

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Марка Ч. Батића**

Одлуком бр. 5035/10-3 од 20.9.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Марка Ч. Батића** под насловом

**Software system for multi-criteria planning and operation of hybrid microgrids**

**Софтверски систем за више-критеријумско планирање и управљање хибридном микро-мрежом**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала, као и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

### РЕФЕРАТ

#### 1. УВОД

##### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Марко Батић је уписао докторске академске студије Електротехнике и рачунарства 26.12.2010. године, на модулу Софтверско инжењерство, на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. У току студија, кандидат Марко Батић је положио све испите предвиђене студијским планом и програмом модула за Софтверско инжењерство са просечном оценом 10. Такође, кандидат је као предуслов за полагање испита на изабраном модулу положио и два допунска испита (Оперативни системи I и Базе података I).

На основу одлуке Наставно-научног већа бр. бр. 3058/2 од 28.12.2010. године, Студијски програм је започео у пролећном семестру школске 2010/2011, па се рок за завршетак докторских студија рачуна од почетка тог семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета. По истеку законског рока за завршетак докторских академских студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија за два семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета, као и додатно продужење за годину дана на основу Одлуке 24-06/03-2010/5035 од 06.02.2018. године.

Кандидат Марко Батић је 23.6.2016. године пријавио тему за израду докторске дисертације под насловом „*Software system for multi-criteria planning and management of hybrid microgrids*“ („Софтверски систем за више-критеријумско планирање и управљање хибридном микро-мрежом“).

На седници Комисије за студије трећег степена, одржаној 28.6.2016. године, Комисија је разматрала предлог теме за израду докторске дисертације и предлог о оцени подобности теме и кандидата упутила Наставно-научном већу на усвајање.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на седници бр. 801, одржаној 5.7.2016. године (Одлука бр. 5035/10-1 од 11.7.2016.године), именовало Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу:

- др Бошко Николић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду
- др Младен Станојевић, доцент, Рачунарски факултет у Београду
- др Жељко Ђуришић, доцент, Електротехнички факултет Универзитета у Београду

За ментора је предложена:

- др Сања Вранеш, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду

Јавна усмена одбрана предложене теме докторске дисертације обављена је 2.9.2016. године, на Електротехничком факултету, пред именованом Комисијом. Комисија је закључила да је кандидат на јавној усменој одбрани предложене теме докторске дисертације добио оцену „задовољно“.

Комисија за студије трећег степена је разматрала и једногласно прихватила извештај Комисије за оцену услова и прихватања теме докторске дисертације кандидата Марка Батића. Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду усвојило је Извештај Комисије за оцену услова и прихватања теме докторске дисертације кандидата Марка Батића одлуком бр. 5035/10-2 од 1.11.2016.године.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је дало сагласност на предлог теме докторске дисертације Марка Батића под насловом „*Software system for multi-criteria planning and management of hybrid microgrids*“ („Софтверски систем за више-критеријумско планирање и управљање хибридном микро-мрежом“) одлуком бр. 61206-5813/2-16 од 21.11.2016.

Кандидат Марко Батић је 30.8.2018. године предао докторску дисертацију под насловом „*Software system for multi-criteria planning and management of hybrid microgrids*“ („Софтверски систем за више-критеријумско планирање и управљање хибридном микро-мрежом“) на преглед и оцену.

Комисија за студије трећег степена је на својој седници, одржаној 4.9.2018. године, потврдила испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације и једногласно прихватила чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације у саставу:

- др Сања Вранеш, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду
- др Бошко Николић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду
- др Никола Томашевић, научни сарадник, Институт Михајло Пупин у Београду.

На седници Наставно-научног већа, одржаној 11.9.2018. године, донета је одлука (број одлуке 5035/10-3 од 20.9.2018. године) о именовању Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Марка Батића под насловом „*Software system for multi-criteria planning*

*and management of hybrid microgrids*“ („Софтверски систем за више-критеријумско планирање и управљање хибридном микро-мрежом“) у проширеном саставу:

- др Сања Вранеш, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду
- др Бошко Николић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду
- др Никола Томашевић, научни сарадник, Институт Михајло Пупин у Београду.
- др Мило Томашевић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду
- др Жељко Ђуришић, доцент, Електротехнички факултет Универзитета у Београду

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертације кандидата Марка Батића под насловом „*Software system for multi-criteria planning and management of hybrid microgrids*“ („Софтверски систем за више-критеријумско планирање и управљање хибридном микро-мрежом“) припада научној области *Техничких наука - Електротехника и рачунарство*, а ужа научна област је *Рачунарска техника и информатика*, за коју је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матичан.

Именовани ментор докторске дисертације је проф. др Сања Вранеш, која је генерални директор Института „Михајло Пупин“ и редовни професор на катедри за рачунарску технику и информатику на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, активно се бави истраживањем из наведене научне области. Тренутно је ангажована и у настави на предмету „Софтверски системи за рад у реалном времену“ (13Д111ССР). Њен истраживачки рад је усмерен на системе за подршку одлучивању, као и системе базиране на знању и семантичком *web*-у и сл. У поменутим областима је објавила преко 240 радова, од којих је 50 у међународним часописима.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Марко Батић је рођен 6. новембра 1985. године у Београду, Република Србија, од оца Часлава и мајке Соње. Основну школу „Вук Стефановић Караџић“ је завршио 2000. године у Београду са одличним успехом, као ђак генерације. Математичку гимназију је завршио 2004. године са одличним успехом. Током основног и средњег образовања остварио је запажене резултате на такмичењима из области математике, физике и српског језика.

Електротехнички факултет Универзитета у Београду уписао је школске 2004/2005 године, а дипломирао је 2008. године, на Одсеку за телекомуникације и информационе технологије. Исте године уписао је дипломске академске (мастер) студије на истом факултету у оквиру модула Системско инжењерство и радио комуникације, које је потом завршио почетком 2010. године. Крајем исте године уписује докторске академске студије на модулу Софтверско инжењерство, под менторством проф. др Сање Вранеш.

У току трајања дипломских академских студија, крајем 2009. године, запослио се као истраживач приправник у Институту „Михајло Пупин“, у одељењу *Fraunhofer-Pupin Joint Project Office*, под вођством генералног директора института проф. др Сање Вранеш. На позицији истраживача приправника у Институту стекао је значајно радно искуство радећи на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (ТР-32010) али и међународним истраживачким пројектима финансираним од стране Европске Уније у оквиру Седмог оквирног програма и Хоризонта 2020 у области примене напредних информационих и комуникационих технологија (ИКТ) у домену енергетске ефикасности и обновљивих извора енергије. С тим у вези, радио је на развоју софтверског окружења за

моделовање, симулацију и управљање обновљивим изворима енергије као и њихове интеграције у тзв. „паметне мреже“ (*Fp7 Energy Warden*, бр. 246745), развој интелигентних система за повећање енергетске ефикасности комплексних објеката попут аеродрома (*Fp7 Cascade*, бр. 284920), развој алгоритама и ИКТ инфраструктуре за интелигентно управљање енергетским ресурсима на нивоу појединачних ентитета као и њиховог удруживања у кластере (*Fp7 Epic-hub*, бр. 600067). Тренутно је ангажован на пројектима *H2020 InBetween* (бр. 768776) и *H2020 Respond* (бр. 768619) на развоју напредних енергетских сервиса на бази *cloud* решења и *Internet of Things (IoT)*.

У звање истраживач сарадник изабран је на Научном већу Института „Михајло Пупин“ у Београду 28. маја 2015. године. У току досадашњег истраживачког рада кандидат Марко Батић био је аутор или коаутор три рада у часописима од међународног значаја (категорија М21), затим осамнаест радова на конференцијама од међународног значаја (категорија М33), четири рада на конференцијама од националног значаја (категорија М63) као и већег броја техничких решења у оквиру пројеката Министарства науке и технолошког развоја (категорија М85).

Служи као рецензент реномираних међународних часописа *Energy Conversion and Management*, *Energy and Buildings* и *Applied Energy*. У току 2017. године био је ангажован као спољни стручњак Европске Комисије за потребе процеса евалуације пројеката у оквиру позива *H2020-LCE-01*.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „*Software system for multi-criteria planning and management of hybrid microgrids*“ („Софтверски систем за више-критеријумско планирање и управљање хибридном микро-мрежом“) написана је на 198 страна куцаног текста на енглеском језику, са 40 слика, 10 табела и 79 нумерисаних једначина. Дисертација по форми и структури потпуно одговара Упутству за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду. Дисертација садржи насловну страну на енглеском и српском језику, страну са информацијама о ментору и члановима комисије, захвалнице, апстракт рада на енглеском и српском језику, садржај, 7 поглавља и 2 прилога, списак коришћене литературе који обухвата 163 библиографских референци, страну са кратком биографијом кандидата као и попуњене и потписане одговарајуће изјаве (Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу). Поглавља дисертације су:

1. *Introduction*
2. *Proposed system architecture and development methodology*
3. *Knowledge repository and semantic integration layer*
4. *Scheduling service for optimized operation of hybrid microgrid*
5. *Planning service for multi-criteria design/retrofit of hybrid microgrid*
6. *Application of proposed solution and impact validation*
7. *Conclusions and future work*

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Прво поглавље указује на значај проблема планирања и управљања у електроенергетским системима са дистрибуираним и обновљивим изворима енергије у контексту дерегулисаног тржишта и слободног кретања енергије. Након тога, дат је кратак осврт на предмет, фокус и циљеве истраживања, у коме се елаборира и потреба за развојем софтверског система за више-критеријумско планирање и управљање хибридном енергетском инфраструктуром. Затим, представљен је преглед коришћених истраживачких метода као и неопходних алата за

развој различитих софтверских компоненти система. У наставку је дат преглед остварених научних резултата, а потом и свеукупни преглед и организација дисертације.

Друго поглавље уводи архитектуру предложеног  $\mu GM$  софтверског система као и усвојену методологију за дефинисање њеног дизајна. На самом почетку, дат је преглед референтних пројеката и коришћених архитектура, а затим је елаборирана архитектура предложеног система као и његове кључне компоненте, које су груписане у четири целине, односно слоја. Њих чине слој енергетских ресурса, слој енергетских *gateway*-а односно агрегације података, слој знања, системских сервиса и дистрибуирања података и, коначно, апликативни слој. Од поменутих слојева, само слој енергетских ресурса представља физички слој док остали представљају апстрактне, софтверске слојеве. Такође, ово поглавље открива и генерални приступ у превазилажењу проблема интеграције хетерогених система за надзор и управљање физичким ресурсима као и семантичке интероперабилности у систему.

У трећем поглављу, посебно је елабориран слој знања, који служи за решавање проблема семантичке интероперабилности у систему, са једне стране, као и извор контекстуалних информација о физичком систему који омогућава напредне енергетске сервисе, са друге. С тим у вези, представљен је преглед најсавременијих приступа моделовању знања, са посебним освртом на приступе засноване на коришћењу семантичког *web*-а и онтологија. У наставку је анализирана методологија развоја модела енергетске инфраструктуре уз помоћ онтологија, који се ослања на постојеће стандарде и моделе као и усклађеност са њима. Затим, представљени су детаљи развоја основног модела, а потом елабориране предности коришћења онтологије за потребе интеграције. Коначно, описани су детаљи софтверске имплементације који се тичу развоја онтологије и аутоматске популације инстанци уз помоћ најсавременијих алата за екстракцију ентитета, њихово семантичко повезивање и трансформисање у одговарајући формат. Представљени су и детаљи развоја апликативног програмског интерфејса (*Application Program Interface*) који омогућава локални и удаљени приступ бази знања као и све неопходне операције над њом, попут читања, уписа и резоновања.

Наредно, четврто поглавље, бави се развојем  $\mu GM$  сервиса за оптимално управљање хибридном микро-мрежом. Поглавље почиње прегледом постојећих, релевантних, приступа и наставља предлогом иновативне методологије управљања микро-мрежом, која уводи интегралну оптимизацију токова енергије, узимајући при том у обзир локалну производњу из обновљивих извора, увоз и извоз енергије из и у дистрибутивну мрежу, њено складиштење и, коначно, локалну потрошњу. У наставку су представљени математички модели хибридне енергетске инфраструктуре, односно њене топологије, постојећих елемената за конверзију, као и појединих обновљивих извора енергије и складишта енергије који су искоришћени за развој флексибилног окружења за симулацију и оптимизацију рада хибридне микро-мреже. Развијени интегрални модел карактерише висока флексибилност која омогућава додавање извора, како обновљивих тако и конвенционалних, и складишта енергије која нису обухваћена овим истраживањем. Затим, представљени су детаљи имплементације софтвера почевши од развоја прототипа (имплементираног у *Matlab*-у) до развоја самог сервиса (имплементираног у *Java*-и). Коначно, дат је осврт на интеграцију и инсталацију сервиса у оквиру  $\mu GM$  софтверског система.

Развој *μGM* сервиса за оптимално планирање и више-критеријумски дизајн топологије хибридне микро-мреже је представљен у петом поглављу. У оквиру овог поглавља, за потребе оптималног планирања, представљен је и иновативан приступ за моделовање потрошње. Слично претходном, и ово поглавље почиње прегледом постојећих приступа и алата који се баве поменути проблемом планирања као и кратким освртом на моделовање потрошње. У наставку је представљена методологија за оптимално планирање и више-критеријумско пројектовање микро-мреже, као и опис предложеног приступа за моделовање потрошње. Поглавље се закључује детаљима имплементације самог сервиса, његове интеграције у софтверски систем, као и интерфејса према крајњем кориснику у виду *Web* апликације.

У наредном, шестом, поглављу представљени су примери примене развијених решења као и њихове валидације у реалном окружењу. Поглавље почиње примером семантичке интеграције постојећих *BMS* система са додатим мерачима и сензорима, као и напредним аналитичким сервисима, на аеродромима Малпенса (Милано) и Фјумињино (Рим), у оквиру *EU Fp7* пројекта *CASCADE*. С тим у вези, приказано је инстанцирање генеричке онтологије, представљене у трећем поглављу, за потребе аеродрома. Поред популације саме онтологије, представљен је и развијени програмски интерфејс (*API*) за приступ инстанцама. Такође, приказани су примери конзервације енергије на основу контекстуалног знања које потиче од предложене семантичке интеграције система. У наставку, приказана је примена развијеног сервиса за оптимално управљање хибридном микро-мрежом у у реалном окружењу, у оквиру Института „Михајло Пупин“. Институт представља окружење са вишеструким изворима енергије полазећи од дистрибутивне мреже преко фотонапонске електране на крову до локалне топлане на мазут. Почевши од топологије и детаља о постојећој инфраструктури, представљено је инстанцирање генеричког модела приказаног у трећем поглављу, а затим следе резултати нумеричких симулација и оптимизације система на бази реалних података.

Коначно, представљено истраживање је закључено у седмом поглављу дискусијом остварених резултата и кратким освртом на фокус будућег истраживања.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Глобални трендови у домену одрживости снабдевања енергијом и заштите животне средине стимулишу развој и примену нових технологија, попут обновљивих извора енергије, али и иновативних парадигми за ефикасније управљање постојећом енергетском инфраструктуром, као и планирање будуће са значајно већим уделом непредвидивих обновљивих извора. Коначни циљ је смањење учешћа фосилних горива у снабдевању енергијом, како због одрживости снабдевања, тако и њиховог неспорног утицаја на животну средину, као и побољшање енергетске ефикасности уопште.

Имајући претходно у виду, енергетски системи будућности, како на нивоу дистрибутивне мреже, тако и на нивоу индустријских, комерцијалних па чак и резиденцијалних микро-мрежа, ће све више комбиновати контролабилне конвенционалне изворе енергије са релативно непредвидивим обновљивим изворима, уз могућност складиштења и одложеног коришћења енергије. Планирање и управљање оваквим, комплексним, системима на најефикаснији начин, уз често супротстављене критеријуме, постаје веома актуелно питање од све већег значаја. Истовремено, веома је актуелно и питање повећања енергетске ефикасности, које се традиционално решава релативно великим инфраструктурним улагањима у побољшање енергетских својстава самих објеката, као и улагањима у обнављање енергетске инфраструктуре елементима са вишим степеном корисног дејства.

Предмет и циљ предложене докторске дисертације јесте примена иновативних информационих и комуникационих технологија за потребе планирања и управљања поменутих хибридни системима. Користећи као основу постојеће системе за надзор и управљање, предложени систем би уз минимална улагања, пре свега у ажурирање постојећег софтвера за управљање, комуникациону и семантичку интеграцију дистрибуираних, нестандартних, подсистема, а по потреби и додатних мерача односно актуатора, омогућио значајно смањење оперативних трошкова везаних за потрошњу енергије кроз динамичко управљање токовима енергије са вишеструких конвенционалних и обновљивих извора, постојећих складишта и флексибилности на страни потрошње, у контексту динамичког тарифирања увоза односно извоза енергије на дерегулисано тржиште енергије. Штавише, предложена семантичка интеграција система за надзор и управљање, нарочито у комплексним објектима (попут аеродрома, сајмова, музеја и сл.), омогућава стварање јединствене базе знања о постојећој енергетској инфраструктури и пружа шири контекст приликом доношења одлука (нпр. везано за управљање вентилационим системима и системима за грејање и хлађење), које могу довести до значајног повећања енергетске ефикасности.

Са друге стране, предложени софтверски систем има и функцију система за подршку одлучивању приликом планирања комплексних, хетерогених, енергетских инфраструктура, где су употребљени развијени алгоритми за оптимално управљање за препоруку одговарајуће топологије и димензија система у складу са низом техничких, економских и еколошких критеријума.

Конечно, тема и предмет докторске дисертације су, поред великог теоријског значаја, једнако интересантни и актуелни из угла инжењерске праксе, јер представљају још једну примену информационих и комуникационих технологија у једном од актуелних проблема који заузима значајно место у краткорочним и средњорочним стратегијама развоја готово свих земаља у Европи и свету.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације кандидат је детаљно истражио најсавременију литературу и коректно навео релевантне изворе. Наведена литература обухвата 163 библиографске јединице, које поред монографија, актуелних стандарда и извора са интернета, доминантно укључују радове из реномираних међународних часописа и конференција из области докторске дисертације. Њима су обухваћени и објављени радови кандидата у вези са предметом и темом докторске дисертације. На основу увида у предметну докторску дисертацију и анализе наведене литературе, стиче се утисак да су оригинални научни доприноси до којих је кандидат дошао стављени у одговарајући контекст.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Докторска дисертација садржи више целина у којима су коришћене различите инжењерске и научне методе у погледу развоја алгоритама за управљање комплексним хибридни енергетским системима и њихове софтверске имплементације у оквиру постојећих информационих и комуникационих система за надзор и управљање, затим развоја система за подршку одлучивању приликом планирања и димензионисања саме инфраструктуре, као и развоја семантичког модела (на бази онтологије) који је коришћен као основа имплементације базе знања и семантичке интеграције хетерогених и нестандартних подсистема.

За потребе развоја софтверске компоненте за оптимизацију управљања микро-мрежом са вишеструким конвенционалним и обновљивим изворима енергије преваходно је коришћено *Matlab* окружење у фази моделовања и тестирања одговарајућих алгоритама, док је коначна

верзија прототипа развијена коришћењем *Java* технологије. За потребе оптимизације токова енергије, превасходно су коришћени алгоритми линеарног и целобројног програмирања, а у случају нелинеарне природе неких од улазних параметара као и критеријумске функције, коришћен је Генетски Алгоритам (ГА). Подршка система за мулти-критеријумско одлучивање омогућена је имплементацијом *Promethee II* алгоритма. Сама компонента представља део апликативног слоја софтверског система који се базира на сервисно оријентисаној архитектури. Као интегративна компонента (*middleware*) употребљена је *WSO2* имплементација *ESB-a (Enterprise Service Bus)*, која омогућава интеграцију апликација и сервиса, док су за комуникационе потребе коришћени *Web* сервиси (*WSDL* за моделовање, а *SOAP* за саму имплементацију сервиса). Имајући у виду високе захтеве по питању оптимizacionих перформанси, коришћен је и професионални алат за линеарну и целобројну оптимизацију *CPLEX (IBM-ово решење)*, док су за потребе пред-процесирања, које подразумева манипулисање матрицама веома великих димензија (неколико стотина хиљада редова и колона), коришћене робусне *Java* библиотеке за линеарну алгебру (нпр. *La4J, Colt, Commons math* и др.).

Развој система за подршку одлучивању приликом планирања и димензионисања хибридних микро-мрежа је иницијално спроведен у оквиру *Matlab* окружења, за потребе развоја алгоритама и моделовање система, док су за коначну имплементацију *Web* апликације (и *front* и *backend-a*) коришћене *open source* технологије попут *Java, Java Server Faces, Java Script, Ajax* и других.

Када је у питању развој семантичког модела, коришћени су, али и значајно проширени и прилагођени, постојећи стандарди у овом домену *CIM (Common Information Model – део IEC 61970)*, постојећа генеричка онтологија *SUMO (Suggested Upper Merged Ontology)*, као и доменска онтологија *IFC (Industry Foundation Classes)*. За сам развој онтологије и класног дијаграма коришћени је *open source* алат *Protégé*, као и комерцијални алат *TopBraid*, док су за потребе инстанцирања онтологије, које подразумева екстракцију велике количине података похрањених у датотекама и табелама, коришћени алати *OpenRefine, SPIN* и *SPARQL Update*.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати које је кандидат Марко Батић остварио и приказао у докторској дисертацији имају неоспоран научни и практични значај.

Када је реч о управљању комплексним, хибридним, микро-мрежама које поседују различите конвенционалне и обновљиве изворе енергије, основни циљ предметног истраживања био је да се унапреде постојећи системи за управљање (попут *SCADA* система), кроз развој иновативног софтверског слоја који би омогућио оптимално снабдевање енергентима али и њихову потрошњу, узимајући у обзир варијабилне цене енергената, ефикасност конверзије појединих елемената енергетске инфраструктуре, стање у складиштима енергије и друге. Значај овог истраживања огледа се у управо у широкој применљивости предложеног решења, јер се уз релативно скромна улагања у постојеће управљачке системе могу остварити значајне уштеде у оперативним трошковима поменуте енергетске инфраструктуре, што је и приказано у самој дисертацији.

Развијени систем за подршку одлучивању о оптималној топологији микро-мреже и димензионисању појединих елемената има за циљ да искористи иновативне алгоритме за управљање микро-мрежом, како би се минимизовала неопходна инвестиција у обновљиве изворе, и одговарајуће капацитете за складиштење енергије, чиме би се постигла већа пенетрација обновљивих извора и увећао њихов удео у финалној потрошњи. Имајући у виду да је овај систем имплементиран као *Web* апликација, уз помоћ најмодернијих *open source*



интернет технологија, обезбеђен је практично неограничен приступ како резиденцијалним тако и комерцијалним и индустријским корисницима.

Коначно, на бази парадигме семантичког *Web*-а развијен је семантички модел комплексних инфраструктура који служи за развој јединствене базе знања и слоја мета-података у оквиру традиционалних система за надзор и управљање који имају две основне функције. Са једне стране, слој мета-података омогућава семантичку интероперабилност хетерогених и често нестандартних компоненти система, а са друге, јединствена база знања пружа могућност за напредно, контекстуално, резонување над прикупљеним подацима са циљем унапређења свеукупне енергетске ефикасности. Ово решење има посебну практичну применљивост у комплексним инфраструктурама попут аеродрома, сајмова, музеја итд. што је и приказано у самој дисертацији.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током свог научноистраживачког рада, кандидат се активно бавио проблемима који спадају у најужу област урађене докторске дисертације и остварио је запажене резултате. Кандидат је током израде тезе показао способност да анализом литературе утврди шта је тренутна граница истраживања и обликује задату тему истраживања, као и самосталност и одговорност да изведе истраживање прецизно и систематично.

Кандидат је током протеклих девет година интензивно радио у области примене информационих и комуникационих технологија у домену управљања и планирања хибридних микро-мрежа и енергетске ефикасности, почев од рада у оквиру студијског програма докторских студија, међународним и националним научноистраживачким пројектима, али и кроз учешће на међународним и регионалним научно-стручним конференцијама из поменуте области.

Поред поменутих конференција, кандидат је резултате истраживања објавио и у водећим међународним часописима. У самој дисертацији, јасно су дефинисани предмет и циљ истраживања, коришћене истраживачке методе, док су добијени резултати на одговарајући начин представљени, анализирани и дискутовани. На основу свега наведеног се може закључити да је кандидат Марко Батић достигао висок ниво оспособљености за даљи самосталан научноистраживачки рад.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси докторске дисертације кандидата Марка Батића су:

- Развијен је иновативни софтвер и унапређена методологија за више-критеријумско планирање хибридне микро-мреже повезане на дистрибутивну мрежу која садржи како обновљиве тако и конвенционалне изворе енергије, одговарајуће елементе за конверзију као и капацитете за складиштење енергије. Предложену методологију одликује интегрални приступ који симултано узима у обзир како електрични тако и термални домен, различите режиме рада микро-мреже (острвски рад или повезан на дистрибутивну мрежу), као и флексибилност у профилу потрошње како би се пронашла оптимална топологија микро-мреже али и капацитет појединачних компоненти. Коначно, алат подржава и више-критеријумску анализу различитих техничких, економских и еколошких критеријума.

- Развијен је софтверски модул и унапређена методологија за оптимално управљање енергетском инфраструктуром са вишеструким конвенционалним и обновљивим изворима енергије, одговарајућим складиштима енергије и флексибилном потрошњом, који омогућава значајне уштеде трошкова експлоатације. Предложена методологија оптимизује токове енергије узимајући при том у обзир локалну производњу из обновљивих извора, увоз и извоз енергије из и у дистрибутивну мрежу, њено складиштење и, коначно, управљање локалном потрошњом (*Demand Side Management*). Предложена методологија узима у обзир појединачне уређаје чиме се обезбеђује да се резултати оптимизације могу директно применити кроз контролне акције.
- Развијен је семантички модел комплексних инфраструктура на бази онтологија, са фокусом на енергетске системе, за потребе система за унапређење енергетске ефикасности сложених објеката, попут аеродрома. Коришћењем семантичких технологија и ослањајући се на постојеће моделе и стандарде, развијен је модел комплексне инфраструктуре који омогућава семантичку интероперабилност разноврсних софтверских компоненти система, једнозначно мапирање сигнала/протокола које они користе, као и додатно резоновање над прикупљеним подацима.
- Развијен је софтверски модул и иновативна методологија за моделовање потрошње крајњег потрошача за потребе алата за планирање и управљање будуће, односно задате, микро-мреже. Уместо постојећих приступа на бази физике саме зграде, предложени модул и методологија се базирају на информацијама о постојећој енергетској инфраструктури и потрошачима, као и навикама крајњег корисника.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Када је реч о више-критеријумском планирању хибридне микро-мреже, која садржи како обновљиве тако и конвенционалне изворе енергије, одговарајуће елементе за конверзију као и капацитете за складиштење енергије, предложена методологија и развијени софтвер карактерише неколико симултано примењених унапређења у односу на постојећа решења. За почетак, то је интегрални приступ који истовремено посматра електрични и термални домен, на супрот традиционалном приступу где се ови домени посматрају независно, на самим тим и врши независно планирање одговарајућег дела система. Затим, предложена методологија није ограничена на изолован (острвски) режим рада, већ пружа могућност и оптималног планирања система који је повезан на дистрибутивну мрежу и има могућност како увоза тако и извоза енергије. Коначно, као кључни допринос, предложена методологија узима у обзир и флексибилност на стани потрошње, односно омогућава примену механизма управљања потрошњом, како би се профил потрошње максимално прилагодио локалној производњи те смањила неопходна инвестиција у обновљиве изворе и повећала исплативост система. Поред претходно наведених, методологија узима у обзир бројне параметре попут географске локације, захтеваног профила потрошње, просторног капацитета, предвиђеног буџета, варијабилних цена енергената, субвенција државе и других, те низа техничких, економских и еколошких критеријума које је потребно симултано проценити и релативно упоредити. Посебан аспект развоја софтвера за планирање лежи и у развоју иновативног симулатора потрошње електричне енергије који се базира на подацима о постојећим потрошачима и навикама корисника, на супрот уобичајеним приступима који се примарно базирају на моделовању и физици самих објеката.

Предложена методологија за управљање енергетском инфраструктуром са вишеструким конвенционалним и обновљивим изворима енергије, те одговарајућим складиштима енергије, оптимизује токове енергије узимајући при том у обзир локалну производњу из

обновљивих извора, увоз и извоз енергије из и у дистрибутивну мрежу, њено складиштење и, коначно, управљање локалном потрошњом (*Demand Side Management*). Као кључно унапређење у односу на постојеће приступе, предложена методологија узима у обзир појединачне уређаје приликом процене профила потрошње и саме оптимизације, чиме се обезбеђује да се резултати оптимизације могу директно применити кроз управљачке акције. Када је у питању софтверска имплементација поменутих решења, они су развијени као независни сервиси који су интегрисани у предложени софтверски систем на апликативном слоју.

Када је реч о семантичком моделу комплексних инфраструктура, његов развој се ослањао на постојеће моделе, стандарде и примере добре праксе, што за последицу има његову већу применљивост, али је даље унапређен на основу велике количине реалних података са два међународна европска аеродрома. Као резултат развоја овог модела, настала је свеобухватна база знања, као и јединствени слој мета-података, који је омогућио семантичку интероперабилност разноврсних софтверских компоненти система, једнозначно мапирање сигнала/протокола које они користе, као и додатно резонување над прикупљеним подацима. Штавише, приликом имплементације овог модела коришћене су савремене семантичке технологије (онтологије) и одговарајући алати.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси који су резултат истраживања у оквиру докторске дисертације кандидата Марка Батића су публиковани у међународним часописима и презентовани на међународним и домаћим конференцијама и стручним скуповима.

Као још једна потврда релевантности спроведеног истраживања у оквиру рада на докторској дисертацији кандидата Марка Батића требало би узети у обзир досадашњу цитираност индексираних публикација која износи укупно 44 према извору *SCOPUS*, односно 76 према извору *Google Scholar*.

У наставку је дат преглед радова који су у директној вези са изработом докторске дисертације, класификованим у складу са релевантним Правилником Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

#### Категорија M21:

1. **Batić, M.**, Tomašević, N., Beccuti, G., Demiray, T., Vraneš, S.: Combined energy hub optimisation and demand side management for buildings, *Energy and Buildings*, vol. 127, pp. 229-241, 2016 (**IF 4.067**) (ISSN 0378-7788).<sup>1</sup>
2. Tomašević, N., **Batić, M.**, Blanes, L., Keane, M., Vraneš, S.: Ontology-based facility data model for energy management, *Advanced Engineering Informatics*, vol. 29, no. 4, pp. 971-984, 2015 (**IF 2.000**) (ISSN 1474-0346).<sup>2</sup>

#### Категорија M22:

1. Kouveletsou, M., Sakkas, N., Garvin, S., **Batic, M.**, Reccardo, D., Sterling, R.: Simulating energy use and energy pricing in buildings: The case of electricity, *Energy and Buildings*, vol. 54, pp. 96-104, 2012 (**IF 2.679**) (ISSN 0378-7788).<sup>3</sup>

#### Категорија M33:

<sup>1</sup> Број цитата на дан 26.10.2018. је 12 (*SCOPUS*), односно 16 (*Google Scholar*)

<sup>2</sup> Број цитата на дан 26.10.2018. је 13 (*SCOPUS*), односно 19 (*Google Scholar*)

<sup>3</sup> Број цитата на дан 26.10.2018. је 12 (*SCOPUS*), односно 23 (*Google Scholar*)

1. **Batić, M.**, Tomašević, N., Vraneš, S.: ICT Platform for Holistic Energy Management of Neighbourhoods, *ICIST 2016, 5<sup>th</sup> International Conference on Information Society and Technology*, Kopaonik, 2016, pp. 112-117 (ISBN: 978-86-85525-18-6).
2. Beccuti, G., Demiray, T., **Batic, M.**, Tomasevic, N., Vranes, S.: Energy hub modelling and optimisation: an analytical case-study, *2015 IEEE Eindhoven PowerTech*, Eindhoven, 2015, pp. 1-6. (doi: 10.1109/PTC.2015.7232413).<sup>4</sup>
3. **Batić, M.**, Tomašević, N., Vraneš, S.: Software Module for Integrated Energy Dispatch Optimization, *ICIST 2015, 5<sup>th</sup> International Conference on Information Society and Technology*, Kopaonik, 2015, pp. 83-88 (ISBN: 978-86-85525-16-2).
4. Tomašević, N., **Batić, M.**, Mijović, V., Vraneš, S.: Data point Mapping Approach to Airport Ontology Modelling and Population, *ICIST 2015, 5<sup>th</sup> International Conference on Information Society and Technology*, Kopaonik, 2015, pp. 233-238 (ISBN: 978-86-85525-16-2).
5. **Batic, M.**, Tomasevic, N., Vranes, S.: Integrated Energy Dispatch Approach Based on Energy Hub and DSM, *ICIST 2014, 4<sup>th</sup> International Conference on Information Society and Technology*, Kopaonik, 2014, pp. 67-72 (ISBN: 978-86-85525-14-8).
6. Tomasevic, N., **Batic, M.**, Vranes, S.: Genetic Algorithm Based Energy Demand-Side Management, *ICIST 2014, 4<sup>th</sup> International Conference on Information Society and Technology*, Kopaonik, 2014, pp. 61-66 (ISBN: 978-86-85525-14-8).
7. **Batic, M.**, Tomasevic, N., Vranes, S.: Ontology API for web-enabled FDD system, *ICIST 2013, 3rd International Conference on Information Society and Technology*, Kopaonik, 2013, pp. 142-147 (ISBN: 978-86-85525-12-4).
8. Tomasevic, N., **Batic, M.**, Vranes, S.: Ontology-enabled airport energy management, *ICIST 2013, 3rd International Conference on Information Society and Technology*, Kopaonik, 2013, pp. 112-117 (ISBN: 978-86-85525-2-4).
9. Paunović, D., **Batić, M.**, Vraneš, S.: Web Application For Residential Renewable Energy System Feasibility Appraisal, *ICIST 2013, 3rd International Conference on Information Society and Technology*, Kopaonik, 2013, pp. 118-123 (ISBN: 978-86-85525-12-4).
10. **Batić, M.**, Philimis, P., Sakkas, N., Giusti, A., Paunovic, D., Vraneš, S.: Simulation of Hybrid Renewable Energy System, *WSEAS International Conference on Energy and Environment Technologies and Equipment (EEETE '12)*, Zlin, Czech Republic, 2012, pp. 15-20 (ISBN: 978-1-61804-122-7).
11. **Batić, M.**, Tomašević, N., Paunović, D., Vraneš, S.: A novel approach to microgrid data modelling, *ICIST 2012, 2nd International Conference on Information Society and Technology* Kopaonik, 2012, pp. 153-157.

#### Категорија M51

1. **Batić, M.**, Babić, I., Đurišić, Ž.: Dizajn kuće nulte energije putem integracije obnovljivih izvora, *Energija, Ekonomija i Ekologija*, br. 3, Mart 2015. ISSN 0354-8651.

<sup>4</sup> Број цитата на дан 26.10.2018. је 7 (SCOPUS), односно 10 (Google Scholar)

## 2. 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

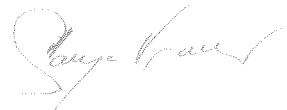
На основу свега претходно наведеног, Комисија констатује да докторска дисертација кандидата **Марка Ч. Батића**, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, под насловом „*Software system for multi-criteria planning and management of hybrid microgrids*“ („Софтверски систем за више-критеријумско планирање и управљање хибридном микро-мрежом“), испуњава све формалне и суштинске услове предвиђене Законом о високом образовању, као и прописима Универзитета у Београду и Електротехничког факултета.

Научне и практичне резултате, проистекле из истраживања спроведеног у оквиру докторске дисертације, кандидат је представио стручној јавности на међународним конференцијама и објавио у врхунским часописима, потврђујући тиме њихову актуелност и оригиналност. На основу увида у предметну докторску дисертацију и радове кандидата, комисија констатује да дисертација представља оригиналан, савремен и практично применљив научни допринос, те да је кандидат током израде дисертације показао способност за даљи самосталан научноистраживачки рад.

Комисија предлаже Наставно-научном већу да се докторска дисертација под насловом „*Software system for multi-criteria planning and management of hybrid microgrids*“ („Софтверски систем за више-критеријумско планирање и управљање хибридном микро-мрежом“) кандидата **Марка Ч. Батића**, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду 26.10.2018.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Сања Вранеш, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Бошко Николић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Никола Томашевић, научни сарадник  
Универзитет у Београду – Институт „Михајло Пупин“



др Мило Томашевић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Жељко Ђуришић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет