

Наставно-научном већу

Предмет: Подобност теме и кандидата Марка Јелића, мастер инж. електротехнике и рачунарства за израду докторске дисертације „*Хеуристичка оптимизација система топлотне пумпе са више извора енергије*“ тј. „*Heuristic optimization of multisource heat pump systems*“ (енг.)

Одлуком бр. 5015/19-1 од 31.1.2022. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Марка Јелића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме *Хеуристичка оптимизација система топлотне пумпе са више извора енергије*“ тј. „*Heuristic optimization of multisource heat pump systems*“ (енг.).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Марко Јелић рођен је у октобру 1995. године. Математичку гимназију уписује у септембру 2010. године где наставља да се активно такмичи из физике и касније осваја две прве награде на државним такмичењима у првом и трећем разреду и трећу награду у другом разреду. Поред тога, у сарадњи са колегама из разреда осваја прво место на такмичењу „Узми знање, не пристај на мање“ у развијању алата у LabView-у за мерење у школској лабораторији, као и прво место на „Met Mobile Challenge“ такмичењу за развијање концепта WindowsPhone апликације. Математичку гимназију завршава 2014. године као носилац Вукове дипломе. Свој матурски рад на тему обраде резултата мерења касније проширује и објављује као електронску књигу „Приручник за израду мисаоних експерименталних задатака на такмичењима из физике“ која је промовисана од стране комисија за такмичење за основну и средњу школу. На ову тему одржао је и неколико гостујућих предавања у оквиру секције за физику Математичке гимназије где је учествовао у припреми ђака за такмичења и креирању лабораторијских вежби. Поред тога, у овом периоду кроз рад на додатној настави и полагање одговарајућих испита стиче сертификат за рад у LabView окружењу који касније и обнавља на Факултету, као и потврду о завршеном курсу за Oracle SQL базе података.

Основне академске студије уписује на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 2014. године на студијском програму Електротехника и рачунарство где се почетком друге године профилише као студент модула Сигнали и системи са аутоматиком, роботиком и касније вештачком интелигенцијом и оптимизацијом као главним областима у фокусу студирања. Током

прве године студија учествовао је у тиму на конкурс компаније „Schneider Electric“ за развијање паметне Андроид апликације која потпомаже енергетску ефикасност у домаћинствима, а по почетку друге године почиње да ради као демонстратор у лабораторији Катедре за општу електротехнику где остаје ангажован све до завршетка основних студија. По завршетку друге године обавља две стручне праксе, једну у фирми SOL Software где се бави развојем аутоматизованог окружења за тестирање библиотека кода и другу при Лабораторији за електрична мерења Електротехничког факултета на колаборативном пројекту са Лабораторијом за механику флуида и хидропнеуматске системе на Машинском факултету Универзитета у Београду везаном за аутоматизацију управљања тестног постројења водовода. Почетком треће године се придружује Катедри за рачунарску технику и информатику као демонстратор на предмету Објектно оријентисано програмирање, а касније и Катедри за сигнале и системе као демонстратор на предметима Системи аутоматског управљања 2 и Нелинеарни системи управљања. На крају треће године ради још једну праксу и то у фирму „Инфорамтика“ где се упознаје са њиховом линијом PLC рачунара и имплементацијом микроконтролера. Почетком четврте године учествује на међународном такмичењу из роботике и вештачке интелигенције „RoboMac“ у Македонији. Пред сам завршетак факултета учествује на међународном такмичењу у аутоматизи „Siemens PLC+ Simpatic Challenge“ где екипа чији је био члан осваја пласман у финале као једна од најбоље три из Србије. Уз то добија и TIA Micro сертификат за PLC програмера. Такмичарску каријеру завршава у четвртој години студија сребрном медаљом на Електријади као један од чланова екипе Факултета на такмичењу из физике. Током студија такође је учествовао у органима Факултета као студентски представник у Наставно-научном већу, а такође је био ангажован као изабрани делегат од стране студената на модулу Сигнали и системи. Основне студије завршава у септембру 2018. године одбраном дипломског рада „Реализација и управљање магнетном левитацијом“ под менторством проф. др Драгана Олћана.

Након завршетка основних студија уписује мастер академске студије на Електротехничком факултету такође на модулу Сигнали и системи. Избором стручних предмета усмерава се ка методама за оптимизацијом као главном правцу усавршавања, али и машинском учењу и различитим применама вештачке интелигенције. Мастер студије завршава у септембру 2019. године одбраном мастер рада „Интегрисана оптимизација инсталираних капацитета обновљивих извора и складишта енергије“ под менторством доц. др Александре Крстић.

Од лета 2018. године до данас, на позив генералне директорке, проф. др Сање Вранеш, придружује се прво као практикант па после и као стално запослени у групи истраживача на Институту Михајло Пупин Универзитета у Београду која се бави европским научноистраживачким пројектима. Као члан ове групе, паралелно са студијама на Електротехничком факултету, највише се бави развојем и применом техника оптимизација у домену енергије, праћења понашања крајњих корисника, али и интеграцији и управљању системима који укључују иновативне технологије обновљивих извора енергија ради побољшања енергетске ефикасности. Током рада у институту ангажован је на неколико истраживачких пројеката у овом домену из програма финансирања „Horizon 2020“ Европске комисије: InBetween, RESPOND, REACT, IDEAS, HESTIA, LAMBDA и SINERGY где Институт сарађује са еминентним европским институцијама. У оквиру рада у Институту, у колаборацији са колегама са различитих европских универзитета и института, објављује четири научна рада у међународним часописима са SCI листе, шест радова на међународним конференцијама и три поглавља у књигама.

У поменутих публикацијама презентовао је свој истраживачки рад који је превасходно био фокусиран на развој оптимизационих решења за планирање потрошње и производње електричне енергије. Радови под називима Towards Self-Sustainable Island Grids through Optimal Utilization of Renewable Energy Potential and Community Engagement и Transition towards decarbonisation for islands: Development of an integrated energy planning platform and application предлажу решења које потпомажу енергетску само-одрживост на малим острвима максималним искоришћењем доступне инфраструктуре и флексибилности корисника. Даље, у раду под насловом Demand-Side Flexibility

Impact on Prosumer Energy System Planning презентовао је решење за евалуацију утицаја флексибилности на страни потрошње на проблем планирања хибридних електричних система, док се у раду An AI-Powered System for Residential Demand Response дискутује ниво флексибилности у различитим околностима. Истраживање је проширио и на домен дистрибутивне мреже, што је објавио у оквиру рада под насловом Effects of coordinated prosumer operation on power distribution systems.

Осим рада на развоју и публикацијама, учествује и у серији семинара који се баве применама различитих софтверских технологија у различитим доменима, од којих се истиче „Applied Machine Learning Days“ у организацији EPFL-а. У периоду од 2020. године, као ужа област интересовања и истраживања профилише се нумеричка симулација и оптимизација рада система грејања и хлађења користећи одрживе технологије као што су топлотне пумпе, али и интеграција различитих флексибилних електронских уређаја у процес оптимизације дистрибутивних електроенергетских система.

У октобру 2019. године уписује докторске академске студије под менторством доц. др Александре Крстић на Електротехничком факултету Универзитета у Београду на модулу Управљање системима и обрада сигнала. У склопу докторских студија даље се профилише ка употреби техника вештачке интелигенције и оптимизације као и уопштеног математичког моделовања у различитим доменима. Током докторских студија истичу се рад на предмету „Дистрибутивни системи – оптимално управљање и експлоатација“ који је презентован на конференцији TELFOR 2021, као и семинарски рад на предмету „Управљање сложеним системима“ где је радио на развоју оптимизације варијабилних тарифа електричне енергије за потребе рада агрегатора.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Област истраживања кандидата Марка Јелића обухватају иновативне приступе употреби техника оптимизације у проблемима управљања енергијом са посебним фокусом на флексибилну потрошњу и интеграцију хибридних система тј. инфраструктура са више извора енергије. Конкретно, у оквиру досадашњег рада у Институту Михајло Пупин Универзитета у Београду, учествовао је на седам међународних научноистраживачких пројеката финансираних од стране Европске комисије у домену енергије у улогама од члана тима на појединачним задацима, па до руководиоца радних пакета који обједињују више различитих истраживачких задатака. Такође је учествовао и на неколико домаћих пројеката. У току свог рада, а у сарадњи са коауторима из различитих институција широм Европе, објавио је четири рада у међународним часописима, али и шест радова на међународним конференцијама и учествовао у писању неколико поглавља у књигама.

Преглед остварених публикација кандидата налази се у наставку:

➤ Радови у међународним часописима:

- Категорија M22 – Рад у истакнутом међународном часопису

1. A. Barney, H. Polatidis, **M. Jelić**, N. Tomasević, G. Pillai, and D. Haralambopoulos, “Transition towards decarbonisation for islands: Development of an integrated energy planning platform and application,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 47, p. 101501, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.SETA.2021.101501. (IF=5.353)
2. I. Esnaola-Gonzalez, **M. Jelić**, D. Pujić, F. J. Diez, and N. Tomašević, “An AI-Powered System for Residential Demand Response,” *Electronics 2021, Vol. 10, Page 693*, vol. 10, no. 6, p. 693, Mar. 2021, doi: 10.3390/ELECTRONICS10060693. (IF=2.397)

- Категорија M23 – Рад у међународном часопису

1. **M. Jelić**, M. Batić, and N. Tomašević, “Demand-Side Flexibility Impact on Prosumer Energy System Planning,” *Energies* 2021, Vol. 14, Page 7076, vol. 14, no. 21, p. 7076, Oct. 2021, doi: 10.3390/EN14217076 (IF=3.004)
2. **M. Jelić**, M. Batić, N. Tomašević, A. Barney, H. Polatidis, T. Crosbie, D. Abi Ghanem, M. Short and G. Pillai, “Towards Self-Sustainable Island Grids through Optimal Utilization of Renewable Energy Potential and Community Engagement,” *Energies* 2020, Vol. 13, Page 3386, vol. 13, no. 13, p. 3386, Jul. 2020, doi: 10.3390/EN13133386. (IF=3.004)

➤ Радови на међународним конференцијама:

- Категорија M33 – Саопштење са међународног скупа штампано у целини

1. **M. Jelić**, D. Šošić, and N. Tomašević, “Effects of coordinated prosumer operation on power distribution systems,” in 2021 29th Telecommunications Forum (TELFOR), Nov. 2021, pp. 1–4. doi: 10.1109/TELFOR52709.2021.9653268.
2. D. Popadić, L. Berbakov, **M. Jelić**, and M. Batić, “Ontology Enabled Internet of Things System for Smart Buildings,” in *ICIST 2020 Proceedings*, 2020, pp. 119–122. [Online]. Available: <http://www.eventiotic.com/eventiotic/library/paper/597>
3. **M. Jelić**, D. Pujić, and M. Batić, “Correlation between IoT sensor measurements and total electricity consumption in smart homes,” in *ICIST 2020 Proceedings*, 2020, pp. 99–103. [Online]. Available: <http://www.eventiotic.com/eventiotic/library/paper/593>
4. D. Pujić, **M. Jelić**, and N. Tomašević, “Comparison between different ML approaches for PV and STC production forecasting using real world data,” in *ICIST 2020 Proceedings*, 2020, pp. 94–98. [Online]. Available: <http://www.eventiotic.com/eventiotic/library/paper/592>
5. D. Pujić, **M. Jelić**, M. Batić, and N. Tomašević, “Energy user benchmarking using clustering approach,” in *ICIST 2020 Proceedings*, 2020, pp. 89–93. [Online]. Available: <http://www.eventiotic.com/eventiotic/library/paper/591>
6. **M. Jelić**, D. Pujić, D. Paunović, and H. Jabeen, “A State-of-the-Art Review on Big Data Technologies,” in *ICIST 2019 Proceedings*, 2019, vol. 1, pp. 130–134. [Online]. Available: <https://www.eventiotic.com/eventiotic/library/paper/495>

➤ Техничка решења:

- Категорија M82 – Ново техничко решење (метода) примењено на националном нивоу

1. **Марко Јелић**, Марко Батић, Никола Томашевић, Сања Вранеш, „Развој интегрисаног оптимизационог алгоритма за анализу утицаја флексибилности потрошње на оптималну конфигурацију хибридних микро-мрежа“, 2019.

- Категорија M83 – Битно побољшано техничко решење на међународном нивоу

1. **Марко Јелић**, Никола Томашевић, Деа Пујић, Марко Батић, Систем за планирање снабдевања електричном енергијом географских острва, 2021.
2. Деа Пујић, **Марко Јелић**, Никола Томашевић, Марко Батић, Систем за управљање потрошњом електричне енергије на бази ВИ, 2021.

3. **Марко Јелић**, Никола Томашевић, Марко Батић, „Симулација и евалуација ефеката флексибилности крајње потрошње електричне енергије на географским острвима“, 2020.
- Категорија М84 – Битно побољшано техничко решење на националном нивоу
 1. **Марко Јелић**, Марко Батић, Никола Томашевић, Ефекти управљања потрошњом електричне енергије на исплативост ОИЕ, 2021.
 - Категорија М85 – Ново техничко решење (није комерцијализовано)
 1. Деа Пујић, **Марко Јелић**, Марко Батић, Никола Томашевић, „Рангирање корисника по енергетској ефикасности коришћењем ненадгледаног приступа“, 2020.
- Неверификоване објављене публикације и прихваћене публикације у штампани:
- Категорија М13 – Монографска студија/поглавље у књизи М11 или рад у тематском зборнику водећег међународног значаја
 1. **M. Jelić**, D. Pujić, N. Tomašević, P. Lissa, D. Peretti Correa, and M. Keane, “Case study of Aran Islands: Optimal DR control of heat pumps and appliances,” in *IDR2021: Industrial Demand Response: Methods, Best practices, Case Studies, and Applications*, H. H. Alhelou, P. Siano, and A. Moreno-Muñoz, Eds. London: IET - Institution of Engineering and Technology, 2021. (*accepted, book in preparation*)
 - Категорија М15 – Лексикографска јединица или карта у научној публикацији водећег међународног значаја
 1. V. Janev, D. Pujić, **M. Jelić**, and M.-E. Vidal, “Chapter 9 Survey on Big Data Applications,” in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 12072 LNCS, Springer, Cham, 2020, pp. 149–164. doi: 10.1007/978-3-030-53199-7_9.
 2. D. Pujić, **M. Jelić**, N. Tomašević, and M. Batić, “Chapter 10 Case Study from the Energy Domain,” in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 12072 LNCS, Springer, Cham, 2020, pp. 165–180. doi: 10.1007/978-3-030-53199-7_10.
 - Категорија М33 – Саопштење са међународног скупа штампано у целини
 1. **M. Jelić**, D. Pujić, and M. Batić, “Simulation of heat pump performances in buildings,” in *ICIST 2022 Proceedings (accepted, awaiting presentation)*
 2. D. Pujić, **M. Jelić**, M. Batić, and N. Tomašević “Application of Reinforcement Learning for Control of Heat Pump Systems,” in *ICIST 2022 Proceedings (accepted, awaiting presentation)*

У склопу докторских студија, кандидат је положио све неопходне испите са просечном оценом 10,0. Преглед положених испита налази се у наставку:

1. 19Д091УНР Увод у научни рад
2. 19Д021ДС Дистрибутивни системи - оптимално планирање и експлоатација
3. 19Д051ОАС Оптимални и адаптивни стохастички системи
4. 19Д051УСС Управљање сложеним системима
5. 19Д111СТ Софтверска техника
6. 13Д051ТОП Технике обраде и препознавања говорног сигнала

7. 13Д051НМ Неуралне мреже
8. 13Д111ССР Софтверски системи за рад у реалном времену
9. 13Д051КЕС Класификација и естимација сигнала
10. 13Д111ВИЕ Вештачка интелигенција и експертски системи

Дана 28.2.2022. године, Марко Јелић је полагао испит научне заснованости теме докторске дисертације (докторски испит) пред комисијом у саставу: проф. др Жељко Ђуровић, др Марко Батић и доц. др Томислав Рајић. Оцена комисије је да је кандидат, Марко Јелић, на том испиту добио оцену *задовољно*.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Током писања овог извештаја, Комисија је узела у обзир све претходно наведене чињенице и резултате досадашњег рада кандидата Марка Јелића. Такође, са посебном пажњом размотрена су искуства кандидата као и претходно остварени резултати у погледу научноистраживачког рада у контексту компоненти које чине истраживачки профил кандидата за докторску дисертацију. У том процесу, Комисија је стекла увид у његове способности за научноистраживачки рад као и могућности да током израде дисертације на предложену тему оствари резултате који ће бити вредновани од стране међународне научне заједнице. Став Комисије је позитиван и након детаљног образложења саме теме, Комисија предлаже да она буде усвојена, као и да кандидат добије могућност наставка са изразом саме докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

По проценама Европске статистичке канцеларије (Еуростата) [1], удео енергије произведене од стране обновљивих извора енергије у ЕУ-27 региону порастао је са око 10% колико је био 2005. године на 21,3% 2020. године. Иако је овим благо превазиђена претходно задата граница од 20%, следећи циљ од 32% дефинисан је већ за 2030. годину. Са повећањем удела обновљивих извора енергије у електроенергетском систему, због њиховог непредвидивог понашања које је често везано за стохастичке метеоролошке процесе (као што је рецимо случај са соларним панелима и ветрогенераторима), али и због њихове неуправљиве природе, јављају се изразити проблеми у регулацији стабилности мреже [2], [3]. Наиме, инертност електроенергетског система којом се традиционално управљало користећи базне (јаке и стабилне) генераторске капацитете као што су нуклеарне електране и термоелектране у комбинацији са хидроцентралама које допуњују недостајући варијабилни капацитет бива све више и више угрожена.

Сходно томе, за потребе балансирања варијабилне производње и потрошње, прибегава се иновативним решењима која експлоатишу не само капацитете на страни произвођача енергије већ залазе у домен саме потрошње и покушавају да искористе све доступне капацитете зарад одржавања стабилности. У жељи да се максимизује експлоатација флексибилности на страни потрошње, разматрају се сви могући капацитети којима располажу крајњи корисници, било да се ради о уређајима [4] (тј. потрошачима) који су од раније у употреби и тек се укључују у паметне системе управљања енергијом или капацитетима које доносе нови уређаји који се инсталирају као што су батерије, топлотне пумпе, итд. Имајући у виду процене Еуростата [5] да се у домаћинствима широм Европе троши око 63,6% енергије на грејање простора и 14,6% на загревање воде, употреба баш топлотних пумпи је препозната као кључни начин да се у систем уведе додатна количина флексибилности у потрошњи [6], [7] кроз паметну употребу термалне инертности зграда [8].

Основни предмет предметне докторске дисертације јесте развој нових и побољшање тренутно постојећих решења, као на пример [9], [10] и [11], за нумеричку симулацију и хеуристичку оптимизацију рада комплексних енергетских система који укључују топлотне пумпе као централни елемент. Разматраће се системи са више извора енергије тј. са више различитих управљачких

могућности чији избор резултира различитим нивоима енергетске ефикасности у зависности од стохастичких услова (метеоролошких параметара, различитих корисничких захтева, итд.).

Сам циљ истраживања биће развој модела који на веран начин осликава динамику једног таквог система и његова верификација у односу на реално постројење које се моделује. Конкретно, прво ће бити развијени одговарајући калибрисани физички модели свих релевантних компоненти система. Након тога, формира се интегрисан модел који се може евалуирати при различитим радним условима користећи технике нумеричке минимизације ради проналажења стабилне радне тачке. Потом се, кроз одговарајуће модификације на систему, омогућава флексибилност у погледу одабира радног режима. Та флексибилност се даље ставља на располагање оптимизационом алгоритму који истовремено разматра предвиђено кретање свих кључних променљивих, са стране окружења, самог система, али и са стране корисника, и одређује најбољи распоред одабира радних режима. Коначно, добијени систем се реализује у виду софтверске компоненте која се лако даље интегрише са остатком управљачких структура са могућношћу комуникације са контролерима на нижем нивоу кроз спецификацију одговарајућих референтних сигнала (нпр. позиција вентила, референтних температура, протока флуида, итд.).

Развој оваквог решења изузетно је релевантан у контексту савремених покушаја за очување животне средине и дугорочнијег балансирања производње и потрошње енергије. У том контексту, а имајући у виду велики потенцијал ефикасне употребе топлотних пумпи као уређаја високе ефикасности у погледу грејања и хлађења, али и њихову предвиђену све ширу распрострањеност у будућности, конкретан значај предложеног истраживања може се сумирати кроз неколико јасно дефинисаних ставки:

- Верно моделирање појединачних компоненти система на начин који би адекватно пратио динамику процеса који оне описују, али истовремено нудећи баланс између комплексности и брзине извршавања нужен као основу за развој даљих, рачунарски захтевних, унапређења система.
- Адекватан избор оптимизационог критеријума који ће бити у складу са наметнутим захтевима, а истовремено омогућити реализацију која би била изводљива у реалном времену на стандардним конфигурацијама.
- Интегрисање оптимизационих алгоритама са циљем да се омогући одабир извора енергије у времену на интелигентан начин, у складу са тренутним, али и предвиђеним, околностима и захтевима корисника. Главни смисао овакве интеграције јесте активна тј. динамичка максимизација свеопште енергетске ефикасности система у дужем временском периоду (нпр. у хоризонту од два или три дана) као супротност једноставном приступу одабира базираном на предефинисаним правилима.
- Посредно, кроз овакав вид управљања повећава се значај флексибилности на страни потрошње кроз интеграцију термалног домена и побољшавају се могућности балансирања енергије у ширем контексту електроенергетских система.
- Развој окружења за моделирање и управљање иновативним системом за грејање и хлађење на бази топлотне пумпе користећи сет отворених библиотека са циљем да се оно може лако интегрисати у постојеће индустријски прихваћене архитектуре система за аутоматско управљање. Овакав приступ представља контраст традиционалној употреби специфичних и често скувих комерцијалних софтвера за моделирање који се не могу лако даље интегрисати након развоја и верификације модела.

Релевантни радови из области истраживања

[1] "Share of energy consumption from renewable sources in Europe." [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/ims/share-of-energy-consumption-from>. [Accessed: 03-Dec-2021]

- [2] S. Impram, S. Varbak Nese, and B. Oral, "Challenges of renewable energy penetration on power system flexibility: A survey," *Energy Strategy Reviews*, vol. 31, p. 100539, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.esr.2020.100539
- [3] D. Al kez et al., "A critical evaluation of grid stability and codes, energy storage and smart loads in power systems with wind generation," *Energy*, vol. 205, p. 117671, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117671
- [4] M. Jelić, M. Batić, and N. Tomašević, "Demand-Side Flexibility Impact on Prosumer Energy System Planning," *Energies*, vol. 14, no. 21, p. 7076, Jan. 2021, doi: 10.3390/en14217076
- [5] Energy consumption in households." [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households. [Accessed: 03-Dec-2021]
- [6] C. F. del Valle, E. Taibi "Demand-side flexibility for power sector transformation"; International Renewable Energy Agency: Bonn, Germany, 2019.
- [7] C. Finck, R. Li, R. Kramer, and W. Zeiler, "Quantifying demand flexibility of power-to-heat and thermal energy storage in the control of building heating systems," *Applied Energy*, vol. 209, pp. 409–425, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.11.036.
- [8] S. Verbeke and A. Audenaert, "Thermal inertia in buildings: A review of impacts across climate and building use," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 2300–2318, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.08.083
- [9] Y. Wang et al., "Modeling and operation optimization of an integrated ground source heat pump and solar PVT system based on heat current method," *Solar Energy*, vol. 218, pp. 492–502, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.solener.2021.03.003.
- [10] S. Kavian, C. Aghanajafi, H. Jafari Mosleh, A. Nazari, and A. Nazari, "Exergy, economic and environmental evaluation of an optimized hybrid photovoltaic-geothermal heat pump system," *Applied Energy*, vol. 276, p. 115469, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115469.
- [11] E. Bellos and C. Tzivanidis, "Multi-objective optimization of a solar assisted heat pump-driven by hybrid PV," *Applied Thermal Engineering*, vol. 149, pp. 528–535, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.12.059.

3. Полазне хипотезе

Истраживање у оквиру предметне дисертације базира се на следећим ставкама:

- Термални домен представља значајан потенцијал у погледу отварања додатне управљиве флексибилности на страни потрошње.
- Топлотне пумпе могу играти кључну улогу у повезивању термалног и електричног домена и стварању простора за повећање енергетске ефикасности у глобалу.
- На основу доступних мерења могуће је развити одговарајуће моделе појединих компоненти система.
- Коришћењем различитих метода оптимизације може се унапредити енергетска ефикасност разматраног система топлотне пумпе.
- Постојећа решења за управљање системима топлотне пумпе са више извора често је компликовано интегрисати са остатком управљаче архитектуре у смислу комуникације са контролерима и системима за супервизијско управљање и аквизицију података (енг. SCADA), односно постоје могућности за унапређење у оквиру овог аспекта.

- Постојећи приступи овој проблематици недовољно пажње посвећују оптимизацији као техници за побољшање перформанси рада система кроз паметно оперативно управљање.

4. Научне методе истраживања

У оквиру истраживања које ће бити представљено у предметној докторској дисертацији, биће коришћено неколико различитих метода истраживања:

- Компаративна анализа различитих приступа који се користе у индустрији и литератури која покрива релевантне области за предложену тему, односно испитивање ограничења и предности које ови појединачни приступи имају једни у односу на друге.
- Статистичка анализа сета података прикупљеног са реалног постројења за потребе развоја и верификације рада модела.
- Моделирање и симулација појединачних компоненти од којих је систем сачињен.
- Тестирање и верификација рада модела у различитим околностима.
- Прилагођење различитих оптимизационих алгоритама за примене на конкретном проблему повећања ефикасности.
- Упоредна анализа оптимизацијом остварених резултата са радом референтног, у пракси коришћеног, алгорита.
- Генерализација развијеног модела за потребе коришћења у различитим конфигурацијама система.

5. Очекивани научни доприноси

Основни научни допринос предметне докторске дисертације огледа се у проширивању тренутно релативно скромног обима научне грађе који се бави тематиком интегрисане нумеричке симулације и оптимизације система топлотних пумпи са више извора енергије. Битан фактор истраживања јесте и то да ће предложено оптимизационо решење бити реализовано тако да омогућава употребу система у реалном окружењу, тј. омогућиће истовремену употребу физичког модела за евалуацију тренутног стања и плана рада у даљем периоду. Као резултат, развијени модел касније се може лако уклопити у продукционо окружење и једноставно надградити (уз минималне нужне измене ради прилагођења) како би се користио у паралели са пратећим хардверским компонентама које описује. Остали конкретни научни доприноси који се могу очекивати од истраживања које ће пратити израду предметне докторске дисертације могу се сумирати у следећим тачкама:

- Биће изложен критички осврт на већ постојећи сет решења симулација и оптимизација термалних процеса тј. радова који се фокусирају на сличну тематику. Уз то, биће обављена анализа стања решености проблема у релевантној литератури на основу које је могуће детектовати потенцијална места за даља побољшања као и кључне проблеме који тренутно постоје.
- Биће извршена анализа различитих, што комерцијалних, што широко доступних и отворених решења, која омогућавају моделирање термалних процеса у контексту управљања и планирања рада.
- Биће развијени математички модели засновани на физичким процесима, на основу којих се може приступити процесу симулирања и евалуацији процеса који се дешавају у оквиру система који укључују топлотне пумпе као и различите варијанте извора енергије за њих. Ови модели, који ће описивати кључне динамичке процесе који утичу на ефикасност самог система, биће примењени за даљи развој алгорита за оптимизацију рада топлотне пумпе.

- Биће формулисан критеријум оптималности и пажљиво изабране променљиве проблема оптимизације тако да се направи компромис између сложености целокупног система и могућности рада у реалном времену, а са циљем повећања ефикасности.
- Различити оптимизациони приступи над развијеним симулационим окружењем биће на одговарајући начин прилагођени и тестирани на конкретном систему, водећи рачуна о граничним условима, ограничењима реалног система, корисности предложеног решења у реалном времену и другом.
- Функционалност предложеног решења биће тестирана и верификована на реалном примеру постројења.
- Биће развијена методологија за једноставну имплементацију предложеног решења у контексту реалног продукционог окружења. Уз то, биће анализирана интеграција са различитим уређајима који се користе у оквиру система (нпр. појединачне термодинамичке тј. хидрауличке компоненте као што су измењивачи топлоте, пумпе, компресори, вентили итд., или уређаји у систему управљања као што је програмабилни логички контролер (енг. PLC), систем за супервизијско управљање и аквизицију података (енг. SCADA) и графички интерфејс човек-машина (енг. HMI)).

6. План истраживања и структура рада

У оквиру истраживања на тему предметне дисертације, планирани су следећи кораци:

- Анализа релевантних приступа у литератури и ревизија тренутно постојећих софтверских решења за проблем симулације и оптимизације рада система који укључују топлотне пумпе.
- Развој симулационог модела (прототипа) који верно представља кључне динамичке процесе у систему.
- Калибрација предложеног модела и верификација рада система.
- Имплементација и тестирање оптимизационих алгоритама у реалном окружењу зарад осигуравања енергетски ефикасног рада.
- Имплементација развијеног софтверског решења у контексту ширег система за аутоматско управљање и надзор.
- Публикација прикупљених резултата у релевантном међународном часопису и израда саме дисертације.

Планирани садржај дисертације прати наведене кораке и сходно томе укључује осврт на релевантна решења у сродној научној литератури са критичком анализом њихових недостатака и компаративном анализом предложених приступа. Даље, укључује неопходну математичку и физичку позадину термодинамичких процеса који се моделирају и над њима надграђује модел и оптимизационог окружења зарад реализације иновативног приступа управљању системом са главним циљем у виду повећања енергетске ефикасности и отварању додатне флексибилности на страни потрошње. Реализација предложеног решења биће дискутована на примеру реалног постројења, те ће у том контексту бити приказан процес верификације рада система као и различите могућности које овакав систем нуди.

7. Закључци и предлог

Током писања овог Извештаја, Комисија је узела у обзир све релевантне чињенице које формирају слику о подобности теме и кандидата за реализацију предвиђених истраживања. Имајући у виду резултате досадашњег рада кандидата Марка Јелића који је показан у фази истраживања у оквиру докторске дисертације као и његово истраживачко искуство, Комисија је стекла неспорни утисак да

је кандидат способан за научноистраживачки рад као и реализацију предвиђених истраживачких задатака. Такође, анализирајући предложену тему под називом „*Heuristic optimization of multisource heat pump systems*“ (енг.) у контексту тренутно релевантних научних истраживања и како активних тако и будућих пројеката, уз анализу непосредних циљева, као и очекиваних резултата и доприноса истраживања, Комисија је у потпуности сагласна да оваква тема задовољава све услове подобности за докторску дисертацију. Уз то, комисија констатује да ова тема припада научној области *Управљање системима и обрада сигнала*, као и да је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матичан за ову научну област. Такође, Комисија предлаже доц. др Александру Крстић, запослену на Електротехничком факултету, за ментора. У контексту овог предлога, уз Извештај је приложен списак радова доц. др Александре Крстић који је квалификују за ментора.

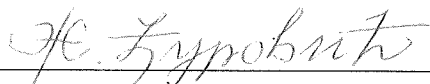
Коначно, у закључку овог Извештаја, а имајући у виду све наведено, Комисија има част да Наставно-научном већу Електротехничког Факултета Универзитета у Београду предложи да прихвати тему докторске дисертације „*Heuristic optimization of multisource heat pump systems*“ (енг.) и да кандидату Марку Јелићу омогући да приступи њеној изради, и то на енглеском језику.

У Београду, 1.3.2022. године.

Комисија,



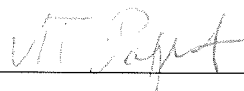
др Александра Крстић, доцент
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



др Жељко Ћуровић, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



др Марко Батић, научни сарадник
Универзитет у Београду - Институт Михајло Пупин



др Томислав Рајић, доцент
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет