (десет). Од новембра 2009 запослена је на Машинском факултету Универзитета у Београду на Катедри за Термотехнику. У току свог рада изводила је наставу на мастер студијама кроз аудиторне вежбе на предметима: Основе технике климатизације и Системима вентилације и климатизације. Активно учествује у изради мастер радова и више пута је била члан комисије за преглед и одбрану дипломских радова модула за Термотехнику. Повремено је држала вежбе из климатизације на енглеском језику страним студентима. До сада, као аутор и коаутор има 22 објављена рада, од којих је 6 објављено у међународним часописима са SCI листе, 4 у часописима националног значаја и 12 на скуповима међународног значаја. Коаутор је 4 техничка решења. Учествовала је у изради преко 20 стручних пројеката. Активно је учествовала у истраживањима у оквиру шест међународних пројеката, од којих су два у току.

Александра Сретеновић одлично познаје рад на рачунару Microsoft Office (Word, Excel, Power Point), Интернет, а користи и савремене софтверске пакете (AutoCAD, HAP, Matlab и др). Успешно је завршила лиценцирани курс AutoCAD 2007, семинар Mitsubishi Electric у Милану – VRF and Multi systems, семинар LG VRF, као и курс HAP - Hourly Analysis Program Advanced.

Члан је удружења MENSA (IQ 152 – 2% популације), друштва КГХ (Климатизација, грејање, хлађење), Инжењерске коморе Србије. Одлично говори енглески језик и служи се француским.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1 Садржај дисертације

Докторска дисертација Александре А. Сретеновић дипл. инж. маш., под називом: „Предвиђање потрошње КГХ система применом метода вештачке интелигенције“ написана је на српском језику, садржи 179 страна формата А4, 86 слика, 35 табела, 82 нумерисане једначине и списак литературе са 73 наслова (8 страна).

Дисертација садржи следећа поглавља:

1. Увод
2. Преглед постојећих резултата и достигнућа у научној области
3. Вештачка интелигенција
4. Предвиђање годишње потрошње енергије за хлађење модел зграде
5. Предвиђање дневне потрошње енергије за грејање универзитетског кампуса
6. Побољшања тачности предвиђања модела
7. Предвиђање часовне потрошње енергије за грејање универзитетског кампуса
8. Закључак

Осим наведеног, дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, садржај, као и биографију аутора и изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

2.2 Кратки приказ појединих поглавља

У првом поглављу разматрана је мотивација истраживања, истакнута је важност и савременост теме. Приказани су циљеви истраживања, примењене научне методе и полазне хипотезе.

У другом поглављу је дат преглед новије релевантне стручне литературе која је имала највећи утицај на дисертацију. Истакнути су најважнији резултати у објављеним радовима и приказани најчешће примењивани модели у области предвиђања потрошње енергије. Дат је критички осврт на избор променљивих и начине формирања базе података, као и на тачност предвиђања модела од најједноставнијих (линеарна регресија) до најсложенијих модела применом метода вештачке интелигенције (неуронске мреже и метода потпорних вектора).

Кратак преглед теоретских основа и историја развоја примењиваних метода вештачке интелигенције је приказан у трећем одељку. Излагање у овом одељку је базирано на стручним публикацијама и релевантним радовима из области вештачке интелигенције.

У четвртном поглављу анализирана је годишња потрошња енергије за хлађење модела пословне зграде у Београду која је добијена симулацијом у софтверу НАР. Након једнопараметарске анализе изабране су карактеристике зграде које у највећој мери утичу на потрошњу енергије КГХ система за хлађење. Формирана је одговарајућа база података и коришћењем одабраних карактеристика зграде као улазних величина, развијени су модели применом метода вештачке интелигенције за предвиђање потрошње енергије за хлађење. Укупно је спроведено 245 симулација, од којих је 200 коришћено за обучавање модела и 45 за тестирање. Развијени су модели вишеструке линеарне регресије, вештачке неуронске мреже са повратним простирањем грешке, вештачке неуронске мреже радијалних базисних функција и модел применом методе потпорних вектора. Резултати показују да се вишеструки линеарни модел са задовољавајућом тачношћу може користити у раним фазама пројектовања за грубу процену годишње потрошње енергије за хлађење. Модели применом метода вештачке интелигенције показују готово идеално поклапање са симулираним вредностима потрошње на скупу података одвојеном за тестирање.

