

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Подобност теме и кандидата Страхиње Јанковић за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 5015/12-1 од 19.12.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Страхиње Јанковић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под насловом:

**„Енергетски неутрални соларно напајани бежични сензорски чворови“  
(енг. „Energy neutral solar powered wireless sensor nodes“).**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### 1. Подаци о кандидату

#### 1.1. Биографски подаци

Страхиња Јанковић је рођен 30.01.1988. године у Ћуприји, Србија. Основну школу ”Нада Поповић“ и Гимназију завршио је у Крушевцу, као Вуковац и ђак генерације. Као ученик четврте године Гимназије учествовао је на 38. међународној олимпијади из физике одржаној 2007. године у Исфахану, ИР Иран.

Електротехнички факултет у Београду уписао је 2007. године. Дипломирао је на одсеку за електронику 2011. године са укупном просечном оценом 9.83 и оценом 10 на завршном раду на тему ”Имплементација Linux оперативног система на развојном окружењу ЕА3250“ под менторством професора др Лазара Сарановца. Дипломске академске - мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, на модулу електроника, уписао је у октобру 2011. године. Положио је све испите са просечном оценом 10 и одбранио мастер рад на тему ”Управљачки програми и оптимизација потрошње енергије у мобилним оперативним системима“ под менторством професора др Лазара Сарановца. Докторске студије на модулу Електроника започео је 2012. године. Положио је све испите са просечном оценом 10 и испунио све обавезе прописане студијским програмом.

У јесењем семестру школске 2010/11. и 2011/12. године био је ангажован као студент-демонстратор на Катедри за електронику. Од јануара 2012. године запослен је као сарадник у настави, а од марта 2013. године као асистент на Катедри за електронику Електротехничког факултета у Београду. У звању асистента био је до марта 2019. године када је почео да ради у својству вишег лабораторијског инжењера. Од марта 2016. године до марта 2018. године био је ангажован као секретар Катедре за електронику.

Од 2007. године учествује у раду семинара Примењене физике и електронике у ИС Петница као млађи сарадник, односно стручни сарадник од 2011. године, где је радио са ученицима средњих школа на различитим истраживачким пројектима и држао неколико различитих предавања. У току 2010. и 2011. године, као члан тима Strawberry Energy, учествовао је у реализацији уређаја „Јавни соларни пуњач мобилних телефона“ са којим су освојени: 1. место на такмичењу у оквиру Недеље одрживог развоја, одржаном у Бриселу у априлу 2011. године, у категорији производа који подстичу смањење јавне потрошње, награда града Београда за стваралаштво младих 2010. године и награда Инжењерске коморе Србије.

## 1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је као сарадник у настави, односно асистент, на Електротехничком факултету у Београду учествовао у извођењу рачунских вежби на предметима: "Основи дигиталне електронике", "Увод у пројектовање VLSI система", "Интегрисани рачунарски системи", "Системи у реалном времену", "Практикум из софтверских алата у електроници", за одсек Електроника; "Основи дигиталне електронике" за одсек Рачунарска техника и информатика и "Наменски рачунарски системи" за одсек Сигнали и системи на основним студијама и "Дигитални VLSI системи", "Интегрисани вишепроцесорски системи" и "Пројектовање дигиталних система" на мастер студијама.

Учесник је пројекта министарства просвете, науке и технолошког развоја „Развој и моделовање енергетски ефикасних, адаптивних, вишепроцесорских и вишесензорских електронских система мале снаге“. Учествовао је на пројекту за унапређење образовања „Програмирање хардверских система и апликација“ и на комерцијалном истраживачком међународном пројекту са фирмом SANS R&D LLC „Развој широкопојасног модема и интернет свича“ од 2017-2018. године.

