

# Rad na pravilan način i zaštita od zračenja u laboratoriju za pripremu doza radiofarmaka ("Hot" laboratorij)

---

**Samardžić, Filip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split / Sveučilište u Splitu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:176:108867>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-18**



Sveučilišni odjel zdravstvenih studija  
SVEUČILIŠTE U SPLITU

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University Department for Health Studies, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEU ILIŠTE U SPLITU  
Podružnica  
SVEU ILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA  
SVEU ILIŠNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ  
RADIOLOŠKA TEHNOLOGIJA

**Filip Samardži**

**RAD NA PRAVILAN NAČIN I ZAŠTITA OD ZRAČENJA U  
LABORATORIJU ZA PRIPREMU DOZA RADIOFARMAKA  
(„HOT“ LABORATORIJ)**

**Završni rad**

Split, 2024.

SVEU ILIŠTE U SPLITU  
Podružnica  
SVEU ILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA  
SVEU ILIŠNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ  
RADIOLOŠKA TEHNOLOGIJA

**Filip Samardži**

**RAD NA PRAVILAN NAČIN I ZAŠTITA OD ZRAČENJA U  
LABORATORIJU ZA PRIPREMU DOZA RADIOFARMAKA  
(„HOT“ LABORATORIJ)**

**THE CORRECT WAY TO WORK AND RADIATION  
PROTECTION IN RADIOPHARMACEUTICAL DOSE  
PREPARATION LABORATORIES („HOT“ LABORATORY)**

**Završni rad / Bachelor's Thesis**

Mentor:

**mr. sc. Darijo Radovi , dr. med.**

Split, 2024.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

ZAVRŠNI RAD

Sveučilište u Splitu  
Sveučilišni odjel zdravstvenih studija  
Sveučilišni prijediplomski studij radiološka tehnologija

**Znanstveno područje:** biomedicina i zdravstvo  
**Znanstveno polje:** kliničke medicinske znanosti

**Mentor:** mr. sc. Darijo Radović, dr. med., viši predavač

### RAD NA PRAVILAN NAČIN I ZAŠTITA OD ZRAČENJA U LABORATORIJU ZA PRIPREMU DOZA RADIOFARMAKA („HOT“ LABORATORIJ) Filip Samardžić, 0346013341

#### SAŽETAK

Laboratorij za pripremu doza radiofarmaka – „hot“ laboratorij je dio odjela/klinike za nuklearnu medicinu u kojem se skladište radiofarmaci i pripremaju pojedinačne doze za pacijente, te je mjesto s najvećim rizikom od izlaganja ionizirajućem zračenju. Stoga je pristup ovom prostoru ograničen samo na osoblje koje mora biti obučeno za rukovanje radioaktivnim izvorima, a rad na ovom mjestu mora biti organiziran na način da se smanji rizik od izlaganja zračenju za djelatnike i za pacijente.

U ovom radu opisan je smještaj, izgled i oprema kao i organizacija rada u „hot“ laboratoriju. Opisane su i procedure koje se obavljaju od postupaka kontrole uređaja do pripreme pojedinačnih doza radiofarmaka za pacijente, uz evidenciju mogućih izvora zračenja i opasnosti od ozračivanja i kontaminacije u laboratoriju. Ovisno o izvorima zračenja navedene su mjere zaštite od zračenja kao i načini kontrole kontaminacije i izloženosti zračenju.

Za ispravan rad u „hot“ laboratoriju neophodna je ispravna izgradnja i opremanje prostorije, uspostavljanje preciznih i jasnih procedura za svaki postupak kako pri redovnom radu tako i postupcima pri izvanrednim događajima, koje moraju biti dostupne u pisanom obliku. U „hot“ laboratoriju postoji opasnost od izlaganja ionizirajućem zračenju kao i opasnost od kontaminacije iz različitih izvora te se ovisno o tome razlikuju načini i mjere zaštite od zračenja. Pri svemu ovome radiološki tehnolog koji radi u „hot“ laboratoriju ima vodeću ulogu u osiguravanju ispravnog rada ovog laboratorija.

**Cljučne riječi:** „hot“ laboratorij; nuklearna medicina; radiološki tehnolog; zaštita od zračenja

**Rad sadrži:** 29 stranica; 18 slika; 0 tablica; 13 literaturnih referenci

**Jezik izvornika:** hrvatski

## BASIC DOCUMENTATION CARD

BACHELOR THESIS

University of Split  
University Department for Health Studies  
University undergraduate study of radiological technology

**Scientific area:** biomedicine and health care  
**Scientific field:** clinical medical sciences

**Supervisor:** mr. sc. Darijo Radovi , dr. med., senior lecturer

### THE CORRECT WAY TO WORK AND RADIATION PROTECTION IN RADIOPHARMACEUTICAL DOSE PREPARATION LABORATORIES („HOT“ LABORATORY)

Filip Samardži . 0346013341

#### SUMMARY

The laboratory for the preparation of doses of radiopharmaceuticals - the "hot" laboratory is part of the department/clinic for nuclear medicine where radiopharmaceuticals are stored and individual doses are prepared for patients, and is the place with the highest risk of exposure to ionizing radiation. Therefore, access to this area is limited only to personnel who must be trained to handle radioactive sources, and work in this place must be organized in such a way as to reduce the risk of radiation exposure for employees and patients.

