

Observation

SEKUNDARNI STANDARDNI DOZIMETRIJSKI LABORATORIJ INSTITUTA “RUĐER BOŠKOVIĆ”, ZAGREB*

Branko VEKIĆ, Renata BAN i Saveta MILJANIĆ

Institut “Ruđer Bošković”, Zagreb, Hrvatska

Primljeno u listopadu 2005.

Prihvaćeno u travnju 2006.

Sekundarni standardni dozimetrijski laboratorij (SSDL) Instituta “Ruđer Bošković”, Zagreb, formiran je tijekom nekoliko zadnjih godina. Uspostavu laboratorija svesrdno je pomogla Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) programom tehničke pomoći (projekt CRO/1/004, Establishing Calibration Services). Od državnih institucija SSDL su poduprli Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Državni zavod za zaštitu od zračenja te Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi.

SSDL raspolaže dvjema kalibracijskim i dvjema kontrolnim prostorijama uređenim u skladu sa zahtjevima IAEA-e za ovu vrstu laboratorija. U prvoj prostoriji, na suprotnim stranama 6-metarskog kalibracijskog stola, nalaze se zatvoreni izvori zračenja ^{60}Co (Alcyon II, Cis BioInternational) za kalibraciju radioterapijskih ionizacijskih komora i kombinirani izvor $^{60}\text{Co}/^{137}\text{Cs}$ (Hopewell Design, Inc.) za potrebe zaštite od zračenja. U drugoj prostoriji smješten je kalibracijski rendgen (ISOVOLT 420, Seifert) s pripadajućim 5-metarskim kalibracijskim stolom.

Sve kalibracije rade se u skladu s protokolima IAEA-e.

KLJUČNE RIJEČI: dozimetrija, ionizacijske komore, izvori zračenja, kalibracija

U skladu s preporukama Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) (1), Sekundarni standardni dozimetrijski laboratorij (SSDL) jest zadovoljavajuće opremljen laboratorij (prostor, oprema, kadar), koji odgovarajući upravni (državni) organ zadužuje (ovlašćuje) za održavanje sljedivosti dozimetrijskih jedinica unutar neke zemlje, u skladu s međunarodnim standardima. Dakle, SSDL mora biti zadovoljavajuće opremljen sekundarnim standardima s osiguranom sljedivosti prema nekom od primarnih standardnih dozimetrijskih laboratorija (PSDL) iz međunarodnoga mjeriteljskog sustava, ili direktno prema Međunarodnom uredu za mjere i utege (BIPM).

Važnost točnih i međunarodno sljedivih

dozimetrijskih veličina u radioterapiji postoji od ranih šezdesetih godina dvadesetog stoljeća. Krajem toga stoljeća sve veća pozornost posvećuje se i zaštiti pacijenata u dijagnostičkoj radiologiji (2), jer je u tome području nepouzdanost dozimetrije značajno veća nego u radioterapiji, a i doprinos dijagnostičke radiologije (i nuklearne medicine) ukupnom ozračenju cjelokupnog stanovništva značajno je veći od onog u radioterapiji.

Medicinska primjena izvora ionizirajućih zračenja u Hrvatskoj u zadnje je vrijeme u značajnom porastu. Posebno se to odnosi na terapiju zračenjem (6 teleterapijskih izvora ^{60}Co , gama-nož, 7 linearnih akceleratora, nekoliko starijih uređaja za terapiju na

*Preliminarni izvještaj prikazan na VI. simpoziju Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja s međunarodnim sudjelovanjem, Stubičke Toplice, Croatia, 18.-20. travnja 2005.

