

# PRIMJENA IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA U MEDICINI

---

**Butina, Matej**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2020**

*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:128:008475>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-10**



**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  
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

MATEJ BUTINA

# **PRIMJENA IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA U MEDICINI**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2020.

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

MATEJ BUTINA

# **APPLICATION OF IONIZING RADIATION IN MEDICINE**

Final paper

Karlovac, 2020.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

MATEJ BUTINA

# **PRIMJENA IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA U MEDICINI**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Kirin Anamarija,  
mag. ing. inf. et comm. techn.

Karlovac, 2020.



**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 SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ SIGURNOSTI I ZAŠTITE**

Usmjerenje: Zaštita na radu

Karlovac, kolovoz 2020.

### **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: **Matej Butina**

Matični broj: 0422418023

Naslov: **Primjena ionizirajućeg zračenja u medicini**

Opis zadatka:

U Završnom radu objasniti ionizirajuće zračenje i opisati njegov utjecaj na čovjeka. Opisati radiološku opremu čiji se rad bazira na ionizirajućem zračenju. Koristiti se stručnom literaturom, radnim materijalima, Zakonima i Pravilnicima, ostalom stručnom literaturom i konzultirati se s mentorom. Završni rad izraditi sukladno Pravilniku VUKA.

Zadatak zadan:

Kolovoz, 2020.

Rok predaje rada:

9.9.2020.

Predviđeni datum obrane

16.9.2020.

Mentor:

Anamarija Kirin, mag. ing. inf. et comm. techn.

Predsjednik ispitnog povjerenstva:

Marko Ožura, dipl.ing.

## **PREDGOVOR**

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći se navedenim izvorima podataka i stečenim znanjem za vrijeme studija.

Zahvaljujem se mentorici, mag. ing. inf. et comm. techn. Anamariji Kirin, koja mi je omogućila obradu teme ovog Završnog rada. Također se zahvaljujem na ukazanom povjerenju, susretljivosti i pruženoj stručnoj pomoći tijekom izrade završnog rada.

Ovom prilikom želim se zahvaliti i svim profesorima koji su mi predavali tijekom mog studiranja i nesebično mi prenijeli dio svog znanja i iskustva.

Na kraju, posebno bih spomenuo i zahvalio se svojoj obitelji i svim ostalima koji su mi bili podrška tijekom studiranja.

## **SAŽETAK**

Zračenje je prijenos energije u kojem energetski valovi ili čestice, putuju kroz vakuum ili materiju. Zračenje koje uzrokuje ionizaciju nazivamo ionizirajućim zračenjem. Upotreba ionizirajućeg zračenja u medicinskoj dijagnostici našla je široku primjenu. Otkrićem rendgenskog zračenja počinje razvoj radiologije što se smatra granom medicine koja se bavi primjenom raznih vrsta zračenja radi dijagnosticiranja i liječenja raznih vrsta bolesti. Razvojem znanosti o medicini razvija se i medicinska tehnologija kao i tehnologija rendgenskog zračenja. Danas postoje mnoge izvedbe rendgenskih uređaja, koje se koriste u dijagnosticiranju bolesti, te se može koristiti radi liječenja bolesti. Sve veća uporaba ionizirajućeg zračenja povećava mogućnost nastanka štetnosti opasnih po zdravlje, ukoliko se ono ne koristi pravilno. Medicinski tehničari koji su svakodnevno ili povremeno izloženi tijekom svog rada ionizirajućem zračenju mogu smanjiti opasnost nepoželjnih posljedica od zračenja odgovarajućom zaštitom na radu koja će spriječiti nepotrebnu izloženost velikim dozama. U ovom završnom radu biti će pojašnjena primjena ionizirajućeg zračenja u medicini, kako ono utječe na čovjeka, te će biti opisana radiološka oprema čiji se rad bazira na ionizirajućem zračenju.

## **SUMMARY**

Radiation is the transfer of energy in which energy waves, or particles, travel through a vacuum or matter. The radiation that causes ionization is called ionizing radiation. The use of ionizing radiation in medical diagnostics has found wide application. With the discovery of X-rays, begins the development of radiology, which is considered a branch of medicine that deals with the application of various types of radiation to diagnose and treat various types of diseases. With the development of the science of medicine, both medical technology and X-ray technology are evolving. Today, there are many designs of X-ray devices, which are used in diagnosing disease, and can be used to treat disease. The increasing use of ionizing radiation, if not used properly, increases the possibility of harmful hazards. Medical technicians who are exposed to ionizing radiation on a daily or intermittent basis during their work can reduce the risk of adverse effects of radiation by appropriate occupational safety and health measures that will prevent unnecessary exposure to high doses. This final work will explain the application of ionizing radiation in medicine, how it affects humans, and will describe the radiological equipment whose work is based on ionizing radiation.

# SADRŽAJ

	STRANICA
ZAVRŠNI ZADATAK.....	I
PREDGOVOR.....	II
SAŽETAK.....	III
SADRŽAJ.....	IV
1. UVOD.....	1
2. ZRAČENJE.....	2
2.1. Ionizirajuće zračenje.....	2
2.1.1. Način nastanka ionizirajućeg zračenja.....	3
2.1.2. Vrste ionizirajućih zračenja.....	4
2.2. Neionizirajuće zračenje.....	10
2.3. Međudjelovanje ionizirajućeg zračenja s materijom.....	10
2.4. Ozračenje.....	12
2.5. Uređaji za detekciju ionizirajućeg zračenja.....	13
3. UTJECAJ ZRAČENJA NA ČOVJEKA.....	16
3.1. Biološki učinci ionizirajućeg zračenja.....	16
3.2. Posljedice izlaganja čovjeka ionizirajućem zračenju.....	17
3.2.1. Akutna radijacijska bolest.....	18
3.2.2. Liječenje radijacijske bolesti.....	18
4. RADIOLOGIJA.....	19
4.1. Čimbenici koji utječu na stupanj oštećenja organizma.....	19
4.2. Mehanizam oštećenja i popravka DNA molekule.....	19
5. RADIOLOŠKA OPREMA U MEDICINI.....	21
5.1. Povijest i otkriće rendgenskog zračenja.....	21
5.2. Podjela radiološke opreme.....	22
5.3. Dijagnostički rendgenski uređaji u medicini.....	22
5.3.1. Osnovni dijelovi rendgen uređaja.....	23
5.4. Vrste rendgen uređaja.....	28
5.4.1. Rendgenski uređaji za snimanje ili radiografiju.....	28
5.4.2. Uređaji za prosvjetljavanje ili dijaskopiju i snimanje.....	29
5.4.3. Višenamjesni uređaji za rendgen.....	30
5.4.4. Specijalni rendgenski uređaji.....	30
5.4.5. Tomografski rendgenski uređaji.....	30
5.4.6. Rendgenski uređaji za mamografiju.....	31
5.4.7. Dentalni rendgenski uređaji.....	31
5.4.8. Pokretni rendgenski uređaji.....	33
5.5. Detekcija i vizualizacija rendgenskog zračenja – nastanak rendgen snimaka.....	35
6. ZAŠTITA NA RADNOM MJESTU U ZONI IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA.....	36
6.1. Osnovni specifični aspekti zaštite.....	36



<b>6.2. Zahtjevi za radni okoliš u zaštiti od ionizirajućeg zračenja .....</b>	<b>37</b>
<b>6.3. Zdravstveni nadzor izloženih radnika .....</b>	<b>39</b>
<b>6.4. Zaštitna oprema i sredstva .....</b>	<b>40</b>
<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>42</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>43</b>
<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>44</b>

## 1. UVOD

Ionizirajuće zračenje je zračenje koje ima dovoljno energije da ionizira neutralne molekule i atome. Proces u kojem neutralni atom ili molekula postaju pozitivno ili negativno nabijeni nazivamo ionizacija. Vrste ionizirajućeg zračenja su: alfa zračenje ( $\alpha$ ), beta zračenje ( $\beta$ ), gama zračenje ( $\gamma$ ), rendgensko zračenje (X) i neutronska zračenje (n). Među njima najčešće se u medicini upotrebljavaju elektromagnetske ionizirajuće zrake odnosno rendgenske i gama zrake.

Svakodnevno smo izloženi zračenju, ali ne prepoznajemo kada smo izloženi i kojoj količini zračenja, a posljedice osjetimo tek nakon nekog vremena. Opasnosti koje prate izlaganje ionizirajućem zračenju ne mogu se potpuno ukloniti, ali se rizici mogu ograničavati i smanjivati raznim mjerama [1]. Nakon otkrića rendgenskih zraka, za čije je otkriće zaslužan Wilhelm Conrad Röntgen, razvio se novi smjer u medicini koji je nazvan radiologija. Radiologija je znanost o zračenju, dok medicinska radiologija podrazumijeva primjenu zračenja u dijagnostici i u liječenju bolesti. Rendgenski uređaji su danas jako rasprostranjeni te se koriste u raznim područjima od medicine, sigurnosnih sustava pa do ispitivanja materijala. Rendgensko snimanje materijala je postupak neraznog ispitivanja materijala, sa svrhom detekcija nepravilnosti koje nisu vidljive golom oku. Razni su nedostaci i prednosti ispitivanja rendgenskim zračenjem u odnosu na ostale nerazorne metode. Najveći nedostatak pri snimanju rendgenskim zračenjem je velika količina energije koja se koristi i koja može biti jako štetna za ljudsko zdravlje, te cijena opreme koja je poprilično visoka. Prednosti su lako prepoznavanje položaja i oblika nepravilnosti, te brzo dobivanje slike predmeta[2]. Opasnosti koje prate izlaganje ionizirajućem zračenju ne mogu se potpuno ukloniti, ali se rizici mogu ograničavati i smanjivati raznim tehnološkim, organizacijskim i administrativnim mjerama.

Završnim radom pojašnjena je primjena ionizirajućeg zračenja u medicini. U prvom dijelu rada opisuje se što je zračenje, koje vrste zračenja postoje, kako ono nastaje i čime se detektira ionizirajuće zračenje. Zatim je objašnjeno kako zračenje utječe na čovjeka, koji su biološki učinci izlaganja, te posljedice izlaganja zračenju. U sljedećem poglavlju definirano je što je radiologija, i navedeni su čimbenici koji utječu na stupanj oštećenja organizma. Nakon toga objašnjeni su rendgenski uređaji u medicini, osnovni dijelovi uređaja, vrste uređaja. U zadnjem poglavlju nalaze se aspekti zaštite od rendgenskog zračenja u medicini, zaštitna sredstva i oprema te nadzor izloženih radnika.

## **2. ZRAČENJE**

Zračenje je prijenos energije u kojem energetski valovi ili čestice, putuju kroz vakuum ili materiju. Valovi samog medija, poput zvučnih valova ili valova na vodi, ne smatraju se zračenjem u tom smislu.

Zračenje dijelimo na:

- Ionizirajuće zračenje
- Neionizirajuće zračenje.

Zračenje, odnosno zrake velike energije, može iz ljuske atoma izbaciti elektrone i time ionizirati atom. Takve zrake nazivamo ionizirajućim zrakama. Ionizirajuće zrake su rendgenske (X-zrake), gama zrake ili kozmičke zrake koje mogu štetno djelovati na ljudske stanice. Neionizirajuće zrake su zrake manje energije (radiovalovi, mikrovalovi, vidljiva svjetlost, infracrvene i ultraljubičaste zrake) koje nemaju jačinu dovoljnu za ionizaciju te su znatno manje štetne od ionizirajućih zraaka [3].

Budući da zračenje ne možemo osjetiti, ne znamo kada smo i u kojim količinama izloženi zračenju, često postoji neopravdan, a ponekad i opravdan razlog za strah, jer smo svakodnevno izloženi zračenju. Posljedice zračenja osjetimo naknadno tek nakon nekog vremena, od nekoliko sati, do dana ili čak godina, što ovisi o vrsti i svojstvima tog zračenja. Međutim, zračenje nam donosi i veliku korist, osobito u zdravstvu za dijagnostičke postupke i terapije.

### **2.1. Ionizirajuće zračenje**

Ionizirajuće zračenje je jedna vrsta zračenja. Ionizirajuće zračenje odnosno pojava prijenosa energije u obliku fotona ili masenih čestica koje imaju dovoljno veliku energiju da električki neutralne atome razbiju na ione, odnosno ioniziraju tvar, pritom izbijajući iz atoma jedan elektron. Ionizacija je proces nastajanja električki nabijenih čestica, iona, iz neutralnih atoma ili molekula. Zbog toga zračenje koje uzrokuje ionizaciju nazivamo ionizirajućim zračenjem [4]. Izvori ionizirajućeg zračenja danas nemaju adekvatne alternative u medicini za dijagnostiku, terapiju te sterilizaciju medicinskog pribora i opreme. Izvor ionizirajućeg zračenja jest svaki uređaj, postrojenje ili tvar koja proizvodi ili odašilje ionizirajuće zračenje. Prema načinu nastanka, izvori ionizirajućeg zračenja dijele se na prirodne i umjetno stvorene. Pod prirodnim zračenjima radioaktivnih tvari smatraju se sve one radioaktivne tvari koje su prisutne svuda u prirodi, u tlu, stijenama, vodi, zraku i vegetaciji. Umjetni izvori ionizirajućeg zračenja su oni izvori ionizirajućeg zračenja koje je stvorio čovjek.

Obzirom na način nastanka ionizirajućeg zračenja u njima, izvori ionizirajućeg zračenja dijele se na radioaktivne izvore i električne uređaje koji proizvode ionizirajuće zračenje (npr. rendgenski uređaj i akcelerator). Rizik od ionizirajućeg zračenja se označava putem međunarodne oznake za radioaktivnost ISO 361, i predstavljen je crnim ili crvenim simbolom u obliku djeteline na žutoj podlozi uokviren crnim trokutom (slika 1) [5].



Slika 1: Znak za opasnost od radioaktivnosti

Izvor: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Ioniziraju%C4%87e\\_zra%C4%8Denje](https://hr.wikipedia.org/wiki/Ioniziraju%C4%87e_zra%C4%8Denje)

### 2.1.1. Način nastanka ionizirajućeg zračenja

Atom je osnovna građevna jedinica svake tvari u prirodi. Atomi su građeni od elektronskog omotača i atomske jezgre. U elektronskom omotaču koji obavija atomsku jezgru nalaze se elektroni, a u atomskoj jezgri nalaze se protoni i neutroni. Protoni imaju pozitivan naboj, a elektroni negativan naboj istog iznosa, ali suprotnog predznaka. Neutroni nemaju naboj. U atomu imamo jednak broj protona i elektrona i taj broj nazivamo atomskim brojem  $Z$ , broj neutrona označavamo s  $N$ , a zbroj  $Z$  i  $N$  daje maseni broj  $A$ . Maseni broj je zapravo broj protona i neutrona. Zbog toga oznaku svakog kemijskog zapisujemo u obliku  $X_Z^A$ , gdje je  $X$  kemijski simbol elementa. Atomi jednog kemijskog elementa mogu imati različit broj neutrona i tada takve atome nazivamo izotopima. Svi kemijski elementi su razvrstani u posebnu tablicu koju nazivamo Periodni sustav elemenata (slika 2). Elementi su razvrstani u osam karakterističnih skupina sa sličnim kemijskim svojstvima i poredani su po rastućem atomskom broju  $Z$  [6].

skupine

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

perode	1	<b>H</b> vodik 1,008																	<b>He</b> helij 4,003
	2	<b>Li</b> litij 6,941	<b>Be</b> berilij 9,012											<b>B</b> bor 10,81	<b>C</b> ugljik 12,01	<b>N</b> dušik 14,01	<b>O</b> kisik 16,00	<b>F</b> fluor 18,00	<b>Ne</b> neon 20,18
	3	<b>Na</b> natrij 22,99	<b>Mg</b> magnezij 24,31											<b>Al</b> aluminij 26,98	<b>Si</b> silicij 28,09	<b>P</b> fosfor 30,97	<b>S</b> sumpor 32,06	<b>Cl</b> klor 35,45	<b>Ar</b> argon 39,95
	4	<b>K</b> kalij 39,10	<b>Ca</b> kalcij 40,08	<b>Sc</b> skandij 44,96	<b>Ti</b> titanij 47,88	<b>V</b> vanadij 50,94	<b>Cr</b> krom 52,00	<b>Mn</b> mangan 54,94	<b>Fe</b> željezo 55,85	<b>Co</b> kobalt 58,93	<b>Ni</b> nikal 58,70	<b>Cu</b> bakar 63,55	<b>Zn</b> cink 65,38	<b>Ga</b> galij 69,72	<b>Ge</b> germanij 72,64	<b>As</b> arsen 74,92	<b>Se</b> selen 78,96	<b>Br</b> brom 79,90	<b>Kr</b> kripton 83,80
	5	<b>Rb</b> rubidij 85,47	<b>Sr</b> stroncij 87,62	<b>Y</b> itrij 88,91	<b>Zr</b> cirkonij 91,22	<b>Nb</b> niobij 92,91	<b>Mo</b> molibden 95,94	<b>Tc</b> tehnecij (98)	<b>Ru</b> rutenij 101,1	<b>Rh</b> rodij 102,9	<b>Pd</b> paladij 106,4	<b>Ag</b> srebro 107,9	<b>Cd</b> kadmij 112,4	<b>In</b> indij 114,8	<b>Sn</b> olovo 118,7	<b>Sb</b> antimon 121,8	<b>Te</b> telurij 127,6	<b>I</b> jod 126,9	<b>Xe</b> ksenon 131,3
	6	<b>Cs</b> cesij 132,9	<b>Ba</b> barij 137,3	<b>La</b> lanthan 138,9	<b>Hf</b> hafnij 178,5	<b>Ta</b> tantal 180,9	<b>W</b> volfram 183,8	<b>Re</b> renij 186,2	<b>Os</b> osmij 190,2	<b>Ir</b> iridij 192,2	<b>Pt</b> platina 195,1	<b>Au</b> zlat 197,0	<b>Hg</b> živa 200,6	<b>Tl</b> talij 204,4	<b>Pb</b> olovo 207,2	<b>Bi</b> bismut 208,9	<b>Po</b> polonij 209	<b>At</b> astat 210	<b>Rn</b> radon 222
	7	<b>Fr</b> francij (223)	<b>Ra</b> rađij 226,0	<b>Ac</b> aktinij 227,0	<b>Rf</b> rutherfordij (261)	<b>Db</b> dubnij (262)	<b>Sg</b> seaborgij (263)	<b>Bh</b> bohrij (262)	<b>Hs</b> hasej (265)	<b>Mt</b> meitnij (266)	<b>Ds</b> darmstadij (271)	<b>Rg</b> roentgenij (272)	<b>Cn</b> kopernicij (1)	<b>Nh</b> nihonij (277)	<b>Fl</b> flerovij (1)	<b>Mc</b> moskovij (1)	<b>Lv</b> livermorij (1)	<b>Ts</b> tenesij (1)	<b>Og</b> oganeson (293)

	<b>Lantanoidi</b>	<b>Ce</b> cerij 140,1	<b>Pr</b> praseodimij 140,9	<b>Nd</b> neodimij 144,2	<b>Pm</b> prometij (145)	<b>Sm</b> samarij 150,4	<b>Eu</b> europij 152,0	<b>Gd</b> gadolinij 157,3	<b>Tb</b> terbij 158,9	<b>Dy</b> disprozij 162,5	<b>Ho</b> holmij 164,9	<b>Er</b> erbij 167,3	<b>Tm</b> tulij 168,9	<b>Yb</b> iterbij 173,0	<b>Lu</b> lutecij 175,0
	<b>Aktinoidi</b>	<b>Th</b> torij (232)	<b>Pa</b> protaktinij (231)	<b>U</b> uranij (238)	<b>Np</b> neptunij (237)	<b>Pu</b> plutonij (244)	<b>Am</b> americij (243)	<b>Cm</b> kuri (247)	<b>Bk</b> berkelij (247)	<b>Cf</b> kalifornij (251)	<b>Es</b> einsteinij (252)	<b>Fm</b> fermij (257)	<b>Md</b> mandelcivij (258)	<b>No</b> nobelij (259)	<b>Lr</b> lawrencij (262)

$A$   
ime  
 $Z$   
X  
 $A_r$

A – nukleonski broj najčešćega izotopa  
Z – protonski broj  
 $A_r$  – relativna atomska masa

metali
  nemetali
  polumetali

Slika 2: Periodni sustav elemenata

Izvor: <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/e78bfca5-654d-4dcc-b431-7b505feb6fa4/kemija-1/m02/j04/index.html>

U prirodi atom ima jednak broj protona i elektrona te je on električki neutralna cjelina jer se naboji elektrona i protona kompenziraju. Vanjskim djelovanjem na takav uravnotežen sustav mogu se izbacivati elektroni iz elektronskog omotača atoma pri čemu takav atom više nije stabilan sustav naboja. Gubljenjem elektrona iz atoma, atom postaje pozitivno nabijen i takav atom nazivamo ionom. Proces nastajanja iona naziva se ionizacija, a zračenje koje može izazvati ionizaciju nazivamo ionizirajućim zračenjem [6].

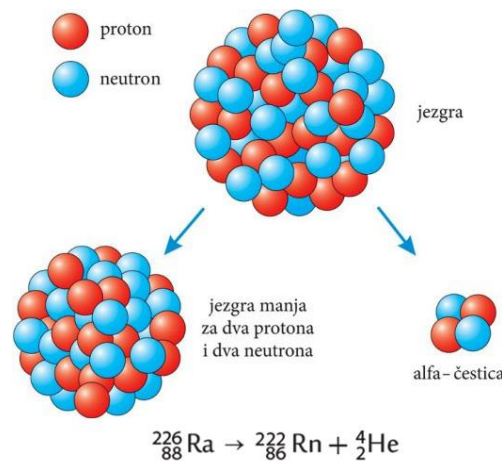
### 2.1.2. Vrste ionizirajućih zračenja

**Radioaktivne tvari** su tvari koje sadrže, osim ostalih, i atome s nestabilnim jezgrama koje svojim raspadom proizvode ionizirajuće zračenje. Atomi s nestabilnim jezgrama imaju jezgre koje će se u nekom trenutku spontano raspasti pri čemu će emitirati energiju, bilo u obliku fotona (elektromagnetskog zračenja) ili u obliku emisije čestica koje odnose i energiju. **Radioaktivnost** je svojstvo nekih atoma da im se jezgre spontano mijenjaju i pri tome emitiraju elektromagnetsko zračenje ili čestice. Spontano mijenjanje jezgre atoma pri čemu se emitira elektromagnetsko zračenje ili čestica naziva se **radioaktivni raspad** [7].

Raspadom radioaktivne jezgre (radionuklida) nastaje zračenje koje može biti čestično ili elektromagnetski val frekvencije  $f$  sastavljen od fotona. Čestice koje nastaju raspadom radionuklida imaju masu, a mogu biti alfa ili beta čestice pa postoji  $\alpha$ -raspad i  $\beta$ -raspad. Ako raspadom nastaju fotoni (elektromagnetsko zračenje), tada se takav raspad naziva  $\gamma$ -raspadom. Radioaktivna zračenja ubrajamo u ionizirajuća zračenja, jer ioniziraju atome tvari na koju padaju (izbacuju elektrone iz njihovih atomskih omotača) [5].

### Alfa zračenje

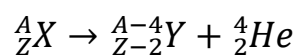
Alfa ( $\alpha$ ) raspadom se većinom raspadaju teške nestabilne jezgre. Alfa čestica je jezgra helija i predstavlja čvrsto vezan sustav od dva protona i dva neutrona. Kada teška jezgra emitira alfa česticu ona izgubi dva protona i dva neutrona i dolazi do transmutacije atomske jezgre. Pritom se  $N$  smanji za 2,  $Z$  smanji za 2 i  $A$  smanji za 4. Nakon emisije alfa čestice nastaje novi element koji se u periodnom sustavu elemenata nalazi pomaknut za dva mjesta u lijevo u odnosu na početni element. Slika 3, prikazuje alfa raspad [8].



Slika 3: Alfa raspad

Izvor: <https://radioaktivniotpad.org/radioaktivnost/>

Simbolički se  $\alpha$  raspad može napisati kao:



X – radioaktivna jezgra koja se raspada (roditelj)

Y – novonastala radioaktivna jezgra (kćer)

A – maseni ili nukleonski broj

N – neutronske broj

Z – atomski broj

Alfa zračenje je čestično ionizirajuće zračenje koje se sastoji od roja brzih alfa čestica, izbačenih iz teških atomskih jezgri radioaktivnim alfa raspadima. Zbog svoje relativno velike mase, alfa zračenje nije prodorno te u zraku ima domet svega nekoliko centimetara (približno 2-8cm), a u tjelesnim tkivima domet iznosi oko 0.03mm. Alfa čestice može zaustaviti već i list papira. Alfa radioaktivni izvori stoga ne predstavljaju ozbiljne opasnosti kao vanjski radioaktivni izvori. Opasne su alfa čestice koje dođu u čovjekovo tijelo (interna kontaminacija) jer alfa čestica ima veliku snagu ionizacije. U medicinskoj dijagnostici ova vrsta raspada uopće se ne koristi, ali bi primjena alfa zračenja mogla biti korisna u terapiji karcinoma. U novije vrijeme pokušavaju se razviti metode u kojima bi se iskoristila velika biološka efikasnost alfa zračenja i mogućnost da se lokalnom primjenom u željeno područje isporuči lokalno visoka doza zračenja dovoljna za uništenje stanica karcinoma uz poštedu okolnog zdravog tkiva.

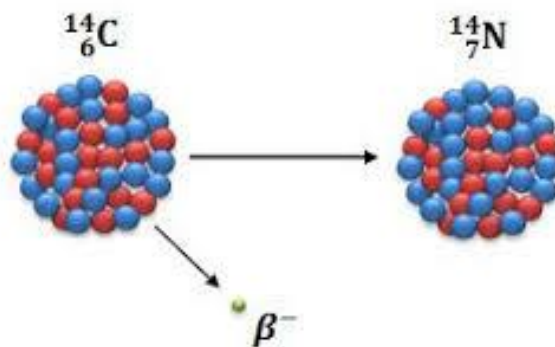
### **Beta zračenje**

Beta čestica je elektron ili pozitron, koji nastaje pretvorbom neutrona u proton ili protona u neutron, pri raspadu atomskih jezgri nekih radioaktivnih elemenata. Beta raspad je vrsta radioaktivnog raspada izazvana utjecajem slabe nuklearne sile. Pri beta raspadu atomska jezgra zrači elektron ili pozitron, i ne dolazi do promjene atomske mase, već se samo atomski broj poveća ili smanji za jedan. To znači da se atomska jezgra pretvori u novu jezgru. Beta-čestice su vrsta ionizirajućeg zračenja, koje ima dovoljno energije da u međudjelovanju s kemijskom tvari ionizira tu tvar. U međudjelovanju s kemijskom tvari dolazi do izmjene energije i izmjene strukture ozračene tvari. Takve posljedice mogu biti korisne, ali i vrlo štetne [8].

Postoje dvije vrste beta raspada:

- Beta minus raspad
- Beta plus raspad

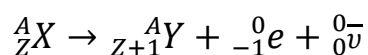
U beta minus raspadu (slika 4) jedan neutron iz jezgre transformira se u proton koji ostaje u jezgri, a iz jezgre izlijeće čestica po osobinama identična elektronu, koju zovemo beta minus čestica ( $\beta^-$ ). Pri tome se N smanji za 1, Z poveća za 1, a A ostaje isti. Pri beta minus raspadu novonastala jezgra pomiče se za jedno mjesto u desno u periodnom sustavu elemenata, dakle događa se transmutacija atomske jezgre. Primjer beta minus raspada dan je na slici 6. gdje se izotop ugljika  $^{14}_6\text{C}$  transformira u dušik  $^{14}_7\text{N}$  [8].



Slika 4: Beta minus raspad

Izvor: [https://www.fzsri.uniri.hr/files/FAKULTET/KATEDRE/Katedra\\_temeljne/Microsoft%20Word%20-%20Radioaktivnost\\_Primjena%20u%20medicini\\_povjerenstvo\\_Z.pdf](https://www.fzsri.uniri.hr/files/FAKULTET/KATEDRE/Katedra_temeljne/Microsoft%20Word%20-%20Radioaktivnost_Primjena%20u%20medicini_povjerenstvo_Z.pdf)

Simbolički se  $\beta^-$  raspad može napisati kao:



X – jezgra roditelj

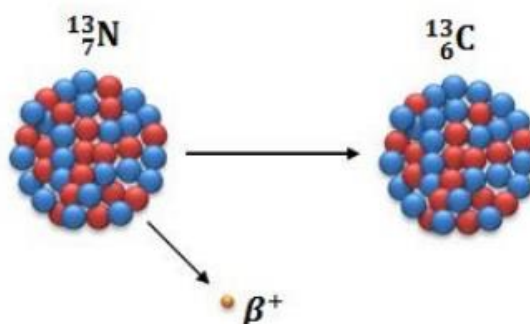
Y – jezgra kćer

e – elektron,

$\bar{\nu}$  – antineutrino

Beta plus raspad

Beta plus raspadu (slika 5) podložne su nestabilne jezgre s manjkom neutrona. Kada jezgra doživi beta plus raspad, ona ostaje s istim brojem nukleona, a proton iz jezgre transformira se u neutron, što prati emisija beta plus čestice (pozitrona) i neutrina. N se poveća za jedan, Z se smanji za jedan, A ostaje isti, tako da se novonastali element u periodnom sustavu pomiče za jedno mjesto u lijevo [8].

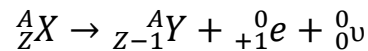


Slika 5: Beta plus raspad

Izvor: [https://www.fzsri.uniri.hr/files/FAKULTET/KATEDRE/Katedra\\_temeljne/Microsoft%20Word%20-%20Radioaktivnost\\_Primjena%20u%20medicini\\_povjerenstvo\\_Z.pdf](https://www.fzsri.uniri.hr/files/FAKULTET/KATEDRE/Katedra_temeljne/Microsoft%20Word%20-%20Radioaktivnost_Primjena%20u%20medicini_povjerenstvo_Z.pdf)



Simbolički se  $\beta^+$  raspad može napisati kao:



X – jezgra roditelj

Y – jezgra kćer

e – pozitron

$\nu$ –neutrino

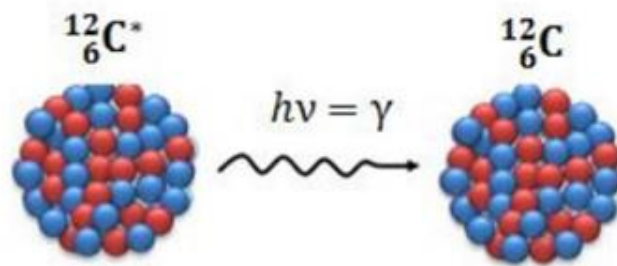
Beta zračenje:

Beta zračenje je čestično ionizirajuće zračenje koje se sastoji od roja beta-čestica, brzih elektrona ili pozitrona izbačenih iz teških atomskih jezgara. Beta zračenje može se koristiti za liječenje očiju i raka kostiju. U ispitivanju materijala koriste se i za mjerenje debljine tankih materijala, kao što je papir.  $\beta$  čestice se koriste i za stvaranje tzv. beta svjetlosti, koja nastaje ozračivanjem tricija i fluorescentne tvari. Prodornije je nego alfa zračenje i u zraku ima domet od nekoliko metara. Zaustaviti ga može već tanki sloj aluminijske folije.  $\beta$  čestice mogu prodrijeti kroz aluminijski lim debljine 1 mm, ali ih olovni lim debljine 3 mm apsorbira.

### **Gama zračenje**

Gama zračenje nastaje u slučaju kada jezgra koja je doživjela raspad (alfa ili beta raspad) ostane u pobuđenom stanju. To nije raspad u pravom smislu riječi. Pri povratku u stanje niže energije, dolazi do emisije gama zračenja. Svaka atomska jezgra može se nalaziti u nekom od svojih energetskih stanja: osnovnom stanju, prvom pobuđenom, drugom pobuđenom. Elektromagnetsko zračenje koje jezgre emitiraju prilikom prijelaza u osnovno stanje naziva se gama zračenje [8]. To je ista vrsta zračenja kao i rendgensko zračenje; međusobno se razlikuju po načinu nastanka. Osnovna razlika između gama i rendgenskih zraka je u načinu njihovog nastajanja. Rendgenske zrake nastaju u vanjskom elektronskom omotaču atoma, dok gama zrake nastaju u jezgri atoma. Gama zračenje je fotonske (elektromagnetske) prirode i pri njegovoj emisiji ne dolazi do promjene ni atomskog ni masenog broja. Tijekom tog procesa emitira se čista energija, pa jezgra dolazi u stabilnije stanje (stanje niže energije). Radioaktivni elementi koji emitiraju gama zrake najrašireniji su izvori zračenja.

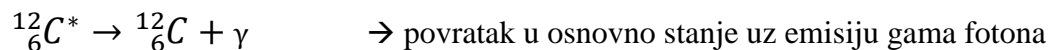
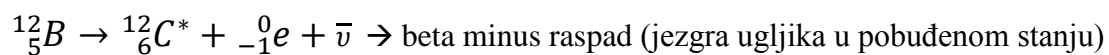
Slika 6, prikazuje gama raspad.



Slika 6: Gama raspad

Izvor: [https://www.fzsri.uniri.hr/files/FAKULTET/KATEDRE/Katedra\\_temeljne/Microsoft%20Word%20-%20Radioaktivnost\\_Primjena%20u%20medicini\\_povjerenstvo\\_Z.pdf](https://www.fzsri.uniri.hr/files/FAKULTET/KATEDRE/Katedra_temeljne/Microsoft%20Word%20-%20Radioaktivnost_Primjena%20u%20medicini_povjerenstvo_Z.pdf)

Primjer:



Gama zračenje je veoma jako i opasno te je otprilike 1000 000 puta veće energije nego što je energija koju emitiraju atomi prilikom prijelaza u osnovno stanje. Zbog visoke energije gama čestice putuju brzinom svjetlosti i u zraku mogu prijeći stotine tisuća metara prije nego što potroše energiju. Vrlo su prodorne i mogu proći kroz mnogo vrsta materijala uključujući i ljudsko tkivo. Za zaštitu od gama zračenja obično se koriste vrlo gusti materijali poput olova. Gama zračenje slabi pri prolazu kroz tvar zbog apsorpcije i raspršenja. Primjenjuje se u industriji (za ispitivanje materijala) i medicini (za liječenje tumora). Zbog baktericidnoga djelovanja služi i za sterilizaciju prostora i medicinske aparature. Primjenjuje se i za izazivanje genetskih mutacija kod biljaka i mikroorganizama (za proizvodnju antibiotika) [8].

### Rendgensko zračenje

Rendgenske zrake, poznate i kao X – zrake, područje su elektromagnetskog zračenja s valnim duljinama između 0,001 i 10 nm, što približno odgovara području između ultraljubičastog i gama zračenja. Njihova najpoznatija primjena je u dijagnostičkoj radiografiji i kristalografiji. Zbog svoje energije ubrajaju se u ionizirajuće zračenje. Rendgenske zrake su elektromagnetski valovi, poput vidljive svjetlosti, radio i TV valova, infracrvenih, ultraljubičastih i gama zraka. Valna dužina rendgenskih zraka iznosi od nekoliko nanometara do stotinki nanometra (od  $\sim 10^{-9}\text{m}$  do  $\sim 10^{-11}\text{m}$ ), što znači da je tisuće puta manja od valne dužine vidljive svjetlosti (od  $\sim 4 \cdot 10^{-7}\text{m}$  do  $\sim 7 \cdot 10^{-7}\text{m}$ ).

Rendgenske zrake su nevidljive, a šire se pravocrtno brzinom vidljive svjetlosti u vakuumu od  $3 \cdot 10^8$  m/s. Rendgenske zrake prodiru kroz tvari, a dubina prodiranja ovisi o vrsti tvari, njenom kemijskom sastavu, te o energiji rendgenskih zraka. Općenito, apsorpcija rendgenskih zraka je veća u tvari s atomima većeg rednog broja. Rendgenske zrake su ionizirajuće zračenje; izbijaju elektrone atoma u tvari kojom prolaze. Prolazom kroz tkivo živih bića rendgenske zrake mogu oštetiti stanice tkiva (na tom svojstvu osniva se radioterapija u liječenju raka), te sterilizacija namirnica i dr. Nakon otkrića rendgenskih zraka, za što je zaslužan Wilhelm Conrad Röntgen, nagrađen Nobelovom nagradom za fiziku, razvio se novi smjer u medicini – radiologija [9].

## **2.2. Neionizirajuće zračenje**

Neionizirajuća zračenja su bilo koja vrsta elektromagnetskog polja i elektromagnetskih valova koja nemaju dovoljno veliku energiju da mogu izazvati ionizaciju, odnosno nemaju dovoljnu energiju da potpuno izbace elektrone iz njihove orbite i tako uzrokuju nastanak iona. Umjesto stvaranja iona prilikom prolaska kroz materiju, elektromagnetno zračenje ima dovoljno energije samo za prelazak elektrona na više energetska stanje [10].

U neionizirajuće zračenje ubrajamo:

- Optičko zračenje (ultraljubičasto, infracrveno, vidljivi spektar)
- Radiovalno i mikrovalno zračenje
- Zračenje ekstremno niskih frekvencija.

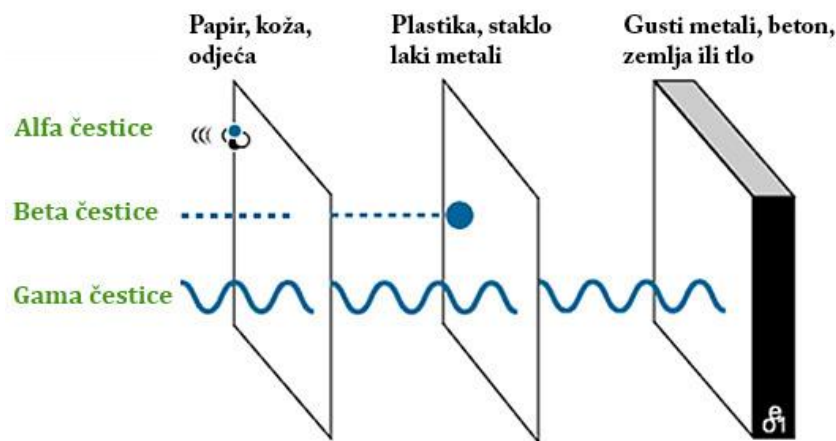
S obzirom na izvore, neionizirajuće zračenje može biti niskih frekvencija (dalekovodi, transformatorske stanice) i visokih frekvencija (mobilni telefoni, TV odašiljači, radari i slično). Neionizirajuće zračenje može proizvesti toplinu u biološkom tkivu, što dovodi do opekotina.

## **2.3. Međudjelovanje ionizirajućeg zračenja s materijom**

Prolaskom ionizirajućeg zračenja kroz materiju, ionizirajuće zračenje djeluje na materiju, i uzrokuje ionizaciju. Energija ionizirajućeg zračenja prenosi se na elektrone u atomima čime se zračenje guši, odnosno slabi, dok ne nestane ili dok mu prodorna moć potpuno oslabi da više nema negativan učinak. Kod čestičnog zračenja,  $\alpha$ -čestice i  $\beta$ -čestice imaju masu te se prolazom između atoma materije sudaraju s atomima i pritom im predaju dio svoje kinetičke energije. Ta energija se smanjuje, dok se broj ioniziranih atoma povećava. Nakon što predaju svu svoju energiju, čestice se zaustave i utope u materiji. Što je čestica veća, veća se energija predaje materiji, te je put prolaska kroz materiju manji [5].

Kako je već navedeno u poglavlju 2.1.2., alfa česticu zbog njezine veličine zaustavlja list papira, stanica kože ili sloj zraka. Beta čestica, odnosno elektron, ima manju masu, rjeđe se sudara s elektronima atoma materije, te ima duži put prodiranja prije nego preda svu svoju energiju, pa samim time ima i duži put zaustavljanja u materiji. Opasnost predstavlja kožno X zračenje koje nastaje njegovim prolaskom kroz tvar ili gama zračenje koje se emitira ako jezgra poslije emisije beta čestice ostane u pobuđenom stanju.

Gama zračenje (elektromagnetne prirode), ima najveću dubinu prodiranja. Gama zračenje ne može u potpunosti zaustaviti ni olovna ploča debljine par milimetara. Najbolje ga apsorbiraju materijali velikog atomskog broja (olovo) i velike gustoće. [5] Fotoni nemaju masu već pakete energije i fotoni se s materijom ne sudaraju kao što to rade čestice s masom. Slika 7, prikazuje prodornost zračenja kroz materiju.



Slika 7: Prodornost zračenja

Izvor: <https://radioaktivniotpad.org/radioaktivnost/>

Razlikujemo tri mehanizma interakcije s materijom, a to su:

- Fotoelektrični efekt
- Comptonov efekt
- Tvorba para elektron – pozitron.

Svim ovim procesima zajedničko je da se energija upadnog ionizirajućeg zračenja smanjuje, zbog toga što se prenosi na materiju, pri čemu dolazi do ionizacije i ostalih posljedica koje ionizacija izaziva. Kod fotoelektričnog efekta, foton se sudara s elektronom u elektronskom omotaču atoma materije, predaje mu svu svoju energiju, te ako je ta energija veća od energije vezanja elektrona za atom, elektron se oslobađa iz atoma i ostavlja atom s +1 nabojem. Dakle, dolazi do ionizacije, a foton nestaje. Taj proces se događa samo ako je energija fotona ispod određene granice, a ako je energija viša od granice tada se javlja Comptonov efekt.

Kod Comptonovog efekta foton se sudara s elektronom u elektronskom omotaču atoma materije, predaje mu dio svoje energije, izbacuje ga iz omotača i tako ionizira atom, a foton odlazi raspršivši se pod određenim kutom i sa smanjenom energijom. Takvo raspršeno zračenje je velik problem u zaštiti od ionizirajućeg zračenja. Tvorba para elektron-pozitrona nastaje kada je energija fotona veća od određenog praga, a prolazom takvog fotona u blizini jezgre atoma materije foton jednostavno nestane i pojavi se par elektron-pozitron koji putuje u suprotnom smjeru odnoseći preostalu energiju u obliku kinetičke energije [5].

## 2.4. Ozračenje

Ozračenje se definira kao izlaganje ionizirajućem zračenju, te ovisno o tome nalazi li se izvor ionizirajućeg zračenja izvan našeg tijela ili smo ga na neki način (udisanjem, gutanjem) unijeli u naše tijelo, ozračenje može biti vanjsko ili unutarnje. Osim na unutarnje i vanjsko, dijeli se i na medicinsko ozračenje, profesionalno ozračenje i ozračenje stanovništva. Vanjsko ozračenje je u slučaju rada rendgenske cijevi ili akceleratora, a unutarnje ozračenje je u slučaju unošenja radioaktivnih tvari u organizam pojedinca kao dio dijagnostičkih postupaka na odjelima nuklearne medicine. Bitno za naglasiti da tijelo pojedinca u koje je unesen radionuklid za svoju okolinu predstavlja vanjski izvor ionizirajućeg zračenja. Pod profesionalnim ozračenjem smatra se ozračenje kojem su izloženi radnici, u okviru svog radnog mjesta.

Medicinskim ozračenjem smatra se ozračenje sljedećih osoba:

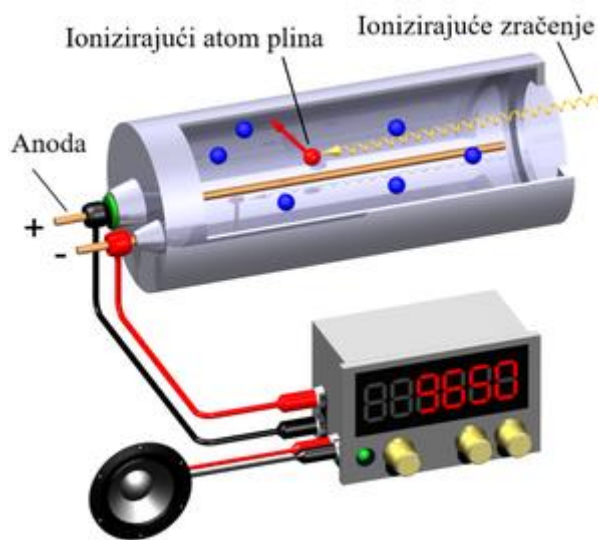
- osoba izloženih ionizirajućem zračenju tijekom primjene izvora ionizirajućeg zračenja u dijagnostičke ili terapijske svrhe
- osoba ozračenih u sklopu zdravstvenog pregleda za radno mjesto, – osoba ozračenih u sklopu sustavnog pregleda (tzv. *screening*)
- osoba koje dragovoljno sudjeluju u medicinskim i biomedicinskim, dijagnostičkim ili terapijskim, istraživačkim programima koji uključuju uporabu izvora ionizirajućeg zračenja
- osoba ozračenih u sklopu medicinsko-pravnih postupaka te
- osoba koje svjesno i dragovoljno pridržavaju i pomažu pacijentima tijekom dijagnostičkih ili intervencijskih pregleda ili postupaka u medicini i dentalnoj medicini uporabom izvora ionizirajućeg zračenja [5].

## 2.5. Uređaji za detekciju ionizirajućeg zračenja

### Geiger-Müller brojači

Sastoje se od komore ispunjene zrakom ili nekim plinom u kojoj je uspostavljeno električno polje. Kada ionizirajuće zračenje prolazi kroz komoru dolazi do ionizacije. Pozitivni ioni odlaze na katodu, a negativni ioni odlaze na anodu, te u strujnom krugu nastaju električni impulsi koji označavaju da je došlo do prijema čestice nastale raspadom. Nastali impulsi se obrađuju u električnom krugu uređaja i brojčanik uređaja pokazuje određene vrijednosti, kao što su: broj impulsa, broj impulsa po jedinici vremena i sl. [5].

Slika 8, prikazuje Geiger-Müller brojač.



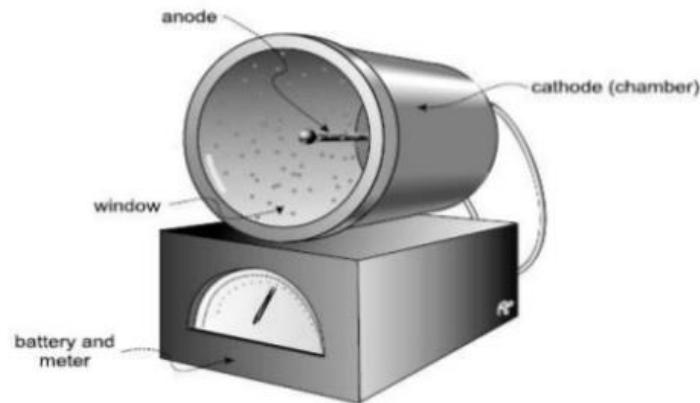
Slika 8: Geiger-Müller brojač

Izvor: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Geigerov\\_broja%C4%8D](https://hr.wikipedia.org/wiki/Geigerov_broja%C4%8D)

### Ionizacijske komore

To su uređaji koji mjere apsorbiranu dozu u zraku. Slične su građe kao i Geiger-Müller brojači, ali imaju drugačije električno polje i drugačiji način baždarenja. Ako je poznata masa zraka u komori, odnosno volumen zraka, ionizirajuće zračenje prolaskom kroz komoru predaje određenu količinu energije  $i$ , ako znamo kolika je ta energija, onda znamo i apsorbiranu dozu u zraku u točki na kojoj se nalazi komora [5].

Slika 9, pokazuje ionizacijsku komoru.



Slika 9: Ionizacijska komora

Izvor: <https://es.slideshare.net/anasyess1/ionization-chamber/10>

### Osobni dozimetri

Uređaji koji služe za mjerenje osobnih apsorpcijskih doza kod ljudi nazivamo osobnim dozimetrima. Osobni dozimetri nose se na odgovarajućem reprezentativnom mjestu na tijelu tijekom rada s izvorima ionizirajućeg zračenja, na lijevoj strani prstiju ili ispod olovne zaštitne pregače. Dvije su zakonski priznate metode mjerenja, a to su: filmdozimetar i termoluminiscentni dozimetar (TLD). Kod obje vrste dozimetra prolaskom ionizirajućeg zračenja dolazi do određenih procesa, zacrnljenja filma ili podizanja elektrona na više energetske stanje. Obje vrste dozimetra su podjednako raširene, a svaka ima svoje prednosti i mane. TLD se koristi tamo gdje je zbog velikog broja korisnika potrebna i poželjna automatska obrada podataka, a filmdozimetri su pogodniji zbog trajnosti zapisa. Osjetljivost obje vrste osobnih dozimetara je podjednaka, a točnost im ovisi o servisima, načinu baždarenja, energiji zračenja i mnogim drugim čimbenicima. Osnovni nedostatak obje vrste osobnih dozimetara je odgođeno dobivanje rezultata ozračenja, nakon proteka vremena nošenja i zbog toga su danas popularne brojne verzije dozimetara s trenutnim očitanjem primljene apsorpcijske doze. Tu spadaju penkala-dozimetar, elektronski dozimetar i slično, koji se koriste kao dodatni dozimetri uz službenu dozimetriju koja se provodi pomoću filmdozimetara ili TLD [5].

Na slici 10, prikazane su različite vrste dozimetara.



Slika 10: Različite vrste dozimetra



### 3. UTJECAJ ZRAČENJA NA ČOVJEKA

Posljedica djelovanja ionizirajućeg zračenja na tvar je povećanje energije atoma i molekule u tvari. Zbog djelovanja energije, ionizirajuće zračenje u tkivu može uzrokovati oštećenje ili smrt stanica. Zračenje može direktno djelovati na ozračenu osobu, i na potomke ozračenih osoba. Stupanj oštećenja ionizirajućim zračenjem ovisi o vrsti ionizirajućeg zračenja, brzini zračenja i apsorbiranoj dozi. Bitna je količina energije i vrijeme u kojem jedinična masa neke tvari prima energiju zračenja. Učinak zračenja na stanicu ovisi i o vrsti i mjestu oštećenja, vrsti i funkciji ozračenih stanica i broju oštećenih stanica. Zračenje može izazvati čitav spektar nasljednih promjena koje mogu biti veoma male, poput promjene u pojedinom genu, veće, poput onih nastalih lomovima kromosoma i spajanjem preostalih dijelova, do veoma opsežnih kada se mijenja i broj kromosoma. Biološki učinci zračenja ovise o vrsti, intenzitetu zračenja i osjetljivosti pojedinih stanica na zračenje. Nakon što stanica apsorbira zračenje, stanica može biti toliko oštećena da prestane normalno funkcionirati i odumre, ali može izgubiti sposobnost reprodukcije i dalje živjeti. DNA molekula može biti oštećena tako da su buduće kopije stanica promijenjene. Ako je promijenjena stanica tkiva i organa, daljnjim razmnožavanjem, takva stanica može uzrokovati tumor, te se može očitovati kao nasljedni učinak zračenja kod potomstva izložene osobe. Od 1000 oštećenja popravi se njih 999. Od 1000 oštećenih stanica koje se nisu uspjela popraviti, njih 999 umire, tako da u konačnici tek jedna od 100 000 oštećenih stanica s promijenjenim genetskim kodom preživi. Moguće je i da zračenje ne uzrokuje promjene u DNA molekuli, odnosno oštećenje stanice. O tome da li će stanica biti oštećena ili ne ovisi o brzini zračenja i dozi zračenja. Nisu sva tkiva jednako osjetljiva na zračenje. Bitan je i način ozračenja, tj. bitno je radi li se o ozračenju izvana ili o unutarnjem ozračenju, dakle onom koje nastaje kada je izvor zračenja progutan, udahnut ili je izvor zračenja implantiran u tijelo [5].

#### 3.1. Biološki učinci ionizirajućeg zračenja

Biološki učinci zračenja dijele se u dvije grupe, a to su:

- Deterministički (nestohastički)
- Stohastički

**Deterministički učinci** nastaju primjenom velikih doza zračenja, čija jačina ovisi o efektivnoj dozi, te se javljaju kao posljedica gubitka velikog broja stanica. Deterministički učinci vidljivi su brzo nakon ozračenja, a za to je potrebna je određena količina ("prag") zračenja. Gubitak stanica ne predstavlja velik problem za čovječji organizam u kojem svakodnevno umire preko milijun stanica. Međutim, smrću stanice onemogućuje se prijenos izmijenjene genetičke informacije na stanicu kćerku. Ako je postotak uništenih stanica u nekom organu ili tkivu velik, tada funkcija organa ili tkiva može biti oslabljena, a u pojedinim slučajevima gubitak stanica dovest će i do smrti organizma [5].

**Stohastičke učinke** može izazvati veoma mala doza zračenja, te su vidljivi tek nakon određenog vremena latencije. Pod stohastičke učinke spadaju mutacije, nasljedne promjene, te tumori. Zbog toga što su vidljivi tek nakon nekog određenog vremena, ne može ih se predvidjeti, kao što se to može za deterministički učinak. Stohastički učinci mogu nastati u somatskim, ali i u spolnim stanicama, pa se promjene mogu prenijeti na potomstvo. Većina ovako izmijenjenih stanica ne napreduje do karcinoma jer gotovo ni jedna ne ostaje sposobna za život nakon nekoliko dijeljenja [5].

### **3.2. Posljedice izlaganja čovjeka ionizirajućem zračenju**

Izloženost ionizirajućem zračenju može biti kronična i akutna.

**Kronična izloženost** predstavlja kontinuiranu izloženost niskim dozama zračenja kroz dugi vremenski period, a učinci se mogu vidjeti tek neko vrijeme nakon početka izloženosti. Ti učinci uključuju genetske promjene, razvoj malignih i benignih tumora, razvoj katarakte i oštećenja kože. Svi ljudi su kronično izloženi prirodnom pozadinskom zračenju.

**Akutna izloženost** je kratkotrajna izloženost velikoj količini zračenja. Akutna izloženost može biti rezultat slučajne ili hitne izloženosti kod medicinskih procedura (terapija zračenjem). U većini slučajeva akutna izloženost može uzrokovati trenutne i zakašnjele učinke. Trenutni učinci uključuju brzu pojavu radijacijskog trovanja, poremećaje probavnog trakta, bakterijske infekcije, krvarenje, anemiju, gubitak tjelesnih tekućina. Zakašnjeli biološki učinci uključuju kataraktu, sterilnost, karcinom i genetske promjene. Ekstremno velike doze akutne izloženosti mogu uzrokovati smrt u roku od nekoliko sati, dana ili tjedana [5].

### **3.2.1. Akutna radijacijska bolest**

Ovu bolest nazivamo još i radijacijska bolest, radijacijski sindrom, akutna bolest radijacije, akutni sindrom zračenja ili trovanje zračenjem. Akutna radijacijska bolest je bolest oštećenja tkiva ili organa prekomjernom dozom ionizirajućeg zračenja u vrlo kratkom vremenskom periodu. Uzrokovana je ozračenjem cijelog ili većeg dijela tijela. Radijacijska bolest obično se javlja kada je apsorbirana doza zračenja oko 1Gy. Klinička slika i simptomi ovise o apsorbiranoj dozi, površini izlaganja, načinu kontaminacije te osjetljivosti tkiva koja su pogođena zračenjem. Simptomi kod jednokratnih pojedinih efektivnih doza na cijelo tijelo su različiti. Ova bolest je u pravilu izazvana zračenjem vanjskih izvora, a iznimno kao posljedica ozračenja radionuklidima inkorporiranim u tijelu. Vrlo je rijetka bolest koja u profesionalnom radu nastaje nakon nuklearnih nesreća na radu (Černobil 1986. godine i Fukushima 2011. godine). Apsorbirana doza od 0.05 do 0.2 Gy, ne izaziva nikakve simptome, ali postoji mogućnost da će se otprilike nakon 40 dana pojaviti prolazna oligospermija (smanjenje broja spermatozoida u muškaraca) i postoji mogućnost nastanka tumora godinama kasnije. Pri apsorbiranoj dozi približno 0.4 Gy, nema uobičajenih znakova bolesti, ali ponekad može doći do promjena na koži kao posljedica lokalne radijacijske bolesti. Kod apsorpcijske doze od 0.5 Gy, ozračenjem cijelog tijela javljaju se znaci oštećenja koštane srži i to se očituje prolaznom limfopenijom. Prvi pravi znakovi i simptomi radijacijske bolesti javljaju se kada se cijelo tijelo izlaže apsorbiranoj dozi ionizirajućeg zračenja od najmanje 1Gy. Ozračenje cijelog tijela dozama višim od 6 Gy smatrane su u roku od dva dana do dva tjedna smrtonosnim. Međutim postoje slučajevi u kojima pojedinci preživljavaju ozračivanje većeg dijela tijela dozama višim od 8 Gy [5].

### **3.2.2. Liječenje radijacijske bolesti**

Liječenje radijacijske bolesti ovisi o tijeku bolesti i kliničkoj slici, odnosno o vrsti ionizirajućeg zračenja, brzini zračenja, te apsorbiranoj dozi. Nema specifičnog liječenja, već se terapija usmjerava na oporavak koštane srži i oporavak oštećenja crijevnog epitela. Izolacijom, antibioticima, antiviroticima i antifungicima se sprječavaju infekcije kod oboljelih. Transplantacija koštane srži daje potporu organizmu ako je koštana srž indicirana i provodi se u prvom tjednu nakon ozračenja. Također se oboljelima intravenski daje nadomjestak tekućine i elektrolita. Osoba koja je ozračena vanjskim izvorom ionizirajućeg zračenja ne predstavlja opasnost za bolničko osoblje koje ga liječi. Kontaminirane osobe prihvaćaju se i smještaju u pripremljenim prostorijama [5].

## **4. RADIOLOGIJA**

Radiobiologija predstavlja granu biofizike, koja se bavi proučavanjem kako različite vrste zračenja djeluju na žive sustave. Zahvaljujući postignućima radiobiologije, došlo je do organiziranja zaštite od zračenja i razvoja medicinske primjene zračenja. Biološki nadzor, osoba koje su profesionalno izložene različitim zračenjima, važan je dio zdravstvenog sustava odnosno nadzora. Biološki nadzor zasniva se na mjerenju različitih bioloških pokazatelja koji upućuju na najranije, još popravljive biološke učinke, koji prethode pojavi zloćudnih i drugih bolesti.

Danas u radiologiji postoji podjela s obzirom na metodu pregleda:

- rendgensko snimanje
- dijaskopija
- kontrastna dijagnostika
- kompjutorizirana tomografija
- ultrazvučna dijagnostika [5].

### **4.1. Čimbenici koji utječu na stupanj oštećenja organizma**

Zbog izloženosti ionizirajućem zračenju stupanj onečišćenja ovisi o nekoliko čimbenika:

- životnoj dobi i spolu osobe (žene su manje osjetljive na zračenje u odnosu na muškarce, te su mlađe osobe osjetljivije na zračenje od starijih)
- veličini dijela tijela koje je ozračeno
- linearnom prijenosu energije (LET)
- brzini i količini apsorbirane energije i njenoj prostornoj raspodjeli
- osjetljivosti pojedine vrste tkiva

Rizik od izloženosti ionizirajućem zračenju nije isti za sve dijelove ljudskog tijela, te varira od organa do organa [5].

### **4.2. Mehanizam oštećenja i popravka DNA molekule**

Ionizirajuće zračenje DNA molekulu može oštetiti izravnom interakcijom ili neizravno, putem slobodnih radikala. Izloženost stanica ionizirajućem zračenju dovodi do unosa energije u stanice, što dovodi do promjena bioloških i kemijskih strukturnih elemenata. Biološko djelovanje ionizirajućeg zračenja se definira kao sve promjene na živim stanicama koje nastaju djelovanjem zračenja.

Postoje dvije mogućnosti oštećenja DNA molekule:

- Pogodak vitalnih struktura – izravno djelovanje zračenja
- Neizravna oštećenja

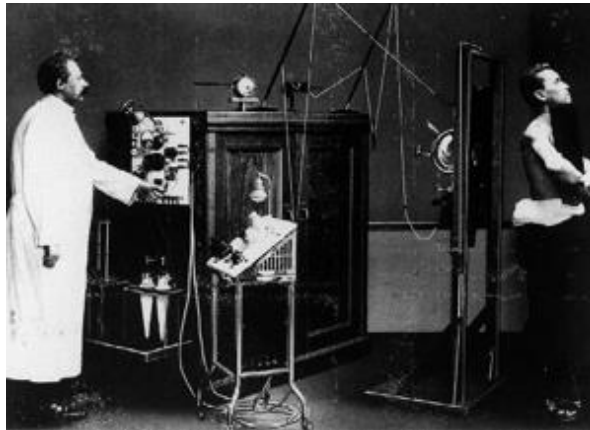
Najveći broj oštećenja događa se zbog neizravnog oštećenja. S obzirom da su stanične membrane jako važne za uredno funkcioniranje stanica i tkiva, oštećenja koja nastaju zračenjem manifestiraju se i pucanjem stanične membrane koja postaje propusna. Kao posljedica zračenja stanica DNA molekule, ovisno o stanicama koje se ozračuje, dozi zračenja i stadiju, može doći do trenutne smrti (smrt za vrijeme ozračivanja), interfazne smrti (stanice umiru nakon nekog vremena nakon ozračivanja) ili je moguće da stanica preživi ali uz mutaciju. Svakodnevna izloženost ionizirajućem zračenju uzrokuje oštećenja stotina nukleotida sadržanih u stanicama. Istraživanja su pokazala da su stanice same morale razviti mehanizme za popravak oštećene DNA molekule. Takve mehanizme možemo podijeliti u dvije skupine: izravni obrat kemijske reakcije odgovorne za oštećenje DNA, te uklanjanje oštećenih baza nakon čega slijedi njihova zamjena s DNA molekulom. Većina oštećenja DNA molekule popravljaju se uklanjanjem oštećene baze nakon čega slijedi ponovna sinteza uklonjenog područja. Takav mehanizam popravka je učinkovit samo za određene tipove oštećenja DNA, a općeniti je način popravka široke skupine kemijskih promjena na molekulama DNA [5].

## 5. RADIOLOŠKA OPREMA U MEDICINI

### 5.1. Povijest i otkriće rendgenskog zračenja

Njemački fizičar Wilhelm Conrad Röntgen, 1895. godine, otkrio je do tada nepoznate zrake. Njegovo otkriće bilo je revolucionarno jer su to bile elektromagnetske zrake, u to vrijeme nezamislive energije. Nazvao ih je X-zrakama, a kasnije su po njemu prozване rendgenskim zrakama. Röntgen je pri izvođenju pokusa s katodnim zrakama u Crooksovoj cijevi, u zamračenoj sobi, prvi put opazio svjetlucaње fluorescentog zastora. Otkrio je da je zastor svjetlucaо iako je bio udaljen par metara od cijevi, pokriven crnim kartonom, te da X-zrake prolaze kroz neke tvari, te izazivaju zacrnjenje fotografske ploče. Iako su takve zrake bile uočene već prije u nekim pokusima, Röntgen ih je prvi istražio, primijenio i shvatio njihovu prirodu. X-zrake se nastaju u posebnim cijevima koje se zovu rendgenske cijevi. Njegov rad pobudio je veliko zanimanje znanstvenika širom svijeta. W.C. Röntgen dobio je niz priznanja, a 1901. godine dodijeljena mu je Nobelova nagrada za fiziku. Vrlo brzo po otkriću X-zraka pokazala se njihova velika korist. Gotovo je odmah prepoznata mogućnost uporaba rendgenskog zračenja u medicini za dijagnostiku, a poslije i za terapiju. Osim u medicini, rendgensko zračenje ubrzo nalazi izuzetnu primjenu i u tehnici (radiografija bez razaranja), kemijskoj, keramičkoj i farmaceutskoj industriji (odnos strukture i svojstva tvari), znanosti, fizici, kemiji, mineralogiji, biologiji, umjetnosti, arheologiji, kriminalistici i dr. [12]. U počecima primjene rendgenskog zračenja vrlo malo pažnje se je pridavalo mogućim štetnim učincima djelovanja rendgenskog zračenja. No, već za nekoliko godina uočene su štetne posljedice rendgenskih zraka, te je od tada osnovni problem kako naći pravu granicu između koristi i štete. Taj se problem rješava i danas, poslije više od jednog stoljeća. Dijagnostički uređaji sve su bolji i time dijagnostika uspješnija, a uz to štetne posljedice sve manje, i na pacijentima, i na profesionalcima [5].

Na slici 11, prikazana je radiološka dijagnostika početkom 20-tog stoljeća.



Slika 11: Radiološka dijagnostika početkom 20-tog stoljeća

Izvor: <https://www.imaginis.com/faq/history-of-medical-diagnosis-and-diagnostic-imaging>

## 5.2. Podjela radiološke opreme

Radiološku opremu dijelimo na:

- dijagnostičke uređaje
- terapijske uređaje

Dijagnostičke rendgenske uređaje dijelimo na:

- klasične (konvencionalne) rendgenske uređaje
- suvremene (računalno upravljive, digitalne) rendgenske uređaje

Pod terapijske uređaje spadaju:

- ubrzivači čestica (linearni akcelerator i betatron)
- uređaji s koncentriranim radioaktivnim tvarima („kobaltna bomba“, radioaktivni umetci)
- radiofarmaceutski pripravci.

## 5.3. Dijagnostički rendgenski uređaji u medicini

Dijagnostičke rendgenske uređaje možemo podijeliti s obzirom na namjenu i s obzirom na snagu generatora i broj ispravljača rendgenske struje. S obzirom na namjenu, dijagnostički rendgenski uređaji, mogu se podijeliti na:

- rendgenske uređaje za snimanje ili radiografiju,
- uređaje za prosvjetljavanje ili dijaskopiju i snimanje,
- na višenamjenske uređaje, i na
- specijalne rendgenske uređaje.

Podjela dijagnostičkih rendgenskih uređaja s obzirom na namjenu, uvjetovana je namjenom uređaja i neminovnim razlikama u tehničkim detaljima pri konstrukciji i izvedbi uređaja. S obzirom na snagu generatora i broj ispravljačica rendgenske struje, rendgenski uređaji mogu biti:

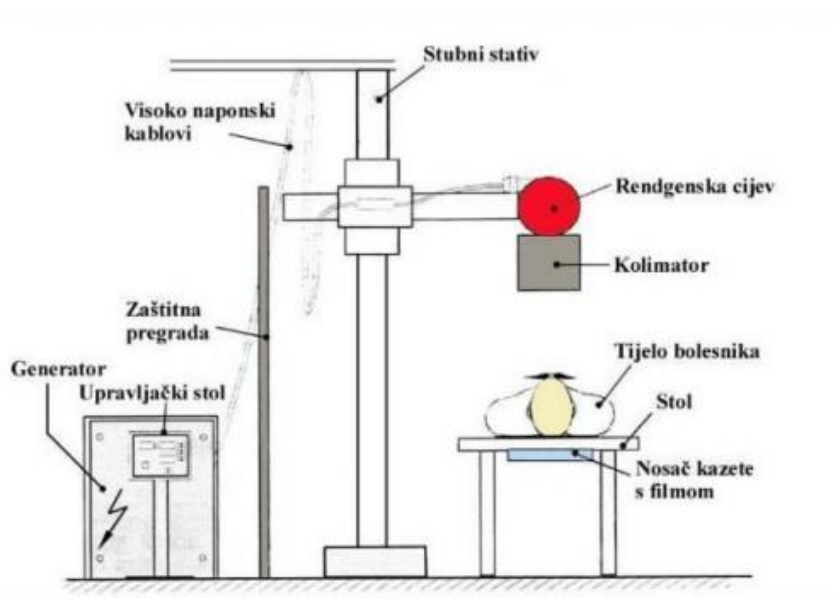
- poluvalni (jednopsni, 0-2 ispravljačice)
- cjelovalni (dvopsni, 4 ispravljačice)
- trofazni (tropulsni, 6 ili 12 ispravljačica)
- visokofrekventni uređaji

### 5.3.1. Osnovni dijelovi rendgen uređaja

Glavni dijelovi svakog rendgenskog uređaja su:

- rendgenska cijev
- generator s visokonaponskim kablovima
- stativ i stol za pregled bolesnika
- upravljačka konzola

Slika 12, prikazuje shematski prikaz rendgenskog uređaja za snimanje.



Slika 12: Shematski prikaz rendgenskog uređaja za snimanje

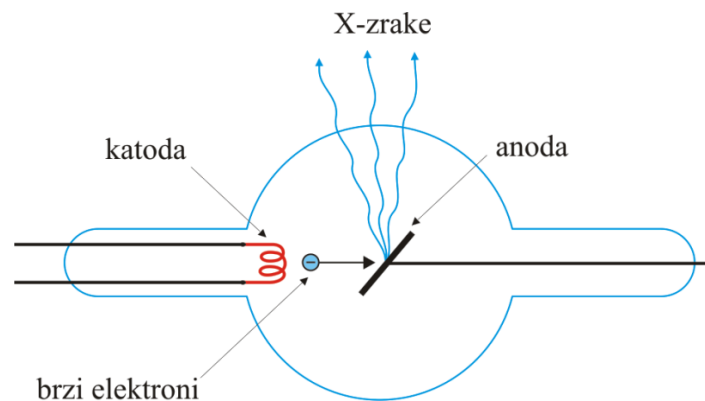
Izvor: <https://image3.slideserve.com/5743847/slide14-n.jpg>



## Rendgenska cijev

Rendgensko zračenje nastaje u rendgenskoj cijevi. Rendgenska cijev je staklena vakuumska cijev, zaštićena metalnim omotačem, te se sastoji od dvije elektrode: pozitivne (anode) i negativne (katode). Elektroni nastaju emisijom iz zagrijane žarne niti katode. Broj stvorenih elektrona ovisi o temperaturi katode i vrsti materijala od kojeg je katoda. Danas su katode najčešće izrađene od volframa. Elektroni potom ulaze u jako električno polje između katode i anode i pod utjecajem električnog polja se ubrzavaju. Rendgenska cijev mora biti zrakoprazna (s visokim vakuumom) kako se elektroni ne bi sudarali s molekulama zraka i raspršivali prije udara na anodu. Ubrzavanjem elektroni dobivaju kinetičku energiju i „sudaraju“ se s atomima anode te stvaraju rendgensko zračenje [5].

Slika 13, prikazuje unutarnji izgled rendgenske cijevi.