This paper describes the accommodation, appearance and equipment as well as the organization of work in the hot laboratory. Procedures performed from device control procedures to preparation of individual doses of radiopharmaceuticals for patients are also described, along with records of possible sources of radiation and risks of radiation and contamination in the laboratory. Depending on the possible sources of radiation, radiation protection measures as well as ways to control contamination and radiation exposure are listed.

For correct work in the "hot" laboratory, it is necessary to build and equip the room correctly, establish precise and clear procedures for each procedure both during regular work and procedures during extraordinary events, which must be available in written form. In a "hot" laboratory, there is a risk of exposure to ionizing radiation as well as a risk of contamination from various sources, and the methods and measures of radiation protection differ depending on this. In all this, the radiological technologist working in the "hot" laboratory has a leading role in ensuring the correct operation of this laboratory.

**Keywords:** „hot“ laboratory; nuclear medicine; radiological technologist; radiation protection

**Thesis contains:** 29 pages; 18 figures; 0 tables, 13 references

**Original in:** Croatian

# SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	III
1. UVOD .....	1
1.1. Nuklearna medicina .....	1
1.1.1. Uređaji u nuklearnoj medicini .....	1
1.2. Radiofarmaci.....	4
1.2.1. Tehnecij .....	4
1.2.2. Jod .....	5
1.2.3. Fluor.....	5
2. CILJ RADA .....	7
3. RASPRAVA .....	8
3.1. Opis „hot“ laboratorija .....	8
3.2. Rad u „hot“ laboratoriju .....	10
3.3. Izvori zračenja u „hot“ laboratoriju i mjere zaštite.....	15
3.3.1. Izvori zračenja .....	15
3.3.2. Mjere i načini zaštite .....	17
3.3.3. Kontrola kontaminacije i izloženosti ionizirajućem zračenju .....	19
4. ZAKLJUČAK.....	21
5. LITERATURA .....	22
6. ŽIVOTOPIS .....	24

# 1. UVOD

## 1.1. NUKLEARNA MEDICINA

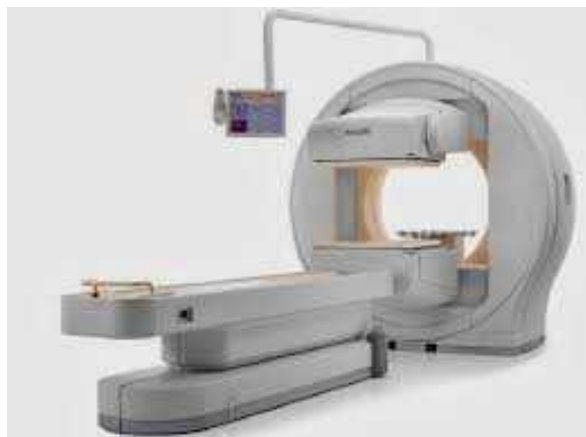
Nuklearna medicina je relativno nova dijagnostička grana medicine (službeno nastala 1971.) koja koristi nestabilne (radioaktivne) izotope da bi slikovno dala informaciju o obliku i funkciji pojedinih organa i organskih sustava [1]. Primjena radioaktivnih izotopa počela je 50-ih godina 20. stoljeća, a od početka 70-ih nuklearna medicina je posebna grana medicine. Princip rada je jednostavan – pacijentu se injicira radiofarmak, spoj radioaktivnog izotopa i obilježivača koji služi kao vodič izotopu do organa od interesa, zatim se vanjskim detektorima zračenja prikupljaju informacije iz tijela pacijenta [2].

### 1.1.1. Uređaji u nuklearnoj medicini

Postoji nekoliko vrsta uređaja u nuklearnoj medicini. U ovom radu bit će opisana dva glavna uređaja kojima se oslikava raspored radiofarmaka u tijelu pacijenta – gama kamera i PET/CT.

Gama kamera (Slika 1.) je osnovni uređaj u nuklearnoj medicini. Na temelju nakupljanja ili prolaska radiofarmaka kroz određeni dio tijela od interesa ona daje sliku rasporeda radiofarmaka koja predstavlja sliku funkcije odnosno metabolizma. Slika dobivena gama kamerom naziva se scintigram, a postupak scintigrafija. Gama kamera sastoji se od nekoliko osnovnih dijelova: kućište (gantry), stol za pacijenta, detektor, kolimator, radna stanica za upravljanje, prikaz i obradu slike. U kućištu gama kamere nalaze se detektori (nazivaju se i glavama gama kamere) i stol na kojem leži pacijent [3]. Prva scintilacijska gama kamera konstruirana je 1952. godine, a konstruirao ju je Hal Anger, odakle i stari naziv – Angerova kamera [4]. Scintigrafija je moguća zahvaljujući tome što neki kristali pod utjecajem zračenja scintiliraju (svjetlucaju), pa se ti kristali koriste kao detektori. Pri scintigrafiji, nevidljivo zračenje iz tijela pacijenta pada na scintilirajuće detektore, gdje se

stvara svjetlosni impuls. Taj se impuls u fotomultiplikatorskoj cijevi pretvara u napon, koji računalo prepoznaje i na osnovu njega stvara digitalnu sliku.

