

MEĐUNARODNI DOKUMENT OIML D 21

**DOZOMETRIJSKI LABORATORIJI
SA SEKUNDARNIM ETALONOM ZA
KALIBRACIJU DOZIMETARA KOJI SE
UPOTREBLJAVAJU U RADIOTERAPIJI**



**DRŽAVNI ZAVOD ZA NORMIZACIJU
I MJERITELJSTVO**

ZAGREB, 1998.

Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML)

*Secondary standard dosimetry laboratories for the calibration of
dosimeters used in radiotherapy*

*Laboratoires secondaires d'étalonnage en dosimétrie pour l'étalonnage des
dosimètres utilisés en radiothérapie*

Hrvatski prijevod Međunarodnog dokumenta D 21 iz godine 1990., Drugo izdanje

Prijevod je tiskan s odobrenjem OIML-a (odobrenje br. BIML 97/No. 1659)

Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo

Za izdavača:
dr. Jakša Topić

Preveo i priredio:
dr. Dubravko Risović

Lektorirala:
Lahorka Rajević

Korigirao i izvršio usporedbu s izvornikom:
Siniša Imprić-Jurić

Tisak:
GRAFOK d.o.o.

Naklada:
100 komada

Predgovor hrvatskom prijevodu međunarodnog dokumenta OIML D 21

Međunarodna organizacija za zakonsku metrologiju (Organization Internationale de Métrologie Légale, OIML) utemeljena je međunarodnim dogovorom 1955. godine kako bi se na međunarodnoj razini razriješili tehnički i upravni problemi koji nastaju uporabom mjerila. Svrha je te organizacije između ostaloga da uspostavi model nacrta zakona i propisa za mjerila i njihovu uporabu, da sastavi praktični organizacijski nacrt rada službi za nadzor i provjeru mjerila te da odredi nužne i prikladne značajke i norme s kojima mjerila moraju biti u skladu kako bi se njihova uporaba preporučila na međunarodnoj razini.

Svrha je dokumenata OIML-a da olakšaju ujednačivanje nacionalnih propisa iz područja metrologije. Oni nemaju čvrst karakter međunarodnih preporuka tj. na njih se ne primjenjuju odredbe članka VIII. Konvencije o osnivanju

Međunarodne organizacije za zakonsku metrologiju prema kojem su države članice "moralno obvezne primjenjivati te odluke koliko je to moguće".

U želji da se širem krugu zainteresiranih stručnjaka iz područja zakonskog mjeriteljstva učine dostupnim preporuke i dokumenti OIML-a Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo odlučio je izdati prijevode najvažnijih preporuka i dokumenata OIML-a.

Ova publikacija – referenca OIML D 21, izdanje 1990 (E) – razvijena je od Izvještajnog tajništva SP 16-Sr2 "Secondary standard dosimetry laboratories" i pilot tajništva SP16 "Ionizing radiations". Sankcioniran je od strane International Committee of Legal Metrology 1988 godine.

PREDGOVOR

Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) je svjetska međuvladina organizacija čiji je glavni zadatak harmoniziranje metroloških propisa i nadzor preko nacionalnih metroloških servisa ili srodnih organizacija u državama članicama.

Dvije glavne kategorije OIML publikacija su:

- Međunarodne preporuke (OIML R), su model-propisi koji općenito uspostavljaju metrološke značajke koje se zahtjevaju od određenog mjernog instrumenta, a specificiraju metode i opremu za provjeru suglasnosti; zemlje članice OIML trebaju koliko god je to moguće provesti ove preporuke.
- Međunarodni dokumenti (OIML D) informativne prirode za pomoć i poboljšanje rada metroloških službi.

Nacrte preporuka i dokumente OIML razvijaju pilot tajništva i izvještajna tajništva koja formiraju države članice u dogovoru s odgovarajućim (svjetskim i regionalnim) međunarodnim institucijama.

Sporazumi o suradnji između OIML i stanovitih institucija (posebice ISO i IEC) imaju za cilj izbjegavanje kontradiktornih zahtjeva tako da proizvođači i korisnici mjernih in-

strumenata, ispitnih laboratorija itd. mogu istodobno primjenjivati publikacije OIML i publikacije drugih institucija.

Međunarodne preporuke i Međunarodni dokumenti se objavljuju na francuskom (F) i engleskom (E) i predmet su periodičnih revizija. Riječi "Izdanje..." odnose se na godinu u kojoj je dokument tiskan.

- Publikacije OIML se mogu dobiti od:

Bureau International de Métrologie Légale
11, rue Turgot – 75009 Paris – France
telefon: 33(1) 48 78 12 82 i 42 85 27 11
Fax: 33(1) 42 82 17 27
SASVP 215463 F ATTN OIML

* * *

Ova publikacija – referenca OIML D 21, izdanje 1990 (E) – razvijena je od Izvještajnog tajništva SP 16-Sr2 "Secondary standard dosimetry laboratories" i pilot tajništva SP16 "Ionizing radiations". Sankcioniran je od strane International Committee of Legal Metrology 1988 godine.

DOZOMETRIJSKI LABORATORIJI SA SEKUNDARNIM ETALONOM ZA KALIBRACIJU DOZIMETARA KOJI SE UPOTREBLJAVAJU U RADIOTERAPIJI

1. Uvod

1.1 Visoka je točnost u dozimetriji ionizirajućeg zračenja nužna da bi se osigurala kakvoća radioterapije u cijelom svijetu i da bi se uspješno usporedilo kliničke rezultate na međunarodnoj osnovi. Slični zahtjevi postoje i u drugim srodnim područjima rada gdje se zračenje rabi u međunarodnim razmjerima, primjerice u radiobiološkim studijama. Ova se točnost može postići jedino ako su dostupni umjereni dozimetri koji se redovito provjeravaju kako bi se zadržale prihvatljive mjerne performanse.

1.2. U mnogim je zemljama nedostatak pogodnog pristupa laboratorijima s primarnim etalonom spriječilo nabavu umjerenih dozimetara i njihovo redovno ponovno umjeravanje. Praktično rješenje ovog problema je uspostavljanje šire mreže umjernih laboratorija opremljenih s referencijskim instrumentom umjerenim u jednom od primarnih laboratorija. Takvi laboratoriji sa sekundarnim etalonom koji djeluju po propisanim postupcima uz pažljivo održavanje etalona i konzistentnost provjera u stanju su umjeriti instrumente na terenu s točnošću koja je samo malo lošija od one koja se dobiva izravnom usporedbom s primarnim etalonom.

Napomena: Do 1986 dozimetrijski laboratoriji sa sekundarnim etalonom (Secondary Standard Dosimetry Laboratory -SSDL) uspostavljeni su u više od 40 zemalja. Većina njih su članovi mreže SSDL International Atomic Energy Agency/World Health Organisation (IAEA/WHO) uspostavljene 1976. Ova mreža laboratorija pomaže u razvoju radnih metoda, u uspostavljanju pristupa primarnim etalonima i kroz IAEA dozimetrijski laboratorij izvođenju interkomparacija doze.

1.3. Glavna uloga SSDL je premošćivanje rascjepa između dozimetrijskih laboratorija sa primarnim etalonom (Primary Standard Dosimetry Laboratory -PSDL) i korisnika ionizirajućeg zračenja, omogućujući prijenos umjeravanja dozimetra od primarnog etalona do instrumenta na terenu. SSDL treba također uputiti korisnika o ispravnoj uporabi instrumenata na terenu. Shodno tome njihovi zadaci uključuju održavanje sekundarnog etalon-dozimetra, kalibraciju instrumenata na terenu prema njima i izdavanje potvrde o umjeravanju koja specificira sve relevantne uvjete umjeravanja. Da bi se osigurala njihova neprekinuta kompetencija, SSDL moraju, kada god je to moguće, sudjelovati u usporedbenim mjerenjima s ostalim laboratorijima u suradnji s drugim SSDL i PSDL.

