

Ag 14.1.

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA UNIVERZITETA U BEOGRADU

Na 733. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, održanoj 14. juna 2011. godine, imenovana je Komisija za ocenu uslova i prihvatanje teme doktorske disertacije magistra Dragana Brajovića, diplomiranog inženjera elektrotehnike, pod naslovom **"Uticaj električnog pražnjenja u gasovima na kontaminaciju naponskog oblika u niskonaponskoj električnoj mreži"**, u sastavu dr Z. Lazarević, prof., dr M. Đurić, prof., dr B. Lončar, van. prof., dr M. Kostić, prof., i dr P. Osmokrović, prof. Posle uvida u dostavljeni materijal Komisija je predložila Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da imenuje novu Komisiju za ocenu uslova i prihvatanje teme u sastavu dr P. Osmokrović, prof., dr J. Cvetić, prof., dr M. Kostić, prof., i dr M. Kuraica, van. prof. (Fizički fakultet Beograd), kao i da usvoji, novi, korigovani naslov prijavljene doktorske disertacije mr Dragana Brajovića **"Stabilizacija električnog pražnjenja u gasovima pod dejstvom spoljašnjeg zračenja"**. Na 738. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, održanoj 1. novembra 2011. godine, ovaj predlog je prihvaćen i imenovani smo za članove Komisije za ocenu uslova i prihvatanje teme doktorske disertacije mr Dragana Brajovića pod naslovom **"Stabilizacija električnog pražnjenja u gasovima pod dejstvom spoljašnjeg zračenja"**. Posle uvida u prvobitno i naknadno dostavljeni materijal podnosimo Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu sledeći

I Z V E Š T A J

1. Podaci o kandidatu

Dragan Brajović je rođen 12. decembra 1963. godine u Čačku, gde živi i radi. Osnovnu školu, osnovnu muzičku školu i srednje usmereno obrazovanje matematičko – tehničke struke završio je u Čačku (1978., 1979. i 1982. godine). Na energetsom odseku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu diplomirao je 1990. godine, odbranivši diplomski rad pod nazivom "Testiranje živinih i natrijumovih izvora svetlosti visokog pritiska". Zvanje magistra tehničkih nauka stekao je 2003. godine na Tehničkom fakultetu u Čačku, a magistarski rad je nosio naziv "Priključivanje i uticaj elektrotermičkih uređaja i postrojenja na napojnu električnu mrežu". Stručni ispit propisan za diplomiranog inženjera elektrotehnike, energetskog odseka, položio je 1994. godine. Posедуje licencu "Odgovorni projektant elektroenergetskih instalacija niskog i srednjeg napona" i licencu "Odgovorni izvođač radova elektroenergetskih instalacija niskog i srednjeg napona". Položio je i stručni ispit za poslove zaštite od požara, 2006. godine.

Za vreme školovanja stekao je više priznanja od kojih su sledeća najznačajnija: diploma "Vuk Karadžić", zlatna medalja na Republičkom takmičenju iz elektrotehnike, zlatna medalja na Saveznom takmičenju iz elektrotehnike, bronzana medalja na Republičkom takmičenju iz elektrotehnike.

Od 1991. godine zaposlen je na Višoj tehničkoj školi Čačak na radnom mestu asistenta, a zatim stručnog saradnika. Na elektrotehničkom odseku ove škole bio je angažovan na izvođenju laboratorijskih i računskih auditornih vežbi iz sledećih predmeta: Elektrane i razvodna postrojenja, Električne instalacije i osvetljenje i Prenos električne energije. Pored ovoga, bio je angažovan kao stručni saradnik i na predmetima Tehničko crtanje (elektrotehnički odsek) i Elektrotehnika (mašinski odsek). Od 2003. godine radi kao predavač na Višoj tehničkoj školi Čačak za predmete Elektrane i razvodna postrojenja, Električne instalacije i osvetljenje i naučnu oblast Elektroenergetika.

Odlukom Nastavnog veća Visoke škole tehničkih strukovnih studija Čačak o utvrđivanju ekvivalentnih izbornih zvanja, zaposlen je od 01.10.2007. godine, pa do danas, kao predavač Visoke škole strukovnih studija za užu naučno stručnu oblast Elektroenergetika i nastavne predmete: Elektrane i razvodna postrojenja, Kvalitet električne energije, Električne instalacije, Električno osvetljenje, Specijalne električne instalacije, Relejna zaštita, Osnovi elektroenergetike i Stručna praksa. Kao mentor, do sada je učestvovao u izradi diplomskih i završnih radova studenata na osnovnim studijama Elektrotehničkog odseka, smera Elektroenergetika, i specijalističkih radova, u okviru predmeta na kojima izvodi nastavu.

Od 2005. godine rukovodi radom Konsultativnog centra VŠTSS Čačak u Lazarevcu, a od 2010. godine je i zamenik direktora škole. Oženjen je i otac je dve kćerke i sina.

Spisak publikovanih radova Dragana Brajovića je sledeći:

- [1] **D. Brajović**, *"Testiranje živinih i natrijumovih izvora svetlosti visokog pritiska"*- diplomski rad, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1990.
- [2] V. Brajović, **D. Brajović**, *"Male livačke peći"*, Republičko ministarstvo za nauku i tehnologiju, Beograd, 1992.
- [3] M. Vujičić, **D. Brajović**, *"Uticaj cene električne energije na ukupne godišnje troškove provodnika"*, Zbornik radova Tehničkog fakulteta, Čačak, 1993.
- [4] **D. Brajović**, M. Otović, *"Transformatori sa rasipnim poljem za uređaje sa svetlećim cevima napona preko 1000V"*, Jugoslovensko savetovanje Osvetljenje 93, Novi Sad, 1993.
- [5] **D. Brajović**, *"Analiza problema sa harmonicima i niskim faktorima snage izvora svetlosti sa električnim pražnjenjem"*, Osvetljenje 95, Ivanjica, 1995.
- [6] **D. Brajović**, T. Marjanović, M. Otović, *"Tehnološki aspekti primene predspojnih komponenti za sijalice sa pražnjenjem"*, Osvetljenje 95, Ivanjica, 1995.
- [7] **D. Brajović**, M. Vujičić, *Izbor optimalnog izvora svetlosti u javnom osvetljenju*, Zbornik radova Tehničkog fakulteta, Čačak, 1995.
- [8] M. Ljubić, P. Bojić, P. Božić, B. Marić, **D. Brajović**, *Osvetljenje-stručna publikacija*, Elektroprivreda Srbije, 1996.
- [9] **D. Brajović**, M. Vujičić, *"Novi kvaliteti proračuna osvetljenja tunela"*, Zbornik radova Tehničkog fakulteta, Čačak, 1996.
- [10] **D. Brajović**, T. Marjanović, *"Ispitivanje transformatora sa rasipnim poljem za napajanje svetlećih cevi napona preko 1000V"*, Savetovanje Transformatori u elektroenergetici, Beograd, 1996.
- [11] M. Vujičić, P. Ružičić, **D. Brajović**, *"Tipovi poljoprivrednih sušara za brdsko-planinsko područje"*, Savremena poljoprivreda VOL46, Novi Sad, 1998.
- [12] V. Brajović, **D. Brajović**, *"Filosofija električne zaštite"*, IV Konferencija-Atmosferska pražnjenja i zaštita, Vrnjačka Banja, 2001.
- [13] **D. Brajović**, V. Katić, S. Popović, *"Elektrolučne peći kao izvori viših harmonika-analiza rezultata merenja"*, JUKO-CIRED, Vrnjačka Banja, 2002.
- [14] **D. Brajović**, S. Popović, V. Katić, D. Popov, *"Influenta receptorilor electrici asupra calitatii energiei din retelele electroenergetice"*, Tehnica Instalatiilor 5/2002, Bucuresti, 2002.
- [15] **D. Brajović**, V. Katić, S. Popović, *"Modelovanje i merenje viših harmonika elektrolučne peći"*, JUKO-CIGRE, Banja Vrućica-Teslić, 2003.
- [16] **D. Brajović**, *"Priključivanje i uticaj elektrotermičkih uređaja i postrojenja na napojnu električnu mrežu"*, magistarski rad, Tehnički fakultet, Čačak, 2003.

- [17] **D. Brajović**, *"Electric energy quality-analysis of connecting electro-arched furnace to charge grid problem"*, Trends in the Development of Machinery and Associated Technology, Hammamet, Tunisia, 2007.
- [18] **D. Brajović**, V. Brajović, *"Analiza rada uređaja za dielektrično grejanje kondenzatorskog tipa"*, Tehnika i praksa br.1, VŠTSS Čačak, 2010.
- [19] **D. Brajović**, Ž. Čurguz, O. Stijačić, *"Incidentne situacije u korišćenju SF6 visokonaponskih prekidača i preventivne mere za njihovo sprečavanje"*, Tehnika i praksa br. 2, VŠTSS Čačak, 2010.
- [20] **D. Brajović**, V. Savić, D. Mladenović, *"Brza lokalizacija kvarova na SN vodovima upotrebom mikroprocesorskih releja i digitalne geografije"*, Tehnika i praksa br. 2, VŠTSS Čačak, 2010.
- [21] **D. Brajović**, P. Grujičić, N. Stojanović, A. Kovačević, *"Analiza elektrostatičkih filtera u termoelektranama"*, Tehnika i praksa br. 3, VŠTSS, Čačak, 2010.
- [22] **D. Brajović**, B. Milošević, D. Todorčić, D. Tanjević, *"Povećanje snage generatora i savremene relejne zaštite generatora i blok transformatora u termoelektranama"*, Tehnika i praksa br. 3, VŠTSS, Čačak, 2010.
- [23] **D. Brajović**, N. Bubalo, Š. Vujić, B. Đurđić, *"AMM sistem za daljinsko očitavanje i upravljanje brojilima"*, Tehnika i praksa br.3, VŠTSS, Čačak, 2010.
- [24] **D. Brajović**, N. Munjas, *"Primena savremenih programskih paketa kod izbora optimalnog rešenja u osvetljenju umetničkih galerija"*, Tehnika i praksa br. 3, VŠTSS, Čačak, 2010.
- [25] **D. Brajović**, P. Aksentijević, B. Mladenović, N. Petković, *"Ispitivanje mikroprocesorske zaštite srednjenaponskih vodova"*, Tehnika i praksa br. 3, VŠTSS, Čačak, 2010.
- [26] **D. Brajović**, B. Palivec, M. Čolović, E. Zajmović, *"Korekcija faktora snage u distributivnim mrežama sa priključenim vetrogeneratorima"*, Tehnika i praksa br. 5, VŠTSS, Čačak, 2011.
- [27] **D. Brajović**, M. Jevđić, B. Stevanović, *"Prepoznavanje kvara energetske transformatora u eksploataciji na bazi analize ulja"*, Tehnika i praksa br. 5, VŠTSS, Čačak, 2011.
- [28] **D. Brajović**, I. Samardžić, M. Gogić, *"Poboljšanje energetske efikasnosti u osvetljenju"*, Tehnika i praksa br. 5, VŠTSS, Čačak, 2011.
- [29] **D. Brajović**, Z. Lazarević, *"Optimal compensation of reactive power in wire nets with higher harmonics of voltage and current"*, Trends in the Development of Machinery and Associated Technology, Prague, 2011.
- [30] **D. Brajović**, D. Sretenović, *"Influence of continual regulation of light flux in public lighting on electric energy quality"*, Trends in the Development of Machinery and Associated Technology, Prague, 2011.
- [31] E. Gašanin, **D. Brajović**, M. Dobričić, Z. Ristanović, *"The correlation between the change in the density of free electrons and the relative magnetic permeability of the amorphous alloy FE37.5NI17.5CR5CO15SI10 under the influence of heat action"*, YUCOMAT 2011, Herceg Novi, 2011.
- [32] Z. Ristanović, M. Dobričić, **D. Brajović**, D. Sretenović, *"Influence of mechanical activation on the electrical and magnetic properties of ferrite powders"*, YUCOMAT 2011, Herceg Novi, 2011.

2. Predmet i cilj istraživanja

Električno pražnjenje u gasovima nastaje kao samoodržavajući proces nastanka i nestanka jonsko-elektronskih parova pod dejstvom električnog polja. Do inicijalizacije električnog pražnjenja u gasovima dolazi kada slobodan elektron dođe u poziciju da na jednoj srednjoj slobodnoj dužini puta dobije, od električnog polja, dovoljno energije da pri sudaru jonizuje atome ili molekule gasa u kome se nalazi, tj. da postane inicijalni elektron. Tako nastaju novi slobodni elektroni i joni koji se kreću u pravcu vektora jačine električnog polja u suprotnim smerovima. Ovaj proces se naziva lavinskim pražnjenjem, pošto od jednog inicijalnog elektrona, geometrijskom progresijom, nastaje veliki broj elektronsko-jonskih parova. Naime, za izvođenje uslova proboja Taunsendovim mehanizmom, predstavom lavinskog mehanizma Markovljevim lancima, uvodi se pretpostavka da je broj tako nastalih elektrona beskonačan (izjednačavanjem imenioca sume geometrijske progresije broja elektrona nastalih lavinskim procesom sa nulom). Sekundarni efekti na elektrodama (pri nižim vrednostima proizvoda pritiska i dužine međuelektrodnog rastojanja), ili u gasu (pri visokim vrednostima proizvoda pritiska i dužine međuelektrodnog rastojanja), čine lavinski proces samoodržavajućim, uvođenjem pozitivne povratne sprege. Sudarni procesi kod kojih je razmenjena energija manja od energije veze ne rezultiraju ka jonizaciji molekula ili atoma, već pobuđivanjem (eksitacijom) atoma na više kvantnomehaničke nivoe. Pošto su tako nastali pobuđeni molekuli ili atomi gasa nestabilni, oni se trenutno, sem u slučaju pobuđenih metastabilnih nivoe, vraćaju u osnovno energetska stanje koje odgovara minimumu potencijalne energije, takozvanim procesom deeksitacije, pri čemu se emituju diskretni fotoni talasne dužine određene karakterističnim spektrom molekula ili atoma posmatranog gasa. Procesima deeksitacije i rekombinacije nastali fotoni, talasnih dužina u vidljivom delu spektra, osnova su svetlosnih pojava električnog pražnjenja u gasovima.

Tokom prethodno opisanog mehanizma električnog pražnjenja u gasovima, pored, jonizacionih procesa dolazi i do rekombinacionih procesa. Prilikom nastanka rekombinacionih procesa, koji su u slučaju stabilnog pražnjenja u dinamičkoj ravnoteži sa jonizacionim procesima, dolazi do emisije fotona talasnih dužina određenih jonizacionom energijom gasa u kome se posmatrani proces dešava. Ako se talasne dužine tih fotona nalaze u vidljivom delu elektromagnetskog spektra, tada električno pražnjenje postaje i izvor svetlosti. Kako opisana svetlosna pojava nastaje rekombinacijom jona i elektrona, odgovarajući energetski spektar fotona je diskretne prirode, određene spektralnim linijama gasa u kome se pražnjenje dešava. U nekim slučajevima ova svetlost može biti i monohromatska, pošto opšti principi fizike favorizuju jonizaciju odvajanjem k elektrona, a rekombinaciju popunjavanjem tako nastale šupljine u k ljusci nekim perifernim elektronom koji se zamenjuje slobodnim rekombinacionim elektronom. Tako se, na primer, prilikom rekombinacija u natrijumu niskog pritiska javljaju dve veoma bliske linije talasnih dužina 589nm i 589,6 nm (koje pripadaju žutom delu spektra i koje su jedno vreme bile korišćene za primarni etalon dužine). Od posebnog interesa za fiziku električnog pražnjenja u gasovima, kao i za njenu primenu, je pražnjenje na niskom pritisku.

Kod električnog pražnjenja na niskom pritisku, ispoljava se veliki broj pojava, pa postoje dva uobičajena načina za njihovu klasifikaciju. Prvi se zasniva na posmatranju promena na karakteristici struja-napon. Svaki elektron koji napušta katodu kreće ka anodi proizvodeći jonske parove na svom putu. Ovako nastali joni kreću se prema katodi, gde sekundarnom emisijom uzrokuju nove elektrone. Kad su naponi niski i struje male, multiplikacija je nedovoljna i ne vodi ka ustaljenom pražnjenju; struja teče samo u stohastičkim impulsima. Ako postoji spoljni uzrok za elektronsku emisiju, recimo iz fotoelektričnog izvora, struja zavisi od njegove jonizacione efikasnosti. Proboj nastaje na početku Townsendove oblasti pražnjenja. Kako struja raste, pražnjenje počinje da tinja vidno

i potencijal na cevi pada do jedne konstantne vrednosti. Ako se pražnjenje odvija u vrlo nehomogenom polju, recimo između šiljka i ravni ili između koaksijalnih cilindara, ono se naziva korona pražnjenja. Oblast u kojoj je razlika potencijala konstantna, zove se *normalno tinjavo pražnjenje*. Ovde pražnjenje prekriva samo deo katode, pri čemu je površina proporcionalna struji. Gustina struje je konstantna. Kad svetlost pokrije celu katodu, dalje povećanje struje uzrokuje porast napona; ovo je oblast koja se zove *abnormalno tinjavo pražnjenje*. Mehanizam pražnjenja pri velikim strujama nosi naziv luka.

Rani radovi na gasnim pražnjenjima bili su koncentrisani na vizuelnu studiju ponašanja tinjavog pražnjenja i doveli su do klasifikacije raznih vidljivih delova.

Astonov tamni prostor je oblast u kojoj se prikupljaju elektroni nastali usled bombardovanja katode pozitivnim jonima, da bi bili ubrzani u Cruksom tamnom prostoru. Postoje različite vrste katodne svetlosti: prvi katodni sloj, katodna tinjava svetlost i katodna svetlost u užem smislu. Prvi katodni sloj je pojava koja nastaje pri niskim pritiscima i niskim naponima i uzrokovan je eksitacijom gasa elektronima. Nekad se vide dva ili tri ovakva sloja. Pri višim pritiscima i naponima, površina katode je prekrivena baršunastom prekrivkom koja se zove katodna tinjava svetlost. Ovo potiče od gubitka eksitacione energije pri neutralizaciji pozitivnih jona. Kad je katoda prekrivena tankim metalnim ili oksidnim slojem, atomi tog sloja mogu biti raspršeni i njihova eksitacija dovodi do katodne svetlosti u užem smislu.

Cruks (ili katodni) tamni prostor je oblast u kojoj energija elektrona raste do vrednosti koja je dovoljna da uzrokuje negativno svetlo pri neelastičnom sudaru sa atomima gasa. Ovaj prostor se još zove i katodni tamni prostor, a pad potencijala na njemu se zove katodni pad.

U Faradejevom tamnom prostoru, energija elektrona izgubljena u negativnom svetlu, ponovo raste dok ne dođe do nivoa potrebnog za jonizaciju, što obeležava početak pozitivnog stuba. Pozitivni stub je sam po sebi pasivna oblast. Njegova primarna funkcija je da poveže katodi i anodni deo pražnjenja. Dužina pozitivnog stuba je, uopšte uzevši, diktirana dužinom cevi i pritiskom gasa. Ako je cev prekratka ili pritisak suviše nizak, pozitivni stub može da nedostaje u potpunosti, a da to ne utiče na rad pražnjenja.

Langmir je izvesno vreme bio jako zainteresovan za funkciju i ponašanje pozitivnog stuba. Kako je bio impresioniran njegovom pasivnom prirodom i činjenicom da se oblikuje prema formi cevi u kojoj se nalazi, on je 1929. godine predložio za pražnjenje u pozitivnom stubu naziv *plazma*, pri čemu je upotrebio koren grčke reči koja znači i *oblikovati*, *liti*. Ova reč je danas u opštoj upotrebi.

Anodnu svetlost proizvode elektroni čija se energija u poslednjih nekoliko slobodnih putanja dovoljno povećala da može da izazove mali višak jonizacije usled polja prostornog naelektrisanja pozitivnih jona koji stižu iz pravca anode. Debljina anodnog tamnog prostora je reda veličine srednje slobodne putanje elektrona.

Opšti vid tinjavog pražnjenja je karakterističan za pritiske reda 1 mbar. Kad se pritisak povećava, sve zone u negativnom delu – katodni tamni prostor, negativna svetlost i Faradejev tamni prostor se sabijaju ka katodi. Pozitivni stub se širi i ispunjava oslobođeni prostor. Pri pritisku od oko 100 mbar negativna svetlost je prividno na površini katode i jedini negativni prostor koji preostaje je Faradejev tamni prostor. Približno 100 mbar pozitivni stub se kontrahira radijalno i ne ispunjava više celu cev.

Ako se pritisak smanjuje, negativne zone se šire i granice između zona postaju difuzne; pozitivni stub se povlači ka anodi i na kraju nestaje. Pri daljem smanjivanju pritiska Faradejev tamni prostor i negativna svetlost isto iščezavaju u anodi. Kad Faradejev tamni prostor dođe do anode, anodna svetlost nestaje i pražnjenje se gasi, sem ako se napon na cevi ne poveća. Kad se ovo dogodi, govori se o *otežanom* pražnjenju.

Pri daljem smanjivanju pritiska negativna svetlost nestaje kad je razmak između katode i anode manji od normalne dužine tamnog prostora. Ova vrsta pražnjenja javlja se na

pritiscima reda 1 μ bar i uz napon na cevi od 2 do 5 kV i naziva se *pražnjenje na kanalskim zracima*.

Kad se povećava razmak između elektroda, potreban je veći napon za održavanje pražnjenja. Dužina pozitivnog stuba raste, ali u negativnim zonama nema nikakvih efekata.

Kada se rastojanje između elektroda smanjuje, potreban je sve manji napon za rad tinjavog pražnjenja. Dok se anoda kreće kroz Faradejev tamni prostor, anodna svetlost nestaje uz malo opadanje napona. Kad se anoda dovede blizu katodne ivice negativne svetlost, pražnjenje je ponovo *otežano* i napon naglo raste.

Kod povećanja potencijalne razlike na cevi dužina katodnog tamnog prostora se smanjuje, a dužina negativne svetlosti malo raste. Kad se struja povećava pražnjenje postaje svetlije. Pri višim naponima, katodna svetlost postaje jača i može da poprimi drugačiju boju od boje koja je karakteristična za posmatrani gas. Isto tako, zone postaju oštrije određene.

U zavisnosti od vrste gasa menjaju se karakteristične boje negativnih zona i pozitivnog stuba.

Sve prethodno opisane pojave električnog pražnjenja u gasovima na niskom pritisku predstavljaju stohastičke procese, pošto zavise od nastanka slobodnog elektrona unutar kritične zapremine, odnosno unutar dela prostora u kojem je vrednost električnog polja takva da elektron na jednoj srednjoj slobodnoj dužini puta može od njega preuzeti dovoljno energije da izvrši proces jonizacije. Takvi slobodni elektroni nastaju usled dejstva sekundarne komponente kosmičkog zračenja u interakciji sa gasom ili elektrodnom sistemom ili zidovima komore ili sudarima atoma i molekula gasa sa kraja Bolcmanove raspodele, kao i sudarima atoma i molekula koji se nalaze u metastabilnom stanju. Navedeni efekti nastanka slobodnog elektrona i njegova transformacija u inicijalni elektron, predstavljaju stohastičke procese koji rezultiraju stohastičnošću svih parametara, mikroskopskih i makroskopskih, električnog pražnjenja na niskom pritisku gasa. U cilju stabilizacije parametara električnog pražnjenja u gasovima, potrebno je povećati koncentraciju slobodnih, potencijalno inicijalnih, elektrona u zapremini gasa.

Cilj ovog rada je ispitivanje uticaja jonizujućeg zračenja i parametara elektrodnog sistema na stabilizaciju električnog pražnjenja gasova na niskom pritisku.

3. Polazne hipoteze

Polazeći od poznatih efekata jonizujućeg zračenja u gasovima, jonskog izbijanja, fotoelektričnog efekta, hladne i tople emisije biće ispitivan način koji pouzdano obezbeđuje dovoljnu koncentraciju slobodnih, potencijalno-inicijalnih elektrona, a samim tim i makroskopskih parametara električnog pražnjenja na niskom pritisku. Takođe će biti razmatrana i mogućnost postojanja pozitivnog sinergističkog efekta kombinacijom pomenutih efekata. Osnovna naučno-stručna literatura na koju će se osloniti, odnosno kojom će se nadgraditi, rezultati predložene disertacije su:

- [1] B. Lončar, P. Osmokrović, S. Stanković: Radioactive Reliability of Gas Filled Surge Arresters, IEEE Transactions on Nuclear Science, 2003, Vol. 50, No. 5., pp. 1725-1731.
- [2] P. Osmokrović, A. Vasić, T. Živić: The Influence of the Electric Field Shape on the Gas Breakdown under Low Pressure and Small Inter-Electrode Gap Conditions, IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 33, No. 5 (2005), p.p. 1677-1681.
- [3] P. Osmokrović, B. Lončar, S. Stanković.: The New Method of Determining Characteristics of Elements for Overvoltage Protection of Low-voltage System, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 55, No. 1 (2006), pp. 257-265.
- [4] B. Lončar, P. Osmokrović, A. Vasić, S. Stanković: Influence of Gamma and X Radiation on Gas-filled Surge Arrester Characteristics, IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 34, No. 4 (2006), pp. 1561-1565.

- [5] P. Osmokrović, M. Vujisić, J. Cvetić, M. Pešić: Stochastic nature of electrical breakdown in vacuum, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 14, No. 4 (2007), pp. 803-812.
- [6] Z. Trifkovic, P. Osmokrović Resonant generation of the rectification electric mode in suddenly created cold lossless magnetized plasma. transversal propagation, Journal of Applied Physics, 2009, Vol. 105, No. 1, art. no. 013310.
- [7] P. Osmokrović, M. Jurosevic, K. Stankovic, M. Vujisic, Radiation hardness of gas discharge tubes and avalanche diodes used for transient voltage suppression, Radiation Effects and Defects in Solids, Vol. 164, No. 12, pp. 800-808, 2009.
- [8] P. Osmokrović, S. Đekić, K. Stanković, M. Vujisić, Conditions for the applicability of the geometrical similarity law to gas pulse breakdown, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 17, No. 4, (2010), pp. 1185-1195
- [9] G. Đogo, P. Osmokrović, "Statistical Properties of Electrical Breakdown in Vacuum", IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. 24, pp. 949-953, 1989.
- [10] M. M. Pejovic, G. S. Ristic, J. P. Karamarkovic, "Electrical Breakdown in Low Pressure Gases", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 35, pp. 91-103, 2002.
- [11] M. M. Pejovic, G. S. Ristic, "Memory Effects in Argon, Nitrogen, and Hydrogen", IEEE Trans. Plasma Sci. Vol. 30, pp. 1315-1319, 2002.
- [12] P. Osmokrović, M. Vujisic, K. Stankovic, A. Vasic, B. Loncar, "Mechanism of electrical breakdown of gases for pressures from 10^{-9} to 1 bar and inter-electrode gaps from 0.1 to 0.5 mm", Plasma Sources Sci. Technol., Vol. 16, pp. 643-655, 2007.
- [13] Jovan Cvetić, Predrag Osmokrović, Fridolin Heidler, Zoran Trifkovic, "An Extension of Lightning Corona Sheath Model During Return Stroke", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 18, No. 5, (2011), pp. 1174-1382
- [14] Cvetanović, N., Obradović, B.M., Kuraica, M.M, Influence of cathode material on generation of energetic hydrogen atoms in a glow discharge, Journal of Applied Physics 109 (1), art. no. 013311, 2011.
- [15] Kuraica, M.M., Obradović, B.M., Cvetanović, N., Dojčinović, I.P., Purić, J., Examples of spectroscopy of laboratory plasma with possible connection to astrophysical plasmas, New Astronomy Reviews 53 (7-10), pp. 266-271, 2009.
- [16] Purić, J., Dojčinović, I.P., Nikolić, M., Šćepanović, M., Obradović, B.M., Kuraica, M.M., Stark parameter regularities of multiply charged ion spectral lines originating from the same transition array, Astrophysical Journal Letters 680 (1), pp. 803-808, 2008.
- [17] Meek J.M. and Craggs J.D., "Electrical Breakdown of Gases", John Wiley and Sons, New York, 1978.
- [18] Brown S.C., "Introduction to Electrical Discharges in Gases", John Wiley and Sons, New York, 1966.
- [19] M. M. Guturov, "Osnovy svetlotehniki i istochniki sveta", Energoatomizdat, Moskva, 1983.
- [20] H.D. Young and R.A. Freedman, "University physics with modern physics", 11th Edition, Addison Wesley, San Francisco, 2004.
- [21] Momčilo M. Pejović, "Uvod u električna gasna pražnjenja. Gasne elektronske komponente", Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu, 2008. god.
- [22] P. Osmokrović, K. Stanković, M. Vujisić, "Merna nesigurnost", Akademska misao, Beograd, 2009.
- [23] P. Osmokrović, M. Pešić, Ć. Dolićanin, K. Stanković, "Statističke metode u elektroenergetici", Akademska misao, Beograd, 2009.

4. Naučne metode istraživanja

Tokom izrade disertacije koristitiće se naučne i stručne metode istraživanja uobičajene za prirodne nauke, tj. koristiće se teoretska razmatranja, numeričko modelovanje i simulacija i eksperimentalni postupak. Dobijeni rezultati će biti provereni pod dobro kontrolisanim laboratorijskim uslovima na realnom modelu, kao i na komercijalno dostupnim izvorima svetlosti koji su punjeni natrijumskim gasom na niskom pritisku.

5. Očekivani naučni doprinos

Osnovni očekivani naučni doprinos sastoji se u tome što će biti pokazano da li, i u kojoj meri generisanje dodatnih jonsko-elektronskih parova utiče na stabilnost mikroskopskih i makroskopskih karakteristika električnog pražnjenja u gasu na niskom pritisku. Takođe će biti pokazano da li nepopularna primena radioaktivnih izotopa i X zračenja može biti zamenjena pogodno izabranim konstruktivnim rešenjima i upotrebljenim materijalima. Dobijeni rezultati će biti testirani poređenjem rezultata koji su dobijeni eksperimentom i odgovarajućih rezultata dobijenih sa originalno razvijenim algoritmom numeričke simulacije posmatranih fenomena.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Rad kandidata Dragana Brajovića pod naslovom "**Stabilizacija električnog pražnjenja u gasovima pod dejstvom spoljašnjeg zračenja**" sastojaće se od uvodnog dela, teoretskog razmatranja, eksperimentalnog postupka, algoritma za teoretsko numeričku obradu podataka merenja i zaključka.

U **uvodnom** delu rada biće definisani problem i cilj rada. Tu će takođe biti ukratko predstavljene osnove teorije električnog pražnjenja u gasovima, interakcija zračenja sa materijalima, emisioni mehanizmi, kao i svi ostali efekti koji samostalno i u sadejstvu sa drugim mogu uticati na stepen jonizacije gasa na niskom pritisku.

U okviru **teoretskog razmatranja** biće razvijen teoretski algoritam koji će omogućiti da se na fenomene električnog pražnjenja gasova na niskom pritisku primeni teorija sličnosti i teorija porasta verovatnoće proboja. Osnove za uvođenje ovih teorija biće Taunsendov zakon sličnosti za električno pražnjenje u gasovima i zakon multiplikativnosti nezavisnih verovatnoća električnog pražnjenja, pri čemu će se koncentrisati na verovatnoće komplementarnih pojava. Dobijeni rezultati će omogućiti izradu teoretskih i semiempirijskih algoritama za uopštenje eksperimentalno dobijenih rezultata i određivanje njihovih volt-sekundnih karakteristika.

U **eksperimentalnom** delu rada, pod dobro kontrolisanim laboratorijskim uslovima, vršiće se sledeća istraživanja:

1. Razmatraće se procesi u tinjavom pražnjenju za cevi čiji su baloni od različitih vrsta stakla, punjenih azotom, natrijumom i plemenitim gasovima na niskim pritiscima, uz primenu elektroda izrađenih od materijala sa različitim vrednostima izlaznog rada. Pored toga što će materijali elektroda biti različiti, biće primenjene i elektrode sa različitom topografijom površine. Pojava će se posmatrati pretežno u homogenom električnom polju, ali će biti izvršena još jedna analiza odgovarajućih fenomena u nehomogenom polju. Najpre će se snimiti transparentnost fotona kroz ova stakla korišćenjem izvora polihromatske svetlosti talasnih dužina od 380 do 760 nm pomoću spektrometra. Zatim će se analizirati procesi u gasovima koji dovode do emitovanja svetlosti kroz balone cevi pri tinjavom pražnjenju na osnovu snimljenih talasnih dužina i stroboskopskog efekta.

2. U cilju analize procesa u gasovima koji se javljaju tokom proboja i kasnijeg pražnjenja, kao i posle prekida tinjavog pražnjenja, a koji utiču na iniciranje narednog proboja, izvršiće se merenje probojnog napona i vremena kašnjenja električnog proboja u funkciji vremena relaksacije gasa. Pod vremenom relaksacije se podrazumeva vreme od momenta prekida napona na cev do njegovog ponovnog priključenja. Na taj način bi se odredilo vreme rekombinacije/deekscitacije pozitivnih jona, odnosno eksitovanih aktivnih molekula ili atoma nastalih u gasu tokom proboja i pražnjenja koje su odgovorne za sekundarnu emisiju elektrona sa katode gasne cevi. Ti elektroni, ubrzani poljem koje potiče od priključenog napona na elektrodama, dovodi do multiplikacije naelektrisanja u gasu, tj. nastaje proboj, a nakon toga i tinjavo pražnjenje kao stabilni oblik pražnjenja u kome radi većina gasnih izvora svetlosti.

3. Istraživaće se uticaj spoljašnjeg zračenja različitog intenziteta na proboj u gasovima sa talasnim dužinama koje su transparentne za određenu vrstu stakla, pri čemu je energija fotona dovoljna da oslobodi sekundarne elektrone sa katode procesom fotoelektričnog efekta. Uticaj zračenja na proboj takođe će se pratiti merenjem probojnog napona i vremena kašnjenja električnog proboja. Na osnovu dobijenih podataka analiziraće se doprinos elektronskih prinosu koji potiču od udara neutralnih aktivnih čestica iz gasa u katodu i fotoefekta usled ozračivanja cevi svetlošću određene talasne dužine.

4. Povećanje prinosa elektrona u međuelektrodnom prostoru, pored ozračivanja cevi svetlošću određene talasne dužine, može se postići i gama fotonima koji potiču od radioaktivnog izvora, što će takođe biti predmet ovog rada. Za razliku od svetlosti čija je energija fotona do nekoliko eV, kada je moguće oslobađanje elektrona sa elektroda cevi samo procesom fotoefekta, gama fotoni imaju energiju od nekoliko stotina keV do nekoliko MeV, tako da se elektroni sa elektroda i zidova cevi oslobađaju procesom Komptonovog efekta. Zbog toga će se razmatrati i doprinos ovog efekta u elektronskom prinosu u međuelektronom prostoru, tj. njegov uticaj na iniciranje proboja u gasu.

Sva ispitivanja će se vršiti sa profesionalnom mernom opremom i za svaki tip eksperimenta biće određen budžet merne nesigurnosti i odrediti merna nesigurnost tip A i tip B, pri čemu će se insistirati da kombinovana merna nesigurnost bude manja od 5%.

Prilikom obrade rezultata merenja dobijeni statistički uzorci mernih slučajnih promenljivih biće dovoljno veliki da zadovoljavaju uslove t-testa i nakon eventualnih odbacivanja nepouzdatih merenih slučajnih promenljivih. Odbacivanje nepouzdatih merenih slučajnih promenljivih će se vršiti na osnovu Šoveneovog kriterijuma, odnosno modifikovanog asimetričnog Šoveneovog kriterijuma, ukoliko posmatrani statistički uzorak ispunjava uslove za primenu ova dva kriterijuma. U slučaju da posmatrani statistički uzorak ne ispunjava uslov za primenu bilo kog oblika Šoveneovog kriterijuma, odbacivanje nepouzdatih merenih slučajnih promenljivih vršiće se primenom Vilkinsonovog testa sume rangova.

Na osnovu dobijenih eksperimentalnih podataka biće prikazana zavisnost volt-amperских i volt-sekundnih karakteristika električnog pražnjenja od parametara eksperimenta. Takođe, u zavisnosti od istih parametara biće prikazana i zavisnost memorijskog i stroboskopskog efekta. Na osnovu novoformiranih statistički dobijenih eksperimentalnih podataka biće predloženi odgovarajući modeli na osnovu kojih bi se objasnili procesi u gasu, na elektrodama i zidovima cevi koji su odgovorni za iniciranje proboja u gasu na niskim pritiscima. U ove modele bili bi uključeni i procesi koji su odgovorni za održavanje stabnog tinjavog pražnjenja koje je neophodno za pouzdan rad većine gasnih izvora svetlosti na niskim pritiscima.

5. Svi dobijeni rezultati dobijeni na laboratorijskim modelima biće upoređeni sa odgovarajućim rezultatima dobijenim sa standardnim izvorima svetlosti.

7. Zaključak i predlog

Mr Dragan Brajović, diplomirani inženjer elektrotehnike, prijavio je svoju doktorsku disertaciju pod naslovom **"Stabilizacija električnog pažnjenja u gasovima pod dejstvom spoljašnjeg zračenja"** u skladu sa Pravilnikom o doktorskim studijama Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, podnevši na uvid sva, pomenutin pravilnikom, predviđena dokumenta. Na osnovu podnesenih dokumenata konstatovano je da je Dragan Brajović diplomirao na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Magistrirao je na Tehničkom fakultetu u Čačku, Univerziteta u Kragujevcu. Ne postoje nikakve zakonske smetnje da prijavi doktorsku disertaciju. Kandidat ima radove koji su predstavljeni na domaćim i međunarodnim stručnim konferencijama, kao i niz publikacija u nacionalnim okvirima. Iz dostavljene dokumentacije, koja uključuje i bibliografiju do sada objavljenih naučnih i stručnih radova Dragana Brajovića, može se zaključiti da se radi o uspešnom mladom naučnom radniku od kojeg se očekuje da će ciljeve postavljene u prijavi svoje disertacije uspešno realizovati u roku koji je predviđen zakonom. Na osnovu obrazloženja predmeta i cilja istraživanja, polaznih hipoteza istraživanja, očekivanih naučnih doprinosa i plana istraživanja, može se zaključiti da tema prijavljene doktorske disertacije pod naslovom **"Stabilizacija električnog pažnjenja u gasovima pod dejstvom spoljašnjeg zračenja"** omogućava da se u okviru nje ostvare značajni naučni i stručni doprinosi iz oblasti pražnjenja u gasovima. Predloženi mentor, prof. dr Predrag Osmokrović, ima veliki broj naučnih radova iz oblasti kojoj pripada prijavljena doktorska disertacija kandidata mr Dragana Brajovića, te u tom smislu smatramo da je kompetentan da obavlja funkciju mentora ove disertacije. Stoga predlažemo Nastavno-naučnom veću da odobri izradu doktorske disertacije kandidata Dragana Brajovića pod naslovom **"Stabilizacija električnog pažnjenja u gasovima pod dejstvom spoljašnjeg zračenja"**, pod mentorstvom prof. dr Predraga Osmokrovića.

U Beogradu, 20.12.2011.god.

Komisija
dr Predrag Osmokrović, red. prof. ETF
dr Jovan Cvetić, red. prof. ETF
dr Miomir Kostić, red. prof. ETF
dr Milorad Kuraica, van. prof. FF