

UNIVERZITET U BEOGRADU

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA

Predmet: Izveštaj Komisije o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Miloša Zdravkovića, mast. inž. elektr. i računar.

Na 748. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu održanoj 29.05.2012. godine, određeni smo za članove Komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije Miloša Zdravkovića, mast. inž. elektr. i računar., pod naslovom „Uticaj radijacionih oštećenja i povišenja temperature na nivo šuma kod solarne ćelije“. Nakon pregleda urađene doktorske disertacije podnosimo Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta sledeći

IZVEŠTAJ

1. UVOD

Naslov i obim disertacije

Doktorska disertacija Miloša Zdravkovića, mast. inž. elektr. i računar., pod naslovom „Uticaj radijacionih oštećenja i povišenja temperature na nivo šuma kod solarne ćelije“ napisana je na 205 strana latiničnim pismom, pri čemu sadrži spisak literature na 7 strana i 2 priloga na još 57 strana.

Hronologija odobravanja i izrade disertacije

Na sednici Komisije za treći stepen studija Elektrotehničkog fakulteta održanoj 13.12.2011. godine konstatovano je da je Miloš Zdravković prijavio doktorsku disertaciju pod naslovom „Uticaj radijacionih oštećenja i povišenja temperature na nivo šuma kod solarne ćelije“ i, u skladu sa Pravilnikom o doktorskim studijama Elektrotehničkog fakulteta, Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta je predložena Komisija za ocenu uslova i prihvatanje teme u sastavu: dr Predrag Osmokrović, red. prof. (Elektrotehnički fakultet u Beogradu), dr Aleksandra Vasić-Milovanović, vanr. prof. (Mašinski fakultet u Beogradu), dr Miloš Vujisić, doc. (Elektrotehnički fakultet u Beogradu). Za mentora disertacije predložen je dr Predrag Osmokrović, red. prof. Na 741. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 27.12.2011. godine, prihvaćen je predlog Komisije za treći stepen studija i potvrđena je predložena Komisija za ocenu uslova i prihvatanja teme kao i predloženi mentor. Na osnovu izveštaja Komisije za ocenu uslova i prihvatanje teme i prateće dokumentacije doktorske disertacije „Uticaj radijacionih oštećenja i povišenja temperature na nivo šuma kod solarne ćelije“ predložena tema je usvojena na 742. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 17.01.2012. godine, a 27.02.2012. godine potvrđena je odlukom pod brojem 06-17338-12 od strane Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

Na sednici Komisije za treći stepen studija održanoj 23.05.2012. godine konstatovano je da je kandidat Miloš Zdravković, mast. inž. elektr. i računar. predao urađenu doktorsku disertaciju, pa je na osnovu uvida u disertaciju i pratećih dokumenata, a u skladu sa Pravilnikom o doktorskim studijama Elektrotehničkog fakulteta, Komisija za treći stepen studija potvrdila ispunjenost potrebnih uslova za podnošenje predloga Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta za formiranje komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije. Komisija za treći stepen studija je predložila Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta Komisiju za pregled i ocenu u sastavu: dr Predrag Osmokrović, red. prof. (Elektrotehnički fakultet u Beogradu), dr Aleksandra Vasić-Milovanović, vanr. prof. (Mašinski fakultet u Beogradu), dr Miloš Vujisić, doc. (Elektrotehnički fakultet u Beogradu). Na 748. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog

fakulteta, održanoj 29.05.2012. godine, prihvaćen je predlog Komisije za treći stepen studija, s tim što je Komisija za pregled i ocenu urađene doktorske disertacije proširena sa dva člana i to sa dr Borisom Lončarom, vanr. prof. (Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu) i dr Bratislavom Iričaninom, doc. (Elektrotehnički fakultet u Beogradu).

Mesto doktorske disertacije u odgovarajućoj naučnoj oblasti

Doktorska disertacija pod naslovom „Uticaj radijacionih oštećenja i povišenja temperature na nivo šuma kod solarne ćelije” pripada naučnoj oblasti nuklearne tehnike, pri čemu sadrži i elemente iz oblasti elektrotehničkih materijala i metrologije.

Biografski podaci o kandidatu

Miloš Zdravković rođen je 26.08.1976. u Beogradu. Osnovne i diplomske akademske studije završio je na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na smeru za biomedicinski i ekološki inženjering. Školske 2009/2010. godine upisan je na doktorske studije Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu na Modulu za nuklearnu, medicinsku i ekološku tehniku.

Od marta 2007. zaposlen je u JP „Putevi Srbije“ u Beogradu.

Tokom svog dosadašnjeg naučno – istraživačkog rada Miloš Zdravković je objavio, u svojstvu autora i koautora, 2 rada u časopisima međunarodnog značaja (sa SCI liste), 2 rada na međunarodnim konferencijama (od kojih je 1 referisao), 1 rad u časopisu nacionalnog značaja i 2 rada na domaćim konferencijama.

Prikaz aktivnosti Miloša Zdravkovića tokom doktorskih studija

Pored položenih ispita prikazanih u tabeli 1, Miloš Zdravković je tokom doktorskih studija obavljao ispitivanja u oblasti uticaja radijacionog i elektromagnetnog zračenja na komponente za fotonaponsku konverziju energije. U sklopu eksperimentalnog dela ovih ispitivanja, Miloš Zdravković je proveo tri meseca u Laboratoriji za dozimetriju i zaštitu od zračenja Instituta za nuklearne nauke „Vinča” radeći na ozračivanju komponenti različitim vrednostima doza čestičnog i elektromagnetnog zračenja. Pored toga, kandidat je proveo dva meseca u Zavodu za fiziku tehničkih fakulteta Univerziteta u Beogradu gde je ispitivao makroskopske posledice apsorbovanih doza u monokristalnim i polikristalnim silicijumskim solarnim ćelijama, kao i uticaj temperature na karakteristike komercijalnih solarnih ćelija i poluprovodničkih detektora zračenja. Kao rezultat navedenih istraživanja, kandidat je objavio 2 pristupna rada za izradu doktorske disertacije u časopisima sa SCI liste, čime je ispunio obeveze predviđene planom i programom studija, prikazane u tabeli 2.

Tabela 1. Položeni ispiti u toku doktorskih studija

R.br.	Naziv predmeta	Ocena	ESPB
1	Engleski jezik	6	6
2	Radijaciona i elektromagnetna kompatibilnost elektrotehničkih komponenti i uređaja	10	9
3	Kompleksni fenomeni u fizici plazme	10	9
4	Matematičko modelovanje fizičko-tehničkih procesa	10	9
5	Numerička simulacija radijacionih i nuklearnih reaktora	10	9
6	Dozimetrija, zaštita od zračenja i nuklearni otpad	10	9
7	Odabrana poglavlja iz nuklearne fizike	10	9
8	Merne metode u nuklearnoj, medicinskoj i ekološkoj tehnici	10	9
9	Prostiranje optičkih talasa u kompleksnim sredinama	10	9
10	Merenje jonizujućeg i nejonizujućeg zračenja	10	9

Tabela 2. Odrađene obaveze u toku doktorskih studija

R.br.	Tip obaveze	ESPB
1	Studijski istraživački rad I	15
2	Studijski istraživački rad II	15
3	Naučno stručni rad	3

2. OPIS DISERTACIJE

Struktura i sadržaj disertacije

Doktorska disertacija pod naslovom „Uticaj radijacionih oštećenja i povišenja temperature na nivo šuma kod solarne ćelije” podeljena je na 6 poglavlja, spisak referenci, a sadrži i dva priloga. Poglavlja doktorske disertacije su: 1. Struktura, organizacija i kretanje materije; 2. Interakcija zračenja sa materijalom; 3. Osnovni podaci o Suncu; 4. Fotonaponska konverzija energije Sunca; 5. Karakterizacija tankih filmova za solarne ćelije i fotodetektore i mogućnosti poboljšanja karakteristika solarnih ćelija; 6. Zaključak; i dva priloga: Geopolitika energije i Energija i održivi razvoj.

Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U prvom poglavlju je izložena atomska struktura materije, atomsko uređenje, poluprovodnički materijali. U drugom poglavlju razmatrani su interakcija čestičnog (korpuskularnog) zračenja sa materijalom, interakcija elektromagnetnog zračenja sa materijalom, jonizujuće zračenje i doza zračenja. U trećem poglavlju razmatrano je sunčevo zračenje. U četvrtom poglavlju razmatrana je energija i održiv razvoj, globalni i lokalni efekti korišćenja primarne energije, alternativni izvori energije, mesto alternativnih izvora energije u energetsom sistemu Zemlje i solarne ćelije. U petom poglavlju detaljno je obrađena karakterizacija tankih filmova za solarne ćelije i fotodetektore i mogućnosti poboljšanja karakteristika solarnih ćelija, prikazani su eksperimentalno dobijeni rezultati i dato tumačenje. Prilozi govore o geopolitici energije i održivom razvoju. Literatura se sastoji iz 86 referenci.

3. OCENA DISERTACIJE

Savremenost, originalnost i značaj

Problematika disertacije je izuzetno aktuelna pošto se odnosi na mogućnost boljeg korišćenja kako solarnih ćelija kao veoma perspektivnog oblika obnovljivih izvora energije, tako i mogućnost poboljšanja karakteristika fotodetektora uopšte, naročito u otežanim uslovima rada kao što je povišena temperatura i izloženost različitim izvorima zračenja. S obzirom na svetsku tendenciju unapređenja korišćenja alternativnih izvora energije koji su i sa ekološkog aspekta prihvatljiviji od klasičnih, proučavanje uticaja uslova rada na efikasnost solarnih ćelija, kao osnovnog elementa fotonaponske konverzije, a sa ciljem poboljšanja njihovih karakteristika, predstavlja značajan doprinos aktuelnom konceptu održivog razvoja. Značaj disertacije proističe iz savremenosti i aktuelnosti tretirane problematike, kao i iz činjenice da je pristup problematici, dat u disertaciji Miloša Zdravkovića, sveobuhvatan i primenljiv na sve fotodetektore koji rade u otežanim uslovima rada.

Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

Literatura korišćena u radu je pažljivo odabrana. Ona sadrži najnovije radove relevantne za problematiku disertacije, ali sadrži i klasične radove. U navedenim referencama se nalaze i naučnih radovi, čije je autor, odnosno koautor, Miloš Zdravković.

Analiza primenjenih naučnih metoda i njihova adekvatnost za sprovedeno istraživanje

U disertaciji pod naslovom „Uticaj radijacionih oštećenja i povišenja temperature na nivo šuma kod solarne ćelije” primenjene su teoretske, eksperimentalne, matematičke i numeričke metode

što ujedno predstavlja sve metode koje se koriste u inženjerskoj i naučnoj praksi. U radu je dat teorijski pregled interakcije zračenja sa materijom, sa posebnim osvrtom na poluprovodničke komponente, kao i uticaj zračenja na povišenje šuma kod fotodetektora uopšte. Poseban naglasak je dat na značaj razvoja fotonaponske konverzije sunčeve energije, kao potencijalno najprihvatljivijeg oblika obnovljivih izvora energije kako sa finansijskog, tako i sa tehnološkog aspekta. S obzirom na složenost solarne ćelije, razmatrane su metode karakterizacije tankih slojeva koji predstavljaju sastavni deo ovih komponenata, u cilju poboljšanja njihovih karakteristika. Prikazane metode uzimaju u obzir sve faktore koji mogu da utiču na rad poluprovodničkih uređaja u realnim uslovima, pa samim tim daju i konkretan doprinos praktičnom razvoju datih uređaja. Eksperimenti su koncipirani i izvršeni po najvišim standardima za datu oblast, pri čemu je dobijena stoprocentna reproduktivnost rezultata. Kombinovana merna nesigurnost eksperimentalnih postupaka ni u jednom slučaju nije bila veća od 5%. Navedeni pristup, odnosno naučni metod, primenjen u radu u potpunosti odgovara problemu i postavljenom cilju rada.

Ocena primenljivosti i verifikacije ostvarenih rezultata

Rezultati prikazani u radu i njihova eksperimentalna verifikacija, pored direktne primenljivosti za poboljšanje karakteristika solarnih ćelija kao fotonaponskih generatora električne energije, imaju i širi značaj, pošto dobijeni rezultati mogu biti primenjeni za većinu fotonaponskih i ostalih fotodetektora baziranih na poluprovodničkim spojevima, koji su u širokoj upotrebi u svim domenima, kako tehnološkog razvoja, tako i savremenog života uopšte.

Ocena sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat Miloš Zdravković je u najvećoj meri samostalno uradio izloženu disertaciju. On je na osnovu praćenja stručne literature i sagledavanju, u praksi prisutne, potrebe za poboljšanjem izlaznih parametara solarnih ćelija i drugih fotodetektora došao na ideju da njihovim izlaganjem određenim dozama zračenja poboljša njihove karakteristike, što predstavlja novi aspekt korišćenja zračenja s jedne strane i dobijanje poluprovodničkih uređaja boljih karakteristika sa druge.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

U disertaciji Miloša Zdravkovića su ostvareni sledeći naučni doprinosi: 1 – uspostavljena je direktna veza između otežanih uslova rada (povišena temperatura, radijaciono okruženje) i povišenja šuma kod kontaktnih slojeva baziranih na silicidima, 2 – razvijen je eksperimentalni postupak koji omogućava poboljšanje karakteristika kontaktnih slojeva koji se zasniva na temperaturskom tretmanu dobijenih slojeva (odgrevanje), kao i kontrolisanom jonskom dopiranjju, 3 – nivo šuma je meren specijalizovanim postupkom velike preciznosti, 4 – ustanovljena je numerička metoda određivanja relevantnih parametara iz eksperimentalnih rezultata koja najviše odgovara konkretnom slučaju i pomoću koje se dobijaju najpouzdaniji podaci, 5 – kvantitativno je određen uticaj različitih vrsta zračenja na izlazne karakteristike solarnih ćelija, 6 – utvrđena je mogućnost poboljšanja najvažnijih parametara solarnih ćelija kao što je efikasnost, kontrolisanom primenom određene vrste i doze zračenja, što predstavlja originalan doprinos istraživanjima u datoj oblasti.

Kritička analiza rezultata istraživanja

Sagledavanjem postavljenih hipoteza, ciljeva istraživanja i dobijenih rezultata konstatujemo da je kandidat uspešno odgovorio na sva bitna pitanja i dileme koje suštinski proizilaze iz obrađivane problematike. Razvijeni matematički i numerički algoritmi, kao i dobijena eksperimentalna rešenja, predstavljaju značajan naučni i stručni doprinos u oblasti nuklearne i poluprovodničke tehnike.

Očekivana primena rezultata u praksi

Dobijeni rezultati će svoju osnovnu primenu naći u daljem razvoju tehnologije izrade tankih slojeva za većinu poluprovodničkih uređaja, posebno fotodetektora, radi ostvarenja glavnog cilja, smanjenja šuma koji ima najveći negativan uticaj na energetska rezoluciju. Pored toga, prikazani rezultati uticaja povišene temperature i radijacije na poluprovodničke uređaje mogu biti korišćeni u postupcima izrade takvih uređaja radi dobijanja komponenti otpornih na nepovoljne uslove rada. Od posebnog značaja je ustanovljena mogućnost poboljšanja izlaznih parametara solarnih ćelija i drugih fotodetektora njihovim izlaganjem određenim dozama zračenja, što predstavlja novi aspekt korišćenja zračenja s jedne strane i dobijanje poluprovodničkih uređaja boljih karakteristika sa druge.

Verifikovani naučni doprinosi

Kandidat Miloš Zdravković u svojstvu autora i koautora do sada je objavio sledeće radove:

Miloš Zdravković, Aleksandra Vasić, Radovan Radosavljević, Miloš Vujisić, Predrag Osmokrović, Influence of radiation on the properties of solar cells, *Nuclear Technology and Radiation Protection*, Vol. 26, No. 2, pp. 105-110, 2011. [ISSN 1451-3994] [IF: 1.159] M22

Aleksandra Vasić, **Miloš Zdravković**, Miloš Vujisić, Koviljka Stanković, Predrag Osmokrović, Temperature Dependence of Solar Cell Characteristics Through Frequency Noise Level and Ideality Factor Measurements, *Journal of Microelectronics, Electronic Components and Materials*, Vol. 42, No. 2, pp. 98-103, 2012. [ISSN 0352-9045] [IF: 0.296] M23

Aleksandra Vasić, Koraljka Kovačević, **Miloš Zdravković**, Edin Dolićanin, Miloš Vujisić, Električne i optičke karakteristike solarnih ćelija u zavisnosti od temperature, 10. savetovanje BiH CIGRE 2011 (25-29 Septembar), Zbornik radova R.D1.02.

Milos Zdravkovic, Aleksandra Vasic, Bojan Cavric, Radovan Radosavljevic, Koviljka Stankovic, Radiation Induced Noise Level in Solar Cells, PIERS Proceedings, pp. 1160-1164, Kuala Lumpur, Malaysia, March 27-30, 2012

Radovan Radosavljević, **Miloš Zdravković**, Bojan Cavrić, Koviljka Stanković, Aleksandra Vasić, Povišenje nivoa šuma kod solarnih ćelija usled povišenja temperature i radijacionih oštećenja, *Elektroprivreda*, Vol. 64, No. 3, pp19-25, 2011.

Radovan Radosavljević, **Miloš Zdravković**, Bojan Cavrić, Koviljka Stanković, Aleksandra Vasić, Povišenje nivoa šuma kod solarnih ćelija usled povišenja temperature i radijacionih oštećenja, 30. savetovanje CIGRE Srbija 2011 (31 maj – 5 jun), R D1-02.

Aleksandra Vasić, Miloš Vujisić, Koraljka Kovačević-Markov, **Miloš Zdravković**, Edin Dolićanin, Određivanje temperaturske zavisnosti karakteristika solarnih ćelija merenjima frekventnog šuma i faktora idealnosti, 30. savetovanje CIGRE Srbija 2011 (31 maj – 5 jun), R D1-03.

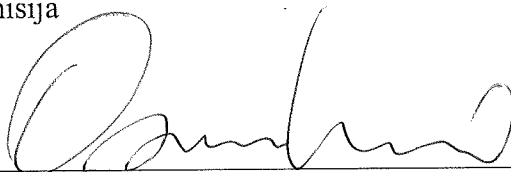
5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Doktorska disertacija kandidata Miloša Zdravkovića, pod naslovom „Uticaj radijacionih oštećenja i povišenja temperature na nivo šuma kod solarne ćelije“ predstavlja savremen i originalan naučni doprinos kroz sveobuhvatno sagledavanje uticaja apsorbovanih doza zračenja i temperaturskih promena na poboljšanje izlaznih karakteristika fotonaponskih komponenata. Ocenjujući doktorsku disertaciju, kao i činjenicu da je analizirana problematika veoma aktuelna i savremena sa aspekta naučnog i stručnog doprinosa, verifikovana objavljivanjem rezultata u

časopisima sa SCI liste, a i podatak da su najvažniji rezultati dobijeni samostalnim radom, Komisija konstatuje da je kandidat Miloš Zdravković ispunio sve uslove predviđene Zakonom o visokom obrazovanju, Statutom i Pravilnikom o doktorskim studijama Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, te, sa zadovoljstvom, predlaže Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta da ovaj Izveštaj prihvati, i u skladu sa zakonskom procedurom, uputi Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu na konačno usvajanje i davanje odobrenja kandidatu da pristupi usmenoj odbrani.

U Beogradu,
11.07.2012. godine

Komisija



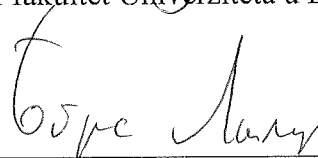
dr Predrag Osmokrović, red. prof.
(Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu)



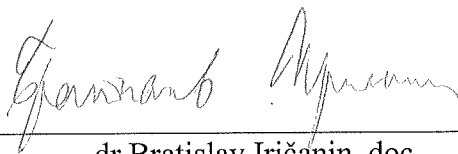
dr Aleksandra Vasić-Milovanović, vanr. prof.
(Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu)



dr Miloš Vujisić, doc.
(Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu)



dr Boris Lončar, vanr. prof.
(Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu)



dr Bratislav Iričanin, doc.
(Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu)