

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Димитрија Котура

Одлуком Наставно-научног већа бр. 5002/15-3 од 24.03.2020. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Димитрија Котура под насловом

**Оптимално просторно и временско управљање потрошњом у електроенергетском систему са високим степеном пенетрације обновљивих извора енергије**

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

### РЕФЕРАТ

#### 1. УВОД

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

Кандидат Димитрије Котур је 10.11.2015. године уписао докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Кандидат је 30.05.2019. године пријавио тему за израду докторске дисертације под насловом „Оптимално просторно и временско управљање потрошњом у електроенергетском систему са високим степеном пенетрације обновљивих извора енергије”.

Комисија за студије трећег степена разматрала је 04.06.2019. године предлог теме за израду докторске дисертације и упутила предлог Комисије за оцену подобности теме и кандидата на усвајање Наставно-научном већу Електротехничког факултета.

Наставно-научно веће је именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5002/15-1 од 26.6.2019. године) у саставу:

1. др Предраг Стефанов, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет),
2. др Андрија Сарић, редовни професор (Универзитет у Новом Саду – Факултет техничких наука),
3. др Јован Трифуновић, доцент (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет),
4. др Јован Микуловић, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет) и
5. др Александар Савић, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет).

Дана 28.06.2019. године, кандидат је полагао јавну усмену одбрану теме докторске дисертације.

Наставно-научно веће је усвојило извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5002/15-2 од 17.09.2019. године). За ментора дисертације именован је др Жељко Ђуришић, ванредни професор (Универзитет у Београду - Електротехнички факултет). Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације (број одлуке 61206-4340/2-19 од 28.10.2019. године).

Кандидат је 20.02.2020. године предао докторску дисертацију на преглед и оцену, Комисија за студије трећег степена потврдила је 03.03.2020. године испуњеност потребних услова за подношење предлога за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације Наставно-научном већу Електротехничког факултета. Наставно научно веће именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације под насловом „Оптимално просторно и временско управљање потрошњом у електроенергетском систему са високим степеном пенетрације обновљивих извора енергије” (Одлука бр. 5002/15-3 од 24.03.2020. године) у саставу:

1. др Жељко Ђуришић, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет),
2. др Андрија Сарић, редовни професор (Универзитет у Новом Саду – Факултет техничких наука),
3. др Јован Микуловић, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет),
4. др Александар Савић, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет) и
5. др Предраг Стефанов, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет).

### 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација Димитрија Котура под насловом „Оптимално просторно и временско управљање потрошњом у електроенергетском систему са високим степеном пенетрације обновљивих извора енергије” припада научној области електротехника и рачунарство, ужој научној области Електроенергетски системи, за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Ментор докторске дисертације је др Жељко Ђуришић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Др Жељко Ђуришић се дуги низ година бави научноистраживачким радом у области интеграције обновљивих извора (ОИЕ), што је потврђено радовима у међународно признатим часописима.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Димитрије Котур је рођен у Смедереву, 17. октобра 1991. године, где је завршио основну школу и гимназију, природно-математички смер. Учествовао је на бројним такмичењима из математике и физике, а најзначајнија признања која је том приликом освојио су једно прво, једно друго и једно треће место на државном такмичењу из математике, треће место на државном такмичењу из физике и учешће на Српској математичкој олимпијади. Такође је његов рад „Геометрија помаже алгебри” проглашен најбољим радом из математике на републичкој смотри научних радова. На крају и основне и средње школе је добио Вукову диплому, као и диплому ученика генерације.

Електротехнички факултет уписује 2010. године, а 2011. се опредељује за одсек Енергетику, а 2012. и за смер Електроенергетске системе. Сваке године је био проглашаван најбољим студентом на одсеку за енергетику, са средњом оценом 10.0. У 2013. години био је награђен наградом из фонда Мирка Милића за најбољег студента завршне године. Дипломски рад на тему „Идејно решење фотонапонског система на крову зграде Техничких факултета” одбранио је 03. септембра 2014. године са оценом 10. Ментор за израду дипломског рада био му је доцент др Жељко Ђуришић. Основне студије је завршио са просечном оценом 10. У току основних студија учествовао је на 2 електријаде где је освајао следеће награде: прво место из Обновљивих извора енергије 2013. и 2014. године, треће место из Електричних машина 2013. године и друго место из Анализе електроенергетских система 2014. године. Одрадио је стручну праксу у предузећу Електромреже Србије. Учествовао је и на семинару „*Smart Energy for Better World*” у организацији АББ Краков, од 06-12 јула 2014. године. Одржао је и гостујуће предавање на Вишој електротехничкој школи у Београду. Током јула и августа 2013. године као стипендиста DAAD завршио је интензивни курс немачког језика у Берлину, ниво Б2. У слободно време воли да изучава и аеродинамику и аеронаутику, у оквиру чега је похађао и успешно положио курс „*Introduction to Aeronautical Engineering*“ који је организовао Делфт Универзитет у Холандији. У оквиру истог универзитета похађао и успешно положио курс „*Solar Energy*“ у току 2014. године.

Мастер студије похађао је на одсеку за Електроенергетске системе, смер Обновљиви извори енергије. У току мастер студија положио је 6 испита од 6 ЕСПБ поена са просечном оценом 10.0. Мастер рад на тему „Оптимално просторно и временско управљање потрошњом у

електроенергетском систему са обновљивим изворима енергије“ одбранио је 14.09.2015. године са оценом 10 чиме је стекао звање мастер инжењера електротехнике и рачунарства. Ментор при изради мастер рада био му је доцент др Жељко Ђуришић. Овај мастер рад проглашен је од стране Привредне коморе Београда за најбољи мастер рад на Универзитету у Београду у школској 2014/2015. години.

У периоду од 02.02.2015 – 01.02.2019. године био је запослен на Електротехничком факултету Универзитета у Београду као асистент. На Основним студијама био је ангажован у извођењу наставе из предмета Обновљиви извори енергије, Електране, Практикум из софтверских алата у електроенергетици, Елементи електроенергетског система, као и лабораторијских вежби из предмета Електрична мерења 1, Електрична мерења 2, Практикума – Лабораторијске вежбе из ЕЕС и Практикума из елемената ЕЕС. На мастер студијама био је ангажован на предметима Интеграција обновљивих извора енергије у електроенергетски систем, Регулација електроенергетских система са обновљивим изворима енергије, Регулација електроенергетских система. Аутор је више радова публикованих у међународним и домаћим часописима, као и зборницима међународних, регионалних и домаћих конференција.

У периоду од 11. 04. 2018. запослен је и у компанији *Schneider Electric* где ради као главни технички лидер из области електроенергетских система на пројектима чији је циљ испорука софтвера за интеграцију обновљивих и дистрибуираних извора енергије у електроенергетски систем. Клијенти и пројекти на којима је до сада радио су: *PECO* (Филаделфија, Пенсилванија), *Arizona Public Service* (Финикс, Аризона), *National Renewable Energy Laboratory* (Голден, Колорадо), *Electrical Power Research Institute* (Ноксвил, Тенеси), *Central Hudson* (Покипси, Њујорк), *Evoenergy* (Канбера, Аустралија), *MCAS Miramar* (Сан Дијео, Калифорнија).

Области његовог интересовања су: обновљиви извори енергије, интеграција обновљивих извора енергије у ЕЕС, паметне мреже, дистрибутивне мреже. Течно говори енглески и немачки језик.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Оптимално просторно и временско управљање потрошњом у електроенергетском систему са високим степеном пенетрације обновљивих извора енергије“ написана је на 196 страна (200 страна са прилозима), организована је у 10 поглавља, има 167 слика, 28 табела и листу од 172 референце. Наслови поглавља су:

1. Увод,
2. Карактеристике различитих типова електрана,
3. Управљање потрошњом,
4. Оптимално просторно и временско управљање потрошњом у електроенергетском систему са обновљивим изворима енергије,
5. Просторно и временско управљање потрошњом за оптимални транспорт електричне енергије преко система са великим учешћем обновљивих извора енергије уз задовољавање принципа сигурности,
6. Просторно и временско управљање потрошњом у циљу повећања капацитета електроенергетских система за већу пенетрацију ОИЕ,
7. Оптимално просторно и временско динамичко тарифирање у електроенергетском систему са ОИЕ,
8. Верификација алгоритама на примеру реалне мреже Србије,
9. Просторно и временско управљање потрошњом као део великог система за управљањем преносним и дистрибутивним мрежама и
10. Закључак.

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу су дефинисани предмет и циљ истраживања, као и мотивација и значај тематике која је обрађена у дисертацији. Дат је преглед најважнијих аспеката интеграције обновљивих извора енергије и развоја управљања потрошњом. Приказана је референтна литература и дате основне информације о техникама које су предмет докторске дисертације.

У другом поглављу дисертације дат је приказ различитих типова електрана у систему са великом пенетрацијом ОИЕ. Како се у дисертацији анализирају системи у којима се регулација још увек ослања на постојање конвенционалних електрана на фосилна горива, дат је приказ свих типова електрана које ће се појављивати у наставку дисертације, конвенционалних и обновљивих извора енергије.

У оквиру трећег поглавља приказане су основе управљања потрошњом као алата за интеграцију интермитентне производње из ОИЕ у ЕЕС. У овом поглављу приказане су најчешће технике управљања потрошњом са акцентом на директно и индиректно, при чему су представљене све предности и ограничења обе технике. Дата је дефиниција управљивог и неуправљивог дела потрошње као и приказ на који начин се може управљати управљивим делом потрошње. На крају, у овом поглављу су приказани резултати различитих студија и истраживања чији је циљ одређивање управљивог и неуправљивог дела потрошње.

У четвртном поглављу, уведен је појам оптималног просторног и временског управљања потрошњом у ЕЕС-у са високим степеном пенетрације ОИЕ што и представља тему ове дисертације. У овом поглављу, развијена је приказана методологија за оптимално просторно и временско управљање потрошњом у циљу минимизације дневних губитака електричне енергије и минимизације дневних погонских трошкова конвенционалних електрана. У ту сврху развијене су две оптимизационе методе и то на бази генетског алгорита и на бази *Interior Point Method* при чему је дата упоредна анализа обе методе. Анализе су вршене на временском хоризонту од 24 h са сатном резолуцијом. Резултати анализа приказани су на примеру једне преносне и једне дистрибутивне мреже.

У петом поглављу развијена је приказана методологија за оптимално просторно и временско управљање потрошњом у систему са дисперзованим ОИЕ у циљу оптимизације трошкова транзита електричне енергије кроз анализирани систем уз задовољавање  $n - 1$  принципа сигурности. У овом поглављу извршена је линеаризација иницијалног проблема и оптимизациони проблем је решен употребом квадратног програмирања. Као и у претходном случају, анализе су вршене за дан унапред на временском интервалу од 24 h са сатном резолуцијом. Ефекти примене предложене методологије су демонстрирани на примеру преносне мреже Србије.

У шестом поглављу приказана је методологија за повећање капацитета ЕЕС-а за већу пенетрацију ОИЕ, такозваног *Hosting Capacity* фактора. Са повећањем инсталисаних капацитета ОИЕ достижу се техничка ограничења мреже, што може ограничити даље прикључење нових јединица ОИЕ. Ово је актуелни проблем у већини електроенергетских система са слабо развијеном дистрибутивном мрежом, где се због високог степена једновремености рада ОИЕ који су прикључени на неку дистрибутивну мрежу јављају проблеми преоптерећења секција, супротни токови снага и пренапони. Постојеће технике решавања оваквих проблема су везане за лимитирање снаге производње ОИЕ када се угрозе нека од ограничења. Лимитирање се углавном спроводи кроз смањење ефикасности ОИЕ, што представља чист губитак производње који смањује рентабилност ОИЕ. У овом поглављу приказана је методологија која користи оптимално просторно и временско управљање потрошњом у циљу максимизације извезене енергије произведене из ОИЕ, чиме се директно повећава капацитет мреже за већу пенетрацију ОИЕ. Поред тога, у овом поглављу анализирани су и маргинални трошкови које оператор дистрибутивног система мора платити за коришћење услуге управљања потрошњом. Резултати анализа приказани су на примеру једне дистрибутивне мреже.

У седмом поглављу приказана је методологија за одређивање оптималних просторних и временских динамичких дијаграма цена у систему са ОИЕ. Тарифирање представља један вид индиректног управљања потрошњом у којем се потрошачи, уместо директне контроле уређаја, стимулишу кроз различите цене електричне енергије да троше онда када је то најбоље за систем. Оптимизациона функција која се анализира су минимални трошкови преузимања електричне енергије

од спољашње мреже. У оквиру ове анализе уведен је и појам матрице еластичности потрошње на примену цене електричне енергије, помоћу које се моделује очекивани одзив потрошача на промену цене електричне енергије. Као и у претходним оптимizacionим задацима, анализе су вршене на временском хоризонту од 24 часа за дан унапред, са сатном резолуцијом. Резултати анализа приказани су на примеру дистрибутивне мреже.

У осмом поглављу, спроведена је верификација појединих алгоритама на примеру реалне мреже. Анализа је извршена на примеру реалне дистрибутивне мреже у Банату. Као и у претходним поглављима, временски хоризонт оптимизација износи 24 часа, међутим, бенефити оптималног просторног и временског управљања потрошњом су одређени за годину дана, при чему су коришћени реални подаци о мрежи, производњи ОИЕ док је потрошња формирана коришћењем карактеристичних дијаграма анализираних дистрибутивне мреже и карактеристичних дијаграма потрошње раније дефинисаних различитих категорија потрошача. У овом поглављу, извршене су три анализе. Прво, демонстрирано је оптимално просторно и временско управљање потрошњом у циљу минимизације губитака у анализираном систему. Спроведена анализа представља верификацију алгоритама развијених у четвртном поглављу. У другој анализи, посматрано је оптимално просторно и временско управљање потрошњом у циљу повећања преносних капацитета електроенергетских система за већу пенетрацију ОИЕ. Ова анализа представља верификацију алгоритама приказаних у шестом поглављу. Коначно, у овом поглављу приказана је анализа утицаја несигурности прогнозе производње ОИЕ на ефикасност предложених алгоритама и показано је да се и у случајевима релативно великог одступања прогнозиране и остварене производње ОИЕ могу веома успешно спроводити развијени алгоритми оптималног просторног и временског управљања потрошњом.

У деветом поглављу представљена је идеја за практичну имплементацију система за оптимално просторно и временско управљање потрошњом у реалном оперативном центру. Идеја овог поглавља је да обухвати све претходне сценарије и прикаже на који начин предложене методологије могу бити примењене приликом реалног управљања системом. У овом поглављу приказано је на који начин оптимално просторно и временско управљање потрошњом може постати део модерних софтвера за управљање мрежама као и на који начин прорачунате оптималне вредности на крају стижу до крајњих потрошача.

Коначно, у десетом поглављу су сумирани основни закључци предметне докторске дисертације и наглашени њени главни доприноси и могућности примене у пракси.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Са перманентним растом удела ОИЕ у глобалној производњи електричне енергије веома је актуелно питање њихове ефикасне интеграције у електроенергетски систем. Један од најважнијих проблема који се јављају у систему са високим степеном пенетрације ОИЕ је балансирање интермитентне производње из ових извора. Ово је и један од главних ограничавајућих фактора даљег пораста инсталираних капацитета обновљивих извора енергије. Основна идеја докторске дисертације је да се део балансног механизма између производње и потрошње спроводи на страни потрошње. У дисертацији је приказана методологија просторног и временског управљања потрошњом у циљу динамичког балансирања производње и потрошње, али и даље оптимизације рада система. За разлику од временског управљања потрошњом код којег се ресурси управљања потрошњом користе само ради балансирања производње и потрошње на нивоу једне регулационе области, код просторног и временског управљања потрошњом уводи се и просторна димензија проблема. На овај начин, приликом прорачуна оптималног решења уважава се и просторна дисперзивност производње, чиме се оператору преносног и дистрибутивног система пружа могућност да додатно оптимизује рад система у односу на само временско управљање потрошњом. Поред тога, оптималним просторним и временским управљањем потрошњом, могуће је у систему решавати и проблеме настале услед нарушених ограничења као што су преоптерећења, супротни токови снага, високи и ниски напони. У претходних неколико година дошло је до значајног развоја софтвера за управљање преносним и дистрибутивним мрежама који могу омогућити имплементацију развијених алгоритама и њихово спровођење у пракси.

Технике приказане у дисертацији представљају оригинална и иновативна решења, која до сада нису постојала у литератури, нити у практичној примени. Све технике базиране су на оптимизационим алгоритмима чији је задатак одређивање нових дијаграма потрошње помоћу којих се може оптимизовати рад система за дан унапред. У погледу капацитета потрошње за спровођење развијених техника она се може поделити на управљиву и неуправљиву. Управљива потрошња представља онај део потрошње који се може померати из једног сата у други без нарушавања комфора живота људи и угрожавања рада индустријских процеса. Основни услов који предложене методологије морају испунити је да укупна преузета енергија пре и након управљања потрошњом остаје иста на нивоу једног дана. У дисертацији је приказано неколико алгоритама за примену оптималног просторног и временског управљања потрошњом у различитим системима. У оквиру првог алгоритма, приказано је како се оптимално просторно и временско управљање потрошњом може искористити за минимизацију трошкова конвенционалних електрана и минимизацију губитака у преносним и дистрибутивним системима. У оквиру другог алгоритма, приказано је на који начин је могуће обезбедити транзит електричне енергије кроз један електроенергетски систем са великим степеном пенетрације ОИЕ уз задовољавање сигурносних ограничења а да трошкови транзита буду минимални. У оквиру трећег алгоритма, приказано је на који начин је могуће решавати нарушена ограничења која настају услед велике производње из обновљивих извора енергије и на који начин је могуће увећати капацитете електроенергетских система за већу пенетрацију обновљивих извора енергије. У оквиру четвртог алгоритма приказана је методологија динамичког просторно-временског формирања цена у анализираном електроенергетском систему са дисперзованим ОИЕ.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Литература коришћена у дисертацији садржи најновије радове релевантне за анализирану проблематику, али исто тако и референце старијег датума које су значајне за предметна истраживања. Поред научних радова, литература садржи и референтне књиге. Велики број радова новијег датума указује на актуелност обрађене тематике, док су у дисертацији јасно истакнуте предности и иновативност предложених техничких решења у односу на постојећу литературу. На основу библиографских јединица наведених на крају дисертације јасно је да је кандидат детаљно и темељно истражио ширу научну област којој дисертација припада.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру предложене докторске дисертације је обухватила следеће фазе:

- преглед и систематизација најновијих истраживања везаних за управљање потрошњом у циљу интеграције ОИЕ као и различитих метода оптимизације;
- дефиниција модела преносних и дистрибутивних система, модела потрошње и производње из ОИЕ;
- дефинисање математичког модела помоћу којег је могуће описати стање система. Модел је базиран на једначинама токова снага у преносним (Њутн-Рапсонава метода, *DC* прорачун токова снага) и дистрибутивним мрежама (Ширмохамедијев алгоритам);
- формирање математичких модела за прорачун оптималног просторног и временског управљања потрошњом у систему са високим степеном пенетрације ОИЕ коришћењем различитих оптимизационих метода као што су генетски алгоритам, *Interior Point* метода као и квадратно програмирање;
- израда програма у програмском језику *MATLAB* у циљу решавања дефинисаних оптимизационих проблема и приказа добијених резултата;
- демонстрација примене развијених алгоритама и анализа добијених резултата, на моделима преносне мреже Србије и стандардним IEEE моделима дистрибутивних мрежа;
- сагледавање квантитативних ефеката предложених алгоритама на примеру реалне дистрибутивне мреже Србије. Приликом спроведених анализа ефеката примене предложених алгоритама коришћени су реални дијаграми потрошње док су дијаграми производње из ОИЕ формиран на основу реалних података о потенцијалу соларног зрачења и брзине ветра.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати приказани у дисертацији су верификовани коришћењем симулација на рачунарским моделима коришћењем реалних података о систему, потрошњи и производњи из обновљивих извора енергије. За све наведене резултате је дата прецизна методологија и модели који су коришћени, уважавајући сва ограничења типа једнакости и неједнакости. На основу добијених резултата може се доћи до закључка да предложени алгоритми имају велику потенцијалну практичну применљивост нарочито приликом развоја софтверских пакета за управљање преносним и дистрибутивним мрежама. Спроведене анализе показују да се ефекти реализације свих развијених алгоритама могу постићи са релативно малим ресурсима управљиве потрошње, што оправдава економску прихватљивост развијених техника у будућим електроенергетским системима са високим степеном пенетрације ОИЕ.

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

На основу прегледане дисертације Комисија процењује да је кандидат Димитрије Котур показао способност за самостални научно-истраживачки рад, почевши од систематичног прегледа референтне литературе, разумевања и примене теоријских и практичних концепата, дефинисања проблема, развоја нових техника за решавање актуелних проблема, као и анализу резултата и верификацију развијених техника у софтверским моделима. Дисертација је конципирана и написана на начин да указује на зрелост кандидата за самостални научно-истраживачки рад. Неке од развијених алгоритама кандидат је објавио у часописима од међународног значаја. Такође, кандидат је презентовао део резултата истраживања на међународним и домаћим научно-стручним скуповима.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Главни научни доприноси који су остварени у оквиру докторске дисертације су следећи:

- уведен појам просторно-временског управљања потрошњом у електроенергетском систему и развијен одговарајући методолошки оквир за његово спровођење у циљу постизања различитих ефеката оптималне интеграције ОИЕ у електроенергетским системима;
- развијен је оригиналан алгоритам и математички модел за оптимизацију просторног и временског управљања потрошњом у циљу минимизације губитака у преносној и дистрибутивној мрежи и побољшања напонских профила у потрошачким чворовима у систему са великим степеном пенетрације дисперзованих ОИЕ;
- развијен је оригиналан алгоритам и математички модел за оптимизацију просторног и временског управљања потрошњом и управљања производњом конвенционалних електрана у циљу минимизације укупних трошкова у електроенергетском систему и побољшања квалитета напона у свим чворовима преносне мреже са великим степеном пенетрације дисперзованих ОИЕ;
- развијена је методологија за повећање расположивих капацитета за интеграцију ОИЕ у дистрибутивним мрежама кроз просторно и временско управљање потрошњом;
- развијена је методологија и предложени математички модели за повећање транзитних преносних капацитета и сигурности транзита енергије кроз електроенергетски систем са високим степеном пенетрације ОИЕ применом просторног и временског управљања потрошњом;
- развијен је концепт оптималног просторног и временског управљања ценом електричне енергије у електроенергетским системима са дисперзованим ОИЕ и управљивом потрошњом;
- спроведена је имплементација развијених алгоритама и сагледани ефекти њихове примене на моделима реалних преносних и дистрибутивних система.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем постављених циљева истраживања, полазних претпоставки и остварених резултата Комисија може да констатује да је кандидат успешно одговорио на сва битна питања из проблематике којом се бави дисертација.

Развијене су оригиналне и иновативне методологије и алгоритми за оптимално просторно и временско управљање потрошњом у електроенергетском систему са обновљивим изворима енергије. Детаљно су изложени сви битни кораци у развоју техника и пружен увид у детаље модела на којима је вршена верификација. Јасно и концизно је извршена верификација техника на софтверским моделима, чиме је потврђена њихова функционалност и представљене практичне могућности и економска оправданост њихове примене.

Комисија констатује да су научни доприноси остварени у дисертацији објављени у научним часописима међународног значаја категорије M21 (2 рада) на којима је кандидат првопотписани аутор.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Димитрије Котур је до сада објавио следеће радове релевантне за докторску дисертацију:

##### Врхунски међународни часопис категорије M21:

1. **D. Kotur**, Ž. Đurišić: *Optimal spatial and temporal demand side management in a power system comprising renewable energy sources*, Renewable Energy, Vol. 108, 2017, pp. 533-547, DOI: 10.1016/j.renene.2017.02.070. (IF=4.90).
2. **D. Kotur**, Ž. Đurišić, A Savić: *Spatial and temporal demand side management for optimal power transmission through power system with dispersed PV and wind power plants*, Electric Power System Research, Vol. 175, 2019, pp. 105888, DOI: 10.1016/j.epr.2019.105888. (IF=3.022).

##### Зборници међународних научних скупова категорије M31:

1. **D. Kotur**, N. Rajaković: *Optimal Reconfiguration of Distribution Network with Participation of Distributed Electricity Prosumers*, MedPower 2016, Belgrade 2016.
2. **D. Kotur**, Ž. Đurišić: *Increasing hosting capacity from PV and wind power plants using spatial and temporal demand side management*, WindEurope Summit 2019, Bilbao, Spain, April 2019.

##### Научни часописи националног значаја категорије M51:

1. **D. Kotur**, A. Savić, Ž. Đurišić: *The Determination of the Share of Different Types of Consumption in the Overall Load Diagram*, Energetika 2016, ISSN: 0354-8651, UDC: 621.316.004 (497.11), broj 1-2, Mart 2016, pp. 305-310

##### Зборници домаћих научних скупова категорије M63:

1. **D. Kotur**, G. Dobrić, N. Rajaković: *Uticaj obnovljivih izvora energije na dimaničko tarifiranje u realnom vremenu*, Међународни научно-стручни симпозијум INFOTEH-JAHORINA 2015, Ref. ENS-3.11, Mart 2015, pp. 271-276.
2. **D. Kotur**, P. Dakić, Ž. Đurišić: *Optimalno angažovanje elektrana u elektroenergetskom sistemu sa obnovljivim izvorima energije*, Међународни научно-стручни симпозијум INFOTEH-JAHORINA 2016, Ref. ENS-2.3, Mart 2016, pp. 131-136.

## **5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ**

Докторска дисертација под насловом „**Оптимално просторно и временско управљање потрошњом у електроенергетском систему са високим степеном пенетрације обновљивих извора енергије**” коју је Комисија прегледала показује потпуну научну зрелост кандидата Димитрија Котура. Дисертација је у складу са образложењем наведеним у пријави теме и садржи све елементе који се захтевају Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.



У дисертацији је развијена методологија оптималног просторног и временског управљања потрошњом и четири алгорита који се базирају на овој методологији, а који служе за решавање различитих проблема који су повезани са интеграцијом веће инсталисане снаге обновљивих извора енергије у електроенергетске системе. Дат је приказ постојећег стања литературе и дефинисане основне карактеристике техника и модела заступљених у референцама. Детаљно је изложена методологија и извршена верификација на рачунарским моделима. Резултати који су приказани у дисертацији стварају нове могућности за практичну примену предложених алгоритама у модерним софтверима за управљање преносним и дистрибутивним системима.

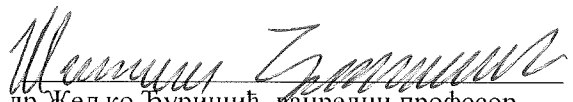
Резултате проистекле из истраживања спроведеног у оквиру докторске дисертације кандидат је објавио у водећим међународним часописима и презентовао у часописима и конференцијама националног значаја. Дисертација одражава способност кандидата да идеје претвори у техничка решења у рачунарским моделима. На основу увида у докторску дисертацију и објављене радове кандидата Комисија констатује да докторска дисертација садржи оригиналан и савремен научни допринос у области управљања потрошњом у циљу интеграције обновљивих извора енергије у електроенергетске системе.

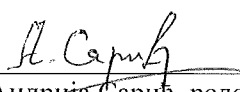
Кандидат Димитрије Котур показао је способност за самостални научни рад, што потврђује број научних радова који су у вези са дисертацијом. Оцењујући докторску дисертацију и чињеницу да је анализирана проблематика актуелна и савремена и да садржи научне доприносе, Комисија констатује да је кандидат Димитрије Котур, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, испунио све услове предвиђене законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

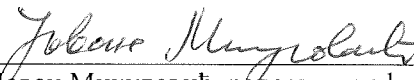
Имајући у виду наведено, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „**Оптимално просторно и временско управљање потрошњом у електроенергетском систему са високим степеном пенетрације обновљивих извора енергије**” кандидата **Димитрија Котура** прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.


У Београду, 22.05.2020. године


#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

  
др Жељко Ђуришић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
др Андрија Сарић, редовни професор  
Универзитет у Новом Саду – Факултет техничких наука

  
др Јован Микуловић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

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

  
др Предраг Стефанов, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет