



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI  
FAKULTET  
DEPARTMAN ZA FIZIKU



УДАРЦЕВАЦИЈА / УДАРЦЕВАЦИЈА  
ДОБРОДОДАРСТВЕНА ОДЛУКА

ПРИМЕНОВАНО	
ОДЛУКА	ДОДАВАЊЕ
6603	60/84

# Praktična uputstva za zaštitu od ionizujućeg zračenja prema BSS (*Basic Safety Standards*) - primena u kliničkoj praksi na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici

- MASTER RAD -

Mentor: Prof. dr Miroslav Vesović

Kandidat: Borko Basarić

Novi Sad, mart 2010.

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>5</b>
1.1. Osnovni Internacionali Bezbednosni Standardi ( <i>BSS - Basic Safety Standards</i> ) .....	5
1.1.1. Principi i osnovni ciljevi .....	5
1.2. Radijacioni efekti .....	6
1.3. Prakse i intervencije .....	7
1.3.1. Osnovni principi .....	7
1.4. Tipovi radijacione ekspozicije .....	8
1.5. Fizičke veličine i jedinice .....	8
1.5. Regulatorno telo ( <i>Regulatory authority</i> ) .....	9
<b>2. FIZIČKE VELIČINE U KONCEPTU RADIJACIONE FIZIKE .....</b>	<b>10</b>
2.1. Nestohastičke fizičke veličine koje opisuju transfer energije .....	10
2.1.1. Kerma i jačina kerme .....	10
2.1.2. Apsorbovana doza. Jačina apsorbovane doze .....	11
2.1.3. Ekspozicija (Ekspoziciona doza). Jačina ekspozicione doze .....	12
2.2. Fizičke veličine u konceptu radijacione zaštite .....	12
2.2.1. Apsorbovana doza i ekvivalentna doza u tkivu ili organu .....	12
2.2.2. Radijacioni težinski faktori .....	13
2.2.3. Efektivna doza .....	14
2.2.4. Težinski faktori tkiva .....	14
2.2.5. Kolektivna efektivna doza .....	15
<b>3. OSNOVNI ZAHTEVI ZA ZAŠTITU OD JONIZUJUĆEG ZRAČENJA .....</b>	<b>16</b>
3.1. Opšti zahtevi « <i>Basic Safety</i> » standarda .....	16
3.2. Zahtevi <i>BSS</i> -a u praksama i intervencijama .....	17
<b>4. DETALJNI ZAHTEVI U ZAŠTITI OD JONIZUJUĆEG ZRAČENJA .....</b>	<b>20</b>
4.1. Profesionalna ekspozicija .....	20
4.1.1. Odgovornosti .....	20
4.1.2. Priroda posla .....	21
4.1.3. Klasifikacija okruženja .....	22
4.1.3.1. Kontrolisana zona zračenja .....	22
4.1.3.2. Nadgledana zona zračenja .....	22
4.1.4. Lokalna pravila i nadgledanje .....	23



4.1.5. Individualni monitoring i procena ekspozicija .....	24
4.1.6. Monitoring radnog okruženja .....	26
4.1.7. Zdravstveni monitoring .....	27
4.1.8. Dokumentacija .....	28
4.1.9. Posebne okolnosti .....	28
4.1.10. Ograničenje doza prilikom profesionalnih ekspozicija .....	29
 4.2. Medicinska ekspozicija .....	31
4.2.1. Odgovornosti .....	31
4.2.2. Opravdanost medicinskih ekspozicija .....	31
4.2.3. Optimizacija zaštite pri medicinskim ekspozicijama .....	31
4.2.3.1. Interlokovi .....	33
4.2.4. Klinička dozimetrija .....	34
4.2.4.1. Planiranje radioterapije .....	35
4.2.5. Osiguranje kvaliteta medicinskih ekspozicija .....	37
4.2.5.1. «Morning check» .....	38
4.2.5.2. «Daily check» .....	39
4.2.5.3. Kalibracija .....	40
4.2.5.3.1. Apsolutna dozimetrija .....	40
4.2.5.3.2. Relativna dozimetrija .....	42
4.2.6. Internacionali Merni Sistem (IMS) .....	46
4.2.7. Korektivne mere .....	47
4.2.8. Ograničenje doze .....	48
4.2.9. Istraga nepredviđenih medicinskih ekspozicija .....	48
4.2.10. Dokumentacija .....	48
 4.3. Javna ekspozicija .....	49
4.3.1. Odgovornosti .....	49
4.3.2. Kontrola posetilaca .....	49
4.3.3. Radioaktivni otpad .....	50
4.3.4. Uklanjanje radioaktivnih supstanci i monitoring javne ekspozicije .....	50
4.3.5. Ograničenje doza pri javnim ekspozicijama .....	51
 4.4. Potencijalna ekspozicija .....	52
4.4.1. Procena sigurnosti .....	52
4.4.2. Zahtevi u dizajnu .....	52
4.4.2.1. Odgovornosti .....	52
4.4.2.2. Prevencija nesreća i ublažavanje posledica nesreća .....	53
4.4.3. Zahtevi u operacijama .....	53
4.4.3.1. Odgovornosti .....	53
4.4.3.2. Istraga i dalje praćenje rada .....	54
4.4.4. Osiguranje kvaliteta ( <i>Quality assurance</i> ) .....	54
 4.5. Ekspozicije u slučaju neočekivanih situacija - ( <i>emergency exposure situations</i> ) .....	55
4.5.1. Planovi u slučaju neočekivanih situacija ( <i>emergency plans</i> ) .....	55
4.5.2. Intervencije u slučaju ekspozicija pri neočekivanim situacijama .....	56
4.5.2.1. Opravdanost intervencije .....	56

4.5.2.2. Optimizacija bezbednosnih akcija: nivoi akcija i intervencija .....	57
4.5.3. Procedura u slučaju akcidentne situacije (Brahiterapija - IOV).....	57
4.5.4. Procena i monitoring doza posle nesreća .....	59
4.5.5. Zaštita osoblja koje obavlja interventne akcije .....	59
4.5.6. Hitne bezbednosne akcije: Fizička zaštita i evakuacija .....	59
4.5.7. Kriterijum izuzeća izvora i praksi .....	60
<b>5. PROCENA I IZRAČUNAVANJE PARAMETARA FIZIČKE ZAŠTITE OD JONIZUJUĆEG ZRAČENJA ZA MEGAVOLTAŽNU TELETERAPIJU (6MV).....</b>	<b>61</b>
5.1. Opšti principi .....	61
5.2. Zaštitne barijere .....	62
5.2.1. Debljina primarne barijere .....	63
5.2.2. Debljina sekundarne barijere .....	64
5.2.3. Izračunavanje debljina primarnih i sekundarnih barijera (zidova bunkera) za 6 MV teleterapijski medicinski linearni akcelerator .....	65
5.2.3.1. Parametri koji figurišu u jednačinama za izračunavanje debljina primarnih i sekundarnih barijera .....	65
5.2.3.2. Račun .....	67
Primer 1 .....	67
Primer 2 .....	68
Primer 3 .....	68
Primer 4 .....	68
Primer 5 .....	70
Primer 6 .....	72
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>73</b>
<b>7. PRILOG.....</b>	<b>74</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>76</b>

# 1. UVOD

## 1.1. Osnovni internacionalni bezbednosni standardi - (*BSS - Basic Safety Standards*)

Osnovni internacionalni bezbednosni standardi za zaštitu od ionizujućeg zračenja i bezbednost radijacionih izvora (*International Basic Safety Standards – BSS*, skraćeno – Standardi) predstavljaju kulminaciju napora koji je trajao proteklih nekoliko decenija u uspostavljanju saglasnosti između internacionalnih bezbednosnih standarda za zaštitu od ionizujućeg zračenja. Standardi su sponzorisani i podržani od strane sledećih organizacija: *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, *International Atomic Energy Agency (IAEA)*, *International Labour Organisation (ILO)*, *Nuclear Energy Agency of the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD/NEA)*, *Pan American Health Organization (PAHO)* i *World Health Organization (WHO)*.

U nacrtu Standarda učestvovalo je više stotina eksperata iz zemalja članica već pobjrojanih organizacija, a decembra 1993. godine Standardi su podržani od strane «Tehničkog komiteta» koji je brojao 127 eksperata iz 52 zemlje i 11 međunarodnih organizacija, a koji je takođe verifikovao i prevode sa engleskog na arapski, kineski, francuski, ruski i španski jezik.

Standardi su odobreni na 847. zasedanju *IAEA* 12. septembra 1994. godine. Ostale organizacije su sledile isti primer: *PAHO* (28. septembar 1994.), *FAO* (14. novembar 1994.), *ILO* (17. novembar 1994.), *WHO* (27. januar 1995.), *OECD/NEA* (2. maj 1995.)

Iako su sve nabrojane organizacije uključene u program zaštite od ionizujućeg zračenja, *IAEA* po svom statutu ima posebnu autorizaciju da ustanovi Standarde sigurnosti i zaštite zdravlja od ionizujućeg zračenja u konsultaciji sa Ujedinjenim Nacijama i drugim relevantnim organizacijama.

### 1.1.1. Principi i osnovni ciljevi

Još od najranijih studija X-zraka i radioaktivnih minerala je poznato da izloženost visokom nivou ionizujućeg zračenja može izazvati oštećenje ljudskog tkiva. Takođe, epidemiološke studije ljudi preživelih Hirošimu i Nagasaki su otkrile potencijalni nastanak malignih oboljenja kao posledicu izloženosti ovoj vrsti zračenja. Stoga je od ključnog značaja da rukovanje radioaktivnim izvorima, njihova proizvodnja, rukovanje nuklearnim instalacijama i nuklearnim otpadom, bude u skladu sa određenim standardima bezbednosti koji imaju za cilj da zaštite one individue koje su izložene ionizujućem zračenju.

Radioaktivne supstance i zračenje predstavljaju stalnu, prirodnu i nepromenljivu osobinu naše okoline te se rizici od izloženosti ionizujućem zračenju ne mogu eliminisati u potpunosti, ali se mogu značajno smanjiti. Rizici od ionizujućeg zračenja se prihvataju u zavisnosti od koristi koja se može dobiti upotrebom istog. Bez obzira na to, rizici moraju biti ograničeni i zaštićeni od strane određenih standarda. Standardi (*BSS*) predstavljaju jedan opšti internacionalni konsenzus koji je napravljen u te svrhe. Informacije koje se nalaze u Standardima su dobijene opsežnim

istraživanjem naučnih organizacija na nacionalnom i internacionalnom nivou u vezi sa zdravstvenim efektima indukovanim jonizujućim zračenjem i bezbednim rukovanjem sa radijacionim izvorima.

Standardi implicitno ohrabruju donošenje odluka u vezi sa procenom značaja različitih rizika koji se javljaju od jonizujućeg zračenja i ohrabruju donošenje odluka u vezi sa balansiranjem između rizika i eventualne dobiti primenom jonizujućeg zračenja.

Svrha Standarda je da ustanovi zahteve za zaštitu od jonizujućeg zračenja i sigurnost radijacionih izvora. Standardi su razvijeni na široko prihvaćenim principima zaštite od jonizujućeg zračenja, kao onima koji su objavljeni u analima *ICRP (International Commission on Radiological Protection)* i *IAEA Safety Series*. Standardi se ograničavaju na davanje detaljnih opisa zahteva za zaštitu od jonizujućeg zračenja i nekih uputstava kako da se oni primene. Generalno uputstvo za primenu zahteva Standarda se nalazi u publikacijama organizacija koje su podržale Standarde, a dalja uputsva se mogu razvijati po potrebi iz iskustva dobijenih primenom Standarda.

Standardi se sastoje iz osnovnih zahteva za zaštitom od jonizujućeg zračenja. Oni ne iziskuju nikakvu obavezu prema državama da prilagode svoje zakone njima, niti imaju namjeru da zamene odredbe nacionalnih zakona i regulativa. Cilj Standarda je da služe kao **praktični vodič za zaštitu od jonizujućeg zračenja** svim licima i ustanovama koje se dovode posredno ili neposredno u vezu sa jonizujućim zračenjem. Standardi pokrivaju širok spektar primena radijacionih izvora, stoga su i napisani u što opštijem obliku što znači da zahtevi za zaštitu od jonizujućeg zračenja treba da budu primenjeni na različit način u različitim praksama. Takođe, nisu svi zahtevi primenjivi u svim situacijama i na svim vrstama radijacionih izvora. Regulatorno telo svake države je odgovorno za sprovođenje zakona koji važi u toj državi.

Standardi se odnose samo na jonizujuće zračenje, što obuhvata elektromagnetsko gama i X-zračenje kao i alfa i beta i drugo čestično zračenje koje može da izazove ionizaciju. Standardi nisu primenjivi na nejonizujuće zračenje kao što su mikrotalasi, ultravioletno zračenje, vidljiva svetlost i infracrveno zračenje. Standardi nisu primenjivi na kontrolu zdravstvenih i bezbednosnih aspekata koji nisu radiološkog karaktera.

## 1.2. Radijacioni efekti

Izloženost visokim dozama zračenja može izazvati različite efekte kao što su mučnina, crvenilo na koži, i u posebnim slučajevima teže posledice, koje se javljaju na pojedincu u kratkom vremenskom periodu nakon ozračivanja. Dati efekti se označavaju kao **deterministički efekti** zbog činjenice da se oni svaki put javljaju ukoliko doza prevaziđe neku minimalnu vrednost.

Izloženost zračenju može izazvati i somatske efekte kao što su maligna oboljenja koja se javljaju nakon nekog dužeg neodređenog vremenskog perioda i mogu biti izazvana bilo kojom dozom zračenja bez postojanja neke minimalne granice. Takođe, nasledni efekti su primećeni kod nekih drugih sisara i pretpostavlja se da se pojavljuju i kod ljudi. Dati epidemiološki efekti, maligna oboljenja i nasledni efekti, se označavaju kao **stohastički efekti** zbog svoje probabilističke prirode.

Deterministički efekti su uglavnom posledica različitih procesa kao što su čelijska smrt i zakasnela podela ćelija nastali izloženošću visokim dozama zračenja. Ozbiljnost prirode determinističkih efekata se povećava sa povećanjem doze zračenja iznad nekog minimalnog nivoa za dati efekat.

Stohastički efekti nastaju kao posledica modifikacije ozračenih ćelija (ne čelijskom smrću!) koje se posle dugog procesa mogu preobraziti u rak. Kada su u pitanju niske doze zračenja verovatnoća nastajanja stohastičkih efekata je vrlo mala zbog, pre svega delovanja odbrambenog mehanizma organizma. Ne postoji utvrđena minimalna doza zračenja ispod koje se ne mogu javiti stohastički efekti. Verovatnoća pojave malignih oboljenja raste sa povećanjem doze zračenja na organizam. Ukoliko je oštećena ćelija ona koja ima funkciju prenosa naslednog genetskog materijala, moguća je pojava naslednih efekata na potomstvu ozračene individue. Takođe, usled ozračivanja embriona ili fetusa (pogotovo u određenim periodima trudnoće) mogu nastati drugi zdravstveni efekti kao što su leukemija i ozbiljna mentalna retardacija potomstva.

S obzirom da ne postoji donji prag doze zračenja usled koga se pojavljuju stohastički efekti, Standardi u svojim zahtevima za bezbednost od jonizujućeg zračenja obuhvataju ceo opseg doza u cilju suzbijanja bilo kakve štete ili gubitka koji mogu nastati usled izloženosti radijaciji.

### 1.3. Prakse i intervencije

Ljudske aktivnosti kojima se indukuje dodatna radijaciona ekspozicija na već postojeću pozadinsku ekspoziciju ili kojima se povećava verovatnoća izloženosti jonizujućem zračenju se u Standardima nazivaju **prakse**.

Ljudske aktivnosti koje teže da smanje postojeću radijacionu ekspoziciju ili da smanje verovatnoću izloženosti zračenju koje nije deo kontrolisane prakse se u Standardima nazivaju **intervencije**.

Prakse koje su obuhvaćene Standardima uključuju sledeće aktivnosti: proizvodnju radijacionih izvora, korišćenje radioaktivnih izvora i zračenja u medicinske svrhe, primena radioaktivnih izvora i zračenja u svrhe istraživanja, industrije, poljoprivrede, energetike uključujući i ceo proces od vađenja do prerade ruda koje sadrže radioaktivna jezgra, rukovanje nuklearnim postrojenjima – reaktorima, rukovanje radioaktivnim otpadom, prirodnu radioaktivnost itd.

Situacije koje mogu zahtevati intervenciju su: dugotrajna izloženost prirodnim izvorima zračenja kao što je radon ili izloženost radioaktivnom otpadu (ostacima prethodnih aktivnosti), a koje se mogu pojaviti usled nesrećnog slučaja, havarije ili nepotpune prakse.

#### 1.3.1. Osnovni principi

Praksa koja dovodi ili može dovesti do izloženosti zračenju treba da bude usvojena samo ukoliko donosi dovoljnu korist ozračenim individuama (ili društvu) nasuprot (potencijalne) štete ili gubitka koju ono nosi sa sobom. **Praksa mora biti opravdana**. Individualne doze nastale usled izloženosti zračenju u svim praksama ne bi trebalo da prevazilaze određena ograničenja.

Radijacioni izvori i instalacije bi trebalo da budu obezbeđeni najboljom mogućom zaštitom (u datim ekonomskim i socijalnim uslovima) uključujući i bezbednosne procedure kojim se smanjuje obim i verovatnoća izloženosti individue jonizujućem zračenju na najmanju moguću meru (*ALARA* princip – *as low as reasonably achievable*). Pravno lice (*legal person*) koje je autorizovano da sprovodi praksu koja uključuje upotrebu radijacionih izvora treba da nosi primarnu odgovornost za zaštitu od jonizujućeg zračenja. Takođe, pri upotrebi izvora jonizujućeg zračenja treba se rukovoditi zdravom i sigurnom praksom, tzv. *safety culture*.

Takođe, dobra i sigurna praksa podrazumevaju postojanje preventivnih mera, tj. sigurnosnog plana (*safety plan*) u slučaju nepredviđenih okolnosti kao i postojanje dobre kontrole kvaliteta, periodičnog treninga i edukacije osoblja, dobre inženjerske prakse itd.

## 1.4. Tipovi radijacione ekspozicije

Gotovo je sigurno da se određena izloženost jonizujućem zračenju ipak javlja i kod dobro izvedene prakse. Ta izloženost je u suštini predvidiva sa malom nesigurnošću. Takve, očekivane radijacione ekspozicije su u Standardima okarakterisane kao **normalne ekspozicije**. Takođe, postoji i mogućnost izloženosti zračenju koja nije predvidiva, ali je ipak moguća. Takve, neočekivane radijacione ekspozicije su u Standardima okarakterisane kao **potencijalne ekspozicije**. Sredstvo kojim se Standardi služe u kontroli normalne ekspozicije je ograničavanje primljenih doza. Najbitnija sredstva za kontrolu potencijalnih ekspozicija su dobar dizajn instalacija, opreme i operativnih procedura koji smanjuju verovatnoću pojave događaja koji mogu dovesti do neplaniranih ekspozicija ili ograničavaju datu ekspoziciju ukoliko se takvi događaji pojave.

Radijacione ekspozicije koje su opisane u Standardima (normalne i potencijalne) obuhvataju profesionalno osoblje, pacijente na dijagnostici i terapiji i širu javnost koji su pod uticajem prakse ili intervencije izloženi jonizujućem zračenju. U slučaju intervencije, izloženost jonizujućem zračenju može biti dugotrajna ili u nekim slučajevima privremena. Radijacione ekspozicije se mogu podeliti na: **profesionalnu ekspoziciju** – nastalu izlaganjem profesionalnog osoblja jonizujućem zračenju; **medicinsku ekspoziciju** – nastalu izlaganjem pacijenata jonizujućem zračenju pri dijagnostici i terapiji; **javnu ekspoziciju** – nastalu izlaganjem šire javnosti jonizujućem zračenju tokom prakse ili intervencije.

Standardi pokrivaju sve ljude kod kojih postoji mogućnost izloženosti jonizujućem zračenju, uključujući i buduće generacije na koje se utiče sadašnjim praksama i intervencijama.

## 1.5. Fizičke veličine i jedinice

**Apsorbovana doza** je osnovna fizička dozimetrijska veličina korišćena u Standardima. Međutim, zbog različitih efekata različitih tipova zračenja na ljudsko tkivo ova veličina nije najpogodnija za korišćenje u zaštiti od jonizujućeg zračenja. Tako je uvedena **ekvivalentna doza** koja predstavlja apsorbovanu dozu pomnoženu sa težinskim faktorom koji predstavlja uticaj određenog tipa zračenja na ljudsko tkivo. Ukoliko su ozračeni individualni organi ili tkiva istom ekvivalentnom

dozom verovatnoća pojave stohastičkih efekata će se razlikovati za različite organe i tkiva. Tako je uvedena nova veličina, **efektivna doza**, koja predstavlja sumu ekvivalentnih doza pomnoženih sa težinskim faktorom koji odgovara radiosenzitivnosti organa po svim ozračenim tkivima. Jedinica za apsorbovanu dozu je *gray (Gy)*, dok su jedinice za ekvivalentnu i efektivnu dozu - *sievert (Sv)*.

## 1.6. Regulatorno telo (*Regulatory authority*)

Implementacija Standarda u punoj meri zavisi od postojanja tzv. regulatornog tela (*regulatory authority*) koga postavlja sama država, a koje je odgovorno za uvođenje i sprovođenje bilo kakvih praksi u kojima se koriste izvori jonizujućeg zračenja. Da bi takvo regulatorno telo efikasno funkcionalo, ono mora imati svoja sredstva i određene moći i trebalo bi da bude nezavisno od vladinih organizacija i ministarstava kao i od nosilaca dozvola i registracija i od proizvodača radioaktivnih izvora korišćenih u praksama. Bez obzira na eventualnu podelu odgovornosti između više organizacija u okviru jednog regulatornog tela, država mora da osigura da su pokriveni svi aspekti i odgovornosti kao što su npr: sigurnost kvaliteta opreme i tehnika korišćenih u medicinskim praksama ili regulatorno nadgledanje mera zaštite pacijentata/osoblja/javnosti od jonizujućeg zračenja. U suštini, tip regulatornog sistema koji će biti usvojen u određenoj državi zavisi od količine, kompleksnosti i bezbednosti praksi u kojima se koristi jonizujuće zračenje kao i od prethodnih regulacija.

Osnovne funkcije regulatornog tela uključuju sledeće radnje:

- 1) Procena svrshodnosti davanja dozvola za sprovođenje praksi koje dovode ili mogu dovesti do izlaganja jonizujućem zračenju;
- 2) Autorizacija datih praksi, uz određene uslove, koje dovode ili mogu dovesti do izloženosti jonizujućem zračenju;
- 3) Sprovođenje periodičnih inspekcija kako bi se potvrdila saglasnost sa postavnjim uslovima;
- 4) Prinuda u slučaju nepoštovanja regulacija, zakona i Standarda.

U te svrhe moraju postojati mehanizmi za obaveštavanje, registraciju, nadgledanje, praćenje, procenu, verifikaciju, inspekciju i izdavanje licenci za korišćenje radiacionih izvora u okviru postojećih praksi.

Nadležnosti inspektora zaštite od jonizujućeg zračenja bi trebalo da budu dobro definisane od strane regulatornog tela koje, sa druge strane, treba da insistira na «zdravoj» praksi koja uključuje napore osoblja, menadžmenta i zakonodavca.

## 2. FIZIČKE VELIČINE U KONCEPTU RADIJACIONE FIZIKE

### 2.1. Nestohastičke fizičke veličine koje opisuju transfer energije

#### 2.1.1. Kerma i jačina kerme

Transfer energije sa nenaelektrisanih čestica (indirektno ionizujućih čestica, npr. fotona ili neutrona) na materiju se dešava oslobađanjem i usporavanjem sekundarnih nenelektrisanih čestica u materiji. Ovo je dovelo do definicije pojma *KERMA* (*kinetic energy released per unit mass*). Kerma  $K$  se definiše kao:

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

gde je  $dE_{tr}$  suma kinetičkih energija svih nenelektrisanih čestica oslobođenih u interakciji nenelektrisanih čestica i materije u masi  $dm$  materijala. Jedinica date fizičke veličine je:

$$[Gy] = \frac{[J]}{[kg]}$$

Kerma je nestohastička veličina. Međutim, za male veličine  $dm$ , transfer energije  $dE_{tr}$  podleže statističkim fluktuacijama. Za monoenergetske nenelektrisane čestice energije  $E$ , kerma je povezana sa protokom čestica preko:

$$K = \Phi E \left( \frac{\mu_{tr}}{\rho} \right)$$

Za datu distribuciju nenelektrisanih čestica  $\Phi_E$ , kerma se može računati kao:

$$K = \int \Phi_E E \left( \frac{\mu_{tr}}{\rho} \right) dE$$

Za neutrone  $\frac{K}{\Phi}$  se naziva *koeficijent kerme* (ili *faktor kerme*) gde je  $\Phi$  protok neutrona.

Jačina kerme  $K$ , se definiše kao:  $K = \frac{dK}{dt}$

Kerma za  $X$  i  $\gamma$ -fotone se sastoji iz energije prenesene na elektrone i pozitrone po jedinici mase. Kinetička energija brzih elektrona se može potrošiti na dva načina:

1. Interakcijom sa vezanim elektronima atoma apsorbujućeg materijala koja rezultuje lokalnom disipacijom energije u vidu ionizacije i ekscitacije atoma apsorbera i/ili

2. Radijativnim procesima u interakciji sa Kulonovim poljem jezgra u kojima se emitiše zakočno zračenje (*bremssstrahlung*) koje ima dovoljnu energiju da pobegne iz date zapremine.

Stoga, kerma se može podeliti na «sudarnu» i «radijativnu» kermu:  $K = K_c + K_R$

Sudarna kerma je u vezi sa ukupnom kermom preko relacije:  $K_c = K(1 - g)$ ,

gde je  $g$  frakcija inicijalne kinetičke energije elektrona koja je izračena preko *bremssstrahlung*-a.

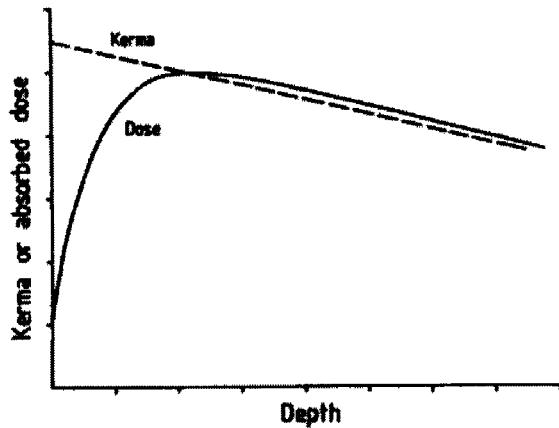
### 2.1.2. Apsorbovana doza. Jačina apsorbovane doze

Apsorbovana doza je osnovna veličina u radijacionoj dozimetriji i relevantna je u odnosu na sve tipove jonizujućeg zračenja. Apsorbana doza je nestohastička veličina i definiše se kao:

$$D = \frac{\bar{\epsilon}}{dm}$$

gde je  $\bar{\epsilon}$  srednja energija predata materiji mase  $dm$ . Jedinica za apsorbovanu dozu je *gray* (Gy). Dok se kerma odnosi samo na sekundarne nanelektrisane čestice nastale u  $dm$ , a koje prenose energiju takođe izvan  $dm$ , apsorbovana doza uključuje svu energiju prenetu na  $dm$ , čak i onu koju nose sekundarne nanelektrisane čestice nastale izvan  $dm$ . Vrednosti apsorbovane doze i kerme su jednake samo u ravnoteži, *ekvilibrijumu nanelektrisanih čestica* u homogenom metarijalu.

Jačina apsorbovane doze se definiše kao:  $D = \frac{dD}{dt}$ .



Slika 1: Odnos kerme i apsorovane doze za neutronski snop koji iz vazduha ulazi u tkivo

### 2.1.3. Ekspozicija (eksposiciona doza). Jačina eksposicione doze

Ekspozicija je povezana sa produkcijom nanelektrisanja u gasu pod uticajem ionizujućeg zračenja. Upotreba ekspozicije je ograničena na fotone. Ekspozicija se definiše kao:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

gde je  $dQ$  apsolutna vrednost ukupnog nanelektrisanja jona istog znaka stvorenih u vazduhu kada su svi elektroni i pozitroni stvoreni od strane fotona zaustavljeni u vazduhu mase  $dm$ .

Jedinica za ekspoziciju je  $\frac{C}{kg}$ , dok je prethodna jedinica u upotrebi bila *roentgen*  $R$  ( $1R = 2.54 \cdot 10^{-4} \frac{C}{kg}$ ). Napomena: nanelektrisanje nastalo kao posledica apsorpcije zakočnog zračenja nije uključeno u  $dQ$ .

Ekspoziciju možemo i da definišemo kao jonizacioni ekvivalent sudsarne kerme u vazduhu za  $X$  i  $\gamma$ -zračenje.

Jačina eksposicione doze se definiše kao:  $X = \frac{dX}{dt}$ .

Srednja energija utrošena na stvaranje jednog jonskog para u vazduhu iznosi:

$$\bar{W}_{air} = \frac{33.97 \text{ eV / elektron}}{1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C / elektron}} \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J / eV} = 33.97 \text{ J / C}$$

## 2.2. Fizičke veličine u konceptu radijacione zaštite

### 2.2.1. Apsorbovana doza i ekvivalentna doza u tkivu ili organu

Apsorbovana doza u tkivu ili organu  $D_T$  je usrednjena apsorbovana doza po zapremini tkiva ili organa. Dok je apsorbovana doza u određenoj tački fundamentalna veličina, u radijacionoj zaštiti srednja doza po organu predstavlja osnovnu veličinu jer je povezana sa rizikom od izlaganja ionizujućem zračenju. Ovaj koncept se očigledno zasniva na linearnej zavisnosti doza-efekat kao i činjenici da je apsorbovana doza aditivna veličina preko koje se procenjuje stepen rizika u opsegu niskih doza. Ekvivalentna doza u tkivu ili organu je definisana kao:

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

gde je  $D_{T,R}$  usrednjena doza na organu  $T$ , a  $R$  je tip ionizujućeg zračenja.  $w_R$  predstavljaju radijacione težinske faktore koji definišu biološki uticaj datog tipa zračenja  $R$  na tkivo u odnosu

na fotonsko zračenje. Suma je uzeta po svim tipovima zračenja  $R$ . Jedinica za apsorbovanu dozu je *sievert* -  $[Sv] = \frac{[J]}{[kg]}$ .

## 2.2.2. Radijacioni težinski faktori

$w_R$  su radijacioni težinski faktori koji predstavljaju relativni biološki efekat zračenja tipa  $R$  na tkivo usrednjen po celom telu. Efekti koji nastaju usled interakcije sekundarnih nanelektrisanih čestica sa tkivom nisu uzeti u obzir. Vrednosti težinskih faktora  $w_R$  za različite tipove zračenja su date u tabeli 1. Za fotone, elektrone i mione svih energija težinski faktor  $w_R = 1$  sa izuzetkom Augerovih elektrona koji se emituju iz atoma vezanih za DNK. Radijacioni težinski faktor za neutrone zavisi od njihove energije i može se izraziti preko funkcije energije:

$$w_R = 5 + 17 \exp[-(\ln(2E_n))^2 / 6]$$

gde je  $E_n$  energija neutrona data u  $MeV$ . Prethodna funkcija je aproksimacija step funkcije. Prema datoj relaciji težinski faktori za neutrone su od 5 do 22 u zavisnosti od energije neutrona, a sa maksimumom na vrednosti od  $500 keV$ .

Tip ionizujućeg zračenja	Težinski faktor $w_R$
Fotoni	1
Elektroni*, mioni	1
Neutroni:	
$E_n < 10 keV$	5
$E_n = 10 keV - 100 keV$	10
$E_n = 100 keV - 2 MeV$	20
$E_n = 2 MeV - 20 MeV$	10
$E_n > 20 MeV$	5
Protoni (ukoliko nisu uzmaknuti) $E_p > 2 MeV$	5
$\alpha$ - čestice, fragmenti fisisije, teška jezgra	20

\* sa izuzetkom Augerovih elektrona iz atoma vezanih u DNK

Tabela 1: Radijacioni težinski faktori  $w_R$  - (Radiological Protection - A. Kaul, D. Becker)

Težinski faktor za protone energija iznad  $2 MeV$  ima vrednost 5. Diskutabilno je da li je ova vrednost odgovarajuća za sve energije protona iznad  $2 MeV$ . Postoji generalno mišljenje da

težinski faktor za protone energija od 5 do 10 MeV iznosi 2. S obzirom na mali domet u tkivu, protoni nižih energija doprinose samo dozi na koži.

### 2.2.3. Efektivna doza

Efektivna doza  $E$  je suma proizvoda težinskih faktora i ekvivalentnih doza u tkivima ili organima  $T$ :

$$E = \sum_T w_T H_T ; \quad \sum_T w_T = 1$$

gde su  $w_T$  težinski faktori tkiva koji karakterišu relativnu osetljivost tkiva vrste  $T$  u odnosu na dati tip jonizujućeg zračenja, a  $H_T$  je ekvivalentna doza u jednom od 13 specifikovanih tkiva ili organa. Efektivna doza je veličina koja ne zavisi od pola ili starosti čoveka.

### 2.2.4. Težinski faktori tkiva

U definiciji efektivne doze se vodi računa o radiosenzitivnosti različitih organa i tkiva. 12 tkiva i organa je specifikovano preko težinskih faktora  $w_T$ . Dodatna grupa „ostalo“, je obeležena sa  $w_T = 0.05$ .

Organ / tkivo	$w_T$
Gonade	0.20
Koštana srž	0.12
Debelo crevo	0.12
Pluća	0.12
Stomak	0.12
Bešika	0.05
Dojka	0.05
Jetra	0.05
Jednjak	0.05
Tiroidna žlezda	0.05
Koža	0.01
Kost (površina)	0.01
Ostalo	0.05

Tabela 2: Težinski faktori tkiva (Radiological Protection - A. Kaul, D. Becker)

Tkiva/organi koji spadaju pod „ostalo“ su: nadbubrežna žlezda, mozak, tanko crevo, bubreg, pankreas, slezina, materica itd.

## 2.2.5. Kolektivna efektivna doza

Kolektivna doza je ukupna doza kojoj je izložena određena populacija i koja predstavlja proizvod broja individua koje su izložene izvoru ionizujućeg zračenja i njihovih prosečnih doza. Jedinica za kolektivnu dozu je  $\text{man} \cdot \text{Sv}$ . Ukupna efektivna doza  $S$  predata populaciji se definiše kao:

$$S = \sum_i E_i N_i$$

gde je  $E_i$  prosečna efektivna doza u populacionoj podgrupi, a  $N_i$  je broj individua u podgrupi.

Takođe se može napisati:

$$S = \int_0^{\infty} E \frac{dN}{dE} dE$$

gde je  $\frac{dN}{dE}$  broj individua koje prima dozu između  $E$  i  $dE$ .

Kolektivna efektivna doza  $S_k$  kojoj je izložena određena populacija u praksi  $k$  data je sa:

$$S_k = \int_0^{\infty} S_k(t) dt$$

gde je  $S_k(t)$  jačina kolektivne efektivne doze u vremenu  $t$  kao posledica prakse  $k$ .



### 3. OSNOVNI ZAHTEVI ZA ZAŠTITU OD JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

#### 3.1. Opšti zahtevi «*Basic Safety*» standarda

**Svrha** - U Standardima se navode osnovni zahtevi za zaštitu ljudi od ionizujućeg zračenja i za bezbednost radijacionih izvora. (BSS – 1.2.)

**Cilj** – Standardi se primenjuju na prakse i sve izvore ionizujućeg zračenja u okviru praksi i intervencija koje:

- a) se odvijaju u državi koja je usvojila Standarde ili zahteve neke od organizacija koje su podržale Standarde;
- b) se sprovode od strane države uz pomoć *FAO*, *IAEA*, *ILO*, *PAHO*, ili *WHO* u skladu sa nacionalnim zakonima i regulativama;
- c) sprovodi *IAEA*;
- d) se sprovode pod bilateralnim (multilateralnim) sporazumom gde se traži od *IAEA* da uspostavi primenu Standarda. (BSS – 1.3.)

**Izuzeci** – Ekspozicije čije vrednosti nisu podložne kontroli preko zahteva opisanih u Standardima se isključuju iz Standarda. (BSS – 1.4.)

**Odgovornost** – Regulatorno telo i organizacije zadužene za intervenciju su odgovorne za zakonsko sprovođenje Standarda. Za primenu Standarda najveću odgovornost snose:

- a) nosioci registracija i licenci;
- b) zaposleni radnici.

Takođe, za primenu Standarda odgovornost snose i:

- a) snabdevači;
- b) radnici;
- c) *RPO (Radiation Protection Officer)*;
- d) lekari i medicinsko osoblje, eksperti;
- e) etičke komisije;
- f) bilo ko kome su nosioci registracija i licenci ili zaposleni dodelili određenu odgovornost.

Opšte odgovornosti nosilaca registracija i licenci, kao i zaposlenih, prema zahtevima koji se nalaze u Standardima su:

- a) uspostavljanje bezbednosnih ciljeva u skladu sa zahtevima koji se nalaze u Standardima;
- b) razvijanje, primena i dokumentovanje bezbednosnih programa koji odgovaraju rizicima koji se javljaju u datim praksama i intervencijama i koji odgovaraju opštim zahtevima u Standardima. (BSS - 1.5. do 1.9.)

**Inspekcija** – Nosioci registracija i licenci (*principal parties*) moraju dozvoliti predstavnicima Regulatornog tela države da izvrše inspekciju aktivnosti date ustanove kada god se to od njih traži. (BSS – 1.10.)

**Nesaglasnost** - U slučaju neispunjavanja (ili kršenja) zahteva propisanih Standardima, nosioci registracija i licenci, odn. zaposleni treba da:

- a) istraže okolnosti u kojima je došlo do neispunjavanja zahteva kao i posledice neispunjavanja zahteva;
- b) preduzmu mere za uklanjanje uzroka neispunjavanja zahteva i da spreče ponovnu pojavu istih;
- c) uspostave komunikaciju sa Regulatornim telom povodom neispunjavanja datih zahteva kako bi se donele preventivne mere protiv daljeg neispunjavanja zahteva i
- d) preduzmu mere propisane Standardima.

Ukoliko se u toku nekog razumnog vremenskog perioda ne preduzmu korektivne ili preventivne mere u skladu sa nacionalnim zakonima i regulativama, postoji mogućnost oduzimanja licence ili registracije od strane Regulatornog tela države. Namerno kršenje i nepoštovanje zahteva koji se nalaze u Standardima biće podložno kaznama u skladu sa nacionalnim zakonom. (BSS – 1.11. do 1.14.)

**Protivrečnost** – Standardi predstavljaju dodatak zahtevima propisanim na nacionalnom nivou preko zakona i regulativa. Oni se ne nalaze na mestu zakona i regulativa već ih samo dopunjaju. U slučaju protivrečnosti zahteva koji se nalaze u Standardima i zahteva propisanih u nacionalnim zakonima, regulatorno telo države odlučuje koji će zahtevi biti poštovani. (BSS – 1.18 do 1.20.)

### 3.2. Zahtevi BSS-a u praksama i intervencijama

**Izvori radioaktivnosti** – Radioaktivni izvori na koje se odnose Standardi obuhvataju:

- a) supstance ili mašine koje u sebi sadrže radioaktivna jezgra ili proizvode zračenje uključujući potrošačke proizvode, zatvorene izvore, otvorene izvore, radijacione generatore, mobilnu opremu za radiografiju;
- b) instalacije i industrijske objekte koji sadrže radioaktivne supstance u koje se ubrajaju rudnici, mlinovi koji obrađuju radioaktivne rude, nuklearna postrojenja, postrojenja za radioaktivni otpad i
- c) bilo koji drugi izvor koji je označen od strane regulatornog tela.

Standardi se primenjuju na svaki izvor ionizujućeg zračenja koji se nalazi u datim instalacijama ili industrijskim postrojenjima prema zahtevima Standarda. (BSS – 2.2. i 2.3.)

**Osnovne obaveze** - Nijedna praksa neće biti odobrena, uvedena, sprovedena, prekinuta i nijedan izvor u okviru prakse neće biti proizведен (uključujući iskopavanje, mlevenje i procesiranje radioaktivne rude), dizajniran, prikupljen, uvezen, izvezen, distribuiran, prodat, zakupljen, pozajmljen, primljen, naručen, lociran, korišćen, održavan, popravljen, posedovan, premešten,

transportovan, oporučen, sačuvan ili odbačen ukoliko nije u skladu sa osnovnim zahtevima Standarda, osim ukoliko ekspozicija nastala pri datoј praksi nije isključena iz zahteva Standarda ili ukoliko data praksa nije isključena iz zahteva Standarda. (BSS – 2.7. do 2.9.)

***Administrativni zahtevi (obaveštenja i autorizacije)*** – Pravno lice (*legal person*) koja namerava da izvede bilo koju radnju opisanu u BSS 2.7. treba da podnese zahtev regulatornom telu i treba da se prijavi za autorizaciju koja se dobija u vidu registracije (*registration*) ili dozvole za rad (*licence*), a koju izdaje regulatorno telo.

Pri prijavljivanju za autorizaciju pravno lice treba da:

- a) preda regulatornom telu sve neophodne informacije koje se traže u aplikaciji;
- b) se suzdrži od bilo kakvih delovanja (opisanih u BSS 2.7.) pre nego što dobije dozvolu za rad ili registraciju;
- c) napravi procenu eventualnih ekspozicija zračenja u datim uslovima (sa datim izvorima u datim praksama) i preduzme sve moguće korake za zaštitu osoblja i javnosti od jonizujućeg zračenja i
- d) ukoliko je procena rizika veća od one koju propisje regulatorno telo, napravi bezbednosnu procenu i dostavi sa aplikacijom za dozvolu regulatornoј telu.

Pravno lice odgovorno za dati izvor koji se upotrebljava u medicinskoj praksi u aplikaciji koja se podnosi regulatornom telu treba da priloži i:

- a) kvalifikacije medicinskog osoblja iz zaštite od jonizujućeg zračenja koje su imenovane u aplikaciji, a koje učestvuje u medicinskim praksama;
- b) izjavu da samo medicinsko osoblje koje posuduje kvalifikacije iz zaštite od jonizujućeg zračenja može da učestvuje u medicinskoj praksi koja obuhvata date izvore zračenja.

Autorizovana pravna lica, odn. nosioci registracija i dozvola snose odgovornost za postavljanje i implementaciju svih tehničkih i organizacionih mera koje su neophodne za bezbednost od jonizujućeg zračenja čiji izvor je prethodno autorizovan. (BSS – 2.10. do 2.19.)

***Optimizacija zaštite od zračenja*** – Kada je u pitanju zračenje u okviru određene prakse, a da to nije u svrhe terapije, izloženost jonizujućem zračenju treba da je na najmanjem mogućem nivou (*ALARA princip*), koliko to dozvoljavaju ekonomski i socijalni uslovi, ali u okviru zahteva Standarda. U procesu optimizacije mera zaštite od jonizujućeg zračenja treba obratiti pažnju na uspostavljanje kriterijuma za ograničavanje doza u okviru postojećih uslova, a sve u skladu sa zahtevima Standarda. (BSS – 2.24. i 2.25.)

***«Zdrava» inženjerska praksa*** – Lokacija, dizajn, konstrukcija, narudžbina, održavanje izvora jonizujućeg zračenja treba da bude zasnovano na zdravoj inženjerskoj praksi koja treba da:

- a) uzme u obzir poštovanje inženjerskih propisa i standarda i posedovanje određenih dokumentovanih instrumenata;
- b) bude podržana organizacionim merama koje garantuju zaštitu od izvora zračenja;
- c) obezbedi pouzdan rad aparata (izvora zračenja - u radioterapiji)

- d) uzme u obzir tehnički napredak i rezultate istraživanja koji se tiču zaštite od ionizujućeg zračenja. (BSS 2.36.)

**Praćenje i merenje parametara** – Praćenje i merenje parametara koji su neophodni za verifikaciju dobre i zdrave prakse je obavezno. Određena oprema za merenje i praćenje parametara mora biti obezbeđena, što ima za posledicu uvođenje raznih verifikacionih procedura. Oprema za praćenje i merenje parametara mora biti održavana i redovno testirana u određenim vremenskim intervalima u skladu sa nacionalnim i internacionalnim standardima.

Takođe, **neophodno je voditi dokumentaciju koja sadrži rezultate merenja i kalibracije instrumenata koji potvrđuju ispravnost date prakse.** (BSS 2.38. do 2.40.)

**Primena zahteva u intervencijama** - Interventne situacije na koje se Standardi odnose su:

- a) nepredviđene ekspozicije koje zahtevaju određene mere zaštite kako bi se smanjile ili otklonile privremene ekspozicije koje uključuju:
  - i) nesreće ili hitne slučajevе u kojima je aktiviran **plan ili procedura u slučaju nužde (emergency plan)**;
  - ii) bilo koju privremenu ekspoziciju na koju upućuje regulatorno telо;
- b) dugotrajnu izloženost ionizujućem zračenju (*chronic exposure*) koja zahteva određenu preventivnu akciju u cilju smanjivanja ili otklanjanja dugotrajne ekspozicije koja uključuje:
  - i) izloženost prirodnom gasu, radonu;
  - ii) izloženost zračenju koje je nastalo usled nesreće u prošlosti (nuklearne katastrofe);
  - iii) bilo koju drugu izloženost zračenju na koju upućuje regulatorno telо. (BSS - 3.1.)

**Osnovne obaveze pri intervencijama** – Da bi se smanjile ili prekinule ekspozicije u interventnim situacijama potrebno je preduzeti određene mere zaštite koje uvek treba da budu opravdane. U slučaju nepredviđene ekspozicije (kratkoročne ili dugoročne) mere zaštite nisu neophodne ukoliko doza (ili aktivnost) ne prelazi određenu graničnu vrednost. (BSS – 3.3. do 3.6.)

**Obaveštenje o intervencijama** – Nosioci registracija i licenci treba da obaveste regulatorno telо i relevantne organizacije ukoliko se desi (ili se očekuje) situacija koja zahteva upotrebu mera zaštite i pritom dostave informacije o:

- a) razvijanju situacije i očekivanju ishoda situacije;
- b) preduzetim meraama u vezi sa zaštitom zaposlenog osoblja i javnosti i
- c) ekspozicijama koje su se desile ili koje treba da se dese. (BSS – 3.12.)

**Zahtevi u vezi sa zaštitom od ionizujućeg zračenja** – Intervencija je opravdana samo onda kada donosi više koristi nego štete uzimajući u obzir zdravstvene, socijalne i ekonomski faktore. Ukoliko vrednosti doza pređu (ili se očekuje da će preći) određenu propisanu granicu, tada će mere zaštite biti opravdane u skoro svakom slučaju, a prema tome treba uzeti i sledeće u obzir:

- a) faktore koji su specifični samo za datu situaciju i
- b) mogućnost koristi koju donose mere zaštite u zavisnosti od situacije (BSS – 3.13.)

## 4. DETALJNI ZAHTEVI U ZAŠTITI OD JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

### 4.1. Profesionalna ekspozicija

#### 4.1.1. Odgovornosti

Nosioci registracija i dozvola i poslodavci čije osoblje je obuhvaćeno normalnom ili potencijalnom ekspozicijom su odgovorni za zaštitu zaposlenih lica od profesionalne ekspozicije poštujući zahteve Standarda i osiguravajući:

- a) da je profesionalna ekspozicija ograničena prema zahtevima iz *Schedule II BSS-a*;
- b) da je profesionalna zaštita od jonizujućeg zračenja optimizovana u skladu sa Standardima;
- c) da se donesene odluke u vezi sa profesionalnom zaštitom od zračenja evidentiraju i budu dostupne regulatornom telu i njegovim predstavnicima;
- d) da su donete sve relevantne procedure u vezi sa zaštitom od jonizujućeg zračenja u skladu sa zahtevima Standarda;
- e) da je obezbedena adekvatna oprema, servis i prostorije u vezi sa zaštitom od jonizujućeg zračenja u skladu sa očekivanom visinom profesionalne ekspozicije;
- f) zdravstveno nadgledanje i zdravstvene usluge;
- g) postojanje adekvatnog ljudstva u kvalitativnom i kvantitativnom smislu koji poseduju odgovarajuća znanja o zaštiti od jonizujućeg zračenja i njihovo buduće usavršavanje;
- h) zdravu praksi (*safety culture*).

Poslodavci, nosioci registracija i dozvola treba da obezbede zaštitu zaposlenih radnika od jonizujućeg zračenja (osim prirodne radioaktivnosti) na isti način kao što to važi za javnost (stanovništvo). Takođe, u slučaju zapošljavanja radnika, poslodavac treba da dostavi istoriju profesionalnih ekspozicija nosiocima registracija i dozvola kao i da obavesti budućeg zaposlenog radnika da su mere zaštite od jonizujućeg zračenja sastavni i obavezni deo radne okoline. Zaposleni radnici treba da:

- a) prate i poštju pravila i procedure u vezi sa zaštitom od jonizujućeg zračenja koje je postavio poslodavac ili nosilac registracije (ili dozvole);
- b) pravilno koriste opremu za praćenje doza u radnom okruženju;
- c) sarađuju sa poslodavcem, nosiocem registracije ili dozvole u vezi sa zaštitom od jonizujućeg zračenja;
- d) se uzdržavaju od radnji koje su u suprotnosti sa zahtevima Standarda;
- e) prihvate dodatne informacije, tj. usavršavanje koje se tiče zaštite od jonizujućeg zračenja kako bi posao obavljali u skladu sa zahtevima Standarda.

Ukoliko je iz bilo kojih razloga moguće da zaposleni radnik uvidi bilo kakvo neslaganje sa Standardima, obaveza je da se dato neslaganje prijavi i dokumentuje poslodavcu, nosiocu registracije ili dozvole. (BSS - I.1. do I.14.)

#### 4.1.2. Priroda posla

Uslovi za prihvatanje određenog radnog mesta ne treba da zavise od veličine profesionalne ekspozicije. Posebni aranžmani u smislu plate zaposlenih, osiguranja, dužine radnog vremena, produženja godišnjeg odmora, dodatnih odmora ili penzionih beneficija ne smeju da budu kompenzacijama za nedovoljne mere zaštite od jonizujućeg zračenja.

Trudnoća - Zaposlena radnica koja je trudna treba da prijavi poslodavcu svoje zdravstveno stanje s obzirom na činjenicu da može doći do promene njenih radnih uslova. Takođe, trudnoća nije uslov za isključenje date zaposlene radnice sa posla, već postojeće stanje treba prilagoditi profesionalnoj ekspoziciji tako da bi se osiguralo da ekspozicija embriona ili fetusa odgovara javnoj ekspoziciji.

Alternativno zaposlenje - U slučaju da zaposleni radnik ne može da obavlja svoj posao iz zdravstvenih razloga zbog profesionalne ekspozicije i pri tom je to utvrđeno od strane regulatornog tela, poslodavac bi trebalo da obezbedi alternativan posao radniku.

Uslovi za mlađe osobe – Nijedna osoba mlađa od 16 godina ne sme biti profesionalno izložena jonizujućem zračenju. Nijedna osoba mlađa od 18 godina neće sme raditi u kontrolisanoj zoni zračenja ukoliko nije nadgledana, tj. prisustvo date osobe je moguće samo u svrhe obuke uz superviziju. (BSS – I.15. do I.20.)

Zabrane i ograničenja za rad sa izvorima jonizujućih zračenja (član 41. zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti, «Službeni glasnik RS» br. 36/09») – «Zabranjuje se rad sa izvorima jonizujućih zračenja:

- 1) licima mlađim od 18 godina;
- 2) ženama za vreme trudnoće;
- 3) ženama za vreme dojenja deteta, ako rade sa otvorenim izvorima jonizujućih zračenja.

Zabranjeno je izlaganje jonizujućim zračenjima iznad granica propisanih za stanovništvo licima mlađim od 18 godina, osim licima starijim od 16 godina, za vreme propisane obuke u toku redovnog školovanja za rad sa izvorima jonizujućih zračenja. Nositelj licence za obavljanje radijacione delatnosti, odn. nosilac licence za obavljanje nuklearne aktivnosti je dužan da obezbedi nivo zaštite tako da spreči izlaganje iznad granica propisanih za stanovništvo:

- 1) zaposlenim ženama za vreme trudnoće;
- 2) zaposlenim ženama za vreme dojenja deteta, ako rade sa otvorenim izvorima jonizujućih zračenja.»

#### 4.1.3. Klasifikacija okruženja

4.1.3.1. Kontrolisana zona zračenja – Nosioci registracija i dozvola će okarakterisati svaki prostor kao kontrolisanu zonu zračenja ukoliko se u datom prostoru zahtevaju mere zaštite od jonizujućeg zračenja zbog:

- a) kontrolisanja normalnih ekspozicija i
- b) sprečavanja ili ograničavanja potencijalnih ekspozicija.

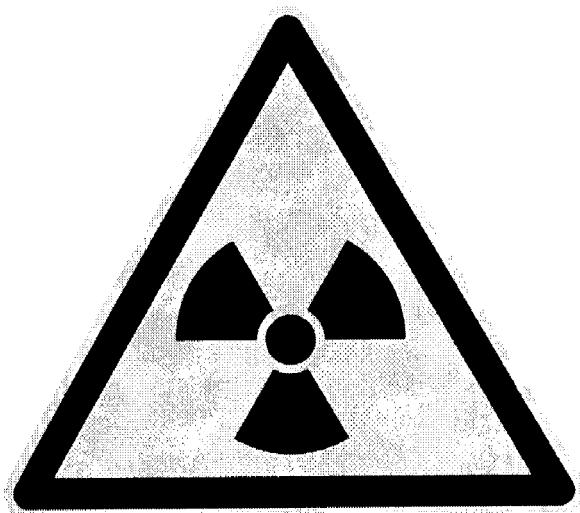
U određivanju fizičkih granica kontrolisane zone zračenja, nosioci registracija i dozvola treba da uzmu u obzir veličine normalnih ekspozicija i verovatnoću pojave potencijalnih ekspozicija kao i veličinu upotrebljene zaštite i bezbednosne procedure. Nosioci registracija i dozvola treba da:

- a) fizički označe kontrolisanu zonu zračenja;
- b) postave znak upozorenja, preporučen od strane ISO (*International Organization for Standardization*) kao i smernice ka određenim lokacijama u okviru kontrolisane zone zračenja (slika 2);
- c) ustanove mere zaštite profesionalnog osoblja od jonizujućeg zračenja kao i lokalna pravila koja se tiču kontrolisane zone zračenja;
- d) ograniče pristup kontrolisanoj zoni zračenja putem administrativnih procedura kao što je upotreba propusnica ili putem fizičkih barijera koje mogu da uključuju upotrebu brava i interlokova, odn. upotrebu ograničavajućih sredstava u skladu sa veličinom očekivanih ekspozicija.
- e) obezbede na ulazima kontrolisanih zona zračenja:
  - i) sigurnosnu opremu (i odeću);
  - ii) dozimetre i
  - iii) prostor za odlaganje ličnih stvari.
- f) obezbede na izlazima iz kontrolisanih zona zračenja:
  - i) opremu za kontrolu kontaminacije kože i odeće;
  - ii) prostorije sa tuševima i
  - iv) prostor za odlaganje kontaminirane odeće i opreme.
- g) periodično preispitaju sve uslove i procedure radi eventualne modifikacije postojećih mera zaštite od jonizujućeg zračenja ili modifikacije granica kontrolisanih zona zračenja.

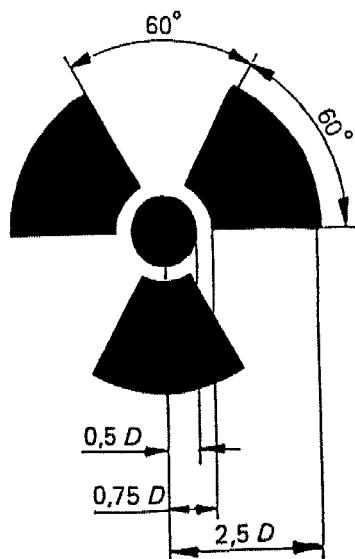
4.1.3.2. Nadgledana zona zračenja - Nosioci registracija i dozvola će okarakterisati svaki prostor kao nadgledanu zonu zračenja ukoliko data zona nije već okarakterisana kao kontrolisana, a gde takođe treba pratiti nivo profesionalne ekspozicije iako najčešće tu nisu potrebne mere zaštite od jonizujućeg zračenja.

Nosioci registracija i dozvola treba da:

- a) označe nadgledanu zonu zračenja;
- b) postave smernice (natpise) u nadgledanoj zoni zračenja;
- c) periodično proveravaju uslove u nadgledanoj zoni zračenja radi eventualnih korekcija mera zaštite od jonizujućeg zračenja. (BSS – I.21. do I.25.)



a)



b)

Slika 2: a) Znak upozorenja – ionizujuće zračenje; b) Konstrukcija znaka upozorenja za ionizujuće zračenje;  $D$  je prečnik centralnog kruga

#### 4.1.4. Lokalna pravila i nadgledanje

Poslodavci, nosioci registracija i dozvola u konsultaciji sa zaposlenim radnicima preko njihovih predstavnika treba da:

- napismeno ustanove lokalna pravila radi ostvarivanja adekvatne zaštite od ionizujućeg zračenja zaposlenih radnika i ostalih ljudi;
- ovedu u lokalna pravila procedure u slučaju prekoračenja date autorizacije;
- osiguraju nadgledanje prakse koja podleže profesionalnoj ekspoziciji i osiguraju poštovanje datih pravila i bezbednosnih procedura, mera zaštite od ionizujućeg zračenja;
- imenuju *RPO-a* (*Radiation Protection Officer*) na zahtev regulatornog tela.

Poslodavci u saradnji sa nosiocima registracija i dozvola treba da:

- obezbede adekvatne informacije koje se tiču zdravstvenih rizika od profesionalne ekspozicije (normalne i potencijalne) svim zaposlenim radnicima i obezbede uputstva i trening koji se tiču zaštite od ionizujućeg zračenja;
- obezbede sledeće adekvatne informacije zaposlenim radnicama koje ulaze u kontrolisanu i nadgledanu zonu zračenja:
  - rizik od profesionalne ekspozicije za trudno osoblje;
  - naznače značaj dostavljanja informacije trudnog osoblja poslodavcu o svom stanju.
- obezbede adekvatne informacije, uputstva i trening svim radnicima na koje se odnosi plan u slučaju nepredviđenih situacija (*emergency plan*) i
- dokumentuju svaki trening koji je obezbeđen zaposlenom radniku, a tiče se zaštite od ionizujućeg zračenja. (BSS – I.26. do I.27.)

#### 4.1.5. Individualni monitoring i procena ekspozicija

Poslodavac, nosilac registracije ili dozvole je odgovoran za procenu profesionalne ekspozicije svih radnika preko individualnog monitoringa i dozimetrijskih aranžmana u okviru kontrole kvaliteta. Za sve zaposlene koji rade u kontrolisanoj zoni zračenja (stalno ili privremeno) obavezan je lični monitoring doze. U slučaju nemogućnosti ličnog monitoringa iz bilo kakvih razloga, procena doze će se obavljati na osnovu monitoringa datog radnog mesta. Zaposleni koji rade u nadgledanoj zoni zračenja i koji samo povremeno ulaze u kontrolisanu zonu zračenja ne moraju imati lični monitoring, ali njihova doza mora biti procenjena na osnovu monitoringa radnog okruženja. Vremenski ciklus i preciznost ličnog monitoringa će biti procenjeni na osnovu vrednosti profesionalnih ekspozicija i verovatnoće potencijalnih ekspozicija.

(BSS – I.32. do I.36.)

Obaveze prema profesionalno izloženim licima (izvod iz člana 34 zakona o zaštiti od ionizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti, «Službeni glasnik RS» br. 36/09) – «Nositelj licence za obavljanje radijacione delatnosti, odn. nosilac licence za obavljanje nuklearne aktuvenosti dužan je da profesionalno izloženim licima obezbedi ličnu dozimetrijsku kontrolu, da ih opremi ličnim zaštitnim sredstvima, da obezbedi proveravanje ispravnosti tih sredstava i njihovo pravilno korišćenje.»

Na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici svi zaposleni (lekari, fizičari, elektroinženjeri, tehničari, medicinske sestre..) koji stalno ili povremeno rade u kontrolisanoj zoni zračenja imaju obavezu da nose lični TLD (termoluminescentni) dozimetar (u formi bedža) (slika 3). Prema zakonskoj obavezi efektivna doza se obračunava za svakog zaposlenog radnika u intervalu od mesec dana od strane nezavisne komisije (Klinički centar Srbije, Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu – Dr Dragomir Karajović, Laboratorija za kontrolu izvora zračenja i ličnu dozimetriju) i dostavljaju se rezultati onkološkom institutu u Sremskoj Kamenici. Lica koja se zadužuju dozimetrima su odgovorna da svoje dozimetre redovno predaju na obradu, a ukoliko zaposleni idu na planirano odsustvo, pre odlaska, obavezni su da predaju svoj lični dozimetar odgovornim licima. Ukoliko mesečna efektivna doza bilo kog radnika pređe određenu vrednost od 1/12 godišnje dozvoljene doze ( $1.67 \text{ mSv}$ ) za profesionalno izložena lica, dotični radnik se obaveštava o postojećem stanju i eventualno šalje na sistematski pregled za hromozomske aberacije ili upućuje na određeno odsustvno ili isključenje iz kontrolisane zone zračenja.



a)



b)

Slika 3: a) i b) TLD personalni dozimetar koji se koristi na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici. Na dozimetru se nalazi ime i prezime zaposlenog radnika, broj dozimetra i broj laboratorije koja vrši očitavanje doza.

<b>Profesija / IOV</b>					
<b>Mesečna efektivna doza / [mSv]</b>	<b>Fizičar</b>	<b>Elektro – inženjer</b>	<b>Tehničar</b>	<b>Lekar</b>	<b>Modelar</b>
OKT 2009.	0.17	0.21	0.16	0.19	0.14
SEP 2009.	0.15	0.17	0.19	0.16	0.14
AVG 2009.	0.13	0.17	0.10	0.14	0.10
JUL 2009.	0.16	0.17	0.15	0.18	0.14
JUN 2009.	0.17	0.19	0.20	0.19	0.15
MAJ 2009.	0.17	0.18	0.16	0.18	0.15
APR 2009.	0.15	0.18	0.16	0.17	0.13
MAR 2009.	0.17	0.17	0.16	0.19	0.16
FEB 2009.	0.16	0.18	0.17	0.18	0.13
JAN 2009.	0.16	0.16	0.16	0.17	0.15
DEC 2008.	0.14	0.17	0.16	0.16	0.13
NOV 2008.	0.16	0.15	0.18	0.17	0.15
MESEČNI PROSEK / [mSv]	0.16	0.18	0.16	0.17	0.14
<b>UKUPNO GODIŠNJE/ [mSv]</b>	<b>1.89</b>	<b>2.10</b>	<b>1.95</b>	<b>2.08</b>	<b>1.67</b>

*Tabela 3: Prikaz mesečnih, prosečnih mesečnih i godišnjih efektivnih doza koje prime zaposleni radnici (jedan primer po profesiji) koji rade u kontrolisanim zonama zračenja na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici obračunatih u Laboratoriji za kontrolu izvora zračenja i ličnu dozimetriju na Institutu za medicinu rada i radiološku zaštitu – Dr Dragomir Karajović u okviru Kliničkog centra Srbije.*

U tabeli 3 prikazane su mesečne, prosečne mesečne i godišnje efektivne doze koju prime zaposleni koji rade u kontrolisanim zonama zračenja na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamnici. Za svaku profesiju je nasumično izabran jedan primer iz dokumentacije koja sadrži efektivne mesečne i godišnje doze za svakog zaposlenog radnika koji stalno ili povremeno radi u kontrolisanoj zoni zračenja. Na osnovu podataka koji su priloženi u tabeli 3 može se zaključiti da su vrednosti godišnje efektivne doze za zaposlene na Institutu za onkologiju Vojvodine znatno manje od zakonski propisanih granica za profesionalno izloženo osoblje koje iznose - 20 mSv godišnje u toku 5 uzastopnih godina ili maksimalno 50 mSv u toku jedne godine za osobe starije od 18 godina, a za osobe od 16 – 18 godina na obuci ili školovanju 6 mSv godišnje. Treba još napomenuti da izmerene godišnje efektivne doze zaposlenih radnika na Institutu za onkologiju Vojvodine sadrže u sebi i fon, tj. osnovni nivo zračenja iz prirode.

#### 4.1.6. Monitoring radnog okruženja

Nosioci registracija i dozvola u saradnji sa poslodavcem treba da uspostave program za monitoring radnog okruženja pod nadzorom *RPO-a (Radiation Protection Officer)*, a na zahtev relevantnog regulatornog tela. Vremenski ciklus i preciznost monitoringa radnog okruženja treba da budu dovoljni da obezbede:

- a) procenu radioloških uslova u celom radnom okruženju;
- b) procenu ekspozicija u kontrolisanim i nadgledanim zonama zračenja;
- c) procenu podele klasifikacija radnog okruženja na kontrolisane i nadgledane zone zračenja.

Programi za monitoring radnog okruženja treba posebno da naznače:

- a) fizičke veličine koje se mere;
- b) gde i kada se vrše merenja i u kom vremenskom intervalu;
- c) najpogodnije metode i procedure merenja;
- d) određene granične vrednosti fizičkih veličina i procedure u slučaju njihovih prekoračenja.

Nosioci registracija i dozvola u saradnji sa poslodavcima treba da obezbede vođenje adekvatne dokumentacije monitoringa radnog okruženja koja će biti dostupna zaposlenim radnicima preko njihovih zastupnika. (BSS – I.37. do I.40.)

Uslovi za vršenje monitoringa radioaktivnosti (član 10. zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti, «Službeni glasnik RS» br. 36/09) – «Monitoring radioaktivnosti ili pojedina ispitivanja u okviru njega može da izvrši pravno lice koje:

- 1) ima zaposленo lice sa visokim obrazovanjem stečenim na akademskim studijama u prirodno-matematičkim ili tehničko-tehnološkim naukama, sa tri godine radnog iskustva na poslovima merenja radioaktivnosti u uzorcima iz životne sredine;
- 2) ima odgovarajući laboratorijski prostor za obradu, merenja i čuvanje uzorka;
- 3) ima standardnu laboratorijsku opremu za pripremu uzoraka;
- 4) ima specifičnu mernu opremu koja ispunjava propisane metrološke uslove;
- 5) ima odgovarajuću računarsku i softversku opremu;
- 6) je akreditovano kod nacionalnog i međunarodnog akreditacionog tela.

Agencija propisuje bliže uslove koje mora da ispunjava pravno lice koje vrši poslove iz stava 1. ovog člana.»

Merenja radi procene nivoa izlaganja ionizujućim zračenjima (izvod iz člana 19. zakona o zaštiti od ionizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti, «Službeni glasnik RS» br. 36/09) – «Radi procene nivoa izlaganja ionizujućim zračenjima profesionalno izloženih lica, pacijenata i stanovništva vrše se propisana merenja u skladu sa ovim zakonom. Agencija propisuje vrste, način i vremenske intervale merenja radi procene nivoa izlaganja ionizujućim zračenjima profesionalno izloženih lica, pacijenata i stanovništva.»

Monitoring radnog okruženja na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici obavlja relevantna nezavisna ustanova koja je ovlašćena od strane Ministarstva za zaštitu životne sredine i prostornog planiranja Republike Srbije. U ovom slučaju odgovorna je laboratorija za nuklearnu fiziku, sa departmana za fiziku Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu koja obavlja monitoring radnog okruženja jednom godišnje na zahtev onkološkog instituta u Sremskoj Kamenici. Ukoliko se ustanovi da jačina apsorbovane doze u radnom okruženju (u kontrolisanim i nadgledanim zonama zračenja) prevaziđa vrednost fona od  $0.12 \frac{\mu\text{Sv}}{h}$ , laboratorija departmana za fiziku izdaje primedbe i preporuke Institutu u kojima se navode načini i uputstva za efikasniju zaštitu od jonizujućeg zračenja u zavisnosti od određenog problema. Prema zakonu o zaštiti od jonizujućih zračenja («Službeni glasnik RS» br. 36/09), Institut je obavezan da Ministarstvu zaštite životne sredine i prostornog planiranja dostavi izveštaj i rezultate merenja jačina apsorbovanih doza koje je izvršila laboratorija za nuklearnu fiziku PMF-a i na osnovu tog izveštaja Ministarstvo odobrava, odn. produžava radnu dozvolu kada je u pitanju upotreba izvora ionizujućeg zračenja u medicinskoj praksi za narednu godinu.

#### 4.1.7. Zdravstveni monitoring

Poslodavci, nosioci registracija i dozvola treba da osiguraju postojanje zdravstvenog monitoringa zaposlenog osoblja u skladu sa pravilima ustanovljenim od strane regulatornog tela. Program za zdravstveni monitoring će biti:

- a) baziran na osnovnim principima profesionalnog zdravlja i
- b) osmišljen tako da proceni fizičku sposobnost zaposlenog radnika kada je u pitanju dati opis posla. (BSS – I.41. do I.43.)

Obaveze prema profesionalno izloženim licima (izvod iz člana 34 zakona o zaštiti od ionizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti, «Službeni glasnik RS» br. 36/09) – «Nositelj licence za obavljanje radijacione delatnosti, odn. nositelj licence za obavljanje nuklearne aktivnosti dužan je da profesionalno izložena lica upućuje na redovne zdravstvene pregledе, kao i na dopunsko obučavanje i osposobljavanje, u skladu sa programom iz člana 21. stav 1. ovog zakona. Nositelj licence iz stava 1. ovog člana dužan je da, zavisno od vrste radijacione delatnosti, odn. nuklearne aktivnosti, sprovodi propisana merenja iz člana 19. st. 1. i 2. ovog zakona, radi procene nivoa izlaganja ionizujućim zračenjima profesionalno izloženih lica.»

Zdravstveni monitoring, odn. medicinski sistematski pregled je obavezan da se izvrši jednom godišnje za sve zaposlene koji stalno ili povremeno rade u kontrolisanoj zoni zračenja na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici. Sistematski pregled obuhvata kontrolu krvne slike, krvnog pritiska, hromozomske aberacije, kontrolu vida, spirometriju, EKG, i psihološki test. Ovim pregledom se zaposleni radnik ocenjuje da li je «zdravstveno sposoban za rad».

#### 4.1.8. Dokumentacija

Poslodavci, nosioci registracija i dozvola treba da vode dokumentaciju o profesionalnoj ekspoziciji svakog zaposlenog radnika na osnovu procena ekspozicija koje se zahtevaju u paragrafu o individualnom monitoringu i proceni ekspozicije (BSS – I.32. do I.36.) Dokumentacija o ekspozicijama treba da sadrži:

- a) informacije o opštim karakteristikama posla koji obuhvata profesionalnu ekspoziciju;
- b) informacije o ekspozicijama koje su u okviru dozvoljenih vrednosti (ili izvan) i korišćen protokol u vezi sa merenjima doza;
- c) informacije o ekspozicijama usled intervencija u slučaju nužde ili usled nesreće, a koje se moraju razlikovati od normalnih profesionalnih ekspozicija.

Poslodavci, nosioci registracija i dozvola treba da:

- a) obezbede zaposlenim radnicima uvid u sopstvene podatke o profesionalnoj ekspoziciji;
- b) obezbede zvaničnicima regulatornog tela podatke o profesionalnoj ekspoziciji zaposlenih radnika;
- c) obezbede kopije dokumentacije o profesionalnoj ekspoziciji radnika novom poslodavcu u slučaju promene radnog mesta;
- d) obezbede dokumentaciju o profesionalnoj ekspoziciji radnika po prestanku radnog odnosa regulatornom telu ili datom nacionalnom registru i
- e) u skladu sa odredbama (a) do (d) obezbede poverljivost podataka.

Dokumentacija o profesionalnim ekspozicijama zaposlenih radnika treba da se čuva tokom celog radnog veka zaposlenih, čak i po završetku radnog odnosa do 75. godine života ili ne manje od 30 godina nakon prevremenog prekida radnog odnosa koji podrazumeva profesionalnu ekspoziciju. (BSS – I.44. do I.49.)

Obaveza vođenja evidencije – (izvod iz člana 36. zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti, «Službeni glasnik RS» br. 36/09») – Nosilac licence za obavljanje radijacione delatnosti, odn. nosilac licence za obavljanje nuklearne aktivnosti, dužan je da vodi evidenciju i da Agenciji dostavi propisane podatke o izvorima jonizujućih zračenja, o profesionalno izloženim licima i o radioaktivnom otpadu. Agencija vodi centralni register o izvorima jonizujućih zračenja, nosiocima licenci, profesionalno izloženim licima i radioaktivnom otpadu.

#### 4.1.9. Posebne okolnosti

U slučaju posebnih okolnosti kada je data praksa opravdana zahtevima Standarda i sprovedena u skladu sa zdravom praksom, kada su mere zaštite od jonizujućeg zračenja optimizovane u skladu sa zahtevima Standarda, međutim profesionalna ekspozicija je i dalje iznad dozvoljenih granica i u razumnom vremenskom roku se može predvideti smanjenje datih ekspozicija, tada regulatorno telo može privremeno promeniti granice dozvoljenih ekspozicija koje se pominju u zahtevima Standarda. Takva promena u zahtevima Standarda treba da bude zatražena od strane nosioca

registracije ili dozvole, a regulatorno telo je isključivo zaduženo za dalju procenu opravdanosti date prakse u konsultaciji sa zaposlenim radnicima koji su uključeni u datu praksu. U slučaju posebnih okolnosti nosioci registracija i dozvola, odn. poslodavci u aplikaciji za privremenu promenu zahteva Standarda treba da:

- a) opišu date posebne uslove koje uslovjavaju privremenu promenu ograničenja u ekspozicijama;
- b) obezbede dokaze koji pokazuju:
  - i) da su postignuti svi mogući napori da se ekspozicije u datom okruženju smanje, kao i da su načinjeni svi napori da se optimizuju mere zaštite od jonizujućeg zračenja u skladu sa zahtevima Standarda;
  - ii) da su zaposleni radnici preko svojih predstavnika konsultovani u vezi sa promenom u zahtevima i saglasni sa istim;
  - iii) da se čine svi napori kako bi se povratili uslovi koji se nalaze u zahtevima Standarda (*Schedule II, II-5.*).

Svaka privremena promena ograničenja doza koje se nalaze u zahtevima Standarda treba da bude:

- a) u skladu sa ograničenjima doza datih u *BSS Schedule II* ~
- b) na snazi samo određeno vreme;
- c) podložna periodičnoj (godišnjoj) proveri;
- d) neobnovljiva;
- e) da se odnosi na tačno određeni radni prostor. (BSS – I.50. do I.54.)

#### 4.1.10. Ograničenje doza prilikom profesionalnih ekspozicija

Profesionalna ekspozicija zaposlenih radnika treba da bude kontrolisana kako se ne bi prekoračili sledeći dozvoljeni limiti:

- a) efektivna prosečna doza od 20  $mSv$  godišnje u toku 5 uzastopnih godina;
- b) efektivna doza od 50  $mSv$  u toku jedne godine;
- c) ekvivalentna doza na očno sočivo od 150  $mSv$  u jednoj godini;
- d) ekvivalentna doza na ekstremitete (šake i stopala) ili kožu od 500  $mSv$  u jednoj godini.

Profesionalna ekspozicija lica od 16 do 18 godina starosti koji se nalaze na obučavanju koje podrazumeva izloženost jonizujućem zračenju ili koriste izvore jonizujućeg zračenja u naučne svrhe treba da bude kontrolisana preko sledećih ograničenja:

- a) efektivna doza od 6  $mSv$  u jednoj godini;
- b) ekvivalentna doza na očno sočivo od 50  $mSv$  u jednoj godini;
- c) ekvivalentna doza na ekstremitete (šake i stopala) ili kožu od 150  $mSv$  u jednoj godini. (BSS – II-5. do II-7.)

Posebne okolnosti – U slučaju posebnih okolnosti (BSS – I.50. do I.54.) može doći do privremene promene ograničenja doza i to:

- a) prosečna doza od 20  $mSv$  godišnje u periodu od 5 uzastopnih godina može biti povećana na period od 10 uzastopnih godina po odredbi regulatornog tela s tim da godišnja doza ne prelazi 50  $mSv$  u tom periodu. Dati uslovi će biti ponovo ispitani nakon što doza bilo kog radnika dosegne 100  $mSv$ ;
- b) privremena promena u graničenju doza navedena od strane regulatornog tela neće prevazilaziti 50  $mSv$  ni u jednoj godini u periodu od 5 uzastopnih godina.

Granice izlaganja (član 42. zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti, «Službeni glasnik RS» br. 36/09) – «Profesionalno izložena lica, lica na školovanju i stanovništvo ne mogu biti izloženi jonizujućim zračenjem iznad propisanih granica. Agencija propisuje granice izlaganja jonizujućim zračenjima za profesionalno izložena lica, lica na školovanju i stanovništvo.»

## 4.2. Medicinska ekspozicija

### 4.2.1. Odgovornosti

Nosioci registracija i dozvola treba da osiguraju da:

- a) pacijenti ne smeju biti izloženi terapijskom ili dijagnostičkom zračenju ukoliko data medicinska ekspozicija nije propisana od strane lekara;
- b) primarna odgovornost u vezi sa zaštitom pacijenta od jonizujućeg zračenja pri propisivanju medicinske ekspozicije bude dodeljena lekaru;
- c) je medicinsko i nemedicinsko osoblje dostupno u svakom trenutku odvijanja terapijske ili dijagnostičke procedure propisane od strane lekara;
- d) kalibracija, dozimetrija i kontrola kvaliteta uređaja koji koriste ionizujuće zračenje u svrhe terapije (uključujući teleterapiju i brahiterapiju) bude dodeljena kvalifikovanom stručnjaku iz oblasti fizike (radioterapija);
- e) kriterijum usavršavanja (dodatnog treninga osoblja) bude odobren od strane regulatornog tela u konsultaciji sa relevantnim organizacijama.

Nosioci registracija i dozvola treba da garantuju da je osiguranje kvaliteta uređaja koje koristi ionizujuće zračenje u dijagnostičke i terapijske svrhe dodeljeno kvalifikovanom stručnjaku iz oblasti fizike (radioterapija ili nuklearna medicina). (BSS - II.1. do II.3.)

### 4.2.2. Opravdanost medicinskih ekspozicija

Medicinske ekspozicije treba da budu opravdane (*justified*) u vidu terapijske ili dijagnostičke koristi koju one donose u odnosu na štetu koju može proizvesti ionizujuće zračenje uzimajući u obzir sve rizike i koristi alternativnih tehnika koje ne uključuju medicinsku ekspoziciju.

Izloženost ljudi ionizujućem zračenju u svrhe medicinskog istraživanja neće biti opravданo osim ukoliko nije:

- a) u skladu sa odredbama helsinške deklaracije, CIOMS (Council for International Organizations of Medical Sciences) i WHO-a i
- b) u skladu sa nacionalnim zakonima i regulativama. (BSS – II.4. do II.9.)

### 4.2.3. Optimizacija zaštite pri medicinskim ekspozicijama

Značaj dizajna opreme – Oprema korišćena u svrhe medicinske ekspozicije, prema Standardima treba da zadovoljava sledeće uslove:

- a) prestanak rada barem jedne komponente u datom sistemu koji je odgovoran za ispostavljanje medicinske ekspozicije mora biti detektovan kako bi se spričile ili smanjile neplanske medicinske ekspozicije na pacijente i

- b) uticaj eventualne ljudske greške u ispostavljanju medicinske ekspozicije treba da je minimizirana u odnosu na dati sistem (ključna je uloga konstrukcije sistema!)

Nosioci registracija i dozvola će:

- a) uzimajući u obzir informaciju dobijenu od snabdevača opreme, naznačiti sve moguće kvarove opreme i moguće ljudske greške koje mogu dovesti do neplanske medicinske ekspozicije;
- b) preduzeti sve neophodne mere za sprečavanje kvarova opreme i ljudskih grešaka, uključujući i selekciju osoblja, uvođenje adekvatnih procedura za kalibraciju opreme i kontrolu kvaliteta terapijske i dijagnostičke opreme i usavršavanje osoblja u vidu zaštite od jonizujućeg zračenja;
- c) preduzeti sve moguće mere u suzbijanju posledica nastalih kvarovima opreme ili ljudskim greškama;
- d) razviti i vidno istaći odgovarajući plan reagovanja u slučaju nepredviđenih situacija i periodično izvršavati vežbe radi opšte spremnosti osoblja.

Nosioci registracija i dozvola će u saradnji sa snabdevačima osigurati da oprema koja sadrži generator zračenja ili zatvoreni radijacioni izvor u službi medicinskih ekspozicija:

- a) bude u skladu sa standardima *IEC*-a (*International Electrotechnical Commission*) ili ekvivalentnim nacionalnim standardima bilo da je uvezena ili napravljena u zemlji gde će se koristiti;
- b) sadrži priručnik o održavanju, rukovanju i radu datog sistema u skladu sa *ISO* i *IEC* standardima preveden na nekoliko svetskih jezika od kojih je barem jedan razumljiv korisniku, kao i prevod datih uputstava;
- c) poseduje operativnu terminologiju na jednom od svetskih jezika koji je razumljiv korisniku;
- d) poseduje kontrolu mehanizma uključenja radijacionog snopa, tj. poseduje indikator koji jasno pokazuje kad je uključen snop zračenja (ON/OFF);
- e) proizvodi zračenje koje će biti limitirano prostorom u kojem se ispostavlja medicinska ekspozicija i pomoću kolimatora;
- f) proizvodi što uniformnije zračenje (u odsustvu klinova) koje se koristi u svrhe medicinske ekspozicije dok se neuniformnost snopa mora naznačiti od strane proizvođača;
- g) proizvodi zračenje čije „curenje“ će u druge prostorije osim onih za ispostavu medicinske ekspozicije biti svedeno na najmanju moguću meru (*ALARA* princip).

Nosioci registracija i dozvola će u saradnji sa snabdevačem opreme osigurati:

- a) da generatori zračenja i instalacije za ozračivanje poseduju pouzdane indikacije za potvrđivanje i menjanje operacionih parametara kao što su npr: tip zračenja, energija zračenja, modifikatori snopa (filteri), *FKD* (fokalno-kožna distanca , odn. *SSD – source-skin distance*), veličina zračnog polja, orientacija snopa i vreme zračenja pacijenta (ili unapred određena doza);

- b) da radijacione instalacije poseduju tzv. *fail-safe* mehanizam, tj. mehanizam koji prekida (isključuje) snop zračenja u slučaju nestanka struje i da dato isključenje traje sve do ponovne aktivacije sa konzole aparata;
- c) da visoko-energetska oprema u svrhe radioterapije:
  - i) ima najmanje dva *fail-safe* mehanizma za prekidanje zračenja i
  - ii) poseduje sigurnosne interlokove (*safety interlocks*), odn. mehanizme koji sprečavaju kliničku upotrebu zračenja u uslovima koji nisu selektovani na konzoli;
- d) da je dizajn interlokova takav da u slučaju održavanja aparata, kada se interlokovi zaobilaze, jedino stručno osoblje odgovorno za održavanje aparata može uz pomoć ključeva i kodova da vrši operacije sa aparatom.
- e) da su radioaktivni izvori koji se koriste u svrhe teleterapije i brahiterapije takvi da odgovaraju definiciji „zatvorenog izvora“ (*sealed source*).
- f) postojanje odgovarajuće opreme za praćenje rada aparata koje će davati upozorenje u slučaju nestandardnih parametara rada aparata. (BSS – II.10. do II.23.)



*Slika 4: Upravljačka konzola medicinskog lineranog akceleratora VARIAN 2100C na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici*

Zatvoren izvor (*sealed source*) je radioaktivni materijal u čvrstom stanju koji je trajno zatvoren u kapsuli. Kapsula u kome se nalazi dati radioaktivni izvor treba da zadovoljava određene uslove o propustljivosti zračenja koji su propisani za dati radioaktivni izvor.

#### 4.2.3.1. Interlokovi

Interlokovi predstavljaju automatsku blokadu rada sistema i prekidaju zračenje ukoliko dođe do promene uslova i parametara na samom aparatru (linearnom akceleratoru), konzoli, prostoriji itd. Vrste interlokova koje se mogu javiti na linearnom akceleratoru su: manji (*minor*), veći (*major*) i dozimetrijski interlokovi (*dosimetry*). Dati su sledeći primjeri ovih interlokova koji se mogu javiti na linearnim akceleratorima *Varian 2100C* i *Varian 600DBX* koji su instalirani na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici:

**ACC** - (1) Dodatna oprema koja je selektovana na konzoli ne odgovara postavljenom dodatku na akceleratoru, ili (2) dodatak na akceleratoru nije dobro postavljen i tako blokira zatvaranje brave u žljebu. (Minor)

**DOOR** - Vrata sobe za tretman (bunkera) su otvorena (Minor)

**DOS1** - Broj monitorskih jedinica akumuliran u primarnom dozimetrijskom kanalu odgovara unetoj vrednosti za MJ1 (normalni prekid snopa zračenja). (Minor)

**MLC** - (1) Lističi „*multileaf*“ kolimatora nisu pomereni u ispravni položaj radi kreiranja polja u određenom vremenu potrebnog za dati tretman. (2) „*Multileaf*“ kolimator nije spremан. (Minor)

**TARG** - Meta nije u dobroj poziciji za selektovanu energiju. (Minor)

**XDRS** - Jačina doze u određenom periodu vremena je bila veća od očekivane. (Minor)

**FLOW** - (1) Brzina toka vode za hlađenje je sporija nego što je propisano. (2) Temperatura komore u kojoj se nalazi magnet za savijanje snopa (*bending magnet*) je previšoka. (3) Nivo ulja u rezervoaru klistrona je nizak. (Major)

**KFIL** - Struјa niti na klistronu se nalazi na polovini nominalne vrednosti ili na manjoj. (Major)

**PUMP** - (1) Nivo vode u rezervoaru je nizak, (2) Temperatura vode prelazi  $50 \pm 2$  stepena Celzijusa ili (3) sigurnosno strujno kolo za prekid rada pri opterećenju pumpe je isključeno. Kada su nivo vode i temperatura na optimalnom nivou, treba pritisnuti prekidač PUMP RESET koji se nalazi na glavnom panelu za strujno napajanje da bi uklonili ovu blokadu sistema (*interlock*). (Major)

#### 4.2.4. Klinička dozimetrija

Nosioci registracija i dozvola će osigurati sledeće:

- a) da pri radiološkim pregledima treba odrediti i dokumentovati reprezentativne vrednosti površinske doze na pacijentu, zračnu površinu na pacijentu, brzinu isporučivanja date doze i vreme ekspozicije (ili doze na pojedinačne organe);
- b) da za svakog pacijenta koji se leči putem teletterapije bude određena i dokumentovana minimalna i maksimalna doza na *PTV* (*Planning Target Volume*) zajedno sa apsorbovanom dozom u centru *PTV*-a kao i doze u drugim tačkama *PTV*-a koje određuje lekar koji prepisuje tretman;
- c) da u brahiterapijskim tretmanima koji se obavljaju sa zatvorenim izvorima zračenja budu određene i dokumentovane apsorbovane doze u određenim tačkama na svakom pacijentu;
- d) da se pri radioterapijskim tretmanima odrede i dokumentuju apsorbovane doze pojedinih organa.

Prilikom radioterapijskih tretmana, nosioci registracija i dozvola treba da osiguraju da se u okviru dobre kliničke prakse i funkcionalno optimizovane opreme preda propisana apsorbovana doza na PTV preko snopa zračenja odgovarajućeg kvaliteta, a pri tom preda minimalna doza okolnom zdravom tkivu ili organu od rizika.

*Funkcionalni uslovi – Nosioci registracija i dozvola će osigurati:*

- a) da ekspozicija na zdravo tkivo bude što manja moguća i u skladu sa predavanjem date propisane doze na PTV, odn. planiranu zapreminu mete uz korišćenje raznih zaštita za organe od rizika kad god je to moguće;
- b) da se radioterapijske procedure koje propisuju dozu zračenja na abdomen ili karlicu žene koja je trudna izbegnu ukoliko je to moguće, a isto tako i upotreba radioaktivnih jezgara u dijagnostičke svrhe sem ukoliko ne postoje jake kliničke indikacije da se suprotno postupi;
- c) da se svaka terapijska procedura planira tako da ispostavljena doza na embrion ili fetus bude minimalna;
- d) da su svi pacijenti informisani o mogućim zdravstvenim rizicima. (BSS – II.18. do II.23.)

#### 4.2.4.1. Planiranje radioterapije

Kod radioterapijskog tretmana pacijenta, uobičajeno je da radiopteraeut propisuje doze kako za malignu bolest tako i za odgovarajuća zdrava tkiva. Terapeut takođe zapisuje doze aplikovane tokom tretmana za različite zapremine ili različite referentne tačke u tkivu, a to sve u cilju dokumentovanja sprovedene terapije. Specificiranje doza i zapremina se mora uraditi iz sledećih razloga:

- a) propisivanja terapije;
- b) vodenja zapisnika tretmana (čiji je sastavni deo plan tretmana);
- c) izveštavanja tretmana.

U principu, receptura, zapisi i izveštaji radioterapijskih procedura bi trebalo da budu što kompletnejši i što tačniji i trebalo bi da sadrže adekvatne i eksplisitne informacije o: bolesti pacijenta, ozračenom volumenu, fizičkim parametrima i tehnicu ozračivanja, ukupnom vremenu trajanja tretmana i šemi frakcionisanja. U nekim situacijama mogu biti razmatrani i dodatni parametri terapije koji mogu imati bitne kliničke implikacije po tretmanu. Oni zbog toga moraju biti zapisani i uvršteni u izveštaj. Posledica ovakvog načina specificiranja omogućuje niz prednosti kao što su:

- a) da radioterapeut ostvaruje konzistentnu politiku tretmana i da istu poboljšava sa sticanjem iskustva;
- b) da radioterapeut može upoređivati svoje rezultate tretmana sa rezultatima svojih kolega sa odeljenja;
- c) da drugi radioterapeuti mogu imati koristi od iskustva stečenog na odeljenju;
- d) da rezultati tretmana jedne ustanove mogu biti nedvosmisleno poređeni sa rezultatima drugih centara, a da se pri tom ne pristupa kompletnoj originalnoj dokumentaciji. To je

posebno važno u studijama koje sprovodi više centara što omogućuje dobru definisanost parametara tretmana, njihovu konstantnost i reproducibilnost.

Ishod tretmana se može nedvosmisleno interpretirati jedino ukoliko se parametri zračenja, naročito izodozna raspodela u prostoru i vremenu mogu precizno korelirati sa kliničkim i patološkim širenjem bolesti.

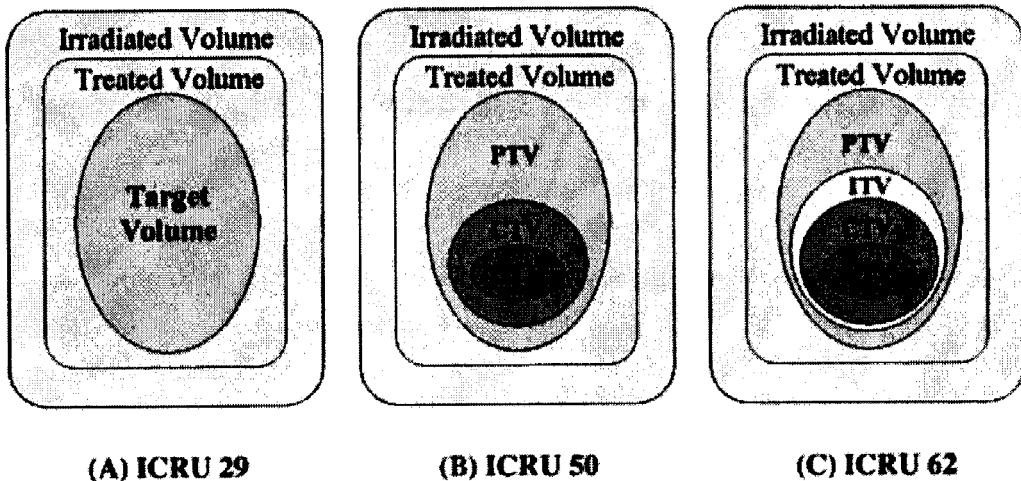
Cilj terapije:

- a) *Radikalni tretman maligne bolesti* – Cilj radikalne radioterapije („kurativne“ radioterapije) je da smanji broj tumorskih ćelija do nivoa sa kojim se postiže permanentna lokalna kontrola tumora. Volumeni koji će se zračiti moraju sadržati celokupni ispoljeni tumor kao i zapremine u kojima se sa određenim stepenom verovatnoće očekuje subkliničko širenje tumora. Kod radikalnog tretmana maligne bolesti, anatomske granice tumora mogu, ali i ne moraju biti vidljive;
- b) *Palijativni tretman maligne bolesti* – Cilj palijativne radioterapije je da smanji simptome (npr. bol) maligne bolesti. Palijativni tretman maligne bolesti može uključiti sav ili deo ispoljenog tumora (npr. ozračivanje kičme zbog bola nastalog usled rasprostranjenih metastaza);
- c) *Nemaligne bolesti* – Radioterapija nemalignih stanja može, a ne mora uključiti sva zahvaćena tkiva (npr. ozračivanje dermatoza).

Koraci u radioterapijskoj proceduri:

- 1) Kompletan klinički pregled (područje i rasprostranjenost tumora, gradus, morfološki tip..)
- 2) Odluka o transkutnoj zračnoj terapiji i propisivanje tretmana;
- 3) Lokalizacija – simulacija; Prikupljanje dodatnih anatomske podataka za planiranje doze;
- 4) Obeležavanje zapremina;
- 5) Privremeni izbor aranžmana zračnih polja i izračunavanje odgovarajuće dozne distribucije;
- 6) Upoređivanje izodoznih distribucija i izbor optimalnog terapijskog plana;
- 7) Kompletan obračun i prikaz odabranog terapijskog plana;
- 8) Verifikacija – simulacija;
- 9) Pozicioniranje na terapijskom aparatu;
- 10) Verifikacija tretmana;
- 11) Pregled tretmana;
- 12) Analiza rezultata.

Proces određivanja zapremina kod tretmana malignih bolesti se sastoji od nekoliko različitih koraka. Različite zapremine često mogu biti definisane za različitu koncentraciju ispoljenih ili suspektnih malignih ćelija. Pri određivanju zapremina moraju se uzeti u obzir moguće promene prostornog odnosa tokom tretmana između volumena i terapijskih polja, kao što su neizbežna pomeranja tkiva pacijenta usled redovne funkcije organa ili postojanja nepreciznosti pri pozicioniranju pacijenta.



*Slika 5: Zapremine - GTV – Gross Tumor Volume, CTV – Clinical Target Volume, PTV – Planning target volume, TV – Treated Volume, IV – Irradiated Volume; ICRU – International Commission on Radiation Units and Measurements*

Pre početka planiranja treba definisati sledeće vrste volumena. To su:

- Ukupni tumorski volumen (*GTV – Gross Tumor Volume*) označava vidljivi deo tumora;
- Klinički volumen mete (*CTV – Clinical Target Volume*) označava vidljivi tumor (kada je prisutan) kao i zapreminu sa suspektnim (subkliničkim) tumorom;
- Planirani volumen mete (*PTV – Planning target volume*) sadrži *CTV* kao i marge koje su posledica relativne varijacije veličine, oblika i pozicije u odnosu na terapijsko zračno polje. *PTV* je geometrijski koncept koji se koristi da bi osigurao da *CTV* primi propisanu dozu i on je definisan u odnosu na fiksni koordinatni sistem;
- Rizični organi
- Tretirani volumen (*TV – Treated Volume*) je zapremina koja obuhvata dozu neophodnu za lokalno lečenje ili palijaciju;
- Ozračeni volumen (*IV – Irradiated Volume*) je zapremina koja obuhvata dozu bitnu za toleranciju normalnog tkiva (u ovu zapreminu se ne svrstavaju rizični organi).

#### 4.2.5. Osiguranje kvaliteta medicinskih ekspozicija

Nosioci registracija i dozvola treba da, uz poštovanje relevantnih zahteva Standarda za osiguranjem kvaliteta, ustanove programe osiguranja kvaliteta medicinskih ekspozicija vodenih od strane kvalifikovanih stručnjaka iz oblasti radijacione fizike uzimajući u obzir odredbe i principe WHO i PAHO.

Programi za osiguranje kvaliteta koji obuhvataju medicinske ekspozicije treba da uključuju:

- merenja fizičkih parametara radijacionih generatora, instalacija i imidžera koje treba obavljati periodično, kao i neposredno posle instalacije istih;
- verifikaciju fizičkih i kliničkih faktora korišćenih u dijagnostici i terapiji;
- pisanu dokumentaciju relevantnih procedura i rezultata;

- d) verifikaciju kalibracija i dozimetrija radijacione opreme;
- e) koliko je to moguće, redovnu i nezavisnu kontrolu kvaliteta u radioterapijskim procedurama.

**Merenja radi kontrole sistema upravljanja kvalitetom** – (Član 23. zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti, «Službeni glasnik RS» br. 36/09) – «Merenja radi kontrole sistema upravljanja kvalitetom mera zaštite od jonizujućih zračenja može da vrši pravno lice koje:

1. Ima zaposleno lice sa visokim obrazovanjem stečenim na diplomskim akademskim studijama, u prirodnno-matematičkim ili tehničko-tehnološkim naukama, sa tri godine radnog iskustva na poslovima merenja radi kontrole kvaliteta sprovodenja mera zaštite od jonizujućih zračenja;
2. Ima odgovarajući prostor za obradu, merenja i čuvanje uzoraka;
3. Ima standardnu laboratorijsku opremu za pripremu uzoraka;
4. Ima specifičnu mernu opremu koja ispunjava propisane metrološke uslove;
5. Ima odgovarajuću računarsku i softversku opremu;
6. Primjenjuje akreditovane metode ispitivanja i sistem upravljanja kvalitetom.

Agencija propisuje bliže uslove koje mora da ispunjava pravno lice koje vrši poslove iz stava 1. ovog člana.»

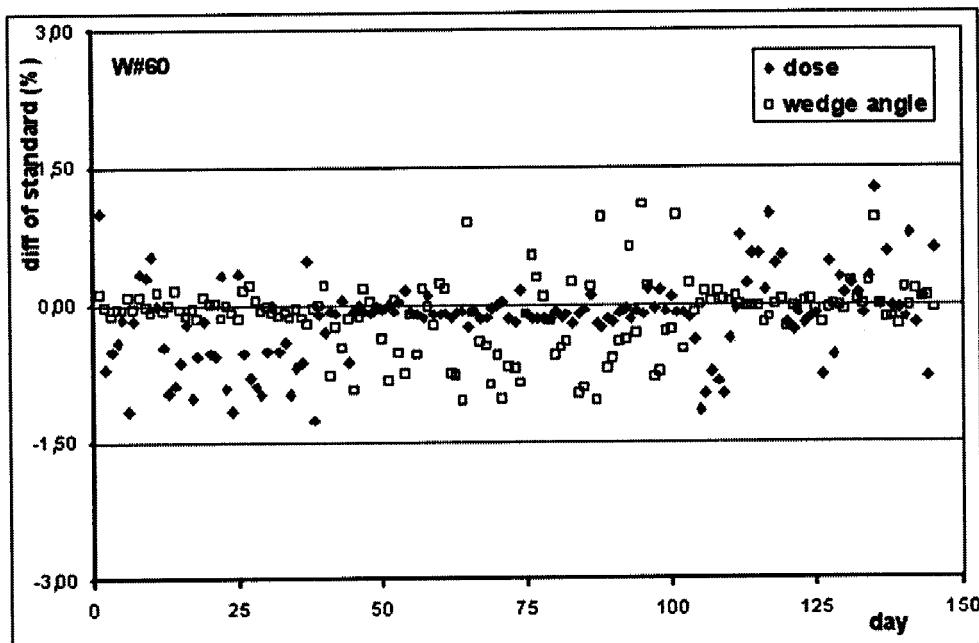
**Obaveza upravljanja kvalitetom** – (Član 37. zakona o zaštiti od ionizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti, «Službeni glasnik RS» br. 36/09) – „Nositelj licence za obavljanje radijacione delatnosti, odnosno nosilac licence za obavljanje nuklearne aktivnosti i ovlašćena pravna lica dužni su da uspostave i sprovode sistem upravljanja kvalitetom mera zaštite od ionizujućih zračenja. U zavisnosti od radijacione delatnosti, odnosno nuklearne aktivnosti koju obavlja nosilac licence, odnosno od poslova koje u oblasti zaštite od ionizujućih zračenja obavlja ovlašćeno pravno lice, Agencija propisuje način, vrste i vremenske intervale u kojima se vrše merenja radi kontrole sistema upravljanja kvalitetom mera zaštite od ionizujućih zračenja.“

#### 4.2.5.1. Morning check – Lista dnevnih kontrola radioterapijskih uređaja obuhvata proveru:

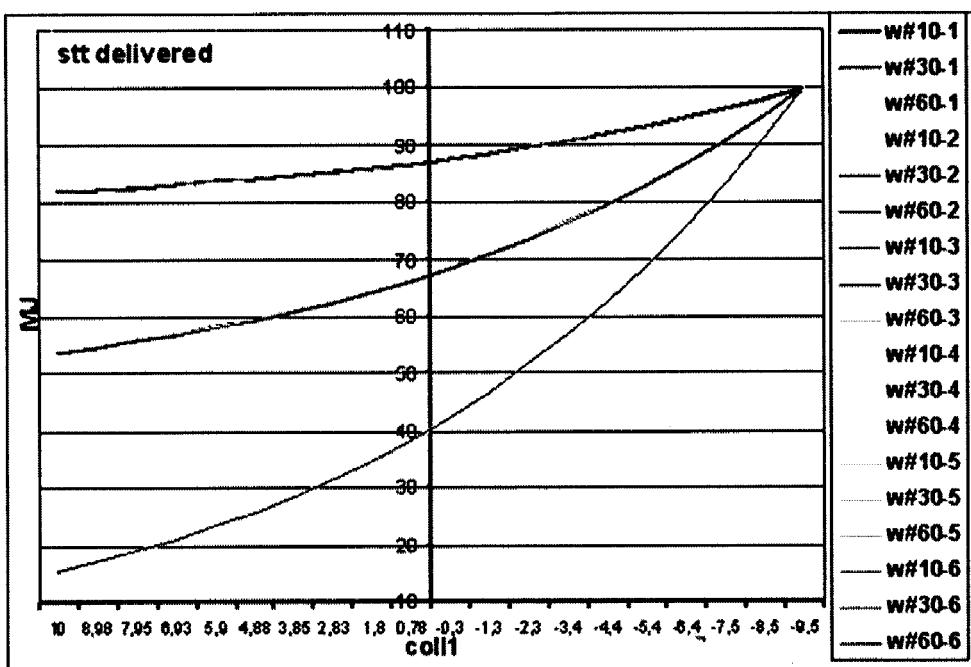
- 1) Tastera „STOP“ na ručnoj konzoli;
- 2) „BEAMSTOPER-a“
- 3) Prekidača na vratima bunkera;
- 4) Funkcije prekidača „RAD OFF“ na centralnoj konzoli;
- 5) Ispravnosti terapijskog sata;
- 6) „BACKUP“ sistema napajanja;
- 7) Odstupanja „PRIMARY DOSE“ od „SECONDARY DOSE“;
- 8) Pritiska  $SF_6$ ;
- 9) Čistoće vode za hlađenje;
- 10) Temperature vode za hlađenje;
- 11) Temperature u bunkeru / klistronu;
- 12) Nivoa vode za hlađenje;
- 13) „LAMP“ testa;
- 14) Tastera „EMERGENCY STOP“ u bunkeru.

Data lista se odnosi na jutarnju proveru linearog akceleratora *Mevatron MD 7445* na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici.

4.2.5.2. *Daily check* - Jedna od procedura za osiguranje kvaliteta (QA – *quality assurance*) koja se koristi na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici je dnevna provera rada (*daily check*) linearnih akceleratora pomoću *Sun Nuclear Daily QA Check 2* sistema. Program osiguranja kvaliteta se sastoji iz dnevne i mesečne provere rada linearnih akceleratora. Dnevni program za osiguranje kvaliteta uključuje proveru doze na centralnoj osi, merenje uglova klinova, proveru simetrije snopa i ravnosti (*flatness*) snopa. Mesečni program osiguranja kvaliteta obuhvata proveru faktora klina (*wedge factors*) i proveru STT tabela (koje sadrže frakcije doza u odnosu na položaj otvora kolimatora). *Sun Nuclear Daily QA Check 2* (QA2) sadrži 6 planparalelnih ionizacionih komora (svaka je zapremine od  $0.6 \text{ cm}^3$ ) kao i automatsku korekciju kalibracionih faktora za pritisak i temperaturu. Podaci se dobijaju za sledeće uslove: otvor polja  $20 \times 20 \text{ cm}^2$ , FKD =  $100 \text{ cm}$ , kolimacija od  $90^\circ$ . Dozvoljene vrednosti za navedene parametre iznose  $\pm 1.5\%$  u odnosu na kalibrirane vrednosti. U slučaju da dobijene vrednosti odstupaju od zadate tolerancije, softver *Sun Nuclear Daily QA Check 2* sistema pokazuje crvenom bojom tačno onaj parametar koji odstupa od zadatih vrednosti i njegovo tačno odstupanje (brojni i grafički prikaz). U takvim situacijama neophodno je uraditi jednu od sledećih procedura osiguranja kvaliteta: apsolutnu i/ili relativnu dozimetriju.



Slika 6: Prikaz doza i ugla klina na centralnoj osi snopa (u intervalu od 5 meseci) dobijen pomoću *Sun Nuclear Daily QA Check 2* (QA2) sistema za linearni akcelerator *Varian 600DBX* na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici



Slika 7: Grafički prikaz STT-a (u intervalu od 6 meseci) dobijen pomoću Sun Nuclear Daily QA Check 2 (QA2) sistema za linearni akcelerator Varian 600DBX na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici

#### 4.2.5.3. Kalibracija

Nosioci registracija i dozvola će osigurati:

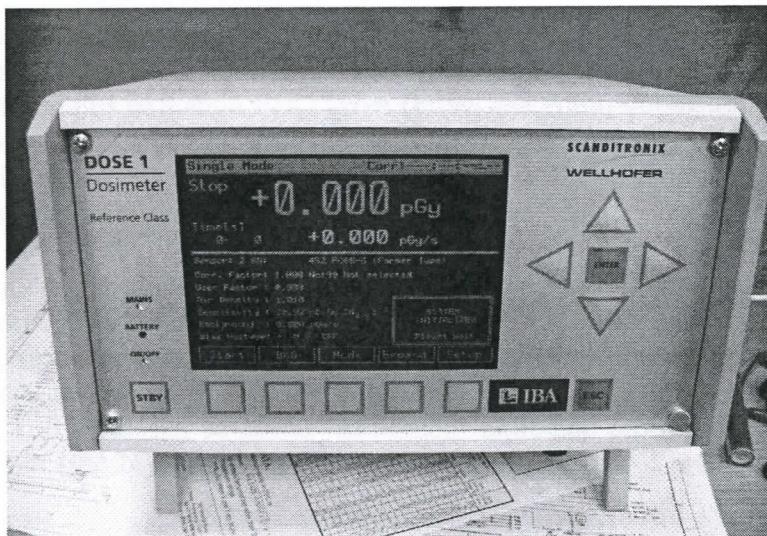
- da se kalibracija izvora korišćenih u svrhe medicinske ekspozicije može dovesti u vezu sa dozimetrijskom laboratorijom Standarda;
- da je radioterapijska oprema kalibrirana prema energiji i apsorbovanoj dozi (ili jačini apsorbovane doze) na tačno određenoj distanci (*SSD*) pri tačno određenim uslovima i preporukama *IAEA Technical Reports Series No. 398*.
- da su zatvoreni izvori koji se koriste u svrhe brahiterapije kalibrirani prema aktivnosti, jačini *kerma-e* u vazduhu ili jačini apsorbovane doze u određenom medijumu, na određenoj distanci, za određeni datum merenja;
- da se kalibracije odvijaju odmah nakon instalacije aparata i posle svake procedure koja podrazumeva održavanje aparata u tačno određenim vremenskim intervalima koje određuje regulatorno telo.

##### 4.2.5.3.1. *Apsolutna dozimetrija*

Metod apsolutne dozimetrije predstavlja jedan od osnovnih metoda u proceduri kontrole kvaliteta (QA) radioterapijskih linearnih akceleratora. Rezultat koji se dobija putem apsolutne dozimetrije

kvantitativno predstavlja ukupno naelektrisanje koje se dobija u interakciji zračnog snopa sa gasom u aktivnoj zapremini ionizacione komore pri tačno određenim uslovima. Na taj način se može proveriti doza koju isporučuje terapijski linearni akcelerator pri tačno određenim referentnim uslovima i kalibrirati uređaj na taj način.

Metod apsolutne dozimetrije koristi merni lanac koji se sastoji iz ionizacione komore, elektrometra, izvora napajanja i fantoma.



Slika 8: Elektrometar Scanditronix Wellhofer Dose 1 koji se koristi u mernom lancu za apsolutnu dozimetriju na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici

Pri apsolutnoj dozimetriji se za različite tipove zračenja (elektronsko i fotonsko zračenje) koriste različiti tipovi jonizacionih komora i to: komora FC65-G za fotonsko zračenje (prema preporuci IAEA TRS 398) i planparalelna komora PPC40 za elektronsko zračenje.

Referentni uslovi pod kojima se vrše merenja obuhvataju, pored korišćenja određenog tipa komore za dati tip zračenja, sledeće:

1. Određivanje temperature i pritiska vazduha u bunkeru i punjenje fantoma (destilovanom) vodom čija temperatura odgovara temperaturi vazduha u bunkeru;
2. Jonizaciona komora se postavlja na referentnu dubinu od 10 cm u vodi (u fantomu);
3. Fantom se postavlja na FKD = 100 cm;
4. Površina zračnog polja je  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ;
5. Merna tačka koja se nalazi na osi komore, u centru zapreme, se centrira naspram sredine površine zračnog polja;
6. Genti i kolimacija linearног akceleratora su  $0^\circ$ ;
7. Za apsolutnu dozimetriju elektronskog zračenja, planparalelna komora se postavlja na dubinu build-up-a za datu energiju zračenja.

Na osnovu vrednosti temperature i pritiska vazduha u bunkeru koji se unose u protokol za dozimetriju kao korekcije, dobijaju se referentne vrednosti apsolutnih naelektrisanja koje

proizvodi određeni tip zračenja u navedenim referentnim uslovima i na osnovu tih vrednosti je moguće izvršiti kalibraciju linearnog akceleratora. (Prilog 1)

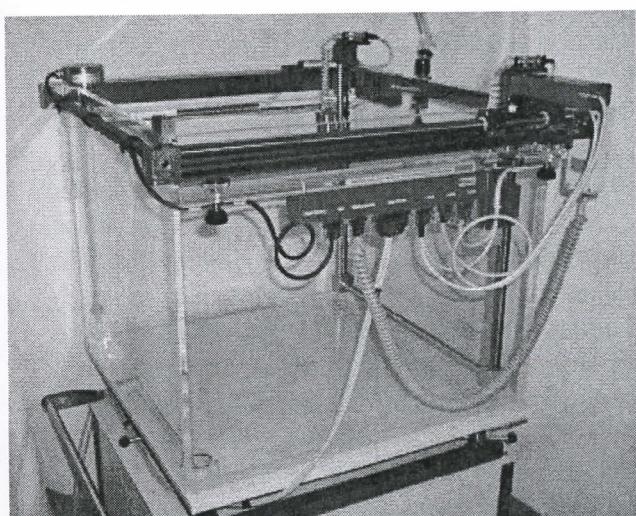
Rezultati merenja apsolutne dozimetrije na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici se verifikuju od strane fizičara specijaliste medicinske fizike i uredno dokumentuju.

#### 4.2.5.3.2. Relativna dozimetrija

Metod relativne dozimetrije predstavlja jedan od osnovnih metoda u proceduri kontrole kvaliteta (QA) radioterapijskih linearnih akceleratora. Rezultati koji se dobijaju putem relativne dozimetrije su kvalitativni i uključuju PDD krive (krive procentno-dubinskih doza) kao i profile (*inplane/crossplane*) čijom analizom se dolazi do procene kvaliteta simetrije i ravnoće (*flatness*) zračnog snopa različitih energija. Metod relativne dozimetrije koristi merni lanac koji se sastoji iz ionizacione komore, elektrometra, izvora napajanja i fantoma.

„Blue Phantom“ je uređaj koji služi za kvalitativno merenje i analizu radijacionog polja medicinskog linearнog akceleratora i deo je *OmniPro-Accept* sistema. Sastoji se iz trodimenzionalnog rezervoara sa pratećom elektronikom, kontrolne jedinice sa integrisanim dvokanalnim elektrometrom (CU500E) i dva detektora (ionizacione komore).

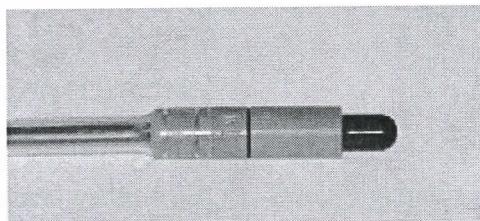
Detektorski sistem koji se koristi sa „Blue“ fantomom uključuje pojedinačne poluprovodničke detektore, niz komora (CA24), cilindrične ionizacione komore, kao i planparalelne ionizacione komore.



a)



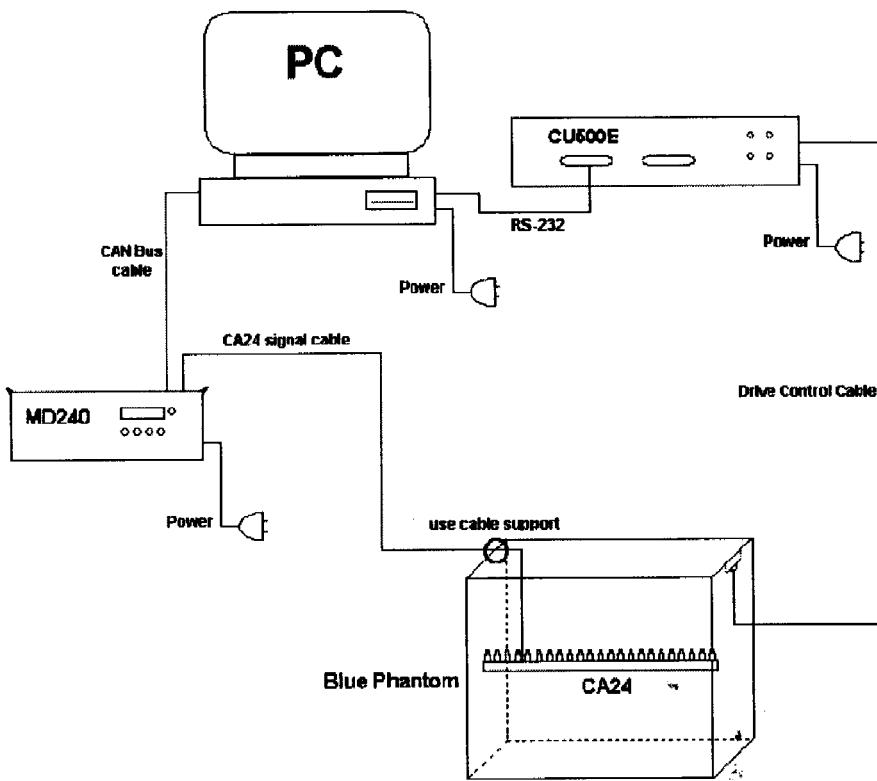
b)



c)

Slika 9: a) „Blue“ fantom; b) Kontrolna jedinica CU500E; c) Kompaktna ionizaciona komora (CC13 – Compact chamber, sa aktivnom zapreminom od  $0.13 \text{ cm}^3$ ) koji se koriste u mernom lancu za relativnu dozimetriju na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici.

U relativnoj dozimetriji se koristi jedan par CC13 komora – „reference“ komora i „field“ komora. Svaka komora je kalibrirana i ima zasebnu potvrdu o kalibraciji.



Slika 10: Šema vezivanja komponenata «Blue» fantoma (Blue phantom manual)

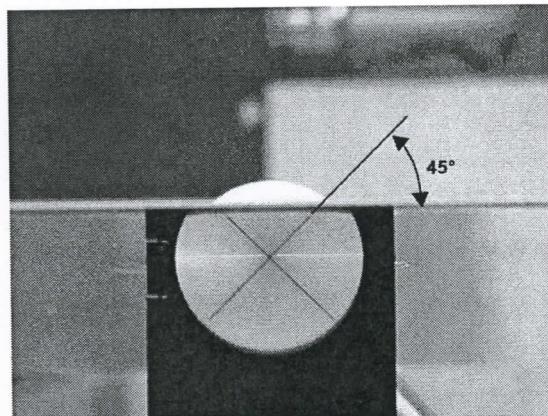
Kontrolna jedinica CU500E se postavlja u kontrolnu sobu gde se povezuje sa računarom. Takođe, CU500E se povezuje i sa fantomom, kao i sa komorama tipa CC13 preko produžnih kablova. Šema vezivanja pojedinih komponenata sistema je data na slici 8.

Postavljanje fantoma, tj. ionizacione komore u okviru fantoma u izocentar akceleratora zahteva nekoliko koraka:

1. Fantom treba postaviti na dizac (postolje) i povezati ga sa pumpom za vodu;
2. Fantom treba postaviti ispod glave akceleratora tako da se končanica (svetlosno polje) na glavi akceleratora poklopi sa končanicom na fantomu;
3. Pokretnе točkove na fantomu treba fiksirati pomoću kočnice;
4. Vertikalne indikatore na fantomu treba poravnati sa pozicionim laserima;
5. Napuniti fantom vodom;
6. Odrediti željeni SSD (*source-skin distance*) promenom nivoa vode u fantomu;
7. Definisati ivice fantoma pomoću ručnog upravljača (definisati tačke A, B, C , D kao i veliku dijagonalu fantoma, tj. definisati radnu zapreminu fantoma); izvršiti fino podešavanje visine ionizacione komore u odnosu na površinu vode;
8. Pomoću svetlosnog polja i pozicionih lasera dovesti ionizacionu komoru u centar končanice, tj. u izocentar akceleratora;
9. Pomoću ručnog upravljača definisati površinu vode (SSD), koordinate izocentra u kom se nalazi ionizaciona komora.



a)

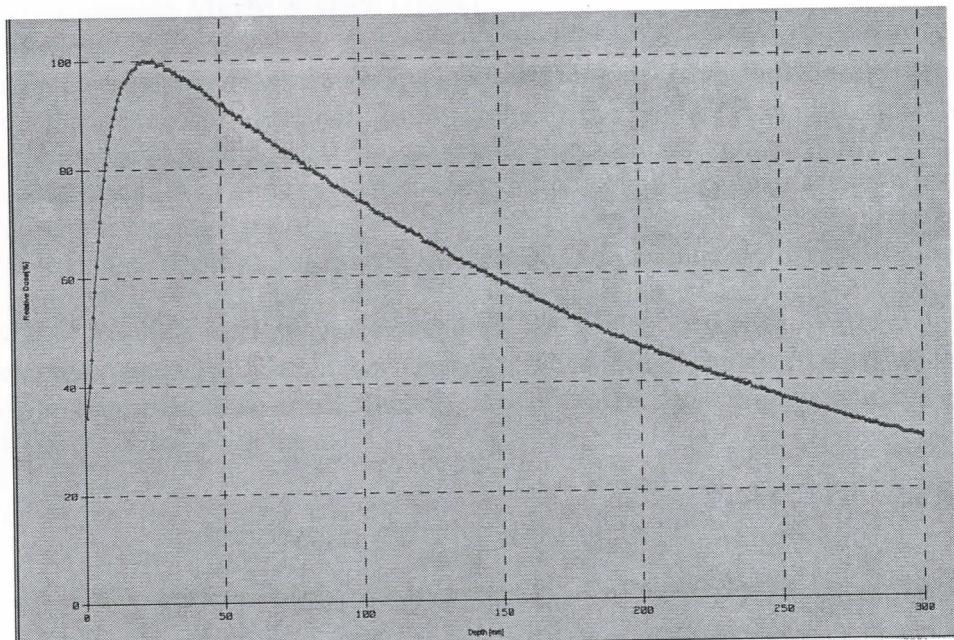


b)

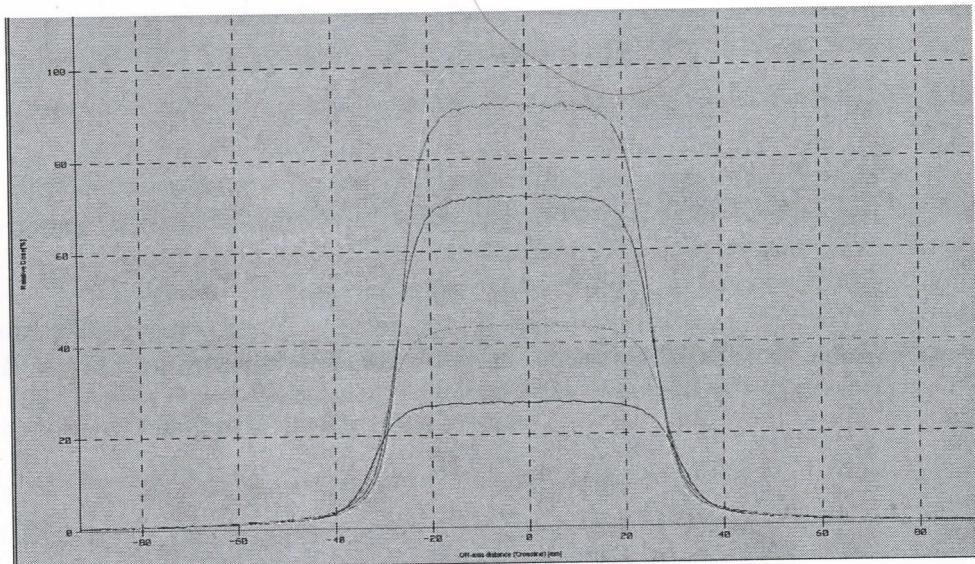
Slika 11: a) Ručni upravljač pomoću koga se definiše radna zapremina fantoma, SSD i izocentar akceleratora; b) Fino podešavanje visine jonizacione komore u odnosu na površinu vode

Za relativnu dozimetriju na „Blue“ fantomu se koriste dve ionizacione komore: „reference“ i „field“ komora. Ove dve komore bi trebalo da su istog tipa, a ukoliko to nije moguće, komore bi trebalo da su približno istih aktivnih zapremina. Standardne komore koje se koriste u svrhe relativne dozimetrije su tipa CC13. Kontinualni mod merenja pri relativnoj dozimetriji kod „Blue“ fantoma ima dve prednosti u odnosu na *step by step* mod, a to su kraće vreme merenja i više mernih podataka dobijenih u datom vremenskom intervalu. S obzirom da linearni akcelerator proizvodi pulsno zračenje, ukoliko bismo koristili samo jednu „field“ komoru, na doznom profilu bi se pojavio efekat pulsnog zračenja. U te svrhe je postavljena „reference“ komora koja otklanja efekat pulsiranja snopa tako što u realnom vremenu deli signal dobijen sa „field“ komore sa signalom dobijenim sa „reference“ komore. „Reference“ komora se mora postaviti unutar izabranog primarnog zračnog polja zbog stabilnosti signala, ali ne sme zaklanjati „field“ komoru. Merenjem se dobijaju PDD krive kao i *inplane* i *crossplane* profili preko kojih se određuje kvalitet simetrije i ravnoće (*flatness*) terapijskog zračnog snopa.

Rezultati merenja relativne dozimetrije na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici se verifikuju od strane fizičara specijaliste medicinske fizike i uredno dokumentuju.



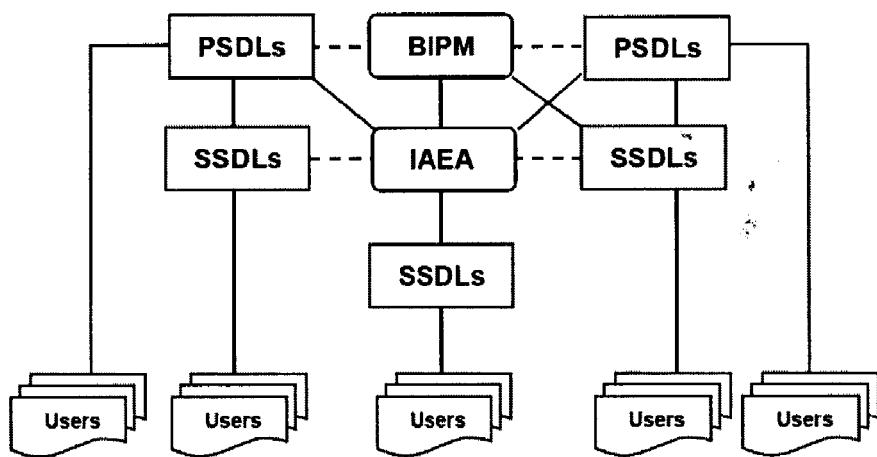
Slika 12: PDD kriva fotonskog snopa energije 10 MV za veličinu zračnog polja  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ , za linearni akcelerator Mevatron MD 7445 instaliran na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici



Slika 13: «Crossplane» profili fotonskog snopa energije 10 MV, veličine zračnog polja  $5 \times 5 \text{ cm}^2$  na dubinama od 30 cm (plavi profil), 20 cm (zeleni profil), 10 cm (crveni profil), 5 cm (ljubičasti profil) i 2.5 cm (žuti profil) za linearni akcelerator Mevatron MD 7445 instaliran na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici

#### 4.2.6. Internacionalni Merni Sistem (IMS)

Internacionalni merni sistem (IMS) za radijacionu metrologiju obezbeđuje doslednost i sledljivost u radijacionoj dozimetriji davajući kalibrirane merne radijacione instrumente krajnjim korisnicima koji se mogu dovesti u vezu sa primarnim standardima (slika 14). U svetu postoji samo dvadesetak zemalja sa dozimetrijskim laboratorijama koji sadrže primarne standarde PSDL (*Primary Standard Dosimetry Laboratory*). Njihov glavni zadatak je da kalibrišu sekundarne standarde, koji kasnije služe za kalibraciju referentnih radijacionih mernih instrumenata krajnjih korisnika širom sveta. Glavna uloga SSDL (*Secondary Standard Dosimetry Laboratory*) je veza između PSDL i krajnjih korisnika obezbeđujući kalibraciju korisničkog mernog instrumenta prema primarnom standardu. Jedan od glavnih ciljeva SSDL mreže na polju dozimetrije u radioterapiji je garancija da se predata doza pacijentima na radioterapiji nalazi u okviru opšte prihvaćenih internacionalnih granica.



Slika 14: Internacionalni merni sistem (IMS) za radijacionu metrologiju gde se merni radijacioni uređaj krajnjeg korisnika dovodi u vezu sa primarnim standardom preko kalibracije u dozimetrijskoj laboratoriji sa primarnim standardom (PSDL – Primary Standard Dosimetry Laboratory) ili najčešće sa sekundarnim standardom u dozimetrijskoj laboratoriji sa sekundarnim standardom (SSDL – Secondary Standard Dosimetry Laboratory) koji je u direktnoj vezi sa BIPM (Bureau International des Poids et Mesures), PSDL ili IAEA/WHO mrežom SSDL (IAEA TRS-398 Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed Dose to Water)

<i>Klasifikacija instrumenata</i>	<i>Laboratorijski standardi</i>
<b>Primarni standard</b> Instrument najvećeg metrološkog kvaliteta koji omogućava određivanje jedinice određene fizičke veličine iz same njene definicije čiju tačnost proveravaju druge laboratorije na istom nivou preko svojih standarda.	<b>Dozimetrijska laboratorija sa primarnim standardom</b> - (PSDL – <i>Primary Standard Dosimetry Laboratory</i> ) – Nacionalna laboratorija za standarde koju imenuje Vlada države u cilju razvijanja, održavanja i usavršavanja primarnih standarda u radijacionoj dozimetriji.
<b>Sekundarni standard</b> Instrument kalibriran upoređivanjem sa primarnim standardom.	<b>Dozimetrijska laboratorija sa sekundarnim standardom</b> – SSDL ( <i>Secondary Standard Dosimetry Laboratory</i> ) – Laboratorija koja je priznata od strane relevantnih organizacija i čija je svrha kalibracija mernih radijacionih instrumenata, a koja sadrži barem jedan sekundarni standard koji je kalibriran na osnovu primarnog standarda.
<b>Nacionalni standard</b> Standard koji je usvojen od strane relevantnih državnih institucija kao baza za kalibraciju vrednosti svih ostalih standarda date fizičke veličine u određenoj zemlji.	
<b>Referentni instrument</b> Instrument najvećeg metrološkog kvaliteta koji je dostupan na određenoj lokaciji kojim se meri vrednost određene fizičke veličine.	
<b>Terenski (Field) instrument</b> Instrument za rutinska merenja čija kalibracija je povezana sa referentnim instrumentom.	

*Tabela 4: Klasifikacija instrumenata i laboratorijski standardi – (IAEA TRS-398 Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed Dose to Water)*

Merni lanac za dozimetriju (jonizacione komore i elektrometar) koji se nalaze na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici se šalju na kalibraciju u laboratoriju sa sekundarnim standardom koja se nalazi u Beogradu (Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine).

#### 4.2.6. Korektivne mere

Nosioci registracija i dozvola bi trebalo da osiguraju da je opseg medicinskih ekspozicija u skladu sa zahtevima Standarda i da vrše reviziju nivoa medicinskih ekspozicija kako tehnologija napreduje kako bi se:

- a) preduzele korektivne mere u slučaju poremećaja (pada) vrednosti doza u radioterapiji kada data doza ne donosi očekivanu medicinsku korist (ili u dijagnostici kada aktivnost izvora padne ispod nivoa dovoljnog za nastanak dijagnostičke informacije - slike);
- b) preduzele korektivne mere u slučaju poremećaja (povećanja) vrednosti doza ili aktivnosti kako bi se osigurala zdrava praksa. (BSS - II.24. do II.25.)

#### 4.2.7. Ograničenje doze

Etički komitet ili institucija sa sličnim ovlašćenjima treba da odredi ograničenje doza u optimizaciji i zaštiti pacijenata koji su podvrgnuti medicinskoj ekspoziciji u svrhe istraživanja i to se odnosi na svaki pojedinačni slučaj ukoliko data medicinska ekspozicija ne donosi direktnu korist datom pojedincu. Nosioci registracija i dozvola treba da ograniče dozu na individue koje su dobrovoljno izložene ionizacionom zračenju (a da to nije deo njihove profesionalne ekspozicije), tj. osoblju koje pomaže pacijentima kojima je prepisana medicinska ekspozicija u dijagnostičke ili terapijske svrhe ili posetiocima aplikovanih pacijenata. Na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici nije dozvoljeno prisustvo pratnje tokom terapije. (BSS - II.26. do II.27.)

#### 4.2.8. Istraga nepredviđenih medicinskih ekspozicija

Nosioci registracija i dozvola treba temeljno da istraže svaki od sledećih incidenata:

- a) svaki terapijski tretman koji je načinjen na pogrešnom pacijentu ili pogrešnom tkivu ili korišćenjem doza ili frakcija koje se znatno razlikuju od propisanih doza i frakcija od strane lekara ili mogu dovesti do jakih sekundarnih efekata;
- b) svaku dijagnostičku ekspoziciju koja je znatno veća od prвobitno procenjene;
- c) svaki kvar na opremi, nesrečni slučaj koji dovodi do ispostavljanja doze pacijentu koja se znatno razlikuje od propisane.

Nosioci registracija i dozvola će u skladu sa istragom već pomenutih slučajeva uraditi sledeće:

- a) izračunati i proceniti primljene doze i njihovu distribuciju u pacijentu;
- b) uputiti na mere koje će sprečiti ponovnu pojavu incidenata;
- c) primenjivati sve mere koje su u njihovoj moći i koje će sprečiti ponovnu pojavu incidenata;
- d) podneti pisani izveštaj regulatornom telu u što kraćem roku posle sprovedene istrage u kome se navode uzroci incidenta i informacije od a) do c) kao i druge informacije koje zahteva regulatorno telo i
- e) informisati pacijenta ili njegovog doktora o datom incidentu. (BSS – II.29. do II.30. )

#### 4.2.9. Dokumentacija

Nosioci registracija i dozvola će na zahtev regulatornog tela određeno vreme čuvati sledeću dokumentaciju:

- a) u radioterapiji – opis planiranja PTV-a, dozu u centru PTV-a kao i minimalne i maksimalne doze na PTV, doze na ostale organe, frakcionisanje doze, vreme trajanja tretmana i
- b) ekspoziciju volontera u medicinskim istraživanjima.

Nosioci registracija i dozvola će učiniti dostupnim sve relevantne podatke kalibracija i periodičnih provera (koje sadrže fizičke i kliničke parametre) na zahtev regulatornog tela ili drugih relevantnih organizacija. (BSS - II.31. do II.32.)

Obaveza vodenja evidencije (izvod iz člana 36 zakona o zaštiti od joničajućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti, „Službeni glasnik RS br. 36/09“) „Nositelj licence za obavljanje radijacione delatnosti, odn. nositelj licence za obavljanje nuklearne aktivnosti u medicinske svrhe dužan je da vodi evidenciju o izlivenosti pacijenata ionizujućim zračenjima.“

## 4.3. Javna ekspozicija

### 4.3.1. Odgovornosti

Nosioci registracija i dozvola treba da primenjuju zahteve Standarda po nalogu regulatornog tela na sve javne ekspozicije koje su proizvod prakse za koju su oni odgovorni osim ukoliko date ekspozicije nisu isključene iz Standarda. Nosioci registracija i dozvola su odgovorni, u odnosu na izvore koji su u njihovoj nadležnosti, za uspostavljanje, implementaciju i održavanje:

- a) uslova, procedura i organizacije zaštite od ionizujućeg zračenja nastalih pri javnim ekspozicijama;
- b) mera koje osiguravaju:
  - i) optimizaciju zaštite javnosti od ionizujućeg zračenja čije ekspozicije se pripisuju datim izvorima;
  - ii) ograničenje normalne ekspozicije date kritične grupe u cilju da ekspozicija ne bude viša od vrednosti određene za javnost;
- c) mera za bezbednost izvora u cilju smanjenja javnih ekspozicija;
- d) adekvatne opreme, prostorija i servisa za zaštitu javnosti od ionizujućeg zračenja u obimu koji odgovara datim ekspozicijama
- e) odgovarajućih periodičnih treninga i usavršavanja osoblja iz zaštite od ionizujućeg zračenja;
- f) odgovarajuće opreme za praćenje i procenjivanje javne ekspozicije;
- g) dokumentacije koja sadrži podatke o praćenju i procenjivanju javne ekspozicije;
- h) plana i procedura u slučaju nepredviđenih situacija (*emergency plan*) koji odgovara prirodi i veličini rizika koji se javljaju.

Nosioci registracija i dozvola su odgovorni za obezbeđivanje mera optimizacije za odstranjivanje radioaktivnih supstanci koje su podređene određenim ograničenjima doza koje propisuje regulatorno telo uzimajući u obzir:

- a) doprinos doza od drugih izvora i praksi, uključujući i realnu procenu doza od budućih izvora i praksi;
- b) potencijalne promene uslova koje mogu da utiču na javnu ekspoziciju (npr. promena karakteristika ili načina rukovanja izvora itd.)
- c) trenutnu zdravu praksu u rukovanju sličnih izvora i praksi;
- d) bilo kakve nesigurnosti u proceni ekspozicija, pogotovo doprinosa ekspozicijama ukoliko su izvor i kritična grupa vremenski i prostorno razdvojeni. (BSS – III.1. do III.4.)

### 4.3.2. Kontrola posetilaca

Nosioci registracija i dozvola će u saradnji sa poslodavcima:

- a) osigurati da je posetiocima obezbeđena pravnja u kontrolisanim zonama zračenja;

- b) obezbediti adekvatna uputstva i informacije posetiocima pre nego što uđu u kontrolisanu zonu zračenja;
- c) obezbediti adekvatnu kontrolu posetilaca nadgledanih zona zračenja i postavljanje upozorenja i znakova na date prostorije. (BSS – III.5.)

#### 4.3.3. Radioaktivni otpad

Nosioci registracija i dozvola će:

- a) osigurati da se aktivnost i zapremina izvora za koji su odgovorni svedu na realni mogući minimum i da se radioaktivni otpad prikupi, tretira, transportuje, čuva, ukloni u skladu sa zahtevima Standarda i ostalim primenjivim standardima;
- b) izolovati i posebno tretirati različite tipove radioaktivnog otpada u smislu sadržaja, poluživota, koncentracije, zapremine, fizičkih i hemijskih svojstava uzimajući u obzir sve mogućnosti za uklanjanjem istog. (BSS – III.8.)

#### 4.3.4. Uklanjanje radioaktivnih supstanci i monitoring javne ekspozicije

Nosioci registracija i dozvola će osigurati da se radioaktivne supstance iz autorizovanih praksi i izvora ne uklanjaju osim ako:

- a) je uklanjanje autorizovano od strane regulatornog tela;
- b) je uklanjanje kontrolisano;
- c) su javne ekspozicije izazvane uklanjanjem radioaktivnih supstanci limitirane u okviru *Schedule II BSS*;
- d) je kontrola za uklanjanje optimizovana u skladu sa osnovnim zahtevima Standarda.

Nosioci registracija i dozvola će, pre početka i tokom uklanjanja bilo kakvih čvrstih, tečnih ili gasovitih radioaktivnih izvora uraditi sledeće:

- a) odrediti karakteristike i aktivnost datog radioaktivnog materijala i potencijalne metode uklanjanja istog;
- b) odrediti sve moguće načine na koje javnost može biti izložena datom izvoru;
- c) proceniti doze na kritične grupe prilikom uklanjanja radioaktivnih izvora;
- d) kontrolisati doze pri uklanjanju izvora sa određenom tačnošću;
- e) dokumentovati rezultate praćenja doza i procenjenih ekspozicija;
- f) podneti izveštaj regulatornom telu o uklanjanju izvora, regularno periodično kao i u svakom pojedinačnom slučaju prekoračenja limita;

Nosioci registracija i dozvola će u dogovoru sa regulatornim telom prilagoditi kontrolu uklanjanja izvora na osnovu svog operativnog iskustva uzimajući u obzir sve prostorne promene ekspozicija i uticaja istih na kritične grupe i osigurati mogućnost monitoringa javnih ekspozicija u slučajevima nužde. (BSS – III.9 do III.13.)

*Izveštaj o monitoringu radioaktivnosti* (član 11. zakona o zaštiti od ionizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti, «Službeni glasnik RS» br. 36/09) – «Pravno lice koje vrši monitoring radioaktivnosti dužno je da dostavi Agenciji izveštaj o monitoringu radioaktivnosti u životnoj sredini najkasnije do 31. maja tekuće godine za prethodnu godinu, a u slučaju akcidenta ili na zahtev Agencije, odmah. Procena nivoa izloženosti ionizujućim zračenjima stanovništva vrši se na osnovu monitoringa radioaktivnosti iz člana 9. ovog zakona i drugih ispitivanja na zahtev Agencije. Na osnovu rezultata monitoringa radioaktivnosti Agencija prati izlaganje stanovništva ionizujućim zračenjima, nalaže preuzimanje hitnih mera u slučaju povećanja radioaktivnosti i vrši procenu primljenih doza kod stanovništva. Agencija objavljuje u posebnoj stručnoj publikaciji godišnji izveštaj o nivou izlaganja stanovništva ionizujućim zračenjima. Sredstva za pokriće troškova monitoringa radioaktivnosti i procene nivoa izlaganja stanovništva ionizujućim zračenjima, kao i za procenu nivoa medicinskog izlaganja, obezbeđuju se iz prihoda Agencije i budžeta Republike Srbije.»

#### 4.3.5. Ograničenje doza pri javnim ekspozicijama

**Ograničenje doza** – Procenjena srednja doza na članove kritičnih grupa na koje utiče praksa koja podrazumeva upotrebu ionizujućeg zračenja ne treba da prelazi sledeće vrednosti:

- a) efektivnu dozu od 1  $mSv$  godišnje;
- b) u posebnim okolnostima, efektivnu dozu do 5  $mSv$  godišnje, s tim da u proseku tokom 5 uzastopnih godina efektivna doza ne pređe 1  $mSv$  po godini;
- c) ekvivalentnu dozu na očno sočivo od 15  $mSv$  godišnje;
- d) ekvivalentnu dozu na kožu od 50  $mSv$  godišnje. (BSS – II-8. do II-9.)

## 4.4. Potencijalna ekspozicija

### 4.4.1. Procena sigurnosti

Nosioci registracija i dozvola treba da izvrše procenu sigurnosti za dati izvor za koji su odgovorni kao što je navedeno u osnovnim principima Standarda. Sigurnosna procena se sastoji iz sistematske kritičke provere:

- a) prirode i veličine potencijalne ekspozicije kao i verovatnoće njenog pojavljivanja;
- b) limita i tehničkih mogućnosti za operaciju sa izvorom;
- c) načina na koji strukture, sistemi, komponente i procedure koje su povezane sa zaštitom od ionizujućeg zračenja mogu zakazati u svom odgovoru, pojedinačno ili u kombinaciji, a koje dovode do potencijalne ekspozicije;
- d) uticaja operacionih procedura na zaštitu od ionizujućeg zračenja i posledica grešaka takvih procedura;

Nosioci registracija i dozvola će uzeti u obzir sigurnosnu procenu:

- a) faktora koji mogu dovesti do neželjenih operacija sa radijacionim snopom i mogućih mera za prevenciju, identifikaciju i kontrolu takvih pojava;
- b) mera za zaštitu od ionizujućeg zračenja, odn. «sigurnosnog lanca».

Sigurnosna procena treba da bude dokumentovana i nezavisno od toga proverena u okviru programa osiguranja kvaliteta (QA). Dodatne provere treba izvršiti u slučaju bilo kakvih modifikacija na izvoru i u slučaju kada iskustvene informacije ukazuju na to. Ukoliko je kao posledica sigurnosne procene ustanovljeno da je poželjno poboljšati mere zaštite, te mere će biti ustanovljene nakon sigurnosne procene i u zavisnosti od slučaja biti optimizovane. (BSS - IV.3. do IV.7.)

### 4.4.2. Zahtevi u dizajnu

#### 4.4.2.1. Odgovornosti

Nosioci registracija i dozvola će u saradnji sa snabdevačima osigurati obavljanje sledećih dužnosti:

- a) obezbeđivanje dobro dizajniranog i konstruisanog izvora koji:
  - i) ispunjava zahteve Standarda za zaštitom od ionizujućeg zračenja;
  - ii) ispunjava funkcionalne, radne i inženjerske specifikacije;
  - iii) ispunjava kvalitativne zahteve u zaštiti od ionizujućeg zračenja;
- b) testiranje izvora radi provere slaganja sa datim specifikacijama.

Takođe, gde god je to primenljivo, nosioci registracija i dozvola treba da naprave dogovor sa snabdevačima o:

- a) uspostavljanju i održavanju mehanizama slanja povratnih informacija snabdevačima od strane nosilaca registracija i dozvola o korišćenju, održavanju, premeštanju i uklanjanju izvora zračenja kao i o bilo kakvim normalnim ili nepravilnim operacionim uslovima koji utiču na zaštitu osoblja od jonizacionog zračenja;
- b) uspostavljanju i održavanju mehanizama slanja povratnih informacija nosiocima registracija i dozvola od strane snabdevača.

#### **4.4.2.2. Prevencija nesreća i ublažavanje posledica nesreća**

Sistemi i komponente izvora koji su u vezi sa zaštitom od jonizujućeg zračenja treba da budu dizajnirani, konstruisani, upravljeni i održavani tako da sprečavaju pojavu bilo kakvih nesreća što je više moguće i da ograniče nivo ekspozicija osoblja što je moguće više (*ALARA* princip) uzimajući u obzir verovatnoću izloženosti osoblja jonizujućem zračenju, uzimajući takođe i socijalno-ekonomski uslove u obzir. Nosilac registracije ili dozvole treba da uspostavi sledeće mere:

- a) treba da spreči, u najvećoj mogućoj meri, pojavu bilo kakvih incidenata koji se mogu predvideti sa postavkom određenog izvora;
- b) treba da ograniči posledice bilo kog incidenta koji se pojavi;
- c) treba da obezbedi informacije, trening i neophodnu opremu osoblju kako bi se izbegle nepotrebne potencijalne ekspozicije;
- d) treba da osigura postojanje adekvatnih procedura za kontrolu izvora i potencijalnih incidenata koji se mogu predvideti;
- e) treba da osigura mogućnost testiranja i inspekcije komponenata sistema koji mogu dovesti do bilo kakvih nepravilnosti u radu sistema koji sadrži izvor zračenja u uslovima u kojima ne dolazi do prekoračenja limita za profesionalnu ekspoziciju;
- f) treba da osigura postojanje sistema za automatsko prekidanje ili korigovanje tretmana zračenja ukoliko dođe do operacionih uslova koji prevazilaze određene limite;
- g) treba da osiguraju postojanje sistema za detekciju nepravilnosti u radu, koji će dovoljno brzo reagovati da bi omogućio pravovremenu reakciju na datu situaciju;
- h) treba da obezbede postojanje relevantne dokumentacije na lokalnom jeziku. (BSS - IV.8. do IV 14. )

#### **4.4.3. Zahtevi u operacijama**

##### **4.4.3.1. Odgovornosti**

Gde god je to izvodljivo, nosioci registracija i dozvola bi trebalo da:

- a) jasno ustanove stepene odgovornosti i organizaciju u vezi sa zaštitom od jonizujućeg zračenja;
- b) procene moguće posledice, veličinu i verovatnoću potencijalne ekspozicije kao i broj osoba na koje ona utiče;
- c) da poseduju na licu mesta procedure za zaštitu od jonizujućeg zračenja koje su podložne periodičnoj proveri i ažuriranju u skladu sa postojećim programom osiguranja kvaliteta;
- d) ustanove procedure za podnošenje izveštaja i način «učenja na greškama»;

- e) ustanove raspored za periodičnu proveru sigurnosnih mera zaštite od ionizujućeg zračenja;
- f) obezbede adekvatno održavanje, testiranje, inspekciju i servis izvora kako bi se ispunili svi zahtevi u vezi sa zaštitom od ionizujućeg zračenja.

#### **4.4.3.2. Istraga i dalje praćenje rada**

Nosioci registracija i dozvola će sprovesti formalnu istragu po nalogu regulatornog tela ukoliko:

- a) bilo koji od operativnih parametara ili veličina prevazilazi određenu vrednost u opsegu operacionih uslova ili
- b) dođe do bilo kakvog kvara opreme, greške, nesrećnog slučaja ili sličnih okolnosti koji utiču na poremećaj operacionih parametara izvan propisanih vrednosti.

Istraga treba da bude sprovedena što je pre moguće i napisan izveštaj o istrazi zajedno sa verifikacijom primljenih doza i preporukama za sprečavanje budućih incidenata u istim ili sličnim okolnostima, a sve u saradnji i komunikaciji sa regulatornim telom. (BSS IV.15. do IV.23.)

#### **4.4.4. Program osiguranja kvaliteta (*Quality assurance*)**

Nosioci registracija i dozvola treba da uspostave program za osiguranje kvaliteta prema zahtevima Standarda, a priroda i veličina programa osiguranja kvaliteta treba da bude u skladu sa veličinom i verovatnoćom pojave potencijalnih ekspozicija za izvor za koji su odgovorni. Program za osiguranje kvaliteta treba da obezbedi:

- a) planirane i sistematične akcije koje će osigurati da određeni dizajn i operacioni zahtevi budu zadovoljeni u pogledu zaštite od ionizujućeg zračenja uključujući i povratnu informaciju u vezi sa operacionim iskustvom;
- b) podlogu za analizu zadataka, razvijanje metoda, ustanovljenje normi i identifikaciju neophodnih veština za dizajn i upravljanje izvorom i
- c) potvrde o proizvodnji, dizajnu, korišćenju materijala, inspekciji i metodama testiranja itd. (BSS – IV.24. do IV.25.)

## 4.5. Ekspozicije u slučaju neočekivanih situacija - (*emergency exposure situations*)

### 4.5.1. Planovi u slučaju neočekivanih situacija (*emergency plans*)

Planovi u slučaju neočekivanih situacija treba da sadrže informacije o odgovornostima menadžmenta za intervencije, a odgovorno rukovodstvo treba da obezbedi:

- a) da su planovi u slučaju nepredviđenih situacija spremni i odobreni za bilo koji izvor ili praksu koji mogu dovesti do intervencije u slučaju nepredviđenih situacija;
- b) da su organizacije za intervenciju uključene u pripremi planova u slučaju nepredviđenih situacija;
- c) da se u sadržaj planova u slučaju nepredviđenih situacija uvrste rezultati prethodnih analiza nesrećnih slučajeva kada su u pitanju izvori sličnih karakteristika;
- d) da se planovi u slučaju nepredviđenih slučajeva periodično pregledaju i ažuriraju;
- e) trening osoblja koje je odgovorno za primenu planova u slučaju nepredviđenih situacija i periodično uvežbavanje datih planova;
- f) pravovremene informacije za javnost na koju može da utiče određena nesreća.

Planovi u slučaju nepredviđenih situacija treba da sadrže:

- a) raspodelu odgovornosti za obaveštenje relevantnih autoriteta za započinjanje intervencije;
- b) identifikaciju operacionih uslova izvora koji mogu da dovedu do intervencije;
- c) nivoje intervencija za bezbednosne akcije i širinu njihove primene;
- d) procedure, uključujući komunikacione procedure za kontakt sa relevantnom organizacijom koja je odgovorna za intervenciju (uključujući vatrogasne, medicinske, policijske i druge organizacije);
- e) opis metodologije i instrumentacije za izvršenje procene nesreće;
- f) opis aranžmana za davanje javnih informacija u slučaju nesreće i
- g) kriterijum za prekid bilo koje bezbednosne akcije. (BSS – V.2. do V.7.)

Program za pravovremenu najavu akcidenta (izvod iz člana 15 zakona o zaštiti od ionizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti, «Službeni glasnik RS» br. 36/09») – «Radi pravovremenog otkrivanja akcidenta koji ugrožava ili može ugroziti teritoriju Republike Srbije uspostavlja se sistem pravovremene najave akcidenta koji obezbeđuje neprekidno merenje jačine ambijentalne ekvivalentne doze, na osnovu Programa za pravovremenu najavu akcidenta koji donosi Agencija.»

Uslovi za vršenje merenja radi pravovremene najave akcidenta (izvod iz člana 16 zakona o zaštiti od ionizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti, «Službeni glasnik RS» br. 36/09») – «Merenje radi pravovremene najave akcidenta može da vrši pravno lice koje:

- 1) ima zaposleno lice sa visokim obrazovanjem stečenim na akademskim studijama, u prirodno-matematičkim ili tehničko-tehnološkim naukama, sa tri godine radnog iskustva na poslovima merenja radioaktivnosti u uzorcima iz životne sredine;
- 2) ima odgovarajući laboratorijski prostor za obradu, merenja i čuvanje uzorka;
- 3) ima standardnu laboratorijsku opremu za pripremu uzoraka;
- 4) ima sprecifičnu mernu opremu koja ispunjava propisane metrološke uslove;
- 5) ima odgovarajuću računarsku i softversku opremu;
- 6) je akreditovano kod nacionalnog ili međunarodnog akreditacionog tela.

Agencija propisuje bliže uslove koje mora da ispunjava pravno lice koje vrši merenja iz stava 1. ovog člana. Sredstva za sprovodenje iz člana 15. ovog zakona i troškovi merenja radi pravovremene najave akcidenta obezbeđuju se iz prihoda Agencije i budžeta Republike Srbije.»

#### 4.5.2. Intervencije u slučaju ekspozicija pri neočekivanim situacijama

##### 4.5.2.1. Opravdanost intervencije

Intervencije će skoro sigurno biti opravdane ukoliko projektovana doza na pojedinca u slučaju nesreće može izazvati ozbiljnu povredu. Nivoi doza koji mogu dovesti do takvih povreda su dati u tabeli 5 (*Schedule IV, BSS*). Nivoi doza koji zahtevaju intervenciju se izražavaju u veličini doze koja se može sprečiti (*avertable dose*), tj. razlike između očekivanih doza usled uspostavljanja bezbednosne akcije i u odsustvu bezbednosne akcije. Bezbednosna akcija se indikuje ukoliko data doza koja se može izbeći prelazi vrednosti date u tabelama 5 i 6.

Organ ili tkivo	Projektovana apsorbovana doza na organ ili tkivo u roku kraćem od 2 dana / [Gy]
Celo telo (koštana srž)	1
Pluća	6
Koža	3
Štitna žlezda	5
Očno sočivo	2
Gonade	3

Tabela 5: Projektovana apsorbovana doza na organ ili tkivo prilikom akutne ekspozicije dovoljna za pokretanje intervencije (*Schedule IV, IAEA SAFETY SERIES No. 115 International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiations and for the Safety of Radiation Sources*)

Organ ili tkivo	Jačina godišnje ekvivalentne doze / [Sv]
Gonade	0.2
Očno sočivo	0.1
Koštana srž	0.4

Tabela 6: Projektovana jačina ekvivalentne doze na organ ili tkivo prilikom hronične ekspozicije tokom jedne godine dovoljna za pokretanje intervencije (*Schedule IV, IAEA SAFETY SERIES No. 115 International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiations and for the Safety of Radiation Sources*)

#### 4.5.2.2. Optimizacija bezbednosnih akcija: nivoi akcija i intervencija

Nivoi intervencija za trenutne bezbednosne akcije koje uključuju evakuaciju ili sklonište (fizičku barijeru) treba da su navedeni u planovima u slučaju neočekivanih situacija uzimajući u obzir Schedule VBSS-a koji navodi opseg doza za intervenciju.

Plan za delovanje u slučaju akcidenta (izvod člana 62 zakona o zaštiti od ionizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti, «Službeni glasnik RS» br. 36/09) – «Radi zaštite života i zdravlja ljudi i životne sredine u slučaju akcidenta Vlada donosi plan za delovanje u slučaju akcidenta. Planom iz stava 1. ovog člana utvrđuju se interventni i izvedeni interventni nivoi izlaganja ionizujućim zračenjima i mere za zaštitu stanovništva i životne sredine od štetnog dejstva ionizujućih zračenja, način obaveštavanja javnosti, kao i operativni program za sprovođenje delova ili celine plana. Akcident koji ugrožava teritoriju Republike Srbije proglašava Vlada, na predlog Agencije. Zaštita života i zdravlja ljudi i životne sredine od ionizujućih zračenja u akcidentu sprovodi se na osnovu propisanih mera za sprečavanje i otklanjanje posledica koju prouzrokuje taj događaj. Plan za delovanje u slučaju akcidenta i aktivnosti koje su u vezi sa tim preuzimaju, sprovode se u skladu sa Konvencijom o ranom obaveštavanju o nuklearnim nesrećama i Konvencijom o pomoći u slučaju nuklearnih nesreća i radioloških opasnosti. (BSS – V.8. do V.22.)

#### 4.5.3. Procedura u slučaju akcidentne situacije (Brahiterapija - IOV)

Procedura u slučaju akcidentne situacije na odeljenju za brahiterapiju na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici obuhvata sledeće:

- 1) Osnovna pravila u slučaju akcidenta;
- 2) Navođenje indikatora zračenja;
- 3) Hitno povlačenje izvora u sef;
- 4) Opremu za akcidentne situacije;
- 5) *Interrupt* i *Emergency* tastere na vratima i konzoli;
- 6) *Emergency* taster na *afterloader*-u;
- 7) Ručno povlačenje izvora u sef *afterloader*-a pomoću ručke.

##### 1) Osnovna pravila u slučaju akcidenta:

- a) Nositi sa sobom instrument za monitoring doze;
- b) Provoditi što je moguće manje vremena u polju zračenja;
- c) Držati se od izvora na najvećem mogućem rastojanju koji ne ometa sprovođenje procedure;
- d) Ako je potrebno, što brže ubaciti izvor u poziciju u sefu ili u *emergency* kontejner.

##### 2) Indikatori zračenja:

- a) Na komandnoj konzoli svetli žuto *source out* i žuti simbol za zračenje;
- b) Na monitoru komandne konzole upaljen je žuti znak «*radiation*»;

c) Na panelu aparata takođe svetli žuti znak «*radiation*».

3) Hitno povlačenje izvora u sef – *GammaMedPLUS* automatski povlači izvor u sef ako se aktivira bilo koja zaštitna funkcija zbog akcidenta. Postoje i druge situacije u kojima se iz nekog razloga mora manuelno prekinuti tretman:

- a) Pritiskanjem *interrupt* dugmeta na kontrolnoj konzoli;
- b) Pritiskanjem *emergency return* crvenog dugmeta u kontrolnoj sobi ili u bunkeru kod vrata;
- c) Pritiskanjem *emergency* dugmeta na samom panelu *afterloader-a*;
- d) Ručno: okretanjem ručke na prednjem delu *afterloader-a* dok se ne povuče u sef.

4) Oprema za akcidentne situacije mora uvek biti dostupna:

- a) Par dugačkih forcepsa (oko 30 cm), smeštenih na *emergency* kontejneru;
- b) *Emergency* kontejner;
- c) Sečice, smeštene pored forcepsa na *emergency* kontejneru;
- d) Lični dozimetar;
- e) *Survey* metar;
- f) Štoperica.

5) *Interrupt* i *Emergency* tasteri na vratima i konzoli – U slučaju bilo kakve hitne situacije, npr. potrebe za hitnim ulaskom u bunker, pritisnuti *interrupt* dugme na komandnoj konzoli da bi se izvor povukao normalnom brzinom u sef *afterloader-a*. Da bi se izvor povukao maksimalnom brzinom u sef *afterloader-a* pritisnuti crveno dugme u komandnoj sobi na zidu, ili isto kod vrata bunkera. Veoma je važno da se u oba slučaja proveri da li na komandnoj konzoli svetli žuto *safe* u odeljku *source*, i da je isključen znak *radiation*.

6) *Emergency* dugme na *afterloader-u* - Tokom *emergency* situacije, ukoliko se pritiskanjem *interrupt* i *emergency* crvenog dugmeta na zidu ne dešava ništa, ući u bunker sa *survey* metrom i pritisnuti *emergency* dugme na panelu *afterloader-a*. Veoma je važno napomenuti da povlačenje izvora stiskanjem *emergency* dugmeta na panelu *afterloader-a* izlaže osobu visokom nivou radijacije. Kada se pritisne *emergency* dugme na panelu *afterloader-a*, *afterloader* se gasi kada se izvor povuče u sef maksimalnom brzinom. Posle toga, ceo sistem, uključujući i kontrolnu konzolu se gasi, i jedino sredstvo verifikacije da je izvor u sefu jeste nezavisni monitor doze u bunkeru.

7) Ručno povlačenje izvora u sef *afterloader-a* pomoću ručke - Malo je verovatno da će se desiti da se izvor ne povuče automatski na jedan od tri prethodno opisana načina, u svakom slučaju, postoji mogućnost da se izvor uvuče ručno u sef. Veoma je važno napomenuti da povlačenje izvora pritiskom *emergency* dugmeta na panelu *afterloader-a* izlaže osobu visokom nivou radijacije. U ovoj situaciji kontrolna konzola prijavljuje da je izvor «*extended*» i čuje se alarm. Na konzoli svetli *source out* svetiljka. Veoma je važno delovati brzo, ali pažljivo i pri tom držati maksimalnu distancu od izvora. Ako je manuelno povlačenje izvora potrebno, to je znak velikog problema sa *afterloader-om*, i tretman se ne startuje ponovo. Nakon rešavanja urgentne situacije, odmah pozvati servis.

#### 4.5.4. Procena i monitoring doza posle nesreća

Svi neophodni koraci treba da budu preduzeti u cilju procene doza kojima je izložena javnost kao posledica nesreće, a rezultati procene treba da budu dostupni javnosti. Procene treba da se izvrše na osnovu najvernijih informacija, odn. u svetu novih informacija koje mogu proizvesti tačnije rezultate. Sve procene i rezultati monitoringa osoblja i javnosti se moraju dokumentovati. (BSS – V.23. do V.25.)

Prekid bezbednosne akcije – Bezbednosna akcija treba da bude prekinuta kada dodatne procene ukažu da dotična akcija više nije opravdana. (BSS V.26.)

#### 4.5.5. Zaštita osoblja koje obavlja interventne akcije

Nijedan radnik ne sme biti izložen dozi većoj od granične godišnje doze za profesionalno osoblje (na osnovu *Schedule II BSS*) osim ukoliko:

- a) je u pitanju spasavanje života ili prevencija ozbiljnih povreda;
- b) dotične akcije otklanjaju veliku kolektivnu dozu;
- c) dotične akcije sprečavaju pojavu katastrofe.

U ovim slučajevima treba učiniti sve što je realno moguće da se doze radnika koji učestvuju u takvim intervencijama drže ispod granice nivoa dvostrukе godišnje doze za profesionalno osoblje, osim ukoliko je u pitanju spasavanje života, kada se ta granica pomera na deset puta veću od godišnje doze za profesionalno osoblje u cilju izbegavanja determinističkih zdravstvenih efekata. U slučaju kada je moguće prevazilaženje granica desetostrukе godišnje doze, radnici mogu učestvovati u akcijama ukoliko postoji vidna korist nasuprot štete datog čina u datim okolnostima. Radnici koji učestvuju u interventnim akcijama u kojima dolazi do prevazilaženja maksimalne godišnje doze treba da budu dobrovoljci koje treba jasno obavestiti unapred o mogućim zdravstvenim rizicima i koji su, ukoliko je to moguće, prošli odgovarajući trening. Treba uložiti sve moguće napore u zaštiti radnika koji učestvuju u interventnim akcijama kao i u proceni i dokumentovanju doza koje prima dotično osoblje. Po prekidu intervencije treba obavestiti osoblje o primljenim dozama tokom trajanja intrevencije i mogućim zdravstvenim rizicima. Osoblje koje je učestvovalo u interventnoj akciji ne treba odvraćati od daljeg obavljanja posla koji uključuje profesionalnu ekspoziciju ukoliko ta doza ne prevaziđa desetostruku godišnju dozu i u tom slučaju treba sačekati donošenje kvalifikovane medicinske procene. (BSS V.27. do V.32.)

#### 4.5.6. Hitne bezbednosne akcije: Fizička zaštita i evakuacija

Nivo doze koja se može sprečiti (*avertable dose*) dovoljne za intervenciju u smislu korišćenja fizičke zaštite (*sheltering*) iznosi  $10 \text{ mSv}$  u periodu od 2 dana. Relevantni autoriteti mogu savetovati korišćenje fizičke zaštite i za niže nivoe doze ukoliko se radi o kraćim vremenskim intervalima. Nivo doze koja se može sprečiti (*avertable dose*) dovoljne za intervenciju u smislu privremene evakuacije iznosi  $50 \text{ mSv}$  za period od 7 dana. Relevantni autoriteti mogu pokrenuti

evakuaciju i u slučaju nižih vrednosti doza primljenih u kraćem vremenskom intervalu kao i u slučaju kada se evakuacija može izvesti brzo i lako (za male grupe ljudi). Veće vrednosti doza se uzimaju u obzir za uspostavljanje evakuacije ukoliko su u pitanju slučajevi gde je evakuacija teže izvodljiva (za veliku populaciju ljudi ili neadekvatan transport). (BSS – V.7. do V.9.)

#### 4.5.7. Kriterijum izuzeća izvora i praksi

Kriterijum izuzeća – Prakse i izvori mogu biti izuzeti iz zahteva Standarda ukoliko regulatorni autoritet odluči da postoji saglasnost sa kriterijumom za takvo izuzeće. Izuzeće ne može biti odobreno za prakse koje inače nisu opravdane. Opšti principi za izuzeće su:

- a) efektivna doza kojoj je izložena javnost kao posledica rukovanja izvorom ionizacionog zračenja ili izvođenja prakse iznosi  $10\mu\text{Sv}$  godišnje ili manje;
- b) kolektivna efektivna doza kao posledica jednogodišnje prakse iznosi  $1 \text{ man.Sv}$  ili procena optimizacije zaštite pokazuje da je izuzeće izvora optimalna opcija. (BSS – I-1. do I-6.)

## 5. PROCENA I IZRAČUNAVANJE PARAMETARA FIZIČKE ZAŠTITE OD JONIZUJUĆEG ZRAČENJA ZA MEGAVOLTAŽNU TELETERAPIJU (6 MV)

### 5.1. Opšti principi

Svrha zaštite od jonizujućeg zračenja je limitiranje ekspozicija zaposlenih radnika, kao i javnosti na opšte prihvativljiv nivo.

Izloženost ljudi jonizujućem zračenju se može redukovati pojedinačno ili kombinacijom sledećih metoda:

- 1) Povećavanjem udaljenosti između individue i izvora zračenja;
- 2) Limitiranjem vremena ekspozicije;
- 3) Postavljanjem zaštitnih fizičkih barijera između individue i izvora zračenja.

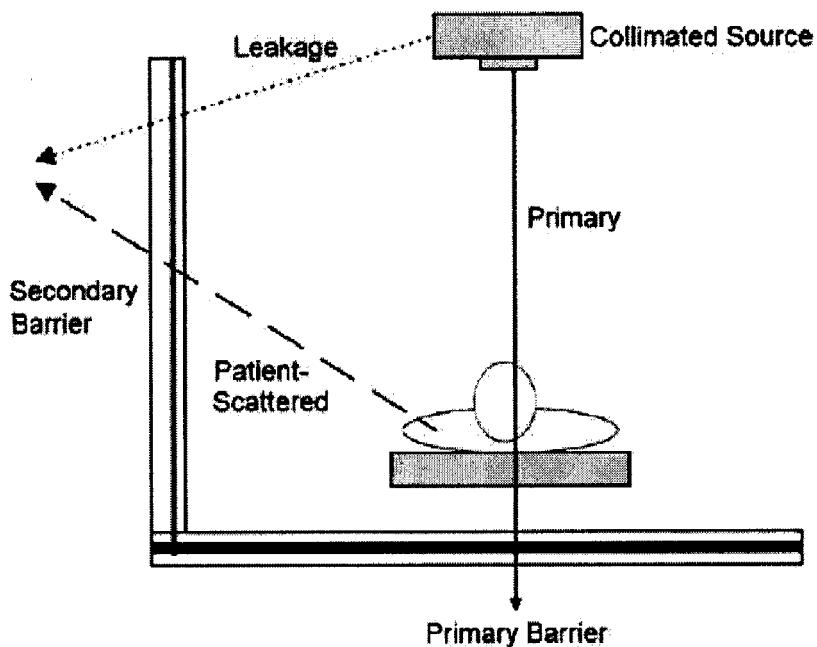
Jedan od osnovnih principa u dizajnu zaštite od jonizujućeg zračenja u vidu fizičkih barijera je tzv. «konzervativni» pristup koji obuhvata sledeće principe:

- 1) Atenuacija primarnog snopa medicinskog linearног akceleratora od strane pacijenta se zanemaruje, iako ona iznosi oko 30%, čak i više u pojedinim slučajevima;
- 2) U izračunavanju debljine fizičke barijere (zida bunkera) pretpostavlja se da je snop zračenja normalan na barijeru, tako da je transmisija zračenja (fotona, neutrona) automatski smanjena u bilo kom drugom slučaju kada pravac snopa zračenja nije normalan na barijeru;
- 3) «Curenje» zračenja iz glave akceleratora se pretpostavlja da je maksimalno (po IEC 2002.), iako u praksi to nije slučaj;
- 4) Predložen faktor «okupiranosti» (*occupancy factor*) je konzervativno visok;
- 5) Minimalno rastojanje tehničara za kontrolnom konzolom linearног akceleratora od zida bunkera se procenjuje da je 0.3 m;
- 6) Kad god je teško proceniti dizajn prostorija koje sadrže linearne akceleratore koji koriste posebne procedure, sigurnosne faktore treba množiti sa 1.5;
- 7) Pravilo «dva izvora» (*two-source rule*) se primenjuje kad god postoje različite radijacione komponente koje prolaze kroz istu barijeru. Pravilo kaže da se za debljinu barijere uzima ona vrednost proračuna koji se odnosi na zračenje koje ima veću prodornost (veća debljina barijere). U slučaju da se debljine barijera za dva tipa zračenja razlikuju za više od jednog *TVL* (*tenth value layer*), uzima se barijera veće debljine, a ukoliko su debljine barijera približno jednake, tada na postojeću debljinu date zaštite treba dodati jedan *HVL* (*half value layer*). Ovo pravilo je posebno konzervativno kad se primenjuje na medicinske linearne akceleratore sa dualnom fotonskom energijom.

Konzervativni faktori koji su opisani daju značajnu sigurnost u proceni i dizajnu zaštite od ionizujućeg zračenja koje se upotrebljava u terapijske svrhe (megavoltažna teleterapija). U principu, konzervativni faktori obuhvataju «najgore», odn. «najstrožije» slučajeve vezane za emitovanje datog tipa zračenja i procene debljine fizičkih barijera na osnovu toga, te u slučaju uračunavanja ovih faktora u dizajn zaštite možemo biti sigurni da su pokriveni svi bezbednosni zahtevi.

## 5.2. Zaštitne barijere

U radioterapijskim aplikacijama zračenje se sastoji iz primarne i sekundarne komponente, tzv. primarnog i sekundarnog zračenja (slika 15). *Primarno zračenje*, ili drugim rečima «koristan» snop, je zračenje koje se direktno emituje iz akceleratora. *Primarna barijera* predstavlja barijeru (bočni zid, pod, plafon) na koje se direktno emituje zračenje iz izvora. Svrha primarne barijere je da atenuira koristan snop, kao i bilo koje sekundarno zračenje. *Sekundarno zračenje* se sastoji od rasejanog zračenja koje nastaje u interakciji primarnog zračenja i pacijenta ili drugih objekata, i curenja zračenja (sa glave teleskopskog linearog akceleratora). *Sekundarna barijera* je bočni zid, plafon ili pod na koji pada sekundarno zračenje i ona treba da atenuira sekundarno zračenje do određenog nivoa koji je propisan datim dizajnom.



Slika 15: Primarno i sekundarno zračenje. Primarne i sekundarne barijere.

### 5.2.1. Debljina primarne barijere

Primarne barijere se dizajniraju tako da atenuiraju primarni snop zračenja, kao i sekundarno zračenje koje direktno pada na barijeru. U sekundarno zračenje se ubraja rasejano zračenje primarnog snopa, neutroni stvoreni u fotonuklearnim reakcijama, kao i fotoni nastali zahvatom neutrona.

Za adekvatnu barijeru odnos ekvivalentne doze iza barijere (koja je posledica transmisionog zračenja) i zadatog stepena zaštite (*shielding design goal – P*) treba da bude manji ili jednak od jedinice. Prema tome, transmisioni faktor primarne barijere  $B_{pri}$  koji će radijaciono polje svesti na prihvatljiv nivo je dat jednačinom:

$$B_{pri} = \frac{P \cdot d_{pri}^2}{W \cdot U \cdot T}$$

$P$  je zadati stepen zaštite (*shielding design goal*) koji se izražava u *mSv nedeljno*;

$d_{pri}$  je rastojanje od mete (koja proizvodi X-zračenje) do mesta koje se štiti (npr. do tehničara koji sedi za kontrolnom konzolom medicinskog linearног akceleratora na  $0.3\text{ m}$  od zida – primarne barijere);

$W$  je opterećenje (*workload*), tj. ukupna apsorbovana doza u jednoj nedelji, na rastojanju od  $1\text{ m}$  od mete koja proizvodi X-zračenje i izražava se u *Gy nedeljno*;

$U$  (*use factor*), je frakcija ukupne apsorbovane doze kada je primarni snop usmeren na barijeru na koju se odnosi ceo račun;

$T$  je faktor okupiranosti (*occupancy factor*), tj. faktor koji predstavlja deo radne nedelje koji individua provede iza zaštitne barijere na rastojanju od  $0.3\text{ m}$  (*Table B.1 in Appendix B - NCRP Report No. 151 – Structural shielding design and evaluation for megavoltage X- and gamma-ray radiotherapy facilities*)

Bitno je naglasiti da je  $B_{pri}$  bezdimenziona veličina jer se jedinica za  $W$  može zapisivati i u *mSv nedeljno* iz razloga što je radijacioni težinski faktor za *X* i gama-zračenje jednak jedinici. Takođe, sva rastojanja u jednačinama se dele sa referentnim rastojanjem od  $1\text{ m}$  (odn.  $1\text{ m}^2$ ).

Debljina barijere se stoga može odrediti koristeći *TVL* (*tenth value layer*) vrednosti u zavisnosti od energije i tipa zračenja (koje proizvodi medicinski linak) i materijala barijere. Broj potrebnih *TVL* se izračunava kao:

$$n = -\log(B_{pri})$$

a debljina barijere  $t_{barrier}$  se izračunava kao:

$$t_{barrier} = TVL_1 + (n - 1)TVL_e$$

gde je  $TVL_e$  - vrednost *TVL* ekvilibrijuma, odn. *TVL* u onoj regiji materijala gde je spektralna distribucija i distribucija po pravcima datog zračenja nezavisna od debljine materijala.

### 5.2.2. Debljina sekundarne barijere

Sekundarne barijere se dizajniraju tako da adekvatno štite individue od rasejanog zračenja (uključujući rasejano zračenje o pacijenta i o barijeru) i «curenja» zračenja, kao i neutrona nastalih u fotonuklearnim reakcijama (kod medicinskih linaka maksimalne energije zračenja preko 10 MeV) i fotona koji nastaju usled zahvata neutrona. S obzirom da su komponente rasejanog zračenja različitih energija, za svaku komponentu se računa debljina sekundarne barijere. Transmisioni faktor sekundarne barijere usled rasejanog zračenja (o pacijenta),  $B_{ps}$  se dobija preko jednačine:

$$B_{ps} = \frac{P}{aWUT} d_{sca}^2 d_{sec}^2 \frac{400}{F}$$

$d_{sca}$  - udaljenost mete (koja proizvodi X-zračenje) od pacijenta ili rasejavajućeg objekta u metrima;

$d_{sec}$  - udaljenost od rasejavajućeg objekta do individue iza barijere u metrima;

$a$  – frakcija rasejanja primarnog snopa (o pacijenta) pod određenim uglom (*Table B.4 in Appendix B NCRP Report No. 151 – Structural shielding design and evaluation for megavoltage X- and gamma-ray radiotherapy facilities*);

$F$  – površina polja na polovini APD-a pacijenta u  $cm^2$  na rastojanju FKD od 1 m. Brojna vrednost 400 označava da su frakcije rasejanja normalizovane na površinu zračnog polja od  $20 \times 20 cm^2$ .

U jednačini za transmisioni faktor barijere usled rasejanog zračenja (o pacijenta), faktor  $U$  koji zavisi od ugla gentrija se može se uzeti da je jedinica. Ukoliko se prepostavi da je ugao rasejanja snopa minimalan i ukoliko se uzme da je faktor  $U$  jedinica, tada će debljina sekundarne barijere biti precenjena usled konzervativno visoke frakcije rasejanja na malim uglovima.

Transmisioni faktor sekundarne barijere usled curenja zračenja na glavi medicinskog linaka ( $B_L$ ) je data:

$$B_L = \frac{P \cdot d_L^2}{10^{-3} WUT}$$

U ovoj jednačini faktor  $10^{-3}$  označava pretpostavku da curenje zračenja sa glave medicinskog linaka iznosi 0.1% korisnog snopa. Takođe, i ovde se može uzeti da je  $U$  faktor jedinica dok je  $d_L$  rastojanje od izocentra mašine do sekundarne barijere. I u ovom slučaju se debljina barijere računa pomoću  $TVL$  vrednosti kao što je to opisano i za debljinu primarne barijere. U praksi, račun koji se odnosi na debljinu sekundarne barijere u odnosu na curenje zračenja bi trebalo da bude dovoljna zaštita i za bilo koje rasejano zračenje. U suprotnom slučaju se primenjuje pravilo «dva izvora».

### 5.2.3. Izračunavanje debljina primarnih i sekundarnih barijera (zidova bunkera) za 6 MV - teleterapijski medicinski linearni akcelerator

#### 5.2.3.1. Fizički parametri koji figurišu u jednačinama za izračunavanje debljina primarnih i sekundarnih barijera

$P$  - zadati stepen zaštite (*shielding design goal*) koji se izražava u  $mSv$  nedeljno, a koji figuriše u jednačini za izračunavanje transmisionog faktora primarne barijere iznosi  $0.02\ mSv$  nedeljno (ekvivalentno  $1\ mSv$  godišnje) za nekontrolisane zone zračenja (javna mesta), dok za kontrolisane zone zračenja iznosi  $0.1\ mSv$  nedeljno (ekvivalentno  $5\ mSv$  godišnje).

$W$  - opterećenje (*workload*), tj. ukupna apsorbovana doza u jednoj nedelji za 6 MV medicinski linak, na rastojanju  $1\ m$  od mete koja proizvodi  $X$ -zračenje iznosi  $800\ Gy$  nedeljno (80 pacijenata dnevno,  $2\ Gy$  dnevno po pacijentu u 5 radnih dana).

$d_{pri}$  - rastojanje od mete (koja proizvodi  $X$ -zračenje) do mesta koje se štiti (sa uračunavanjem  $0.3\ m$  od barijere gde se nalazi npr. tehničar koji upravlja kontrolnom konzolom medicinskog linaka) iznosi po proceni  $6\ m$ .

$U$  (*use factor*), frakcija ukupne apsorbovane doze kada je primarni snop usmeren na barijeru na koju se odnosi račun iznosi 0.25 (pod pretpostavkom da se glava linaka podjednako zadržava u položajima  $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$  tokom radnog vremena). Za izračunavanje sekundarnih barijera za  $U$  se uzima da je 1 s obzirom da se radi o rasejanom zračenju.

$T$  (*occupancy factor*), faktor koji predstavlja deo radne nedelje koji individua provede iza zaštitne barijere na rastojanju od  $0.3\ m$  je dat u tabeli 7;

Lokacija	T - faktor
Prostorije u kojima se celo radno vreme nalazi zaposleno osoblje (npr. kontrolna soba medicinskog linaka, soba za planiranje teleterapije, administrativne kancelarije, prostorije za prijem, čekaonice).	1
Uporedna soba za tretman, uporedna soba za pregled pacijenata	1/2
Hodnici	1/5
Vrata bunkera	1/8
Javni toaleti, ostave, spoljašnji prostor (sa mestima za sedenje)	1/20
Spoljašnji prostor (prolazni)	1/40

Tabela 7:  $T$  – faktor; (Table B.7 in Appendix B – NCRP Report No. 151 – Structural shielding design and evaluation for megavoltage X- and gamma-ray radiotherapy facilities)

$d_{sca}$  - udaljenost mete (koja proizvodi X-zračenje) od pacijenta ili rasejavajućeg objekta u metrima se uzima da je 1 m;

$d_{sec}$  - udaljenost od rasejavajućeg objekta do individue iza barijere se uzima na osnovu procene da je 7 m;

$a$  – frakcija rasejanja primarnog snopa (od pacijenta) pod određenim uglom je dato u tabeli 8:

Ugao rasejanja u stepenima	$a$ – Frakcija rasejanja za fotonski 6 MV snop
10	$1.04 \cdot 10^{-2}$
20	$6.73 \cdot 10^{-3}$
30	$2.77 \cdot 10^{-3}$
45	$1.39 \cdot 10^{-3}$
60	$8.24 \cdot 10^{-4}$
90	$4.26 \cdot 10^{-4}$
135	$3.00 \cdot 10^{-4}$
190	$2.87 \cdot 10^{-4}$

Tabela 8:  $a$  – frakcija rasejanja primarnog snopa (o pacijenta) u zavisnosti od ugla za fotonski 6 MV snop (Table B.7 in Appendix B – NCRP Report No. 151 – Structural shielding design and evaluation for megavoltage X- and gamma-ray radiotherapy facilities)

$F$  – površina polja na polovini APD-a pacijenta se uzima da je  $40 \times 40 \text{ cm}^2$  na rastojanju FKD od 1 m. Brojna vrednost 400 označava da su frakcije rasejanja normalizovane na površinu zračnog polja od  $20 \times 20 \text{ cm}^2$ .

$d_L$  – rastojanje od izocentra linaka do sekundarne barijere na osnovu procene iznosi 7 m.

Materijal	$TVL_I$ [cm]	$TVLe$ [cm]
Beton – $2.35 \text{ g/cm}^3$	37	33
Čelik – $7.87 \text{ g/cm}^3$	10	10
Olovo - $11.35 \text{ g/cm}^3$	5.7	5.7

Tabela 9:  $TVL_I$  i  $TVLe$  (za 6 MV fotonski snop) za primarnu barijeru za različite materijale. U proračunu debljine zaštite primarnih i sekundarnih barijera je korišćen materijal – beton, gustine  $2.35 \text{ g/cm}^3$ . (Table B.7 in Appendix B – NCRP Report No. 151 – Structural shielding design and evaluation for megavoltage X- and gamma-ray radiotherapy facilities )

Ugao rasejanja (u stepenima)	TVL [cm]
15	34
30	26
45	23
60	21
90	17
135	15

Tabela 10: TVL za sekundarnu barijeru (za 6 MV snop), za beton, za rasejano zračenje (o pacijenta) pri različitim uglovima rasejanja (Table B.7 in Appendix B – NCRP Report No. 151 – Structural shielding design and evaluation for megavoltage X- and gamma-ray radiotherapy facilities )

TVL <sub>1</sub> [cm]	TVL <sub>e</sub> [cm]
34	29

Tabela 11: TVL sekundarne barijere (za 6 MV snop), za beton, za curenje zračenja; (Table B.7 in Appendix B – NCRP Report No. 151 – Structural shielding design and evaluation for megavoltage X- and gamma-ray radiotherapy facilities )

### 5.2.3.2. Račun

**PRIMER 1.** Za debljinu primarne barijere, spoljašnjeg zida bunkera (van zgrade), gde je verovatnoća da se nađe neko lice mala (prolazni prostor – mala verovatnoća prolaska ili zadržavanja lica, tabela 7) i za ekvivalentnu godišnju dozu od 1 mSv izvan bunkera važi sledeći primer izračunavanja:

$P = 0.02 \text{ mSv nedeljno}$  (ekvivalentno  $1 \text{ mSv godišnje}$ );  $W = 800 \text{ Gy nedeljno}$  (80 pacijenata dnevno, 2 Gy po pacijentu, 5 radnih dana);  $U = 0.25$ ;  $T = 0.025$  (iz tabele 7);  $d_{pri} = 6 \text{ m}$ , i na osnovu jednačine:

$$B_{pri} = \frac{P \cdot d_{pri}^2}{W \cdot U \cdot T},$$

dobijamo da je transmisioni faktor primarne barijere  $B_{pri} = 1.44 \cdot 10^{-4}$ . Na osnovu jednačine za broj TVL:

$$n = -\log(B_{pri})$$

dobijamo da je  $n = 3.842$  i na osnovu jednačine:

$$t_{barrier} = TVL_1 + (n - 1)TVL_e$$

dobijamo da je debljina primarne barijere, tj. spoljašnjeg zida bunkera (iza koga je spoljašnji prolazni prostor  $T = 0.025$ ) i koji atenuira primarni snop zračenja medicinskog linaka tako da je

ekvivalentna doza pojedinca izvan bunkera  $1 \text{ mSv godišnje}$ , odn.  $P = 0.02 \text{ mSv nedeljno}$ , tj. fon iznosi :

$$t_{\text{barrier}} = 131 \text{ cm}$$

**PRIMER 2.** Za debljinu primarne barijere, unutrašnjeg zida bunkera prema kontrolnoj sobi, gde je verovatnoća da se nađe neko lice velika (zaposlena lica provode celo radno vreme u kontrolnoj sobi, tabela 7), i za ekvivalentnu godišnju dozu od  $5 \text{ mSv}$  izvan bunkera (u kontrolnoj sobi linearog medicinskog akceleratora) važi sledeći primer izračunavanja:

$P = 0.1 \text{ mSv nedeljno}$  (ekvivalentno  $5 \text{ mSv godišnje}$ );  $W = 800 \text{ Gy nedeljno}$  (80 pacijenata dnevno, 2 Gy po pacijentu, 5 radnih dana);  $U = 0.25$ ;  $T = 1$  (iz tabele 7);  $d_{\text{pri}} = 6 \text{ m}$ , dobijamo da je transmisioni faktor  $B_{\text{pri}} = 1.8 \cdot 10^{-5}$ ;  $n = 4.745$ ; debljina primarne barijere, tj. unutrašnjeg zida bunkera (prema kontrolnoj sobi koja spada u kontrolisani zonu zračenja gde je  $T = 1$  i  $P = 0.1 \text{ mSv nedeljno}$  što je ekvivalentno  $5 \text{ mSv godišnje}$  izvan bunkera) iznosi:

$$t_{\text{barrier}} = 161 \text{ cm}$$

**PRIMER 3.** Za debljinu primarne barijere, unutrašnjeg zida bunkera prema kontrolnoj sobi, gde je verovatnoća da se nađe neko lice velika (zaposlena lica provode celo radno vreme u kontrolnoj sobi, tabela 7), i za ekvivalentnu godišnju dozu od  $1 \text{ mSv}$  izvan bunkera (u kontrolnoj sobi linearog medicinskog akceleratora) važi sledeći primer izračunavanja:

$P = 0.02 \text{ mSv nedeljno}$  (ekvivalentno  $1 \text{ mSv godišnje}$ );  $W = 800 \text{ Gy nedeljno}$  (80 pacijenata dnevno, 2 Gy po pacijentu, 5 radnih dana);  $U = 0.25$ ;  $T = 1$  (iz tabele 7);  $d_{\text{pri}} = 6 \text{ m}$ , dobijamo transmisioni faktor  $B_{\text{pri}} = 3.6 \cdot 10^{-6}$ ;  $n = 5.444$ ; debljina primarne barijere, tj. unutrašnjeg zida bunkera (prema kontrolnoj sobi koja spada u kontrolisani zonu zračenja gde je  $T = 1$  i  $P = 0.02 \text{ mSv nedeljno}$  što je ekvivalentno  $1 \text{ mSv godišnje}$  izvan bunkera) iznosi:

$$t_{\text{barrier}} = 184 \text{ cm}$$

**PRIMER 4.** Za debljinu sekundarnih barijera, unutrašnjeg zida bunkera prema kontrolnoj sobi, gde je verovatnoća da se nađe neko lice velika (zaposlena lica provode celo radno vreme u kontrolnoj sobi, tabela 7), i za ekvivalentne godišnje doze od  $5 \text{ mSv}$  i  $1 \text{ mSv}$  izvan bunkera (u kontrolnoj sobi linearog medicinskog akceleratora), važi sledeći primer izračunavanja:

$P_1 = 0.1 \text{ mSv nedeljno}$  (ekvivalentno  $5 \text{ mSv godišnje}$ );  $P_2 = 0.02 \text{ mSv nedeljno}$  (ekvivalentno  $1 \text{ mSv godišnje}$ );  $W = 800 \text{ Gy nedeljno}$  (80 pacijenata dnevno, 2 Gy po pacijentu, 5 radnih dana);  $U = 0.25$ ;  $a = 2.77 \cdot 10^{-3}$  (Tabela 8);  $F = 40 \times 40 \text{ cm}^2$ ;  $T = 1$ ;  $d_{\text{sca}} = 1 \text{ m}$ ;  $d_{\text{sec}} = 7 \text{ m}$ ;  $d_L = 7 \text{ m}$ ; i na osnovu jednačine:

$$B_{ps} = \frac{P}{aWUT} d_{sca}^2 d_{sec}^2 \frac{400}{F}$$

dobijamo da su transmisioni faktori sekundarnih barijera usled rasejanog zračenja:  $B_{ps1} = 2.21 \cdot 10^{-3}$  i  $n_1 = 2.655$  (za ekvivalentnu dozu od 5 mSv godišnje izvan bunkera) i  $B_{ps2} = 4.42 \cdot 10^{-4}$  i  $n_2 = 3.355$  (za ekvivalentnu dozu od 1 mSv godišnje izvan bunkera). Prema tome, debljine sekundarnih barijera u odnosu na rasejano zračenje o pacijenta iznose:

$$t_{scal} = 69 \text{ cm} \text{ (ekvivalentna doza od 5 mSv godišnje izvan bunkera)}$$

$$t_{sca2} = 87 \text{ cm} \text{ (ekvivalentna doza od 1 mSv godišnje izvan bunkera)}$$

Na osnovu jednačine za debljinu sekundarne barijere u odnosu na curenje zračenja sa glave medicinskog linaka:

$$B_L = \frac{P \cdot d_L^2}{10^{-3} WUT}$$

dobijamo da su transmisioni faktori sekundarnih barijera usled curenja zračenja  $B_{L1} = 6.125 \cdot 10^{-3}$ ,  $n_1 = 2.213$  (za ekvivalentnu dozu od 5 mSv godišnje izvan bunkera) i  $B_{L2} = 1.225 \cdot 10^{-3}$  i  $n_2 = 2.91$  (za ekvivalentnu dozu od 1 mSv godišnje izvan bunkera). Prema tome, debljine sekundarnih barijera u odnosu na curenje zračenja (gde se uzima da je  $U = 1$ ) iznose:

$$t_{L1} = 69 \text{ cm} \text{ (ekvivalentna doza od 5 mSv godišnje izvan bunkera)}$$

$$t_{L2} = 89 \text{ cm} \text{ (ekvivalentna doza od 1 mSv godišnje izvan bunkera)}$$

S obzirom da su **debljine sekundarnih barijera** u odnosu na rasejano zračenje (o pacijenta) i curenje zračenja jednake (odn. približno jednake), iskoristićemo pravilo «dva izvora» i dodaćemo jedan  $HVL$  na postojeće debljine sekundarnih barijera (koristeći činjenicu da je  $HVL = 0.301 TVL$ ) tako da dobijamo sledeće debljine sekundarnih barijera:

$$t_{TOT1} = 79 \text{ cm} \text{ (ekvivalentna doza od 5 mSv godišnje izvan bunkera);}$$

$$t_{TOT2} = 99 \text{ cm} \text{ (ekvivalentna doza od 1 mSv godišnje izvan bunkera)}$$

## **PRIMER 5.**

Ukoliko je *TBI* (*Total Body Irradiation*) tretman deo kliničke prakse, tada se posebna pažnja mora obratiti na mere zaštite od ionizujućeg zračenja (proračun debljina primarne i sekundarnih barijera). U tom slučaju, apsorbovana doza u izocentru linaka je značajno veća od slučajeva konvencionalne terapije s obzirom da se u *TBI* tretmanu koriste dosta veća rastojanja (od glave linaka do pacijenta). Takođe, apsorbovana doza na rastojanju 1 m od glave linaka koje potiče od curenja zračenja je takođe veća za *TBI* tretmane, ali se i razlikuje od apsorbovane doze u izocentru u odnosu na rasejano zračenje (o pacijenta ili zidove bunkera) prilikom konvencionalnih tretmana. Apsorbovana doza u izocentru linaka prilikom *TBI* tretmana je jednaka proizvodu apsorbovane doze u pacijentu i kvadrata rastojanja pacijenta od izocentra linaka ( $FKD = 1 \text{ m}$ ):

$$W_{TBI} = D_{TBI} \cdot d_{TBI}^2$$

Ukoliko se u toku jedne nedelje jednom pacijentu u okviru *TBI* tretmana preda doza od 12 Gy na rastojanju 4 m od mete koja proizvodi X-zračenje, tada apsorbovana doza na udaljenosti 1 m od glave akceleratora iznosi 192 Gy nedeljno. Ovaj doprinos apsorbovane doze u izocentru u slučaju *TBI* tretmana različito utiče na račun fizičke zaštite od ionizujućeg zračenja (primarne i sekundarnih barijera). Ukoliko se u kliničkoj praksi vrše samo konvencionalni i *TBI* tretmani, tada se povećava apsorbovana doza u izocentru linaka tako da se u računu za zaštitu od ionizujućeg zračenja pomoću fizičkih barijera (betonskih zidova) menja ukupni transmisioni faktor na sledeći način:

$$B_{pri}^{TBI} = \frac{P \cdot d_{pri}^2}{(0.25 \cdot W + W_{TBI}) \cdot T}$$

gde je  $B_{pri}^{TBI}$  transmisioni faktor primarne barijere iza koje se nalazi linearни medicinski akcelerator koji se u kliničkoj praksi koristi samo u svrhe konvencionalnih i *TBI* tretmana. Takođe, na isti način se može dobiti i transmisioni faktor sekundarne barijere usled rasejanog zračenja o pacijenta:

$$B_{ps}^{TBI} = \frac{P}{a(0.25 \cdot W + W_{TBI})T} d_{sca}^2 d_{sec}^2 \frac{400}{F}$$

gde je  $B_{ps}^{TBI}$  transmisioni faktor sekundarne barijere (usled rasejanog zračenja o pacijenta) iza koje se nalazi linearni medicinski akcelerator koji se u kliničkoj praksi koristi samo u svrhu konvencionalnih i *TBI* tretmana.

Međutim, račun za transmisioni faktor sekundarne barijere usled curenja zračenja se razlikuje od prethodnih. S obzirom da apsorbovana doza usled curenja zračenja ne zavisi od položaja gentrija linaka, „use“ faktor ( $U$ ) ima vrednost 1. Dakle, izraz za transmisioni faktor sekundarne barijere usled curenja zračenja se može zapisati kao:

$$B_L^{TBI} = \frac{P \cdot d_L^2}{10^{-3} (W + W_{TBI}) \cdot T}$$

gde je  $B_L^{TBI}$  transmisioni faktor sekundarne barijere usled curenja zračenja.

Ukoliko prepostavimo da za sve vrste barijera važi sledeće:

$P = 0.02 \text{ mSv nedeljno}$  (ekvivalentno  $1 \text{ mSv godišnje}$ );  $W = 800 \text{ Gy nedeljno}$  (80 pacijenata dnevno, 2 Gy po pacijentu, 5 radnih dana);  $W_{TBI} = 192 \text{ Gy nedeljno}$  (1 TBI pacijent nedeljno – 12 Gy);  $d_{pri} = 6 \text{ m}$ ;  $T = 1$ ;  $a = 2.77 \cdot 10^{-3}$  (Tabela 8);  $F = 40 \times 40 \text{ cm}^2$ ;  $d_{sca} = 1 \text{ m}$ ;  $d_{sec} = 7 \text{ m}$ ;  $d_L = 7 \text{ m}$ , dobijamo sledeće rezultate:

$$B_{pri}^{TBI} = 1.84 \cdot 10^{-6} \text{ i } n_{pri}^{TBI} = 5.736;$$

$$B_{ps}^{TBI} = 2.26 \cdot 10^{-4} \text{ i } n_{ps}^{TBI} = 3.647;$$

$$B_L^{TBI} = 9.88 \cdot 10^{-4} \text{ i } n_L^{TBI} = 3.005$$

Na osnovu dobijenih vrednosti za transmisione faktore primarnih i sekundarnih barijera, koristeći  $TVL$  vrednosti dobijamo sledeće vrednosti debljina zidova bunkera u kome se nalazi linearни medicinski akcelerator koji se u kliničkoj praksi koristi samo u svrhe konvencionalnih i  $TBI$  tretmana:

$$t_{pri}^{TBI} = 193 \text{ cm (TBI, primarna barijera, 1 mSv)}$$

$$t_{ps}^{TBI} = 94 \text{ cm (TBI, sekundarna barijera – „patient scatter“, 1 mSv)}$$

$$t_L^{TBI} = 92 \text{ cm (TBI, sekundarna barijera – „leakage“, 1 mSv)}$$

Dobijene vrednosti za debljinu zidova primarnih i sekundarnih barijera su računate na osnovu pretpostavke da se iza zida nalazi kontrolna soba linearnog akceleratora u kojoj celo radno vreme borave zaposleni radnici ( $T = 1$ ).

S obzirom da su debljine sekundarnih barijera u odnosu na rasejano zračenje (o pacijenta) i curenje zračenja jednake (odn. približno jednake), iskoristićemo pravilo «dva izvora» i dodaćemo jedan  $HVL$  na postojeću debljinu sekundarne barijere (koristeći činjenicu da je  $HVL = 0.301 \text{ TVL}$ ) i tako da dobijamo ukupnu debljinu sekundarne barijere prilikom konvencionalnih i  $TBI$  tretmana:

$$t_{secTOT}^{TBI} = 104 \text{ cm (TBI, ukupna debljina sekundarne barijere, 1 mSv)}$$

Ukoliko su *IMRT* (*Intensity-Modulated Radiation Therapy*) tretmani deo kliničke prakse, tada se broj izračenih monitorskih jedinica (tj. vreme zračenja) po pacijentu znatno povećava usled korišćenja „*multileaf*“ kolimatora i velikog broja malih polja u odnosu na konvencionalnu terapiju za istu apsorbovanu dozu u pacijentu. Odnos broja monitorskih jedinica pri *IMRT* i konvencionalnim tretmanima za istu apsorbovanu dozu u pacijentu se naziva *IMRT* faktor - *C*. Vrednosti *IMRT* faktora se mogu kretati od 2 do 10. Povećanje broja monitorskih jedinica pri *IMRT* tretmanima ne povećava značajno „*workload*“ tj. opterećenje na primarnu barijeru ili sekundarnu barijeru (usled rasejanja zračenja o pacijenta). To se dešava zbog toga što su apsorbowane doze u pacijentu prilikom *IMRT* i konvencionalnih tretmana približno iste. Međutim, doprinos opterećenju na sekundarne barijere usled curenja zračenja je značajno veće i približno odgovara vrednosti *IMRT* faktora. Stoga se može postaviti jednačina za dobijanje transmisionog faktora sekundarne barijere usled curenja zračenja prilikom *IMRT* tretmana (ukoliko prepostavimo da se svi pacijenti podvrgavaju *IMRT* tretmanu i pod prepostavkom da je *IMRT* faktor konzervativno visok, tj. uzima vrednost 10):

$$B_L^{IMRT} = \frac{P \cdot d_L^2}{10^{-3} (W \cdot C) \cdot U \cdot T}$$

gde je  $B_L^{IMRT}$  - transmisioni faktor sekundarnih barijera za curenje zračenja prilikom *IMRT* tretmana, a *C* - *IMRT* faktor.

Ukoliko prepostavimo da za sekundarne barijere usled curenja zračenja pri *IMRT* tretmanu važi sledeće:

$P = 0.02 \text{ mSv nedeljno}$  (ekvivalentno  $1 \text{ mSv godišnje}$ );  $W = 800 \text{ Gy nedeljno}$  (80 pacijenata dnevno, 2 Gy po pacijentu, 5 radnih dana);  $T = 1$ ;  $U = 1$ ;  $d_L = 7 \text{ m}$ ,  $C = 10$  i svi pacijenti su tretirani sa *IMRT* metodom; dobijamo sledeće rezultate:

$$B_L^{IMRT} = 1.23 \cdot 10^{-3};$$

$$n_L^{IMRT} = 3.912;$$

$$l_{L+P}^{IMRT} = 118 \text{ cm } (IMRT, \text{ sekundarna barijera, „leakage“, } 1 \text{ mSv})$$

Dobijena vrednost za debjinu zida sekundarne barijere usled curenja zračenja pri *IMRT* tretmanu je računata na osnovu prepostavke da se iza zida nalazi kontrolna soba linearnog akceleratora u kojoj celo radno vreme borave zaposleni radnici.

## 6. ZAKLJUČAK

Internacionalni Osnovni Bezbednosni Standardi za zaštitu od jonizujućeg zračenja i bezbednost radijacionih izvora (*International Basic Safety Standards - BSS*) predstavljaju praktični vodič za zaštitu od jonizujućeg zračenja i služe svim licima i ustanovama koje se dovode posredno ili neposredno u vezu sa jonizujućim zračenjem.

Standardi pokrivaju širok spektar primena radijacionih izvora, stoga su i napisani u opšnjem obliku što znači da zahtevi za zaštitu od jonizujućeg zračenja treba da budu primenjeni na različit način u različitim praksama. Oni ne iziskuju nikakvu obavezu prema državama da prilagode svoje zakone njima, niti imaju namenu da zamene odredbe nacionalnih zakona i regulativa. Autoritet Standarda proizilazi iz podrške sledećih organizacija: *IAEA, FAO, ILO, PAHO, WHO, OECD/NEA* itd.

Informacije koje se nalaze u Standardima su dobijene opsežnim istraživanjem naučnih organizacija na nacionalnom i internacionalnom nivou u vezi sa zdravstvenim efektima indukovanim upotrebom jonizujućeg zračenja.

Standardi implicitno ohrabruju donošenje odluka u vezi sa procenom značaja različitih rizika koji se javljaju od jonizujućeg zračenja i ohrabruju donošenje odluka u vezi sa balansiranjem između rizika i eventualne dobiti primenom jonizujućeg zračenja.

Svrha Standarda je da ustanovi zahteve za zaštitu od jonizujućeg zračenja i sigurnost radijacionih izvora. Standardi se ograničavaju na davanje detaljnog opisa zahteva za zaštitu od jonizujućeg zračenja i nekih uputstava kako da se oni primene. Generalno uputstvo za primenu zahteva Standarda se nalazi u publikacijama organizacija koje su podržale Standarde, a dalja uputstva se mogu razvijati po potrebi iz iskustva dobijenih primenom Standarda.

Prezentovan rad je fokusiran, pre svega, na praktičnu primenu uputstava i zahteva Standarda u kliničkoj praksi na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici koji između ostalog, obuhvataju ličnu dozimetriju, monitoring radnog okruženja, zdravstveni monitoring, planiranje radioterapije, procedure kontrole kvaliteta radioterapijskih uređaja (QA i QC), dizajn i procenu zaštite bunkera linearnih akceleratora i sl. Cilj rada je bio predstavljanje kvaliteta i stepena zaštite od jonizujućeg zračenja na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici, njihovo upoređivanje sa relevantnim zahtevima Standarda kao i sa domaćim zakonom, kao i davanje detaljnih praktičnih uputstava u vezi sa zaštitom od jonizujućeg zračenja. Takođe, rad ukazuje i na buduće procedure koje se mogu uvesti primenom Standarda, a koje iz određenih razloga (uglavnom finansijskih) ne postoje u sadašnjoj kliničkoj praksi.

# 7. PRILOG



***Radni list Br. 2***  
**OBRAČUN ABSORBOVANE DOZE U VODI**  
**VISOKOENERGETSKIH FOTONSKIH POLJA**

Korisnik: Institut za onkologiju Sremska Kamenica

Datum: 06.01.2010

**1. Ionizaciona komora i elektrometar**

Model ionizacione komore:	FC65-G	S/N:	2300452
Zid komore materijal:	grafit	debljina:	0,068 (g cm <sup>-2</sup> )
Zid rukavca materijal:	PMMA	debljina:	0,357 (g cm <sup>-2</sup> )
Kalibracioni faktor apsorbovane doze za vodu za $\gamma$ :	$N_{D,W}$ = 4,840	(cGy/nC)	
Kalibraciona laboratorija:	SZMMDM, Beograd	Datum:	14. 03.2005
Model elektrometra:	Wellhofer DOSE 1	S/N:	7392

**2. Terapijski uređaj i karakteristike zračnog snopa**

Uređaj:	LINAC 2 Mevatron 7445	
Nominalni fotonska energija: (MeV, MV)	0,6X	10X
Kvalitet zračnog polja, Q (TPR <sub>20,10</sub> ):	0,661	0,731
Dubina maksimuma z <sub>max</sub> :	1,5	2,5
Referentna dubina z <sub>ref</sub> : (g cm <sup>-2</sup> )	10	10
Referentno polje: (cm x cm)	10 x 10	10 x 10
FKD rastojanje: (cm)	100	100

**3. Očitavanja sa elektrometra (nC)**

(+ 300 V)	M <sub>1</sub> =	
t = 1 min (100 MJ) (+ 300 V)	M <sub>2</sub> =	
(- 300 V)	M <sub>3</sub> =	
(- 300 V)	M <sub>4</sub> =	
(- 100 V)	M <sub>5</sub> =	
Srednja vrednost očitavanja (nC):	M <sup>0</sup> =	0,00      0,00

**4. Uslovi merenja i korekcije**

(i) k <sub>T,p</sub> P = (kPa)	T = (°C)	k <sub>T,p</sub> = 101,3(273,2+T)/P(273,2+20) =	#DIV/0!
(ii) Kalibracioni faktor elektrometra:		k <sub>elec</sub> =	1,000
(iii) Korekcija na polaritet k <sub>pol</sub> = ( M <sub>1</sub>   +  M <sub>2</sub>  )/2M =			
(iv) Kor. na rekombinaciju k <sub>c</sub> = a <sub>1</sub> +a <sub>2</sub> (M <sub>1</sub> /M <sub>2</sub> )+a <sub>3</sub> (M <sub>1</sub> /M <sub>2</sub> ) <sup>2</sup> =			
Sa korekcijama: M = M <sup>0</sup> k <sub>T,p</sub> k <sub>elec</sub> k <sub>pol</sub> k <sub>c</sub> k <sub>L</sub> =			

**5. Absorbovana doza u vodi pod referentnim uslovima**

PDD(z <sub>ref</sub> ) =	67,7	74,5
k <sub>QZL</sub> =	0,994	0,987
D <sub>0</sub> (z <sub>ref</sub> ) = M N <sub>D,W</sub> k <sub>QZL</sub> / t =		
D <sub>0</sub> (z <sub>max</sub> ) = (D <sub>0</sub> (z <sub>ref</sub> ) 100)/PDD =		
$\delta$ = (D <sub>0</sub> - D <sub>0,max</sub> )/D <sub>0</sub> 100 =		
Za 100 MJ (1 min) M <sup>0</sup> treba da bud M <sup>0</sup> =	#DIV/0!	#DIV/0!

Odgovorni fizičar:

|      |      |      |      |      |      |      |

Prilog 1: Apsolutna dozimetrija – dozimetrijski protokol za medicinski linearni akcelerator «MEVATRON MD 7445» uključujući referentne vrednosti ukupnog naielktrisanja stvorenog u ionizacionoj komori, za dati pritisak i temperaturu.

	INSTITUT ZA ONKOLOGIJU U SREMSKOJ KAMENICI Sremska Kamenica	
	ZAVOD ZA RADIOLOSKU TERAPIJU	
	ZAPISNIK RELATIVNE DOZIMETRIJE	Strana: 3 od 4

Redni broj zapisnika: \_\_\_\_\_

Datum merenja: \_\_\_\_\_

**1. Dozimetri koji se koriste pri merenju:**

- merni komplet »Wellhofer - Blue Phantom« za analizu zračnog polja, a prema protokolu proizvođača Varian.

**2. Napomene:**

Relativna dozimetrija je rađena nakon popravke aparata dana \_\_\_\_\_. Po podešenim parametrima snopa zračenja, merene vrednosti su analizirane sa standardnih skenova na kompjuteru, a rezultati merenja su priloženi sledećim tabelama:

**LINAC 3 "VARIAN CLINAC 2100C"****FOTONI**

Nominalna energija (MV) X	06 X	15 X
100 % PDD na cm (Doz. odst.)	(1,6 ± 0,2)	(2,9 ± 0,2)
% PDD na 10 cm (Doz. odstup.)	(67 ± 2)	(77 ± 2)
Odnos ionizacije $I_{10}/I_{10}$ (Tipična)	(1,70)	(1,53)
Simetrija in plane (%) (D. od.)	(≤ 2 %)	(≤ 2 %)
Flatnes in plane (%) (D. od.)	(± 3 %)	(± 3 %)
Simetrija cross plane (%) (D. od.)	(≤ 2 %)	(≤ 2 %)
Flatnes cross plane (%) (D. od.)	(± 3 %)	(± 3 %)

**ELEKTRONI**

Nom. energija (MeV)e	06 e	09 e	12 e	16 e	20 e
100 % PDD na (cm)	(1,40)	(2,10)	(2,90)	(3,10)	(2,60)
80 % PDD na (cm)					
Dozvoljeno odstupanje	1,90 ± 0,2	2,95 ± 0,2	4,15 ± 0,2	5,45 ± 0,2	6,55 ± 0,2
50 % PDD na (cm)	2,40 ± 0,2	3,6 ± 0,2	4,80 ± 0,2	6,40 ± 0,2	8,00 ± 0,2
30 % PDD na (cm)					
Dozvoljeno odstupanje	≤ 2,60	≤ 3,90	≤ 5,40	≤ 7,30	≤ 9,30
Rp na (cm)					
Stvarna energija (MeV) 80 %					
50 %					
Rp					
(IAEA) E <sub>p0</sub>					
(IAEA) E <sub>0</sub>					
Simetrija in plane (%) (Doz. od.)	(≤ 2 %)	(≤ 2 %)	(≤ 2 %)	(≤ 2 %)	(≤ 2 %)
Flatnes in plane (%) (Doz. od.)	(± 5 %)	(± 5 %)	(± 5 %)	(± 5 %)	(± 5 %)
Simetrija cross plane (%) (Doz. od.)	(≤ 2 %)	(≤ 2 %)	(≤ 2 %)	(≤ 2 %)	(≤ 2 %)
Flatnes cross plane (%) (Doz. od.)	(± 5 %)	(± 5 %)	(± 5 %)	(± 5 %)	(± 5 %)

MERIO:	VERIFIKOVAO:
--------	--------------

RT 04.0-06

Izdanie 2

Prilog 2: Relativna dozimetrija – dozimetrijski protokol za medicinski linearni akcelerator «VARIAN CLINAC 2100C» uključujući referentne vrednosti i odstupanja pojedinih pararetrara.

## **LITERATURA**

1. A. Gerbaulet, R. Potter, J.J. Mazeron, H. Meertens, E. Van Limbergen (2002.): **The GEC ESTRO Handbook of Brachytherapy**
2. A. Kaul, D. Becker (2005.): **Radiological Protection**
3. Faiz M. Khan (2003.): **Physics of Radiation Therapy**
4. Gad Shani (2001.): **Radiation Dosimetry**
5. Gunilla C. Bentel (1992.): **Radiation Therapy Planning**
6. H.E. Johns, J.R. Cunningham (1983.): **The Physics of Radiology**
7. IAEA TRS-398 (2000.): **Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practise for Dosimetry based on Standards of Absorbed Dose to Water**
8. IAEA-SAFETY SERIES No.115 (2003.): **International Basic Safety Standards for Protection against ionizing Radiations and for the Safety of Radiations Sources**
9. IAEA Training Material-Regional Workshop (2008.) on: "**Regulatory Control of Radiation Safety and Security of Radioactive Sources in Medical and Industrial practise**", Lithuania, Vilnius
10. ICRU REPORT 50 (1993.): **Propisivanje, zapisivanje i izveštavanje fotonske zračne terapije**
11. Institut za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici: **Procedura u slučaju akcidentne situacije (Brahiterapija)**
12. J.R. Greening (1981.): **Fundamentals of Radiation Dosimetry**
13. J. Sabol, P.S. Weng (1995.): **Radiation Protection Dosimetry**
14. Laza Rutonjski, Zoran Kuzmanović, Milutin Baucal, Borislava Petrović, Milan Teodorović (2008.): **The Quality assurance of Varian enhance dynamic wedges using Daily QA Check 2**
15. NCRP REPORT No.151 (2005.): **Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X-andGama-Ray Radiotherapy Facilities**
16. P. Mayels, A. Nohum, J.C. Rosenwald (2007.): **Handbook of Radiotherapy Physics**

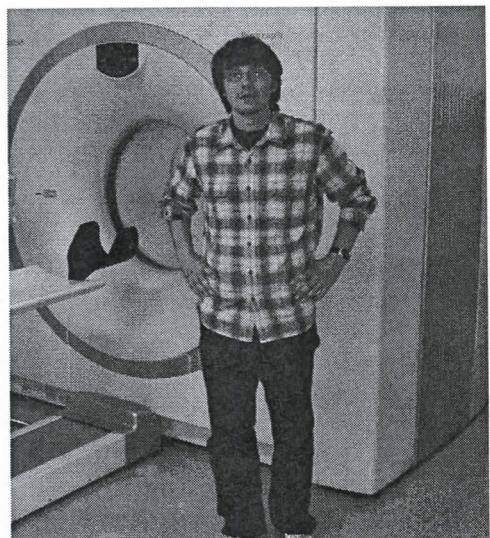
17. Scanditronix-Wellhofer (2001.): **The Blue Phantom Manual**
18. S.F.Kray, R.M.Howell, J.Polf, R.Mohan, O.N.Vassiliev (2009.): **Treatment vault shielding for a flattening filter-free medical linear accelerator**
19. **Zakon o zaštiti od ionizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti, „Službeni Glasnik RS”, br. 36/09, 2009.**
20. <http://www.iaea.org>
21. <http://www.nauka.gov.rs>
22. <http://www.varian.com>

## Biografija:

Rođen sam u Beogradu, 3. decembra 1983. godine. Pohađao sam osnovnu školu "Đura Daničić" u Novom Sadu (1990-1998.) Školovanje sam nastavio u novosadskoj gimnaziji "Jovan Jovanović Zmaj" (1998-2002.) Na jesen 2002. upisao sam prvu godinu studija na Departmanu za fiziku, Prirodno-matematičkog fakulteta, Univerziteta u Novom Sadu.

Godine 2008. diplomirao sam na departmanu za fiziku, smer - medicinska fizika braneći diplomski rad – «Pozitronska Emisiona Tomografija – Detekcioni sistem i dnevna kontrola kvaliteta na „Institutu za onkologiju, Sremska Kamenica» pod mentorstvom Prof. dr Miroslava Veskovića.

Od decembra 2008. do februara 2010. godine sam volontirao na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici u sklopu praktičnog rada na master studijama u centru za planiranje radioterapije, zavodu za radijacionu terapiju pod supervizijom kvalifikovanog medicinskog fizičara – specijaliste Borislave Petrović. Od februara 2010. sam zaposlen na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici.



Bio sam učesnik sledećih međunarodnih konferencija i kurseva:

- \* “International Conference for Physics Students”, izlagao rad na temu “*Audiometry*”, Koimbra, Portugal, 2005. godine;
- \* “International Conference for Physics Students”, izlagao rad na temu “*Aquaterm Precision System*”, Bukurešt, Rumunija, 2006. godine;
- \* “International Conference for Physics Students”, izlagao rad na temu “*PET – detektorski sistem*”, London, Velika Britanija, 2007. godine.
- \* “International Conference for Physics Students”, učesnik konferencije, Krakov, Poljska 2008.
- \* “IAEA Regional Workshop on «Regulatory Control of Radiation Safety and Security of Radioactive sources in Medical and Industrial practice» (Litvanija, Vilnius 2-28. Novembra 2008.)

UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

<i>Redni broj:</i> <b>RBR</b>	
<i>Identifikacioni broj:</i> <b>IBR</b>	
<i>Tip dokumentacije:</i> <b>TD</b>	Monografska dokumentacija
<i>Tip zapisa:</i> <b>TZ</b>	Tekstualni štampani materijal
<i>Vrsta rada:</i> <b>VR</b>	Master rad
<i>Autor:</i> <b>AU</b>	Borko Basarić
<i>Mentor:</i> <b>MN</b>	Prof. dr Miroslav Vesković
<i>Naslov rada:</i> <b>NR</b>	«Praktična uputstva za zaštitu od ionizujućeg zračenja prema BSS (Basic Safety Standards) - primena u kliničkoj praksi na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici»
<i>Jezik publikacije:</i> <b>JP</b>	srpski (latinica)
<i>Jezik izvoda:</i> <b>JI</b>	srpski/engleski
<i>Zemlja publikovanja:</i> <b>ZP</b>	Srbija
<i>Uže geografsko područje:</i> <b>UGP</b>	Vojvodina
<i>Godina:</i> <b>GO</b>	2010.
<i>Izdavač:</i> <b>IZ</b>	Autorski reprint
<i>Mesto i adresa:</i> <b>MA</b>	Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad
<i>Fizički opis rada:</i> <b>FO</b>	4/79/25/7/46
<i>Naučna oblast:</i> <b>NO</b>	Zaštita od ionizujućeg zračenja
<i>Naučna disciplina:</i> <b>ND</b>	Nuklearna fizika / Osnove radijacione terapije
<i>Predmetna odrednica/ ključne reči:</i> <b>PO</b>	Zaštita od ionizujućeg zračenja, BSS (Basic Safety Standards), Institut za onkologiju Vojvodine, radijaciona ekspozicija
<i>UDK:</i> <b>ČU</b>	
<i>Čuva se:</i> <b>ČU</b>	Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu
<i>Važna napomena:</i> <b>VN</b>	nema
<i>Izvod:</i> <b>IZ</b>	U radu je akcenat stavljen na praktična uputstva i zahteve u zaštiti od ionizujućeg zračenja prema IAEA BSS (Basic Safety Standards) i primenu tih uputstava i zahteva i kliničkoj praksi na Institutu za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici

<b>Datum prihvatanja teme od NN veća: DP</b>	18.02.2010.
<b>Datum odrbrane: DO</b>	17.03.2010.
<b>Članovi komisije: KO</b>	Prof. dr Miroslav Vesković, Doc. dr Nataša Todorović, Doc. dr Olivera Klisurić
<b>Predsednik:</b>	Doc. dr Olivera Klisurić
<b>član:</b>	Prof. dr Miroslav Vesković
<b>član:</b>	Doc. dr Nataša Todorović

UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

<i>Accession number:</i> <b>ANO</b>	
<i>Identification number:</i> <b>INO</b>	
<i>Document type:</i> <b>DT</b>	Monograph publication
<i>Type of record:</i> <b>TR</b>	Textual printed material
<i>Content code:</i> <b>CC</b>	Final paper / master
<i>Author:</i> <b>AU</b>	Borko Basarić
<i>Mentor/comentor:</i> <b>MN</b>	Prof. dr Miroslav Vesović
<i>Title:</i> <b>TI</b>	Practical guidance on radiation protection according to BSS (Basic Safety Standards) – implementation in clinical practice on the Institute of oncology in Sremska Kamenica
<i>Language of text:</i> <b>LT</b>	Serbian (Latin)
<i>Language of abstract:</i> <b>LA</b>	English
<i>Country of publication:</i> <b>CP</b>	Serbia
<i>Locality of publication:</i> <b>LP</b>	Vojvodina
<i>Publication year:</i> <b>PY</b>	2010.
<i>Publisher:</i> <b>PU</b>	Author's reprint
<i>Publication place:</i> <b>PP</b>	Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad
<i>Physical description:</i> <b>PD</b>	4/79/25/7/46
<i>Scientific field:</i> <b>SF</b>	Radiation protection
<i>Scientific discipline:</i> <b>SD</b>	Nuclear physics / Radiation therapy
<i>Subject/ Key words:</i> <b>SKW</b> <b>UC</b>	Radiation protection, BSS (Basic Safety Standards), Institut of oncology in Sremska Kamenica, radiation exposure
<i>Holding data:</i> <b>HD</b>	Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4
<i>Note:</i> <b>N</b>	none
<i>Abstract:</i> <b>AB</b>	Final paper focuses on practical guidance and principal requirements on radiation protection according to IAEA BSS (Basic Safety Standards) and its' implementation in clinical practice on the Institute of oncology in Sremska Kamenica

<i>Accepted by the Scientific Board:</i>	18.02.2010.
<b>ASB</b>	
<i>Defended on:</i>	17.03.2010.
<b>DE</b>	
<i>Thesis defend board:</i>	Prof. dr Miroslav Vesković, Doc. dr Nataša Todorović, Doc. dr Olivera Klisurić
<b>DB</b>	
<i>President:</i>	Doc. dr Olivera Klisurić
<i>Member:</i>	Prof. dr Miroslav Vesković
<i>Member:</i>	Doc. dr Nataša Todorović

