

# Radioaktivne tvari

---

**Ozimec, Mauricia**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:863408>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-30**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Mauricia Ozimec

# **RADIOAKTIVNE TVARI**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2022.

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department  
Professional undergraduate study of Safety and Protection

Mauricia Ozimec

# **RADIOACTIVE SUBSTANCES**

Final paper

Karlovac, 2022  
Veleučilište u Karlovcu

Odjel Sigurnosti i zaštite  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Mauricia Ozimec

# **RADIOAKTIVNE TVARI**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr. sc. Sebastijan Orlić

Karlovac, 2022.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Trg J.J. Strossmayera 9

HR – 47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 – (0)47 – 843 – 510  
Fax. +385 – (0)47 – 843 – 579

## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

Stručni / specijalistički studij: **STRUČNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ SIGURNOSTI I ZAŠTITE**

Usmjerenje: **ZAŠTITA NA RADU**

Karlovac, 2022.

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: **MAURICIA OZIMEC**

Matični broj: 0415619016

Naslov: **RADIOAKTIVNE TVARI**

Opis zadatka: U završnom radu dati će se detaljan opis o radioaktivnim tvarima, te će se statistički prikazati djelovanje i opasnosti od radioaktivnih tvari.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

10/2021.

06/2022.

07/2022.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Dr. sc. Sebastijan Orlić

dr. sc. Zvonimir Matusinović

## **II. PREDGOVOR**

Ovim putem zahvaljujem se svojim prekrasnim roditeljima i obitelji koji su mi najveća podrška, motivacija i uzor kroz cijeli život pa tako i tijekom studiranja na stručnom studiju Sigurnosti i zaštite. Zahvaljujem se svim profesorima na Veleučilištu koji su nesebično podijelili svoje znanje sa nama i osposobili nas da možemo sutra kvalitetno obavljati svoj posao. Isto tako želim se od srca zahvaliti svom mentoru dr. sc. Sebastijanu Orliću koji je pratio cijeli proces nastajanja ovog završnog rada i usmjeravao me tijekom pisanja. Hvala svima na velikoj pomoći i strpljenju.

### **III. SAŽETAK**

U ovom završnom radu obraditi ću problematiku opasnosti radioaktivnih tvari. Obuhvatiti ću teme kao što su transport i pakiranje radioaktivnih tvari te prevenciju i strategije kako se zaštititi od radioaktivnih tvari. Rad s radioaktivnim tvarima nekim je ljudima dio svakodnevnog života. Na primjer, medicinskom osoblju i liječnicima. Liječnici i medicinsko osoblje neophodan su dio našeg života, stoga je zaštita njihove dobrobiti naš prioritet. Statistički su više izloženi radioaktivnim tvarima od prosječne osobe, a ja sam statistički prikazala količinu zračenja koju primaju liječnici dok rade svoj posao. Na kraju ovog rada opisala sam problematiku zbrinjavanja radioaktivnih tvari i kakvi su planovi naše države na tu temu u budućnosti.

#### **KLJUČNE RIJEČI:**

Radijacija, opasnost, štetnosti, otpad, sigurnost

#### **SUMMARY**

In this paper, I will analyse dangers of radioactive substances. Topics will cover subjects how to transport and package radioactive substances, and prevention strategies how to protect ourselves from radioactive substances. Working with radioactive substances is part of everyday life for some working people. For example, medical staff and doctors. Doctors and medical staff are a necessary part of our life, so protection of their health and wellbeing is our priority. Statistically they receive more radioactive dosage than average person and I statistically showed the amount of radiation that doctors receive while doing their job. By the end of this paper, I described the issue of disposal of radioactive substances and what are the plans of our country on this topic in the future.

#### **KEY WORDS:**

Radiation, dangers, harmfulness, waste, safety

## IV. SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Predmet i cilj rada .....	1
1.2. Izvori podataka i metoda prikupljanja .....	1
2. RADIOAKTIVNOST.....	3
2.1. Detekcija radioaktivnog zračenja.....	4
2.2. Oblici zračenja.....	5
3. AMBALAŽA RADIOAKTIVNE TVARI.....	7
4. PRIJEVOZ RADIOAKTIVNIH TVARI .....	10
4.1. Odobrenje za prijevoz radioaktivnih tvari .....	11
5. DJELOVANJE IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA NA DJELATNIKE BOLNICA .....	12
5.1. Zaštita od ionizirajućeg zračenja .....	13
5.2. Cilj zaštite od zračenja.....	14
6. ISTRAŽIVANJE DJELOVANJA IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA NA DJELATNIKE BOLNICA.....	15
6.1. Metode istraživanja i ispitanici.....	15
6.2. Cilj istraživanja .....	16
6.3. Rezultati istraživanja.....	16
6.4. Zaključak istraživanja .....	19
7. DJELOVANJE IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA NA LJUDSKO TIJELO ....	20
7.1. Obilježja biološkog djelovanja ionizirajućeg zračenja.....	20
7.2. Biološki učinci ionizirajućeg zračenja.....	22
8. ZAŠTITA NA RADNOM MJESTU U ZONI IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA 24	
8.1. Zaštita od zračenja u medicinskoj dijagnostici .....	24
8.1.1. Zaštita od raspršenog zračenja .....	25
8.1.2. Kompjutorizirana tomografija (CT).....	25
8.1.3. Rendgenska dijaskopija .....	26
8.1.4. Angiografija.....	27
8.2. Zahtjevi za radni okoliš u zaštiti od ionizirajućeg zračenja.....	28



8.3. Osobna zaštitna oprema .....	29
<b>9. RADIOAKTIVNI OTPAD .....</b>	<b>31</b>
9.1. Radioaktivni otpad u medicini .....	31
9.2. Odlaganje radioaktivnog otpada.....	33
<b>10. ZBRINJAVANJE RADIOAKTIVNOG OTPADA U REPUBLICI HRVATSKOJ .....</b>	<b>34</b>
10.1. Situacija u Hrvatskoj.....	34
10.2. Zakonodavni okvir .....	35
10.3. Buduće zbrinjavanje .....	35
<b>11. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>37</b>
<b>12. LITERATURA.....</b>	<b>38</b>
<b>13. POPIS SLIKA.....</b>	<b>39</b>
<b>14. POPIS TABLICA .....</b>	<b>40</b>

# 1. UVOD

Radioaktivne tvari su podskupina štetnih tvari koje zbog svojih svojstava mogu biti štetne za zdravlje ljudi i mogu oštetiti okoliš te pripadaju klasi 7 opasnih tvari definirane ADR-om (odnosno Europskim sporazumom o međunarodnom cestovnom prijevozu opasnih tvari). Ponekad nismo ni svjesni da koristimo neke štetne tvari zbog njihovih svojstava, npr. neke tvari su bez boje, okusa i mirisa i ne možemo ih primijetiti. U tu skupinu pripadaju i radioaktivne tvari. Dugi niz godina možemo živjeti u okruženju radioaktivnih tvari, a da nismo ni svjesni. One se mogu pojavljivati u hrani, vodi, tlu i sl. No većinom su to tvari koje ne zrače velikom količinom zračenja koje ljudsko tijelo može podnijeti. Do danas je otkriveno više od 80 opasnih radioaktivnih elemenata u periodnom sustavu, kao što su npr. radij, cezij i polonij. Neke od njih nalaze se u prirodi, a neke su ljudskih ruku djelo. Postoje regije na zemlji koje s prirodnim radioaktivnim zračenjem kao što su indijska plaža Kerala, ili kineska provincija Guangdong, gdje se radioaktivni izotopi nalaze u tlu. Preporučeno je neizlaganje radioaktivnim tvarima, osim ako to nije nužno. [1]

## 1.1. Predmet i cilj rada

Izrada ovog rada temelji se na analizi opasnosti od radioaktivnih tvari, opasnosti od izlaganja u medicinskoj struci te same problematike radijacije. Opisani su razni postupci rukovanja radioaktivnim uređajima kojima se radnici koriste tijekom rada, te njihova primjena na siguran način. Osim navedenih mjera zaštite na radu, navedena je i osobna zaštitna oprema te sredstva koja se primjenjuju prema vrsti rada.

## 1.2. Izvori podataka i metoda prikupljanja

Za izradu ovog završnog rada koristila sam se nastavnom literaturom iz pojedinih kolegija, časopisima koji obuhvaćaju područje radijacije, zakonima i pravilnicima,

te ponekim internetskim stranicama koje su navedene u samoj literaturi. Metoda prikupljanja podataka je bila istraživanje navedenih literaturnih referenci.

## 2. RADIOAKTIVNOST

Radioaktivnost predstavlja emitiranje alfa, beta i gama čestica kod spontanog raspada atomske jezgre. Kod spontanog raspada atomske jezgre mijenja se atomski broj  $Z$ , odnosno maseni broj  $A$ . Promjena koja se dešava kod raspada jezgre atoma naziva se radioaktivnim raspadom. Također radioaktivno zračenje mijenja strukturu izvora radioaktivnog zračenja i svojstva materijala kroz koje prolazi. U tom procesu najznačajniji je efekt ionizacije, odnosno izbijanje elektrona iz elektronskog omotača nekog atoma. U nastavku se slika koja prikazuje oznaku koja može biti korisna i po kojoj možete prepoznati da je riječ o opasnosti od radioaktivnosti (Slika 1). [2]



Slika 1. Znak za opasnost od radioaktivnosti

Izvor: [1024px-Radioactive.svg.png \(1024×891\) \(wikimedia.org\)](#)

Također, kod radioaktivnosti postoje korisni učinci. Pa tako pod korisne učinke možemo svrstati: proizvodnju lijekova, medicinska snimanja (npr. rendgenski snimak), proizvodnju električne energije, industrijske procese i sl.

## 2.1. Detekcija radioaktivnog zračenja

Do danas se otkrilo mnoštvo metoda po kojima se može mjeriti radioaktivnost. Te metode zasnivaju se na pojavama koje su vezane za prolaz zračenja kroz materiju. Za primjer možemo uzeti pojavu kad zračenje ostavlja tragove u fotografskoj emulziji, pa se tako pomoću nje može otkriti. Isto tako zračenje izaziva ionizaciju u plinovima. Na toj se pojavi zasnivaju detektori zračenja i to: Ionizirajuća komora i Geiger-Müllerov brojač (Slika 2). Za precizno određivanje energije zračenja koriste se poluvodički detektori.



Slika 2. Geiger-Müllerovo brojilo radioaktivnog zračenja

Izvor: [1280px-Geiger\\_counter.jpg \(1280×950\) \(wikimedia.org\)](#)

Ionizirajuća komora sastoji se od posebne posude u kojoj se nalaze dvije elektrode priključene na visoki napon. U posudi se nalazi uobičajeno neki plemeniti plin, a kad radioaktivno zračenje koje dospije u aktivnu zapreminu komore, ono ionizira plin pri čemu nastaju i pozitivni i negativni ioni. Prilikom jakog utjecaja električnog polja ioni se nakupljaju na elektrodama. Rezultat je pojava električne struje kroz plinsku sredinu koja se poslije pojačavanja registrira mjernim instrumentom. Dakle, rad Geiger-Müllerovog brojača zasnovan na ionizacijskim efektima, pogodan je za primjenu i relativno je jeftin. Staklen je, iznutra je posrebran ili je izvedba u obliku metalne posude cilindričnog oblika koja je ispunjena nekim plemenitim plinom pod visokim tlakom. Katoda je također

cilindričnog oblika, a anoda je tanka žica postavljena duž cilindra. Elektrode su priključene na izvor jednosmjerne struje visokog napona koji stvara jako električno polje. Prilikom prolaska radioaktivnog zračenja, plin u brojaču se ionizira. Ioni dolaze do elektroda, odnosno slobodni elektroni na pozitivnu elektrodu, anodu, a pozitivni ioni na negativnu elektrodu, katodu. Time se strujni krug u brojaču zatvara i pojavljuje se naponski impuls. Uređajem za brojenje impulsa se broje naponski impulsi nastali u određenom intervalu vremena. Mjerenjem tako dobivene struje određuje se energija ionizirajućeg zračenja. [3]

Mjerna jedinica za mjerenje aktivnosti radioaktivnog izvora/materijala je Becquerel (Bq), a označava broj raspada u jednoj sekundi. Energija ionizirajućeg zračenja definira se apsorpcijom po kg tkiva, pa tako se apsorbirana doza izražava u grejima (međunarodni naziv gray, po Louisu Haroldu Grayu) (znak Gy), mjernoj jedinici apsorbirane doze ionizirajućeg zračenja. Kada se na primjer liječi rak (bolest) s ionizirajućim zračenjem (radioterapija), doktor će obično propisati radioterapiju u grejima (Gy). Ukoliko govorimo o opasnosti ili riziku od ionizirajućeg zračenja, onda govorimo o ekvivalentnoj dozi, a SI izvedena mjerna jedinica za ekvivalentnu dozu je sievert (Sv). Sivert je dakle definiran ekvivalentnom dozom od apsorbirane doze jedan grej, uz modifikacijski faktor jedan.

## 2.2 Oblici zračenja

Najznačajniji oblici zračenja nazivaju se; alfa-čestice ( $\alpha$ ), beta čestice ( $\beta$ ) i gama zračenje ( $\gamma$ ).

*Alfa-zračenje* – sastoji se od teških, pozitivno nabijenih čestica koje emitiraju atomi elemenata, poput npr. urana. Prilikom zračenja može prodrijeti u

tanki sloj kože, no oštećuje unutarnja tkiva ako je uneseno u tijelo disanjem, hranom ili vodom. Interesantno, može ga zaustaviti papir. Alfa čestica će nakon kontakta sa papirom poremetiti brojne molekule u strukturi, eventualno razbiti kemijske veze. Približit će se jezgri različitih atoma i odbiti će se elektrostatskom silom (i jezgra i alfa čestica imaju pozitivan naboj). To će raspršiti alfa česticu.

*Beta-zračenje* – sastoji se od elektrona koje zaustavlja pločica aluminija debljine tek nekoliko milimetara, a zdravstveno škodi koži i očima.

*Gama-zračenje* – oblik elektromagnetskog zračenja koje može proći kroz cijelo tijelo, a jedan ga metar betona potpuno apsorbira. Može ga zaustaviti i desetak centimetara debela olovna ploča.

Intenzitet ionizirajućeg zračenja može se smanjiti samo ako je radioaktivni materijal dobro zapakiran u ambalaži odgovarajuće zaštitne moći koja je važna za smanjenje opasnosti za zdravlje ljudi. [4]

### 3. AMBALAŽA RADIOAKTIVNE TVARI

Svrha same ambalaže je zaštititi sudionike prijevoza, ljude koji se nalaze u blizini radioaktivnog izvora te okoliša, od izravnih i neizravnih učinka zračenja tijekom prijevoza, utovara i istovara radioaktivnog materijala. U nastavku prikazan je primjer ambalaže za radioaktivne tvari (Slika 3).

Kod ambalaže je nužno da se sastoji od jedne ili više posuda, da je izvedena od upijajućeg materijala i pregrađena kako bi štitila od radijacije te servisne opreme za punjenje, pražnjenje, ventiliranje i smanjenje tlaka.



Slika 3. Primjer ambalaže za radioaktivne tvari

Izvor: [OIP.0wjBDilsL6rHukz8Pp651QHaEG \(352x225\) \(bing.com\)](https://www.bing.com/search?q=radioactive+waste+containers&FORM=QBRE)

Radioaktivni materijal može se pakirati u kutijama, bačvama ili sličnim posudama, kontejnerima, spremnicima itd. Ambalaža mora biti pravilo označena, pa tako na vanjskoj strani mora biti oznaka pošiljatelja ili primatelja ili uz vidljive obje oznake, a mora biti vidljiva i identifikacijska oznaka mjerodavnog tijela. Za radioaktivni materijal nadležno tijelo je Državni zavod za zaštitu od zračenja, a za nuklearni materijal Državni zavod za nuklearnu sigurnost.



Najčešće upotrebljavane vrste ambalaže za radioaktivne tvari su slijedeće:

*Pakiranja za koja postoje izuzeća* – upotrebljavaju se za vrlo male količine radioaktivnog materijala i ne zahtijeva se njezino označavanje s vanjske strane.

*Industrijski paketi* – upotrebljavaju se za prijevoz materijala niske specifične aktivnosti ili površinski kontaminiranih predmeta, npr. prirodno radioaktivnih rudača niske aktivnosti.

*Paketi tipa A* – namijenjeni su za siguran prijevoz razmjerno malih količina radioaktivnog materijala. Moraju biti izdržljivi, otporni na udarce ili pad s vozila, propuštanje, probijanje i sl. Na sebi moraju imati oznaku paketa tipa A.

*Paketi tipa B* – namijenjeni su za prijevoz većih količina radioaktivnog materijala i dizajnirani su tako da mogu podnijeti posljedice ozbiljnih nesreća. Koriste se za prijevoz nuklearnog goriva, nuklearnog otpada i sl. Paketi tipa B moraju imati oznaku "tip B".

Radioaktivni materijal koji ima dodatna opasna svojstva treba dodatno i propisano kvalificirati te označiti. Također se mora propisano utovarivati i označavati odgovarajućim nazivom i UN brojem prikladnim za tu vrstu ambalaže s izjavom "Radioactive material, expected packages-instruments and articles" u deklaraciji. Također postoje listice opasnosti po kojima se može prepoznati da je riječ o radioaktivnoj tvari (Slika 4).



Slika 4. Listice za označavanje opasnih tvari klase 7

Izvor: [clase-7-todo.png \(359×326\) \(wp.com\)](#)

Naljepnica za označavanje obavezno moraju imati:

- ime radionuklida
- aktivnost u Bq
- ukupnu aktivnost
- transportni indeks

Većina radioaktivnih paketa ima ispravne oznake i dokumentaciju. No neke oznake mogu biti neispravne ili mogu nedostajati. U tom slučaju treba postupiti na slijedeći način: ne otvarati paket ili nastaviti s pregledom i pritom jasno označiti paket "Opasno – Moguća radioaktivnost", pohraniti paket u odobreno, označeno i njemu namijenjeno područje, te pokušati od pošiljatelja/primatelja dobiti dodatne pojedinosti o pošiljci. [4]

## 4. PRIJEVOZ RADIOAKTIVNIH TVARI

Pod prijevozom podrazumijevaju se sve radnje i stanja povezana s premještanjem radioaktivnog materijala, npr. izrada, održavanje i popravak ambalaže, proizvodnja, otprema, utovar itd. Također je i bitno označavanje vozila kod prijevoza radioaktivnih tvari (Slika 5).



Slika 5. Označeno vozilo za prijevoz radioaktivnih tvari

Izvor: [188654 \(srce.hr\)](http://188654(srce.hr))

Zaposlenici koji prevoze radioaktivne tvari moraju biti osposobljeni glede primjene mjera zaštite od zračenja. Sama svrha osposobljavanja je zaštititi osobu i okoliš od utjecaja zračenja pri prijevozu radioaktivnih tvari.

Radioaktivne tvari smiju se prevoziti samo u pakovanju namijenjenom za njihov prijevoz, sukladno međunarodnim propisima i normama. Ne smiju se prevoziti u istom prostoru s hranom i lijekovima.

Sastavni dio instrumenata ili drugih naprava je limitirana količina radioaktivnog materijala koje predstavljaju ograničeni radioaktivni rizik, također se mogu prevoziti, ali kao posebni paketi.

A to su:

- Satovi, elektronske cijevi ili bilo kakve naprave čiji je sastavni dio radioaktivne prirode. Razina zračenja ne smije prelaziti 0.1 mSv/h
- Uran-heksafluorid, ograničen na manje od 0.1 kg.

#### 4.1. Odobrenje za prijevoz radioaktivnih tvari

Također, za prijevoz radioaktivne tvari i nuklearnog materijala potrebno je odobrenje. Odobrenje za prijevoz radioaktivne tvari izdaje Državni zavod za zaštitu od zračenja, a odobrenje za prijevoz nuklearnog materijala izdaje Državni zavod za zaštitu od zračenja uz suglasnost Državnog zavoda za nuklearnu sigurnost. Odobrenje nije potrebno za unutarnji prijevoz onih radioaktivnih tvari i nuklearnog materijala za koje to ne predviđaju odredbe ADR-a.

Svaki radnik koji prevozi radioaktivne tvari mora imati osobni dozimetar te se mora izmjenjivati na mjesečnoj osnovi (Slika 6). Prijavljivanje i odjavljivanje provodi se putem centralne baze podataka koju vodi DZRNS (Državi zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost). Radnik je dužan koristiti dozimetar tijekom obavljanja djelatnosti. [4]



Slika 6. Dozimetar

Izvor: [R.34634eaf2bdbb7631b47f37ecdc9efec \(800×800\) \(bing.com\)](https://www.bing.com/images/search?view=detailv2&thid=OIP.R.34634eaf2bdbb7631b47f37ecdc9efec)

## 5. DJELOVANJE IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA NA DJELATNIKE BOLNICA

Ionizirajuće zračenje je ono zračenje koje ima dovoljno veliku energiju da električki neutralne atome razbijaju na ione, pritom izbijajući iz atoma jedan elektron. Čovjek je svakodnevno izložen ionizirajućem zračenju koje potječe iz prirodnog ili umjetnog izvora. Dijagnostika, suvremena medicina i liječenje danas su nemogući bez uporabe ionizirajućeg zračenja. Kako bi se otklonili štetni utjecaji ili barem sveli na minimum, svako izlaganje djelatnika mora biti opravdano uz primjenu svih zaštitnih mjera. Ekvivalentna doza je dozimetrijska veličina kojom se opisuje biološki učinak ionizirajućeg zračenja u određenom tkivu. Ekvivalentna doza  $H$  jednaka je umnošku apsorbirane doze  $D$ , faktora kvalitete  $Q$  i proizvoda ostalih čimbenika, što možemo prikazati na ovaj način:

$$H=D \cdot Q \cdot N$$

(1)

Pregled simptoma ekvivalentnih doza primljenih odjednom:

- 0 do 0,25 Sv – nema simptoma
- 0,25 do 1 Sv – osjećaj mučnine i gubitak apetita, oštećenje koštane srži, limfnih čvorova itd.
- 1 do 3 Sv – osjećaj srednje do teške mučnine, gubitak apetita, teška oštećenja koštane srži, limfnih čvorova itd.
- 3 do 6 Sv – teška mučnina, gubitak apetita, unutarnja krvarenja, proljev, ljuštenje kože
- 6 do 10 Sv – svi navedeni simptomi i dodatno oštećenje središnjeg živčanog sustava
- Iznad 10 Sv – paraliza i smrt [5]

Ozračivanje izaziva molekularne promjene, a posljedice takvih poremećaja su biokemijske i fiziološke promjene. Također postoji mogućnost da dođe do mutacije, genetske i somatske. Genetske mutacije izazivaju promjene na potomstvu, a somatske izazivaju individualne tjelesne promjene npr. rak, leukemiju itd.

Možemo izdvojiti četiri vrste učinaka zračenja, a to su:

- *Kemijski učinci* – zračenje može dovesti do mijenjanja, oštećenja ili razaranja molekula
- *Biološki učinci* – posljedice somatskog učinka kod čovjeka mogu biti promjena krvne slike, oštećenje kože, te dugoročne posljedice npr. leukemija, zloćudne bolesti itd.
- *Deterministički učinci* – uzrokuju nemaligne ozljede kože, smanjenje broja stanica u koštanoj srži, zamućenje očne leće itd.
- *Stohastički učinci* – podrazumijeva se genetičko oštećenje i pojava raka

### **5.1. Zaštita od ionizirajućeg zračenja**

Zaštita od ionizirajućeg zračenja je zapravo skup mjera kojima je svrha očuvati zdravlje i život čovjeka kao i okoliša od štetnog djelovanja zračenja. Primjena suvremenih sredstava i znanja najbitnija je za zaštitu od zračenja. Djelatnicima je potrebno osigurati siguran rad na radnim mjestima, te da ni u jednom trenutku ne prime dozu koja je veća od dopuštene.

## 5.2. Cilj zaštite od zračenja

Opravdano izlaganje zračenju podrazumijeva djelatnosti koje čovjek drži korisnim za sebe i spreman je izložiti se riziku koji je s njima povezan, te se trudi umanjiti ili potpuno ga isključiti.

Ciljevi zaštite od zračenja su slijedeći:

- Smanjenje determinističkih učinaka
- Ograničavanje pojave stohastičkih učinaka na najmanju moguću mjeru
- Osigurati da djelatnost koja uključuje izlaganje zračenju bude opravdana [4].

## **6. ISTRAŽIVANJE DJELOVANJA IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA NA DJELATNIKE BOLNICA**

Istraživanje obuhvaća prikaz primljenih doza zračenja po odjelima u bolnicama, uvjetima pod kojim djelatnici rade, vrsti posla te radnim zadacima. Pomoću slika i tablica prikazat će se rezultati istraživanja koji se odnose na stupanj ozračenja izloženih djelatnika koji rade pod utjecajem ionizirajućeg zračenja. Termo-luminiscentnim (TLD) dozimetrom mjeren je stupanj ozračenja. Tablicama i slikama prikazani su podaci o primljenoj efektivnoj dozi za izložene djelatnike pod dozimetrijskim nadzorom u kontrolnom intervalu od pet godina te preuzetoj efektivnoj dozi od kontrolnog intervala.

### **6.1. Metode istraživanja i ispitanici**

Provedeno istraživanje održano je u razdoblju od svibnja 2016. godine do rujna 2016. godine. Za istraživanje je korištena deskriptivna metoda odnosno metoda analize dostupne dokumentacije jedne opće bolnice. Analiza istraživanja sastojala se od prikupljanja, uređivanja i obrade podataka. Podaci su prikupljeni na temelju godišnjih izvješća o primljenim dozama, odnosno ispitivanje osobnog doznog ekvivalenta  $H_p(10)$  za svakog djelatnika koji radi u području ionizirajućeg zračenja.

U općoj bolnici zaposleni su doktori medicine i specijalizanti različitih grana medicine, inženjeri, više i srednje medicinske sestre te ostalo medicinsko i nemedicinsko osoblje (Tablica 1). Istraživanje je provedeno na uzorku od ukupno 111 izloženih djelatnika koji svakodnevno rade na zadacima pri kojima su izloženi ionizirajućem zračenju. Ispitnu skupinu činilo je 50 muškaraca odnosno 45,05% i 61 žena, odnosno 54,95%.



## 6.2. Cilj istraživanja

Sam cilj istraživanja je doći do potvrde pretpostavke da su primljene doze izloženih djelatnika u općoj bolnici u sklopu zakonskih i podzakonskih odredbi. Do 90-ih godina osobnim dozimetrom mjerene su i doze ionizirajućeg prirodnog zračenja, pa su stoga bile daleko više i izražene u mikro-sievertima ( $\mu\text{Sv}$ ). No od 2000. godine mjeri se isključivo efektivna doza ionizirajućeg zračenja, pa su od tada doze zračenja mnogo manje.

## 6.3. Rezultati istraživanja

Opća bolnica sadrži slijedeće ustrojstvene jedinice koje za izvršavanje zadataka koriste izvore ionizirajućeg zračenja (Tablica 2):

- Odjel za radiologiju
- Odjel za anesteziologiju, reanimatologiju i intenzivnu medicinu
- Služba za kirurgiju: dječja kirurgija, opća, plastična, rekonstrukcijska, estetska, odjel za abdominalnu kirurgiju, za vaskularnu kirurgiju te odjel za ortopediju i traumatologiju
- Odjel za urologiju
- Odjel za ginekologiju i opstetriciju
- Odjel za centralne operacije i sterilizacije
- Služba za internu medicinu

Tablica 1. Primljene doze za liječnike specijaliste radiologe

Izvor: [4]

Djelatnik	Zanimanje	Spol	Preuzeta doza u $\mu\text{Sv}$ za razdoblje 01/10-12/10	Primljene godišnje doze u $\mu\text{Sv}$ za kontrolni interval 1/11 – 12/15					Ukupno primljena doza u $\mu\text{Sv}$ za kontrolni interval
				2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	
R-01	dr. med.	Ž	1473	100	10	126	0	0	236
R-02	dr. med.	M	0	30	-	-	-	0	30
R-03	dr. med.	M	880	270	30	0	0	86	386
R-04	dr. med.	Ž	1670	40	130	0	0	0	170
R-05	dr. med.	M	970	700	20	226	0	0	946
R-06	dr. med.	Ž	300	20	-	-	0	0	20
R-07	dr. med.	Ž	50	-	-	0	0	0	0

Tablica 2. Zajednički pokazatelji opće bolnice

Izvor: [4]

R.B.	Služba/odjel	Broj djelatnika u sferi ionizirajućeg zračenja	Ukupno primljena doza u $\mu\text{Sv}$ za kontrolni interval	Prosjek za sve djelatnike u službi/odjelu	Ukupno primljene doze u $\mu\text{Sv}$ za kontrolni interval po zanimanju i spolu								
					dr. med.	M	Ž	ing. med. rad.	M	Ž	bacc. med. techn., med. sestra, med. tehničar	M	Ž
1.	Radiologija	25	4593	183,7	1788/7	3	4	2805/18	9	9	-	-	-
2.	Anesteziologija	22	2769	125,9	2001/15	5	10	-	-	-	768/7	1	6
3.	Kirurgija	26	2877	110,7	2867/25	23	2	-	-	-	10/1	0	1
4.	Urologija	7	369	52,7	289/5	3	2	-	-	-	80/2	0	2
5.	Ginekologija	2	40	20	40/2	1	1	-	-	-	-	-	-
6.	Operacija	19	2020	106,3	-	-	-	-	-	-	2020/19	1	18
7.	Interna	10	368	36,8	232/6	4	2	-	-	-	136/4	0	4
Ukupno		111	13036	90,9	7217/60	39	21	2805/18	9	9	3014/33	2	31

#### 6.4. Zaključak istraživanja

Od ukupnog broja djelatnika pod dozimetrijskim nadzorom, najveći broj ispitanika svoje radne zadatke obavlja u Službi za kirurgiju, odnosno njih 23,4%. Nakon nje slijedi Odjel za radiologiju što čini 22,5%, Odjel za anesteziologiju 19,8%, Odjel centralne operacije i sterilizacije 17,1% i Služba za internu medicinu 9%. Najmanje čine Odjel za urologiju i Odjel za ginekologiju i opstetriciju, a to je 6,3% te 1,8% ispitanika. Navedene podatke možemo iščitati iz Tablice 2. [4]

Doktori različitih grana medicine čine najveći dio ispitane skupine, čak 54,1%, zatim više medicinske sestre, medicinske sestre i medicinski tehničari 29,7%, a najmanji udio ispitanika su inženjeri medicinske radiologije 16,2% što također možemo vidjeti u Tablici 2. Iako broj ispitanika na Odjelu za radiologiju nije najveći, rezultati prikazani u Tablici 2., pokazuju da je najveća ukupno primljena doza kod djelatnika radiološke struke 4,6 mSv. Najozračeniji djelatnik u jednoj godini kontrolnog intervala ovog istraživanja je djelatnik R-05 s Odjela za radiologiju što je prikazano u Tablici 1., koji je 2011. godine primio efektivnu dozu u iznosu od 700  $\mu$ Sv.

Ukupna primljena doza u cijelom kontrolnom intervalu za svih 111 djelatnika iznosi 13036  $\mu$ Sv, odnosno 13,04 mSv, što nije mnogo. Rezultati istraživanja pokazuju na činjenicu da niti jedan djelatnik nije bio ozračen prosječno od 20 mSv u jednoj godini, kao niti 100 mSv u razdoblju od pet uzastopnih godina. To nam pokazuje da su efektivne doze za izložene djelatnike relativno niske.

Iz toga svega proizlazi cilj istraživanja, odnosno da se hipoteza u istraživanju pokazala istinitom, ali i da su primljene doze niže od granice izlaganja koja je propisana zakonskom odredbom. [4]

## 7. DJELOVANJE IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA NA LJUDSKO TIJELO

Do ionizacije u tkivima može doći ako su žive stanice, organi ili čitavo tijelo izloženi ionizirajućem zračenju. Prolaskom zračenja kroz tkivo ioniziraju se kemijske molekule koje zbog toga postaju kemijski vrlo aktivne. Stoga zračenje može promijeniti, oštetiti ili uništiti organske makromolekule. Zbog niza fizikalnih i kemijskih procesa koji se događaju u tkivima radi izloženosti ionizirajućem zračenju, nastat će biološke promjene od kojih će upravo one koje su ireverzibilne biti najopasnije.

### 7.1. Obilježja biološkog djelovanja ionizirajućeg zračenja

Obilježja biološkog djelovanja ionizirajućeg zračenja su: latencija, selektivnost, kumulacija, kombinacija i nepatognomičnost.

Primijećene promjene na živim stanicama i tkivima ne nastaju odmah nakon ozračivanja. Razdoblje od djelovanja zračenja do izbijanja vidljivog oštećenja naziva se **latencija**. Trajanje latencije ovisi o ukupnoj količini zračenja koju je osoba primila, vremenu trajanja u kojem je doza bila aplicirana te drugim čimbenicima, kao npr. dob, stanje imunosnog sustava itd.

Pojava različite osjetljivosti ili radio-senzibilnosti tkiva na dozu zračenja nazivamo **selektivnost**. Apliciranjem jednake doze zračenja i davanje na sličan način, one neće izazivati isti stupanj bioloških promjena kod svih vrsta stanica i tkiva. To upućuje na različitu osjetljivost različitih stanica. Selektivnost će ovisiti o tipu stanice, te o općem stanju i dobi osobe.

Tkiva se prema radio-senzibilnosti njihovih stanica svrstavaju od niske prema visokoj osjetljivosti na zračenje:

- Koštano tkivo i mozak
- Pluća, bubrezi, jetra, serozne opne itd.
- Epiderma kože
- Leća oka, sluznice, korijen kose i dlaka
- Limfne i spolne žlijezde, koštana srž

Značajan čimbenik u procjeni ozračenosti i njezinim učincima je **kumulacija** koja se odnosi na činjenicu da će se biološko djelovanje svakog novog zračenja pribrajati prethodnom izlaganju. Također, djelovanje zračenja može se povećati ako se kombinira s drugim kemijskim ili fizikalnim učincima, te je **kombinacija** jedno od važnih obilježja izloženosti ionizirajućem zračenju koja može utjecati na biološki učinak.

**Nepatognomičnost** se smatra najvećim problemom kod bioloških promjena izazvanih zračenjem. Sve promjene koje mogu biti izazvane zračenjem mogu sličiti na promjene koje mogu biti izazvane drugim uzorcima ili patološkim procesima u organizmu. Do problema dolazi kada je osoba bila izložena nepoznatom ili neprepoznatom zračenju jer se tada mogu kasno razviti patološke promjene.

Na tip i jakost bioloških oštećenja uzrokovanih ionizirajućim zračenjem utječu: vrsta ionizirajućeg zračenja i način zračenja, vrsta tkiva izloženog ionizirajućem zračenju, vremenska raspodjela doze, topografska raspodjela doze (veći volumen ozračenog tijela – veće oštećenje), apsorbirana doza ionizirajućeg zračenja, životna dob te individualna osjetljivost na ionizirajuće zračenje.

## 7.2. Biološki učinci ionizirajućeg zračenja

Kod ocjene učinaka malih doza zračenja smatra se da je za pojavu karcinoma potrebna kumulacija većih doza zračenja, jer se karcinom ne javlja do određenog praga zračenja. Novija istraživanja ukazuju da karcinomi pojedinih organa mogu nastati i nakon apliciranja najmanjih doza zračenja. Ti organi su dojka, štitna žlijezda i bronhi. Postoje istraživanja koja ukazuju na pojavu leukemije kod sasvim malih doza zračenja. Pri malim dozama zračenja postotak pojavnosti karcinoma je nizak, ali ga svakako treba uzeti u obzir.

Kod učinaka velikih doza zračenja latencija bioloških promjena biti će kraća ako tijelo primi veću dozu u kraćem razdoblju. Prilikom izlaganja tijela jednokratnoj, velikoj, smrtonosnoj dozi latencija kliničkih simptoma može nastati u svega par minuta ili sati. Promjene u stanici ili smrt stanice nastaje ako se stanica ne može oporaviti od oštećenja nastalog kod viših doza zračenja. Ako su stanice trajno promijenjene, organizam počinje diobom proizvoditi abnormalne stanice. Pri visokim dozama zračenja stanice se ne mogu dovoljno brzo nadomjestiti te će se teško održati funkcija tkiva. Radijacijska bolest je primjer takve situacije. Radijacijska bolest je stanje nastalo poslije ozračivanja cijelog tijela vrlo visokim dozama zračenja, zbog čega dolazi do bioloških promjena u čitavom organizmu, ozljede unutarnje stijenke probavnog trakta uslijed koje ne može više obavljati svoju funkciju i štititi organizam od infekcije. Simptomi koji se pojavljuju su proljev, povraćanje i opća slabost.

Kod bioloških učinaka ionizirajućeg zračenja treba razlikovati somatska i genetska oštećenja. Somatska, odnosno tjelesna oštećenja su ozljede koje se mogu javiti u tkivima, a dijele se na lokalna i opća. Lokalna oštećenja pojavljuju se na ozračenim mjestima tijela npr. površina kože, potkožno vezivno tkivo, krvne žile itd. Dok opća oštećenja su ona koja nastaju nakon ozračenosti cijelog tijela. Somatska oštećenja dijele se na: akutna, kronična, profesionalna, kancerogena, leukemoidna, teratogena.

Genetska oštećenja uključuju povećanje broja nepoželjnih, štetnih mutacija uzrokovanih izlaganjem čovjeka djelovanju ionizirajućeg zračenja. Mogu nastati i promjene u strukturi i broju kromosoma. Posljedice kromosomskih mutacija su Down, Edward i Patau sindromi. U slučaju genetskog oštećenja na spolnim stanicama jajnika ili testisa, jer je njihova uloga prijenos genetskih informacija na buduće naraštaje, učinci će se prenijeti na potomke. [4]



## **8. ZAŠTITA NA RADNOM MJESTU U ZONI IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA**

U 2007. godini osnovana je organizacija Image Gently, a njen je cilj povećati svjesnost u radiološkoj zajednici o potrebi prilagodbe doze zračenja kod rendgenskog snimanja djece. Njihov cilj je zagovaranje poboljšanja sigurnosti i učinkovita briga o djeci diljem svijeta. Američki fakultet za radiologiju (ACR) i Radiološko društvo Sjeverne Amerike (RSNA) u lipnju 2009. godine osnovali su zajedničku radnu skupinu za zaštitu od zračenja odraslih, a cilj im je smanjenje količine zračenja koja se koristi u medicini i odbacivanju nepotrebnih postupaka.

### **8.1. Zaštita od zračenja u medicinskoj dijagnostici**

Profesionalno osoblje koje primjenjuje zračenje mora se pridržavati mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja. Kako bi se zaštitili bolesnici, potrebno je smanjiti rendgenske pretrage na razumnu mjeru. U radiološkoj dijagnostici uređaji za rendgensko snimanje i uređaji za dijaskopiju te CT jako zrače, dok magnetna rezonancija i ultrazvuk ne koriste štetno ionizirajuće zračenje.

Kod obavljanja dijagnostičkih rendgenskih snimanja treba znati:

- Da je velik broj ljudi izložen rendgenskim snimanjima svake godine
- Potrebno je uvijek provjeriti valjanost indikacije za traženo rendgensko snimanje
- Izvršiti odabir metode snimanja s manjom količinom zračenja
- Primijeniti sve mjere zaštite od primarnog i raspršenog zračenja

### **8.1.1. Zaštita od raspršenog zračenja**

Raspršeno zračenje je zračenje koje nije nastalo u izvoru zračenja (rendgenskoj cijevi) nego pri sudaru rendgenskih zraka s česticama materije. Najveći izvor raspršenog zračenja je tijelo bolesnika, odnosno onaj dio tijela koji je izložen zračenju.

Za zaštitu od raspršenog zračenja upotrebljavaju se:

- Zaštitne naprave na rendgenskom uređaju (suziti zastor – kolimator, zaštita ekrana rendgenskog uređaja)
- Zaštitne naprave u rendgenskoj prostoriji (zaštitni stolac, zaštitne pregrade te paravani u prostoriji)
- Osobna zaštitna sredstva

### **8.1.2. Kompjutorizirana tomografija (CT)**

Kompjutorizirana tomografija je raširena i često primjenjivana radiološka metoda, te je velik broj bolesnika izložen djelovanju ionizirajućeg zračenja (Slika 7). Izloženost tijela po svakom sloju je veća nego kod jedne prosječne rendgenske snimke bio kojeg dijela tijela, ali je manja nego kod ozračenja u trajanju od 1 minute.

Tijekom pripremnog razdoblja poslije uključivanja CT-a, dok je u tijeku zagrijavanje i samo-podešavanje rendgenske cijevi koja u tom razdoblju zrači, u prostoriji u kojoj je uređaj smješten ne smije nitko boraviti.



Slika 7. CT uređaj

Izvor: [CT uređaj - Bing images](#)

U svrhu što bolje zaštite kod kompjutorizirane tomografije potrebni su:

- Dobra prevencija,
- Smanjenje broja slojeva skeniranja na najmanji potrebn broj
- Izbor tehnike snimanja pri kojoj je bolesnik izložen manjoj dozi zračenja, osobito za kritične organe
- Kod CT-a glave zaštititi očnu leću

### **8.1.3. Rendgenska dijaskopija**

To je postupak koje rendgensko zračenje koristi za prikazivanje tkiva i unutarnjih organa u pokretu. Kod korištenja dijaskopije bilo u dijagnostičkoj ili intervencijskoj radiologiji treba znati:

- Da su doze kod dijaskopije neusporedivo veće nego kog rendgenskog zračenja
- Prije same dijaskopije potrebno se detaljno upoznati sa svim ranije urađenim pretragama
- Obavezna primjena svih mjera zaštite od zračenja
- Zabranjena dijaskopija skeleta ili zubi

Uređaj za dijaskopiju mora imati ugrađenu automatsku kontrolu brzine zračenja i mora moći dati informacije o ukupnom zračenju pacijenta nakon završenog postupka (Slika 8).

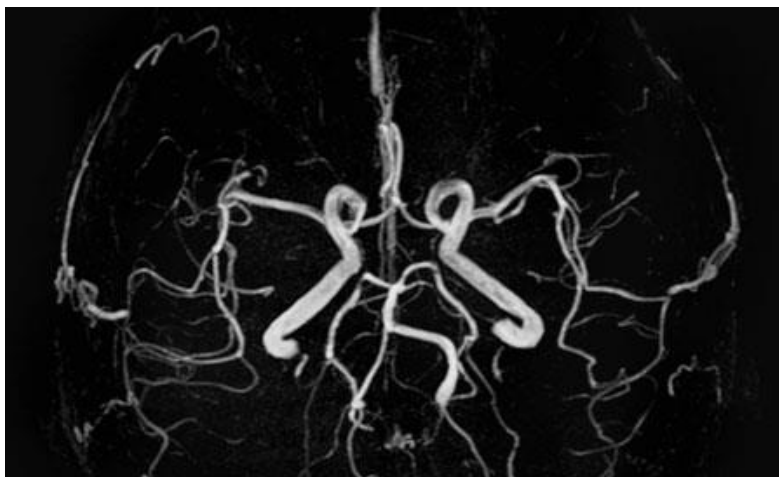


Slika 8. Uređaj za dijaskopiju

Izvor: [Ravnateljstvo civilne zaštite - Naslovna \(gov.hr\)](http://Ravnateljstvo.civilne.zastite.gov.hr)

#### 8.1.4 Angiografija

Angiografija je vrsta dijagnostičkog pregleda za prikaz krvnih žila (Slika 9). Pripada intervencijskom dijagnostičkom pregledu jer je potrebno napraviti rez na preponi ili zapešću i uvoditi kateter u jednu od arterija.



Slika 9. Angiografija glave

Izvor: [angiografija - Bing images](#)

Kod klasične angiografije izloženost zračenju bolesnika i profesionalnog osoblja je velika. Radiolog je relativno blizu rendgenske cijevi, a primjena zaštitnih rukavica nije moguća.

Zbog toga potrebno je provesti osobitu pozornost kod zaštite od zračenja tijekom izvođenja:

- Potrebno je suziti snop zračenja na najmanju moguću mjeru
- Obavezno nošenje zaštitne pregače, zaštitnih naočala i štitnika za vrat, a tijekom snimanja potrebno se skloniti iza olovnih paravana u dijagnostičkoj prostoriji
- Pri snimanjima koristiti automatsku štrcaljku kad god je moguće
- Obvezna propisana zaštita na rendgenskom uređaju.

## 8.2. Zahtjevi za radni okoliš u zaštiti od ionizirajućeg zračenja

Odjel radiologije gdje se obavljaju dijagnostičke pretrage potrebno je izolirati od okoline, a za to se najviše koriste olovne ploče ili neki drugi elementi koji sprječavaju prodor rendgenskih zraka u istoj mjeri kao i olovo. Lokacija rendgenskog odjela također je jako bitna, te je dobro da se oni nalaze na samom ulazu u bolnicu zbog prijama hitnih slučajeva. Od samog početka primjene rendgenskih uređaja ti odjeli su se najčešće nalazili u podrumima ili u prizemljima

bolnice, no i danas je u većina bolnica takav sistem zbog toga što je na tim područjima bilo moguće pružanje najbolje zaštite.

Čekaonice i kabine za presvlačenje pacijenata te tamna komora za razvijanje rendgenskih filmova moraju biti izvan dosega zračenja. U samoj prostoriji s rendgenskim uređajem, akceleratorom ili drugim uređajem koji proizvodi ionizirajuće zračenje može se nalaziti samo oprema i predmeti koji su nužni za korištenje toga uređaja. Upozoravajuće svjetlo mora biti postavljeno na ulaznim vratima u prostoriju u kojoj se nalazi rendgenski uređaj.

### 8.3. Osobna zaštitna oprema

Kod rada u kontrolnoj sobi radnici su zaštićeni dobrom izvedbom prostora u kojima se koriste rendgenski uređaji, a kod rada u prostoru u kojem se nalazi sam rendgenski uređaj koristi se i dodatna zaštitna oprema i sredstva.

Osobna zaštitna sredstva za zaštitu profesionalnog osoblja i bolesnika su: štitnici za ovarije i sjemenike bolesnika, zaštitne pregače za bolesnike, zaštitne naočale za zaštitu očne leće, zaštitne pregače za zaštitu unutarnjih organa, zaštitne rukavice, štitnik za vrat koji štiti štitnu žlijezdu, štitnik za podlaktice i nadlaktice, štit za spolne žlijezde (Slika 10).



Slika 10. Osobna zaštitna oprema za zaštitu profesionalnog osoblja i bolesnika

Izvor: [Oprema za zaštitu od odjeće za zaštitu od zračenja rendgenskim zrakama \(universalmedicalinc.com\)](http://universalmedicalinc.com)

Propisana svojstva zaštitnih sredstava:

- Zaštitni učinak rukavica mora biti jednakovrijedan učinku olova debljine najmanje 0,1 mm
- Zaštitna pregača mora izloženog radnika koji je koristi pokrivati od ključnih kostiju do polovice potkoljenice, obuhvaćajući rebra
- Zaštitni učinak pregača, ovratnika i naočala mora biti jednakovrijedan učinku olova debljine najmanje 0,25 mm
- Zaštitni učinak pregače pri naponu rendgenske cijevi iznad 100 kV ne smije biti manji od učinka olova debljine 0,35 mm
- Zaštitne pregače i ovratnici ne smiju se savijati i ne smiju biti oštećeni [6]

## **9. RADIOAKTIVNI OTPAD**

Radioaktivni otpad je materijal koji sadrži ili je kontaminiran nuklidima u takvim koncentracijama da je razina radioaktivnosti veća od vrijednosti specificiranih od kompetentnih tijela, a da pri tome materijal nema uporabnu vrijednost. Prema Zakonu o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti, radioaktivni otpad definiran je kao otpadna tvar u plinovitom, tekućem i krutom stanju za koju nije predviđena daljnja uporaba, a koji sadržava radioaktivne tvari čije je aktivnost ili koncentracija aktivnosti iznad granične vrijednosti za otpuštanje iz nadzora.

Radioaktivni otpad nastaje u djelatnostima u kojima se koristi ionizirajuće zračenje, a to su npr. medicina, energetika, industrija, znanost, poljoprivreda itd. Radioaktivni otpad svrstava se u slijedeće kategorije: otpušteni radioaktivni otpad, vrlo kratko živući radioaktivni otpad, vrlo nisko i nisko radioaktivni otpad, srednje radioaktivni otpad i visoko radioaktivni otpad. Prema vremenu poluraspada, kratkoživući otpad čiji izotopi imaju vremena poluraspada manja ili jednaka 30 godina i dugoživući otpad čiji izotopi imaju vremena poluraspada veća od 30 godina.

### **9.1. Radioaktivni otpad u medicini**

Unutar svakog procesa pružanja zdravstvene zaštite, nastaje medicinski otpad koji može biti opasan i neopasan. Radioaktivni otpad je opasan otpad koji nastaje kod djelatnosti nuklearne medicine, npr. kod scintigrafije, te u radio-nuklidnoj terapiji i ubraja se u institucionalni radioaktivni otpad. Prema konzistenciji, radioaktivni otpad dijeli se na kruti (stari generatori, kontaminirane igle, kontaminirane staklene bočice, vata, posteljina...) i tekući (suspenzije, otopine te biološke izlučevine kao što su urin i feces). Medicinski izvori zračenja su: otvoreni, smješteni unutar bolnice u prikladnim spremištima i zatvoreni, koji se spremaju izvan bolnice.



Pacijenti su zapravo velik izvor zračenja, a osobito njihove tjelesne izlučevine. Njihov tekući otpad ne ide u kanalizaciju već u spremnike koji se označavaju brojevima i svakodnevno im se provjerava radioaktivnost (Slika 11.). Od ljudskih organa najveću izloženost zračenju ima mokraćni mjehur. Radioaktivnim raspadom u spremištu razina radioaktivnosti pada ispod propisane granice pa je moguće kontrolirano ispuštanje iz nadzora.



Slika 11. Prikaz spremnika medicinskog, farmaceutskog i infektivnog otpada

Izvor: autorski izvor

Radioaktivni otpad podvrgnut je kontroliranom nadzoru u ustanovi u kojoj se nalazi, a nakon raspada radioaktivnosti primjenjuju se postupci primjereni sanitarnom otpadu. Svako spremište radioaktivnog otpada trebalo bi imati prikladan štit zračenja, adekvatnu ventilaciju, protupožarnu zaštitu, propisano označen prostor te mora biti pod ključem.

Prije konačnog odlaganja obavezno je potrebno izmjeriti razinu radioaktivnosti i potrebno je voditi pisani zapis o podrijetlu spremljenog otpada. Kod biološkog otpada moguće je truljenje, kod infektivnog je nužna sterilizacija, a razbijeno staklo i igle skupljaju se u posebnim spremnicima kako bi se izbjegle ozljede.

## 9.2. Odlaganje radioaktivnog otpada

Nadalje, bit će opisano nekoliko vrsta najčešćih radioaktivnih otpada u medicini, a to su:

- Tehnecijski (Tc-99m) radioaktivni otpad (bočice, šprice, stari generatori) – otpad se skuplja u kontejner za radioaktivni otpad u "vruće" tehnecijskom Tc-HOT laboratoriju. Kada se kontejner napuni do 3/4 svog kapaciteta, odlaze na odležavanje koje traje 7 dana, u kontejner u "vruće"-jodnom laboratoriju (I-HOT laboratorij), a zatim nakon odležavanja kontrolira se razina radioaktivnosti
- Jodni (I-131) radioaktivni otpad (bočice, injekcijske štrcaljke i slamke, kontaminirane jodom-131 i spojevima obilježenim njime) – otpad se skuplja u radnom tjednu u poseban kontejner u Tc-HOT laboratorij, te nakon toga odlaze na odležavanje u kasu na otprilike 90 dana.
- Talijski (Tl-201) radioaktivni otpad (bočice i šprice) – otpad se skuplja u radnom tjednu u HOT-laboratoriju, a zatim odlaze na odležavanje na 45 dana.
- Galijski (Ga-67) radioaktivni otpad (bočice i šprice) – isti je postupak kao i sa talijskim radioaktivnim otpadom
- Radioaktivni otpad koji sadrži jod I-125 – skuplja se dnevno na radilištu na kojem nastaje, u crvene vreće za otpad. Odležava 60 dana te se mjeri razina radioaktivnosti. Ovisno o razini radioaktivnosti nakon odležavanja, otpad se pohranjuje u skladištu radioaktivnog otpada ili se ispušta iz nadzora i pohranjuje kao poseban, bolnički otpad. [4]

## **10.ZBRINJAVANJE RADIOAKTIVNOG OTPADA U REPUBLICI HRVATSKOJ**

Republika Hrvatska ima obvezu zbrinuti radioaktivni otpad (RAO) i iskorištene izvore ionizirajućeg zračenja (II) koji su nastali 60-godišnjom primjenom izvora ionizirajućeg zračenja u medicini, industriji, znanosti, vojnoj, a i u napravama koje se još ponegdje nalaze u javnoj uporabi npr. gromobrani. Objekti u kojima se do sada privremeno skladištio navedeni otpad su zatvoreni. Mora se što prije uspostaviti središnje skladište RAO-a, a Republika Hrvatska ima obvezu sanirati lokacije na kojima se nalaze prirodni radioaktivni materijali za koje je potreban kontinuirani nadzor.

### **10.1. Situacija u Hrvatskoj**

Praksa zbrinjavanja institucionalnog RAO-a i II-ja sastojala se od njihova privremenog pohranjivanja u dva skladišta. To su skladišta Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada (IMI) i Instituta Ruđera Boškovića (IRB), a oba su smještena u Zagrebu prema spomenutoj Strategiji. Skladište IMI-ja u svrhu prihvata institucionalnog RAO-a i II-ja korišteno je od 1959. do 2000. godine. Danas je to skladište zatvoreno za prihvata novonastalog RAO-a i II-ja.

Procjena je da je u skladištu IMI-ja pohranjeno oko  $1,5 \text{ m}^3$  institucionalnog RAO-a i II-ja, od čega približno  $0,5 \text{ m}^3$  zauzimaju paketi s kratkoživućim, dok  $1 \text{ m}^3$  zauzimaju paketi s dugoživućim radionuklidima.

Skladište IRB-a izgrađeno je 1967. godine s namjenom pohranjivanja RAO-a i II-ja proizvedenog u Institutu. Prema trenutačnoj procjeni u skladištu IRB-a pohranjeno je oko  $6 \text{ m}^3$  institucionalnog RAO-a i II-ja, od čega oko  $5 \text{ m}^3$  zauzimaju paketi s kratkoživućim radionuklidima, dok paketi s dugoživućim radionuklidima zauzimaju volumen od  $1 \text{ m}^3$ . Kada se to sve zbroji, u skladištima IMI-ja i IRB-a ukupno je pohranjeno  $7,5 \text{ m}^3$  institucionalnog RAO-a i II-ja. Ukupno procijenjena aktivnost tog otpada iznosi oko  $1,6 \times 10^{13} \text{ Bq}$ . Obje kategorije pripadaju nisko i

srednje radioaktivnom otpadu. Za kratkoživuće pakete preferira se površinski tip odlagališta, dok se za dugoživuće pakete preferira odlagalište smješteno u dubokim geološkim formacijama prema spomenutoj Strategiji.

Trenutno se procjenjuje da će u Republici Hrvatskoj do 2040. godine dodatno generirati oko  $10m^3$  institucionalnog RAO-a i II-ja. Također treba istaknuti da se navedena procjena odnosi isključivo na skladišne pakete institucionalnog RAO-a i II-ja, odnosno na pakete koji nisu kondicionirani tako da udovoljavaju kriterijima za odlaganje. Zavod je već inicirao stanovite aktivnosti u vezi s uspostavom središnjeg skladišta. Uspostavom središnjeg skladišta stvaraju se uvjeti za premještaj institucionalnog RAO-a i II-ja iz skladišta IMI-ja i IRB-a.

Do danas navedeni kratkoročni ciljevi nisu ispunjeni te su bolnice prisiljene same donositi odluke kako i gdje u krugu bolnice skladištiti otpad koji nastane pri pružanju zdravstvene usluge. Ipak, ciljevi iz Strategije zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i iskorištenog nuklearnog goriva nisu postignuti.

## **10.2. Zakonodavni okvir**

Zakon utvrđuje mjere radiološke sigurnosti, fizičkog osiguranja te neširenja nuklearnog oružja pri obavljanju nuklearnih djelatnosti i djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja. Definirane mjere omogućuju primjerenu zaštitu pojedinaca, društva i okoliša od štetnih posljedica ionizirajućeg zračenja, sigurno obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja, nuklearnih djelatnosti, djelatnosti zbrinjavanja RAO-a i odgovarajuće fizičko osiguranje. Zajednička konvencija potvrđuje da krajnju odgovornost za sigurnost zbrinjavanja RAO-a snosi država. RAO bi morao biti pohranjen u zemlji u kojoj je i proizveden.

## **10.3. Buduće zbrinjavanje**

U Republici Hrvatskoj uspostaviti će se centar za zbrinjavanje radioaktivnog otpada. Postupak odabira pogodne lokacije za smještaj centra za

zbrinjavanje radioaktivnog otpada provest će se uz transparentno i cjelovito informiranje javnosti i uz njezino aktivno sudjelovanje u procesima odlučivanja. Vlada RH aktivno će podupirati razvoj lokalne zajednice na čijem se teritoriju nalazi centar za zbrinjavanje radioaktivnog otpada u skladu sa Strategijom. Objekti pripadaju kategoriji kontraverznih objekata, tako da percepcija javnosti najčešće nosi negativne konotacije oko izgradnje potrebnih skladišta i potom odlagališta RAO-a. Treba voditi računa o vrlo izraženoj međuovisnosti različitih djelatnosti zbrinjavanja RAO-a kao što su obrada, kondicioniranje, manipuliranje, skladištenje i odlaganje. Postupcima sanacije uzet će se u obzir mogućnost ponovne upotrebe onih prirodnih radioaktivnih materijala koji se mogu osloboditi regulatornog nadzora. [4]

## 11. ZAKLJUČAK

Tijekom pisanja svog završnog rada shvatila sam koliko smo zapravo izloženi radijaciji, a da toga zapravo nismo ni svjesni. Neka zračenja su nam neophodna, no cilj je smanjiti radijaciju na minimum. Poslodavac je dužan osigurati sva potrebna zaštitna sredstva za rad na siguran način. Osim primjenjivanja pravila i normi, radnike je potrebno educirati i osposobiti za rad na siguran način. Također za svako radno mjesto potrebna je izrada procjena rizika koja radniku mora biti na vidljivom mjestu, a prije početka rada potrebno ga je obavijestiti o svim prisutnim opasnostima i štetnostima s kojima se može susresti. Kod primjene uređaja koji zrače potrebna je primjena osobne zaštitne opreme i sredstava. Primjena osobne zaštitne opreme i sredstava ovisi o vrsti rada koju radnik izvodi. U svrhu očuvanja zdravlja i sigurnosti svakog radnika, radnik je dužan svoj posao obavljati svjesno i s dužnom pažnjom. Radnik koji obavlja rad na siguran način i prema uputama, te primjenjujući osobnu zaštitnu opremu i sredstva, čuva svoje zdravlje i zdravlje ljudi u svojoj okolini.

## 12. LITERATURA

- [1] [Radioaktivni materijal: tvari, njihovi izvori i rizik od \(atomiyme.com\)](#), pristupljeno 02.05.2022.
- [2] [Radioaktivnost - Fizika 4 | Gradivo.hr](#), pristupljeno 07.05.2022.
- [3] [26096\\_909992663\\_Seminar - Zracenje\\_radioaktivno.pdf \(mycity-military.com\)](#), pristupljeno 10.05.2022.
- [4] Sigurnost : časopis za sigurnost u radnoj i životnoj okolini, Vol. 63 No. 1, 2021.
- [5] [Ekvivalentna doza – Wikipedija \(wikipedia.org\)](#), pristupljeno 12.05.2022.
- [6] **Novaković M.:** „Zaštita od ionizirajućih zračenja: propisi u Republici Hrvatskoj s komentarima“, Ekoteh-dozimetrija, Zagreb (2001.), ISBN: 953-98623-0-2

## 13.POPIS SLIKA

Slika 1. Znak za opasnost od radioaktivnosti .....	3
Slika 2. Geiger-Müllerovo brojilo radioaktivnog zračenja .....	4
Slika 3. Primjer ambalaže za radioaktivne tvari .....	7
Slika 4. Listice za označavanje opasnih tvari klase 7 .....	9
Slika 5. Označeno vozilo za prijevoz radioaktivnih tvari .....	10
Slika 6. Dozimetar .....	11
Slika 7. CT uređaj .....	26
Slika 8. Uređaj za dijaskopiju .....	27
Slika 9. Angiografija glave .....	28
Slika 10. Osobna zaštitna oprema za zaštitu profesionalnog osoblja i bolesnika .....	29
Slika 11. Prikaz spremnika medicinskog, farmaceutskog i infektivnog otpada .....	32



## **14.POPIS TABLICA**

Tablica 1. Primljene doze za liječnike specijaliste radiologe .....	17
Tablica 2. Zajednički pokazatelji opće bolnice .....	18