Кандидат је уписао докторске студије на Електротехничком факултету у Београду школске 2012/2013. године на модулу Електроника. Током докторских студија испунио је све обавезе и положио испите предвиђене наставним планом.

| Р.Бр.  | Назив предмета/обавезе                         | Оцена | ЕСПБ |
|--------|------------------------------------------------|-------|------|
| 1      | Савремени мерни системи                        | 10    | 9    |
| 2      | Наменске сензорске мреже                       | 10    | 9    |
| 3      | Интелигентни роботски системи                  | 10    | 9    |
| 4      | Технике обраде и препознавања говорног сигнала | 10    | 9    |
| 5      | Пројектовање наменских рачунарских система     | 10    | 9    |
| 6      | Примена програмабилних система на чипу         | 10    | 9    |
| 7      | Увод у научни рад                              | 10    | 6    |
| 8      | Неуралне мреже                                 | 10    | 9    |
| 9      | Пројектовање интегрисаних кола и система       | 10    | 9    |
| 10     | Вештачка интелигенција и експертски системи    | 10    | 9    |
| 11     | Студијски истраживачки рад I                   |       | 15   |
| 12     | Студијски истраживачки рад II                  |       | 15   |
| 13     | Научно стручни рад                             |       | 3    |
| Укупно |                                                |       | 120  |

Досадашњи резултати кандидата приказани су кроз неколико публикација и то: 1 рад у међународном часопису, 7 радова на међународним конференцијама, 2 рада у националним часописима, 5 радова на националним конференцијама, 9 техничких решења и 3 патента. У даљем тексту наведен је списак публикација на којима је Страхиња Јанковић коаутор.

Категорија М20 – Радови објављени у научним часописима међународног значаја:

- [1] S. Janković, A. Smiljanić, M. Vesović, H. Redžović, M. Bežulj, A. Radošević and S. Moro, "High-capacity FPGA Router for Satellite Backbone Network," in IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. doi: 10.1109/TAES.2019.2951187 (accepted for publication) (M21, IF 2018: 2.797)

Категорија М30 – Зборници међународних научних скупова:

- [1] S. Janković and L. Saranovac, "Improving Energy Usage in Energy Harvesting Wireless Sensor Nodes Using Weather Forecast," in Telecommunications Forum Telfor (TELFOR), 2017 25th, pp. 550–553, ISBN 978-1-5386-3072-3 (M33)
- [2] S. Janković and L. Saranovac, "High-level Power Modeling of CC430 SoC", IcETRAN-2017, 2017, Kladovo, Serbia, ELI3.2, ISBN 978-86-7466-692-0 (M33)
- [3] I. Popović, S. Janković and L. Saranovac, "Online power-aware scheduling strategy based on workload power profile measurement," 2017 Zooming Innovation in Consumer Electronics International Conference (ZINC), Novi Sad, Serbia, 2017, pp. 45–46, doi: 10.1109/ZINC.2017.7968659 (M33)
- [4] S. Janković and V. Drndarević, "Microcontroller Power Consumption Measurement Based on PSoC," in Telecommunications Forum Telfor (TELFOR), 2015 23rd, pp.673–676, ISBN 978-1-5090-0054-8 (M33)
- [5] S. Janković, I. Popović, A. Lekić and L. Saranovac, "Power Management for Wireless Sensor Nodes", IcETRAN-2015, 2015, Silver Lake, Serbia, EKI1.5, ISBN 978-86-80509-71-6 (M33)
- [6] I. Popovic, D. El Mezeni, S. Jankovic and L. Saranovac, "Load monitoring module for multiprocessor performance optimization," in Telecommunications Forum Telfor (TELFOR), 2014 22nd, pp.737–740, 25-27 Nov. 2014, ISBN 978-1-4799-6190-0 (M33)
- [7] M. Simonovic, V. Zivojnovic, D. Mista, S. Jankovic and L. Saranovac, "Energy proportional management of residential gateways," in Telecommunications Forum (TELFOR), 2013 21st , pp. 636–639, 26-28 Nov. 2013, ISBN 978-1-4799-1419-7 (M33)

Категорија М50 – Часописи националног значаја:

- [1] S. Janković, D. El Mezeni and L. Saranovac, "Improving Energy Usage in Energy Harvesting Wireless Sensor Nodes Using Weather Forecast," Telfor Journal, Vol. 10, No. 1, 2018, pp. 38–43, ISSN 2334-9905, doi: 10.5937/telfor1801038J (M52)
- [2] S. Janković and V. Drndarević, "Microcontroller power consumption measurement based on PSoC," Telfor Journal, vol. 8, no. 1, pp. 44–49, 2016, ISSN 2334-9905, doi: 10.5937/telfor1601044J (M52)

Категорија М60 – Зборници скупова националног значаја:

- [1] S. Jankovic, D. El Mezeni, V. Petrovic, I. Popovic, J. Popovic Bozovic and L. Saranovac, "EASYSim: Energy-aware embedded system simulator," in Proceedings of the 6th Small Systems Simulation Symposium, Nis, Serbia, 2016, pp. 89–94., ISBN 978-86-6125-154-2 (M63)
- [2] I. Popovic i S. Jankovic, "Kontrola učestanosti kod namenskih sistema niske potrošnje," in Telecommunications Forum (TELFOR), 2012 20th, pp.1096–1099, 20-22 Nov. 2012, ISBN 978-1-4673-2984-2 (M63)
- [3] S. Janković: "Automatic generation of software for hardware resource management", ETRAN, 2012. Zlatibor, Srbija, EK3.6, ISBN 978-86-80509-67-9 (M63)
- [4] M. Gazdic i S. Jankovic, "Određivanje pozicije mobilnog telefona u prostoriји upotrebom spektralnih analizatora," in Telecommunications Forum (TELFOR), 2011 19th, pp.1620–1623, 22-24 Nov. 2011, ISBN 978-1-4577-1499-3 (M63)

- [5] M. Milošević i S. Janković: "Digitalna steganografija", IEEEESTEC Students projects conference, 2008. Niš, Srbija (M63)

Категорија М80 – Техничка и развојна решења:

- [1] Popović i S. Janković, "Metoda za optimizaciju izvršavanja programskog posla na namenskoj platformi za rad u realnom vremenu", 2017, Beograd, Srbija (M85)
- [2] S. Janković, I. Popović, D. El Mezeni, I. Radovanović i L. Saranovac, "Metoda za procenu degradacije performansi aplikacije kod namenskih računarskih sistema", 2017, Beograd, Srbija (M85)
- [3] S. Janković, V. Drndarević, D. El Mezeni i I. Popović, "Sistem za akviziciju podataka i merenje potrošnje mikrokontrolera", 2017, Beograd, Srbija (M85)
- [4] D. El Mezeni, S. Janković, I. Popović i L. Saranovac, "Softverska platforma za razvoj i testiranje algoritama optimizacije potrošnje/ubrzanja heterogenog višeprocorskog sistema", 2015, Beograd, Srbija (M85)
- [5] S. Janković, D. El Mezeni, I. Popović i L. Saranovac, "Simulator procesorskog sistema orijentisan na optimizaciju potrošnje i performansi", 2014, Beograd, Srbija (M85)
- [6] I. Popović, S. Janković, L. Saranovac i D. El Mezeni, "Implementacija energetski efikasne bežične komunikacije kod autonomno napajanih senzorskih čvorova", 2013, Beograd, Srbija (M85)
- [7] D. El Mezeni, I. Popović, L. Saranovac and S. Janković, "Hardverski modul za međuprocorsku komunikaciju na heterogenoj višeprocorskoj platformi", 2012, Beograd, Srbija (M84)
- [8] I. Popović, S. Janković, L. Saranovac i D. El Mezeni, "Softverski modul za dinamičku kontrolu učestanosti kod namenskih sistema niske potrošnje za rad u realnom vremenu", 2012, Beograd, Srbija (M85)
- [9] I. Popović, D. El Mezeni, L. Saranovac, Ž. Ilić i S. Janković, "Interfejs za međuprocorsku komunikaciju na heterogenoj višeprocorskoj platformi", 2011, Beograd, Srbija (M85)

Категорија М90 – Патенти:

- [1] V. Živojnović, D. Mista, M. Simonović and S. Janković, "Automatic energy design and management system", US10101794B2, Oct. 2018, AGGIOS Inc., Irvine (M91)
- [2] V. Živojnović, D. Mista, M. Simonović and S. Janković, "Automatic energy design and management system", US9857861B1, Jan. 2018, AGGIOS Inc., Irvine (M91)
- [3] V. Živojnović, D. Mista, M. Simonović and S. Janković, "Automatic energy design and management system for assessing system components' energy consumption, compiling energy management control and optimizing energy usage", US9690354B1, Jun. 2017, AGGIOS Inc., Irvine (M91)

Дана 17.01.2020. године на Електротехничком факултету у Београду, Страхиња Јанковић је имао јавни усмени испит о подобности теме и кандидата пред комисијом у саставу:

- 1. др Иван Поповић, ванредни професор,  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- 2. др Владимир Миловановић, доцент,  
Универзитет у Крагујевцу – Факултет инжењерских наука
- 3. др Александар Ракић, ванредни професор,  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- 4. др Владимир Рајовић, ванредни професор,  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

Комисија је закључила да кандидат испуњава услове за рад на предложеној теми докторске дисертације и оценила испит оценом **задовољно**.