У петом поглављу испитана је могућност примене модела вештачке интелигенције за предвиђање дневне потрошње топлоте из система даљинског грејања универзитетског кампуса НТНУ Глосхауген у Норвешкој. База података је формирана на основу мерених вредности

преузетих са главног мерача кампуса и метеоролошких података прикупљених током студијског боравка у Норвешкој. Улазне величине у све моделе су: месец у години, дан у недељи, средња дневна спољашња температура, максимална и минимална дневна температура, укупна дозрачена енергија Сунчевог зрачења у току дана, средња дневна брзина ветра и средња дневна релативна влажност. Тачност предвиђања модела је верификована на подацима који нису коришћени током обучавања модела. Посебан акценат је стављен на модел који примењује методу потпорних вектора за регресију, с обзиром да овај модел постиже најбоље резултате предвиђања, а у поређењу са вештачким неуронским мрежама, знатно је мање заступљен у новијој литератури. Сви развијени модели се могу веома успешно користити за предвиђање дневне потрошње топлоте кампуса.

Сложеност предвиђања потрошње енергије захтева примену иновативних техника у циљу повећања тачности модела. У шестом поглављу предложено је побољшање квалитета предвиђања модела креирањем ансамбла развијених модела и применом хибридних метода. Новија истраживања у овој области су показала да ансамбл, као својеврсна комбинација појединачних модела компензује грешке које чине ти модели и на тај начин постиже већу тачност предвиђања. Притом је неопходно изабрати елементе ансамбла који испуњавају два контрадикторна услова, тачност и међусобну разноликост. Приказани су различити начини комбиновања елемената у јединствено предвиђање, при чему су испитане конвенционалне методе осредњавања (аритметичко, тежинско и осредњавање методом медијане), као и примена модела вештачке интелигенције као интегратора, у циљу формирања вишестепеног ансамбла. Анализирана је и примена k-means кластеризације на групи претходно исправно обучених неуронских мрежа како би се истовремено остварила и тачност и различитост чланова ансамбла, који се затим комбинују у јединствено предвиђање. Најбољи резултати се, за овај универзитетски кампус, постижу вишестепеним ансамблом, чији су елементи неуронска мрежа радијалних базисних функција, неуронска мрежа са повратним простирањем грешке и модел који примењује методу потпорних вектора, а неуронска мрежа са повратним простирањем грешке је у другом ступњу. Хибридни модели, раздвајањем проблема на линеарни и нелинеарни део, превазилазе недостатке појединачних модела, уз задржавање њихових предности и на тај начин повећавају тачност предвиђања. Највећа тачност предвиђања оваквих модела се постиже применом вишеструког линеарног модела, након чега се резидуали предвиђају неуронском мрежом са повратним простирањем грешке, коришћењем истих улазних величина. Хибридни модел показује побољшање у односу на линеарни модел, као и неуронску мрежу.

У седмом поглављу је анализирано предвиђање часовне потрошње топлоте универзитетског кампуса. Представљени су модели који као излазну величину имају часовну потрошњу у једном сату, као и модели који дају дневни профил потрошње на излазу (24 часовне вредности). Резултати показују да се сви развијени модели могу успешно користити за предвиђање часовне потрошње енергије из система даљинског грејања. Тачност модела је значајно побољшана увођењем претходних вредности потрошње као улазних величина.

У закључку су истакнути најважнији резултати као и идеје за даље истраживање. Посебно је истакнут модел применом методе потпорних вектора, који је мање присутан у литератури, као и иновативне методе које су допринеле побољшању тачности појединачних модела при предвиђању потрошње енергије КГХ система.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1 Савременост и оригиналност

Докторска дисертација под називом „Предвиђање потрошње КГХ система применом метода вештачке интелигенције“ представља савремен и оригиналан приступ истраживању у области предвиђања потрошње енергије КГХ система у зградама применом метода вештачке интелигенције. С обзиром на стални пораст интересовања за енергетску ефикасност и значајан удео зградарства у укупној потрошњи енергије, одређивање потрошње енергије зграда је тема од великог значаја. Фокус интересовања је на примени савремених метода у предвиђању потрошње енергије. Вештачка интелигенција је једна од области рачунарства која се последњих деценија најинтензивније развија и у којој се доприноси тек очекују. Поред широког спектра области у којима се користи вештачка интелигенција (управљање, обрада сигнала, роботика, дијагностика) показана је успешна примена и у области предвиђања потрошње енергије КГХ система.

Научни допринос ове дисертације представља значајан корак и огледа се у развоју модела вештачких неуронских мрежа и примени методе потпорних вектора за предвиђање потрошње енергије КГХ система. Развијене су иновативне методе побољшања тачности предвиђања појединачних модела применом технике вишестепених ансамбла и хибридног приступа. Представљене методе су оригиналне и резултат су континуираног рада у овој области, што је потврђено објављеним радовима у часописима са SCI листе насталим током израде ове дисертације.

Област у којој је остварен научни допринос је веома актуелна, а посебан квалитет истраживању даје и могућност примене постигнутих резултата на шире подручје машинства, као и техничких наука уопште.

3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

Списак литературе која је коришћена приликом израде дисертације дат је у посебном одељку рада. Прегледом листе коришћених радова закључује се да је кандидат имао на располагању и проучио доступну референтну литературу. Она је била полазна основа за приказ постојећег стања у области примене метода вештачке интелигенције у области предвиђања, али и основа за избор типа модела и одговарајућих улазних величина. У дисертацији су коришћене укупно 73 референце, у којима преовлађују истраживачки резултати новијег датума, објављени у референтним монографијама, научно-стручним часописима високог ранга и конференцијама међународног значаја, што указује на савременост докторске дисертације.

У оквиру дисертације кандидат се позива на анализе, резултате и закључке објављене у радовима у међународним часописима из области примене вештачке интелигенције за предвиђање. Кандидат је коректно проучио и цитирао наведене изворе.

3.3 Опис и адекватност примењених научних метода

Током реализације циљева истраживања коришћене су следеће методе и технике истраживања:

- метода систематизације и класификације захваљујући којој су, на основу прегледа литературе и анализе у њој приказаних резултата, утврђени правци истраживања у докторској дисертацији. Референтни извори имали су посебан значај приликом избора модела и улазних величина, као и идеја за могуће начине унапређења постојећих модела

- развијени модели за предвиђање потрошње енергије КГХ система се заснивају на познатим типовима модела у области вештачке интелигенције (вишеслојне неуронске мреже са повратним простирањем грешке, неуронске мреже са радијалним базисним функцијама, метода потпорних вектора)
- за извођење симулација годишње потрошње енергије за хлађење примењена је метода преносних функција интегрисана у софтвер за одређивање топлотног оптерећења, димензионисање елемената и потрошње енергије система
- за обучавање и тестирање модела за предвиђање потрошње КГХ система коришћена је база података добијена симулацијом и експериментална база података добијена мерењем у универзитетском кампусу у Норвешкој, при чему су за избор улазних величина коришћене једнопараметарска анализа и метода избора променљивих унапред (forward selection)
- за развој модела примењене су методе вештачких неуронских мрежа и методе потпорних вектора, при чему су оптималне вредности параметара модела добије методом покушаја и грешке и мрежном претрагом комбинација параметара
- за унапређење тачности предвиђања модела коришћене су технике комбиновања излаза из појединачних модела методом конвенционалних и вишестепених ансамбла и хибридна метода раздвајања предвиђања на линеарни и нелинеарни део.

Адекватност примењених метода оправдана је потврдом високе тачности добијених резултата и њиховим поређењем са сличним резултатима наведеним у референтној литератури.

3.4 Применљивост остварених резултата

Иако су методе потпорних вектора и вештачких неуронских мрежа још увек у фази развоја, практично нема области људских активности са којом ове методе немају додира. У овој дисертацији показана је успешна примена развијених модела у области предвиђања потрошње енергије КГХ система. Предложени алгоритми побољшања тачности појединачних модела (вишестепени ансамбли и хибридни модели) су универзалног карактера и могу наћи своју примену не само у предвиђању потрошње енергије, већ и у другим областима у којима се користи вештачка интелигенција.

Како се универзитетски кампус састоји из великог броја зграда различите намене са значајном потрошњом енергије, он на неки начин представља мали град. Управо због тога је одличан пример на коме се анализира потрошња енергије мешовитог скупа објеката. Тако се резултати предвиђања оваквих модела могу користити за процену потрошње енергије и представљају значајну основу за енергетско планирање.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Комисија сматра да је кандидат показао да има смисао и знање неопходно да самостално препозна и систематски решава научне и инжењерске проблеме, примењујући савремене методе теоријског и експерименталног карактера, да користи расположиву литературу и да успешно влада савременим истраживачким методама. Резултати докторске дисертације доказ су способности кандидата за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1 Приказ остварених научних доприноса

Ова дисертација је несумњиво проширила постојећа знања и представља научни допринос у области термотехнике, пре свега увођење и примена техника вештачке интелигенције у предвиђању потрошње енергије. Остварени научни допринос докторске дисертације „Предвиђање потрошње КГХ система применом метода вештачке интелигенције“ огледа се у следећем:

- модели за предвиђање годишње потрошње енергије за хлађење типичне пословне зграде у Београду применом метода вештачке интелигенције (вишеструка линеарна регресија, неуронска мрежа са повратним простирањем грешке, неуронска мрежа са радијалном базисном функцијом и модел који примењује методу потпорних вектора). Модели су развијени коришћењем базе података добијене детаљном енергетском симулацијом.
- модели за предвиђање дневне потрошње топлоте кампуса на основу експерименталне базе података применом вишеструке линеарне регресије, неуронске мреже са повратним простирањем грешке, методе потпорних вектора и неуронске мреже радијалних базисних функција. Развијени модели могу да се успешно користе и за дугорочно предвиђање дневне потрошње.
- иновативни начини побољшања квалитета предвиђања појединачних модела применом технике вишестепених ансамбла и хибридних модела. За креирање ансамбла, чији су чланови модели различитих структура, поред конвенционалних метода осредњавања, као интегратор излаза из појединачних модела, користи се нелинеарни модел у другом ступњу (неуронска мрежа са повратним простирањем грешке, метода потпорних вектора или мрежа радијалних базисних функција). Истражени су и други начини избора елемената ансамбла применом k-means кластеризације на улазном скупу података, као и на скупу претходно обучених неуронских мрежа са повратним простирањем грешке (кластеризација на излазу).
- три хибридна модела, као комбинације линеарног (вишеструка линеарна регресија) и нелинеарног модела (неуронска мрежа са повратним простирањем грешке, метода потпорних вектора и неуронска мрежа радијалних базисних функција). Линеарним моделом се издваја линеарна зависност потрошње од улазних величина, док се нелинеарности садржане у резидуалима моделују нелинеарним моделима.
- модели са једном излазном величином за предвиђање часовне потрошње топлоте, и то: неуронска мрежа са повратним простирањем грешке, метода потпорних вектора и неуронска мрежа радијалних базисних функција уз анализу побољшања тачности увођењем претходних вредности потрошње као додатних улазних величина.
- модели неуронске мреже са повратним простирањем грешке и мреже радијалних базисних функција који на излазу дају дневни профил потрошње (24 излазне величине), уз анализу краткорочног и дугорочног предвиђања (више дана унапред).

4.2 Критичка анализа резултата истраживања

У дисертацији је истакнута важност избора улазних величина, као и анализа формиране базе података пре развијања модела (уклањање нетипичних вредности) и одређивање скупова података који се користе за обучавање и тестирање модела.

За моделе који се баве краткорочним предвиђањем часовне вредности потрошње енергије (24 часа унапред) бољи резултати предвиђања се добијају коришћењем потрошњи од претходног дана као додатних улазних величина (и за моделе са 1 излазном величином и за моделе са 24 излазне величине). Уколико би се вршило предвиђање за више дана унапред, неопходно је прво предвидети потрошњу наредног дана, како би се она користила као улазна величина за наредни дан, чиме се грешка неизбежно нагомилава. Како би овакви модели имали практичну имплементацију, неопходно је развити могућност сталног прилагођавања модела након прикупљања нових мерења. „On-line“ подешавање би подразумевало да се на крају дана узму у обзир и нови доступни подаци о измереној потрошњи, након чега би се модел фино подешавао коришћењем нових података. У доступној литератури модели се најчешће развијају управо за краткорочна предвиђања, 24 сата унапред. Модели креирани у овој дисертацију представљају одличну основу која би, уз одређена побољшања, могла да нађе практичну примену у привреди, за предвиђање потрошње различитих система, што остаје као предмет даљег истраживања

Основна карактеристика предложених модела је то што су они обучавани и развијени за одређен објекат (модел пословне зграде и НТНУ кампус Глосхауген). Прикупљањем мерених вредности за хомогенији скуп зграда (типски објекти) могу се добити и тачнији резултати предвиђања.

На основу прегледа релевантне научне литературе и сагледавања постојећих решења из области докторске дисертације, констатујемо да су резултати истраживања у тези значајни и да су применљиви у пракси. На основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у докторској дисертацији, можемо закључити да су пружени одговори на сва релевантна питања и решени проблеми са којима се кандидат сусрео у току истраживања.

4.3 Верификација научних доприноса

Део доприноса докторске дисертације верификован је радовима које је кандидат публиковала у међународном часопису који је на SCI листи и радовима саопштеним на скуповима од међународног значаја, као и техничким решењем развоја нове методе:

Научни рад у врхунским међународним часописима (M21)

1. Jovanović, R. **Sretenović, A.**, Živković, B., „Ensemble of various neural networks for prediction of heating energy consumption”, *Energy and Buildings*, Vol. 94, pp. 189-199, ISSN:0378-7788, IF za 2014 godinu: 2,884 [doi:10.1016/j.enbuild.2015.02.052](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.052)

Научни рад у истакнутом међународном часопису (M22)

2. Jovanović, R., **Sretenović, A.**, Živković, B. „Multistage ensemble of feedforward neural networks for prediction of heating energy consumption”, *Thermal Science*, Online first 2015, ISSN: 2334-7163, IF za 2014 godinu: 1,222 [doi:10.2298/TSCI150122140J](https://doi.org/10.2298/TSCI150122140J)

Научни рад у међународном часопису (M23)

3. Jovanović, R., **Sretenović, A.**, “Various multistage ensembles for prediction of heating energy consumption”, *Modeling, Identification and Control*, Vol. 36, No. 2, pp. 119-132, ISSN: 1890-1328, IF za 2014 godinu: 0,778 [doi:10.4173/mic.2015.2.4](https://doi.org/10.4173/mic.2015.2.4)

Научни рад у водећем часопису националног значаја (M24)

4. Jovanović, R., **Sretenović, A.**: „Ensemble of radial basis neural networks with k-means clustering for heating energy consumption prediction“, *FME Transactions*, рад прихваћен за штампање у броју Vol. 44 No. 3 2016. ISSN: 1451-2092

Радови саопштени на скуповима међународног значаја штампани у целини (M33)

5. **Sretenović, A.**, Živković, B., Jovanović, R., “Multiple linear regression, Support Vector Machine and Neural Networks for prediction of commercial building energy consumption”, 46th International HVAC&R Congress, Belgrade, 2-4th December 2015, штампано на CD-u, SMEITS, ISBN 978-86-81505-79-3, стр 383-393
6. Jovanović, R., **Sretenović, A.**, Živković, B.: “Prediction of heating energy consumption in University buildings based on simplified artificial neural networks”, 18th International Research/Expert Conference “Trends in the Development of Machinery and associated Technology” TMT 2014, Proceedings pp 213-216, ISSN 1840-4944, Budapest, Hungary, 10-12th September 2014
7. Jovanović, R., **Sretenović, A.**, Živković, B.: “Application of artificial neural networks for prediction of energy consumption in University buildings”, 18th International Research/Expert Conference “Trends in the Development of Machinery and associated Technology” TMT 2014, Proceedings pp 229-232, ISSN 1840-4944, Budapest, Hungary, 10-12th September 2014
8. Jovanović, R., **Sretenović, A.**, Živković, B.: “Application of artificial neural networks for prediction of energy consumption in University campus”, 45th International HVAC&R Congress, Belgrade, 3-5th December 2014, штампано на CD-u pp 71, ISBN/ISSN 978-86-81505-75-5, SMEITS

Техничко решења - Нова метода (M85)

9. Јовановић Радиша, **Сретеновић Александра**, Живковић Бранислав, „Ансамбл различитих неуронских мрежа за предвиђање потрошње топлоте“, Универзитет у Београду Машински факултет, решење бр. 1350/3 од 28.09.2015.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа и анализе докторске дисертације под називом „Предвиђање потрошње КГХ система применом метода вештачке интелигенције“ кандидата Александре А. Сретеновић, дипл. инж. маш., студента докторских студија, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима научно-истраживачког рада, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању и Статутом Машинског факултета Универзитета у Београду.

На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији и чињенице да је анализирана проблематика значајна и актуелна у стручној и научној јавности, констатује се да је кандидат Александра А. Сретеновић, дипл. инж. маш., студент докторских студија, успешно завршила докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања. Кандидат је остварио оригиналне резултате из области предвиђања потрошње енергије применом метода вештачке интелигенције и побољшања тачности предвиђања применом иновативних метода. Научна и стручна јавност је упозната са резултатима истраживања публикавањем једног рада у врхунском међународном часопису (катеорија M21), једног рада у истакнутом међународном часопису (катеорија M22), једног рада у међународном научном часопису категорије M23, једног рада у часопису међународног значаја верификованог посебном

одлуком (категорија M24), 4 рада саопштена на скуповима од међународног значаја штампаних у целини (категорија M33), као и реализацијом техничког решења развоја нове методе (M85).

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације закључила је да дисертација представља оригинални научни рад са научним доприносом у области техничких наука, ужа научна област термотехника, па сагласно томе предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да прихвати Реферат Комисије и упути га Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на усвајање, а дисертацију „Предвиђање потрошње КГХ система применом метода вештачке интелигенције“ кандидата Александре А. Сретеновић, дипл. инж. маш., студента докторских студија, стави на увид јавности.

У Београду, 16.05.2016.

Чланови Комисије

др Бранислав Живковић, ред. проф.
Универзитет у Београду Машински факултет

др Радиша Јовановић, доцент
Универзитет у Београду Машински факултет

др Зоран Миљковић, ред. проф.
Универзитет у Београду Машински факултет

др Александар Јововић, ред. проф.
Универзитет у Београду Машински факултет

др Милица Јовановић Поповић, ред. проф.
Универзитет у Београду Архитектонски факултет

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број:798/4
Датум: 02.06.2016. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће на седници одржаној 02.06.2016. године, донело је

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„ПРЕДВИЋАЊЕ ПОТРОШЊЕ КГХ СИСТЕМА ПРИМЕНОМ МЕТОДА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ“** студента **АЛЕКСАНДРЕ СРЕТЕНОВИЋ**, дипл. маш. инж.

Јавна одбрана докторске дисертације обавиће се по добијању сагласности Универзитета у Београду.

Универзитет у Београду је својом Одлуком број 61206-393/2-16, од 08.02.2016. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

1. Jovanović, R. **Sretenović, A.**, Živković, B., „Ensemble of various neural networks for prediction of heating energy consumption”, *Energy and Buildings*, Vol. 94, pp. 189-199, ISSN:0378-7788, IF za 2014 godinu: 2,884 [doi:10.1016/j.enbuild.2015.02.052](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.052)
2. Jovanović, R., **Sretenović, A.**, Živković, B. „Multistage ensemble of feedforward neural networks for prediction of heating energy consumption”, *Thermal Science*, Online first 2015, ISSN: 2334-7163, IF za 2014 godinu: 1,222 [doi:10.2298/TSCI150122140J](https://doi.org/10.2298/TSCI150122140J)
3. Jovanović, R., **Sretenović, A.**, “Various multistage ensembles for prediction of heating energy consumption”, *Modeling, Identification and Control*, Vol. 36, No. 2, pp. 119-132, ISSN: 1890-1328, IF za 2014 godinu: 0,778 [doi:10.4173/mic.2015.2.4](https://doi.org/10.4173/mic.2015.2.4)

Одлуку доставити: студенту, ментору, Катедри за термотехнику и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА
проф. др Радивоје Митровић