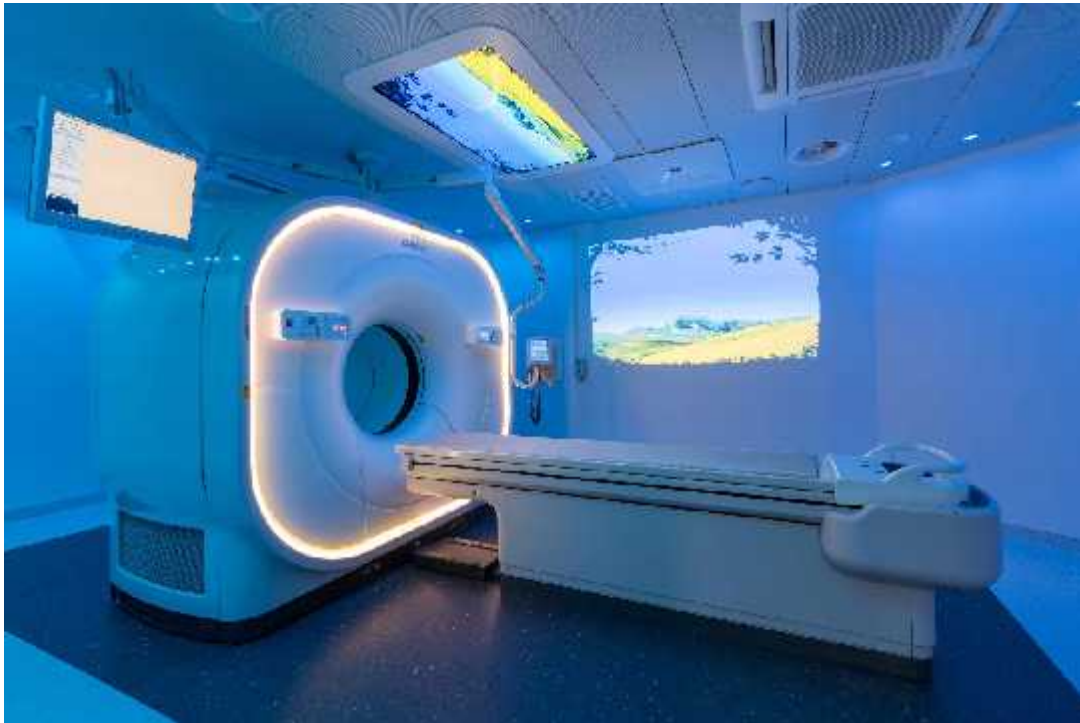


Slika 1. Gama kamera (izvor:

<https://repo.ozs.unist.hr/islandora/object/ozs%3A68/datastream/PDF/view>)

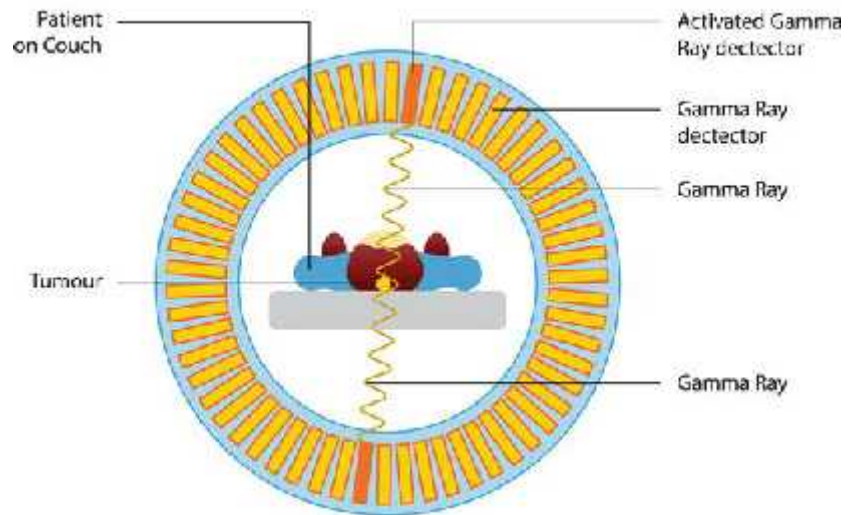
PET/CT (*engl. positron emission tomography* – pozitronska emisijska tomografija) (Slika 2.) uređaj radi na nešto drugačijem principu od klasičnih nuklearno medicinskih uređaja. Dok ostali uređaji koriste prvenstveno gama emitere ( $Tc-99m$ ), PET se služi pozitronskim emiterima [4]. PET/CT kombinira nuklearnu medicinu sa klasičnom kompjutoriziranom tomografijom. Pozitroni emitirani beta pozitivnim raspadom određenih izotopa ne mogu postojati u prirodi sami, nego se ubrzo nakon emitiranja vežu sa slobodnim elektronima. U tom procesu, zvanom anihilacija, poništavaju se pozitron i elektron, a nastaju dva fotona visoke energije (511 keV) i emitiraju se od mjesta anihilacije u suprotnim smjerovima. Fotoni dopijevaju na scintigrafski detektorski prsten PET uređaja (Slika 3.) koji dalje energiju fotona pretvara u slikovnu informaciju putem računala. Detektori prihvaćaju fotone kao valjane jedino ako se dva fotona istovremeno nađu na suprotnim stranama detektora. Kada sliku dobivenu na ovaj način kombiniramo sa klasičnim CT-om, dobijemo vrlo vrijednu dijagnostičku informaciju [4, 5].





Slika 2. PET/CT (izvor: <https://medikol.hr/usluge/nuklearna-medicina/>)

### Positron Emission Tomography (PET) Scanner



Slika 3. Raspored detektora u PET uređaju (izvor: <https://www.intechopen.com/chapters/81213>)

## 1.2. RADIOFARMACI

Radiofarmaci su kemijski spojevi radioaktivnih izotopa i molekule nosa a, koju zovemo i ligand. Radioaktivni izotop je dio ovog spoja odgovoran za dijagnostiku informaciju, njegovo emitirano zračenje detektiramo uređajem (gama ili PET kamera), dok se nosa koristi da bi se izotop smjestio u organ od interesa. Koji nosa će se koristiti uvelike ovisi o vrsti pretrage koju radimo [6]. Neki od najčešće korištenih radiofarmaka su radioaktivni izotopi tehnecija (Tc-99m), joda (I-123, I-131) i fluora (F-18).

### 1.2.1. Tehnecij

Tc-99m je najčešće korišten radiofarmak u nuklearnoj medicini. Jedan od glavnih razloga tomu je relativno povoljno vrijeme poluraspada koje iznosi 6 sati. Nakon 24 sata u tijelu je ostalo 30% do 40% radiofarmaka, ostatak se izlučuje i bubrežima. Energija proizvedena njegovim gama zrakama iznosi 140 keV, idealna je za detekciju scintigrafskim detektorima. Obilježen pravim nosačem pogodan je za brojne scintigrafske pretrage [7].



Slika 4. Generator Tc-99M (izvor: <https://www.ncbj.gov.pl/en/aktualnosci/new-tc-99m-production-line-will-soon-start-operations-swierk>)

Kao i ve ina radionuklida sa kratkim vremenom poluraspada, Tc-99m nastaje u radionuklidnom generatoru (Slika 4.) iz Mo-99 radioaktivnim raspadom. Jednostavni generator je staklena kolona s aluminijskim oksidom gdje je adsorbiran molibden-99-molibdat. Ta se kolona ispire (eluiru) fiziološkom otopinom koja odvaja Tc-99m od nje [7]. Generator je ugledao svjetlo dana još 1950-ih, ali tek 70-ih otkrivena je njegova medicinska primjena [8].

### **1.2.2. Jod**

Koristi se više razli itih jodovih radioaktivnih izotopa, ali najvažniji i naj eš i su I-123 i I-131.

I-123 naj eš e se koristi za oslikavanje. Emitira gama zrake energije 159 keV. Vrijeme poluraspada iznosi 13,2 sati, što je dovoljno dugo da se obavi dijagnosti ka pretraga, a dovoljno kratko da pacijenta i osoblje ne dovodi u ozbiljnu opasnost od radijacijskih ozljeda [9].

I-131 se uglavnom koristi u terapijske svrhe ili za pretrage nakupljanja u štitnja i, rijetko u svrhe oslikavanja. Raspada se beta negativnim raspadom i time otpušta energiju od 610 keV, što ga ini odli nim za terapiju karcinoma štitnja e. Uz negativni beta raspad, ovaj jod se raspada i gama raspadom i pri tom otpušta energiju od 364 keV, što može poslužiti za pra enje terapije pretragama nakupljanja u štitnja i. Vrijeme poluraspada je 8,04 dana, što je dovoljno da se odgovaraju a doza zra enja preda pacijentu [9].

### **1.2.3. Fluor**

Fluorov radioaktivni izotop F-18 je pogodan radiofarmak za PET pretrage. Naj eš e korišten spoj ovog izotopa je F-18-FDG (fluoro-deoksi-glukoza) (Slika 5.). Ovaj radiofarmak se naj eš e koristi u dijagnostici tumorskih i upalnih bolesti, jer tumorske i upalne stanice zbog poja anog metabolizma trebaju velike koli ine energije koju dobivaju razgradnjom fluorodeoksiglukoze. Primjenjuje se intravenski, a doza naj eš e iznosi 185 MBq do 370 MBq. Vrijeme poluraspada iznosi 110 minuta. Važno je prije pretrage s FDG-em da pacijentu izmjerena vrijednost glukoze u krvi (GUK) bude manja od 10 mmol/l, jer su FDG i glukoza

antagonisti. Kad se aplicira, pacijent se smjesti u „uptake room“, sobu namijenjenu za ekanje dok se radiofarmak akumulira što traje 45-60 minuta. Eliminira se filtracijom. Kod normalne funkcije bubrega, 50% FDG-a se iz organizma eliminira ve nakon 135 minuta [10].



Slika 5. FDG (izvor: <https://www.eurogentec.com/en/catalog/fdg-fluorescein-di-%C3%9F-d-galactopyranoside-5-mg~a3681492-a41a-4b1d-ba74-594e5ba39772>)

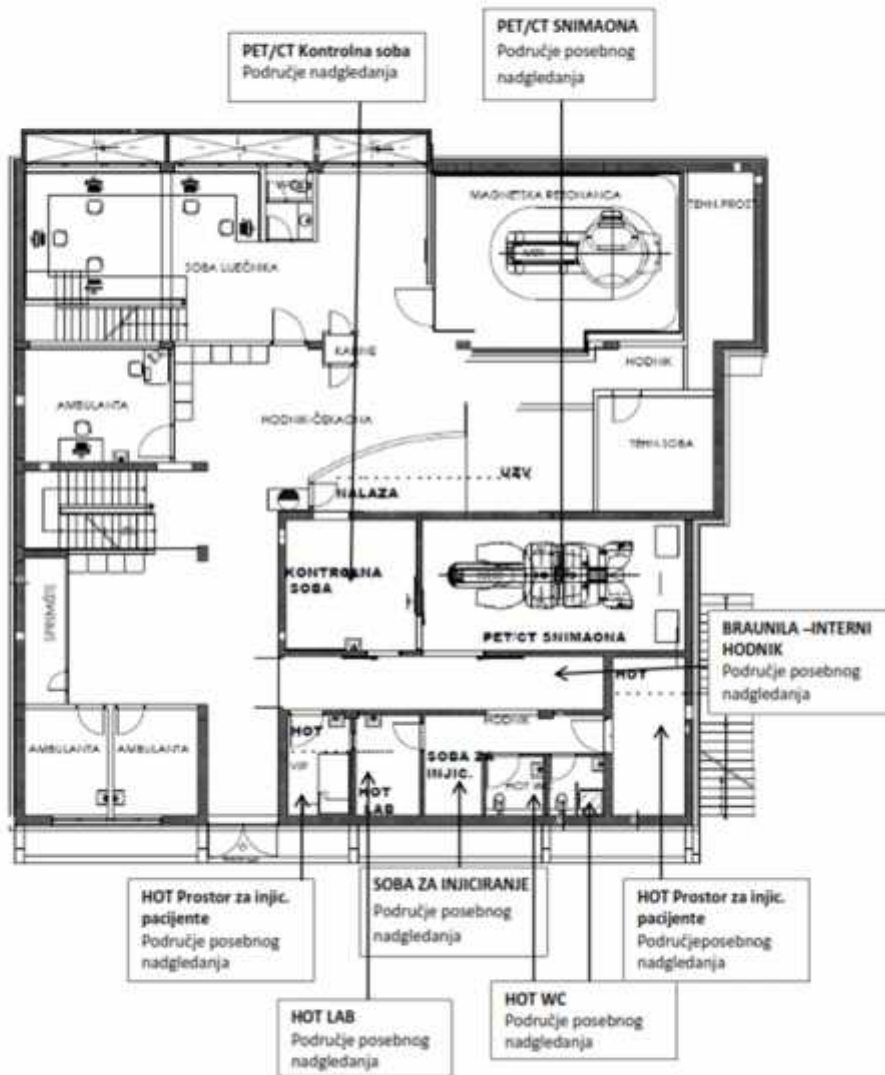
## **2. CILJ RADA**

Cilj ovog rada je opisati organizaciju rada u „hot“ laboratoriju. Opisati se i na in pripreme radiofarmaka s posebnim osvrtom na zadatke radiološkog tehnologa. Evidentirati se mogu i izvori zračenja i opasnosti od ozraivanja i kontaminacije u laboratoriju, te definirati mjere zaštite od zračenja.

## 3. RASPRAVA

### 3.1. OPIS „HOT“ LABORATORIJA

„Hot“ laboratorij je prostorija unutar odjela/klinike za nuklearnu medicinu, posebno smještena, izgrađena i opremljena za pohranu i rad sa radioaktivnim izotopima. To je mjesto gdje su aktivnosti radioaktivnih spojeva najveće, najveća je mogućnost izlaganja štetnom ionizacijskom zračenju, te je najveća opasnost od mogućeg kontaminacije. Stoga su i mjere zaštite od zračenja u ovoj prostoriji maksimalno moguće. Te mjere počinju već planiranjem i izgradnjom odjela, gdje se „hot“ laboratorij najčešće smješta što je moguće dalje od osoblja klinike i pacijenata, a da je dovoljno blizu „uptake“ prostoriji (prostorija u kojoj pacijent prima da se radiofarmak proširi po tijelu; *engl. uptake – preuzimanje, primanje*) i samom uređaju za dijagnosticiranje (Slika 6.).



Slika 6. Tlocrt odjela sa PET/CT ure ajem (izvor: Poliklinika Medikol)

„Hot“ laboratorij mora sadržavati prostor za pohranu radioaktivnih izotopa, prostor za siguran rad i pripremu radiofarmaka, prostor za odlaganje radioaktivnog otpada i prostor

za administraciju radiofarmaka. Od opreme mora imati olovni ormar za smještaj radiofarmaka, uređaj za mjerenje aktivnosti (kalibrator doza) i zaštitnu opremu za osobe koje rade u ovom prostoru (olovne spremnike za radiofarmak, olovne štitnike za šprice, olovne paravane, zaštitne naočale, rukavice...).

Ako se u „hot“ laboratoriju koriste hlapljivi radiofarmaci (npr. jod) on mora biti opremljen digestorom s filterom kojim se sprječava izlazak radioaktivnih aerosola u okolinu. Radne površine ili stolovi za rad s otvorenim radioaktivnim izvorima moraju imati glatke neprekinute površine koje se lako održavaju i nemaju površinska oštećenja, a površine i stolovi za rad s otvorenim radioaktivnim izvorima moraju imati štitove za zaštitu od ionizirajućeg zračenja radnika koji rukuju otvorenim radioaktivnim izvorima. Kod korištenja izvora zračenja velikih energija (pozitronski emiteri u PET dijagnostici) koriste se automatizirani sustavi za mjerenje i raspodjelu pojedinačnih doza kao i automatizirani sustavi za injiciranje radiofarmaka.

### **3.2. RAD U „HOT“ LABORATORIJU**

Za sve što se događa u „hot“ laboratoriju odgovoran je radiološki tehnolog. Prije nego što započne rad s pacijentima, radiološki tehnolog provodi kontrolu kvalitete rada uređaja za mjerenje aktivnosti – kalibratora doza. Postoje dva dnevna protokola kontrole kvalitete. Prvi protokol naziva se „WARM UP“ procedura (*engl. warm up – zagrijavanje*). Ovaj protokol automatski se pokreće nakon uključivanja radne jedinice i kalibratora doze. Provjerava se rad radnog sustava, provodi pozadinske provjere i testira kit za navlačenje izotopa. Drugi protokol je provjera kalibratora doza. On se provodi pomoću radioizotopa Cs-137 koji je najpovoljniji zbog dugog vremena poluraspada od 30 godina (Slika 7.) [11].





Slika 7. Spremnik Cs-137 (izvor: Filip Samardži )

U cilju najekonomičnije iskoristivosti radiofarmaka, te maksimalnog smanjivanja aktivnosti radioaktivnih izvora koji se koriste u nuklearnoj medicini, od velike je važnosti planiranje naručivanja radioaktivnih izvora. Za klasičnu nuklearnu medicinsku pretragu koriste se izvori koji imaju dulje vrijeme poluraspada ( $J-131$  8 dana,  $Tl-201$  73 sata) odnosno tehnecij koji se dobije ispiranjem molibden-tehnecij generatora koji se obično doprema na odjel jednom tjedno, a tehnecij se eluira jednom do dva puta dnevno.

U PET/CT dijagnostici koristi se pozitronski emiter fluor-18 čije vrijeme poluraspada od 110 min uvjetuje njegovu svakodnevnu dostavu s mjesta proizvodnje

Radiofarmak FDG u kliniku dolazi u posebnim uvjetima i u posebnim transportnim kontejnerima (Slika 8.) i spremnicima (Slika 9.). Nakon zaprimanja radiofarmaka, radiološki tehnolog mjeri dozu koju je dobio i s njom planira administraciju pacijentima do kraja dana.



Slika 8. Transportni kontejner za FDG (izvor: Filip Samardži )



Slika 9. Spremnik FDG-a (izvor: Filip Samardži )

Nakon kalibracije uređaja i zaprimanja radiofarmaka, radiološki tehnolog započinje rad s pacijentima. Na osnovu visine i težine pacijenta, tehnolog uz konzultaciju s liječnikom određuje koju dozu radiofarmaka će pacijent dobiti. Pacijentove podatke unosi u računalni program (Slika 10.) povezan sa sustavom za navlačenje (Slika 11.), koji automatski navlači i

željenu dozu radiofarmaka. Budu i da se radiofarmak ubrizgava direktno u pacijentov krvotok, sustav za navla enje u špricu navla i radiofarmak pomiješan sa fiziološkom otopinom. Kad je navla enje doze završeno, tehnolog poziva pacijenta na mjesto za administraciju (Slika 12.). Preko olovnog zida tehnolog administrira radiofarmak pacijentu kojeg zatim šalje u „uptake“ prostoriju.



Slika 10. Ra unalni program (Izvor: Filip Samardži )



Slika 11. Sustav za navla enje radiofarmaka (Izvor: Filip Samardži )



Slika 12. Mjesto za administraciju radiofarmaka (Izvor: Filip Samardži )

Za ispravan rad u „hot“ laboratoriju važno je uspostaviti jasne procedure za svaki postupak pri redovnom radu (npr. kontrola kvalitete rada kalibratora doza, postupak navlačenja pojedinačne doze radiofarmaka....) kao i postupke pri izvanrednim događajima (npr. kontaminacija uzrokovana prolijevanjem radiofarmaka). Ove procedure moraju biti dostupne u pisanom obliku.

Od velike je važnosti vođenje točnih evidencija o zaprimljenim radiofarmacima, njihovim aktivnostima, vremenima dostave, kao i evidencija o potrošnji radiofarmaka, pripremljenim pojedinačnim dozama za svakog pacijenta. Zapisi ovih evidencija moraju biti pohranjeni određeno vrijeme sukladno zakonskim propisima.

### **3.3. IZVORI ZRAČENJA U „HOT“ LABORATORIJU I MJERE ZAŠTITE**

#### **3.3.1. Izvori zračenja**

U nuklearnoj medicini izvori zračenja su radiofarmaci, pacijenti kojima je injiciran radiofarmak, izlučevine pacijenta, te medicinski otpad koji se koristio u radu s ovim pacijentima (šprice, vata, i.v. braunile). Radiofarmak (FDG) se nosi u posebnim olovnim spremnicima i odmah pohranjuje u olovni ormar (Slika 13.). U olovnom ormaru smješten je i uređaj za navlačenje pojedinačne doze u šprice. Nakon što se u špricu navuče doza radiofarmaka, ta šprica postaje kontaminirana. Zato se odmah nakon primjene baca u spremnik za kontaminirani otpad (Slika 14.), kao i sav ostali upotrijebljeni materijal (vata, i.v. braunila). Kontaminirani otpad se čuva u olovnim spremnicima 10 vremena poluraspada, nakon čega se smatra običnim medicinskim otpadom, te se odlaže sukladno pravilnicima.

Pacijent postaje izvor zračenja nakon što mu je injiciran radiofarmak. Zato se pacijent nakon administracije ne vraća u otkonaicu nego ide u „uptake“ prostoriju gdje nema kontakta s drugim pacijentima. Sve njegove izlučevine su još jedan od izvora zračenja. Iz tog razloga kanalizacijski sustav klinike za nuklearnu medicinu nije direktno povezan sa gradskim kanalizacijskim sustavom. Tjelesne izlučevine pacijenata prvo idu u kontaminacijsku jamu. Nakon određenog vremena (10 vremena poluraspada, što u slučaju fluora-18 iznosi 18,3 sati) da se radiozotop raspadne u potpunosti i više ne predstavlja aktivni izvor zračenja, pa se te jame prazne u gradski kanalizacijski sustav.



Slika 13. Olovni ormar za pohranu i rad s radiofarmacima (Izvor: Filip Samardži )



Slika 14. Spremnik za kontaminirani otpad (Izvor: Filip Samardži )

### 3.3.2. Mjere i načini zaštite

Kao i uvijek kad su u pitanju izvori ionizirajućeg zračenja, najbolje mjere zaštite su udaljenost i vrijeme. Ako se tehnolog mora izlagati izvorima zračenja, to radi s maksimalne moguće udaljenosti i u najkraćem mogućem vremenu. Jedna od učinkovitih mjera zaštite je skrivanje vremena izlaganja. U slučaju pacijenta kao izvora zračenja to se postiže primjerenom pripremom pacijenta prije injiciranja radiofarmaka, a ta priprema uključuje i davanje svih potrebnih informacija pacijentu.

Povećanje udaljenosti kao mjeru zaštite moguće je provoditi komuniciranjem i davanjem uputa pacijentu s maksimalno mogućom udaljenosti unutar prostorije, kao i stajanjem iza olovnog paravana prilikom injiciranja doze radiofarmaka i davanja uputa pacijentima.

Već je pri projektiranju i planiranju izgradnje prostorija u kojima će se rukovati s aktivnim izvorima zračenja potrebno uzeti u obzir propisane mjere zaštite. Stoga je potrebno osigurati da postoji pravilan raspored prostorija, dosljedna oprema prostorija, optimalno organiziranje radnih mjesta, odgovarajući i sustav provjetravanja te siguran i organiziran sustav sakupljanja i odlaganja kontaminiranog otpada. Sve prostorije moraju biti planirane, izgrađene i opremljene tako da vrata, zidovi, podovi, stropovi i prozori smanjuju mogućnost kontaminacije na najmanju moguću mjeru. Debljina i sastav građevinskih materijala moraju se isplanirati uzimajući u obzir energiju zračenja [12].

Već je u radu rečeno da se izvor zračenja nosi i pohranjuje u olovnim spremnicima. Zidovi i ulazna vrata laboratorija također sadržavaju olovo. Postoji nekoliko dodatnih mjera zaštite koje tehnolog u „hot“ laboratoriju koristi. Jedna od njih je olovni štitnik za špricu (Slika 15.). Tehnolog prije navlačenja radiofarmaka špricu stavlja u olovni štitnik kako bi sebe zaštitio od zračenja iz samog sadržaja šprice. Nakon injiciranja radiofarmaka, špricu vadi iz štitnika i baca u kontaminirani otpad. Olovne rukavice (Slika 16.) su još jedna mjera zaštite, najčešće se koriste u slučaju kontaminacije neke površine u laboratoriju.



Slika 15. Olovni štitnici za špricu (Izvor: Filip Samardži )



Slika 16. Olovne rukavice (Izvor: Filip Samardži )



### 3.3.3. Kontrola kontaminacije i izloženosti ionizirajućem zračenju

U „hot“ laboratoriju se nalaze uređaji za kontrolu kontaminacije – to su Geiger – Mullerovi brojači (detektori) (Slika 17.). G-M (Geiger – Mullerovi) brojači sastoje se od 3 dijela: G-M cijevi, elementa koji detektira zračenje i elektroničkog dijela za obradu. G-M cijev u principu je plinska komora. Ispunjena je inertnim plinom, najčešće helijem, neonom, ili argonom. Komora sadrži dvije elektrode. Kad ionizirajuće zračenje pogodi cijev, nastaju pozitivni ioni plina i elektroni, koji pod utjecajem električnog polja izmeću elektrode putuju prema anodi, odnosno katodi, u ovisnosti svojeg naboja. Time se zatvara strujni krug i stvara se naponski impuls koji se registrira i ispisuje na ekranu G-M brojača [13]. Ovaj uređaj koristi se za mjerenje zračenja u slučaju kontaminacije.



Slika 17. Geiger – Mullerov brojač (Izvor: <https://www.livescience.com/how-a-geiger-counter-works.html>)

Svaki radiološki tehnolog dio je dozimetrijskog nadzora izloženih radnika i mora imati osobni dozimetar. Najčešće se koriste termoluminiscentni dozimetri, ali mogu biti i film dozimetri. Oni se očitavaju svakih mjesec dana kako bi se procijenila efektivna doza na cijelo tijelo, pa se doze upisuju u dozimetrijski karton, koji se vodi u Ministarstvu unutarnjih poslova, Ravnateljstvu civilne zaštite. Osoblje koje dolazi u dodir sa zračenjem ne bi smjelo

pre i propisanu normu do koje se smiju ozračiti. Očitavanje osobnih dozimetara vrše stručni tehnički servisi ovlašteni za mjerenje vanjskog zračenja [10].

Osobnom dozimetrijom procjenjuju se efektivne doze na leu oka, kožu i ekstremitete. Za procjenu doze za ekstremitete koristi se prsten dozimetar (Slika 17.). Prsten dozimetri nose se pri navlačenju doze i injiciranju pacijenata iz razloga što tehnolog tad zbog bliskog kontakta s izotopom najviše zrači ruke [10].



Slika 18. Prsten dozimetar (Izvor: Filip Samardžić )

## 4. ZAKLJUČAK

„Hot“ laboratorij je dio odjela/klinike za nuklearnu medicinu u kojem se skladište radiofarmaci i pripremaju pojedinačne doze za pacijente te je stoga mjesto s najvećim rizikom od izlaganja ionizirajućem zračenju.

Radiološki tehnolog koji radi u „hot“ laboratoriju igra vodeću ulogu u organizaciji rada na ovom mjestu.

„Hot“ laboratorij mora biti izgrađen i opremljen prema zakonskim odrednicama i pravilnicima da se rizik od izlaganja zračenju svede na najmanju moguću mjeru.

Obzirom na izvore zračenja pri radu u „hot“ laboratoriju postoji opasnost od izlaganja ionizacijskom zračenju kao i opasnost od kontaminacije te se ovisno o tome razlikuju načini i mjere zaštite od zračenja.

Za ispravan rad u „hot“ laboratoriju važno je uspostaviti jasne procedure za svaki postupak pri redovnom radu kao i postupke pri izvanrednim događajima koje moraju biti dostupne u pisanom obliku.

## 5. LITERATURA

- [1] Klarica Gembi T, Grbac Ivankovi S, Štimac D. Dijagnostičke značajke metoda nuklearne medicine u gastroenterologiji. Acta medica Croatica : časopis Akademije medicinskih znanosti Hrvatske [Internet]. 2020. [pristupljeno 15.05.2024.];74(3):237-244. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:184:264099>
- [2] Graham MM, Metter DF. Evolution of nuclear medicine training: past, present, and future. J Nucl Med. 2007 Feb;48(2):257-68. PMID: 17268024.
- [3] Zubanovi P. Radijacijsko opterećenje radioloških tehnologa u nuklearno medicinskoj dijagnostici [Završni rad]. Split: Sveučilište u Splitu; 2015 [pristupljeno 04.07.2024.] Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:176:498375>
- [4] Punda A., Radovi D., Bari A. Uređaji i oprema u nuklearnoj medicini. U: Jankovi S., Mihanovi F., Ur. Radiološki uređaji i oprema u radiologiji, radioterapiji u nuklearnoj medicini. Split: Sveučilište u Splitu; 2015. str. 262-314
- [5] Horvatovi L. Utjecaj radnih mjesta i postupaka na profesionalnu izloženost ionizacijskom zračenju u PET/CT dijagnostici [Završni rad]. Split: Sveučilište u Splitu; 2014 [pristupljeno 04.07.2024.] Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:176:470514>
- [6] Berek I. Radiofarmaci kod PET-a [Završni rad]. Split: Sveučilište u Splitu; 2023 [pristupljeno 15.05.2024.] Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:176:534627>
- [7] Pavani M. Nuklearnomedicinske pretrage u bolesnika s karcinomom prostate [Diplomski rad]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet; 2020 [pristupljeno 15.05.2024.] Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:105:072859>
- [8] Brugarolas P, Comstock J, Dick DW, Ellmer T, Engle JW, Lapi SE, Liang SH, Parent EE, Kishore Pillarsetty NV, Selivanova S, Sun X, Vavere A, Scott PJH; Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging Radiopharmaceutical Sciences Council. Fifty Years of Radiopharmaceuticals. J Nucl Med Technol. 2020 Jun;48(Suppl 1):34S-39S. PMID: 32605944.
- [9] Owunwanne A, Patel M, Sadek S. Iodine radiopharmaceuticals. The Handbook of Radiopharmaceuticals. 1995;106–19.

- [10] Mili evi G. Radijacijska izloženost radiološkog tehnologa u PET/CT dijagnostici [Diplomski rad]. Split: Sveu ilište u Splitu; 2019 [pristupljeno 16.05.2024.] Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:176:650846>
- [11] Poliklinika Medikol. Program osiguranja kvalitete. Revizija 1. Dopune i izmjene br. II. Zagreb, 2022.
- [12] Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost. Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ioniziraju eg zra enja za obavljanje djelatnosti s izvorima ioniziraju eg zra enja. NN. 2018 Jun; 1062 [pristupljeno 04.07.2024.] Dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018\\_06\\_53\\_1062.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_06_53_1062.html)
- [13] Sudar M. Detektor ioniziraju eg zra enja - Geiger - Mullerov broja [Diplomski rad]. Osijek: Sveu ilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku; 2016 [pristupljeno 07.07.2024.] Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:160:148791>

## 6. ŽIVOTOPIS

### OP I PODATCI:

**IME I PREZIME:** Filip Samardži

**DATUM I MJESTO RO ENJA:** 21.04.2003., Nova Bila

**E-MAIL:** [filip.samardi@gmail.com](mailto:filip.samardi@gmail.com)

### OBRAZOVANJE:

**OSNOVNA ŠKOLA:** Osnovna škola“13. rujan“, Jajce (2009.-2017.)

**SREDNJA ŠKOLA:** Franjeva ka Klasi na Gimnazija, Visoko (2017.-2021.)

**FAKULTET:** Sveu ilište u Splitu, Sveu ilišni odjel zdravstvenih studija, Radiološka tehnologija (2021.-2024.)