



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU

Procena efikasnosti zaštitnih barijera kod CT aparata GE Revolution EVO 128

-master rad-

Kandidat: Milica Kmezić

Mentor: dr Jovana Nikolov

Novi Sad, avgust 2023.

Zahvaljujem se svom mentoru dr Jovani Nikolov na nepresušnom izvoru informacija, savetima oko izrade i pisanja rada kao i izvanrednoj međusobnoj komunikaciji bez kojih ovaj rad ne bi bio izvodljiv. Ovom prilikom bih želela da se zahvalim kolegama iz laboratorije X-ray Košutić Ekoteh dozimetrija na ustupljenim izveštajima.

Izuzetno sam zahvalna svom suprugu Bojanu i našoj ćerki Đurđini, čija mi je pomoć, podrška i saradnja omogućila da se popnem na jednu stepenicu više u svom obrazovanju.

Abstract

This master's thesis examines the effectiveness of protective barriers in 17 different institutions where are GE Revolution EVO 128 CT devices in Serbia. The research aims to assess the efficiency of calculated protective barriers based on data about the rooms housing these CT devices (dimensions, barrier thickness) as well as ambient equivalent dose data measured at multiple locations around the CT rooms. The objective is to evaluate how effective the calculated protective barriers are and to what extent the CT equipment operator is safe in the control area. All reports regarding the conducted dosimetric controls and information about the rooms were obtained from an accredited laboratory, X-ray Košutić - Ekoteh Dosimetry. The annual occupational dose was calculated based on ambient dose equivalent values at the operator's location. Overestimated values for the number of exposures per day, exposure duration, and the number of working days per year were used in the calculations to ensure obtaining a maximal annual occupational dose for workers in each institution. The study compares the values of ambient dose equivalents at the control room doors as well as in waiting rooms or corridors. By calculating and comparing the annual occupational doses of workers for the CT equipment, it was concluded that the efficiency of protective barriers in Serbia's CT room environments is very well implemented. In other words, all annual occupational doses for workers are significantly below the legally regulated limit.

Abstrakt

Ovaj master rad ispituje efikasnost zaštitnih barijera u 17 različitih institucija u prostorijama u kojima se nalaze CT aparati tipa GE Revolution EVO 128 u Srbiji. Cilj istraživanja je bio da se na osnovu podataka o samim prostorijama u kojima su pomenuti CT uređaji smešteni (dimenzija, debljina zaštitnih barijera) kao i podataka o ambijentalnom ekvivalentu doze izmerenom na više lokacija oko prostorija sa CT uređajima proceni koliko su efikasne proračunate zaštitne barijere i da li je i u kojoj meri operater CT aparatom bezbedan na mestu rukovaoca. Svi izveštaji o sprovedenoj dozimetrijskoj kontroli kao i podaci o samim prostorijama dobijeni su od akreditovane laboratorije, X-ray Košutić - Ekoteh dozimetrija. Na osnovu podataka o ambijentalnim doznim ekvivalentima na mestu rukovaoca računata je godišnja okupaciona doza. U računu su za vrednosti broja ekspozicija u danu, vreme trajanja ekspozicija i broj radnih dana u godini uzete precenjene vrednosti, kako bi se sa velikom sigurnošću dobila maksimalna godišnja okupaciona doza radnika u svakoj od institucija. U radu su upoređene vrednosti ambijentalnih doznih ekvivalenata na vratima komandne sobe kao i vrednosti ambijentalnih doznih ekvivalenata u čekaonicama odnosno hodnicima. Računanjem i poređenjem godišnjih okupacionih doza radnika za CT aparatom, zaključeno je da se efikasnost zaštitnih barijera u Srbiji u prostorijama CT aparata vrlo dobro sprovodi. Odnosno, sve godišnje okupacione doze radnika su daleko ispod zakonom regulisane granice.

Sadržaj

1	Primena kompjuterizovane tomografije u dijagnostičkog radiologiji	6
2	Projekcija rendgenskih zraka, slabljenje i akvizicija transmisionih profila.....	6
2.1	Hounsfieldove jedinice	7
3	CT aparati.....	8
3.1	Istorijske i aktuelne konfiguracije	8
3.2	Gentri i sto.....	9
3.3	Rendgenska cev i generator.....	10
3.4	Kolimacija i filtracija	10
3.5	Detektori.....	11
3.6	Računarski sistem.....	11
4	CT dozni indeks	12
5	Okupaciono izlaganje operatera CT aparata	13
6	Zakonska regulativa vezana za primenu CT u dijagnostičkoj radiologiji.....	15
6.1	Primena izvora zračenja	15
6.2	Izveštaj o sigurnosti.....	17
6.3	Dozimetrijska kontrola.....	19
7	Eksperimentalni deo.....	19
7.1	CT Revolution EVO 128/GE	19
7.1.1	Iterativni metod rekonstrukcije	22
7.1.2	Indikacije za upotrebu.....	22
7.1.3	Napredna tehnologija smanjenja doze	23
7.2	Podaci eksperimentalnih merenja.....	23
7.3	Analiza podataka	66
8	Zaključak.....	73
9	74
10	Biografija	75

1 Primena kompjuterizovane tomografije u dijagnostičkog radiologiji

Kompjuterizovana tomografija (CT) započela je svoju kliničku upotrebu 1971. godine, a od tada se razvila od rendgenskog modaliteta, koji je bio ograničen na aksijalno snimanje mozga u neuroradiologiji u svestrani 3D modalitet snimanja celog tela za širok spektar primena, uključujući onkologiju, vaskularnu radiologiju, kardiologiju, traumatologiju i interventnu radiologiju. CT se primenjuje za dijagnostiku i praćenje pacijenata, za planiranje radioterapije, pa i za skrining zdravih subpopulacija sa specifičnim faktorima rizika [1].

2 Projekcija rendgenskih zraka, slabljenje i akvizicija transmisionih profila

Proces dobijanja CT slike podrazumeva merenje transmisionih profila rendgenskih zraka kroz pacijenta za veliki broj snimaka iz različitih uglova u odnosu na pacijenta. Profil iz svakog ugla se postiže prvenstveno korišćenjem detektora, koji se uglavnom sastoji iz 800-900 detektorskih jedinica - red detektora (Slika 1). Rotacijom rendgenske cevi i niza detektora oko pacijenta može se dobiti veliki broj snimaka. Dobijeni transmisioni profili koriste se za rekonstrukciju CT slike, sastavljene od matrice elemenata slike (piksela) [1].

Vrednosti, koje su dodeljene pikselima na CT slici povezane su sa atenuacionim koeficijentom odgovarajućeg tkiva: μ (m^{-1}). Linearni atenuacioni koeficijent zavisi od vrste materijala, gustine materijala i energije fotona, što je prikazano Birovim zakonom:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.1)$$

gde je $I(x)$ intenzitet oslabljenog snopa, I_0 neoslabljeni snop X zraka i x je debljina materijala.

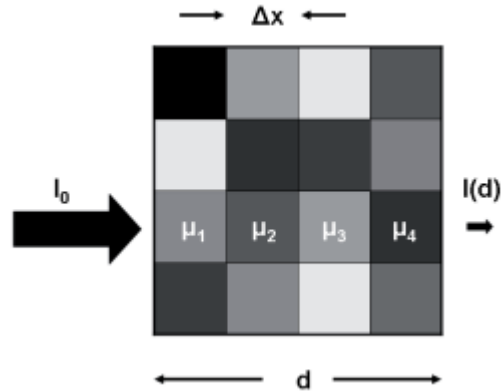
Birov zakon opisuje samo slabljenje primarnog snopa i ne uzima u obzir intenzitet rasejanog zračenja, koje se generiše. Kako se snop rendgenskih zraka prenosi kroz pacijenta, on nailazi na različita tkiva sa različitim linearnim atenuacionim koeficijentima. Ako se put kroz pacijenta kreće od 0 do d , onda se intenzitet oslabljenog snopa rendgenskih zraka, prenetog na rastojanje d , može izraziti kao:

$$I(x) = I_0 e^{-\int_0^d \mu(x) dx} \quad (2.2)$$

Pošto se CT slika sastoji od matrice piksela, skenirani pacijent se posmatra kao sačinjen od matrice različitih zapreminskih elemenata sa različitim linearnim atenuacionim koeficijentima

(voksela). Slika 1 prikazuje pojednostavljenu 4x4 matricu, koja predstavlja transmisiono merenje duž jedne linije. Za takvu diskretizaciju, atenuaciona jednačina se može izraziti kao:

$$I(x) = I_0 e^{-\sum_{i=1}^{i=4} \mu_i \Delta x} \quad (2.3)$$



Slika 1: Princip atenuacije snopa X zraka u pojednostavljenoj matrici 4x4. Svaki element u matrici može imati različitu vrednost pridruženog linearnog atenuacionog koeficijenta [1].

Primenjuju se određene tehnike za samu rekonstrukciju slike kojima se proizvodi matrica, osnov CT slike [1].

2.1 Hounsfieldove jedinice

Na CT snimku, matrica rekonstruisanih linearnih atenuacionih koeficijenata materijala se transformiše u odgovarajuću matricu Hounsfieldovih jedinica (HU), gde je HU skala izražena u odnosu na linearni atenuacioni koeficijent vode na sobnoj temperaturi.

$$HU_{materijal} = 1000 * \frac{\mu_{materijal} - \mu_{voda}}{\mu_{voda}} \quad (2.4)$$

HU vode iznosi 0, dok je HU vazduha -1000 i to su jedine HU vrednosti koje su konstantne, za sve ostale supstance dolazi do varijacije vrednosti za HU usled promene radnog napona.

Minimalna dubina bita, koja treba da se dodeli pikselu je 12, što omogućava kreiranje Hounsfieldove skale, koja se kreće od -1024 do +3071 HU, pokrivajući tako većinu klinički relevantnih tkiva. Šira Hounsfieldova skala sa dubinom od 14 bita je korisna za proširenje HU skale naviše do +15359 HU, čineći je kompatibilnom sa materijalima koji imaju veliku gustinu i visok linearni atenuacioni koeficijent [1].

3 CT aparati

3.1 Istorijske i aktuelne konfiguracije

Nakon pretkliničkih istraživanja i razvoja tokom ranih 1970-ih, CT se brzo razvio kao nezamenljiv modalitet snimanja u dijagnostičkoj radiologiji. Impresivno je konstatovati da je većina moderne CT tehnologije, koja se danas koristi u kliničkoj praksi, opisana do kraja 1983. godine. Volumetrijski CT sa skenerom, koji je mogao da snimi celu zapreminu u deliću sekunde postignut je instalacijom dinamičkog prostora rekonstruktora 1980. godine na klinici Mejo u SAD-u. Ovaj skener je koristio 14 rendgenskih cevi i 14 pojačivača slike i bio je sposoban da ostvari impresivne performanse u pogledu pokrivenosti i vremenske rezolucije, čak i mereno u odnosu na trenutne standarde. CT uređaji, koji se danas najčešće koriste su spiralni MDCT skeneri, ali su tehnologije dvostrukog izvora i volumetrijskog CT skeniranja primenjene u širokom obimu [1].

1. Prva generacija CT aparata (1970-e): Prva generacija CT aparata imala je rotirajući rendgenski izvor i jedan detektor koji je rotirao nasuprot izvora u jednoj ravni. Snop rendgenskih zraka rotirao bi se oko pacijenta, a detektor bi merio intenzitet zraka u svakoj poziciji. Ova konfiguracija je bila relativno spora i ograničena u broju rezova koje je mogla generisati, ali je postavila temelje za razvoj CT tehnologije.
2. Druga generacija CT aparata (1980-e): Druga generacija CT aparata uvela je više detektora koji su bili postavljeni na fiksnim pozicijama oko pacijenta. Rendgenski izvor bi rotirao, a detektori bi merili intenzitet zraka u svakoj poziciji. Ova konfiguracija je omogućila brže skeniranje i veći broj rezova u jednom prolazu, poboljšavajući kvalitetu slike i efikasnost.
3. Treća generacija CT aparata (1990-e): Treća generacija CT aparata uvela je strukturu sa fiksnim rendgenskim izvorom i više detektora postavljenih na rotirajućem gantriju. Rendgenski izvor bi emitovao snop rendgenskih zraka kroz pacijenta, a detektori bi merili intenzitet zraka u različitim uglovima rotacije. Ova konfiguracija omogućila je brže skeniranje, smanjenje artefakata pokreta i poboljšanu kvalitetu slike.
4. Višekanalna CT aparatura (2000-e): Uvođenje višekanalne CT aparature (multi-row ili multi-detector CT) predstavilo je značajan napredak u CT tehnologiji. Ova konfiguracija koristi više detektora raspoređenih duž osovine gantrija. Višekanalni CT aparati omogućavaju simultano snimanje više rezova u jednom prolazu, što značajno poboljšava brzinu skeniranja i omogućava preciznije rekonstrukcije slike.
5. Višeslojna (multi-slice) CT aparatura (kasne 2000-e i 2010-e): Višeslojna CT aparatura omogućava još veći broj detektora raspoređenih duž osovine gantrija. Ova konfiguracija

omogućava simultano snimanje više rezova u jednom prolazu, stvarajući "kockice" podataka koje se koriste za generisanje visokokvalitetnih 3D slika. Višeslojna CT aparatura poboljšala je brzinu skeniranja, omogućila veći broj detalja i precizniju dijagnostiku.

6. Spektralna CT aparatura (kasne 2010-e i 2020-e): Spektralna CT aparatura koristi detektore sposobne da registruju različite energetske nivoe rendgenskih zraka. Ova tehnologija omogućava snimanje slika sa informacijama o različitim materijalima prisutnim u telu pacijenta, poboljšavajući kontrast i omogućavajući precizniju dijagnostiku.

3.2 Gentry i sto

Gantry (okvir) je struktura CT aparata, koja obuhvata rendgenski izvor i detektor. On je obično oblika prstena i može rotirati oko pacijenta tokom skeniranja. Gantry je izrađen od materijala, koji minimalno blokira prolazak rendgenskih zraka kako bi omogućio nesmetan snimak. U njemu se nalaze mehanizmi za podešavanje visine, položaja i nagiba stola CT aparata kako bi se postigla optimalna pozicija pacijenta.

Gentry sadrži sve komponente sistema, koje su potrebne za snimanje transmisionih profila pacijenta. Pošto se transmisioni profili moraju snimiti pod različitim uglovima, ove komponente se montiraju na nosač unutar gentryja, koji se može rotirati. Rendgenska cev sa visokonaponskim generatorom i sistemom za hlađenje cevi, kolimator, filteri za oblikovanje zraka, detektorski luk i sistem za prikupljanje podataka su montirani na ovom nosaču. Inženjering ovih komponenti je složen, jer treba da budu u stanju da izdrže jaku centrifugalnu silu, koja se javlja pri brznoj rotaciji gentryja. Gentry je priključen na električnu energiju preko kontakta sa kliznim prstenom. Snimljene projekcije profila se uglavnom prenose sa gentryja na računar pomoću bežičnih komunikacionih tehnologija [1].

Sto CT aparata je platforma na kojoj pacijent leži tokom skeniranja. Ovaj sto je obično podesiv po visini i može se kretati napred-nazad i bočno. To omogućava precizno pozicioniranje pacijenta u odnosu na rendgenski snop. Sto takođe može biti opremljen sistemom za pričvršćivanje ili fiksiranje pacijenta kako bi se osigurala stabilnost i udobnost tokom postupka. Neki CT aparati imaju i mogućnost rotacije stola, što omogućava snimanje u različitim ravnima i poboljšava preciznost dijagnostike.

Dizajin i inženjering stola, kao i kod gentryja, su od ključne važnosti, jer omogućavaju precizno prikupljanje podataka pri velikim brzinama rotacije. Sto mora biti u stanju da izdrži velike težine bez savijanja. Položaj pacijenta na stolu može biti glavom ili stopalima napred, ležeći na stomaku ili leđima i on se obično beleži sa podacima skeniranja [1].

3.3 Rendgenska cev i generator

Rendgenski izvor je ključni deo CT aparata, koji emituje snop rendgenskih zraka. Ovaj izvor je obično rendgenska cev, koja generiše rendgenske zrake kada se elektroni ubrzavaju prema metalnoj meti. Rendgenski izvor je postavljen nasuprot detektora na suprotnoj strani od pacijenta i rotira se zajedno s gantrijem kako bi omogućio snimanje slika iz različitih uglova.

Zahvaljujući visokom fluksu rendgenskih zraka, potrebnom za CT, rendgenska cev koristi volframovu anodu dizajniranu da izdrži i rasipa visoka toplotna opterećenja. Sa dugim kontinuiranim ciklusima akvizicije, često se koristi sistem prisilnog hlađenja, koji koristi ulje ili vodu, koja cirkuliše kroz izmenjivač toplote [1].

3.4 Kolimacija i filtracija

Kolimacija i filtracija su dva važna koncepta koja se primenjuju u CT (računarskoj tomografiji) aparatu kako bi se kontrolisala i optimizovala doza zračenja koju pacijent prima tokom skeniranja.

Kolimacija se odnosi na usmeravanje i sužavanje snopa rendgenskih zraka, koji prolazi kroz telo pacijenta. Snop rendgenskih zraka, koji izlazi iz rendgenskog izvora u CT aparatu ima određenu širinu, ali se kroz kolimaciju usmerava i sužava pre nego što prolazi kroz pacijenta. To se postiže pomoću kolimatora, koji je metalna pregrada sa uskim otvorima ili otvorima u obliku lamela koji ograničavaju širinu snopa rendgenskih zraka. Kolimacija omogućava da se rendgenski snop fokusira samo na određeni deo tela, koji se skenira, smanjujući izlaganje nepotrebnim područjima i smanjujući dozu zračenja koju pacijent prima.

Filtracija se koristi za smanjenje intenziteta niske energije rendgenskih zraka, koje se koriste u CT skeniranju. Filteri se postavljaju između rendgenskog izvora i pacijenta kako bi smanjili prelazak niskih energetske rendgenskih zraka kroz telo pacijenta. Ovi filteri su obično izrađeni od materijala kao što je aluminijum ili bakar, koji efikasno apsorbuju niske energetske rendgenske zrake. Filtracija pomaže u smanjenju doze zračenja za pacijenta, eliminisanju nekorisnih niskih energetske zraka koje ne doprinose kvalitetu slike i smanjenju štetnih efekata zračenja.

Kombinacija kolimacije i filtracije omogućava preciznu kontrolu snopa rendgenskih zraka i optimizaciju doze zračenja. Ovim se postiže ravnoteža između kvaliteta slike i minimalne izloženosti pacijenta zračenju. Moderne CT aparate često karakterišu sofisticirane tehnike kolimacije i filtracije, kako bi se obezbedila što bolja dijagnostička slika uz minimalnu dozu zračenja.

Važno je napomenuti da su kolimacija i filtracija deo celokupnih strategija za smanjenje doze zračenja u CT skeniranju. Ostali faktori, poput tehnikâ dozne modulacije, optimizacije parametara snimanja i upotrebe niskih doza, takođe igraju važnu ulogu u osiguravanju sigurnosti i smanjenju doze zračenja za pacijenta.

Rendgenski snop treba kolimirati do željenih dimenzija. Širina snopa u uzdužnoj osi je uglavnom mala; stoga se kolimirani snop rendgenskih zraka često naziva ventilatorski snop. U ravni, koja je normalna na kretanje snopa, poznata kao x ili aksijalna ravan, snop je oblikovan tako da smanji dinamički opseg signala, koji detektori snimaju. Filteri za oblikovanje snopa se koriste da bi se postigao željeni gradijent, pri čemu se jedan od brojnih montiranih filtera pomera u snop rendgenskih zraka tokom snimanja [1].

3.5 Detektori

Detektor u CT aparatu prima rendgenske zrake, koji prolaze kroz telo pacijenta. To je obično niz detektora postavljenih nasuprot rendgenskom izvoru. Detektor konvertuje rendgenske zrake u električne signale. Moderni CT aparati koriste višekanalne detektorske sisteme (multi-row ili multi-detector CT), koji omogućavaju simultano snimanje više preseka tela. Detektori beleže intenzitet rendgenskih zraka, koji se zatim pretvara u digitalne podatke za dalju obradu.

Osnovne fizičke karakteristike CT detektora su dobra efikasnost detekcije i brz odgovor. Trenutno se najčešće koriste čvrsti detektori, scintilatori i fotodiode, jer imaju efikasnost detekcije blizu 100% u poređenju sa komorama za jonizaciju visokog pritiska, punjenim ksenonom, koje su ranije korišćene i koje su imale efikasnost detekcije od oko 70%. Scintilatori u interakciji sa rendgenskim zracima stvaraju svetlost. Pomoću fotodioda ovo svetlo se pretvara u električni signal, koje su pričvršćene na poledini scintilatora i one treba da imaju dobru transparentnost da bi se obezbedila optimalna detekcija. Rešetka protiv rasejanja se montira na prednjem delu detektora i ona se sastoji od malih traka od materijala sa visokim stepenom atenuacije (npr. volfram) poređanih duž CT ose, formirajući 1D mrežu protiv rasejanja [1].

3.6 Računarski sistem

Računarski sistem u CT aparatu obavlja kompleksne proračune i obradu podataka kako bi generisao konačne slike. On prima električne signale detektora i koristi algoritme rekonstrukcije slika kako bi stvorio detaljne slike unutrašnjih struktura tela. Računarski sistem omogućava lekarima i radiolozima da vizualizuju i analiziraju slike na monitoru. Pored toga, omogućava podešavanje parametara skeniranja, kao što su doza zračenja, brzina snimanja i debljina rezova, prilagođavajući se specifičnim potrebama dijagnostike.

4 CT dozni indeks

1981. godine objavljena je metoda za opisivanje doza, koje se isporučuju transmisijskom rendgenskom tomografijom i u tom članku je prvi put uveden CT dozni indeks. CTDI (CT dozni indeks) predstavlja metriku za kvantifikaciju izlaznog zračenja CT pregleda, koji se sastoji od više uzastopnih CT skeniranja (tj. više susednih poprečnih rotacija x zraka duž uzdužne ose pacijenta). Za CT je bila potrebna nova dozimetrijska veličina, jer je geometrija zračenja bila dosta drugačija od geometrije drugih rendgenskih modaliteta, koji su se koristili u to vreme [2].

CT dozni indeks (CTDI, od engl. Computed Tomography Dose Index) je mera koja se koristi za procenu doze zračenja koju pacijent prima tokom CT skeniranja. On pruža informacije o prosečnoj dozi zračenja koja se primenjuje u određenom delu tela tokom snimanja.

CTDI se izračunava na osnovu merenja doze zračenja na fantomu (uređaj koji simulira ljudsko tkivo) postavljenom u centru snopa rendgenskih zraka. Postoje dve vrste CTDI-ja koje se koriste:

- CTDI_{vol}: Ova vrednost predstavlja prosečnu dozu zračenja po rotaciji rendgenskog izvora oko pacijenta. Izražava se u mGy i predstavlja kumulativnu dozu za sve zrake rendgenskog snopa tokom jedne rotacije. CTDI_{vol} je posebno koristan za evaluaciju doze u skeniranjima sa više slojeva (multi-slice CT), gde se snimanje vrši istovremeno za više preseka.
- CTDI_w: Ova vrednost predstavlja prosečnu dozu zračenja po jednom preseku tela pacijenta. Izražava se takođe u mGy. CTDI_w se koristi za procenu doze zračenja po jednom preseku tela, što je posebno važno za skeniranja sa pojedinačnim slojem (single-slice CT).

CTDI se koristi kao indikator doze zračenja i omogućava upoređivanje doze između različitih CT skenera, postavki snimanja i protokola. Međutim, važno je napomenuti da CTDI ne uzima u obzir individualne razlike pacijenata, jer se meri na fantomu koji simulira prosečne karakteristike ljudskog tela. Stvarna doza zračenja koju pacijent prima može varirati u zavisnosti od individualnih faktora, kao što su veličina tela, starost i razlog snimanja.

Kako bi se pacijentima pružila relevantnija informacija o dozi zračenja, često se koristi DLP (Dose-Length Product). DLP se izračunava množenjem CTDI-a sa dužinom skeniranog segmenta tela. DLP pruža procenu ukupne doze zračenja, koja je primenjena na pacijenta tokom celokupnog skeniranja, uzimajući u obzir dužinu snimljenog dela tela.

Stručnjaci i medicinski timovi koriste CTDI i DLP kao smernice za optimizaciju protokola snimanja i smanjenje doze zračenja, osiguravajući maksimalnu korist uz minimalno izlaganje pacijenta.

Količina doze definisana da daje indikaciju doza pacijentu, koji se skenira CT-om. Osnovni CTDI je prosečna apsorbovana doza u centru standardnog CT fantoma data jednim aksijalnim snimanjem od 100mm pomoću CT skenera, $CTDI_{100}$:

$$CTDI_{100} = \frac{1}{C} \int_{-50mm}^{+50mm} dzD(z) \quad (4.1)$$

gde je C radiografska ekspozicija (mAs) i $D(z)$ je doza zračenja merena na poziciji z duž glavne ose skenera.

Pošto su doze u centru tela približno dva puta veće od onih na malim dubinama u tipičnim CT skeniranjima, predloženi su za upotrebu poboljšani indeksi. Jedan od njih je otežan CTDI, $CTDI_{100w}$ definisan kao:

$$CTDI_{100} = \frac{1}{3} CTDI_{100}^{centralni} + \frac{2}{3} CTDI_{100}^{periferni} \quad (4.2)$$

gde su $CTDI_{100}^{centralni}$ i $CTDI_{100}^{periferni}$ CTDI u centru i na periferiji, retrospektivno.

Standardni CT fantomi su PMMA cilindri definisanih prečnika (32cm za trup i 16cm za glavu i vrat) i odgovarajućih dužina, koje su dovoljna da se pokrije 100mm (obično se koristi 15cm). Postoje rupe za postavljanje detektora jedna u centru i neokliko na perifernom krugu. Tradicionalno, kao detektori se koriste jonizacione komore dužine 100mm, ali se i drugi detektori mogu koristiti u ove svrhe [2].

5 Okupaciono izlaganje operatera CT aparata

Za razliku od matematičkih modeliranja, proračuna i simulacija, koje se izvode da bi se odredile doze za pacijente ili doze specifičnih organa, merenje izloženosti zračenju profesionalno izloženih lica je relativno jednostavno. Prospektivno, mogu se sumirati merenja jonizacione komore dobijena na promenljivim rastojanjima od pacijenta i drugih izvora; retrospektivno mogu se pregledati nalazi ličnog dozimetra. Pojedinačna duboka doza se izračunava na osnovu ličnij monitora, koji se nose najčešće oko vrata. Značke na ruci (zglobu ili prstu), koje se nose tokom mešanja i primene radiofarmaka mere dozu ekstremiteta. Noviji elektronski lični dozimetri daju trenutne rezultate doza, koji su korisni u okruženjima sa visokim dozama [3].

Za sva jonizujuća zračenja, *lični dozni ekvivalent* je standardni deskriptor za ličnu dozu, koji se izražava u sivertima (Sv) i predstavlja direktno merljivu fizičku veličinu. Ekvivalent duboke doze (telesna) se koristi za procenu rizika od raka. Doza očnog sočiva se koristi za procenu rizika od katarakte, a plitka (kožna) doza za procenu verovatnoće determinističkih efekata na kožu.

Tabela 1: Granice za maksimalne godišnje doze profesionalno izloženih lica [3]

	US	ICRP
<i>Efektivna doza</i>		
Duboka doza	50mSv	20mSv
Trudnoća	5mSv	2mSv
<i>Otežana doza zračenja</i>		
Očno sočivo	150mSv	150mSv
Plitka doza (Koža/ekstremiteti)	500mSv	500mSv

Okupaciono izlaganje operatera CT aparata odnosi se na izloženost zračenju, koju osoblje (npr. radiološki tehničari, medicinske sestre, lekari, medicinski fizičari...) može dobiti tokom rada sa CT skenerima. Budući da CT skeniranje koristi rendgenske zrake, operateri, koji redovno rade sa ovim aparatima mogu biti izloženi dodatnom jonizirajućem zračenju.

Bitno je naglasiti da je okupaciono izlaganje operatera CT aparata obično mnogo niže u poređenju sa dozom koju pacijenti primaju tokom skeniranja. To je uglavnom zbog toga što su operateri smešteni izvan samog prostora u kojem se vrši skeniranje pacijenta, a koriste i zaštitnu opremu poput olovnih kecelja, olovnih zaštitnih naočara i rukavica kako bi smanjili izloženost zračenju.

Postoje određeni faktori koji mogu uticati na nivo okupacionog izlaganja operatera CT aparata. To uključuje broj CT skenova koje obavlja operater tokom radnog vremena, vreme provedeno blizu skenera, tehniku rada i podešavanje aparata, kao i primenu odgovarajućih protokola i procedura radiološke zaštite. Treba napomenuti da su moderni CT aparati dizajnirani sa fokusom na smanjenje doze zračenja i optimizaciju slike. Napredne tehnike snimanja kao što su automatska dozna modulacija i snimanje niskim dozama mogu pomoći u smanjenju okupacionog izlaganja. Takođe se preporučuje redovno ažuriranje i održavanje CT aparata kako bi se osigurala ispravna funkcionalnost i minimalno izlaganje.

Da bi se smanjilo okupaciono izlaganje, preporučuju se sledeće mere:

- Primenjivanje principa ALARA (As Low As Reasonably Achievable) - Sprovodi se optimizacija doze zračenja, tako da se koriste najmanje potrebne doze za dobijanje kvalitetnih slika.
- Korišćenje zaštitne opreme - Operateri bi trebalo da nose olovne kecelje, olovne zaštitne štitnice, rukavice i druga odgovarajuća zaštitna sredstva kako bi se smanjila izloženost zračenju.
- Obuka i svest - Redovna obuka operatera o pravilnoj tehnici rada, upotrebi zaštitne opreme i procedurama radiološke zaštite, ključni su faktori za minimiziranje izloženosti zračenju.

- Monitoring doze zračenja - Periodično praćenje doze zračenja, kojoj su operateri izloženi može pomoći u praćenju nivoa izloženosti i identifikaciji potencijalnih problema ili prekoračenja.
- Važno je da zdravstvene ustanove i operateri CT aparata poštuju smernice i preporuke relevantnih regulatornih tela, kao što su Međunarodna komisija za radiološku zaštitu (ICRP) i nacionalna regulatorna tela, kako bi se obezbedila sigurnost operatera tokom rada sa CT skenerima.

6 Zakonska regulativa vezana za primenu CT u dijagnostičkoj radiologiji

6.1 Primena izvora zračenja

Procena nivoa medicinskog izlaganja ima za cilj:

1. analizu trendova u pogledu godišnje kolektivne doze i godišnje srednje per caput doze od medicinskih izlaganja;
2. određivanje srednje godišnje doze od medicinskih izlaganja za pojedinca;
3. određivanje doprinosa pojedinih procedura ukupnoj kolektivnoj dozi za populaciju;
4. određivanje relacije između frekvencije pojedinih procedura, tipične doze za pacijenta i odgovarajućeg doprinosa kolektivnoj dozi;
5. utvrđivanje regionalnih varijacija u pogledu frekvencije pregleda i tipične doze za pacijente;
6. poređenje frekvencije i godišnje per caput doze od medicinskih izlaganja u različitim zemljama i
7. poređenje doprinosa medicinskih izlaganja sa drugim izvorima zračenja za populaciju [4].

Procena nivoa medicinskog izlaganja jonizujućim zračenjima realizuje se u sledećim fazama: planiranje studije, pilot projekat, kampanja merenja doze, sakupljanje podataka o frekvenciji pojedinih procedura, obrada podataka, analiza podataka, formiranje zaključaka i preporuka, objavljivanje i distribucija rezultata. Tim koji realizuje procenu nivoa medicinskog izlaganja jonizujućim zračenjima sastoji se od stručnjaka iz sledećih oblasti: radiologija i nuklearna medicina, dozimetrija jonizujućih zračenja, javno zdravlje, statistika i menadžment. Procena nivoa medicinskog izlaganja jonizujućim zračenjima bazira se na analizi dijagnostičkih i interventnih procedura koje najznačajnije doprinose kolektivnoj dozi za populaciju [4].

Procene doze za pacijente i populaciju od prakse u nuklearnoj medicini zasniva se na prikupljanju podataka o broju procedura tokom jedne kalendarske godine, frekvenciji pojedinih procedura u nuklearnoj medicini, vrsti radiofarmaceutika korišćenog za svaki tip procedure za prosečnog odraslog pacijenta i aktivnosti radionuklida korišćenog za svaki tip procedure za prosečnog odraslog pacijenta [4].

Tabela 2: Parametri ispitivanja, dozvoljene granice odstupanja i periodi proveravanja rendgen aparata za kompjuterizovanu tomografiju [4]

Redni broj	Veličina koja se ispituje	Parametar koji se proverava	Granice dopuštenih odstupanja	Periodi proveravanja
1.	Napon rendgenske cevi	Ponovljivost	$\pm 10\%$	Godišnje
		Tačnost	$\pm 10\%$	Godišnje
2.	Linearnost - CT broj	Voda: CT vode = 0	± 4 CT	Mesečno
		Vazduh: CT vazduh = 1000	± 10 CT	Mesečno
3.	Homogenost		± 2 CT	Dnevno
4.	Šum		± 2 CT ili 10%	Godišnje
5.	Debljina slajsa	$s \leq 2$ mm	$\pm 50\%$	Godišnje
		$2 \text{ mm} < s < 8$ mm	$\pm 25\%$	Godišnje
		$s \geq 8$ mm	$\pm 10\%$	Godišnje
6.	Razlaganje lp/cm - MTF		50%	Godišnje
			10%	Godišnje
			2%	Godišnje
7.	CT dozni indeks - CTDI	U sredini fantoma	Prijemno ispitivanje	Godišnje
		Gore		
		Dole		
		Levo		
		Desno		
8.	Pozicioniranje pacijentnog ležaja pri opterećenju od 70 kg	Odstupanje u uzdužnom smeru pri pomeranju ležaja za 30 mm	± 2 mm	Godišnje
		Odstupanje uz pomeranje napred za 30 mm i nazad na početak	± 2 mm	Godišnje

6.2 Izveštaj o sigurnosti

Izveštaj o sigurnosti i Program zaštite od jonizujućeg zračenja izrađuju se u skladu sa gradiranim pristupom uzimajući u obzir radijacioni rizik. Izveštaj o sigurnosti i Program zaštite od jonizujućeg zračenja izrađuju se u skladu sa uputstvom koje donosi Direktorat.

Dokumentacija iz stava 1. ovog člana mora biti sačinjena tako da:

- 1) ima sadržaj dokumenta i da u dokumentu koji se sastoji iz više svezaka, svaka sveska ima i sadržaj celog dokumenta;
- 2) svako poglavlje dokumenta predstavlja zaokruženu tematsku celinu;
- 3) informacije na nacrtima, dijagramima i skicama budu čitljive, a simboli i skraćene reči potpuno definisane;
- 4) informacije u dokumentima se mogu dopuniti, s tim da dopune predstavljaju zaokružene celine [5].

Izmene i dopune dokumentacije iz stava 1 ovog člana vrše se navođenjem izmena odnosno dopuna teksta, slika, tabela i drugih elemenata dokumenta koji je predmet izmena i dopuna. Za više radijacionih delatnosti u okviru iste oblasti primene kod kojih postoji međusobni uticaj Izveštaj o sigurnosti može da se izradi kao jedan dokument. Za više radijacionih delatnosti u okviru iste oblasti primene kod kojih postoji međusobni uticaj Program zaštite od jonizujućeg zračenja može da se izradi kao jedan dokument. Za radijacionu delatnost niskog rizika kod koje postoji međusobni uticaj sa radijacionom delatnošću umerenog ili visokog rizika u okviru iste oblasti primene Opis mera radijacione sigurnosti može da bude deo Izveštaja o sigurnosti. Izveštaj o sigurnosti za obavljanje radijacione delatnosti kod koje postoji međusobni uticaj sa drugom radijacionom delatnošću mora da sadrži opis međusobnog uticaja na sigurnost obavljanja delatnosti. Dokumenta iz st. 1, 2. i 3. ovog člana se izrađuju u skladu sa sadržajem dokumenta za najvišu kategoriju rizika [5].

Podnosilac zahteva može izraditi Izveštaj o sigurnosti ukoliko ima:

- 1) angažovano najmanje jedno lice sa visokim obrazovanjem stečenim na diplomskim akademskim studijama u naučnoj, odnosno stručnoj oblasti fizičkih, hemijskih, fizičko-hemijskih ili u obrazovno-naučnom polju tehničko-tehnoloških nauka u trajanju od najmanje 4 godine ili 240 ESP bodova sa najmanje pet godina radnog iskustva na poslovima za koje se izrađuje izveštaj o sigurnosti;
- 2) uspostavljenu metodologiju za analizu sigurnosti i za proračun debljina zaštitnih barijera.

Podnosilac zahteva koji izradi dokumentaciju iz stava 1. ovog člana dužan je da pri podnošenju zahteva Direktoratu dostavi dokaze o ispunjenosti uslova iz stava 1. ovog člana [5].

Revizija dokumentacije iz člana 26. stav 1. ovog pravilnika vrši se naročito u odnosu na:

- 1) izmene u nacionalnim i međunarodnim standardima i nacionalnom zakonodavstvu;
- 2) statusne promene i promene u unutrašnjoj organizaciji nosioca odobrenja;
- 3) promene i planirane promene u uslovima i načinu obavljanja radijacione delatnosti;
- 4) izmene radnih procedura i tehnologija;
- 5) nova naučna i tehnička saznanja;
- 6) modifikacije struktura, sistema i komponenata i mogućnost njihovog uticaja na sigurnost ili dostupnost i upotrebljivost dokumentacije od značaja za sigurnost;
- 7) identifikaciju značajnih efekata ili trendova starenja struktura, sistema i komponenata;
- 8) operativno iskustvo u obavljanju delatnosti;
- 9) promene u prirodnom, industrijskom ili demografskom okruženju u blizini postrojenja u kome se obavlja delatnost [5].

Nosilac rešenja o registraciji za radijacionu delatnost niskog rizika, osim nosioca odobrenja za transport i promet, dužan je da izvrši reviziju Opisa mera radijacione sigurnosti najmanje jednom u deset godina, a obavezno prilikom svake promene od značaja za sigurnost. Nosilac licence za radijacionu delatnost umerenog rizika, osim nosioca licence za promet, dužan je da izvrši reviziju Izveštaja o sigurnosti najmanje jednom u pet godina, a obavezno prilikom svake promene od značaja za sigurnost. Nosilac licence za radijacionu delatnost visokog rizika, osim nosioca licence za transport i promet, dužan je da izvrši reviziju Izveštaja o sigurnosti najranije 180 dana pre podnošenja zahteva za produženje perioda važenja rešenja o izdavanju licence, a obavezno prilikom svake promene od značaja za sigurnost. Nosilac rešenja o registraciji za radijacionu delatnost niskog rizika za transport i promet dužan je da izvrši reviziju Opisa mera radijacione sigurnosti najranije 60 dana pre podnošenja zahteva za produženje perioda važenja rešenja, a obavezno prilikom svake promene od značaja za sigurnost. Nosilac licence za radijacionu delatnost umerenog rizika za promet i visokog rizika za transport i promet dužan je da izvrši reviziju Izveštaja o sigurnosti najranije 60 dana pre podnošenja zahteva za produženje perioda važenja rešenja o izdavanju licence, a obavezno prilikom svake promene od značaja za sigurnost [5].

Podnosilac zahteva dužan je da sve podatke iz obrazaca koje podnosi, dostavi Direktoratu i u elektronskoj formi, u formatu koji Direktorat objavljuje na svojoj internet stranici [5].

6.3 Dozimetrijska kontrola

Nosilac odobrenja dužan je da za svaki izvor jonizujućeg zračenja obezbedi redovnu godišnju kontrolu, osim za generatore jonizujućeg zračenja, koji se koriste za sistematska snimanja stanovništva i otvorene izvore jonizujućeg zračenja u nuklearnoj medicini, za koje je obavezna dozimetrijska kontrola najmanje jednom u šest meseci [5].

Nosilac odobrenja dužan je da za svaki izvor jonizujućeg zračenja, koji se primenjuje u medicini obezbedi ispitivanje parametara izvora zračenja, u skladu sa podzakonskim aktom kojim se propisuje primena izvora zračenja u medicini, a naročito:

1. pre stavljanja u upotrebu;
2. najmanje jedanput godišnje;
3. nakon bilo kakve intervencije ili rekonstrukcije, a pre ponovnog stavljanja u upotrebu;
4. pre početka korišćenja na novom mestu ukoliko je izvor premešten sa jednog mesta na drugo.

Ispitivanja navedena u stavu 2. tač. 1., 3. i 4. ovog člana smatraju se prijemnim ispitivanjima, a ispitivanja navedena u stavu 2. tačka 2. ovog člana periodičnim ispitivanjima [5].

7 Eksperimentalni deo

7.1 CT Revolution EVO 128/GE

CT (kompjuterizovana tomografija) GE Revolution je serija CT aparata, koju proizvodi GE Healthcare, vodeća svetska kompanija u industriji medicinskih uređaja.

GE Revolution serija CT aparata (Slika 2) predstavlja tehnološki napredne uređaje, koji se koriste za stvaranje detaljnih poprečnih preseka tela putem rendgenskih zraka. Ovi aparati omogućuju lekarima i radiolozima da dijagnostikuju i prate različita medicinska stanja, što uključuje povrede, tumore, infekcije, srčane bolesti, moždani udar i mnoge druge zdravstvene probleme.



Slika 2: CT GE Revolution EVO aparat [6]

Ovo su neke od prednosti CT GE Revolution aparata:

- Brzina snimanja: GE Revolution CT aparati poznati su po svojoj sposobnosti snimanja visokokvalitetnih slika vrlo brzo, što smanjuje vreme izloženosti pacijenta zračenju. CT Revolution aparati opremljeni su sofisticiranim tehnologijama, koje omogućuju brza skeniranja pacijenata, smanjujući vreme potrebno za dobijanje dijagnostičkih informacija. To je posebno korisno u hitnim slučajevima kada je svaki minut važan.
- Visoka rezolucija: Zahvaljujući naprednoj tehnologiji, ovi aparati omogućuju izuzetno visoku rezoluciju slika, što je ključno za tačniju dijagnostiku.
- Spektralna CT slika: Gemstone Spectral Imaging tehnologija omogućuje dobijanje spektralnih CT slika, što omogućuje bolju diferencijaciju različitih tkiva i materijala u telu, što je korisno za različite dijagnostičke svrhe.
- Niske doze zračenja: GE Healthcare je usmeren na smanjenje izloženosti pacijenata zračenju tokom CT pregleda. CT Revolution aparati koriste najsavremeniju dozimetrijsku tehnologiju kako bi minimizirali zračenje, pružajući siguran i precizan dijagnostički postupak. GE Revolution CT aparati su dizajnirani s tehnologijom, koja smanjuje dozu zračenja potrebnu za snimanje, čime se povećava sigurnost pacijenata.
- Napredna rekonstrukcija slika: CT Revolution aparati koriste sofisticirane algoritme za rekonstrukciju slika, što omogućuje posebno visoku rezoluciju i jasnoću slika dobijenih tokom pregleda. To pomaže lekarima u identifikaciji problema i postavljanju tačnih dijagnoza.

- Višeslojno snimanje: CT GE Revolution aparati koriste višeslojne detektore koji omogućuju brže snimanje i stvaranje 3D slika organa i struktura.
- Ergonomski dizajn: CT Revolution aparati su dizajnirani s naglaskom na udobnost pacijenata i praktičnost rada za medicinsko osoblje. Udobnost pacijenata tokom pregleda važna je kako bi se osiguralo što bolje iskustvo i saradnja tokom procedure.
- Funkcionalno i višenamensko snimanje: CT Revolution može obavljati različite vrste pregleda, uključujući pregled srca, mozga, pluća, trbušnih organa i kostiju. To ga čini svestranim uređajem koji može zadovoljiti različite medicinske potrebe. Mogu obavljati specijalne funkcionalne pretrage, kao što su koronarna angiografija i cerebralna angiografija.
- Integracija s PACS sistemima: CT Revolution aparati integrisani su sa PACS (Picture Archiving and Communication System) sistemima, što omogućuje skladištenje, deljenje i pristup CT slikama putem računarskih mreža. To olakšava pristup informacijama i saradnju između različitih odjela i stručnjaka.
- Softverske inovacije: GE Healthcare redovno ažurira softverske delove svojih aparata kako bi poboljšao njihove performanse i omogućio dodatne opcije za dijagnostiku.

Revolution EVO je nova generacija Volume CT-a sa Clarity Imaging Chain-om (lanac jasnoće slike) i ASiR-V. U kliničkoj praksi upotreba ASiR-V može smanjiti dozu CT pacijenta u zavisnosti od kliničke potrebe, veličine pacijenta, anatomske lokacije i kliničke primene. Treba obaviti konsultacije sa radiologom i fizičarem kako bi se odredila odgovarajuća doza za dobijanje kvaliteta dijagnostičke slike za određeni klinički zadatak. Clarity Imaging Chain se sastoji od Clarity detektora, DAS performix 40 Plus rendgenske cevi i ASiR-V rekonstrukcije i isporučuje slike visoke rezolucije kako bi se zadovoljile različite potrebe kupaca u stvarnim kliničkim situacijama. Clarity Imaging Chain pruža visoku prostornu rezoluciju, nizak šum i stvara manje artefakata.

- 40mm pokrivenost Clarity detektor /DAS
- brzina rotacije od 0,35s u sutinskom skeniranju
- 0,28mm prostorne rezolucije
- do 82% smanjenja doze u odnosu na FBP pri istom kvalitetu slike (Kvalitet slike definisan detektivnošću niskog kontrasta) [6].

7.1.1 Iterativni metod rekonstrukcije

ASiR-V se prvenstveno fokusira na naprednije modeliranje šuma i objekta od ASiR-a sa dodatnim fizičkim modeliranjem kako bi se smanjio šum, poboljšala mogućnost detekcije niskog kontrasta i smanjili artefakti.

Kombinujući brzinu ASiR-a sa dodatnim mogućnostima VEO pune iterativne rekonstrukcije zasnovane na modelu, novi algoritam iterativne rekonstrukcije ASiR-V omogućava smanjenje doze do 82% u poređenju sa standardnom rekonstrukcijom sa filtriranom pozadinskom projekcijom pri istom kvalitetu slike.

ASiR-V je u stanju da poboljša prostornu rezoluciju u poređenju sa FBP rekonstruisanjem slika veće rezolucije bez povećanja šuma slike.

ASiR-V poboljšava detektivnost niskog kontrasta objekta do 135% u poređenju sa odgovarajućom FBP rekonstrukcijom u istoj dozi.

U zavisnosti od tehnike skeniranja i parametara rekonstrukcije, ASiR-V može značajno da smanji šum elektronske slike do 90% u poređenju sa FBP pri istoj dozi.

ASiR-V je u stanju da smanji artefakte slabog signala, npr. artefakti niza u poređenju sa FBP [6].

7.1.2 Indikacije za upotrebu

Sistem je namenjen za proizvodnju slika poprečnog preseka tela kompjuterskom rekonstrukcijom podataka o transmisiji rendgenskih zraka snimljenih pod različitim uglovima i ravnima, uključujući aksijalnu, spiralnu, *cine*, srčanu i *gated* akviziciju. Ove slike se mogu dobiti sa ili bez kontrasta. Uređaj može da sadrži opremu za analizu i prikaz signala, podršku i opremu za pacijente, dopunske komponente i pribor [6].

Ovaj uređaj može uključiti obradu podataka i slike za proizvodnju slike u različitim transaksijalnim i reformativnim ravnima. Slike mogu biti naknadno obrađene da bi se proizvele dodatne ravni slike ili rezultati analize. Sistem je indikovao za primenu kompjuterizovane tomografije glave, celog tela, srca i krvnih sudova kod pacijenata svih uzrasta. Izlaz uređaja je dragoceno medicinsko sredstvo za dijagnostiku bolesti, traume ili abnormalnosti i za planiranje i praćenje terapije [6].

7.1.3 Napredna tehnologija smanjenja doze

Modulacija doze organa - ODM obezbeđuje smanjenje doze zračenja putem modulacije struje rendgenske cevi za površinska tkiva, kao što su recimo dojke. ODM može da omogući ekvivalentnu standardnu devijaciju šuma piksela bez smanjenja produktivnosti kao kod upotrebe konvencionalnih tehnika smanjenja površinske doze [6].

3D mA modulacija koja koristi SmartmA i AutomA - Posedovanje ove vrste volumetrijskog znanja pre skeniranja omogućava da se personalizuju protokoli i optimizuje doza za svakog velikog odnosno malog pacijenta. Tokom skeniranja, u realnom vremenu, 3D modulacija doze pomaže u isporuci doslednog kvaliteta slike, jer automatski uzima u obzir promenljive dimenzije anatomije pacijenta. Akvizicije modulacije od 30 mA mogu smanjiti dozu u poređenju sa fiksnim akvizicijama mA [6].

Dinamičko praćenje Z ose obezbeđuje automatsku i kontinualnu korekciju oblika rendgenskog zraka kako bi se blokirao neiskorišćen rendgenski snimak na početku i na kraju spiralnog skeniranja, kako bi se smanjilo nepotrebno zračenje [6].

7.2 Podaci eksperimentalnih merenja

1. Medicinska ustanova

Tabela 3: Opis i karakteristike prostora za obavljanje radijacione delatnosti

Opis	Prostorija u kojoj se nalazi rtg aparat je na I spratu objekta, u okviru radiološke službe. Iza barijere (A) je rukovaoc i vizuelna komunikacija je obezbeđena putem olovnog stakla. Iza barijere (A1) je čekaonica, a iza barijere (B) je spoljašnji prostor. Raspored je dat na slici 1.
Lokacija	I sprat Instituta za reumatologiju, radiološka služba
Ventilacija	Prirodna i veštačka
Status	Vlasništvo
Klasifikacija prostora	Kontrolisana zona
Oznake	DA

Nacrt prostorije u kojoj se nalazi CT aparat:

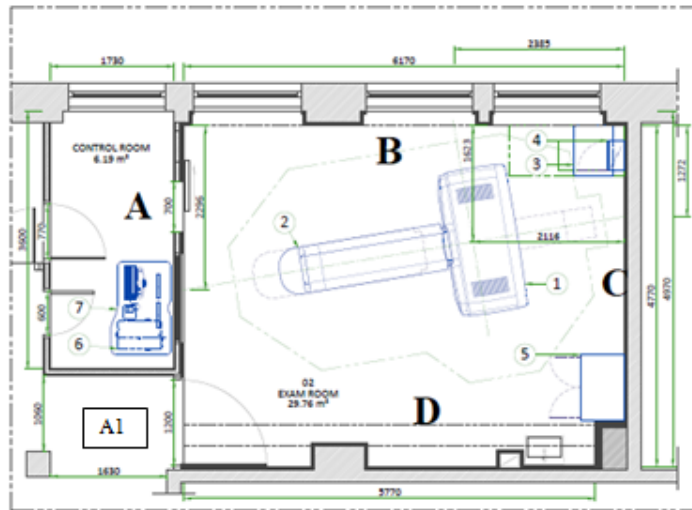


Tabela 4: Proračun debljina zaštitnih barijera (CT aparat Revolution Evo128/GE)

Barijera		Zid A	Zid A, A1 Vrata	Zid A Pb staklo	Zid B	Zid C	Zid D	Plafon
Rastojanje (m)		3,654	3,654	3,654	1,623	2,116	3,147	2,7
Debljina (mm)	Olovo	1,2	1,2	-	1,8	1,6	1,3	1,4
	beton (gustine 2.35 g/cm ³)	120	-	-	190	160	130	145
	Olovno staklo(olovnog ekvivalenta 2.2 mmPb)	-	-	1,2	-	-	-	-
	Knauf Ploče	50	-	-	75	62,5	50	-

Napomene:

- Pod je obložen elektroizolacionim materijalom (vinaz, linoleum, keramičke pločice);
- U tabeli iznad su dati minimalni zahtevi za debljinu zaštitnih barijera. Ukoliko postojeći zidovi zadovoljavaju ove zahteve, dodatna zaštita nije potrebna;
- Obezbeđena je vizuelna komunikacija putem olovnog stakla potrebnog ekvivalenta olova
- Obezbeđena je interfonska veza između rukovaoca i pacijenta;
- Adekvatnost strukturalne zaštite proverena je dozimetrijskim merenjima.

Merna nesigurnost: $\pm 20\%$ uz nivo poverenja 95% ($k=2$)

Prirodni nivo zračenja na lokaciji merenja:

- Jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{Sv}{h} \right] : 0,12 \frac{\mu Sv}{h}$
- Parametri ekspozicije: 130kV, 284mAs, 16s

Tabela 6: Rezultati ispitivanja za jačinu ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{\mu Sv}{h} \right]$

Glava, grudi, gonade rukovaoca	0,22
Kabina za presvlačenje	0,60
Vrata komandnog prostora	1,57
Čekaonica	0,12
Ambulanta	0,13
Laboratorija (iznad)	0,13
Ambulanta (ispod)	0,13

2. Medicinska ustanova

Tabela 7: Opis i karakteristike prostora za obavljanje radijacione delatnosti

Opis	Prostorija sa CT aparatom Revolution Evo 128/GE se nalazi na prvom spratu. Iza barijere (A) je rukovaoc i vizeulna komunikacija je obezbeđena putem olovnog stakla. Iza barijere (B) je terasa na kojoj nema zadržavanja i gleda ka dvorištu, iza barijere (C) je biohemijska laboratorija, iza barijere (C1) je toalet, a iza barijere (D) je hodnik. Iznad je profesorki kabinet i spirometrija, a ispod je banka. Raspored prostorija je dat na slici 1.
Veličina	32,07 m ²
Ventilacija	Prirodna i veštačka
Status	Vlasništvo
Klasifikacija prostora	Kontrolisana zona
Oznake	DA

Nacrt prostorije u kojoj se nalazi CT aparat:

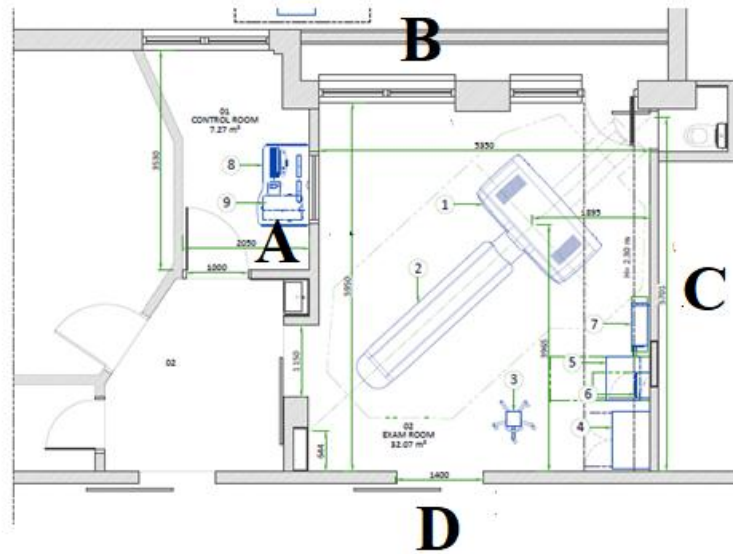


Tabela 8: Proračun debljina zaštitnih barijera (CT aparat Revolution Evo128/GE)

Barijera		ZidA	ZidA Vrata	ZidA Pb staklo	ZidB	ZidB Vrata	Zid C	Zid D	Zid D vrata	Plafon
Rastojanje (m)		3,455	3,455	3,455	1,623	1,623	1,895	3,965	3,965	2,7
Debljina (mm)	Olovo	1,3	1,3	-	1,8	1,8	1,7	1,2	1,2	1,4
	beton (gustine 2.35 g/cm ³)	130	-	-	170	-	160	120	-	140
	Olovno staklo (olovnog ekvivalenta 2.2 mmPb)	-	-	1,3	-	-	-	-	-	-
	Knauf Ploče	50	-	-	75	-	62,5	50	-	-

Napomene:

- Pod je obložen elektroizolacionim materijalom (vinaz, linoleum, keramičke pločice);
- U tabeli iznad su dati minimalni zahtevi za debljinu zaštitnih barijera. Ukoliko postojeći zidovi zadovoljavaju ove zahteve, dodatna zaštita nije potrebna;
- Obezbeđena je vizuelna komunikacija putem olovnog stakla potrebnog ekvivalenta olova
- Obezbeđena je interfonska veza između rukovaoca i pacijenta;
- Adekvatnost strukturalne zaštite proverena je dozimetrijskim merenjima.

Merna nesigurnost: $\pm 20\%$ uz nivo poverenja 95% ($k=2$)

Prirodni nivo zračenja na lokaciji merenja:

- Jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{Sv}{h} \right] : 0,12 \frac{\mu Sv}{h}$
- Parametri ekspozicije: 120kV, 400 mA, 8,4s

Tabela 9: Rezultati ispitivanja za jačinu ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{\mu Sv}{h} \right]$

Glava, grudi, gonade rukovaoca	0,18
Vrata konandne prostorije	5,30
Staklo za nadzor	0,20
Hodnik	0,23
Vrata hodnika	0,26
Toalet	0,26
Biohemijska laboratorija	0,12
Profesorski kabinet (iznad)	0,12
Spirometrija (iznad)	0,12
Banka (ispod)	0,12

Tabela 11: Proračun debljina zaštitnih barijera (CT aparat Revolution Evo128/GE)

Barijera		ZidA,A1	Zid B	Zid C	Zid D	Plafon
Rastojanje (m)		3,45	1,77	1,91	4,09	2,7
Debljina (mm)	Olovo	1,3	1,8	1,75	1,2	1,4
	beton (gustine 2.35 g/cm ³)	130	170	165	120	145
	Olovnostaklo (olovnog ekvivalenta 2.2 mmPb)	-	-	-	-	-
	Knauf Ploče	50	75	75	37,5	-

Napomene:

- Pod je obložen elektroizolacionim materijalom (vinaz, linoleum, keramičke pločice);
- U tabeli iznad su dati minimalni zahtevi za debljinu zaštitnih barijera. Ukoliko postojeći zidovi zadovoljavaju ove zahteve, dodatna zaštita nije potrebna;
- Obezbeđena je vizuelna komunikacija putem olovnog stakla potrebnog ekvivalenta olova
- Obezbeđena je interfonska veza između rukovaoca i pacijenta;
- Adekvatnost strukturalne zaštite proverena je dozimetrijskim merenjima.

Merna nesigurnost: $\pm 20\%$ uz nivo poverenja 95% (k=2)

Prirodni nivo zračenja na lokaciji merenja:

- Jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{Sv}{h} \right] : 0,13 \frac{\mu Sv}{h}$
- Parametri ekspozicije: 120kV, 300 mA, 7,2s

Tabela 12: Rezultati ispitivanja za jačinu ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{\mu Sv}{h} \right]$

Glava, grudi, gonade rukovaoca	0,15
Staklo za nadzor	0,15
Vrata prostorije rukovaoca	0,14
Soba za pripremu pacijenta (vrata)	0,85
Soba za prijem pacijenta	0,22
Hodnik	0,13
Hodnik (prolaz-lift)	0,13
Lekarska soba 1 (iznad)	0,13
Lekarska soba 2 (iznad)	0,13
Toalet za osoblje (iznad)	0,13
Toalet za pacijente (iznad)	0,13

4. Medicinska ustanova

Tabela 13: Opis i karakteristike prostora za obavljanje radijacione delatnosti

Opis	Rengden aparat za kompjuterizovanu tomografiju nalazi se u prostoriji u prizemlju objekta. Iza barijere (A) je komandna soba i vizuelna komunikacija je obezbeđena putem olovnog stakla. Iza barijera (B) je hodnik, a iza barijere (B1) je hodnik ka starom PET skeneru. Iza barijere (C) je toalet za osoblje, iza barijere (C1) je tehnička soba u kojoj niko ne boravi, a ona vodi ka spoljnom prostoru, odnosno parkingu, a iza barijere (D) je susedni objekat u izgradnji. Ispod prostorije je zemlja, iznad krov. Raspored prostorija je dat na slici.
Veličina	33,24 m ²
Ventilacija	Prirodna i veštačka
Status	Vlsništvo
Klasifikacija prostora	Kontrolisana zona
Oznake	DA

Nacrt prostorije u kojoj se nalazi CT aparat:

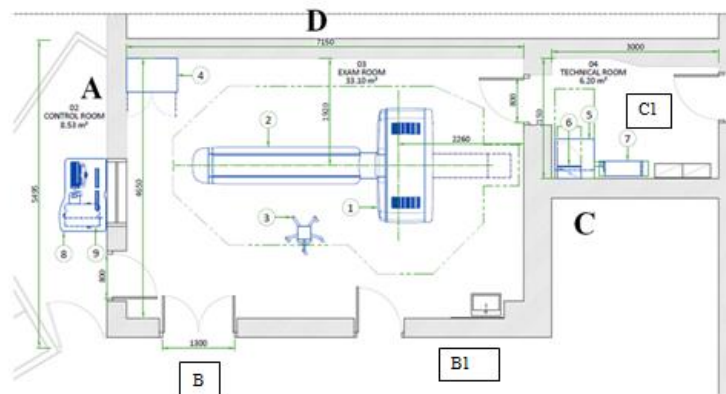


Tabela 14: Proračun debljina zaštitnih barijera (CT aparat Revolution Evo128/GE)

Barijera		Zid A	Zid A Pb staklo	Zid A vrata	Zid B, B1	ZidB,B1 vrata	ZidC,C1	Zid D	Plafon
Rastojanje (m)		4,89	4,89	4,89	2,73	2,73	2,26	1,92	2,7
Debljina (mm)	Olovo	1,0	-	1,0	1,45	1,45	1,6	1,75	1,4
	beton (gustine 2.35 g/cm ³)	110	-	-	145	-	150	155	145
	Olovno staklo (olovnog ekvivalenta 2.2 mmPb)	-	1,0	-	-	-	-	-	-
	Knauf Ploče	35	-	-	50	-	62,5	62,5	-

Napomene:

- Pod je obložen elektroizolacionim materijalom (vinaz, linoleum, keramičke pločice);
- U tabeli iznad su dati minimalni zahtevi za debljinu zaštitnih barijera. Ukoliko postojeći zidovi zadovoljavaju ove zahteve, dodatna zaštita nije potrebna;
- Obezbeđena je vizuelna komunikacija putem olovnog stakla potrebnog ekvivalenta olova
- Obezbeđena je interfonska veza između rukovaoca i pacijenta;
- Adekvatnost strukturalne zaštite proverena je dozimetrijskim merenjima.

Merna nesigurnost: $\pm 20\%$ uz nivo poverenja 95% ($k=2$)

Prirodni nivo zračenja na lokaciji merenja:

- Jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{Sv}{h} \right] : 0,12 \frac{\mu Sv}{h}$
- Parametri ekspozicije: 120kV, 400 mA, 8s

Tabela 15: Rezultati ispitivanja za jačinu ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{\mu Sv}{h} \right]$

Glava, grudi, gonade rukovaoca	0,22
Vrata komandne prostorije	7,49
Staklo za nadzor	4,30
Hodnik	0,58
Vrata hodnika	0,58
Hodnik ka starom PET skeneru	2,60
Vrata hodnika ka starom PET skeneru	3,34
Toalet za osoblje	0,12
Spoljni prostor ka pacijentu	0,86

5. Medicinska ustanova

Tabela 16: Opis i karakteristike prostora za obavljanje radijacione delatnosti

Opis	Prostorija u kojoj se nalazi rtg aparat za CT je u prizemlju objekta u okviru odeljenja radiološke dijagnostike. Raspored prostorija je dat na slici. Iza barijere (A) je rukovalac i vizuelna komunikacija je obezbeđena putem olovnog stakla. Iza barijere (B) je terasa, iza barijere (C) je magacin, a iza barijere (D) je hodnik sa čekaonicom. Iznad je pulmologija-spirometrija, a ispod je apoteka.
Veličina	28,92m ²
Ventilacija	Prirodna i veštačka
Status	Vlasništvo
Klasifikacija prostora	Kontrolisana zona
Oznake	DA

Nacrt prostorije u kojoj se nalazi CT aparat:

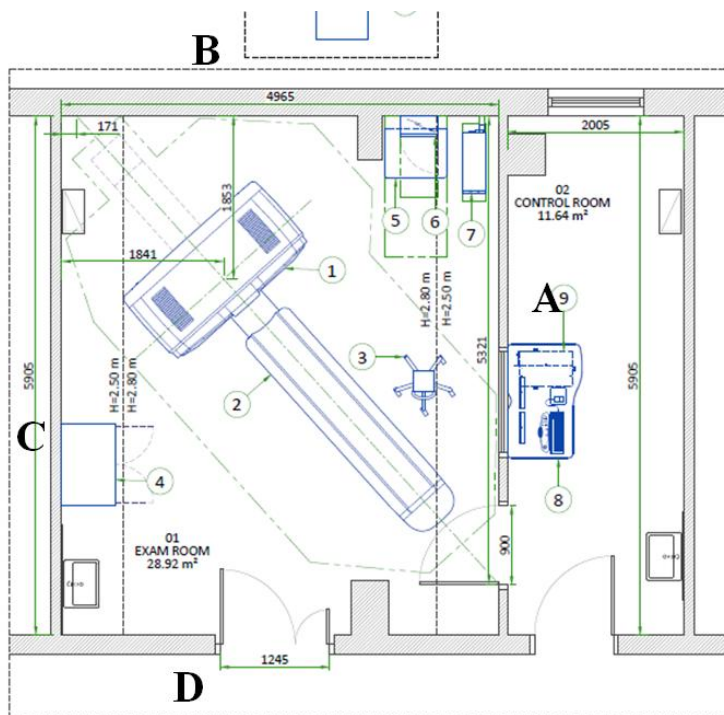


Tabela 17: Proračun debljina zaštitnih barijera (CT aparat Revolution Evo128/GE)

Barijera	Zid A	Zid A Pb staklo	Zid A vrata	Zid B	Zid C	Zid D	Zid D vrata	Plafon	
Rastojanje (m)	3,124	3,124	3,124	1,853	1,841	4,052	4,052	2,7	
Debljina (mm)	Olovo	1,4	-	1,4	1,8	1,8	1,0	1,4	
	beton (gustine 2.35 g/cm ³)	135	-	-	165	165	110	-	145
	Olovno staklo (olovnog ekvivalenta 2.2 mmPb)	-	1,4	-	-	-	-	-	
	Knauf Ploče	50	-	-	65	65	35	-	-

Napomene:

- Pod je obložen elektroizolacionim materijalom (vinaz, linoleum, keramičke pločice);
- U tabeli iznad su dati minimalni zahtevi za debljinu zaštitnih barijera. Ukoliko postojeći zidovi zadovoljavaju ove zahteve, dodatna zaštita nije potrebna;
- Obezbeđena je vizuelna komunikacija putem olovnog stakla potrebnog ekvivalenta olova
- Obezbeđena je interfonska veza između rukovaoca i pacijenta;
- Adekvatnost strukturalne zaštite proverena je dozimetrijskim merenjima.

Merna nesigurnost: $\pm 20\%$ uz nivo poverenja 95% ($k=2$)

Prirodni nivo zračenja na lokaciji merenja:

- Jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{Sv}{h} \right] : 0,14 \frac{\mu Sv}{h}$
- Parametri ekspozicije: 120kV, 300 mAs, 7s

Tabela 18: Rezultati ispitivanja za jačinu ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^(10)}{t} \left[\frac{\mu Sv}{h} \right]$*

Glava, grudi, gonade rukovaoca	0,18
Vrata prostorije rukovaoca	0,16
Hodnik sa čekaonicom	1,30
Terasa	0,17
Magacin	0,15
Apoteka (ispod)	0,13
Pulmologija	0,13

Tabela 20: Proračun debljina zaštitnih barijera (CT aparat Revolution Evo128/GE)

Barijera	ZidA	ZidA Pb staklo	Zid A Vrata	ZidB	ZidB Staklo	Zid C	ZidD ,D1	ZidD ,D1 Vrata	Plafo n	Pod	
Rastojanje (m)	4,59	4,59	4,59	1,036	1,036	2,181	2,56	2,56	2,7	4,1	
Debljina (mm)	Olovo	1,05	-	1,05	2,2	-	1,55	1,4	1,4	1,4	0,4
	beton (gustine 2.35 g/cm ³)	110	-	-	190	-	155	140	-	145	45
	Olovno staklo (olovnog ekvivalent a 2.2 mmPb)	-	1,05	-	-	2,2	-	-	-	-	-
	Knauf Ploče	37,5	-	-	75	-	62,5	50	-	-	-

Napomene:

- Pod je obložen elektroizolacionim materijalom (vinaz, linoleum, keramičke pločice);
- U tabeli iznad su dati minimalni zahtevi za debljinu zaštitnih barijera. Ukoliko postojeći zidovi zadovoljavaju ove zahteve, dodatna zaštita nije potrebna;
- Obezbeđena je vizuelna komunikacija putem olovnog stakla potrebnog ekvivalenta olova
- Obezbeđena je interfonska veza između rukovaoca i pacijenta;
- Adekvatnost strukturalne zaštite proverena je dozimetrijskim merenjima.

Merna nesigurnost: $\pm 20\%$ uz nivo poverenja 95% ($k=2$)

Prirodni nivo zračenja na lokaciji merenja:

- Jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{Sv}{h} \right] : 0,13 \frac{\mu Sv}{h}$
- Parametri ekspozicije: 120kV, 560 mA

Tabela 21: Rezultati ispitivanja za jačinu ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{\mu Sv}{h} \right]$

Glava, grudi, gonade rukovaoca	0,55
Staklo za nadzor	1,21
Predprostor	0,13
Ordinacija za UZ	0,13
Tehnička soba	0,13
Iznad (sestrinska soba)	0,13
Ispod (apoteka)	0,13

7. Medicinska ustanova

Tabela 22: Opis i karakteristike prostora za obavljanje radijacione delatnosti

Opis	Prostorija u kojoj se nalazi rendgen aparat za kompjuterizovanu tomografiju je u prizemlju u okviru radiološke službe, kabinet za CT. Raspored prostorija je dat na slici. Iza barijere (A) je rukovalac i vizuelna komunikacija je obebeđena putem olovnog stakla. Iza baijera (B i B1) je terasa, iza barijere (C) je čekaonica. Iznas i ispod su radne prostorije.
Veličina	27,25 m ²
Ventilacija	Prirodna
Status	Vlasništvo
Klasifikacija prostora	Kontrolisana zona
Oznake	DA

Nacrt prostorije u kojoj se nalazi CT aparat:

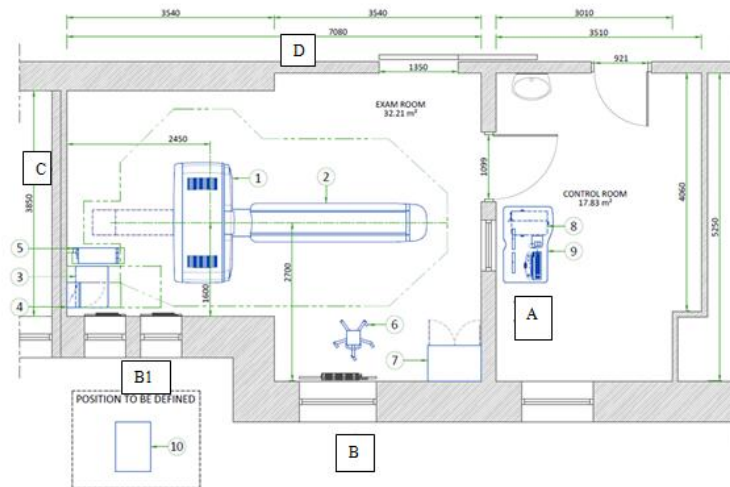


Tabela 23: Proračun debljina zaštitnih barijera (CT aparat Revolution Evo128/GE)

Barijera	Zid B	Zid B vrata	Zid A	Zid A vrata	ZidA Pb staklo	Zid D	Zid D vrata	Zid C	Zid B1	Plafon
Rastojanje (m)	2,7	2,7	4,5	4,5	4,5	2,2	2,2	2,4	1,6	2,7
Debljina (mm)	Olovo	1,45	1,45	1,0	1,0	-	1,65	1,55	1,9	1,4
	beton (gustine 2.35 g/cm ³)	145	-	110	-	-	155	-	150	145
	Olovno staklo (olovnog ekvivalenta 2.2 mmPb)	-	-	-	-	1,0	-	-	-	-
	Knauf Ploče	50	-	37,5	-	-	62,5	-	62,5	75

Napomene:

- Pod je obložen elektroizolacionim materijalom (vinaz, linoleum, keramičke pločice);
- U tabeli iznad su dati minimalni zahtevi za debljinu zaštitnih barijera. Ukoliko postojeći zidovi zadovoljavaju ove zahteve, dodatna zaštita nije potrebna;
- Obezbeđena je vizuelna komunikacija putem olovnog stakla potrebnog ekvivalenta olova
- Obezbeđena je interfonska veza između rukovaoca i pacijenta;
- Adekvatnost strukturalne zaštite proverena je dozimetrijskim merenjima.

Merna nesigurnost: $\pm 20\%$ uz nivo poverenja 95% ($k=2$)

Prirodni nivo zračenja na lokaciji merenja:

- Jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{Sv}{h} \right] : 0,12 \frac{\mu Sv}{h}$
- Parametri ekspozicije: 120kV, 550 mA, 6,6s

Tabela 24: Rezultati ispitivanja za jačinu ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{\mu Sv}{h} \right]$

Glava, grudi, gonade rukovaoca	0,16
Staklo za nadzor	0,50
Vrata prostorije rukovaoca	2,50
Vrata čekaonice	2,20
Čekaonica	0,35
Terasa	0,12
Prostorije ispod	0,12
Prostorije iznad	0,14

8. Medicinska ustanova

Tabela 25: Opis i karakteristike prostora za obavljanje radijacione delatnosti

Opis	Prostorija u kojoj se nalazi rendgen aparat za kompjuterizovanu tomografiju je u prizemlju. Iza barijere (A) je rukovalac i vizuelna komunikacija je obezbeđena putem olovnog stakla. Iza barijere (B) je dvorište, iza barijere (C) je službena prostorija, iza barijere (D) je hodnik, iza barijere (D1) je kabina za pacijente. Iznad je operacioni blok, a ispod je garderober. Raspored prostorija je dat na slici.
Veličina	26m ²
Ventilacija	Prirodna i veštačka
Status	Vlasništvo
Klasifikacija prostora	Kontrolisana
Oznake	DA

Nacrt prostorije u kojoj se nalazi CT aparat:

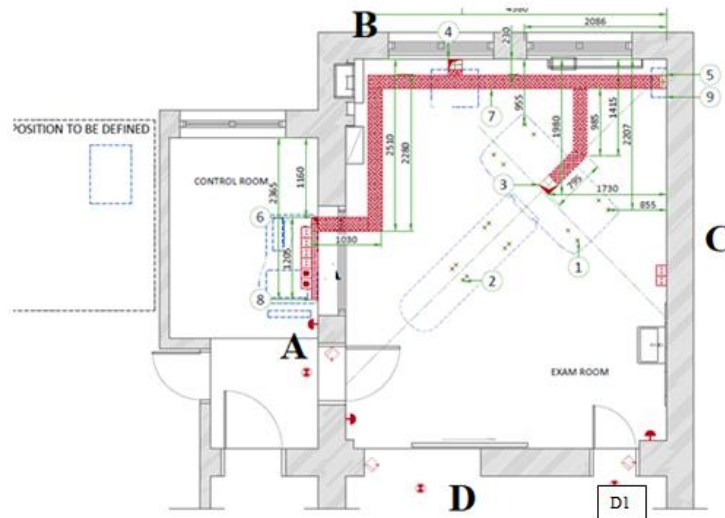


Tabela 26: Proračun debljina zaštitnih barijera (CT aparat Revolution Evo128/GE)

Barijera		Zid A	Zid A Pb staklo	Zid A vrata	Zid B	Zid B prozor	Zid C	Zid D, D1	Zid D, D1 vrata	Plafon
Rastojanje (m)		2,65	2,65	2,65	1,98	1,98	1,73	3,75	3,75	
Debljina (mm)	Olovo	1,45	-	1,45	1,7	-	1,85	1,25	1,25	1,4
	beton (gustine 2.35 g/cm ³)	145	-	-	160	-	175	125	-	145
	Olovno staklo (olovnog ekvivalenta 2.2 mmPb)	-	1,45	-	-	1,7	-	-	-	-
	Knauf Ploče	62,5	-	-	62,5	-	62,5	50	-	-

Napomene:

- Pod je obložen elektroizolacionim materijalom (vinaz, linoleum, keramičke pločice);
- U tabeli iznad su dati minimalni zahtevi za debljinu zaštitnih barijera. Ukoliko postojeći zidovi zadovoljavaju ove zahteve, dodatna zaštita nije potrebna;
- Obezbeđena je vizuelna komunikacija putem olovnog stakla potrebnog ekvivalenta olova
- Obezbeđena je interfonska veza između rukovaoca i pacijenta;
- Adekvatnost strukturalne zaštite proverena je dozimetrijskim merenjima.

Merna nesigurnost: $\pm 20\%$ uz nivo poverenja 95% ($k=2$)

Prirodni nivo zračenja na lokaciji merenja:

- Jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{Sv}{h} \right] : 0,13 \frac{\mu Sv}{h}$
- Parametri ekspozicije: 120kV, 300 mAs

Tabela 27: Rezultati ispitivanja za jačinu ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^(10)}{t} \left[\frac{\mu Sv}{h} \right]$*

Glava, grudi, gonade rukovaoca	0,22
Vrata prostorije rukovaoca	0,41
Službena prostorija	0,17
Kabina za presvlačenje	0,17
Vrata kabine za presvlačenje	7,30
Hodnik	1,80

9. Medicinska ustanova

Tabela 28: Opis i karakteristike prostora za obavljanje radijacione delatnosti

Opis	Prostorija u kojoj se nalazi rendgen aparat za kompjuterizovanu tomografiju je u prizemlju objekta. Raspored prostorija je dat na slici. Iza barijere (A) je rukovlac i vizuelna komunikacija je obezbeđena putem olovnog stakla. Iza barijere (B) je čekaonica, iza barijere (C) je soba lekara, iza barijere (D) je parking. Iznad je krov, a ispod podrum.
Veličina	23,43 m ²
Status	Vlasništvo
Klasifikacija prostora	Kontrolisana zona
Oznake	DA

Merna nesigurnost: $\pm 20\%$ uz nivo poverenja 95% ($k=2$)

Prirodni nivo zračenja na lokaciji merenja:

- Jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{Sv}{h} \right] : 0,12 \frac{\mu Sv}{h}$
- Parametri ekspozicije: 120kV, 320 mAs

Tabela 30: Rezultati ispitivanja za jačinu ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{\mu Sv}{h} \right]$

Glava, grudi, gonade rukovaoca	0,12
Soba lekara	0,12
Toalet	0,12
Parking	0,12

10. Medicinska ustanova

Tabela 31: Opis i karakteristike prostora za obavljanje radijacione delatnosti

Opis	Prostor u kom se nalazi CT je u okviru službe za radiologiju. Iza barijere (A) je rukovalac i vizuelna komunikacija je obezbeđena putem olovnog stakla. Iza barijere (B) je rekreativni prostor osoblja, iza barijere (C i C1) je čekaonica i hodnik, iza barijere (D) je lekarska soba, a iza barijere (E) je predprostor. Ispod je podrumu, a iznad je hodnik i stepenište biblioteke i operaciona sala. Raspored je dat na slici.
Veličina	37,82 m ²
Ventilacija	
Status	
Klasifikacija prostora	Kontrolisana zona
Oznake	

Nacrt prostorije u kojoj se nalazi CT aparat:

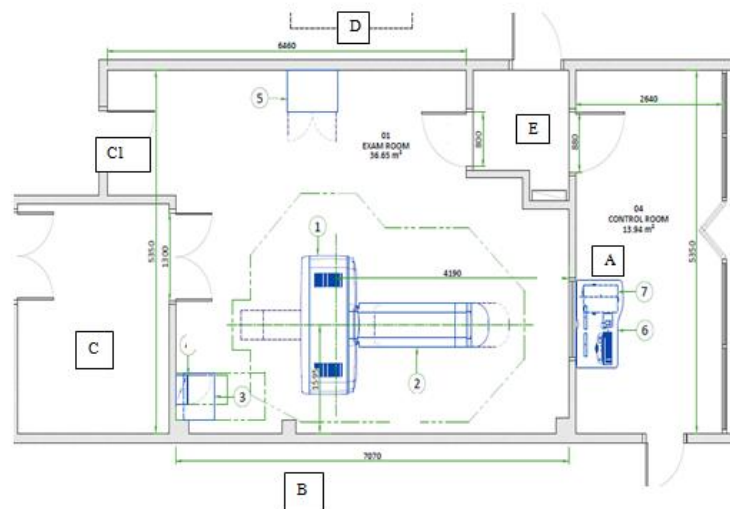


Tabela 32: Proračun debljina zaštitnih barijera (CT aparat Revolution Evo128/GE)

Barijera		Zid A	Zid A Pb staklo	Zid B	Zid C, C1	Zid C, C1 Vrata	Zid D	Zid D vrata	Zid E	Vrata E	Plafo n
Rastojanje (m)		4,19	4,19	1,59	2,88	2,88	3,755	3,755	3,0	3,0	2,7
Debljina (mm)	Olovo	1,2	-	1,9	1,4	1,4	1,2	1,2	1,35	-	1,4
	beton (gustine 2.35 g/cm ³)	120	-	175	140	-	120	-	130	1,35	145
	Olovno staklo (olovnog ekvivalenta 2.2 mmPb)	-	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-
	Knauf Ploče	50	-	-	50	-	50	-	50	-	-

Napomene:

- Pod je obložen elektroizolacionim materijalom (vinaz, linoleum, keramičke pločice);
- U tabeli iznad su dati minimalni zahtevi za debljinu zaštitnih barijera. Ukoliko postojeći zidovi zadovoljavaju ove zahteve, dodatna zaštita nije potrebna;
- Obezbeđena je vizuelna komunikacija putem olovnog stakla potrebnog ekvivalenta olova
- Obezbeđena je interfonska veza između rukovaoca i pacijenta;
- Adekvatnost strukturalne zaštite proverena je dozimetrijskim merenjima.

Merna nesigurnost: ± 20% uz nivo poverenja 95% (k=2)

Prirodni nivo zračenja na lokaciji merenja:

- Jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{Sv}{h} \right] : 0,12 \frac{\mu Sv}{h}$
- Parametri ekspozicije: 120kV, 380 mAs

Tabela 33: Rezultati ispitivanja za jačinu ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{\mu Sv}{h} \right]$

Glava, grudi, gonade rukovaoca	0,20
Čekaonica	0,50
Vrata kod rukovaoca	0,60
Predprostor	0,80
Hodnik	0,45
Iznad	0,12
Ispod	0,12

11. Medicinska ustanova

Tabela 34: Opis i karakteristike prostora za obavljanje radijacione delatnosti

Opis	Prostorija u kojoj se nalazi rendgen aparat za kompjuterizovanu tomografiju nalazi se na prizemlju. Raspored prostorija je dat na slici. Iza barijere (A) je rukovalac i vizuelna komunikacija je obezbeđena putem olovnog stakla. Iza barijere (B) je službeni prolaz, iza barijere (C i C1) su kabine za presvlačenje, iza barijere (D) je spoljašnji prostor-dvorište, iza barijere (E) je soba za digitalizaciju, a iza barijere (F) je hodnik. Iznad je laboratorija, a ispod je odeljenje hemodijalize.
Veličina	31,88 m ²
Ventilacija	Veštačka
Status	Vlasništvo
Klasifikacija prostora	Kontrolisana zona
Oznake	DA

Nacrt prostorije u kojoj se nalazi CT aparat:

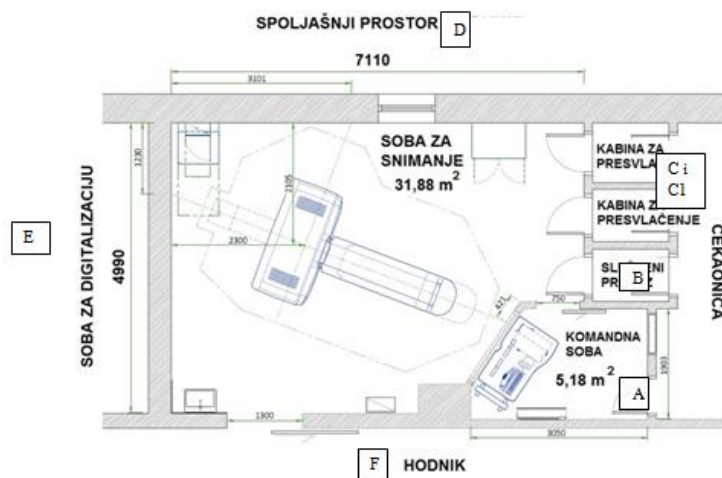


Tabela 35: Proračun debljina zaštitnih barijera (CT aparat Revolution Evo128/GE)

Barijera		Zid A Pb staklo	Zid A vrata kom. sobe	Zid B	Zid B vrata	Zid C	Zid C prozor	Zid D	Zid E	Zid E vrata	Plafon
Rastojanje (m)		2,26	2,26	4,81	4,81	2,105	2,105	2,3	2,885	2,885	2,7
Debljina (mm)	Olovo	-	1,6	1,0	1,0	1,7	-	1,6	1,45	1,45	1,4
	beton (gustine 2.35 g/cm ³)	-	-	110	-	160	-	150	140	-	145
	Olovno staklo (olovnog ekvivalenta 2.2 mmPb)	1,6	-	-	-	-	1,7	-	-	-	-
	Knauf Ploče	-	-	37,5	-	62,5	-	62,5	50	-	-

Napomene:

- Pod je obložen elektroizolacionim materijalom (vinaz, linoleum, keramičke pločice);
- U tabeli iznad su dati minimalni zahtevi za debljinu zaštitnih barijera. Ukoliko postojeći zidovi zadovoljavaju ove zahteve, dodatna zaštita nije potrebna;
- Obezbeđena je vizuelna komunikacija putem olovnog stakla potrebnog ekvivalenta olova
- Obezbeđena je interfonska veza između rukovaoca i pacijenta;
- Adekvatnost strukturalne zaštite proverena je dozimetrijskim merenjima.

Merna nesigurnost: $\pm 20\%$ uz nivo poverenja 95% (k=2)

Prirodni nivo zračenja na lokaciji merenja:

- Jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{Sv}{h} \right] : 0,11 \frac{\mu Sv}{h}$
- Parametri ekspozicije: 120kV, 380 mAs

Tabela 36: Rezultati ispitivanja za jačinu ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{\mu Sv}{h} \right]$

Glava, grudi, gonade rukovaoca	0,20
Kabina	0,40
Hodnik	0,40
Vrata kod rukovaoca	0,60
Dvorište	0,12
Iznad (laboratorija)	0,12

12. Medicinska ustanova

Tabela 37: Opis i karakteristike prostora za obavljanje radijacione delatnosti

Opis	Prostorija sa CT aparatom prikazana je na slici. Iza barijere (A) je rukovaoc, a vizuelna komunikacija je obezbeđena preko olovnog stakla. Prostorija je locirana u prizemlju. Ispod se nalazi prostorija u kojoj je kabinet za mamograf i ultrazvuk. Iznad se nalazi odeljenje intenzivne nege. Iza barijere (B) je spoljašnji prostor, iza barijere (C) je nefrologija, iza barijere (E i F) je prostorija za odmor, a iza bariejre (D) je hodnik.
Veličina	48 m ²
Ventilacija	Prirodna i veštačka
Status	Vlasništvo
Klasifikacija prostora	Kontrolisana zona
Oznake	DA

Nacrt prostorije u kojoj se nalazi CT aparat:

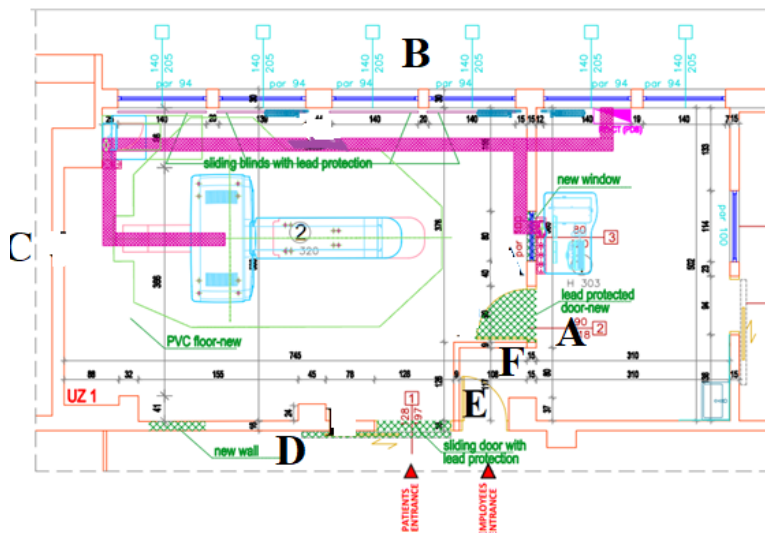


Tabela 38: Proračun debljina zaštitnih barijera (CT aparat Revolution Evo128/GE)

Barijera		Zid A	Zid B	Zid C	Zid D	Zid E i F	Plafon
Rastojanje (m)		4,5	1,6	2,6	3,1	3,9	2,7
Debljina (mm)	Olovo	1,15	1,95	1,5	1,35	1,2	1,4
	beton (gustine 2.35 g/cm ³)	115	180	145	150	120	145
	Olovno staklo (olovnog ekvivalenta 2.2 mmPb)	1,15	-	-	-	-	-
Knauf Ploče		37,5	75	62,5	50	50	-

Napomene:

- Pod je obložen elektroizolacionim materijalom (vinaz, linoleum, keramičke pločice);
- U tabeli iznad su dati minimalni zahtevi za debljinu zaštitnih barijera. Ukoliko postojeći zidovi zadovoljavaju ove zahteve, dodatna zaštita nije potrebna;
- Obezbeđena je vizuelna komunikacija putem olovnog stakla potrebnog ekvivalenta olova
- Obezbeđena je interfonska veza između rukovaoca i pacijenta;
- Adekvatnost strukturalne zaštite proverena je dozimetrijskim merenjima.

Merna nesigurnost: $\pm 20\%$ uz nivo poverenja 95% ($k=2$)

Prirodni nivo zračenja na lokaciji merenja:

- Jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{Sv}{h} \right] : 0,12 \frac{\mu Sv}{h}$
- Parametri ekspozicije: 120kV, 300 mAs, 12s

Tabela 39: Rezultati ispitivanja za jačinu ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{\mu Sv}{h} \right]$

Glava, grudi, gonade rukovaoca	0,13
Vrata komandnog prostora	1,59
Hodnik (vrata)	0,39
Hodnik	0,32
Prostorija za odmor	0,12
Nefrologija	0,12
Kabinet za mamografiju i ultrazvuk (ispod)	0,25
Intenzivna nega (iznad)	0,12

13. Medicinska ustanova

Tabela 40: Opis i karakteristike prostora za obavljanje radijacione delatnosti

Opis	Iza barijere (A) je rukovaoc i vizuelna komunikacija je putem olovnog stakla. Iznad je čekaonica.
Veličina	30,39 m ²
Ventilacija	
Status	Vlasništvo
Klasifikacija prostora	Kontrolisana zona
Oznake	DA

Nacrt prostorije u kojoj se nalazi CT aparat:

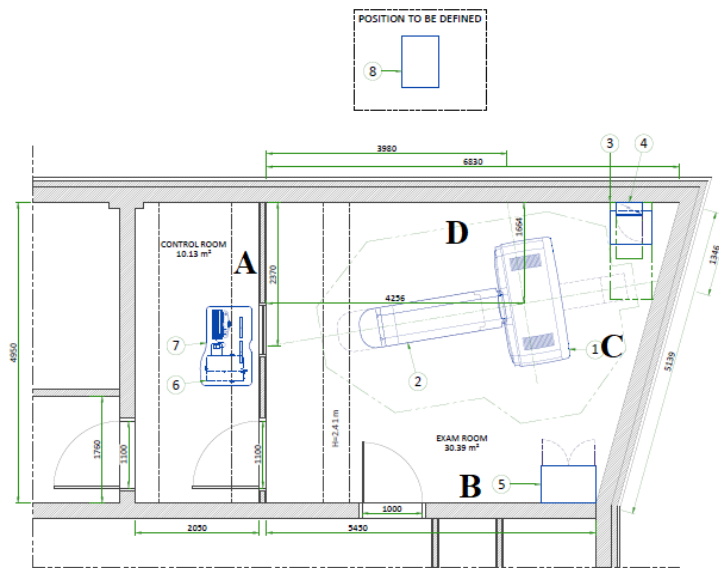


Tabela 41: Proračun debljina zaštitnih barijera (CT aparat Revolution Evo128/GE)

Barijera		Zid A	Zid A Vrata	Zid A Pb staklo	Zid B	Zid B Vrata	Zid C	Zid D	Plafon
Rastojanje (m)		4,256	4,256	4,256	1,664	1,664	2,574	2,8	2,7
Debljina (mm)	Olovo	1,2	1,2	-	1,8	1,8	1,4	1,3	1,3
	beton (gustine 2.35 g/cm ³)	120	-	-	170	-	140	130	130
	Olovno staklo (olovnog ekvivalenta 2.2 mmPb)	-	-	1,2	-	-	-	-	-
	Knauf Ploče	50	-	-	75	-	50	50	-

Napomene:

- Pod je obložen elektroizolacionim materijalom (vinaz, linoleum, keramičke pločice);
- U tabeli iznad su dati minimalni zahtevi za debljinu zaštitnih barijera. Ukoliko postojeći zidovi zadovoljavaju ove zahteve, dodatna zaštita nije potrebna;
- Obezbeđena je vizuelna komunikacija putem olovnog stakla potrebnog ekvivalenta olova
- Obezbeđena je interfonska veza između rukovaoca i pacijenta;
- Adekvatnost strukturalne zaštite proverena je dozimetrijskim merenjima.

Merna nesigurnost: $\pm 20\%$ uz nivo poverenja 95% ($k=2$)

Prirodni nivo zračenja na lokaciji merenja:

- Jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{Sv}{h} \right] : 0,12 \frac{\mu Sv}{h}$
- Parametri ekspozicije: 120kV, 320 mAs

Tabela 42: Rezultati ispitivanja za jačinu ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{\mu Sv}{h} \right]$

Glava, grudi, gonade rukovaoca	0,14
Čekaonica	0,40
Toalet	0,12
Iznad (čekaonica)	0,12

14. Medicinska ustanova

Tabela 43: Opis i karakteristike prostora za obavljanje radijacione delatnosti

Opis	Iza barijere A je komanda soba, iza barijere B je delimično slobodan prostor, C je slobodan prostor, iza barijere D je tehnička soba. Iznad se trenutno nalazi prazan radni prostor. Prostorija je u prizemlju.
Veličina	42,91 m ²
Ventilacija	Veštačka
Status	Vlasništvo
Klasifikacija prostora	Kontrolisana zona
Oznake	DA

Nacrt prostorije u kojoj se nalazi CT aparat:

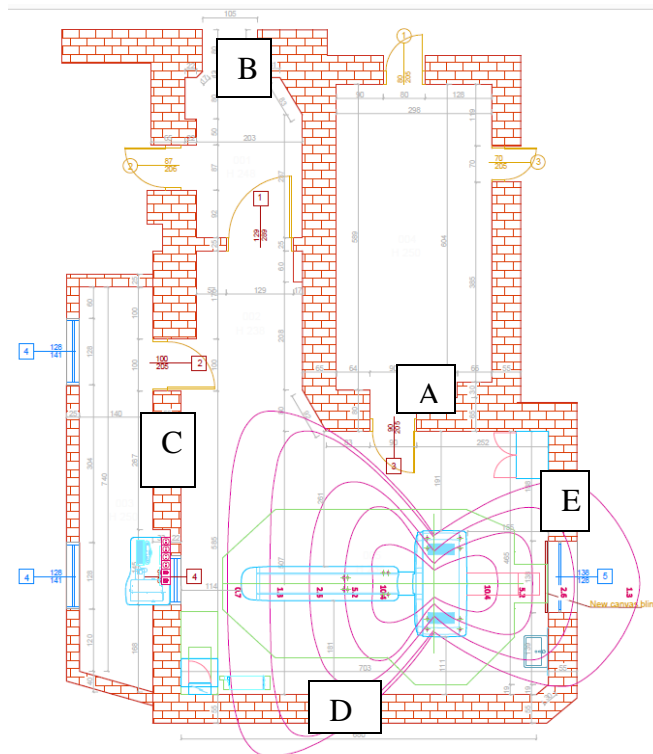


Tabela 44: Proračun debljina zaštitnih barijera (CT aparat Revolution Evo128/GE)

Barijera		Zid A	Zid A vrata	Zid B	Zid B vrata	Zid C	Zid C vrata	Zid C Pb staklo	Zid D	Zid E	Plafon
Rastojanje (m)		3,0	3,0	6,5	6,5	4,5	4,5	4,5	2,0	2,0	2,7
Debljina (mm)	Olovo	1,4	1,4	0,85	0,85	1,0	1,0	-	1,7	1,7	1,4
	beton (gustine 2.35 g/cm ³)	140	-	95	-	110	-	-	160	160	145
	Olovno staklo (olovnog ekvivalenta 2.2 mmPb)	-	-	-	-	-	-	1,0	-	-	-
Knauf Ploče		50	-	30	-	37,5	-	-	62,5	62,5	-

Napomene:

- Pod je obložen elektroizolacionim materijalom (vinaz, linoleum, keramičke pločice);
- U tabeli iznad su dati minimalni zahtevi za debljinu zaštitnih barijera. Ukoliko postojeći zidovi zadovoljavaju ove zahteve, dodatna zaštita nije potrebna;
- Obezbeđena je vizuelna komunikacija putem olovnog stakla potrebnog ekvivalenta olova

- Obezbeđena je interfonska veza između rukovaoca i pacijenta;
- Adekvatnost strukturalne zaštite proverena je dozimetrijskim merenjima.

Merna nesigurnost: $\pm 20\%$ uz nivo poverenja 95% ($k=2$)

Prirodni nivo zračenja na lokaciji merenja:

- Jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{Sv}{h} \right] : 0,12 \frac{\mu Sv}{h}$
- Parametri ekspozicije: 120kV, 400 mA, 6s

Tabela 45: Rezultati ispitivanja za jačinu ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{\mu Sv}{h} \right]$

Glava, grudi, gonade rukovaoca	0,20
Staklo za nadzor	0,19
Vrata hodnika sa čekaonicom	0,14
Vrata hodnika	0,19
Prozor ka spoljašnjem prostoru	10,2
Kbinet za mamografiju	0,14

15. Medicinska ustanova

Tabela 46: Opis i karakteristike prostora za obavljanje radijacione delatnosti

Opis	Prostorija u kojoj se nalazi rendgen aparat za kompjuterizovanu tomografiju je u prizemlju objekta. Iza barijere (A) je komandna soba i vizuelna komunikacija je obezbeđena putem olovnog stakla. Iza barijere (B) je garderober, iza barijere (C) je kabinet za mamografiju, iza barijere (D) je čekaonica/hodnik, iza barijere (E) je priprema. Iznad je soba za pacijente decije hirurgije, a ispod je podstanica i komora za izvlačenje vazduha. Raspored prostorija je dat na slici.
Veličina	31,70 m ²
Ventilacija	Veštačka
Status	Vlasništvo
Klasifikacija prostora	Kontrolisana zona
Oznake	DA

Nacrt prostorije u kojoj se nalazi CT aparat:

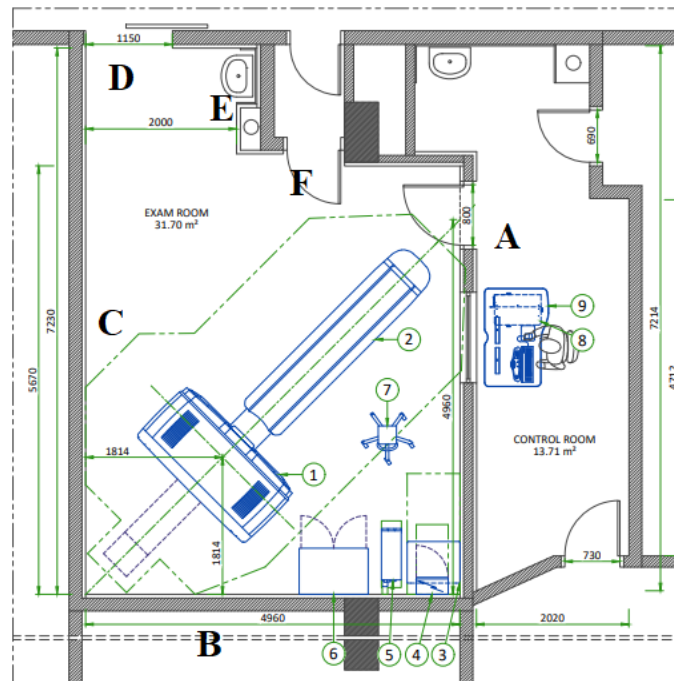


Tabela 47: Proračun debljina zaštitnih barijera (CT aparat Revolution Evo128/GE)

Barijera		ZidA	ZidA Pb staklo	ZidA vrata	Zid B i C	ZidF	ZidE Vrata	Zid D	Zid D Vrata	Zid E	Plafon
Debljina (mm)	Olovo	1,4	-	1,4	1,8	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,4
	beton (gustine 2.35 g/cm ³)	135	-	-	170	125	-	100	-	100	145
	Olovno staklo (olovnog ekvivalenta 2.2 mmPb)	-	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-
	Knauf Ploče	50	-	-	75	50	-	37,5	-	37,5	-

Napomene:

- Pod je obložen elektroizolacionim materijalom (vinaz, linoleum, keramičke pločice);
- U tabeli iznad su dati minimalni zahtevi za debljinu zaštitnih barijera. Ukoliko postojeći zidovi zadovoljavaju ove zahteve, dodatna zaštita nije potrebna;
- Obezbeđena je vizuelna komunikacija putem olovnog stakla potrebnog ekvivalenta olova
- Obezbeđena je interfonska veza između rukovaoca i pacijenta;
- Adekvatnost strukturalne zaštite proverena je dozimetrijskim merenjima.

Merna nesigurnost: ± 20% uz nivo poverenja 95% (k=2)

Prirodni nivo zračenja na lokaciji merenja:

- Jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{Sv}{h} \right] : 0,11 \frac{\mu Sv}{h}$
- Parametri ekspozicije: 120kV, 250 mAs

Tabela 48: Rezultati ispitivanja za jačinu ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{\mu Sv}{h} \right]$

Glava, grudi, gonade rukovaoca	0,11
Staklo kod rukovaoca	0,12
Vrata kod rukovaoca	0,12
Vrata za ulaz pacijenta	0,20
Čekaonica	0,12
Garderoba	0,12

16. Medicinska ustanova

Tabela 49: Opis i karakteristike prostora za obavljanje radijacione delatnosti

Opis	Iza barijere (A) je rukovalac i vizuelna komunikacij aje obezbeđena putem olovnog stakla. Iza barijere (B) je ulaz za pacijetne, iza barijera (C i D) je dvorište, a iza barijere (B1) je soba za tehničare. Raspored prostorija je dat na slici.
Veličina	> 20 m ²
Ventilacija	DA
Status	Vlasništvo
Klasifikacija prostora	Kontrolisana zona
Oznake	Da

Nacrt prostorije u kojoj se nalazi CT aparat:

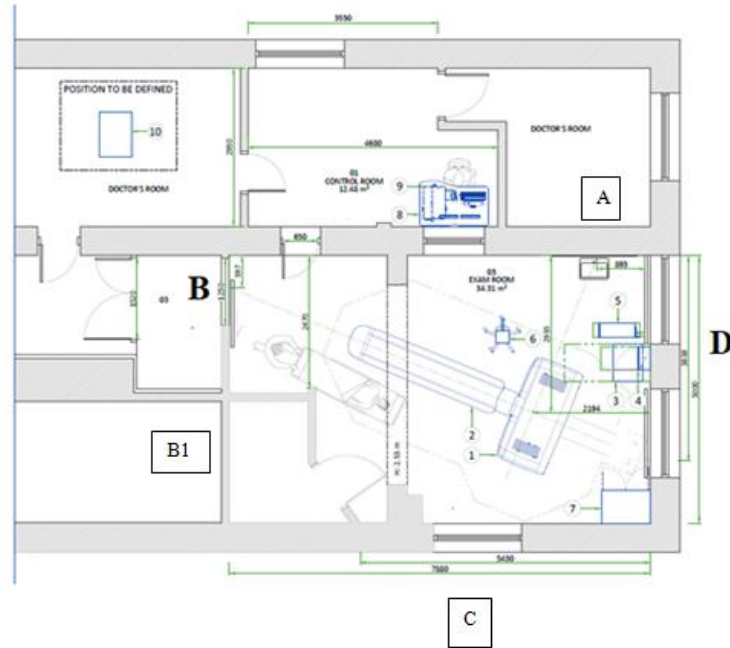


Tabela 50: Proračun debljina zaštitnih barijera (CT aparat Revolution Evo128/GE)

Barijera		Zid C	Zid C prozor	Zid B,B1	Zid B,B1 Vrata	Zid A	Zid A Vrata	Zid A Pb staklo	Zid D	Zid D prozor	Pod
Rastojanje (m)		2,065	2,065	5,686	5,686	2,935	2,935	2,935	2,194	2,194	4,1
Debljina (mm)	Olovo	1,7	-	0,95	0,95	1,4	1,4	-	1,65	-	1,2
	beton (gustine 2.35 g/cm ³)	160	-	100	-	140	-	-	155	-	120
	Olovno staklo (olovnog ekvivalenta 2.2 mmPb)	-	1,7	-	-	-	-	1,4	-	1,65	-
	Knauf Ploče	62,5	-	-	-	50	-	-	62,5	-	-

Napomene:

- Pod je obložen elektroizolacionim materijalom (vinaz, linoleum, keramičke pločice);
- U tabeli iznad su dati minimalni zahtevi za debljinu zaštitnih barijera. Ukoliko postojeći zidovi zadovoljavaju ove zahteve, dodatna zaštita nije potrebna;
- Obezbeđena je vizuelna komunikacija putem olovnog stakla potrebnog ekvivalenta olova
- Obezbeđena je interfonska veza između rukovaoca i pacijenta;

- Adekvatnost strukturalne zaštite proverena je dozimetrijskim merenjima.

Merna nesigurnost: $\pm 20\%$ uz nivo poverenja 95% ($k=2$)

Prirodni nivo zračenja na lokaciji merenja:

- Jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{Sv}{h} \right] : 0,11 \frac{\mu Sv}{h}$
- Parametri ekspozicije: 120kV, 450 mAs

Tabela 51: Rezultati ispitivanja za jačinu ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{\mu Sv}{h} \right]$

Glava, grudi, gonade rukovaoca	0,20
Staklo kod rukovaoca	0,35
Vrata kod rukovaoca	0,12
Vrata za ulaz pacijenta	0,20
Soba za tehničare	0,12
Dvorište	0,12

17. Medicinska ustanova

Tabela 52: Opis i karakteristike prostora za obavljanje radijacione delatnosti

Opis	Prostorija u kojoj se nalazi CT je u prizemlju objekta. Iza barijere (A) je rukovalac, a vizuelna komunikacija je obezbeđena putem olovnog stakla. Iza barijere (B) je sala za reanimaciju, iza barijere (C) je hodnik, iza barijere (D) je ambulanta, i iza barijere (D1) je ambulanta. Ispod nema prostorija, a iznad je odeljenje neurologije. Raspored prostorija je dat na slici .
Veličina	27,24 m ²
Ventilacija	Veštačka
Status	Vlsništvo
Klasifikacija prostora	Kontrolisana zona
Oznake	DA

Nacrt prostorije u kojoj se nalazi CT aparat:

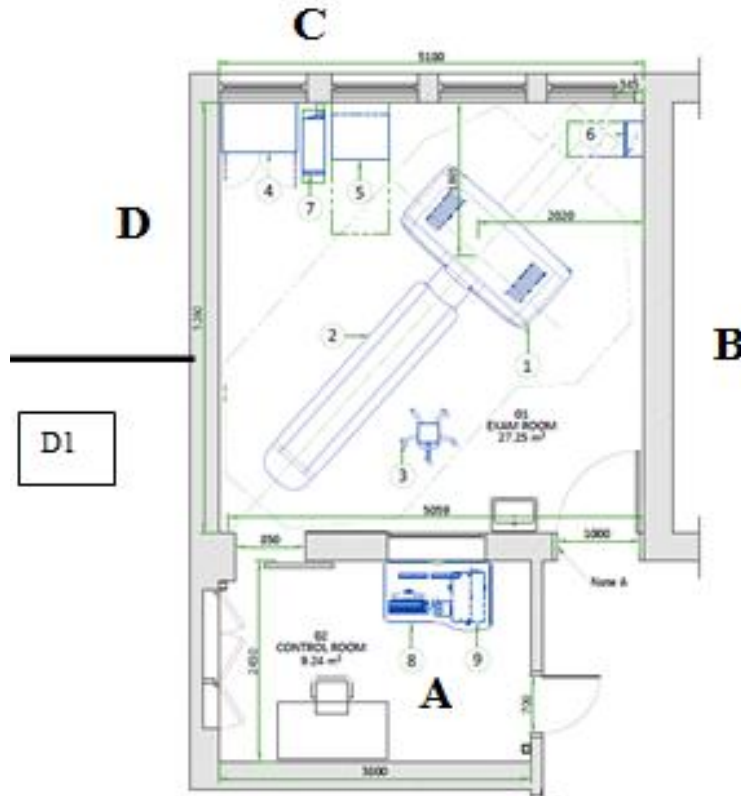


Tabela 53: Proračun debljina zaštitnih barijera (CT aparat Revolution Evo128/GE)

Barijera		Zid A	Zid A Pb staklo	Zid A vrata	Zid B	Zid C	Zid C prozor	Zid D, D1	Plafon
Rastojanje (m)		3,395	3,395	3,395	2,02	1,865	1,865	3,039	2,7
Debljina (mm)	Olovo	1,1	-	1,1	2,7	2,8	2,8	1,35	1,4
	beton (gustine 2.35 g/cm ³)	110	-	-	230	235	-	140	145
	Olovno staklo (olovnog ekvivalenta 2.2 mmPb)	-	2,0	-	-	-	-	-	-
	Knauf Ploče	37,5	-	-	-	-	-	50	-

Napomene:

- Pod je obložen elektroizolacionim materijalom (vinaz, linoleum, keramičke pločice);
- U tabeli iznad su dati minimalni zahtevi za debljinu zaštitnih barijera. Ukoliko postojeći zidovi zadovoljavaju ove zahteve, dodatna zaštita nije potrebna;
- Obezbeđena je vizuelna komunikacija putem olovnog stakla potrebnog ekvivalenta olova
- Obezbeđena je interfonska veza između rukovaoca i pacijenta;
- Adekvatnost strukturalne zaštite proverena je dozimetrijskim merenjima.

Merna nesigurnost: ± 20% uz nivo poverenja 95% (k=2)

Prirodni nivo zračenja na lokaciji merenja:

- Jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{Sv}{h} \right] : 0,12 \frac{\mu Sv}{h}$
- Parametri ekspozicije: 120kV, 360 mAs

Tabela 54: Rezultati ispitivanja za jačinu ambijentalnog doznog ekvivalenta $\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{\mu Sv}{h} \right]$

Glava, grudi, gonade rukovaoca	0,13
Vrata komandne prostorije	3,20
Hodnik-vrata	0,12
Hodnik	0,12
Sala za reanimaciju	0,14
Neurološka ambulanta	0,18
Hirurška ambulanta	0,13
Odeljenje neurologije (iznad)	0,13

7.3 Analiza podataka

Godišnje okupaciono izlaganje (doza zračenja) za radnika koji radi sa CT aparatom zavisi od nekoliko faktora, uključujući vreme provedeno u radu sa aparatom, tehničke karakteristike aparata i postupke zaštite od zračenja. Da bi se ta doza izračunala, koristi se jedinica efektivne doze zračenja, koja se obično meri u sivertima (Sv).

Pri proračunu godišnje doze zaposlenog radnika za CT aparatom u ovom slučaju će se uzimati jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta za glavu, grudi i gonade rukovaoca CT aparatom. U toku jedne godine biće računato 335 radnih dana, što je procenjeni maksimum ukoliko bi radnik radio 7 dana nedeljno sa dve nedelje godišnjeg odmora, ne uzimajući u obzir neradne dane. Kako bi moglo da se uradi poređenje među institucijama za prosečne vrednosti dužine trajanja ekspozicije i broj ekspozicija u danu biće uzeto 20s i 20 ekspozicija u toku jednog dana, retrospektivno. Ove tri vrednosti su procenjeni maksimumi, koji se uzimaju radi sigurnosti, odnosno kako ni u jednoj instituciji ne postoji mogućnost za većom okupacionom godišnjom dozom od proračunate.

$$E = \frac{H^*(10)}{t} * n * T * N \quad (7.1)$$

E - godišnje okupaciono izlaganje [μSv]

$\frac{H^*(10)}{t}$ - jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta za glavu, grudi i gonade rukovaoca [$\frac{\mu\text{Sv}}{h}$]

T - vreme trajanja ekspozicija [h] = 0,005556h

n - broj ekspozicija u danu = 20

N - broj radnih dana u godini = 335

Formula po kojoj će biti računata merna nesigurnost godišnje okupacione doze je sledeća:

$$\Delta E = |E| * k * \sqrt{\left(\frac{\Delta \frac{H^*(10)}{t}}{\frac{H^*(10)}{t}}\right)^2} \quad (7.2)$$

ΔE - merna nesigurnost za godišnju okupacionu dozu [μSv]

$|E|$ - apsolutna vrednost godišnje okupacione doze [μSv]

$\Delta \frac{H^*(10)}{t}$ - merna nesigurnost za jačinu ambijentalnog doznog ekvivalenta [$\frac{\mu\text{Sv}}{h}$]

$\frac{H^*(10)}{t}$ - centralna vrednost ambijentalnog doznog ekvivalenta $\left[\frac{\mu Sv}{h}\right]$

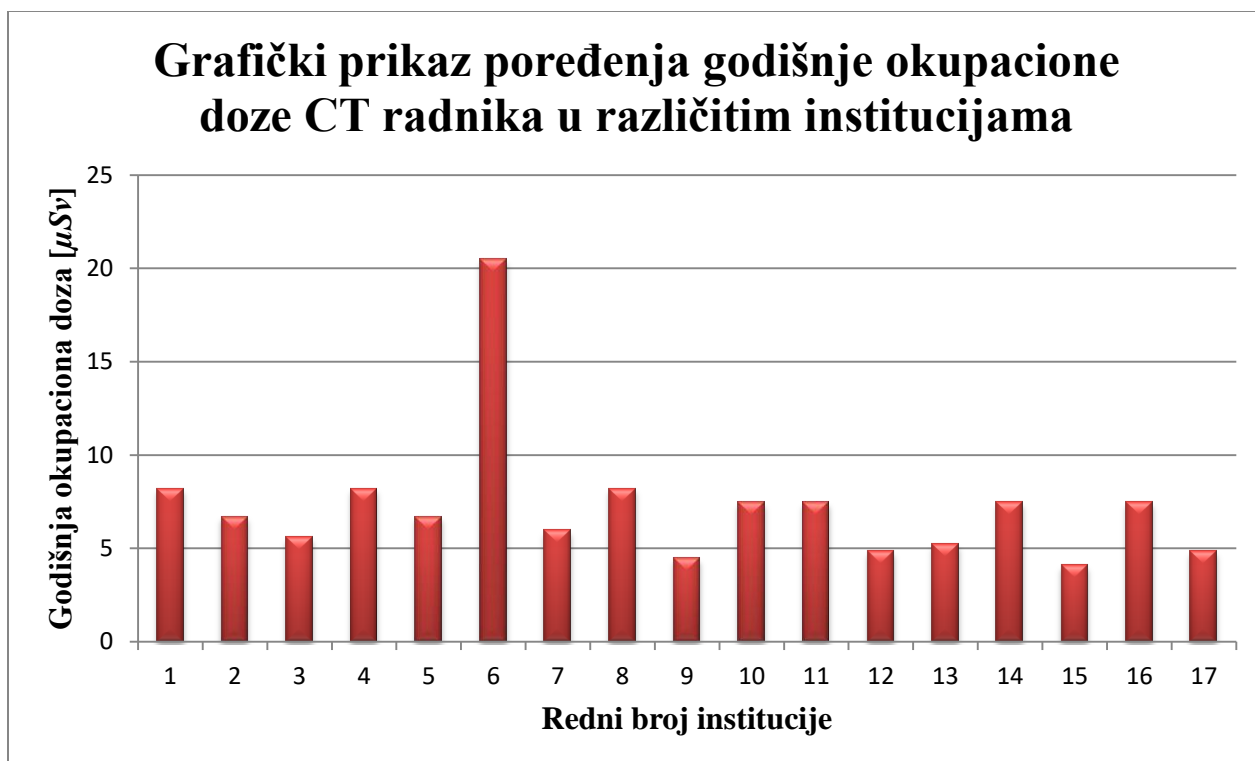
k - faktor stepena poverenja i standardne raspodele verovatnoće

Vrednost za mernu nesigurnost jačine ambijentalnog doznog ekvivalenta je 20% od vrednosti jačine ambijentalnog doznog ekvivalenta za dato merenje uz nivo poverenja od 95%, što odgovara faktoru $k=2$.

Tabela 55: Proračun godišnje okupacione doze radnika za CT aparatom za različite institucije

Redni broj institucije	$\frac{H^*(10)}{t} \left[\frac{\mu Sv}{h}\right]$	$E [\mu Sv]$	$\Delta E [\mu Sv]$
1.	0,22	8,2	± 3,3
2.	0,18	6,7	± 2,7
3.	0,15	5,6	± 2,2
4.	0,22	8,2	± 3,3
5.	0,18	6,7	± 2,7
6.	0,55	20,5	± 8,2
7.	0,16	5,9	± 2,4
8.	0,22	8,2	± 3,3
9.	0,12	4,5	± 1,8
10.	0,20	7,4	± 3,0
11.	0,20	7,4	± 3,0
12.	0,13	4,8	± 1,9
13.	0,14	5,2	± 2,1
14.	0,20	7,4	± 3,0
15.	0,11	4,1	± 1,6
16.	0,20	7,4	± 3,0
17.	0,13	4,8	± 1,9

Na grafiku 1 prikazano je grafičko poređenje godišnje okupacione doze radnika za CT aparatom među institucijama, koje su u ovom radu razmatrane. Očigledno je da godišnja okupaciona doza radnika u instituciji sa rednim brojem 6 izuzetno odskaka od vrednosti godišnjih okupacionih doza u ostalim institucijama, gde je prosečna vrednost 7,24 μSv . U svakom slučaju u svim institucijama godišnje okupacione doze radnika za CT aparatom su za tri reda veličine ispod zakonski regulisanih dozvoljenih granica.



Grafik 1: Grafički prikaz godišnje okupacione doze u različitim institucijama

Tabela 56: Godišnja okupaciona doza radnika za CT aparatom u različitim institucijama u zavisnosti od položaja gentryja CT aparata u kontrolnoj sobi, oblika prostorije, veličine prostorije, rastojanja od zaštitne barijere do aparata i debljine zaštitne barijere kontrolne sobe

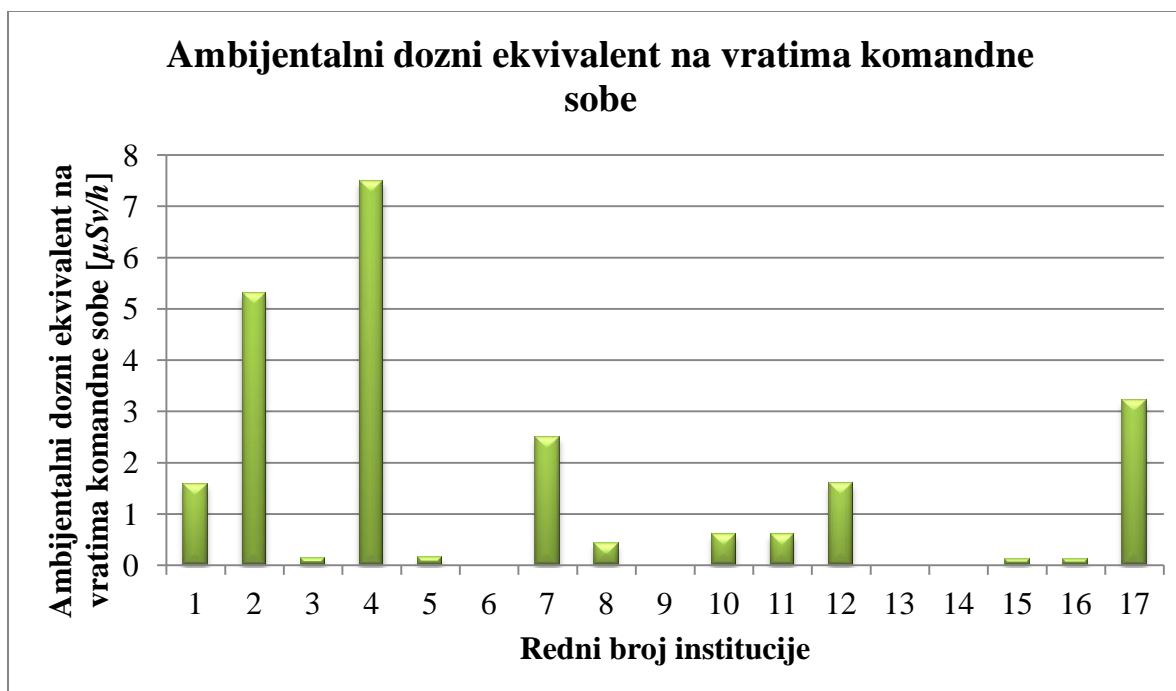
Redni broj institucije	Godišnja okupaciona doza radnika za CT aparatom E [µSv]	Položaj ose rotacije gentryja u odnosu na komandnu prostoriju	Oblik prostorije	Veličina prostorije	Rastojanje od zaštitne barijere do aparata (m)	Debljina zaštitne barijere kontrolne sobe(mm)
1.	8,2± 3,3	Približno normalno - u ravni sa kontrolnom sobom	Pravougaoni	29,76 m ²	3,654	1,2 Pb 120 beton 50 knauf ploče
2.	6,7± 2,7	Dijagonalno - u ravni sa kontrolnom sobom	Pravougaoni	32,07 m ²	3,455	1,3 Pb 130 beton 50 knauf ploče
3.	5,6± 2,2	Dijagonalno - iznad ravni kontrolne sobe	Pravougaoni	30,97 m ²	3,45	1,3 Pb 130 beton 50 knauf ploče
4.	8,2± 3,3	Normalno - u ravni kontrolne sobe	Pravougaoni	33,24 m ²	4,89	1,0 Pb 110 beton 35 knauf ploče 1,0 olovno staklo

5.	6,7± 2,7	Dijagonalno - u ravni kontrolne sobe	Pravougaoni	28,92m ²	3,124	1,4 Pb 135 beton 50 knauf ploče 1,4 olovno staklo
6.	20,5± 8,2	Približno normalno - u ravni kontrolne sobe	Približno pravougaoni	27,72 m ²	4,59	1,05 Pb 110 beton 37,5 knauf ploče 1,05 olovno staklo
7.	5,9± 2,4	Normalno - u ravni kontrolne sobe	Približno pravougaoni	27,25 m ²	4,5	1,0 Pb 110 beton 37,5 knauf ploče 1,0 olovno staklo
8.	8,2± 3,3	Dijagonalno - u ravni kontrolne sobe	Približno pravougaoni	26m ²	2,65	1,45 Pb 145 beton 62,5 knauf ploče 1,45 olovno staklo
9.	4,5± 1,8	Paralelno - u ravni kontrolne sobe	Pravougaoni	23,43 m ²	2,12	1,7 Pb 160 beton 62,5 knauf ploče 1,7 olovno staklo
10.	7,4± 3,0	Normalno - u ravni kontrolne sobe	Približno pravougaoni	37,82 m ²	4,19	1,2 Pb 120 beton 50 knauf ploče 1,2 olovno staklo
11.	7,4± 3,0	Približno normalno - iznad ravni kontrolne sobe	Približno pravougaoni	31,88 m ²	2,26	1,6 Pb 110 beton 1,6 olovno staklo 37,5 knauf ploče
12.	4,8± 1,9	Normalno - u ravni kontrolne sobe	Približno pravougaoni	48 m ²	4,5	1,15 Pb 115 beton 37,5 knauf ploče 1,15 olovno staklo
13.	5,2± 2,1	Približno normalno - u ravni kontrolne sobe	Približno pravougaoni	30,39 m ²	4,256	1,2 Pb 120 beton 50 knauf ploče 1,2 olovno staklo
14.	7,4± 3,0	Normalno - u ravni kontrolne sobe	Oblik slova L	42,91 m ²	4,5	1,0 Pb 110 beton 37,5 knauf ploče

						1,0 olovno staklo
15.	4,1± 1,6	Dijagonalno - u ravni kontrolne sobe	Približno pravougaoni	31,70 m ²	3,146	1,4 Pb 135 beton 50 knauf ploče 1,4 olovno staklo
16.	7,4± 3,0	Dijagonalno - ispod ravni kontrolne sobe	Pravougaoni	> 20 m ²	2,935	1,4 Pb 140 beton 62,5 knauf ploče 1,4 olovno staklo
17.	4,8± 1,9	Dijagonalno - u ravni kontrolne sobe	Pravougaoni	27,24 m ²	3,395	1,1 Pb 110 beton 37,5 knauf ploče 2,0 olovno staklo

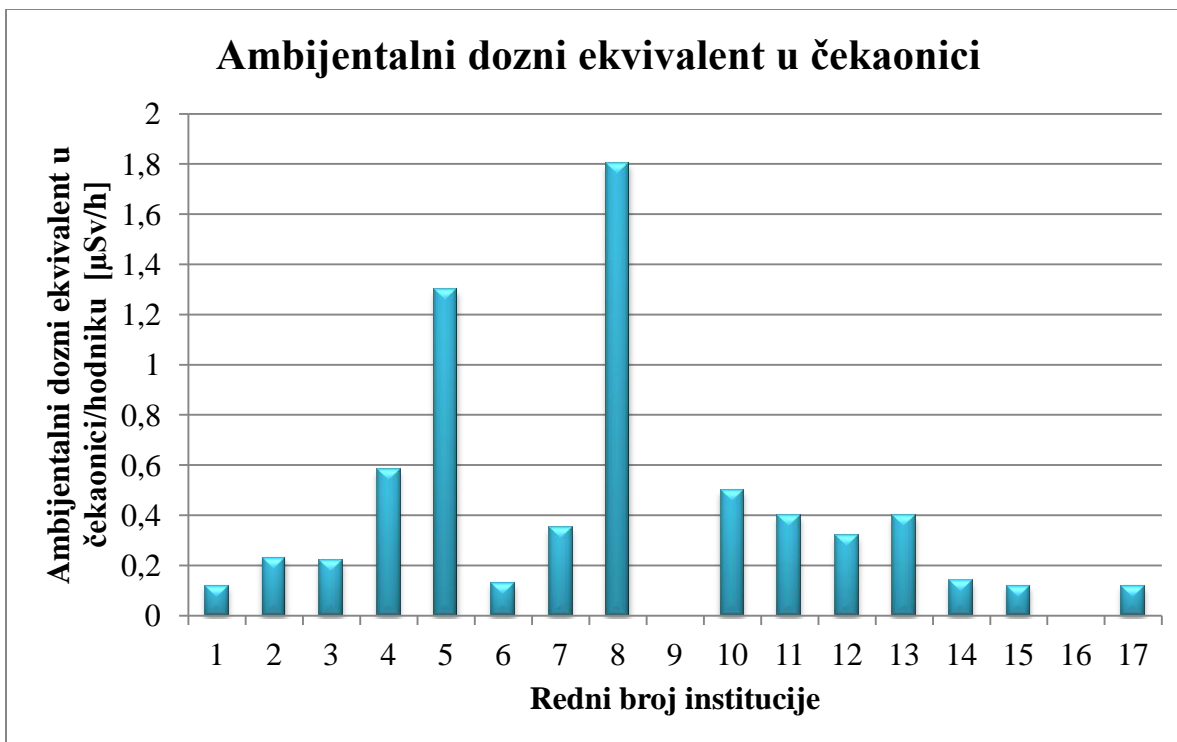
U tabeli 56 se može primetiti znatno odstupanje godišnje okupacione doze rukovaoca u instituciji pod rednim brojem 6. Prema dimenzijama i karakteristikama zaštite nije jasno zašto bi do toga došlo, jedini razlog zbog kog bi do toga moglo doći je da konstrukcijski zaštita nije urađena u potpunosti u skladu sa preporukama datim u Izveštaju o sigurnosti. Takođe, nisu izmerene vrednosti za ambijentalni dozni ekvivalent na vratima komandne sobe u ovoj instituciji, što eventualno može biti drugi potencijalni razlog za nešto veće godišnje doze koje prima rukovaoc.

Poređenje efikasnosti zaštitnih barijera na vratima komandne sobe prikazano je na grafiku 2. U institucijama u kojima ambijentalni dozni ekvivalent na vratima komandne sobe nije meren na grafiku je njegova vrednost 0. U institucijama pod rednim brojem 2 i 4 vidi se znatno veća vrednost ambijentalnog dozno ekvivalenta na vratima komandnog prostora u odnosu na ostale institucije. Ukoliko se uzme u obzir krajnji rezultat godišnje okupacione doze radnika u komandnim sobama CT aparata u ovim institucijama, kao i svim ostalim, godišnje doze svih zaposlenih radnika su daleko ispod dozvoljene granice. Odnosno, sve zaštitne barijere oko komandnog prostora u svim institucijama su dobro realizovane i vrlo efikasne u svojoj svrsi.



Grafik 2: Vrednost ambijentalnog doznog ekvivalenta na vratima komandne sobe u različitim institucijama

Na grafiku 3 prikazano je grafičko poređenje ambijentalnog doznog ekvivalenta u čekaonicama odnosno hodnicima u različitim institucijama. Za institucije pod rednim brojem 9 i 16 nisu izmereni ambijentalni dozni ekvivalenti na ovim mestima te je njihova vrednost na graficima 0. U institucijama pod rednim brojem 5 i 8 vide se znatno veće vrednosti ambijentalnog doznog ekvivalenta u čekaonicama odnosno hodnicima u odnosu na druge institucije u kojima ambijentalni dozni ekvivalent ima prosečnu vrednost od $0,4 \mu\text{Sv}$. Veći ambijentalni dozni ekvivalent u prostorima kao što su čekaonica ili hodnik povećava dozu koju prima stanovništvo odnosno pacijenti koji čekaju na pregled, snimanje ili ljudi koji su pratnja pacijentima. Posebno je potrebno obratiti pažnju na efikasnost zaštitne barijere u čekaonicama odnosno hodnicima u kojima su pacijenti isključivo deca.



Grafik 3: Vrednost ambijentalnog doznog ekvivalenta u čekaonici/hodniku u različitim institucijama

8 Zaključak

Izrađivanje Izveštaja o sigurnosti, odnosno projektovanje debljina zaštitnih barijera kao i izbor materijala od kojih će one biti načinjene je izuzetno ozbiljan i odgovoran zadatak. Od efikasnosti zaštitnih barijera zavisi i koliko će biti okupaciono izlaganje lica zaposlenih u medicinskim uslovima, kao i pacijenata. Obzirom da CT dijagnostiku karakterišu visoke vrednosti isporučениh pacijentnih doza, to direktno znači i prisustvo rasejanog zračenja u prostoriji sa CT aparatom, samim tim je od velikog značaja izrada zaštitnih barijera kod CT dijagnostike kao bitan element zaštite profesionalno izloženih lica. Obzirom na specifičnost CT dijagnostičkog aparata, rendgenska cev koja rotira u okviru gantry-ja, sve okolne barijere – zidovi se sa aspekta zaštite od jonizujućeg zračenja posmatraju kao primarne barijere i ojačavaju se debljim slojem zaštitnog materijala (olova ili betona najčešće u skladu sa dostupnim uslovima). CT dijagnostika privlači pažnju sa aspekta zaštite od zračenja, što se može videti i u brojnim publikacijama koje se bave upravo ovom temom [7-11].

Cilj ovog rada je bio da se uporedi efikasnost zaštite u 17 različitih CT kabineta u kojima se nalazi CT aparat istog proizvođača GE Revolution Evo 128. Poređenja su vršena na osnovu izračunatih godišnjih okupacionih doza operatera za CT aparatom, koji prilikom eksponiranja pacijenata sedi u komandnoj sobi i rukuje CT aparatom za snimanje. U radu je testirana efikasnost već postavljenih zaštitnih barijera i može se zaključiti da se konvencionalnim pristupom potpunog eliminisanja postojanja jonizujućeg zračenja izvan prostorije u kojoj se CT aparat nalazi u našoj zemlji efikasno sprovodi zaštita profesionalno izloženih lica jer nijedna od proračunatih doza za osoblje ne predstavlja rizik i upada u godišnji limit za obično stanovništvo.

Literatura

1. D.R. Dance, S. Christofides, A.D.A. Maidment, I.D. McLean, K.H. Ng: *Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Student*, IAEA, 2014.
2. http://icrpaedia.org/Computed_tomography_dose_index
3. M.F. Di Carli, M. J. Lipton: *Cardiac PET and PET/CT Imaging*
4. Pravilnik o primeni izvora jonizujućeg zračenja u medicini, ("Sl. glasnik RS", br. 1/2012)
5. Pravilnik o prijavljivanju namere i izdavanju odobrenja obavljanje radijacionih delatnosti, („Службени гласник РС”, бр. 95/18 и 10/19), („Службени гласник РС”, број 9/19 и 127/21), 2022.
6. GE Healthcare: *Revolution EVO Product Data Sheet - Rev4*
7. Smith-Bindman R., *CT radiation dose: current controversies and dose reduction strategies*, Journal of the American Medical Association. 2012
8. Wang Z, et al, *Radiation dose reduction in computed tomography: techniques and future perspectives*, Imaging in Medicine, 2012
9. Mayo-Smith WW, et al., *CT radiation dose management: a comprehensive guide*, Journal of the American College of Radiology, 2015
10. McCollough CH, et al, *Strategies for CT radiation dose optimization*, 2015
11. Sodickson A, et al, *Radiation dose management: part 1, minimizing radiation dose in CT-guided procedures*, American Journal of Roentgenology 2015

9 Biografija



Milica Kmezić (rođena Rankov) rođena je u Novom Kneževcu, 6. aprila 1998. godine. Osnovnu školu "Jovan Jovanović Zmaj" završila je u svom rodnom gradu. Upisuje srednju medicinsku školu "7. april" u Novom Sadu i opredeljuje se za smer fizioterapeuskog tehničara. Osnovne studije na modulu istraživačka fizika upisuje 2017. godine na Departmanu za fiziku, Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu, a iste završava u oktobru 2021. godine i stiče stručni naziv diplomirani fizičar. Od januara 2022. godine radi u osnovnoj školi "Jovan Mikić" u Subotici na poziciji nastavnika fizike. Master studije medicinske fizike upisuje 2022. godine na Departmanu za fiziku, Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu.

Novi Sad, avgust 2023.

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD Monografska dokumentacija

Tip zapisa:

TZ Tekstualni štampani materijal

Vrsta rada:

VR Master rad

Autor:

AU Milica Kmezić

Mentor:

MN dr Jovana Nikolov, redovan profesor

Naslov rada:

NR Procena efikasnosti zaštitnih barijera kod CT aparata GE Revolution EVO 128

Jezik publikacije:

JP srpski (latinica)

Jezik izvoda:

Jl srpski/engleski

Zemlja publikovanja:

ZP Srbija i Crna Gora

Uže geografsko područje:

UGP Vojvodina

Godina:

GO 2005

Izdavač:

IZ Autorski reprint

Mesto i adresa:

MA Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

Fizički opis rada:

FO 8 poglavlja/76 strana/56 tabele/2 slike/3 grafika/11 referenci

Naučna oblast:

NO Fizika

Naučna disciplina:

ND Medicinska fizika

Predmetna odrednica/ ključne reči:

PO

UDK Efikasnost, zaštitna barijera, CT aparat, GE Revolution 128

Čuva se:

ČU Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

Važna napomena:

VN nema

Izvod:

IZ

Datum prihvatanja teme od NN veća:

DP .8.2023.

Datum odbrane:

DO .8.2023.

Članovi komisije:

KO

Predsednik: dr Nataša Todorović, redovan profesor

član: Jovana Nikolov, vanredni profesor

član: dr Olivera Klisurić, redovan profesor

UNIVERSITY OF NOVI SAD

FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

DT Monograph publication

Type of record:

TR Textual printed material

Content code:

CC Final master's thesis

Author:

AU Milica Kmezić

Mentor/comentor:

MN prof. dr Jovana Nikolov

Title:

TI Assessment of Protective Barrier Efficiency for GE Revolution EVO 128 CT Scanner

Language of text:

LT Serbian (Latin)

Language of abstract:

LA English

Country of publication:

CP Serbia and Montenegro

Locality of publication:

LP Vojvodina

Publication year:

PY 2005

Publisher:

PU Author's reprint

Publication place:

PP Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

Physical description:

PD 8 chapters/76 pages/56 table/2 figures/3 graph/11 references

Scientific field:

SF Physics

Scientific discipline:

SD Medical physics

Subject/ Key words:

SKW

UC Efficiency, protective barrier, CT scanner, GE Revolution 128

Holding data:

HD Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

Note:

N none

Abstract:

AB

Accepted by the Scientific Board:

ASB .8.2021.

Defended on:

DE .8.2023.

Thesis defend board:

DB

President: dr Nataša Todorović, full professor

Member: dr Jovana Nikolov, associate professor

Member: dr Olivera Klisurić, full professor