### 1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу претходног приказа резултата досадашњег рада Страхиње Јанковић и узимајући у обзир претходно наведене чињенице, Комисија је стекла увид у способности и научно-истраживачки рад кандидата, те констатује да је кандидат:

- Положио све испите и завршио све обавезе предвиђене наставним планом и програмом, и тиме остварио 120 ЕСПБ бодова.
- Јавно одбранио тему докторске дисертације 17.01.2020. године пред комисијом формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду.
- Током трајања докторских студија активно је ангажован на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја ТР32043 и учествовао је у комерцијалним пројектима и пројектима за унапређење образовања
- Публиковао је више радова у научним часописима и научним скуповима из области којој припада предложена тема докторске дисертације чиме је показао квалификације за научни рад и афинитет према теми докторске дисертације.

Комисија закључује да кандидат Страхиња Јанковић у сваком погледу испуњава услове за рад на предложеној теми.

## **2. Предмет и циљ истраживања**

Са напретком технологије постао је доступан велики број разноврсних сензора који могу да се користе за мерење различитих физичких величина. Сензори могу да буду постављени унутар или изван објеката, на удаљеним или тешко приступачним локацијама, као и да буду статични или мобилни. Сензорски чворови се користе за интеракцију са сензорима. Сензорски чворови врше читавање података, њихову обраду или слање на даљу обраду путем жичаног или бежичног мрежног интерфејса. Више сензорских чворова може да буде груписано у сензорску мрежу. Интернет ствари (*Internet of Things*) омогућава интегрисање сензорских чворова и појединачних сензорских мрежа путем интернета у једну дистрибуирану целину и поједностављује управљање доступним подацима.

Сензорски чворови који су постављени ван објеката или на удаљеним локацијама су углавном батеријски напајани. Због тога је ниска потрошња један од главних захтева приликом дизајна таквих сензорских чворова. Додатно, доступне су различите технике и на нивоу чвора и на нивоу мреже које могу да се користе у току рада да би се продужила оперативност чвора пре него што се испразни батерија. Технике на нивоу чвора могу да доприносе уштеди енергије на рачун редукованих перформанси или тако што искључују компоненте које се не користе. Технике на нивоу мреже су засноване на енергетски ефикасним протоколима за рутирање и МАС слоју, кластеровању или управљању подацима, попут компресије и агрегације. Међутим, колико год да је техника за уштеду енергије ефикасна, батерија ће се евентуално испразнити.

Од техника за смањење потрошње на нивоу чвора истиче се динамичко скалирање учестаности и напона (*Dynamic Voltage and Frequency Scaling* - DVFS) [1,2], које омогућава уштеду енергије смањењем радне учестаности и радног напона. Последица примене DVFS су смањене перформансе система, с тим што се у свим применама техника користи искључиво у домену у којем се свака инстанца доступних задатака на систему извршава. Када је у питању контролисана деградација перформанси система, постоје различите технике

апроксимативног рачунарства (*approximate computing*) [3-5]. Код тих техника, могуће је прескочити извршавање одређених инстанци таскова, што не утиче на валидност извршавања већ само на квалитет добијеног резултата. Међутим, ове технике немају могућност квантификовања проузроковане деградацијом перформанси.

Употреба енергије из околине (*Energy harvesting*) представља потенцијално решење за проблем коначног капацитета батерија. Доступни су различити извори енергије: соларна енергија, енергија ветра, РФ, вибрације. Сви ови извори могу да се окарактеришу на основу предвидљивости и контролабилности. На пример, соларна енергија је предвидљива на основу дневног циклуса, али није контролабилна.

Ако се користи енергија из околине, онда се циљ алгорита оптимизације мења из продужења трајања батерије на оптимално распоређивање доступне енергије тако да се што више посла уради, а да систем увек буде оперативан. Овај концепт се у литератури назива енергетска неутралност [6]. Дакле, да би се остварила енергетска неутралност, неопходна је што тачнија информација о енергији која ће бити доступна у будућности, као и одговарајући алгоритам за распоређивање доступне енергије. Саме податке о енергији која ће бити доступна у будућности могуће је предвидети. У зависности од конфигурације и карактеристика сензорског чвора и могућности за прикупљање и складиштење енергије, зависи и колики интервал прогнозе је потребан.

Доступне су различите технике за предвиђање соларне радијације и могу да се поделе у две групе: технике које на основу података из претходних временских интервала дају предвиђање за наредни временски интервал (*Past-predicts the Future* - PPF) и технике које користе податке из временске прогнозе. Све технике дан деле у одређени број временских интервала. *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) [6] техника користи податак о соларној радијацији из истог временског интервала из претходног дана да одреди предвиђање за исти интервал у наредном дану. Резултати су задовољавајући када су временске прилике у узастопним данима сличне, али су лоши ако се временске прилике мењају. *Weather-Conditioned Moving Average* (WCMA) [7] користи податак из претходног интервала и однос соларне радијације између тренутног дана и претходних да би извршио корекцију. WCMA даје боље резултате од EWMA, али је ограничен само на предвиђање соларне радијације за следећи интервал, односно на краткорочно предвиђање. Pro-energy [8] тражи најсличнији профил соларне радијације из базе профила формиране на основу претходних дана и на основу њега врши предвиђање. Предност Pro-energy у односу на EWMA и WCMA је што поред краткорочног предвиђања (следећи интервал) може да се користи и за средњерочно предвиђање, односно неколико часова унапред. На истом концепту је развијена и IPro-energy [9] техника, која има додатни фактор којим коригује изненадне промене у временским приликама у току дана.

Технике које се заснивају на временској прогнози најчешће користе прогнозу облачности (*cloudiness, cloud cover*) којом модулишу вредност соларне радијације за ведар дан (без облака). Показано је [10] да предвиђање соларне радијације на основу временске прогнозе даје боље резултате за средњерочно и дугорочно предвиђање. На основу тих резултата развијене су технике [11,12] које на проблему распоређивања програмских послова потврђују да примена временске прогнозе за предвиђање соларне радијације даје боље резултате у односу на технике које се заснивају на претходним мерењима. Недостатак ових приступа је што посматрају само глобалну соларну радијацију, а не и појединачне компоненте, директну и дифузну радијацију.

Предност техника које користе претходне податке јесте што су углавном једноставније за имплементацију и могу да дају добре резултате за краткорочно предвиђање. Са друге стране, технике засноване на временској прогнози имају додатни посао у виду дохватања временске прогнозе, али дају боље резултате за средњерочно и дугорочно предвиђање.

Циљ предложене дисертације биће да се истражи могућност и предложи нови алгоритам за оптимизацију потрошње енергије код соларно напајаних бежичних сензорских чворова који обезбеђује што већи степен енергетски неутралног рада. Алгоритам треба да се састоји из технике за предвиђање соларне радијације и алгоритма за распоређивање доступне енергије који укључује и технике за оптимизацију потрошње. Потребно је да техника за предвиђање има одговарајуће карактеристике и за краткорочно као и за дугорочно предвиђање доступности сунчеве енергије. Када је у питању алгоритам за распоређивање доступне енергије, потребно је да може да обезбеди што већи степен енергетски неутралног рада.

## Референце

- [1] M. Bambagini, M. Marinoni, H. Aydin and G. Buttazzo, "Energy-Aware Scheduling for Real-Time Systems: A Survey," *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*, vol. 15, no. 1, pp. 1–34, Jan. 2016
- [2] G. Anastasi, M. Conti, M. Di Francesco, and A. Passarella, "Energy conservation in wireless sensor networks: A survey", *Ad Hoc Networks*, vol. 7, pp. 537–568, May 2009. DOI: 10.1016/j.adhoc.2008.06.003
- [3] S. Mittal, "A Survey of Techniques for Approximate Computing," *ACM Comput. Surv.*, vol. 48, no. 4, pp. 62:1–62:33, Mar. 2016
- [4] J. W. S. Liu, W.-K. Shih, K.-J. Lin, R. Bettati and J.-Y. Chung, "Imprecise computations," *Proceedings of the IEEE*, vol. 82, no. 1, pp. 83–94, Jan. 1994
- [5] G. R. Wiedenhof and A. A. Froehlich, "Using Imprecise Computation Techniques for Power Management in Real-Time Embedded Systems," in *Distributed Embedded Systems: Design, Middleware and Resources*, Springer, Boston, MA, 2008, pp. 121–130
- [6] A. Kansal, J. Hsu, S. Zahedi, and M. B. Srivastava, "Power management in energy harvesting sensor networks", *ACM Trans. Embed. Comput. Syst.*, vol. 6, no. 4, article no. 32, Sep 2007. DOI: 10.1145/1274858.1274870
- [7] J. R. Piorno, C. Bergonzini, D. Atienza, and T. S. Rosing, "Prediction and management in energy harvested wireless sensor nodes", in *2009 1st International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace Electronic Systems Technology*, Aalborg, 2009, pp. 6–10. DOI: 10.1109/WIRELESSVITAE.2009.5172412
- [8] A. Cammarano, C. Petrioli, and D. Spenza, "Pro-energy: A novel energy prediction model for solar and wind energy-harvesting wireless sensor networks", in *2012 IEEE 9th International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems (MASS 2012)*, Las Vegas, NV, 2012, pp. 75–83. DOI: 10.1109/MASS.2012.6502504
- [9] Muhammad, H. K. Qureshi, U. Saleem, M. Saleem, A. Pitsillides, and M. Lestas, "Harvested energy prediction schemes for wireless sensor networks: Performance evaluation and enhancements", *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2017, article no. 6928325, 2017. DOI: 10.1155/2017/6928325.
- [10] N. Sharma, J. Gummesson, D. Irwin, and P. Shenoy, "Cloudy computing: Leveraging weather forecasts in energy harvesting sensor systems", in *2010 7th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON)*, Boston, MA, 2010, pp. 1–9. DOI: 10.1109/SECON.2010.5508260
- [11] Y. Li, Z. Jia, and X. Li, "Task scheduling based on weather forecast in energy harvesting sensor systems", *IEEE Sensors Journal*, vol. 14, no. 11, pp. 3763–3765, Nov 2014. DOI: 10.1109/JSEN.2014.2327221
- [12] Y. Li, J. Si, and S. Ma, "Using energy-aware scheduling weather forecast based harvesting for reconfigurable hardware", *IEEE Transactions on Sustainable Computing*, vol. 4, no. 1, pp. 109–117, 2019. DOI: 10.1109/TSUSC.2018.2800717

### 3. Полазне хипотезе

Истраживачки рад ће се базирати на следећим полазним хипотезама:

- Предвиђање соларне радијације на основу података из претходних временских интервала пружа добре резултате за краткорочно предвиђање, док предвиђање на основу временске прогнозе пружа добре резултате за средњерочно и дугорочно предвиђање. Очекује се да хибридни приступ, где би се комбиновала оба приступа може да пружи добре резултате за краткорочно, средњерочно и за дугорочно предвиђање.
- Квалитет предвиђања соларне радијације код предвиђања заснованог на временској прогнози зависи од модела соларне радијације који се користи за рачунање соларне радијације за већар дан, па је одабиром адекватног модела могуће унапредити резултате.
- Алгоритам за распоређивање доступне енергије треба да узима у обзир и тренутно доступну енергију као и предвиђену вредност енергије која ће бити доступна у будућности, као и да применом техника за смањење потрошње утиче на перформансе система.
- Могуће је описати нумерички деградацију перформанси система и развити нове технике за смањење потрошње које омогућавају компромис између смањења потрошње и деградације перформанси система, чиме може да се постигне додатна уштеда енергије.

### 4. Научне методе истраживања

У овој дисертацији биће примењене следеће методе истраживања:

- Прикупљање и теоријска анализа постојећих техника за оптимизацију потрошње енергије код бежичних сензорских чворова и техника за предвиђање соларне радијације.
- Анализа предности и мана техника за предвиђање соларне радијације које користе податке из претходних временских интервала и техника које су засноване на временској прогнози.
- Дефинисање нове технике за предвиђање соларне радијације која комбинује предности техника које користе податке из претходних временских интервала и техника које су засноване на временској прогнози.
- Квалитативно поређење постојећих референтних техника и предложене технике по питању грешке предвиђања.
- Дефинисање метода за процену деградације перформанси система за рад у реалном времену и технике која омогућава селективну и контролисану деградацију перформанси.
- Верификација алгоритма за оптимизацију потрошње енергије који интегрише предложену технику за предвиђање соларне радијације и алгоритам за распоређивање енергије са предложеном техником за контролисану деградацију перформанси по питању постизања енергетске неутралности у симулираном окружењу и на конкретној хардверској платформи.

## **5. Очекивани научни doppPpP**

Главни очекивани научни doppPpP ове дисертације биће нови алгоритам за оптимизацију потрошње енергије соларно напајаних бежичних сензорских чворова који омогућава што већи степен енергетски неутралног рада. У оквиру дисертације биће посебно представљена два аспекта алгоритма: нова техника за предвиђање соларне радијације и нова техника за контролу деградације. Очекивани doppPpP ове дисертације су:

- Биће извршен преглед, систематизација и анализа постојећих техника за предвиђање доступне енергије и оптимизацију потрошње енергије.
- Биће развијена нова техника за предвиђање доступне соларне енергије у будућности која нуди квалитетно краткорочно, средњерочно и дугорочно предвиђање.
- Биће развијена нова техника за смањење потрошње која омогућава селективну и контролисану деградацију перформанси система за рад у реалном времену.
- Биће развијен нови алгоритам за оптимизацију потрошње енергије соларно напајаних бежичних сензорских чворова који интегрише предложене технике и омогућава што већи степен енергетски неутралног рада.

## **6. План истраживања и структура рада**

Планирано је да се истраживање спроведе у следећим фазама:

- Прва фаза ће обухватити анализу постојећих техника за предвиђање доступне енергије у будућности. Циљ ове фазе биће да се систематизује постојеће знање у овој области и да се уоче предности и мане различитих приступа овом проблему. На основу закључака из ове фазе биће формулисани основни критеријуми које нова техника за предвиђање треба да испуни.
- Друга фаза ће подразумевати дефинисање нове технике за предвиђање доступне енергије у будућности. У оквиру ове фазе нова техника ће бити стално поређена са постојећим најбољим решењима ради побољшања резултата. Крај друге фазе ће подразумевати комплетно дефинисану технику која даје задовољавајуће резултате на тест подацима.
- Трећа фаза ће обухватити анализу постојећих техника за смањење потрошње код батеријски напајаних система код којих је дозвољена деградација перформанси. Циљ ове фазе биће да се систематизује постојеће знање у овој области и да се уоче најчешћи проблеми који се могу јавити приликом развоја и примене техника за смањење потрошње.
- Четврта фаза ће подразумевати дефинисање технике која омогућава контролисано и селективно деградирање перформанси система у реалном времену. Техника ће бити поређена са стандардним техника анализираним у претходној фази.
- Пета фаза ће се бавити интегрисањем предложених техника у нови алгоритам за оптимизацију потрошње енергије соларно напајаних бежичних сензорских чворова који обезбеђује што већи степен енергетски неутралног рада. У оквиру ове фазе алгоритам ће бити тестиран у симулираном окружењу, као и на конкретној платформи.

## 7. Закључак и предлог

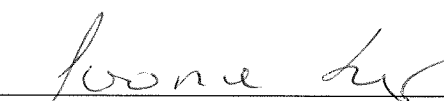
На основу приложене документације, и стечене слике о теми докторске дисертације и досадашњем научном раду Страхиње Јанковић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, Комисија закључује следеће:

1. Кандидат испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Београду и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду за израду докторске дисертације.
2. Предложена тема „Енергетски неутрални соларно напајани бежични сензорски чворови” је научно заснована, а резултати до којих ће се доћи израдом ове дисертације представљаће значајан и оригиналан допринос. Тема припада ужој научној области Електроника.

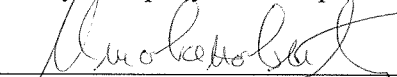
На основу претходно изложеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидату Страхињи Јанковић одобри израду докторске тезе под насловом „Енергетски неутрални соларно напајани бежични сензорски чворови“ (енг. "*Energy neutral solar powered wireless sensor nodes*"), а под менторством др Лазара Сарановца, редовног професора, Електротехничког факултета у Београду.

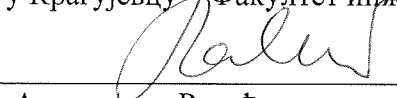
У Београду, 22.01.2020.

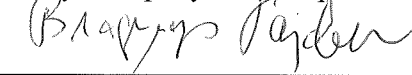
### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

  
др Лазар Сарановац, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
др Иван Поповић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
др Владимир Миловановић, доцент  
Универзитет у Крагујевцу – Факултет инжењерских наука

  
др Александар Ракић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
др Владимир Рајовић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет