

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

86/2
(Број захтева)Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)21.01.2016.
(Датум)

З А Х Т Е В
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да сходно чл. 46. ст.5. тач.3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације

**ПРЕДВИЂАЊЕ ПОТРОШЊЕ КГХ СИСТЕМА ПРИМЕНОМ МЕТОДА ВЕШТАЧКЕ
ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Термотехника

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

- Име, име једног родитеља и презиме кандидата: АЛЕКСАНДРА (АЛЕКСАНДАР) СРЕТЕНОВИЋ
- Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд
- Година дипломирања: 2009.
- Назив магистарске тезе кандидата: _____
- Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: _____
- Година одбране магистарске тезе: _____
- Назив Факултета на коме је кандидат уписао докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: _____

Година уписа докторских студија: 2010.Обавештавамо Вас да је _____
Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)на седници одржаној 21.01.2016
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

Прилог:

- Предлог теме докторске дисертације са образложењем.
- Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 86/2
Датум: 21.01.2016. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Александре Сретеновић**, дипл. инж. маш., бр. 2526/1 од 04.12.2015. године да јој се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Бранислав Живковић, ред.проф., др Радиша Јовановић, доцент, др Зоран Миљковић, ред.проф., др Александар Јововић, ред. проф. и др Милица Јовановић Поповић, ред.проф. Архитектонски факултет Београд, број 86/1 од 14.01.2016. године, а 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 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 21.01.2016. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **АЛЕКСАНДРА СРЕТЕНОВИЋ**, дипл. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **«ПРЕДВИЂАЊЕ ПОТРОШЊЕ КГХ СИСТЕМА ПРИМЕНОМ МЕТОДА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ»**.

За менторе студенту **Александри Сретеновић**, именују се др **Бранислав Живковић, ред.проф. и др Радиша Јовановић, доцент.**

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата Александре Сретеновић, дипл. инж. маш. студента докторских студија за израду докторске дисертације.

Одлуком Наставно-научног већа бр. 2526/3 од 24. 12. 2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Александре Сретеновић, дипл. инж. маш. студента докторских студија за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Предвиђање потрошње енергије КГХ система применом метода вештачке интелигенције“.

На основу материјала приложеног уз захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

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 конвенционани 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. Активни је учесник на шест међународних пројеката. Александра Сретеновић одлично познаје рад на рачунару Microsoft Office (Word, Excel, Power Point), Интернет, а користи и савремене софтверске апарате (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 MENSEA (IQ 152 – 2% популације), друштва KTX (Климатизација, грејање, хлађење), Инжењерске коморе Србије. Одлично говори енглески језик и служи се француским.

1.2. Стечено научно-истраживачко искуство

У оквиру докторских студија на Машинском факултету у Београду Александра Сретеновић је положила предмете: Виши курс математике, Нумеричке методе, ОМНИР и комуникација, Струјно-техничка мерења, Одабрана поглавља из механике, Обновљиви извори енергије, Рационализација потрошње енергије у домаћинствима и индустрији, Енергетска ефикасност у зградама и Соларни системи. Кандидаткиња је успешно одрадила и одбранила Пројекат идеје докторске дисертације у складу са Правилником за докторске студије Машинског факултета, пред Комисијом у саставу: проф. др Бранислав Живковић, доц. др Радиша Јовановић и проф. др Александар Јововић. У Пројекту је приказан кратак преглед објављених резултата из новије релевантне научно-истраживачке литературе у овој области. С обзиром на стални пораст потрошње енергије у зградарству, енергетска ефикасност је постала кључна тема у савременом друштву. Истакнута је важност предвиђања потрошње енергије зграда. Представљене су различите методе које се користе за креирање модела за ову врсту предвиђања. Модели применом метода вештачке интелигенције се показују као веома успешни при решавању многих инжењерских проблема, а посебно у области предвиђања. Ту се пре свега истичу вештачке неуронске мреже и метода потпорних вектора. Креирање ових модела захтева коришћење велике количине података на основу којих се модели обучавају и тестирају. За развој статистичких модела неопходно је претходно анализирати податке и формирати релевантну базу података. Дати су предлози могућих база које се могу добити на основу симулационих и стварних, мерених вредности. Идеја је да се испита могућност примене вештачке интелигенције за предвиђање потрошње енергије зграда, као и начини за побољшање тачности кроз неке иновативне приступе. Модел који је исправно обучен и тестиран, може се касније користити за предвиђање потрошње при другим условима. С обзиром да је што прецизније познавање потрошње енергије од великог значаја не само у области зградарства, већ и у индустрији, очекује се да након потврде успешне примене ови и слични модели имају практичну примену.

Ред. бр. предмета	Назив предмета	Предметни наставник	Година студија (ЕСПБ)				Оцена испита
			1. година		2. година		
			I (11)	II (12)	III (13)	IV (14)	
1	Виши курс математике	проф. др Стојан Раденовић	5				10 (десет)
2	Нумеричке методе	проф. др Миодраг Спалевић	5				10 (десет)
3	ОМНИР и комуникација	проф. др Милош Недељковић	5				10 (десет)
4	Струјно-техничка мерења	проф. др Мирослав Бенишек	5				10 (десет)
5	Одабрана поглавља из механике	проф. др Зоран Митровић		5			10 (десет)
6	Обновљиви извори енергије	проф. др Мирко Коматина		5			10 (десет)
7	Рационализација потрошње енергије у домаћинствима и индустрији	проф. др Мирко Коматина		5			10 (десет)
8	Соларни системи	проф. др Бранислав Живковић			5		10 (десет)
9	Енергетска ефикасност у зградама	проф. др Бранислав Живковић			5		10 (десет)
10	Истраживање и публикавање I	проф. др Бранислав Живковић	10				10 (десет)
11	Истраживање и публикавање II	проф. др Бранислав Живковић		15			10 (десет)
12	Истраживање и публикавање III	проф. др Бранислав Живковић			20		10 (десет)
13	Истраживање и публикавање IV	проф. др Бранислав Живковић				8	10 (десет)
14	Пројекат идеје докторске дисертације	Комисија				22	10 (десет)

Просечна оцена 10,00 (десет).

Списак радова и пројеката у вези са темом докторске дисертације:

1.2.1 Научни радови у врхунским међународним часописима (M21)

1. Radiša Ž. Jovanović, **Aleksandra A. Sretenović**, Branislav D. Živković, „Ensemble of various neural networks for prediction of heating energy consumption”, Energy and Buildings, Vol. 94, pp. 189-199, [doi:10.1016/j.enbuild.2015.02.052](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.052)

1.2.2. Научни радови у истакнутим међународним часописима (M22)

2. Jovanović Radiša Ž., **Sretenović Aleksandra A.**, Živković Branislav D. „Multistage ensemble of feedforward neural networks for prediction of heating energy consumption”, Thermal Science, Online first 2015, doi:10.2298/TSCI150122140J
3. Mohamed H. Musbah, Branislav D. Živković, Frac F. Kosi, Mohamed M. Abdulgalil, **Aleksandra A. Sretenović**, Solar energy contribution for air conditioning system in an office building under Tripoli climate conditions, Thermal Science, Vol. 18, No 1. pp 1-12, [doi:10.2298/TSCI121229124M](https://doi.org/10.2298/TSCI121229124M).

1.2.3 Научни радови у међународним часописима (M23)

4. Jovanović Radiša Ž., **Sretenović Aleksandra A.**, “Various multistage ensembles for prediction of heating energy consumption”, Modeling, Identification and Control, Vol. 36, No. 2, pp. 119-132, [doi: 10.4173/mic.2015.2.4](https://doi.org/10.4173/mic.2015.2.4)
5. M. Abbas, M. Jovanovic, S. Radenovic, **Aleksandra Sretenović**, Suzana Simić, „Abstract metric spaces and approximating fixed points of a pair of contractive type mappings“, Journal of Computational Analysis and Application, Vol. 13, No. 2, str. 243-253, ISSN: 1521-1398
6. Masood Hussain Shah, Suzana Simic, Nawab Hussain, **Aleksandra Sretenovic**, Stojan Radenovic „Common fixed points theorems for occasionally weakly compatible pairs on cone metric type spaces“, Journal of Computational Analysis and Application, Vol. 14, No. 2, str. 290-297, 2012. , ISSN: 1521-1398

1.2.4 Научни радови у водећим часописима националног значаја (M51)

7. Radiša Ž. Jovanović, **Aleksandra A. Sretenović**: „Ensemble of radial basis neural networks with k-means clustering for heating energy consumption prediction“, FME Transactions, rad prihvaćen za štampanje u broju Vol. 44 No. 2 2016.
8. Живковић Б., **Сретенковић А.**, Танић Љ., Шварц Б., Радић В., Јовановић Д.: АНАЛИЗА ПРИМЕНЕ БИОМАСЕ У ХОТЕЛУ „ТЕРМАГ“ НА ЈАХОРИНИ, III Регионална конференција „Индустријска енергетика и заштита животне средине у земљама југоисточне Европе“ ИЕЕП '11, 21-25. јуни 2011. Копаоник штампано у часопису Термотехника, Свеска 38, бр. 2, стр 167-174, 0350-218X
9. Марковић Д., **Живковић Б.**, Косанић Н., Марковић И., Сретенковић А.: ПОСЛЕ УБИРАЈУЋЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗА ВОЋЕ И ПОВРЋЕ У СРБИЈИ, часопис „Савремена пољопривредна техника“, вол. 37, бр. 4, стр 387-397, децембар 2011, оригинални научни рад, Библид: 0350-2953 (2011) 37, 4: 387-398, УДК: 634.11:664.854
10. Глишић И., Вучковић Г., **Сретенковић А.**: „МОГУЋНОСТ УШТЕДЕ ЕНЕРГИЈЕ ПРИМЕНОМ ТРИГЕНЕРАЦИЈЕ У ПОСЛОВНО-ХОТЕЛСКОМ КОМПЛЕКСУ – AIRPORT CITY BELGRADE“, часопис КГХ 1/2010, СМЕИТС, стр. 87-94,

1.2.5 Рад саопштен на скупу међународног значаја штампан у целини (M33)

11. **Aleksandra Sretenović**, Branislav Živković, Radiša Jovanović, MULTIPLE LINEAR REGRESSION, SUPPORT VECTOR MACHINES AND NEURAL NETWORKS FOR PREDICTION OF COMMERCIAL BUILDING ENERGY CONSUMPTION“, 46th International HVAC&R Congres, Belgrade, 2-4th December 2015, štampano na CD-u, SMEITS, ISBN 978-86-81505-79-3, str 383-393
12. 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
13. Jovanović R., **Sretenović A.**, Živković B.: APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR PREDICTION OF HEATING 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
 14. Nolan E., Allsopp J., Galata A., Pedone G., Živković B., **Sretenović A.**: CALIBRATING WHOLE BUILDING ENERGY MODEL: A CASE STUDY USING BEMS DATA, 10th European Conference on Products and Process Modelling – ECPPM 2014, Proceedings ISBN: 978-1-138-02710-7 (Hbk), ISBN: 978-1-315-73695-2 (eBook), Published by Press Balkema, PO Box 11320, 2301 EH Leiden, Netherlands, Vienna, Austria, 17-19th September 2014
 15. Alfio Galata, GianFranco Pedone, Antonio De Ferrari, Mike Brogan, Ya Roderick, **Aleksandra Sretenovic**, “A catalogue of “optimization scenarios” to enhance decision-making in establishing an efficient energy management programme”, Proceedings ISBN: 978-1-138-02710-7 (Hbk), ISBN: 978-1-315-73695-2 (eBook), Published by Press Balkema, PO Box 11320, 2301 EH Leiden, Netherlands, Vienna, Austria, 17-19th September 2014
 16. Jovanović R., Sretenović A., **Živković B.**: APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR PREDICTION OF HEATING ENERGY CONSUMPTION IN UNIVERSITY CAMPUS”, 45th International HVAC&R Congress, Belgrade, 3-5th December 2014, štampano na CD-u pp 71, ISBN/ISSN 978-86-81505-75-5, SMEITS
 17. Glišić I., Vučković G., **Sretenović A.**: „ENERGY SAVINGS USING TRIGENERATION ON BUSINESS HOTEL COMPLEX – AIRPORT CITY BELGRADE“, 22nd International Conference on Efficiency, Cost and Optimization, Brasil 2009.
 18. **A. Сретеновић**, Б. Живковић: „ПРИМЕНА СИСТЕМА ТРИГЕНЕРАЦИЈЕ И АНАЛИЗА ПРЕДНОСТИ У ОДНОСУ НА КОНВЕНЦИОНАЛНИ СИСТЕМ КЛИМАТИЗАЦИЈЕ РАЧУНСКОГ ЦЕНТРА“, Зборник радова: 40. Међународни конгрес о грејању, хлађењу и климатизацији, стр 445-455, Београд, 2009.
 19. **Сретеновић А.**, Танић Љ., Живковић Б.: „МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ТРИГЕНЕРАЦИЈЕ У СУПЕРМАРКЕТИМА – ПРИМЕР ТРЖНОГ ЦЕНТРА „ТУШ“ ИСТОЧНО САРАЈЕВО“, Зборник радова Међународног конгреса ИЕЕП - Индустријска енергетика и заштита животне средине у земљама Југоисточне Европе, Златибор 2010.
 20. Б. Живковић, **А. Сретеновић**, Љ. Танић, Б. Шварц, В. Радић, Д. Јовановић, „АНАЛИЗА ПРИМЕНЕ БИОМАСЕ У ХОТЕЛУ „ТЕРМАГ“ НА ЈАХОРИНИ“, Зборник радова конгреса ИЕЕП - Индустријска енергетика и заштита животне средине у земљама Југоисточне Европе 2011.
 21. Љ. Танић, Б. Живковић, Б. Шварц, **А. Сретеновић**, В. Радић, Д. Јовановић „Анализа примене биомасе у хотелу „Рајска долина“ на Јахорини“, III савјетовање о енергетици у БиХ, Тема савјетовања: Енергетска ефикасност и обновљиви извори енергије, септембар 2011, Зборник радова, стр. 301 – 307
 22. Љубиша Танић, **Александра Сретеновић**, “АНАЛИЗА ПРИМЕНЕ ОБНОВЉИВИХ ИЗВОРА ЕНЕРГИЈЕ ЗА ТОПЛОТНЕ ПОТРЕБЕ ХОТЕЛА “САН” У БАЊИ ЛАКТАШИ”, Зборник радова, IX међународни научно стручни скуп “Савремена теорија и пракса у градитељству”, Бања Лука, април 2013. ISBN 978-99955-630-8-0, COBISS.BH-ID 3623704

1.2.6 Учешће у међународним научним пројектима (M104)

23. HERD Energy project Sustainable Energy and Environment in the Western Balkans, 2010-2014

24. Valuable EneRgY for a smart School – VERYSchool, European Commission, CIP competitiveness and innovation framework programme 2007-2013, CIP-ICT-PSP-2011-5, Grant Agreement No 297313, 2011-2014
25. Energy Performance Indicators for Building Stocks – EPISCOPE, 2014-2015
26. National Building Typologies – TABULA project
27. Green Career Guide for Young People – GreenCareer, Erasmus+ project, 2015-2017 (Project reference number 2014-2-TR01-KA205-014469)
28. „Support for Low Emission Development in South-East Europe (SEE)“, commissioned by Regional Environmental Center, Project Code: 33241-1206

1.2.7 Учесће у националним научним пројектима

29. Од 01.10.2009. до 31.12.2010. била је сарадник на пројекту Машинског факултета – Технолошки пројекат ТР 14210 „Развој машина и опреме за производњу и прераду хране“.
30. Од 01.01.2011. до данас је сарадник на Научно-истраживачком пројекту: ИСТРАЖИВАЊЕ И РАЗВОЈ ОПРЕМЕ И СИСТЕМА ЗА ИНДУСТРИЈСКУ ПРОИЗВОДЊУ, СКЛАДИШТЕЊЕ И ПРАДУ ПОВРЋА И ВОЋА, ТР- 35043, Истраживања у области технолошког развоја, Министарство просвете, науке и технолошког развоја; 2011 - 2015.

1.2.8 Техничка решења - Битно побољшана технологија (М84)

31. Живковић Б., Коси Ф., Марковић Д., Милованчевић У., Стојковић М., **Сретенковић А.**, Крстић Д.: „СПРЕГА КОНВЕНЦИОНАЛНИХ И ОБНОВЉИВИХ ИЗВОРА ЕНЕРГИЈЕ У ОКВИРУ ТЕХНОЛОШКЕ ЛИНИЈЕ ЗА РАСХЛАЂИВАЊЕ И СКЛАДИШТЕЊЕ ВОЋА“, Универзитет у Београду Машински факултет, број 3317/3, 22.01.2015.
32. Коси Ф., Марковић Д., Живковић Б., Стевановић С., Стојковић М., **Сретенковић А.**, Милованчевић У.: „КАСКАДНИ СИСТЕМИ (NH₃/CO₂) ЗА ПРИМЕНУ У ПРЕХРАМБЕНОЈ ИНДУСТРИЈИ“, Универзитет у Београду Машински факултет, број 3298/3, 22.01.2015.
33. Коси Ф., Марковић Д., Живковић Б., Покрајац С., Стојковић М., **Сретенковић А.**, Крстић Д.: „ИНДИРЕКТНИ СИСТЕМ ЗА СКЛАДИШТЕЊЕ ОСЕТЉИВИХ ВРСТА ВОЋА У КОНТРОЛИСАНОЈ АТМОСФЕРИ“, Универзитет у Београду Машински факултет, број 3318/3, 22.01.2015.

1.2.9 Техничка решења - Нова метода (М85)

34. Радиша Јовановић, **Александра Сретенковић**, Бранислав Живковић, „АНСАМБЛ РАЗЛИЧИТИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА ЗА ПРЕДВИЂАЊЕ ПОТРОШЊЕ ТОПЛОТЕ“, Универзитет у Београду Машински факултет, решење бр. 1350/3 од 28.09.2015.

1.3 Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Својим досадашњим стручним и истраживачким активностима кандидаткиња је испољила квалитете, заинтересованост и способност за научноистраживачки рад у области машинства-термотехнике којој припада предложена тема докторске дисертације.

Публиковани радови у часописима и на конференцијама, као и учешће на пројектима, указују на изразит смисао кандидата да се бави истраживањима. Успешно је одржавала наставу више година на Машинском факултету у Београду и објавила 6 радова у часописима са СЦИ листе.

Досадашњи објављени радови и истраживачка делатност кандидата суштински су повезани са научном облашћу којој припада тема предложене докторске дисертације и квалификују кандидаткињу за успешан и ефикасан теоријски и експериментални рад на предложеној теми.

На основу биографских података кандидаткиње, положених испита и одбрањеног пројекта о идеји докторске дисертације на докторским студијама, њених научних и стручних активности, као и објављених радова, Комисија сматра да је кандидаткиња подобна за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања представља развој модела за предвиђање потрошње енергије КГХ система у зградама применом различитих метода вештачке интелигенције. Услед све већег интересовања за енергетску ефикасност, нарочито након усвајања ЕПБД директиве (Energy Performance Building Directive), проучавање потрошње енергије у зградарству је постала тема од великог значаја. Сектор зградарства је одговоран за 40% укупне потрошње енергије и 36% укупне емисије CO₂. Отуда, предвиђање и процена потрошње енергије је од посебне важности посматрано са аспекта стратегије енергетског снабдевања и процене инвестиција, и захтева стални развој нових и унапређење постојећих техника у циљу добијања што тачнијих резултата. Класичан приступ процени потрошње енергије зграде се заснива на формирању модела познате структуре и утицајних променљивих (принцип „унапред“, „forward approach“, „white box“). Ове методе користе термодинамичке једначине узимајући у обзир термофизичка својства зграде, како би се одредио енергетски биланс, како на нивоу целе зграде, тако и на поднивоима, као што су компоненте система. Другачији приступ анализи потрошње енергије у зградама се заснива на такозваним „инверзним“ моделима („inverse“, „data-driven“, „black box“), тј. статистичким моделима насталим на основу одређеног скупа измерених података. Применом инверзне методе, анализира се енергетско понашање зграде и одређују везе са једном или више утицајних параметара. Неопходно је да су улазне и излазне променљиве познате и мерене, а креирање модела се састоји у математичком описивању везе између зависно и независно променљивих. Сложеност проблема одређивања потрошње енергије у згради, која зависи од великог броја променљивих (метеоролошких параметара, карактеристика зграде, понашања корисника, итд) је један од разлога што некалибрисан модел добијен симулацијом не може довољно успешно да предвиди стварну потрошњу енергије.

У овој докторској дисертацији анализираће се потрошња енергије КГХ система на два објекта: моделу типичне пословне зграде у Београду (база података добијена симулацијом) и универзитетском кампусу у Норвешкој (стварни, мерени подаци).

У првој фази рада биће испитана могућност примене и успешност модела применом метода вештачке интелигенције за предвиђање потрошње енергије добијене симулацијом. Симулације ће бити урађене коришћењем софтвера HAP (Hourly Analysis Program). HAP примењује методу трансфер функција усвојену од стране ASHRAE за прорачун топлотног оптерећења и часовну енергетску симулацију (8760 часова у „типичној метеоролошкој“ години). Програм пружа неопходне информације за избор елемената КГХ система и симулира рад пројектоване опреме током целе године. Након формирања базе података добијене симулацијом биће креирани различити модели за предвиђање потрошње енергије пројектованих система. Као улазне променљиве биће коришћене карактеристике зграде, док је предвиђана величина потрошња енергије КГХ система. С обзиром да је потрошња (у овом случају добијена симулацијом) резултат математичких прорачуна (термодинамичких једначина), очекивано је да ће и модели применом вештачке интелигенције бити успешни у предвиђању (откривању математичке везе између улазних и излазних променљивих).

У реалним условима, тешко је узети у обзир све параметре који утичу на потрошњу енергије (тачно понашање корисника, различите метеоролошке податке, итд.), па самим тим некалибрисан модел направљен у софтверском пакету не може са довољном прецизношћу да предвиди реалну потрошњу енергије. Посебно је интересантно анализирати потрошњу групе зграда различитих намена. Универзитетски кампус Глосхауген је као мањи град – састоји се из 35 зграда, чије су намене разноврсне (канцеларије, учионице, кухиње, спортски објекти, итд) и има укупну површину од око 300.000 m². Управо због тога је одличан пример на коме се може анализирати потрошња енергије комплексне групе зграда. За креирање базе података коришћене су мерене вредности потрошње топлоте из система даљинског грејања прикупљене током студијског боравка на Универзитету у Трондхајму. Метеоролошки подаци су преузети из локалне метеоролошке станице. Прво је неопходно извршити улазну обраду података како би се отклонили подаци са очигледним грешкама у мерењу и уочиле неке шеме енергетског понашања кампуса (режими рада викендом, празницима, радно време, итд.). Тако припремљена експериментална база података биће коришћена за креирање и тестирање различитих модела предвиђања применом вештачке интелигенције.

У току истраживања користиће се теоретске основе из релевантних књига, као и новија светска литература. Наведени су неки од наслова:

1. A. Fouquier, S. Robert, F. Suard, L. Stephan, A. Jay, State of the art in building modelling and energy performances prediction: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 23 (2013) 272–288.
2. N. Fumo, A review on the basics of building energy estimation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31 (2014) 53–60.
3. H.-x. Zhao, F. Magoules, A review on the prediction of building energy consumption, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (6) (2012) 3586–3592.
4. W. N. Hien, L. K. Poh, H. Feriadi, The use of performance-based simulation tools for building design and evaluation - a singapore perspective, *Building and Environment* 35 (8) (2000) 709–736.
5. M. S. Al-Homoud, Computer-aided building energy analysis techniques, *Building and Environment* 36 (4) (2001) 421–433.
6. A. Kusiak, M. Li, Z. Zhang, A data-driven approach for steam load prediction in buildings, *Applied Energy* 87 (3) (2010) 925–933.
7. M. Bauer, J.-L. Scartezzini, A simplified correlation method accounting for heating and cooling loads in energy-efficient buildings, *Energy and Buildings* 27 (2) (1998) 147–154.
8. T. Catalina, J. Virgone, E. Blanco, Development and validation of regression models to predict monthly heating demand for residential buildings, *Energy and buildings* 40 (10) (2008) 1825–1832.
9. S. Katipamula, T. Reddy, D. Claridge, Multivariate regression modeling, *Journal of Solar Energy Engineering* 120 (3) (1998) 177–184.
10. A. H. Neto, F. A. S. Fiorelli, Comparison between detailed model simulation and artificial neural network for forecasting building energy consumption, *Energy and Buildings* 40 (12) (2008) 2169–2176.

11. O. A. Dombaycı, The prediction of heating energy consumption in a model house by using artificial neural networks in denizli-turkey, *Advances in Engineering Software* 41 (2) (2010) 141–147.
12. L. Ekonomou, Greek long-term energy consumption prediction using artificial neural networks, *Energy* 35 (2) (2010) 512–517.
13. R. Kumar, R. Aggarwal, J. Sharma, Energy analysis of a building using artificial neural network: A review, *Energy and Buildings* 65 (2013) 352–358.
14. Q. Li, Q. Meng, J. Cai, H. Yoshino, A. Mochida, Applying support vector machine to predict hourly cooling load in the building, *Applied Energy* 86 (10) (2009) 2249–2256.
15. C.-C. Chang, C.-J. Lin, LIBSVM: A library for support vector machines, *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology* 2 (2011) 27:1–27:27, software available at <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>.
16. L. K. Hansen, P. Salamon, Neural network ensembles, *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* 12 (10) (1990) 993–1001.
17. A. J. Sharkey, Multi-net systems, in: *Combining artificial neural nets*, Springer, 1999, pp. 1–30.
18. S. A. Plić, S. M. Vukmirović, A. M. Erdeljan, F. J. Kulić, Hybrid artificial neural network system for short-term load forecasting, *Thermal Science* 16 (suppl. 1) (2012) 215–224. doi:<http://dx.doi.org/10.2298/TSCI120130073I>.

3. Полазне хипотезе

Приликом прорачуна топлотног оптерећења и симулације рада система у софтверу коришћене су следеће претпоставке:

- једнодимензионо провођење топлоте кроз грађевински омотач зграде
- динамички модел преноса топлоте у згради
- све физичке величине (ρ , λ , c_p) су непроменљиве током времена

Колико год да је детаљан прорачун топлотног оптерећења и симулација рада система за КГХ, многи утицајни параметри нижег реда се занемарују, као и понашање корисника, које је тешко реално проценити. У овом случају, модел применом метода вештачке интелигенције се обучава и тестира на бази израчунатих вредности потрошње енергије за хлађење. Такав модел ће такође подразумевати утицај свих апроксимација и претпоставки које су узете приликом симулација у софтверу. Када се једном креира и обучи модел применом вештачке интелигенције, он се даље независно може користити за предвиђање потрошње енергије за хлађење користећи друге вредности улазних променљивих. Такав модел могу користити инжењери или запослени других струка, без потребе за познавањем рада у симулационим софтверима. Модели се касније могу проширити и обучавати користећи већи број улазних променљивих, чиме би се њихова примена проширила.

Када се анализирају вредности мерене на објекту, тада потрошња енергије за грејање зграде обухвата утицај свих релевантних параметара, иако они нису или не могу бити узети у обзир приликом прорачуна губитака топлоте или процене потрошње конвенционалним методама. У овом случају, модел креиран применом метода вештачке интелигенције се обучава на реалним, мереним вредностима потрошње енергије, а затим се његова тачност предвиђања утврђује поређењем са мереним вредностима у другом периоду (делу базе података одвојеном за

тестирање). Резултати ће показати колико успешно модел применом вештачке интелигенције може да се прилагоди стварним вредностима узимајући као улазне променљиве само неке од најугицајнијих параметара (чије су вредности такође мерене). Претпоставка је да ће обучавањем на довољно великом скупу експерименталних података модели бити у стању да препознају шеме потрошње топлоте из система даљинског грејања објекта. Исправно обучен и тестиран модел се може користити у предвиђању потрошње за неке друге вредности улазних променљивих.

4. Научне методе истраживања

Вештачка неуронска мрежа – ВНН (Artificial Neural Network) је најчешће примењивана техника вештачке интелигенције за предвиђање потрошње енергије зграде. ВНН представљају рачунарску структуру инспирисану биолошким неуронским системом, који се састоји из великог броја веома једноставних и међусобно повезаних процесора (неурона). Главна предност модела са неуронском мрежом је способност „учења“, као и могућност апроксимације нелинеарних веза између улазних и излазних променљивих у веома сложеним системима. У новијој литератури су приказани многобројни успешни модели коришћени за предвиђање у различитим областима машинства.

Метода потпорних вектора МПП (Support Vector Machines) је техника којом се постиже универзално апроксимирање било које вишепараметарске функције са жељеном тачношћу, слично као са вештачком неуронском мрежом. За разлику од неуронских мрежа, МПП је развијена из теорије, а тек у скорије време су истраживачи показали да се овим моделима постижу подједнако добри, ако не и бољи резултати предвиђања него неуронским мрежама. Њихова предност је што су решења јединствена, за разлику од неуронских мрежа које у неким случајевима имају проблем са „преобучавањем“ (overfitting) и заглављивањем у локалном минимуму.

Показује су да су неки проблеми који се јављају у инжењерској пракси, као што је и предвиђање потрошње енергије зграда, превише сложено за једну неуронску мрежу. Због тога је потребно прибегавати новим приступима за побољшање тачности предвиђања. Уз претпоставку да различити модели (неуронске мреже или модели применом методе потпорних вектора) праве грешке на различитим тачкама (скуповима података), иновативни приступ би био креирање ансамбла. У литератури је показано да се комбиновањем излаза различитих модела могу постићи бољи резултати.

5. Очекивани научни допринос

- Модели за предвиђање потрошње енергије КГХ система за хлађење на бази података часовне енергетске симулације модела пословне зграде применом класичних и метода вештачке интелигенције.
- Модели за предвиђање потрошње енергије на бази експерименталних података (стварни метеоролошки подаци и мерена потрошња енергије универзитетског кампуса) применом метода вештачке интелигенције (неуронске мреже и метода потпорних вектора)
- Верификација добијених модела предвиђања потрошње енергије
- Побољшани модели предвиђања применом иновативних приступа (хибридни модели и ансамбли неуронских мрежа).

6. План истраживања и структура рада

С обзиром на сложеност динамичког процеса преношења топлоте у нестационарним условима, за анализу је изабрана потрошња енергије за хлађење модела пословне зграде. Први задатак се састоји у формирању релевантне базе података која ће бити основа за развој и тестирање статистичких модела. Та база ће бити добијена математичким моделовањем потрошње модела пословне зграде у летњем периоду за типичну метеоролошку годину. Неопходно је изабрати и овладати софтвером за симулацију. Биће развијени различити модели за предвиђање потрошње енергије КГХ система за хлађење на бази добијеној симулацијом. Као улазне променљиве користе се карактеристике зграде. Даљим проширивањем базе података и увођењем нових улазних променљивих примена модела може бити проширена. Предвиђања модела ће бити поређена са израчунатим вредностима потрошње енергије добијене детаљним математичким моделом (уз одређене апроксимације) за модел зграду. Друга, експериментална база података ће се састојати из стварних, мерених вредности потрошње топлоте из система даљинског грејања универзитетског кампуса и метеоролошких података прикупљених у локалној метеоролошкој станици. На реалним подацима биће испитана способност предвиђања модела вештачке интелигенције (вештачке неуронске мреже и метода потпорних вектора). Биће приказано поређење различитих метода и побољшање тачности предвиђања кроз иновативни приступ.

Прелиминарна структура дисертације:

- Увод
- Стање науке и технике у области предвиђања потрошње енергије у зградама
- Симулација потрошње енергије КГХ система типичне пословне зграде у Београду применом софтверског алата HAP (Hourly Analysis Program)
- Креирање модела вештачке интелигенције за предвиђање потрошње користећи базу података добијену симулацијом. Модели ће за улазне променљиве користити карактеристике зграде, док ће излаз бити потрошња енергије КГХ система за хлађење
- Анализа дневне потрошње топлоте из система даљинског грејања универзитетског кампуса Норвешког Универзитета за Науку и Технологију - Глосхауген (NTNU) и креирање модела за предвиђање потрошње применом метода вештачке интелигенције
- Побољшања тачности модела применом иновативних приступа
- Анализа часовне потрошње даљинског грејања универзитетског кампуса Норвешког Универзитета за Науку и Технологију - Глосхауген (NTNU) и креирање модела за предвиђање
- Закључна разматрања

7. Закључак и предлог

Анализом података из пријаве кандидаткиње **Александре Сретеновић**, дипл. инж. маш. студента докторских студија, Комисија закључује да је предложена тема актуелна и подобна за израду докторске дисертације, као и да пружа могућност остваривања значајног научног доприноса. Кандидаткиња испуњава све законом предвиђене услове и има научноистраживачке способности за рад на докторској дисертацији.

Имајући у виду све наведено Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидаткињи

Александри А. Сретеновић, дипл. инж. маш. студенту докторских студија

одобри израду докторске дисертације под називом

**„ПРЕДВИЂАЊЕ ПОТРОШЊЕ КГХ СИСТЕМА ПРИМЕНОМ МЕТОДА ВЕШТАЧКЕ
ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ“**

у научној области Машинство – ужа научна област термотехника, за који је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

За менторе докторске дисертације предлажу се проф. др Бранислав Живковић, редовни професор на Катедри за термотехнику Машинског факултета Универзитета у Београду и доц. др Радиша Јовановић, доцент на Катедри за аутоматско управљање Машинског факултета Универзитета у Београду.

У Београду, 12.01.2016. године

Чланови Комисије

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

др Радиша Јовановић, доцент
Машински факултет Универзитета у Београду

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

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

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

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Александру Сретеновић, дипл. маш. инж.

Име и презиме ментора: Бранислав Живковић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Jaćimović B., **Živković B.**, Genić S., Zekonja P.: SUPPLY WATER TEMPERATURE REGULATION PROBLEMS IN DISTRICT HEATING NETWORK WITH BOTH DIRECT AND INDIRECT CONNECTION - Časopis "Energy and Buildings", br. 28, str. 317 - 322, izdanje Elsevier Science, Ženeva, Švajcarska, ISSN 0378-7788, 1998. (IF = **0,34** (M22))
2. Stevanović V., Prica S., Maslovarić B., **Živković B.**, Nikodijević S.: EFFICIENT NUMERICAL METHOD FOR DISTRICT HEATING SYSTEM HYDRAULICS - Časopis "Energy, Conversion and Management", br. 48, str. 1536 - 1543, izdanje Elsevier Science, Ženeva, Švajcarska, ISSN 0196-8904, 2007. (IF = **1,18** (M22))
3. Stevanović V., **Živković B.**, Prica S., Maslovarić B., Karamarković V., Trkulja V.: PREDICTION OF THERMAL TRANSIENTS IN DISTRICT HEATING SYSTEMS - Časopis "Energy, Conversion and Management", br. 50, str. 2167 - 2173, izdanje Elsevier Science, Ženeva, Švajcarska, ISSN 0196-8904, 2009. (IF = **1,944** (M22))
4. Musbah M., **Živković B.**, Kosi F., Abdulgalil M., Sretenović A.: SOLAR ENERGY CONTRIBUTION TO THE ENERGY DEMAND FOR AIR CONDITIONING SYSTEM IN AN OFFICE BUILDING UNDER TRIPOLI CLIMATE CONDITIONS, International Scientific Journal „Thermal Science“, Vol. 18 Supplement 1, page S1-S12, DOI: 10.2298/TSCI121229124M, ISN 0354-9836, 2014 (IF = **1,222** за 2014. годину (M22))
5. Božić V., Cvetković S., **Živković B.**: INFLUENCE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES ON CLIMATE CHANGE MITIGATION IN THE REPUBLIC OF SERBIA, International Scientific Journal „Thermal Science“, Vol. 19, No 2, pp 411-424 DOI: 10.2298/TSCI130221047B, ISN 2334-7163, 2015 (IF = **1,222** за 2014. годину (M22))
6. Jovanović R., Sretenović A., **Živković B.**: ENSEMBLE OF VARIOUS NEURAL NETWORKS FOR PREDICTION OF HEATING ENERGY CONSUMPTION, Energy and Buildings No 94, pp 189/199, ISSN 0378-7788, Elsevier, 2015 (IF = **2,884** за 2014. годину (M21))

7. Jovanović Radiša Ž., Sretenović Aleksandra A., **Živković Branislav D.** „Multistage ensemble of feedforward neural networks for prediction of heating energy consumption”, Thermal Science, Online first 2015, doi:10.2298/TSCI150122140J (IF = **1,222** за 2014. годину (M22))

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум 11.01.2016.

М.П.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

За кандидата:

Име и презиме ментора: Радиша Јовановић

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Savić, B., **Jovanović, R.**, Software system DIORES for the operation diagnosis of a steam power plant unit, *Energy*, (ISSN 0360-5442), Vol.36, pp. 1187-1195, 2011, (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 3.597 (2010), M21), [doi:10.1016/j.energy.2010.11.028](https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.11.028)
2. **Jovanovic, R.**, Sretenovic, A., Various multistage ensembles for prediction of heating energy consumption, *Modeling Identification and Control*, (ISSN 1890-1328), Vol 36, No.2, pp.119-132, 2015, (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 0.778 (2014), M23), [doi:10.4173/mic.2015.2.4](https://doi.org/10.4173/mic.2015.2.4)
3. **Jovanović, R.**, Sretenović, A., Živković, B., Ensemble of various neural networks for prediction of heating energy consumption. *Energy and Buildings*, (ISSN 0378-7788), Vol. 94, pp.189-199, 2015, (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 2.884 (2014), M21), [doi:10.1016/j.enbuild.2015.02.052](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.052)
4. **Jovanović, R.**, Sretenović, A., Živković, B., Multistage ensemble of feedforward neural networks for prediction of heating energy consumption. *Thermal Science*, (ISSN 0354-9836), 00, 2015, (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 1.222 (2014), M22) [doi:10.2298/TSCI150122140J](https://doi.org/10.2298/TSCI150122140J)
5. Bučevac, Z., **Jovanović, R.**, Discrete-Time Chattering Free Exponentially Stabilizing Sliding Mode Scalar Control via Lyapunov's Method, *International Journal of Control, Automation, and Systems*, (ISSN 1598-6446), Vol. 14, No. 3, June 2016, (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 0.954 (2014), M23), 10.1007/s12555-014-0297-8

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу

часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11,M12,M13,M14,M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односно дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум

М.П.