*Preliminary report presented at the 6th Symposium of the Croatian Radiation Protection Association with international participation, Stubičke Toplice, Croatia, 18-20 April 2005

bazi X-zračenja tipa RT-100 i DERMOPAN), ali i na dijagnostičku radiologiju, gdje je značajan broj CT uređaja i različitih dijagnostičkih rendgenskih uređaja u svakodnevnoj uporabi (dijelom zastarjelih, dob više od 10, čak i više od 20 godina). Sve su to opravdani razlozi za hitno uvođenje programa osiguranja kvalitete i kontrole kvalitete (QA i QC) dozimetrije u Hrvatskoj, za što je zadovoljavajuće opremljen SSDL jedan od bitnih preduvjeta.

U skladu s odredbama Zakona o zaštiti od ionizirajućih zračenja (3) i pratećim propisima svaki "rendgenski uređaj, akcelerator ili zatvoreni radioaktivni izvor mora biti etaloniran (umjeren; kalibriran) tako da se za svaki odabir parametara određenih planom zračenja može odrediti doza koju je primio pacijent tijekom terapije". Nadalje, "instrumenti za mjerenje ionizirajućih zračenja koji se rabe tijekom radioterapije za umjeravanje uređaja ili utvrđivanje razine zračenja u okolišu moraju udovoljavati uvjetima propisa o mjeriteljstvu" (4, 5).

Hrvatska, potpuno uspostavljena kao neovisna država, postupno preuzima svoje obveze u području metrologije. Kao jedan od prioriteta iskristalizirala se potreba za formiranjem nacionalne ustanove za kalibraciju (umjeravanje) dozimetrijske opreme u Hrvatskoj, ponajprije na odjelima (u zavodima) za radioterapiju i radiološku dijagnostiku, ali i u zaštiti od zračenja (osobna dozimetrija i kalibracija različitih uređaja koji se rabe u zaštiti od zračenja, kao i sva mjerenja radioaktivnosti) i dozimetriji pri primjeni izvora zračenja za radijacijsku sterilizaciju i/ili radijacijsku obradu različitih potrepština. U biti, sve to zahtijeva uspostavu Sekundarnoga standardnog dozimetrijskog laboratorija (SSDL).

Zahvaljujući razumijevanju Instituta "Ruđer Bošković" (osiguran odgovarajući prostor), tadašnjega Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo (danas Državni zavod za mjeriteljstvo) (uključivanje u međunarodni projekt "Unaprjeđenje mjeriteljske infrastrukture u RH"), Ministarstva zdravstva i socijalne skrbi i Državnog zavoda za zaštitu od zračenja (dali potporu za dobivanje velike tehničke pomoći Međunarodne agencije za atomsku energiju), stvoreni su uvjeti za osnivanje SSDL-a u Institutu "Ruđer Bošković".

Osnovni zadaci SSDL-a su:

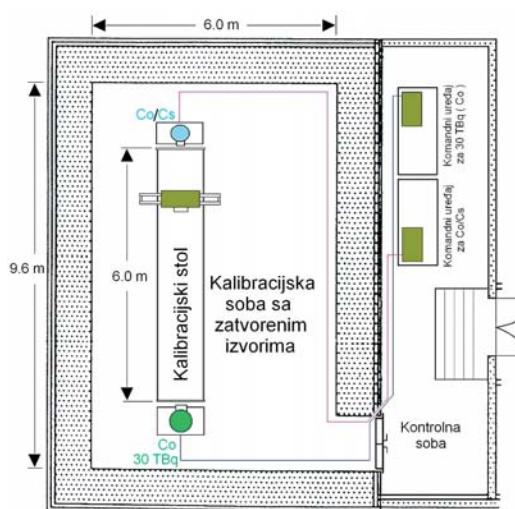
- verifikacija (ovjera) instrumenata za mjerenje zračenja,

- uspostava, usporedba i održavanje veze hrvatskog sustava za mjerenje doza zračenja s međunarodnim sustavom mjerenja doza zračenja.

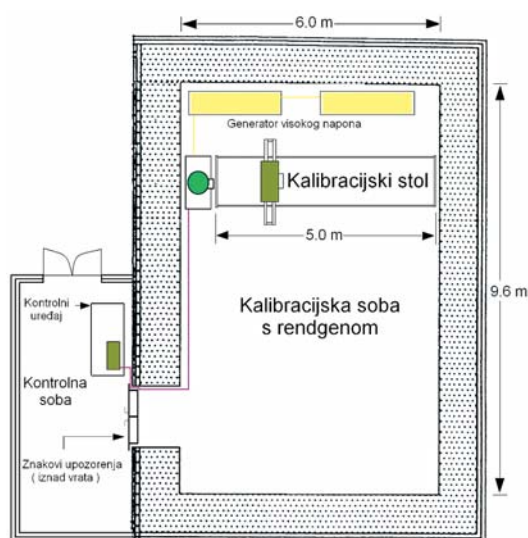
RADNI PROSTOR

Za potrebe Sekundarnoga standardnog dozimetrijskog laboratorija osiguran je prikladan prostor (za kalibracijske izvore zračenja i prateću infrastrukturu) u KRILU X. Prostor je uređen u skladu s normativima za rad takvog laboratorija, točnije rečeno u skladu s normativima Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) (1). To znači da zidovi i vrata imaju zadovoljavajuću zaštitu (zadovoljavajuća zaštitna moć zidova i vrata, video-nadzor iz kontrolnih soba, automatsko isključivanje uređaja u slučaju neovlaštenog /nekontroliranog ulaska u laboratorij, dvostruka neovisna zaštita), a prostorije zadovoljavajuću klimatizaciju (20 ± 2) °C.

Sekundarni standardni dozimetrijski laboratorij (SSDL) Instituta "Ruđer Bošković", Zagreb, sastoji se od dvije prostorije, kao što je prikazano na slikama 1 i 2. Na slici 1 prikazan je položaj zatvorenih kalibracijskih izvora ^{60}Co i ^{137}Cs (zajedno s kalibracijskim stolom duljine 6 m, između navedenih izvora). Na slici 2 prikazan je položaj kalibracijskog rendgena s kalibracijskim stolom duljine 5 m.



Slika 1 Sekundarni standardni dozimetrijski laboratorij Instituta "Ruđer Bošković", Zagreb; Kontrolna i kalibracijska soba sa zatvorenim izvorima ionizirajućih zračenja



Slika 2 Sekundarni standardni dozimetrijski laboratorij Instituta "Ruđer Bošković", Zagreb; Kontrolna i kalibracijska soba s kalibracijskim rendgenom

DJELOMIČAN (P)OPIS OPREME LABORATORIJA

Posebna napomena

U nastojanju da se izbjegnju bilo kakvi nesporazumi zbog prijevoda naziva opreme na hrvatski, sva oprema u ovom dijelu rada navedena je na originalnom (engleskom) jeziku.

Oprema za kalibraciju ionizacijskih komora u radioterapiji

Na temelju dogovora Hrvatskog zavoda za zdravstveno osiguranje, Instituta "Ruđer Bošković" i Kliničkoga bolničkog centra ZAGREB, Rebro (Klinika za onkologiju i radioterapiju), vezanog uz nabavu novoga (zamjenskog) teleterapijskog uređaja ^{60}Co , dotad upotrebljavani teleterapijski uređaj ^{60}Co iz 1989. godine (ALCYON II, tip izvora COT 20, serijski broj 3507, proizvođača ORIS /CGR MeV) preuzeo je tijekom prosinca 2001. godine Institut "Ruđer Bošković" s namjerom da se postavi i osposobi kao kalibracijski uređaj, ponajprije za kalibraciju radioterapijskih ionizacijskih komora (6, 7, 8), ali i drugih uređaja koji mjere visoke doze ili visoke brzine doza zračenja u zaštiti od zračenja (9). Zbog

nemogućnosti prijenosa cijeloga teleterapijskog uređaja u kalibracijsku prostoriju s ograničenim transportnim mogućnostima (podrum, stube), samo je ALCYON II zaštitni spremnik s izvorom ^{60}Co postavljen u posebno konstruirani nosač i udešen za ozračivanja u horizontalnom položaju. Postavljen je i kalibracijski stol duljine 6 m s laserima i teleskopom (tehnička pomoć IAEA-e, proizvedeno u SAD-u) (slika 1), pomičan u horizontalnom (6 m) i vertikalnom (30 cm) smjeru. Radioterapijske ionizacijske komore kalibrirat će se na udaljenosti 1 m od izvora (6-8), a ostala oprema na udaljenosti do 6 m (9). Aktivnost izvora ^{60}Co (prosinac 2004.) bila je 30 TBq.

Za potrebe kalibracije ionizacijskih komora u radioterapiji, Institut "Ruđer Bošković" kalibrirao je vlastitu opremu u Primarnome standardnom dozimetrijskom laboratoriju ili u Sekundarnome standardnom dozimetrijskom laboratoriju IAEA-e kako slijedi:

- UNIDOS UNIVERSAL DOSEMETER, Type 10002, ser. broj 20164, proizvođač PTW Freiburg (kalibriran u PTB, Braunschweig, u travnju 2004.),
- UNIDOS UNIVERSAL DOSEMETER, Type 10002, ser. broj 20566, proizvođač PTW Freiburg (kalibriran u SSDL-IAEA, Seibersdorf, u ožujku 2005.),
- Farmer type ionization chamber 0.6 cm³, W30002, ser. broj 0115, proizvođač PTW, Freiburg (kalibrirana u PTB, Braunschweig, u travnju 2004.),
- Farmer Dosemeter, Type 2570/1B, ser. broj 978, proizvođač NE Technology, UK,
- Farmer type ionization chamber 0.6 cm³, NE 2581, ser. broj 848, proizvođač NE Technology, UK (kalibrirana u PTB, Braunschweig, u travnju 2004.),
- Farmer type ionization chamber 0.6 cm³, Type NE 2571, ser. broj 3397, proizvođač NE Technology, UK (kalibrirana u SSDL-IAEA, Seibersdorf, u ožujku 2005.).

Za potrebe kalibracije rabe se i odgovarajući fantomi, kako slijedi:

- Water phantom for horizontal beams, Type 4322 (30 cm x 30 cm x 30 cm, PMMA walls), PTW Freiburg, ser. broj 008, including holders for different types of ionization chambers,
- Solid phantom (20 cm x 20 cm x 15 cm, PMMA), PTW Freiburg, Type 2996,
- Water phantom for calibrations and checks, 20 cm x 20 cm x 10 cm, PMMA walls.

Oprema za kalibraciju uređaja u zaštiti od zračenja

Zahvaljujući tehničkoj pomoći IAEA-e, tijekom srpnja 2004. dobiven je i postavljen kalibracijski uređaj proizvođača Hopewell Designs, Inc., SAD, ser. broj 504-441, koji sadržava sljedeća dva zatvorena izvora zračenja: (1.) ^{137}Cs (ser. broj 1234, aktivnosti /veljača 2004./ 740 GBq) te (2.) ^{60}Co (ser. broj 0241 HB, aktivnosti /veljača 2004./ 185 GBq). Navedeni uređaj isporučen je s tri kolimatora (jedan fiksni, dva pomična), u skladu s ISO-4037 normom, za zadovoljavajuće mijenjanje promjera polja zračenja te tri atenuatora, koji intenzitete zračenja ^{137}Cs smanjuju za faktor 10, 100 i 1000. Ovaj uređaj postavljen je s druge strane 6-metarskog kalibracijskog stola (slika 1). U skladu s navedenim uvjetima ozračivanja, ispunjeni su svi zahtjevi ISO-4037 standarda (10) za kalibraciju opreme koja se rabi za potrebe zaštite od zračenja (9).

Za potrebe kalibracije opreme koja se rabi u zaštiti od zračenja, Institut "Ruđer Bošković" kalibrirao je vlastitu opremu u Primarnome standardnom dozimetrijskom laboratoriju ili u Sekundarnome standardnom dozimetrijskom laboratoriju IAEA kako slijedi:

- PTW UNIDOS UNIVERSAL DOSEMETER, Type 10002, ser. broj 20549, proizvođač PTW Freiburg (kalibriran u SSDL-IAEA, tijekom travnja 2004.),
- PTW 32002 Spherical 1000 cm³ chamber LS-01 (kalibrirana u SSDL-IAEA, tijekom travnja 2004.),
- Low level secondary standard chamber PTW 32003 Spherical 10000 cm³ chamber LS-01 (kalibrirana u SSDL-IAEA, tijekom veljače 2004.),
- Radiation protection chamber 600 cm³, NE2575, serijski broj 446, NE Technology, UK (kalibrirana u PTB, Braunschweig, tijekom travnja 2004.),
- Ionization chamber type Exradin A-4, volumena 30 cm³ (na kalibraciji u SSDL-IAEA),
- ISO water slab phantom (representing the human torso with regard to back-scattering of the incident radiation) for the calibrations of personal dosimeters in terms of operational radiation protection quantities.

Oprema za kalibraciju uređaja i opreme na kalibracijskom rendgenu

Zahvaljujući suradnji s Državnim zavodom za normizaciju i mjeriteljstvo (uključivanje u međunarodni projekt "Unapređenje mjeriteljske infrastrukture u RH"), tijekom 2002. dobiven je iz Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB), Njemačka, kalibracijski rendgen,

koji je tijekom 2004. postavljen u kalibracijskoj prostoriji prikazanoj na slici 2. Kalibracijski rendgen je ISOVOLT 420, proizvođača Seifert, Njemačka, 40-300 kV, 1-20 mA. Navedeni kalibracijski rendgen služio je do početka 2002. godine kao kalibracijski rendgen u PSDL-u (PTB, Braunschweig, Njemačka).

Tijekom srpnja 2004., putem tehničke pomoći IAEA-e dobiven je od Hopewell Designs, Inc., SAD te uz kalibracijski rendgen postavljen kalibracijski stol duljine 5 m (slika 2), zajedno s filtrima u skladu s ISO-4037-3 standardom (8 /vidi tablicu 1/) i filtrima za određivanje debljine poluapsorpcije X-zračenja te s uređajem za ograničavanje veličine polja zračenja (promjera 1 cm do 7 cm, s pomacima od 1 cm).

Tablica 1 Filtracije snopa kalibracijskog rendgena u skladu s ISO 4037-3

ISO Quality No.	kV	Debljina filtra / mm			
		Al	Cu	Sn	Pb
1. N40	40	1.00	0.22		
2. N60	60	1.00	0.90		
3. N80	80	1.00	1.85		
4. N100	100	1.00	5.30		
5. N120	120	1.00	5.00	1.00	
6. N160	150	1.00		2.50	
7. N200	200	1.00	2.00	3.00	1.00
8. N250	250	1.00		3.00	2.50
9. "Blank"*					
10. "Blank"*					

(*) 2 slobodna otvora za postavljanje odgovarajućih filtera (npr. za dijagnostičku radiologiju)

Za potrebe kalibracije opreme koja se rabi u radioterapiji, dijagnostičkoj radiologiji ili zaštiti od zračenja Institut "Ruđer Bošković" kalibrirao je vlastitu opremu u Primarnome standardnom dozimetrijskom laboratoriju PTB ili Sekundarnome standardnom dozimetrijskom laboratoriju IAEA-e (vidi prije navedenu opremu), kako slijedi:

- Soft X ray ionization chamber 0.02 cm³ W23342-1126 (kalibrirana u PTB, Braunschweig, u travnju 2004.),
- Soft X ray ionization chamber 0.2 cm³ W23344-0722 (kalibrirana u PTB, Braunschweig, u travnju 2004.),
- Electrometer measurements system composed of: Keithley electrometer type 6517A, model 6171, LabView 7.1 Full Dev Systems for Windows (p.n. 776670-09),
- Interface for the electrometer measuring system composed of: PCI-GPIB Controller for PCI (p.n. 778032-01), NI PCI-6601 Counter/Timer card (p.n.

777918-01), SCB-68 shielded I/O connector block (p.n. 776844-01), R6868 Ribbon I/O cable (p.n. 182482-01).

Oprema za kalibraciju uređaja i opreme u brahiterapiji

Zahvaljujući tehničkoj pomoći IAEA, u Sekundarnome standardnom dozimetrijskom laboratoriju Instituta "Ruđer Bošković" nabavljena je odgovarajuća oprema za kalibraciju zatvorenih izvora ^{137}Cs i ^{192}Ir koji se rabe u brahiterapiji. Za razliku od ostale, prije navedene opreme SSDL-a, kad korisnik (naručitelj) opremu donosi u SSDL radi kalibracije, ova je oprema prijenosnog tipa, predviđena za donošenje korisniku i kalibraciju brahiterapijskih izvora na lokaciji korisnika.

Za potrebe kalibracije zatvorenih brahiterapijskih izvora ^{137}Cs i ^{192}Ir , SSDL Institut "Ruđer Bošković" osigurao je opremu, kako slijedi:

- Brachytherapy well chamber HDR 1000 Plus (type 90008), 70010 HDR source holder 2.2 mm dia., 10 m cable, TNC connector, and the following: 80010 ADCL calibration for HDR ^{192}Ir , 70020 source holder for ^{137}Cs , 5 mm dia., 80020 ADCC calibration for ^{137}Cs ,
- Electrometer capable of measuring charge and current for HDR ^{192}Ir , LDR ^{192}Ir and LDR ^{137}Cs sources, compatible with chamber above.

SUSTAV KAKVOĆE

U okviru sustava kakvoće Sekundarni standardni dozimetrijski laboratorij (Laboratory for Dosimetry) Instituta "Ruđer Bošković", Zagreb, načinio je te krajem prosinca 2004. dostavio akreditacijskoj kući Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB), Njemačka, odnosno Deutscher Kalibrierdienst (DKD), "Quality Manual" (QM), zajedno s odlukama o imenovanjima odgovornih osoba (voditelj laboratorija, zamjenik voditelja laboratorija, osoba zadužena za kontrolu kvalitete u laboratoriju i u Institutu), načinom kalibracije (Method of Calibration), određivanjem mjerne nesigurnosti (Measurement Uncertainty), popisom opreme te svih radnih protokola izrađenih u skladu s normom HRN EN ISO/IEC 17025:2000 (11), radi akreditacije putem te ustanove, članice European Accreditation (EA). Akreditacija putem EA akreditacijske ustanove (DKD) je u tijeku. Tijekom 2005. godine IAEA je dostavila preostalu opremu,

a uključivanje ovoga, Sekundarnoga standardnog dozimetrijskog laboratorija Instituta "Ruđer Bošković", Zagreb, u mrežu SSDL-a institucija ovlaštenih od IAEA-e i WHO očekuje se tijekom 2006. godine.

SUDJELOVANJE U PROJEKTIMA EUROMETA I BILATERALNIM PROJEKTIMA

U pripremi je novi EUROMET projekt (br. 813: "Comparison of air kerma and absorbed dose to water measurements of ^{60}Co radiation in radiotherapy"), koji se planira za sljedeće 2 godine i u kojem će naš SSDL (tijekom lipnja 2006.) sudjelovati.

Nadalje, IAEA je organizirala (siječanj 2005.) interkomparaciju u području zaštite od zračenja (izvor ^{137}Cs , D=5 mGy) u kojem je naš SSDL tijekom siječnja 2005. sudjelovao. U skladu s kasnije dostavljenim konačnim rezultatima IAEA-e, ova interkomparacija potpuno zadovoljava (odstupanja ovog SSDL-a bila su u granicama od $\pm 1\%$).

LITERATURA

1. IAEA SSDL NETWORK CHARTER, IAEA/WHO Network of secondary standard dosimetry laboratories, IAEA, Vienna, 1999.
2. International Atomic Energy Agency (IAEA). The international basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. IAEA Safety Series No. 115. Vienna: IAEA; 1996.
3. Zakon o zaštiti od ionizirajućih zračenja. Narodne novine 1999;(27) i 2003;(173).
4. Pravilnik o primjeni izvora ionizirajućih zračenja u medicini i stomatologiji. Narodne novine 1999;(113).
5. Naredba o mjerilima nad kojima se provodi mjeriteljski nadzor. Narodne novine 2003;(100).
6. International Atomic Energy Agency (IAEA). Absorbed dose determination in photon and electron beams: An international code of practice, 2nd edition. TRS No. 277. Vienna: IAEA; 1997.
7. International Atomic Energy Agency (IAEA). The use of plane parallel ionization chambers in high energy electron and photon beams: An international code of practice. TRS No. 381. Vienna: IAEA; 1997.
8. International Atomic Energy Agency (IAEA). Absorbed dose determination in external beam radiotherapy: An international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose in water. TRS No. 398. Vienna: IAEA; 2000.

9. International Atomic Energy Agency (IAEA). Calibration of radiation protection monitoring instruments. Safety Reports Series No. 16. Vienna: IAEA; 2000.
10. ISO 4037. X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy - Part 1: Radiation characteristics and production methods - Part 2: Dosimetry for radiation protection over the energy ranges 8 keV to 1,3 MeV and 4 MeV to 9 MeV - Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence.
11. HRN EN ISO/IEC 17025 Requirements: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.

Summary

SECONDARY STANDARD DOSIMETRY LABORATORY AT THE RUĐER BOŠKOVIĆ INSTITUTE, ZAGREB

The Secondary Standard Dosimetry Laboratory at the Ruđer Bošković Institute (SSDL), Zagreb, Croatia, was set up over the last few years with a strong support by the International Atomic Energy Agency (IAEA) through the Technical Cooperation Project CRO/1/004, Establishing Calibration Services.

The SSDL occupies two calibration rooms, each 9.6 m long and 6 m wide and each with proper air conditioning. Their walls are concrete and 1 m thick, and the entrance doors are plated with lead to protect the control rooms and the surroundings against radiation.

In the first calibration room in the basement, there are two sealed sources which share the same, 6 m long calibration bench. A 30 TBq ^{60}Co source on one side of the bench is used for calibrating ionising chambers and other high-dose radiation equipment. The irradiation unit on the other side of the bench combines two sealed sources, that is, a 740 MBq ^{137}Cs source and a 185 MBq ^{60}Co source, and is used for radiation protection purposes. It has three attenuators with nominal attenuations of $\times 10$, $\times 100$, and $\times 1000$.

The second calibration room, which is just above the first, accommodates an X-ray unit (ISOVOLT 420, 40 kV to 300 kV, 1 mA to 20 mA) with a 5 m long calibration bench, aperture wheel assembly designed to modify the X-ray beam diameter to meet various configuration requirements for calibration instruments, a set of filter assemblies to control beam definition according to ISO 4037-3, and a half-value layer kit.

KEY WORDS: *calibration, dosimetry, ionising chamber, radiation sources*

REQUESTS FOR REPRINTS:

mr. sc. Branko Vekić
Institut "Ruđer Bošković"
Bijenička cesta 54, HR-10000 Zagreb
E-mail: bvekić@irb.hr