

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Подобност теме и кандидата Филипа Зеца, мастер инж. ел., за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 5046/14-1 од 23.10.2020. године, а на основу закључака и записника са 854. седнице Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду која је одржана 14.10.2020. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Филипа Зеца мастер инж. ел. за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под насловом: **„Предикција стања изолационог система високонапонске електроенергетске опреме применом закона пораста вероватноће”**.

На основу материјала приложеног уз захтев кандидата, Комисија подноси следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### 1. Подаци о кандидату

#### 1.1. Биографски подаци

Филип Зец је рођен 27.09.1990. у Београду, Србија. Основну школу „Бранко Радичевић“ и Девету гимназију „Михаило Петровић Алас“ је завршио у Београду. Електротехнички факултет у Београду уписао је 2009. године. Дипломирао је 2013. године на Одсеку за Енергетику, на смеру Енергетски претварачи и погони, на тему „Интегрисани систем генераторског прекидача и оклопљених генераторских сабирница“. На истом факултету завршава мастер студије на смеру Електроенергетски системи, на тему „Мониторинг и дијагностика, кварови и поправке изолационих система намотаја ротора великих турбогенератора“. Докторске студије на Електротехничком факултета Универзитета у Београду уписао је 2014. године на модулу Електроенергетске мреже и системи. Положио је све испите и испунио је све обавезе прописане студијским програмом сакупивши предвиђених 120 ЕСПБ. Од 2013. до 2017. године је радио у *FIMEL Company d.o.o.*, на развоју, конструкцији и реализацији проводних изолатора и растављача-уземљивача за високонапонско напајање електростатичког филтера, као и на развоју и конструкцији спрежне јединице за мониторинг парцијалних пражњења на великим обртним машинама. Године 2017. прелази да ради у Електротехнички институт Никола Тесла АД Београд као стручни сарадник, истраживач приправник, на развоју и имплементацији комплетног система за магнетни мониторинг и мониторинг парцијалних пражњења на генераторима, као и на формирању и опремању високонапонске лабораторије за високонапонска испитивања код развоја нових производа.

Истраживачким радом се бави у области високонапонских испитивања, испитивања парцијалних пражњења, као и применом статистичких метода на процену стања изолације на електроенергетским објектима. Све поменуте активности базирају се на раду у лабораторији и на терену, применом стандардизованих, акредитованих метода и техника мерења. Неки од резултата истраживачког рада су публиковани на домаћим и међународним конференцијама, као и у научним часописима. Додатна усавршавања стекао је на међународним курсевима компаније *Omicron Energy* у Аустрији у области парцијалних пражњења на високонапонској електроенергетској опреми.

## 1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Кандидат Филип Зеџ, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, уписао је докторске академске студије на Електротехничком факултету 2014. године на модулу Електроенергетске мреже и системи.

У току докторских академских студија, до подношења захтева за одобрење теме докторске дисертације, Филип Зеџ је испунио све обавезе предвиђене Студијским планом и програмом, чиме је остварио укупно 120 ЕСПБ бодова. Положио је следеће испите:

1. Високонапонска расклопна опрема (оцена: 10, ЕСПБ: 9),
2. Стабилност електроенергетских система (оцена: 10, ЕСПБ: 9),
3. Надгледање стања електричних машина у погону (оцена: 10, ЕСПБ: 9)
4. Прелазне појаве у електричним машинама (оцена: 10, ЕСПБ: 9)
5. Мерне спреге и мерни трансформатори (оцена: 10, ЕСПБ: 9)
6. Нуклеарне методе у технолошким процесима (оцена: 10, ЕСПБ: 9)
7. Дозиметрија, заштита од зрачења и нуклеарни отпад (оцена: 10, ЕСПБ: 9)
8. Поузданост електроенергетских система (оцена: 10, ЕСПБ: 9),
9. Увод у научни рад (оцена: 10, ЕСПБ: 9),
10. Високонапонска мерења у електроенергетици (оцена: 6, ЕСПБ: 9).

Испунио је следеће научне и истраживачких обавезе:

1. Научно стручни рад (ЕСПБ: 3),
2. Студијски истраживачки рад I (ЕСПБ: 15),
3. Студијски истраживачки рад II (ЕСПБ: 15),

Кандидат Филип Зеџ је објавио 10 публикација од чега 1 рад у часопису са СЦИ листе (категорија M21). Списак објављених радова дат је у наставку.

## Публиковани радови:

### **M21- Водећи међународни часопис**

1. **Filip Zec**, Nenad Kartalović, Tomislav Stojić, "Prediction of high voltage asynchronous machines stators insulation status applying law on increasing probability", Electrical Power and Energy Systems, 116 (2020) 105524, IF2018: 4.418;

### **M33 - Саопштења са међународних скупова штампаних у целини**

1. **Filip Zec**, Jovan Mikulović, Ana Milošević, Srđan Milosavljević, Nenad Kartalović, "Diagnostics of Failure and New Design of HV Electrostatic Filter Disconnecter in TPP", CIGRE South East European Regional Council Conference 2020 Vienna, Austria (odloženo za 2021. zbog Covid 19)

### **M63 - Саопштења са националних скупова штампаних у целини**

1. **Filip Zec**, Jovan Mikulović, Nenad Kartalović i Ana Milošević, „Ispitivanje parcijalnih pražnjenja na srednjenaponskim gasom izolovanim postrojenjima“, 12. CIGRE SAVETOVANJE, 2020. (odloženo za 2021. zbog Covid 19)
2. **Filip Zec**, Nenad Kartalović i Miladin Jurošević, „Primenljivost zakona o povećanju verovatnoće za predviđanje stanja izolacije statora visokonaponskih asinhronih mašina“, 14. SAVJETOVANJE BH K/O CIGRE, Neum, 20.10. do 23.10.2019.
3. **Filip Zec** i Nenad Kartalović, „Zakon porasta verovatnoće proboja u VN tehnici“, 34. SAVETOVANJE CIGRE Srbija, Vrnjačka Banja, 02.06. do 06.06.2019.
4. **Filip Zec**, Nenad Kartalović, Bojan Radojičić i Marko Cvijanović, „Poređenje online i offline metoda za merenje parcijalnih pražnjenja na velikim generatorima“, 34. SAVETOVANJE CIGRE Srbija, Vrnjačka Banja, 02.06. do 06.06.2019.
5. **Filip Zec**, Nenad Kartalović, „Sistem za online monitoring međunavojne izolacije namotaja rotora turbogeneratorsa“, 33. SAVETOVANJE CIGRE, Zlatibor 5-8 jun 2017.
6. **Filip Zec**, Nenad Kartalović, „Sprežna jedinica za online monitoring parcijalnih pražnjenja velikih obrtnih mašina“, 33. SAVETOVANJE CIGRE, Zlatibor 5-8 jun 2017.
7. **Filip Zec**, Marcin Orzelek, Nenad Kartalović, Ljubiša Mihailović, Bojan Radojičić i Marko Cvijanović, „Monitoring magnetnog polja rotora turbogeneratorsa, primer otkrivanja i popravke međunavojnog spoja namotaja rotora“, 32. SAVETOVANJE CIGRE, Zlatibor 17-21 maj 2015.
8. Milorad Opačić, Ljubiša Mihailović, Predrag Vasić, Mihailo Đorđević, Milorad Popović, **Filip Zec**, „Integrirani sistem generatorskog prekidača i oklopljenih generatorskih sabirnica“, 31. SAVETOVANJE CIGRE, Zlatibor 26-30 maj 2013.

Кандидат Филип Зец је 23. новембра 2020. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду јавно усмено бранио предложену тему докторске дисертације, при чему је комисија у саставу:

1. др Милета Жарковић, доцент, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду,
2. др Ненад Карталовић, научни сарадник, Електротехнички институт „Никола Тесла“, Универзитет у Београду
3. др Јован Цветић, редовни професор, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду
4. др Зоран Лазаревић, редовни професор, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду
5. др Жељко Ђуришић, ванредни професор, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду

закључила да је кандидат Филип Зец на јавној усменој одбрани предложене теме докторске дисертације добио оцену **задовољно** и да задовољава потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

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

На основу резултата које је кандидат постигао у свом досадашњем стручном и научном раду, а од којих бисмо издвојили следеће:

- Кандидат је сакупио сто двадесет (120) ЕСПБ (полагањем испита на докторским студијама и обављањем научно-истраживачких обавеза),
- Дана 23. новембра 2020. године је јавно одбранио тему докторске дисертације пред Комисијом (доцент др Милета Жарковић, др Ненад Карталовић, проф. др Јован Цветић, проф. др Зоран Лазаревић, ванр. проф. др Жељко Ђуришић) формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду на својој седници број 854. од дана 14.10.2020. године,
- Публиковање укупно 10 радова, од којих је 1 рад публикован у врхунском међународном часопису, 1 рад у зборнику међународне конференције, и 8 радова у зборницима скупова националног значаја, што га квалификује за научни рад,
- Остварено практично искуство у области коју покрива предложена тема докторске дисертације,

можемо закључити да кандидат Филип Зеџ у сваком погледу испуњава услове који га квалификују да приступи изради докторске дисертације са предложеном темом.

## **2. Предмет и циљ истраживања**

Актуелни тренд у развоју високонапонске технике се креће у правцу повећања густине снаге (по јединици масе и/или јединици запремине) што резултује повећањем називног напона и смањењем габарита високонапонских јединица. Са друге стране постоји тренд захтева за продужење животног века високонапонских јединица, како за новопроизведене тако и за оне у погону. Због тога се захтева посебна пажња на подизању поузданости рада и расположивости тих јединица. Један од кључних елемената високонапонских јединица је изолациони систем. Стога се значајно улаже у развој нових изолационих материјала, нових технологија, уз употребу моћних компјутерских програма за анализу расподеле електричног поља у изолационим системима, затим у унапређење испитивања, дијагностике и одржавања.

Предмет истраживања предложене докторске дисертације је у складу са поменутиим трендовима развоја изолационих система и подразумева развој предикције стања изолационих система високонапонских електроенергетских објеката. У оквиру докторске дисертације биће истражена могућност и начин примене закона пораста вероватноће одређеног исхода (пробој, прескок, праг парцијалних пражњења и др.) на предикцију отказа, деградације (старења) или поузданости изолационог система високонапонских објеката. Истраживања треба да утврде које мерене величине и на који начин подлежу закону пораста вероватноће у случајевима поређења модела изолационог система и изолационог система реалних објеката као и у случају промене (пораста) величине високонапонских објеката (пораста површине делова изолационог система, пораста волумена изолације, пораст броја компоненти и др.). Такође ће се истражити и утицај протеклог времена експлоатације и могућност примене закона пораста вероватноће на процену преосталог животног века. Циљ истраживања је да се применом закона пораста вероватноће утврде релевантни параметри за оцену стања изолације који доприносе процени животног века за нове високонапонске јединице као и преосталог животног века, односно расположивости високонапонске јединице у погону. Значај истраживања је у унапређењу дијагностике стања високонапонских изолационих система, како новопроизведених, тако и високонапонских јединица у погону.

Посредни значај је у могућим уштедама и финансијским ефектима у производњи и експлоатацији високонапонских објеката [1].

Постављени задатак је изразито мултидисциплинаран, из више разлога. У првом реду сам изолациони систем се, код високонапонских објеката, састоји од врло различитих елемената и различитих материјала. При томе се користе врло различите технологије производње материјала, израде елемената изолационог система и његовог коначног формирања. Затим су од великог значаја услови и појаве приликом експлоатације високонапонских објеката односно изолационог система. Са друге стране, у пракси се користе најразличитије мерне методе за утврђивање стања изолационог система. Резултати испитивања се обрађују високософистицираним софтверима који користе математичке алгоритме. Код статистичке анализе генерално као и код примене закона пораста вероватноће одређеног исхода користе се моћни математички алати.

Предмет истраживања су одабрани изолациони системи који су присутни код високонапонских објеката: разне врсте изолатора, изолациони систем високонапонских обртних машина, изолациони систем кабловских мрежа и др.

Типични елементи изолационих система високонапонске опреме су различите врсте изолатора. Користе се за високонапонске надземне водове и за конвенционална високонапонских разводна постројења, за SF<sub>6</sub> гасом изолована постројења, за високонапонску расклопну опрему, као уводни (изводни) изолатори код високонапонских обртних машина, високонапонских пригушница, као и енергетских и мерних трансформатора.

Обртне електричне машине су најважнији елементи електроенергетске опреме у производном делу електроенергетског система (генератори и високонапонски мотори) и у индустрији када се захтева велика погонска снага (високонапонски мотори). У складу са декларисаним трендовима (повећање густине снаге и продужење животног века изолације) настају значајне промене захтева у погледу особина изолационих система високонапонских обртних машина [1].

У преносу енергије све су заступљеније кабловске енергетске мреже уз пратећу опрему. Са становишта изолационог система кабловске мреже су врло сложене, почев од главне изолације кабла, преко изолационог система спојница и кабловских завршница (глава).

Примарни захтеви који се постављају пред изолациони систем је да буде довољно резистентан на све утицаје током експлоатације и да омогући дуг век високонапонске јединице. То поставља посебне захтеве према пројектовању високонапонских јединица, њиховом моделовању, затим испитивању и реализацији високонапонских јединице као и њиховој експлоатацији. Статистичка анализа доступних података и података из експеримената као и примена закона пораста вероватноће треба да дају значајан допринос постављеним циљевима [2].

Полазна чињеница свих анализа изолационог система је да не постоји технички савршена високонапонска изолација, односно да увек постоје мање или веће несавршености. Узроци ових несавршености су разнолики. Материјал од кога је израђен електроизолациони систем може садржати нехомогености на које се не може утицати и које се не могу отклонити. Несавршености такође могу настати у току производње изолационих елемената или током формирања изолационог система високонапонске јединице. Несавршености и нехомогености су изразито стохастичке природе и подлежу статистичким законитостима као и законитостима пораста вероватноће преко пораста површина, пораста броја компоненти, пораста волумена као и пораста дефеката током времена [2].

Наиме, несавршености односно слаба места могу настати током експлоатације високонапонске јединице, из више разлога. Могу да настану механичка оштећења, упад страних тела и др. Одређени процеси деградације изолационог система се могу подвести под

појам „старење“, на које утичу термичка напрезања (прегревања и/или потхлађивања), механичка напрезања и вибрације, влага, прашина, корозивна испарења и уља а као најважнији чинилац јака диелектрична напрезања. Током диелектричног напрезања високим напоном (јаким електричним пољем) слаба места изолационог система могу да постану места парцијалних пражњења и/или електричног пробоја, односно прескока. Наведени процеси деградације су такође стохастичке природе и подлежу статистичкој анализи процеса старења изолационог система.

Генерално, процене величина које су стохастичке и статистичке природе имају одређена ограничења. Поузданост процена зависи од расположивости података из лабораторијских испитивања, производње, испитивања током експлоатације. За неке савремене материјале и решења изолационих система нема довољно експлоатационих и експерименталних података. Неки материјали су дуго времена у употреби, за њих постоје статистички подаци из експлоатације и подаци из лабораторијских испитивања, тако да је процес старења материјала познат и процена преосталог века трајања може бити поуздана.

Утврђивање стања изолационог система неког високонапонског објекта је сложен поступак испитивања и експертиза појединачних показатеља стања, као и синергистичке спреге посматраних показатеља односно величина. Интензивно се врше лабораторијска истраживања и испитивања као и испитивања у производњи. У експлоатацији, традиционално се врше периодични дијагностички прегледи и испитивања која имају за циљ да у дужем времену одреде трендове промена стања делова изолационог система, или да детектују специфичне недостатке/мане које се могу развити у деловима изолационог система. Такође се врше и додатна испитивања (захтев по стању) у циљу шире дијагностике, процене поузданости и расположивости високонапонске опреме односно преосталог века. Значајни подаци се добијају и из анализа случаја доступних из светске праксе.

Бројне су методе односно величине које се испитују у складу са условима који су често на страни рестриктивности. То су електроизолациони отпор, диелектрична испитивања (диелектрична константа изолације, фактор диелектричних губитака, индекси поларизације и апсорпције, специфична струја ресорпције), испитивање повишеним напоном, испитивање импулсним напоном, испитивање парцијалних пражњења (прага активације и активности парцијалних пражњења), пробојни напон (диелектрична чврстоћа) и др. У лабораторијским условима среће се и низ других стандардизованих и нестандардизованих испитивања [3].

Испитивања током експлоатације практично прате динамику старења изолационог система. Старење као процес у изолационом материјалу се манифестује у деградацији почетних својстава. Постоји мноштво фактора који различито утичу на старење разних изолационих система [4].

Фактори старења односно начин утицаја на стање електроизолационог система високонапонског објекта су бројни и у једном делу се могу посматрати у одвојеним (адитивним) утицајима али је њихово синергистичко деловање најутицајније на убрзано старење. Треба имати у виду да синергија деловања фактора старења може бити врло различита, у зависности од врсте високонапонских објекта односно врсте изолационог система.

Фактори старења изолационог система високонапонске опреме могу бити: термичко напрезање, диелектрично напрезање, механичко напрезање, зрачење, синергистичко деловање више фактора старења (multistressalterung) као и утицај окружења. Ако су у експлоатацији наведена напрезања у дозвољеним (пројектованим) границама, изолациони систем високонапонске опреме ће имати нормално старење, а опрема пројектовани животног век [4-8].

Диелектрично напрезање које узрокује старење изолације настаје због стално присутног електричног поља у изолацији. Неизоставна је синергија диелектричног напрезања са низом

последица тог напрезања, као што су парцијална пражњења, површинске и унутрашње струје цурења. Наведене последице, уз неизбежан утицај околине, доводе до низа деградација изолационих својстава. Такође постоји и стохастичан утицај атмосферских, комутационих и пренапона при прелазним процесима. У случају премашења подносивих вредности напона долази до тежих последица по изолациони систем.

Медијум, када је саставни део изолационог система или његово окружење, својим стањем утиче на низ запреминских процеса у медијуму као и површинских процеса на додирним површинама са изолационим системом. Ако су у медијуму присутне неконтролисане количине агенаса као што су влага, разна уља, масти и разна агресивна испарења, затим проводна или непроводна прашина или честице, долази до убрзане деградације изолационог система.

Када неки од фактора значајно премашу пројектоване вредности, он постаје доминантан фактор и као такав се мора третирати у процени животног века. На пример, ако се из неког разлога повећа активност парцијалних пражњења, уз присуство ваздуха и влаге, долази до стварања азотне киселине која даље деградира изолациони систем. Тако деградиран изолациони систем има још већа парцијална пражњења. На изолациони систем делује позитивна повратна спрега и синергија више фактора, али су парцијална пражњења доминантан фактор.

На основу наведеног формирају се одређени модели изолационог система који репрезентују изолациони систем реалног објекта или један модул (део) изолационог система. При томе се одређују контролисани услови експеримента који ће омогућити екстракцију доминантних параметра за статистичку анализу. Модели морају да буду таквог карактера да омогућују екстраполацију резултата диелектричних испитивања на скалирано крупније високонапонске објекте или са бројнијим модулима, као и скалирање у времену помоћу закона пораста вероватноће. Примена закона пораста вероватноће одређеног исхода се врши у више корака. Уобичајен начин примене је прецизно (преко великог броја исхода) утврђивање основних параметара тестиране расподеле  $F_1$  за изабрану величину (на пример за пробојни напон) на великом броју модела изолационог система од интереса. Затим се мањим бројем исхода утврђују додатни параметри који омогућују екстраполацију резултата расподеле  $F_1$  на расподелу  $F_n$ , где је  $n$  скалирајући фактор који се може односити на  $n$  пута увећану површину, увећану запремину, увећан број елемената и др. С обзиром на однос модела и реалних објеката у погледу величина од интереса, неопходно је статистичку анализу вршити помоћу развијених модела мешовитих расподела [1,2].

#### **Релевантни библиографски извори:**

Најзначајнији библиографски извори који се односе на истраживање из области теме докторске дисертације наведени су у следећој листи:

- [1] Filip Zec, Jovan Mikulović, Nenad Kartalović i Ana Milošević, Ispitivanje parcijalnih pražnjenja na srednjenaponskim gasom izolovanim postrojenjima, 12. CIRED SAVETOVANJE, 2020 (odloženo za 2021. zbog Covid 19)
- [2] W. Hauschild, W. Mosch, "Statistical techniques for high-voltage engineering", IET Digital Library, 2011, doi:10.1049/pbpo013e
- [3] F.Zec, J. Mikulović, A. Milošević, N. Kartalović, S. Milosavljević, "Diagnostics of Failure and New Design of HV Electrostatic Filter Disconnecter in TPP", CIGRE South East European Regional Council Conference 2020 in Vienna, Austria
- [4] G. C. Montanari, G. Mazzanti, and L. Simoni, "Progress in electrothermal life modeling of electrical insulation over the last decades", IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 9, no. 5, pp. 730–745, 2002.

- [5] G. Mazzanti and M. Marzinotto, "Extruded Cables for High Voltage Direct Current Transmission: Advances in Research and Development", Power Engineering Series, Wiley–IEEE Press, 2013.
- [6] R. Bartnikas, ed., "Power and Communication Cables. IEEE Press Series on Power Engineering", New York, NY: Wiley, 2000.
- [7] T. Worzyk, "Submarine Power Cables", Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2009.
- [8] EM. Fort, HE Pietsch, „Aging of insulation by thermal and electrical stresses“, Proceedings of the Electrical/Electronics Insulation Conference, 2016. doi:10.1109/EIC.1975.7458519

### 3. Полазне хипотезе

Истраживање ће бити спроведено како би се провериле следеће полазне хипотезе:

X1: Могуће је фомирати моделе изолационог система за сваки ВН објекат од интереса који репрезентује релевантне диелектричне карактеристике целог изолационог система или једног његовог модула. Различити модели се формирају сагласно претпоставци да важи закон пораста вероватноће.

Хипотеза се заснива на претпоставци да модел репрезентује изолационо најслабији део система или модула. При томе се сматра да су сви модуларни делови изолационог система од интереса произведени од истих материјала и истом технологијом, или из истих услова експлоатације односно старења.

X2: На основу статистичке анализе резултата одређеног броја узорак и модела изолационог система високонапонске опреме изложених познатим напрезањима током експеримента у контролисаним условима може се изнаћи статистичка расподела која потврђује закон пораста вероватноће за изабрано напрезање.

Хипотеза се заснива на претпоставци да Вејбулова расподела омогућује изналажење параметара закона пораста вероватноће чија екстраполација би се потврдила на одговарајућем моделу.

X3: Методе испитивања парцијалних пражњења (напонског прага и активности), пробојног напона и подносивог напона подлежу закону пораста вероватноће и дају добре резултате код процене стања изолационог система и/или преосталог животног века ВН јединице.

Хипотеза се заснива на претпоставци да Вејбулова расподела омогућује изналажење параметара закона пораста вероватноће за сваку наведену величину односно методу испитивања и то на начин који омогућава екстраполацију резултата.

X4: На основу статистичке анализе резултата испитивања и доступних података за већи број узорак изолационог система високонапонске опреме изложених познатим напрезањима током различитих времена експлоатације (почев од нових па до узорак са отказом) може се изнаћи статистичка расподела која показује очекивани преостали век.

Хипотеза X4 се заснива на претпоставци да се могу изнаћи подаци за поједине узорке за које се знају експериментални подаци, експлоатациони подаци или за које је забележен радни век. То би омогућило проверу како се ти узорци слажу са изведеним статистичким расподелама.

#### 4. Научне методе истраживања

Истраживање је засновано на теоријским, експерименталним, емпиријским и математичким методама. Прегледом доступне научне литературе из релевантне области и сродних области долази се до аналитичко-дедуктивних закључака о формирању одговарајућих физичких (експерименталних) и математичко-статистичких модела за даље истраживање [1,2].

Експериментални поступак спровешће се, под добро контролисаним лабораторијским условима. Физички модели и узорци су репрезентативног карактера за модуле (делове) високонапонске изолације код неколико типова високонапонских објеката (ВН обртне електричне машине, изолатори...). Све методе испитивања су у складу са важећим релевантним стандардима [5].

Емпиријски поступак истраживања се спроводи на експлоатационим подацима доступним из литературе, база података, експертиза и студија случаја.

Сви добијени подаци се анализирају и обрађују математичко-статистичким поступцима. Обрадом резултата треба да се дође до заједничких групних параметара који карактеришу неке особености изолационог система сагласно закону пораста вероватноће за посматрану величину.

Након извршених истраживања сви резултати ће бити подвргнути експертизи и тумачењу научно-стручним методама.

#### 5. Очекивани научни допринос

Очекивани научни доприноси ће бити на пољу унапређења метода и поступака испитивања и дијагностике изолационих система високонапонских објеката. Посредно, допринос се очекује у унапређењу поузданости и расположивости високонапонских објеката односно продужењу животног века.

Истраживање треба да покаже који су релевантни параметри за моделе изолационих система који одражавају њихове реалне карактеристике (код реалних објеката). У том смислу научни допринос се очекује у развоју и верификацији експериментално-нумеричког алгорита који ће омогућавати да се релативно лако изводљивим експериментом на моделу, процени (екстраполира) стање изолационог система реалног високонапонског објекта.

Истраживања треба да дају допринос унапређењу испитивања и дијагностике на моделима како би се превазишла нека од ограничења деструктивних испитивања високонапонских изолационих система.

#### 6. План истраживања и структура рада

Истраживање у области предикције стања изолационог система високонапонске електроенергетске опреме применом закона пораста одвијаће се у следећим корацима:

1. Анализа доступне релевантне научно-стручне литературе из области производње изолационих материјала, технолошких поступака израде изолационог високонапонског објекта и метода испитивања релевантних карактеристика.
2. Анализа доступне релевантне научно-стручне литературе из области математичких модела и статистичке анализе везане за истраживање закона пораста вероватноће у области карактеризације изолационих система као и у сродним областима.
3. Анализа релевантне литературе и стандарда из области диелектричних и високонапонских испитивања изолационих система високонапонског објекта, са акцентом на испитивању парцијалних пражњења, диелектричне чврстоће (пробојног напона), подносивог напона.
4. Анализа релевантних доминантних оптерећења и појава у изолационом систему високонапонских објеката приликом одређених испитивања као и развој алгорита који утврђују закон пораста вероватноће за одређени исход приликом испитивања модела и скалираних објеката.

5. Анализа доминантних процеса старења и утврђивање алгоритама за процену века трајања изолационог система високонапонских објеката применом статистичких метода.
6. Конципирање експерименталних поступака који омогућују израду одговарајућих модела изолационог система као и експеримента на реалним објектима који су у складу са захтевима алгоритама за утврђивања закона пораста вероватноће и за утврђивање животног века.
7. Израда потребних модела и узорака као и реалних објеката у складу са концептом експеримента, за сваки високонапонски објекат од интереса.
8. Избор мерених величина и из мерења изведених величина које ће на најбољи начин допринети циљевима истраживања.
9. Израда нумеричког алгорита за испитивање припадности узорака једног типа јединственом статистичком узорку, као и алгорита за обраду експерименталних резултата.
10. Извршење експеримената, прикупљање релевантних података, обрада свих података.
11. Анализа добијених резултата. Приказ закључака и давање предлога за даља испитивања у области.

## 7. Закључак и предлог

На основу приложене документације, као и непосредног увида у досадашњи научни рад кандидата Филипа Зеца, мастер инж. ел., Комисија је закључила да:

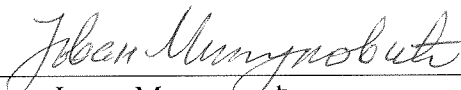
1. Кандидат испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду за одобрење теме за израду докторске дисертације;
2. Предложена тема је научно заснована, а резултати до којих ће се доћи изградом ове дисертације представљаће значајан и оригиналан допринос у предметној области истраживања.

Ужа научна област теме су електроенергетске мреже и системи, за коју је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матичан.

Узимајући у обзир све поменуте чињенице, комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се кандидату Филипу Зецу одобри израду докторске дисертације под насловом „Предикција стања изолационог система високонапонске електроенергетске опреме применом закона пораста вероватноће”. За ментора израде докторске дисертације предлаже се др Јован Микуловић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Уз овај извештај се прилаже и списак радова предложеног ментора на одговарајућем формулару Универзитета.

У Београду, 23. децембар 2020. године

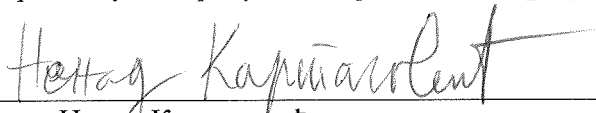
Чланови комисије



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



др Милета Жарковић, доцент  
Универзитет у Београду, Електротехнички факултет



др Ненад Карталовић, научни сарадник  
Универзитет у Београду,  
Електротехнички институт „Никола Тесла”



др Јован Цветић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Електротехнички факултет



др Зоран Лазаревић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Електротехнички факултет



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