

KOMISIJI ZA STUDIJE II STEPENA ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Komisija za studije II stepena, Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, na svojoj sednici održanoj 18.06.2013. godine imenovala nas je u Komisiju za pregled i ocenu master rada kandidata Ivane Nikolovski pod naslovom „Etaloniranje i ispitivanje prenosnih monitora gama zračenja“. Nakon pregleda materijala Komisija podnosi sledeći:

IZVEŠTAJ

1. Biografski podaci kandidata

Ivana Nikolovski je rođena 01.03.1986. godine u Pančevu. Gimnaziju je završila u Pančevu, sa odličnim uspehom. Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu je upisala školske 2005/2006 godine i diplomirala 2012. godine, na smeru Biomedicinski i ekološki inženjering odseka za Fizičku elektroniku, sa prosečnom ocenom na ispitima 8.22, na diplomskom 10. Master studije na Elektrotehničkom fakultetu, upisala školske 2012/2013 godine, na modulu Biomedicinski i ekološki inženjering, položila sve ispite sa prosečnom ocenom 10.

2. Opis master rada

Master rad kandidata sadrži 98 strana teksta, zajedno sa slikama i dodacima. Rad sadrži 8 poglavlja, 43 slike, 24 tabele i spisak literature. Spisak literature sadrži 29 referenci.

Primena radioizotopa i nuklearnih metoda baziraju se na različitim svojstvima jezgra ili zračenja koje jezgra emituju kao što su interakcija zračenja sa materijom, detekcija zračenja, biološki efekti zračenja ili statičke i dinamičke osobine jezgra (magnetne osobine, stabilnost, radioaktivni raspad). Potreba za detekcijom zračenja i merenjem doze proističe iz primene radioizotopa i nuklearnih tehnika, za šta se najčešće koriste prenosni monitori zračenja, odnosno različiti gasni, scinitilacioni ili poluprovodnički dozimetri. Preduslov za tačno i pouzdano merenje doze jeste posedovanje etaloniranog (kalibrisanog) monitora zračenja poznatih i odgovarajućih osobina. U skladu sa navedenim, primarni ciljevi kalibracije i ispitivanja su: obezbeđivanje ispravnog rada instrumenta i njegove adekvatnosti za monitoring, određivanje odgovora instrumenta u funkciji vrednosti merene dozimetrijske veličine pod kontrolisanim uslovima i optimizacija instrumenta u smislu ukupne merne nesigurnosti.

Cilj rada jeste pregled i implementacija metoda etaloniranja i ispitivanje karakteristika prenosnih monitora gama zračenja. Izvršena su tipska ispitivanja, radijacionih karakteristika dozimetra MRK-M87, čiji senzor je Gajger-Milerov brojač i dozimetra 451P; Victoreen® sa jonizacionom komorom kao senzorom.

Rad sadrži osam naslovnih poglavlja. Na početku rada je dat kratak uvod, a zatim je kroz poglavlja dva i tri dat teorijski osnov detekcije i dozimetrije fotonskog zračenja i dozimetrije u zaštiti od zračenja.

U poglavlju četiri dat je presek teorijskog i praktičnog, odnosno eksperimentalnog, dela rada, kao uvod u eksperimentalni deo rada, sadrži kratak opis predmeta, cilja i metoda rada. Sledi poglavlje koje opisuje laboratorijska ispitivanja, počevši od opisa ispitivanih dozimetara, MRK-M87 i 451P, Victoreen®, do metoda i uslova koji su se korišćeni tokom ispitivanja. Rezultati su prikazani u poglavlju 6, diskusija je data u poglavlju 7, a zaključak u poglavlju 8.

Koristeći preporuke Međunarodne elektrotehničke komisije (IEC standard 1017) i Međunarodne Agencije za Atomska Energiju (IAEA), u radu je prikazan protokol za etaloniranje i ispitivanje prenosnih monitora gama zračenja. Protokolom su obuhvaćeni svi relevantni aspekti metrologije jonizujućih zračenja: izbor dozimetara koji predstavljaju referentne standarde za etaloniranje, uspostavljanje kvaliteta snopova X i gama zračenja, različitih geometrija ozračivanja i određivanje budžeta merne nesigurnosti kao i ispitivanje relevantnih parametara prenosnih monitora zračenja (energetska i ugaona zavisnost odgovora instrumenta, linearnost, prekomerno opterećenje, vreme odgovora...).

U radu su sadržani svi relevantni aspekti ispitivanja i etaloniranja dozimetara: osnovni elementi metrologije jonizujućih zračenja, osnovne i primenjene dozimetrijske veličine i jedinice, određivanje relevantnih veličina za etaloniranje i ispitivanje prenosnih monitora zračenja i analiza budžeta merne nesigurnosti. U radu je dato i kritičko poređenje različitih instrumenata i data preporuka za njihovu primenu u praksi. Kao poseban doprinos rada može se izvojiti sledeće: razvoj i primena procedura za etaloniranje i ispitivanje prenosnih monitora gama zračenja, određivanje budžeta merne nesigurnosti. Opisane metode i procedure za etaloniranje i ispitivanje prilagođene su za primenu u Sekundarnoj standardnoj dozimetrijskoj laboratoriji, što daje poseban praktičan značaj ovom radu, a eksperimentalni deo rada realizovan je u Sekundarnoj standardnoj dozimetrijskoj laboratoriji, Laboratorije za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine Instituta za nuklearne nauke „Vinča“.

Prvo poglavlje predstavlja uvod u kome je opisana problematika rada, dati su osnovni principi metrologije jonizujućih zračenja i opisan je sadržaj rada. U drugom poglavlju su opisani osnovni mehanizmi interakcije elektromagnetnog zračenja sa materijom, opisani principi detekcije jonizujućih zračenja, posebno oni od značaja za ovaj rad, data je klasifikacija detektora sa posebnim osvrtom na gasne detektore koji su predmet ovog rada.

U trećem poglavlju je detaljno predstavljena dozimetrija u zaštiti od zračenja, uključujući dozimetrijski formalizam, fundamentalne i primenjene dozimetrijske veličine. Dat je i opsežan opis svih dozimetrijskih metoda i merila doze uključujući i operativne dozimetrijske veličine koje se koriste za procenu izloženosti profesionalno izloženih lica i stanovništva kao što su lični i ambijentalni dozni ekvivalent. Definisani su zahtevi koje dozimetri moraju da ispune i opisane osobine različitih dozimetrijskih sistema, kao što su:

osetljivost, odziv detektora, efikasnost detekcije, energetska rezolucija, vreme odziva, mrtvo vreme, tačnost i preciznost, linearnost, zavisnost brzine doze, opseg brzine ekvivalentne doze, energetska zavisnost, razlikovanje različitih vrsta energije, ugaona zavisnost, reverzibilnost, dugoročna stabilnost, očitavanje dozimetra i karakteristike opterećenja. Opisan je i princip i formalizam postupka etaloniranja dozimetara.

U četvrtom poglavlju su navedeni predmet i cilj rada, a u petom poglavlju je dat opis metoda koje su korišćene, uključujući refertne standarde, standardne kvalitete snopova, laboratorijske uslove i opremu koja je korišćena i dozimetare koji su bili predmet etaloniranja i ispitivanja.

U šestom poglavlju prikazani su rezultati merenja, odnosno ispitivanja i etaloniranja dozimetara MRK-M87 i Victoreen 451P i to rezultati provere greške merenja jačine doze gama zračenja, rezultati provere odgovora dozimetra od energije zračenja, rezultati provere zavisnosti odgovora od upadnog ugla zračenja i rezultati provera rada detektora u uslovima preopterećenja.

U sedmom poglavlju data je analiza rezultata sa diskusijom uključujući i budžet merne nesigurnosti.

3. Analiza rada sa ključnim rezultatima

Master rad kandidata Ivane Nikolovski se bavi problematikom iz oblasti biomedicinskog inženjerstva, dozimetrije i zaštite od zračenja. Značajan aspekt rada čini podatak da su merenja obavljena u laboratorijskim uslovima, u akreditovanoj laboratoriji za ispitivanje i etaloniranje dozimetara. Rad predstavlja doprinos aktuelnoj međunarodnoj literaturi i prvi je u zemlji koji tretira ovu problematiku.

Osnovni doprinosi rada su:

- Definisane procedure za etaloniranje i ispitivanje prenosnih monitora gama zračenja
- Određivanje merne nesigurnosti za etaloniranje dozimetara u veličini ambijentalni ekvivalent doze

Opisane metode i procedure za etaloniranje i ispitivanje prilagođene su za primenu u Sekundranoj standardnoj dozimetrijskoj laboratoriji, što daje poseban praktičan značaj ovom radu. Najznačajnije činjenice proistekle iz ovog rada su:

- Ispitivanja su pokazala da u opsegu merenja dozimetra MRK-M87 u polju gama zračenja maksimalno relativno odstupanje iznosi -18,8%. Maksimalno odstupanje je pri jačini doze od 0,7 mGy/h. Ovo odstupanje je u granicama dozvoljene greške merenja, koja za dozimetar MRK-M87 iznosi $\pm 20\%$;
- Takođe, iz rezultata se može videti da su veća odstupanja na nižim energijama za ovaj dozimetar. Dalje, ispitivanja su pokazala da u opsegu merenja dozimetra 451P, Victoreen® u polju gama zračenja maksimalno relativno odstupanje iznosi -10%, a maksimalno odstupanje je

pri jačini doze od 40 mSv/h. Ovo odstupanje je takođe u granicama dozvoljene greške merenja, koja za dozimetar 451P, Victoreen® iznosi $\pm 10\%$;

- Iako odziv u pravcu ose ispitivanja, za energiju upadnog zračenja između 50 keV i 1,5 MeV, ne može biti veći od $\pm 30\%$, u odnosu na referentno zračenje koje se koristi pri ispitivanju, maksimalno odstupanje dozimetra MRK-M87 na energiji od 82 keV iznosi 69%, što je posledica činjenice da je ovaj dozimetar zapravo nekompenzovani G-M brojač;
- Maksimalno odstupanje dozimetra 451P, Victoreen® se javlja na energiji od 45 keV i iznosi 28%;
- Zavisnost odgovora od upadnog ugla zračenja između ostalog značajna je za pravilno rukovanje uređajem, što omogućava preciznije merenje i doprinosi smanjenju greške merenja. Referentni položaj mora biti naznačen od strane proizvođača. Odstupanje odziva na upadni ugao zračenja se, uopšteno, povećava sa smanjenjem energije zračenja;
- Odziv dozimetra MRK-M87 u polju X-zračenja, na energiji od 82 keV (kvalitet snopa N-100) najveći je pod uglom od 0° , a najmanji pod uglom od 200° i iznosi samo 8% jačine doze. Orijentacija koju proizvođač navodi pri pravilnom korišćenju i rukovanju dozimetrom MRK-M87 (maximum odgovora pri 0°) daje zadovoljavajuće rezultate u polju X-zračenja. Odziv dozimetra MRK-M87 u polju gama zračenja najveći je pod uglom od 80° , a najmanji pri uglom od 180° , što ukazuje da najveći odziv ima pri skoro bočnom ozračavanju instrumenta u polju gama zračenja;
- Odziv dozimetra 451P, Victoreen® u polju X-zračenja, na energiji od 82 keV (kvalitet snopa N-100) je najveći ukoliko je upadno zračenje pod uglom od 80° , najmanji pod uglom od 200° . Slično i za polje gama zračenja, odziv dozimetra 451P, Victoreen® je najveći ako je upadno zračenje pod uglom od 80° , a najmanji pod uglom od 180° . Rezultati odziva dozimetra 451P, Victoreen® ukazuje da dozimetar najveći odziv ima pri bočnom ozračavanju instrumenta i u polju X-zračenja i u polju gama zračenja, što opravdava položaj referentne tačke;
- U uslovima preopterećenja na displeju se pojavio trepćući signal. Dozimetar MRK-M87 je pokazivao 6,97 mGy/h, dok je 451P, Victoreen® je pokazivao 70 mSv/h, što je u granicama greške $\pm 20\%$, date IEC standardom 1017.

Prikazani rezultati ukazuju da su ispitivane osobine dozimetara u skladu sa navodima u tehničkoj specifikaciji dozimetara. Jonizaciona komora ima slabo izraženu energetska zavisnost, dok G-M brojač ima veoma izraženu zavisnot od energije fotonog zračenja, posebno na niskim energijama fotona, usled čega je u ovom slučaju neophodno primeniti energetska kompenzaciju, odnosno korekciju rezultata dozimetrijskih merenja.

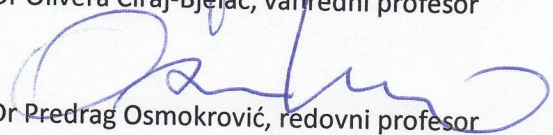
4. Zaključak i predlog

Kandidat Ivana Nikolovski je u svom master radu uspešno rešila problem metrologije doze jonizujućih zračenja. Rad sadrži sistematičan pregled literature, sve relevantne aspekte radijacione fizike, metrologije doze, etaloniranje merila, ispitivanje merila i primenu opisanih metoda. Kandidat je iskazala samostalnost i sistematičnost u svome postupku kao i inovativne elemente u rešavanju problematike ovog rada. Samostalno je realizovala i eksperimentalni deo rada u laboratorijskim uslovima. Na osnovu gore navedenog Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da prihvati master rad kandidata Ivane Nikolovski pod naslovom „Etaloniranje i ispitivanje prenosnih monitora gama zračenja“ i odobri javnu usmenu odbranu.

Beograd, 21.9.2014.

Članovi komisije:


Dr Olivera Ciraj-Bjelac, vanredni profesor


Dr Predrag Osmokrović, redovni profesor