2. Namjena i opseg

2.1. U ovom se dokumentu podrazumijeva da je SSDL dio nacionalnog metrološkog servisa odgovoran za ovjeru radnih dozimetara koje umjerava preko sekundarnih standardnih instrumenata koji su sljedeći do primarnih nacionalnih i/ili međunarodnih etalona (1)

2.2. Namjena je ovog dokumenta da bude vodič za uspostavljanje i djelovanje SSDL. On pruža smjernice za postupke ispitivanja, ovjeravanja i umjeravanja instrume-

nata koji uključuju sekundarne etalone, radne instrumente i združenu umjernu opremu za terapiju zračenjem.

2.3. Ovaj dokument se ne odnosi na instrumentaciju koja se upotrebljava u mjerenjima radi zaštite od zračenja.

Opći kriteriji koje je razvio IAEA/WHO za uspostavu SSDL uključujući pogodno osoblje i nacrt laboratorija publiciran je od IAEA/WHO (2)

2.4. Ovaj dokument ne uključuje razmatranja zahtjeva u svezi s osiguranjem od zračenja laboratorijskog osoblja i drugih osoba. Takvi zahtjevi moraju biti u suglasnosti s nacionalnim propisima ili se treba slijediti dostupne međunarodne preporuke.

3. Veličine i prijenosne sheme

3.1. Veličine i jedinice

Veličine zračenja, jedinice i simboli definirani su i navedeni u Izvješću 33. Međunarodnog povjerenstva za jedinice i mjerenja zračenja (International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU, Report 33)(3).

Međunarodni sustav jedinica, SI, usvojen je na 11-toj Općoj konferenciji o utezima i mjerama 1960. i sada je zvanično uveden u gotovo svim zemljama. Opća provedba SI sustava prouzrokuje teškoće za nastavljivanje uporabe posebnih jedinica zračenja, rentgen, rad, rem i kiri zbog nepogodnih faktora koji su uvedeni SI ekvivalentima. U skladu s prijedlogom ICRU Opća konferencija za utege i mjere je na svom 15 sastanku 1975. usvojila posebna imena za SI jedinice zračenja; poimence bekerel (Bq) za jedinicu aktivnosti radionuklida i grej (Gy) za jedinicu apsorbirane doze. 1977. godine ICRU i ICRP (International Commission on Radiological Protection- Međunarodna komisija za radiološku zaštitu) su zajedno predložile posebno ime sievert (Sv) za jedinicu ekvivalenta doze koje je odobreno na 16. Generalnoj konferenciji za mjere i utege 1979. godine. Nije bilo predloženo posebno ime za SI jedinicu ekspozicije.

ICRU je preporučila da se posebne jedinice zračenja (rentgen, rad, rem i kiri) postepeno isključe iz uporabe do 1985 i zamijene odgovarajućim SI jedinicama (3). Za vrijeme prijelaznog perioda SI jedinice je trebalo upotrebljavati zajedno sa starim posebnim jedinicama zračenja s time da se potonje pišu u zagradama (4). Veličine zračenja, jedinice i simboli upotrebljeni u ovom dokumentu navedeni su u tablici 1.

3.2. Sheme prijenosa

Nude se dva načina djelovanja lanca prijenosa koji se sastoji od primarnog etalona u PSDL, umjerenog sekundarnog etalona i umjeravanja korisničkih instrumenata u SSDL.

3.2.1. Prvo se može napraviti jednostavni prijenos umjeravanja izražen preko faktora umjeravanja, tako da se na svakom stupnju lanca izmjeri ista veličina. Ovom se načinu rada daje prednost jer nema potrebe za pretvorbenim faktorima pa je mogućnost pogreške manja.

3.2.2. Drugi je slučaj onaj u kojem se veličina koju krajnji korisnik treba mjeriti razlikuje od veličine u kojoj je dano početno umjeravanje sekundarnog etalona. U ovom se slučaju mogu primijeniti pretvorbeni faktori da bi se izvelo umjeravanje za sekundarni etalon u veličini koja treba korisniku.

TABLICA I: VELIČINE ZRAČENJA, JEDINICE I SIMBOLI KOJI SE KORISTE U OVOM DOKUMENTU

Veličina	SI jedinica	Simbol	Posebno ime SI jedinice	Simbol za posebno ime	Odnos između SI jedinice i stare posebne jedinice
Apsorbirana doza	džul po kilogramu	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	grej	Gy	$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$
Brzina apsorbirane doze	džul po kilogramu u sekundi	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$	grej u sekundi	$\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$	$1 \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1} = 100 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
Kerma	džul po kilogramu	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	grej	Gy	$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$
Brzina kerme	džul po kilogramu u sekundi	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$	grej u sekundi	$\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$	$1 \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1} = 100 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
Ekspozicija	kulon po kilogramu	$\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$		—	$1 \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1} = \frac{10^4}{258} \text{ R}$
Brzina ekspozicije	kulon po kilogramu u sekundi	$\text{C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$		—	$1 \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = \frac{10^4}{258} \text{ R} \cdot \text{s}^{-1}$
Aktivnost	jedan u sekundi	s^{-1}	bekerel	Bq	$1 \text{ Bq} = \frac{10^{-10}}{3,7} \text{ Ci}$

Bilješka : SI dozvoljava iskazivanje ovih jedinica i u drugim jedinicama vremena, poimence minutama i satima

Mogući nizovi prijenosa koji oslikavaju puteve između raznih primarnih i korisničkih veličina prikazani su na slici 1. Početno utvrđen kalibracioni faktori za sekundarni etalon označeni su s N , a faktor koji daje SSDL za korisnički instrument s N . Primjeri prvog načina rada objašnjeni su nizovima prikazanim punim vodoravnim crtama. Na primjer, etalon apsorbirane doze D upotrebljava se da bi se dobio kalibracijski faktor apsorbirane doze N_D za sekundarni etalon koji se dalje upotrebljava da se umjeri korisnički instrument a da bi se dobio faktor N_D (5). U drugom je načinu rada prijelaz između veličina objašnjen okomitim točkastim crtama, koje naznačuju primjenu pretvorbenih faktora za sekundarni etalon. Primjerice, na slici 1 su prikazana četiri takva prijelaza grupirana u dva tipa. Prvi (a) uključuje samo faktore neovisne o ionizacijskoj komori, a drugi (b) uključuje i ovisne faktore kao i faktore neovisne o ionizacijskoj komori. Drugi prijelaz (b) zahtijeva, dakle, uporabu odgovarajućih dozimetrijskih protokola (6, 7, 8, 9). Mogući su i drugi putevi prijenosa, ali su im praktične vrijednosti ograničene.

4. Umjerna oprema i sredstva^(*)

4.1. Umjerni postav za X-zrake

Shematski dijagram pogodnog postava uređaja za umjeravanje dozimetara s X-zračenjem prikazan je na slici 2. Ovaj se postav obično sastoji od izvora X-zraka sa zaštitnim kućištem oko cijevi X-zraka; početne dijafragme (D_1), ograničavajuće (D_2) i zaštitnih dijafragmi (D_3 i D_4), zatvarača (S), filtera (F), monitorske komore (M); apsorbera za HVL mjerenja (A); referencijske ionizacijske komore (R) i ionizacijske komore instrumenta koji se umjerava (I).

Različite sastavnice umjernog postava treba postaviti na klupu - sličnu optičkoj - s pogodnim držačima i preciznim namještanjem. Ove sastavnice, uključujući držače i naprave za pomicanje trebaju biti čvrsto postavljene, stvarati što je manje moguće raspršenog zračenja i biti potpuno izvan upotrebljivog snopa.

4.1.1. Izvori X-zraka

Vjerojatno će biti potrebna dva izvora X-zraka: jedan za niskoenergetske X-zrake s rasponom napona na cijevi od oko 10-60 kV i drugi za X-zrake srednje energije s rasponom napona na cijevi od oko 50 - 300 kV. Poželjno je da struja cijevi bude najmanje 30 mA za niskoenergetski raspon i 10 mA za raspon srednjih energija. Svaki izvor X-zraka treba imati svoju vlastitu klupu za umjeravanje.

Efektivna veličina fokalnog spota za cijev treba biti između 2 mm i 5 mm. Potrebno je inherentno nisko filtriranje kako bi se cijev s X-zracima mogla učinkovito upotrebljavati sve do niskih napona na cijevi. Inherentno filtriranje za niskoenergetske cijevi ne bi trebalo biti veće od oko 2 mm berilija a za cijevi s višom energijom ne veće od oko 4 mm aluminijskog ekvivalenta^(**).

Izvor X-zraka treba biti model sa stalnim naponom kojem bilo kakav superponirani izmjenični napon nije veći od 10 % (od vrha do vrha) od srednjeg napona cijevi, a pri struji koja se upotrebljava u umjeravanju. Napon cijevi treba biti moguće neprekidno mijenjati u korisnom opsegu, a mora biti ponovo postavljiv na bilo koji napon s preciznošću od $\pm 1\%$.

Da bi se, za očekivane promjene napona ili frekvencije napajanja, varijacije u naponu smanjile na manje od 0,3 % treba upotrebljavati stabilizator napona.

Cijev s X-zracima treba biti postavljena u zaštitnom kućištu koje ne dopušta da bilo kakvo zračenje izlazi u bilo kojem smjeru osim smjera radnog snopa. Umjeravanja bi obično trebala biti u rasponu brzine kerme zraka od oko 10 mGy/min do 1 Gy/min (što odgovara brzini ekspozicije od oko 1 R/min do 100 R/min). Veličina i zaštita laboratorija trebaju biti takvi da doprinos raspršenog zračenja na mjernom položaju ne prelazi 5 % od iznosa izlaganja.

Cijev s X-zracima treba biti namjestiva tako da se snop X-zraka može postaviti točno usporedno s osi umjerne klupe. Nakon postavljanja u usporednicu cijev se mora učvrstiti u tom položaju.

4.1.2. Početna dijafragma (D_1)

Često je dana kao dio kućišta X-cijevi; treba biti upravo dostatno velika da dopusti propuštanje najvećeg polja koje se očekuje u uporabi i postavljena što je bliže moguće cilju X-cijevi.

4.1.3. Zatvarač (S)

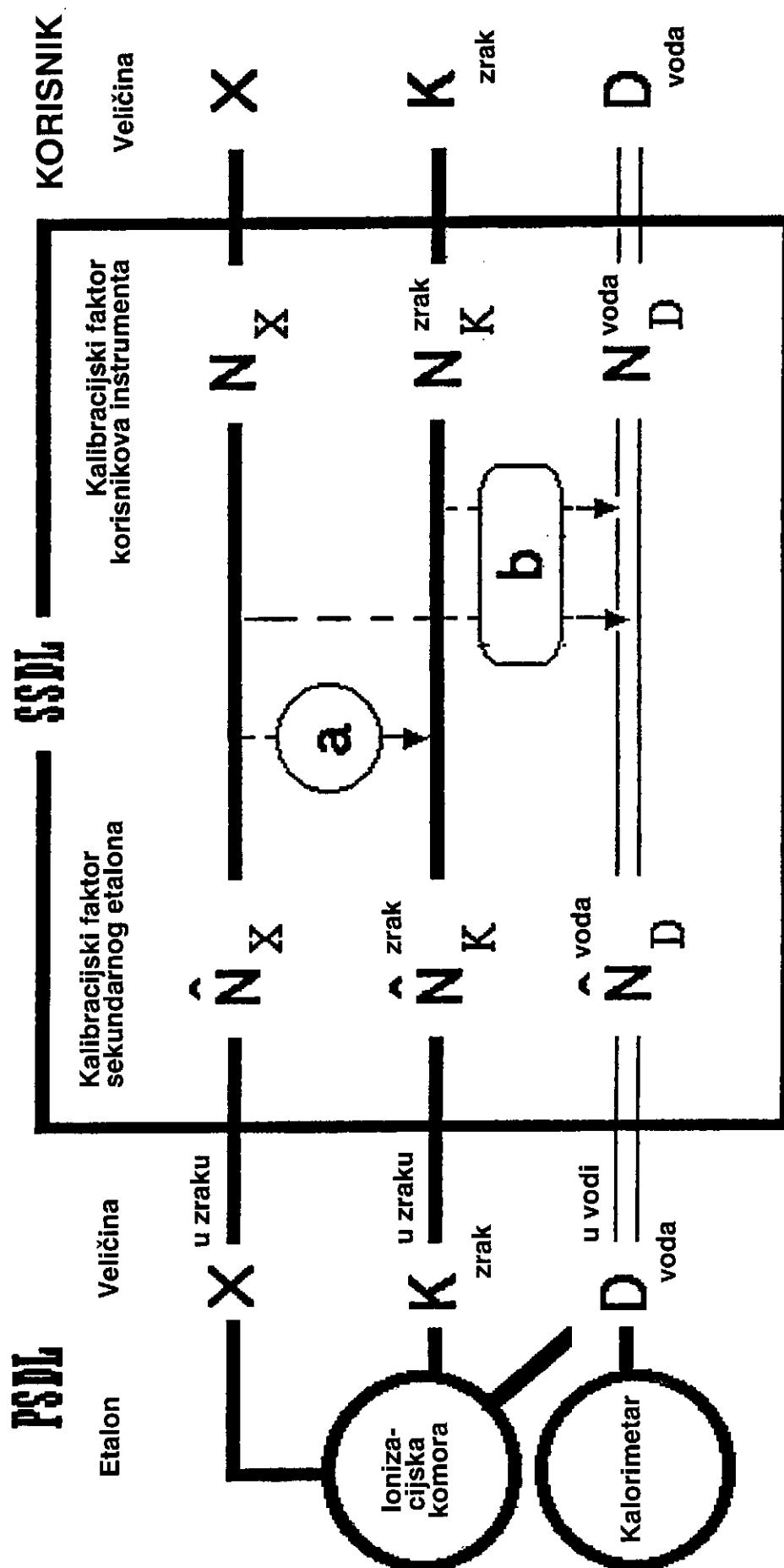
Mogu biti dva zatvarača ili jedan zatvarač s dvostrukom namjenom kako slijedi:

- a) sigurnosni zatvarač, koji može biti dio kućišta X-cijevi, radi slabljenja zračenja do razine sigurne za osoblje, a ujedno poboljšavajući stabilnosti snopa X-zraka čini nepotrebnim uključivanje i isključivanje visokog napona na X-cijevi pri svakom ozračivanju.
- b) brzi zatvarač za početak i završetak svakog ozračivanja čija je propusnost manja od 0,1 % i koji omogućuje da je vrijeme rada između punog i ništičnog ozračenja u komori bude manje od 0,1 % od uobičajenog vremena ozračivanja. (Ako je to nužno vrijeme ozračivanja treba ispraviti)

U koliko ne djeluje kao početna dijafragma (D_1) otvor zatvarača mora biti veći od promjera snopa X-zraka na njegovu položaju. Da bi se osiguralo zahtijevano slabljenje snopa za značajke niskoenergetskog snopa X-zraka (≤ 60 kV napona na cijevi), potrebna debljina zatvarača iznosi oko 1 mm olova, a za značajke snopa X-zraka srednje energije (50-300 kV napona) oko 15 mm olova. Položaj zatvarača u snopu zračenja u odnosu na filtere (F) i dijafragmu za ograničavanje snopa (D_2) je proizvoljan.

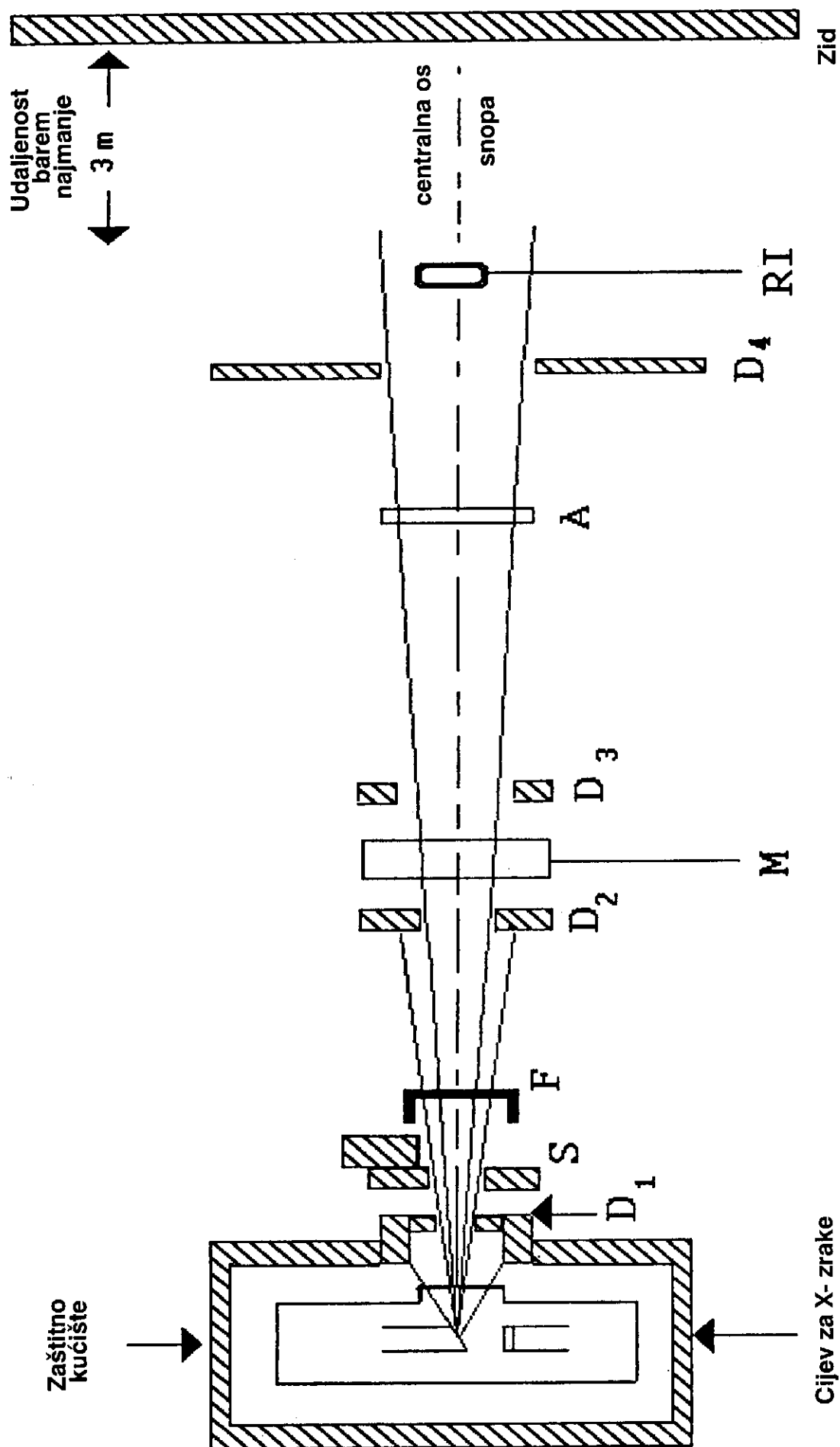
(*) Mnoge se preporuke dane u ovom odjeljku temelje na informacijama sadržanim u IAEA Technical report series No. 185

(**) Mjerenja inherentne filtracije preko aluminijskog ekvivalenta opisana su u točki 3.1.3.3 ISO Standard 4037 [10]



SLIKA 1. SHEMA PRIJENOSA DOZIMETRIJSKIH VELIČINA

X = ekspozicija, K = kerma, D = apsorbirana doza
medij je naznačen subskriptom za veličine a superskriptom za kalibracijske faktore



SLIKA 2: SHEMATSKI DIJAGRAM POSTAVA ZA UMJERAVANJE ZA X-ZRAKE
za oznake vidi tekst točke 4

4.1.4. Filteri (F)

Za kalibracijske svrhe snop X-zraka obično zahtijeva dodatnu filtraciju. Ova treba biti odabrana tako da su značajke zračenja koje se upotrebljava u kalibraciji slične onima koje se upotrebljavaju u radioterapiji. Filteri načinjeni od metala odgovarajuće čistoće trebaju biti postavljeni što je moguće bliže zaslonu, tako da filteri s najvišim atomskim brojem budu najbliže prozoru X-cijevi. Pogodan se set filtera može postaviti na kolo da bi se olakšala njihova izmjena.

Sama aluminijska filtracija može se upotrebljavati za postizanje snopova X-zraka s debljinom sloja poluapsorpcije do oko 4 mm Al (oko 0,15 mm Cu). Za veće debljine sloja poluapsorpcije treba se upotrebljavati filtracija od bakra (s 1 mm Al nakon Cu filtera). Za slojeve debljine poluapsorpcije iznad 2 mm treba se upotrebljavati Cu kositar filtracija, nakon koje slijedi 0,5 mm Cu i 1 mm Al.

Napomena: Tvarivo filtera treba biti što je moguće homogenije tj. bez rupica, pukotina, napuklina itd. Pogodni se setovi filtera mogu konstruirati od aluminijskih i bakrenih listova s debljinama koje variraju između 0,1 do 5 mm. Tvariva zadovoljavajuće visoke čistoće mogu se dobiti komercijalno. Posebnu pozornost pritom treba obratiti da se izbjegnu nečistoće s visokim atomskim brojem.

4.1.5. Dijafragma za ograničavanje snopa

Ona određuje veličinu korisnog snopa na mjernoj točki i treba biti namjestiva ili zamjenjiva. Njena debljina mora biti dostatna da propušta manje od 0,1% zračenja izvan korisnog snopa.

Ova dijafragma može biti napravljena od čelika ili bronce s debljinom od oko 6 mm za raspon niskih energija ili napravljena od olova (ili drugog pogodnog materijala visoke gustoće) s debljinom od oko 15 mm za srednje energije.

U ravni komore koja se ispituje ili umjerava, veličina polja mora biti toliko mala da se smanji raspršeno zračenje, curenje itd. a da ipak bude dostatno velika da jednolično ozrači ionizacijski detektor. Nejednoličnost snopa duž površine detektora treba biti manja od 1 %.

4.1.6. Monitorska komora (M)

Za umjeravanja X-zraka, ukoliko se ne rabi metoda istovremenih ozračivanja (umjeravanje vrh-vrh, vidi točku 4.1.9.) propusna se ionizacijska komora mora smjestiti tako da prihvati cijeli kolimirani snop nakon što je prošao kroz filtere i ograničavajuću dijafragmu. Sva očitavanja referencijske ionizacijske komore i instrumenta koji se umjerava trebaju se normalizirati preko očitavanja monitorske komore.

4.1.7. Zaštitna dijafragma (D_3)

Učinak prema natrag raspršenog zračenja od referencijske komore i od komore koja se umjerava na monitorsku komoru je obično malen; no ako se utvrdi da je značajan treba poduzeti ispravljačke postupke. Ovaj se učinak može smanjiti uvođenjem zaštitne dijafragme (D_3) za zaštitu monitorske komore. Ova se dijafragma može namjestiti tako da smanji polusjenu, ali ne treba ograničiti korisni snop.

Napomena: Dobra je praksa smjestiti sve sastavnice navedene u točkama 4.1.2. do 4.1.7. što je moguće bliže cilju, što je u skladu sa stvaranjem uske polusjene kako bi se raspršenje na mjestu ionizacijskih komora svelo na najmanju mjeru.

Dijafragme za ograničenje snopa (D_2) i zaštitu (D_3) mogu biti postavljene blizu dvjema stranama monitorske komore.

4.1.8. Dodatna dijafragma (D_4)

Ponekad se, da bi se još više umanjilo polusjenu, može upotrebljavati dodatna namjestiva ili izmjenjiva dijafragma smještena nešto podalje od cilja koja daje i dodatnu zaštitu uz onu od zaštitne dijafragme (D_3) opisane u točki 4.1.7.

4.1.9. Sustav za potporu ionizacijske komore (R, I)

Kada se upotrebljava supstitucijska metoda umjeravanja mjerne se točke referencijske komore i ionizacijske komore instrumenta kojeg treba umjeriti moraju naizmjenice postaviti u istu točku na osi korisnog snopa.

Ako se upotrebljava metoda istovremenog ozračivanja za usporedbu napršnjak-komora slične veličine i raspršujućih značajki, one se moraju učvrstiti jedna do druge ili vrh do vrha, simetrično oko osi korisnog snopa na istoj udaljenosti od izvora.

Potporni sustav mora biti namjestiv i sposoban da čvrsto drži komore. Potporni sustav mora biti u potpunosti izvan snopa X-zraka kako bi proizveo najmanje raspršenog zračenja na mjernom položaju. Izmjena referencijske ionizacijske komore i ionizacijske komore instrumenta koji se umjerava mora biti moguća upotrebom mehaničkog uređaja sposobnog za brzo i lako djelovanje. Potporni sustav također mora biti u stanju držati fantoma (za metodu istovremenog ozračivanja) ili dva fantoma (za metodu alternativnog ozračivanja) kada treba odrediti veličine u mediju koji je različit od zraka.

Središnja se os snopa zračenja treba odrediti radiografski, a definirati optički. Primjerice, laserski ili svjetlosni snop mogu omogućiti lagano namještanje umjernog sustava.

Potporni sustav mora biti dostatno dugačak da omogućiti da udaljenost između izvora i komore bude približno jednaka udaljenosti izvor-koža (UIK) koja se upotrebljava u terapiji zračenjem, no u praksi je obično nužna veća udaljenost kako bi se smjestili zatvarač, kotač s filterima, monitorska komora itd. Za zračenje niske energije (10 do 60 kV) preporučuje se udaljenost između 30 i 50 cm, dok se za zračenje srednje i visoke energije preporučuje udaljenost između 50 i 100 cm. No, pri niskoenergetskom zračenju dodatni se podaci mogu dobiti pri udaljenostima izvor – komora koje su manje od 30 cm.

Da bi se smanjile greške zbog nesigurnosti u položaju komore, treba postojati lako ukloniv i točno zamjenjiv uređaj za provjeru položaja komore, primjerice u tu se svrhu može uporabiti teleskop postavljen okomito na smjer zračenja. Primjerice, na udaljenosti 50 cm od cilja centri komore moraju biti unutar 0,5 mm udaljenosti za istu udaljenost cilja ako se želi da pogreške uslijed promjenjivog smještanja ne prijeđu 0,2 %.

4.1.10. Apsorberi za mjerenje debljine poluapsorpcije (HVL)

Apsorberi koji se upotrebljavaju u mjerenjima debljine poluapsorpcije (HVL) trebaju biti učvršćeni na približno polovini razmaka između mjerne komore i izvora, no treba paziti na mogućnost povratnog raspršenja od apsorbera prema monitoru. Za mjerenje debljine poluapsorpcije potrebni su aluminijski listovi debljine između 0,02 i 5 mm koji moraju imati čistoću 99,99 %. Potrebni su također i bakreni listovi debljine od 0,1 do 5 mm ali oni ne moraju imati visoku čistoću. HVL apsorber mora imati odgovarajuću jednoličnu debljinu i treba biti toliko homogen koliko god je to moguće tj. bez zračnih rupa, pukotina, napuklina itd.

Kada je to moguće točnost mjerenja debljine treba biti $\pm 5 \mu\text{m}$ ili $\pm 1 \%$ ovisno o tome što je veće. Da bi se to ostvarilo za listove tanje od oko 0,5 mm može biti potrebno vaganje: takvi listovi moraju imati dostatno jednoličnu debljinu.

4.2. Kalibracijski postav za gama zrake

Umjeravanje gama-zračenja može se izvesti s bilo ^{60}Co bilo s ^{137}Cs teleterapijskom jedinicom. Aktivnost izvora treba biti dostatno visoka da proizvede brzinu kerme u zraku od barem 0,1 Gy/min (što odgovara brzini ekspozicije od 10 R/min) na udaljenosti od 1 m. Izvor treba imati odgovarajuću zaštitu i kolimator za varijabilnu širinu snopa. Bilo koje združene vremenske greške zbog primjerice prijelaznih vremena zatvarača ili izvora trebaju se utvrditi i po potrebi uvesti odgovarajuće ispravke.

Gama-izvor ne zahtijeva dodatnu filtraciju ili monitorsku komoru. On mora imati svoj vlastiti ugrađeni zatvarač i/ili postav za pohranu izvora. Satni se mehanizam za mjerenje vremena ekspozicije treba rabiti kako bi se normalizirala mjerenja za različita razdoblja ozračivanja. Zahtjevi koji se postavljaju na umjernu klupu i potporni sustav ionizacijske komore slični su onima za umjerni postav za X-zrake.

Postojanje mogućnosti raspolaganja s gama snopom je vrlo preporučljivo jer daje stalno dostupan referencijski izvor za provjere stabilnosti (vidi točku 6.2).

5. Instrumenti

5.1. Referencijski instrumenti

SSDL mora imati sekundarni etalon-dozimetar, nužno umjeren i ponovno umjeren u PSDL. Dozimetar treba biti pažljivo pohranjen pod uvjetima koji svode na najmanju moguću mjeru mogućnost promjene njegovog kalibracijskog faktora. On se može upotrebljavati za rutinsko umjeravanje drugih instrumenata ili se može upotrebljavati samo za povremeno umjeravanje jednog ili više tercijarnih (referencijskih) standardnih instrumenata koji se zatim koriste u rutinskim umjeravanjima. Bitno je da se laboratorijski sekundarni etalon-dozimetar i bilo koji referencijski standardni dozimetar održavaju s pozornošću pažnjom i u sukladnosti sa specifikacijama IEC publikacije 731 (1983) (11) za instrumente referencijske

klase. Za sveukupnu provjeru dozimetrijskog sustava na raspolaganju mora biti radioaktivni izvor. Sveukupna nesigurnost koja se pripisuje umjeravanju radnih instrumenata je manja kada se oni uspoređuju izravno sa sekundarnim etalom nego pri usporedbi s referencijskim instrumentom tercijarne razine. Očekuju se male razlike koje svakako treba uravnotežiti u odnosu na veću vjerojatnost promjene kalibracijskog faktora sekundarnog etalona pri rutinskoj uporabi; naglašava se da cjelokupan rad SSDL ovisi o stabilnosti sekundarnog etalon-instrumenta.

Referencijski dozimetar se obično sastoji od tri temeljne jedinice - ionizacijske komore, mjernog sklopa a može uključivati i prenosivi izvor za provjeru stabilnosti.

5.1.1. Ionizacijska komora

Ionizacijska komora sekundarnog etalon-dozimetra mora imati visok stupanj dugotrajne stabilnosti i slabu ovisnost o energiji. Bilo kakva varijacija u odzivu ne smije biti veća od 0,5 % godišnje. Ionizacijske napršnjak-komore za mjerenja zračenja srednje i visoke energije imaju osjetilne obujme između $0,1 \text{ cm}^3$ i oko $1,0 \text{ cm}^3$. Promjena odziva s energijom u takvih komora trebala bi biti manja od $\pm 2 \%$ u rasponu debljina sloja poluapsorpcije od 2 mm Al do 3 mm Cu, tj. za napone cijevi X-zraka od 75 kV do 250 kV. Za komore za koje se navodi da su podobne za uporabu s visokoenergetskim zračenjem ukupna debljina zida (uključujući, ako postoji, kapicu za osiguranje ravnoteže nabijenih čestica - "build-up" kapicu) mora biti takva da daje elektronsku ravnotežu za najmanje ^{60}Co gama-zračenje. Odziv takve komore za ^{60}Co gama zračenje uz uporabu odgovarajuće "build-up" kapice ne smije se razlikovati od odziva za X-zrake debljine poluapsorpcije 1,8 mm Cu, oko 200 kV, za više od 5 %.

Ionizacione komore za mjerenje niskoenergetskog zračenja obično posjeduju ulazni prozor koji se sastoji od tanke membrane ili mrežice kroz koju zračenje ulazi u mjerni obujam (komore tankog prozora). Granica varijacije odziva takve komore je obično unutar $\pm 2\%$ u rasponu vrijednosti debljine poluapsorpcije od 0,05 mm do 2 mm Al tj. od približno 12 kV do 70 kV napona na cijevi X-zraka.

Ionizacijska komora sekundarnog etalon-dozimetra treba biti nebrtvljena, konstruirana tako da se brzo izjednači s vanjskim atmosferskim uvjetima okoliša. Ionizacijska se komora može umjeriti zajedno s mjernim sklopom ili odvojeno. U potonjem slučaju njen kalibracijski faktor treba dati u jedinicama odgovarajuće veličine zračenja po jedinici naboja.

Za povezivanje ionizacijske komore i mjernog sklopa nužni su posebni kablovi. Općenito će koaksijalni kabel s jakom izolacijom generirati električni šum kadgod se svine ili nekako deformira. Iako je to obično kratkotrajno, pomicanje kablova za vrijeme mjerenja može dovesti do pogreške. Kada je napet, kabel također može stvoriti istosmjernu razliku potencijala kojoj treba neko vrijeme da iščezne; tijekom tog vremena mjerenje može biti neizvedivo. Prema tome, koaksijalni kabel koji povezuje ionizacijsku komoru i mjerni sklop treba biti "ne-mikrofonskog" tipa ili niskošumnog tipa konstruiran tako da umani ove efekte.

5.1.2. Mjerni sklop

Glavna je svrha ovog uređaja da mjeri naboj ili struju iz ionizacijske komore i pretvori je u oblik pogodan za prikaz, kontrolu ili pohranu. Također može dati i polarizacijski napon napajanja ionizacijske komore.

Dugotrajna stabilnost mjernog sklopa mora biti bolja od $\pm 0,5\%$ na godinu.

Mora postojati pokazni uređaj za vizualno predstavljanje podataka iz kojih se može izvesti relevantna veličina zračenja.

Mjerni se sklop može umjeriti s ionizacijskom komorom ili se mjerni sklop može umjeriti odvojeno. U potonjem slučaju mjerni sklop treba biti umjeren u jedinicama električnog naboja ili struje. Mjerni raspon takvog instrumenta za mjerenje naboja/struje treba odgovarati ionizacijskoj komori s kojom će se upotrebljavati.

5.1.3. Prijenosni izvor za provjeru stabilnosti

Svrha prijenosnog izvora za provjeru stabilnosti je da omogući provjeru stabilnosti ukupnih performansi cijelog dozimetra i da osigura da se ne pojavi značajna promjena između umjeravanja sekundarnog etalona u PDL i uporabe za kalibraciju u SSDL. Treba napomenuti da se takav izvor ni u kojem slučaju ne smije upotrijebiti za kalibraciju komore. Takav uređaj treba jednoliko ozračiti ionizacijsku komoru. Geometrijski odnosi između radioaktivnog izvora i komore moraju biti točno ponovljivi kako bi se umanjio efekt malih promjena u položaju komore. Mora biti omogućeno mjerenje temperature na položaju ionizacijske komore. Relativno standardno odstupanje mjerenja s jednim izvorom za provjeru, utvrđeno s 10 ponovljenih mjerenja, ne smije prijeći $0,3\%$; odstupanja čije su vrijednosti veće treba ispitati.

Da bi se laboratorijsko osoblje zaštitilo od neželjenog zračenja, izvor treba primjereno zaštititi i opskrbiti s zatvaračem koji sprječava izlazak zračenja kada se izvor ne upotrebljava.

Tipični izvor za provjeru za naprtnjačku komoru je cilindričan izvor $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, zatvoren u srebrnoj foliji. $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ je čisti beta-emiter s vremenom poluživota ^{90}Sr od oko 28 godina, tako da potrebni ispravak raspada iznosi samo nekoliko desetinki posto mjesečno. Najveća je energija ^{90}Y beta-čestica (2,2 MeV) promjena proboja srebrnog kućišta i zida komore.

U slučajevima kada prijenosni izvor za provjeru stabilnosti nije dostupan ili nije poslan uz sekundarni etalon u PSDL, stalnost se sekundarnog etalona mora provjeriti metodama opisanim u točki 6.2.

5.2. Monitorski instrument

5.2.1. Monitorska komora

To je transmisijaska komora s usporednim pločama čiji se osjetilni obujam treba pružati dalje od promjera najvećeg zahtjevanog snopa. Koliko god je to moguće polje zračenja ne smije biti ometano monitorskom komorom, a posebice ne smije stvarati sjene u efektivnom snopu zračenja. Zidovi trebaju biti dostatno tanki da značajnije

ne pridonose filtriranju snopa. To možda neće biti moguće ostvariti pri niskim energijama zračenja i tada filtriranje koje unosi ova komponenta treba biti uključeno u ukupnu filtraciju. Ako debljina prozora komore ne osigurava elektronsku ravnotežu, treba paziti da tijekom mjerenja na odziv komore ne utječu bilo kakve varijacije uvjeta raspršenja oko komore. U upotrijebljenom rasponu energija varijacija odziva monitorske komore s energijom mora biti manja od $\pm 15\%$, a ne smije preći $0,5\%$ iznad raspona energija koje se, uslijed neželjenih varijacija u naponu cijevi, mogu pojaviti tijekom jednog umjeravanja.

5.2.2. Zahtjevi na ponovljivost

Instrument za mjerenje struje/naboja koji se upotrebljava s monitorskom komorom mora imati dobru ponovljivost. Standardno odstupanje jednog mjerenja pri stalnoj ulaznoj struji ne smije prijeći $0,2\%$.

5.3. Drugi dozimetri

Drugi pogodni dozimetri mogu biti potrebni kao radni etaloni, prijenosni i terenski instrumenti. Oni trebaju zauzeti mjesto sekundarnog etalonskog instrumenta za opću uporabu u SSDL, kao što su mjerenja debljine sloja poluapsorpcije ili jednolikosti polja ili za potrebe istraživačkih ili obrazovnih programa, ili za mjerenja u drugim institucijama.

5.4. Stabilizirani izvori napona

Mjerni sklop i monitorski instrument mogu sadržavati i napajanje za polarizacijski potencijal ionizacijske komore. Ako ga ne sadržavaju za referencijsku i monitorsku ionizacijsku komoru nužan je stabilizirani naponski izvor s odgovarajućim rasponom (primjerice 0-500 V).

5.5. Mjerenje vremena

Vremenski se sklop (timer) može rabiti zajedno sa zatvaračem za mjerenje vremena ozračivanja ili se bez uporabe zatvarača može rabiti za kontrolu vremena mjerenja. Obje funkcije može obavljati jedan vremenski sklop (timer) ili se mogu upotrebljavati dva vremenska sklopa. Preporučuje se elektronički vremenski sklop koji treba ostvariti nesigurnost u mjerenju vremena ekspozicije od $0,1\%$. Kada se za kontrolu ozračivanja upotrebljava zatvarač treba se procijeniti utjecaj vremena otvaranja i zatvaranja.

5.6. Instrumenti za mjerenje i praćenje ambijentalnih atmosferskih uvjeta

Moraju postojati odgovarajući instrumenti koji utvrđuju temperaturu i tlak te prate relativnu vlažnost ambijentalnog zraka.

Termometar pogodan za određivanje temperature zraka u blizini ionizacijskih komora treba biti u stanju izmjeriti temperaturu s nesigurnošću od $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, a barometar mora utvrditi atmosferski tlak s nesigurnošću manjom od $\pm 0,1\%$.

Ako se mjerenja obavljaju na terenu treba postojati precizni prijenosni aneroidni barometar.

Pored toga može postojati i oprema za praćenje uvjeta okoliša za neprekidno bilježenje temperature, tlaka i vlažnosti u laboratoriju.

Instrumenti koji se upotrebljavaju moraju imati umjeravanja koje su sljedeća do nacionalnih etalona za tlak i temperaturu.

5.7. Uređaj za mjerenje udaljenosti

Mora postojati mogućnost utvrđivanja i održavanja položaja komore u odnosu na izvor. Položaj komore mora biti ponovljiv s nesigurnošću manjom od $\pm 0,5$ mm za udaljenosti iznad 50 cm, a za manje udaljenosti nesigurnosti moraju biti manje.

5.8. Fantomi

Kada je to potrebno za kalibraciju mora biti dostupan odgovarajući fantom. Zbog točnosti i konzistencije postoje prednosti pri uporabi vodenog fantoma, ali to ponekad predstavlja praktične probleme pa je i fantom od pogodnog krutog materijala jednako prihvatljiv. Oba su tipa opisana (6, 12) i oba su komercijalno dostupna. Treba imati na umu da će, kada se za kalibraciju u fantomu rabi metoda istovremenog ozračivanja, fantom zahtijevati dvije rupe, svaku točno prilagođenu tipu ionizacijske komore koja će se u njoj upotrebljavati, a smještenu na istoj dubini u materijalu fantoma. (vidi točku 4.1.9.)

5.9. Pomoćna oprema

Uz gore opisanu opremu kao redovna oprema SSDL može biti korisna i dodatna pomoćna oprema:

- filmovi ili mali fluorescentni ekran za provjeru namještanja snopova
- uređaj za provjeru atmosferskog ventiliranja ionizacijske komore
- osobni dozimetri za sigurnosno praćenje zračenja
- stolno ili ručno računalo
- precizni voltmetar i/ili multimetar

Po potrebi, ako je dostupna, može biti korisna još i neka dodatna oprema:

- pogodni mikrometar za mjerenje debljine filtera i apsorbera
- odgovarajuća vaga za određivanje debljine tankih filtera i apsorbera s vaganjem
- prijenosni mjerači zračenja za provjeru curenja zračenja cijevi za X-zrake i razina zračenja u radnim prostorima
- pristup maloj radionici za konstrukciju i modifikaciju laboratorijske opreme.

6. Točnost i pouzdanost

6.1. Ciljevi točnosti

Pri kalibraciji korisničkih instrumenata za terapiju zračenjem cilj SSDL bi trebao biti postizanje ove točnosti:

	⁶⁰ Co	
	gama-zrake	X-zrake
Instrumenti referencijske klase	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$
Instrumenti terenske klase	$\pm 2\%$	$\pm 3\%$

Ovi ciljevi točnosti su dani u skladu s postocima s kojima PSDL kalibrira sekundarni etalonski instrument. U ovim brojkama nisu uključene sustavne nesigurnosti primarnog etalona u PSDL. Instrument referencijske klase je instrument čije su performanse i stabilnost dostatne da se rabi za kalibraciju ostalih instrumenata; instrument terenske klase je instrument čije su performanse i stabilnost dostatne da bi se rabio za obična rutinska mjerenja (11). Ovi se termini odnose na kakvoću instrumenata, a ne na njihovu uporabu. Instrument referencijske klase koji se rabi za rutinsku kalibraciju terapijskog snopa smatra se terenskim instrumentom.

Kalibracijska točnost koju postigne SSDL može se provjeriti usporedbom umjeravanja radnog etalona s onom danom od PSDL ili s interkomparacijom umjeravanja određenih od nekoliko SSDL. Razlika između kalibracijskih faktora ne bi trebala biti značajnije veća od navedenih ciljeva točnosti.

6.2. Sveukupna provjera konstantnosti

Da bi se osigurala pouzdanost sekundarnog standardnog instrumenta sva mjerenja koja se periodično ponavljaju pod specifičnim uvjetima trebaju se smatrati dijelom redundantnih provjera konstantnosti. Pažljivo treba voditi zabilježbe o svim mjerenjima, a svako odstupanje od očekivane vrijednosti treba odmah istražiti. Takve provjere stalnosti trebaju uključivati uporabu prijenosnih izvora za provjeru, mjerenja u ⁶⁰Co ili ¹³⁷Cs snopu gama zraka pri čvrstom položaju i usporedbom sekundarnog etalonskog instrumenta s drugim instrumentom referencijske klase. Ako se sekundarni etalonski instrument uspoređuje s drugim instrumentom također i u snopu X-zraka to će ispitati stalnost energetskog odziva. Prednost se daje usporedbi sekundarne etalonske komore s ionizacijskom komorom različite veličine i konstrukcije jer je malo vjerojatno da će obje griješiti na isti način.

Pri ovoj provjeri stalnosti treba uspostaviti najmanje trostruku redundanciju. Tada se, sve dok se u mjerenju ne nađu odstupanja, može s velikim stupnjem pouzdanosti smatrati da je sekundarni etalon zadržao stalni kalibracijski faktor. Pažljiva redundantna provjera stalnosti kombinirana s povremenim ispitima točnosti umjeravanja može reducirati potrebu za periodičkim ponovnim umjeravanjem sekundarnog etalona sve dotle da može proći više godina između ponovnih umjeravanja. Naravno, ponovno se umjeravanje sekundarnog etalonskog instrumenta treba napraviti kadgod provjera stalnosti ili provjera točnosti umjeravanja pokaže odstupanje koje je bitno veće od postavljenih ciljeva u točnosti SSDL.

Kada se dobije novi sekundarni etalonski instrument treba uspostaviti provjeru redundantne stalnosti i, ako je to moguće, tijekom nekoliko tjedana ispitati stabilnost instrumenta prije no što se instrument pošalje u PSDL na kalibraciju. Postupak treba ponoviti čim se instrument vrati iz PSDL i u odgovarajućim intervalima nakon toga.

7. Izvješće o umjeravanju

Ovaj odjeljak opisuje informacije koje se trebaju dati u izvješću o umjeravanju terenskog instrumenta. Izvješće treba sadržavati, ali ne i nužno biti ograničeno na informacije koje su ovdje opisane. Ono treba pružati i dodatne informacije ako su one korisne ili zatražene od korisnika instrumenta.

7.1. Izvješće treba sadržavati ime SSDL, datum izvješća i jedinstveni broj koji identificira izvješće.

Napomena: broj izvješća mora biti naveden na svakoj stranici izvješća.

7.2. Treba sadržavati naziv i adresu vlasnika terenskog instrumenta, datum kada je instrument primljen i identifikaciju instrumenta uključujući proizvođača, model i serijski broj.

7.3. Treba opisati uvjete umjeravanja, upotrijebljene metode i etalone.

7.3.1. Za izvor zračenja treba navesti njegov tip, pogodan deskriptor kakvoće ili energije snopa, udaljenost od izvora do položaja umjeravanja, veličinu polja zračenja na mjestu umjeravanja i brzinu ekspozicije (ili kermu ili apsorbiranu dozu) tijekom umjeravanja.

7.3.2. Za terenske instrumente treba navesti referentne uvjete. Odnosno opisati metodu upotrijebljenu za vrijeme umjeravanja i uključiti položaje preklopnika, točku ljestvice na kojoj je obavljeno umjeravanje, veličinu struje rasipanja (i da li je ili ne napravljen ispravak) i kut osi komore u odnosu na os snopa. Treba dati rezultate linearosti ljestvice i ispitivanja opsega kao i rezultate bilo kojih posebnih ispitivanja čija je provedba bila potrebna kao npr. atmosferskog ventiliranja.

7.3.3. Treba opisati postupak umjeravanja. Metodu treba dati detaljno: da li se radilo "tip-to-tip", supstituciju, u zraku ili u specficiranom fantomu, odnosno bilo koju metodu koja je uporabljena. Za kalibraciju apsorbirane doze treba dati sastav fantoma i dubinu dozimetra tijekom umjeravanja.

7.3.4. Treba identificirati sekundarni etalon i navesti datum njegova posljednjeg umjeravanja u PSDL. Ako je provedena provjera osiguranja mjerenja s PSDL treba navesti datum posljednje provjere.

7.4. Treba navesti korekcijski faktor za kalibracijski faktor.

Napomena: Treba biti potpuno jasno kako se navedeni faktori trebaju primijeniti na odzive umjerenog sustava.

7.4.1. Korekcijski faktor je numerički faktor s kojim se množi neispravljeni rezultat mjerenja da bi se nadoknadiła pretpostavljena sustavna pogreška. Korekcijski se faktori obično navode za instrumente koji imaju ljestvicu obilježenu u jedinicama relevantne veličine kao što je ekspozicija, kerma ili apsorbirana doza.

7.4.2. Kalibracijski faktor je često pogodniji način da se iskaže rezultat umjeravanja i on uspostavlja, pod specficiranim uvjetima umjeravanja, odnos između vrijednosti koje daje mjerni sustav koji se umjerava i odgovarajućih poznatih vrijednosti mjerene veličine dobivenih od sekundarnog etalona.

Kalibracijski faktori mogu imati jedinice kao što su primjerice kuloni po kilogramu po podjeljku ljestvice ($C \cdot kg^{-1}/podjeljak$) ili grej po podjeljku ljestvice ($Gy/podjeljak$) ili grej po kulonu (Gy/C).

Napomena: Fizikalna veličina u brojniku kalibracijskog faktora mora biti navedena u potpunosti, a obično će to biti ekspozicija, kerma u zraku, kerma u vodi ili doza apsorbirana u vodi. Primjerice: kalibracijski faktor može biti dan kao faktor kojim se očitavanje instrumenta u referencijskim uvjetima množi da bi se dobilo ekspoziciju u milikulonima po kilogramu (mC/kg).

7.4.3. Treba navesti temperaturu i tlak na koju je normaliziran korekcijski ili kalibracijski faktor. Također treba navesti vlažnost pri kojoj se faktor primjenjuje.

7.4.4. Treba navesti nesigurnost ili točnost združenu s korekcijskim ili kalibracijskim faktorom s kratkim tumačenjem kako je dobivena.

7.5. Ako postoji primjenjivi propis koji regulira ponovna umjeravanja treba navesti datum kada je potrebno ponovno umjeravanje. Inače treba navesti datum kada se preporučuje ponovno umjeravanje.

7.6. Treba sadržavati potpis i naslov odgovorne osobe u SSDL kao i potpis(e) ili inicijale osobe ili osoba koje su izvele kalibraciju.

Napomena: Potpis ili inicijali osobe ili osoba koje su izvele umjeravanje moraju biti na svakoj stranici izvješća koja sadrži bilo kakve podatke umjeravanja.

REFERENCE

- (1) BIPM-IEC-ISO-OIML, International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, ISO, 1984, ISBN 9267010328
- (2) Criteria for the Establishment of Secondary Standard Dosimetry Laboratory, IAEA Circular E2.13.0.Circ. (23 April 1985).
- (3) INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Radiation Quantities and Units, Report 33 (1980)
- (4) LIDEN, K., SI Units in Biomedical Dosimetry, Biomedical Dosimetry, proceedings of a Symposium, IAEA, Vienna, 1975, 451
- (5) Institute of Physical Sciences in Medicine, Code of Practice for High Energy Photon Therapy Dosimetry Based on NPL Absorbed Dose Calibration Service; (in preparation)
- (6) INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Measurement of Absorbed Dose in Phantom Irradiated by a Single Beam of X- or Gamma-Rays, report 23 (1973).
- (7) Recommendation by the Nordic Association of Clinical Physics (NACP), Procedures in External Radiation Therapy Dosimetry with Electron and Photon Beams with Maximum Energies between 1 and 50 MeV, ACTA RADIOLOGICA, Stockholm, 1979
- (8) American Association of Physicists in Medicine, Radiation Therapy Committee, Task Group 21, A Protocol for Determination of Absorbed Dose from High Energy Photon and Electron Beams, Med. Phys. 10, 741, 1983
- (9) Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams – An International Code of Practice, Technical Report series N° 277, IAEA, Vienna, 1987.
- (10) ISO International Standard 4037, X and γ reference radiations for calibrating dosimeters and dose ratemeters and for determining their response as a function of photon energy.
- (11) IEC Publication 731, Dosimeters with Ionisation Chambers as Used in Radiotherapy.
- (12) MASSEY, J. B. Manual of Dosimetry in Radiotherapy, Technical Reports Series no.11, IAEA, Vienna, 1970.