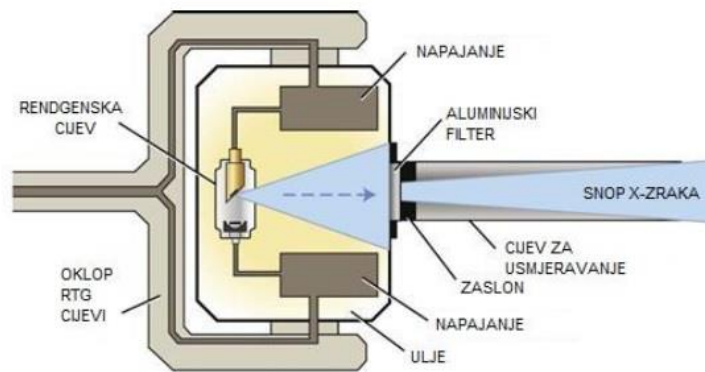


Slika 13: Unutarnji izgled rendgenske cijevi

Izvor: <https://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=rendgenska+cijev>

Rendgenska cijev je smještena u metalni zaštitni oklop, cilindričnog oblika s tri otvora, da bi se uklonile eventualne opasnosti, te da joj se osigura potrebno hlađenje. Dva otvora služe za provođenje visokonaponskih kablova, a treći otvor je prozor kroz koji prolazi snop rendgenskih zraka. Taj prozor je zaštićen slojem aluminijske debljine oko 2 mm, a ispod njega je postavljen sustav za ograničavanje snopa rendgenskih zraka. To ograničavanje se regulira sužavanjem i širenjem posebnih olovničkih zastora koji su smješteni na poseban dio prozora izvan oklopa. Oklop je s unutarnje strane obložen slojem olova debljine 3 mm i taj sloj sprječava izlazak X-zraka u neželjenim pravcima. Oklop je ispunjen visokoizolacijskim uljem (parafinsko ulje). Da bi se spriječilo pregrijavanje ulja u oklopu, u sklopu oklopa se nalazi sustav hlađenja koji ima ugrađeni prekidač koji isključuje rad cijevi ako je temperatura ulja iznad dozvoljene [11].

Na slici 14, prikazana je rendgenska cijev.



Slika 14: Rendgenska cijev

Izvor: <https://pocketdentistry.com/1-physics/>

Rendgenske zrake mogu se također proizvesti u uređajima za ubrzavanje osnovnih čestica, kao što su Van de Graaff uređaj, betatron, linearni akcelerator, sinkrotron, a isijavaju ih zvijezde, pulsari i drugi prirodni izvori.

### Generator rendgenskog uređaja

Generator rendgenskog uređaja (slika 15), pogonski je dio rendgenskog uređaja, zadužen za stvaranje električne struje potrebne za rad uređaja. Glavni dijelovi generatora su: niskonaponski transformator, visokonaponski transformator, ispravljači struje, te uređaji za automatsku regulaciju ekspozicije. Za rad rendgenske cijevi potrebna je istosmjerna struja visokog napona, te se u rendgenske uređaje iza transformatora ugrađuju ventilne cijevi ili *ispravljačice* izmjenične struje u istosmjernu. Zbog velike razlike električnog potencijala između visokonaponskog i niskonaponskog transformatora, transformatori i ispravljačice uronjeni su u ulje koje služi kao izolator i kao sredstvo za hlađenje [13].



Slika 15: Generator rendgenskog uređaja

Izvor: Frković Marija, Višković Klaudija; Zagreb, Zdravstveno veleučilište, 2013., Radiološka oprema

## Visokonaponski kablovi

Visokonaponski kablovi (slika 16) provode električnu struju od generatora do rendgenske cijevi. Napravljeni su od bakrenih žica, te su građeni od nekoliko izolacijskih slojeva. Oko provodnih žica debeli je sloj poluprovodne i neprovodne gume, preko koje je navučena dodatno uzemljena bakrena zaštitna mrežica, te tanki sloj plastike ili platna [13].



Slika 16: Visokonaponski kablovi

Izvor: Frković Marija, Višković Klaudija; Zagreb, Zdravstveno veleučilište, 2013., Radiološka oprema

## Stativ

Stativ je dio rendgenskog uređaja koji nosi rendgensku cijev, odnosno povezuje sve dijelove uređaja, a svojom izvedbom prilagođeni su namjeni rendgenskog uređaja.

Stativi mogu biti: stubni (podni) i stropni, fiksni i pomični, na specijalnim rendgenskim uređajima izvedeni u obliku C – luka s podržnim elementima (angiografski, dijaskopski, traumatološki, mamografski, dentalni itd.) [13].

Na slici 17, prikazane su različite vrste stativa.



Slika 17: Različite vrste stativa

Izvor: skripta Radiološka aparatura prof.dr.Josip Mašković i prof.dr.Stipan Janković, Mostar 2003.g.)

## **Stol za pregled pacijenta**

Stol za pregled bolesnika (slika 18), dio je stativa rendgenskog uređaja na kojem leži ili se na njega naslanja pacijent za vrijeme rendgenskog pregleda, te može biti pomičan ili fiksiran. Ploha stola građena je od radiotransparentnih materijala (tankih lamela drva, posebnih plastičnih materijala, karbonskih vlakana). Stol za pregled sastoji se od transporter kazete s filmom i rešetkom. Transporter kazete s filmom posjeduje vlastiti elektromotor izvan površine stola da bi se mogao kretati. Rešetke su tanke plosnate kutije u kojima su olovne lamele razdvojene radiotransparentnim materijalima. Postavljene su na plohi stola, između snimanog dijela tijela pacijenta i kazete s rtg filmom [13].



Slika 18: Stol za pregled pacijenta

Izvor: <https://cxmed.com/tables.html>

## **Upravljačka konzola**

Upravljačka konzola (operatorska konzola, upravljački stol, radna stanica) (slika 19) dio je rendgenskog uređaja, koji služi za upravljanje radom uređaja, najčešće smješten u posebnoj prostoriji između gradske mreže i generatora ili priključena na generator rendgenskog uređaja. Upravljačka jedinica konstruirana je u obliku metalne kutije različitih dimenzija. Na višenamjenskim rendgenskim uređajima operatorska konzola manjih dimenzija nalazi se uz držač ekrana, na dohvat ruci radiologa za vrijeme dijaskopskog pregleda i ciljanog snimanja, u slučajevima kada vrsta pregleda ili stanje bolesnika zahtijeva boravak radiologa neposredno uz rendgenski uređaj [13].



Slika 19: Upravljačka jedinica

Izvor: [https://www.123rf.com/photo\\_3087068\\_x-ray-unit-control-panel-in-the-hospital.html](https://www.123rf.com/photo_3087068_x-ray-unit-control-panel-in-the-hospital.html)

## 5.4. Vrste rendgen uređaja

Dijagnostičke rendgenske uređaje prema namjeni možemo podijeliti na

- rendgenske uređaje za snimanje ili radiografiju (radiografske)
- uređaje za prosvjetljavanje ili dijaskopiju i snimanje
- višenamjenske uređaje
- specijalne rendgenske uređaje

### 5.4.1. Rendgenski uređaji za snimanje ili radiografiju

Radiografski uređaji (slika 20) služe za snimanje samo jedne radiološke snimke. Slika je velike oštine, te omogućuje prikaz najsitnijih patoloških i/ili anatomskih detalja, dobru kontrastnost slike, mogućnost promatranja pod pojačanom rasvjetom i lumenom. Zbog navedenih karakteristika, radiografija je jedna od najraširenijih radioloških dijagnostičkih metoda u svijetu [5].



Slika 20: Radiografski uređaji

Izvor: <https://www.shimadzu-medical.hr/radspeed-fit>

#### 5.4.2. Uređaji za prosvjetljavanje ili dijaskopiju i snimanje

Snimanje pacijenata tijekom vremena daje mogućnost praćenja fizioloških pokreta organa. Ovim uređajima se pacijenti samo prosvjetljuju. Uporaba ove vrste uređaja dopuštena je samo uz uporabu elektronskog pojačala i televizijskog lanca. Upravljačka jedinica se nalazi izvan prostorije u kojoj se nalazi uređaj. Nije potrebna velika kvaliteta slike, pa je ozračenje manje [5].

Na slici 21, prikazan je uređaj za prosvjetljavanje ili dijaskopiju i snimanje.



Slika 11: Uređaji za prosvjetljavanje ili dijaskopiju i snimanje

Izvori: [http://www.mefos.unios.hr/~hbrkic/SES\\_OS/MED\\_RDG.pdf](http://www.mefos.unios.hr/~hbrkic/SES_OS/MED_RDG.pdf)

### 5.4.3. Višenamjenski uređaji za rendgen

To je vrsta rendgenskih uređaja na kojima se podjednako kvalitetno mogu obavljati rendgenska snimanja (radiografije) i dijaskopija. Uporaba ovih uređaja vezana je uz dijagnostiku probavnog sustava, intervencijskoj radiologiji i kardiologiji, te angiološkoj dijagnostici [5].

Na slici 22, prikazan je višenamjenski uređaj za rendgen.



Slika 22: Višenamjenski uređaji za rendgen

Izvor: [http://www.mefos.unios.hr/~hbrkic/SES\\_OS/MED\\_RDG.pdf](http://www.mefos.unios.hr/~hbrkic/SES_OS/MED_RDG.pdf)

### 5.4.4. Specijalni rendgenski uređaji

U ovu skupinu uređaja spadaju:

- tomografski rendgenski uređaji
- rendgenski uređaji za mamograf
- detaljni rendgenski uređaji
- pokretni uređaji

### 5.4.5. Tomografski rendgenski uređaji

Tomografski rendgenski uređaj, rendgenski je uređaj sa specijalnom konstrukcijom stativa, koja mu omogućava istovremeno gibanje rendgenske cijevi i filma u suprotnom smjeru. Gibanje rendgenske cijevi može biti po različitim putanjama pa otuda i naziv različitih vrsta tomografije (linearna, eliptična, hipocikloidalna, kružna itd.). Što je veći tomografski kut, kut gibanja rendgenske cijevi i filma, to je moguće dobivanje tanjih slojeva i analiza jasnije prikazanih detalja u sloju dok se strukture izvan odabranog sloja brišu [13].

#### 5.4.6. Rendgenski uređaji za mamografiju

Rendgenski uređaj za mamografiju (slika 23) specijalni je uređaj za snimanje dojki.

Razlikujemo:

- klasični mamografski uređaj sa sustavom film-folije
- uređaj za mamografiju s digitalnom ciljanom mamografijom (*digital spot mamography*)
- uređaji za računalnu (kompjutersku) mamografiju - sustav digitalizacije s fosfornih ploča (*full field digital mamography*)
- uređaje za mamografiju s ravnim detektorima - digitalna mamografija (*digital mammography*)



Slika 23: Rendgenski uređaji za mamografiju

Izvor: <https://www.totalno.hr/digitalni-mamografiju-rijeckom/>

#### 5.4.7. Dentalni rendgenski uređaji

Dentalni rendgenski uređaji dijele se u dvije osnovne skupine:

- rendgenske uređaje za pojedinačne dentalne snimke
- rendgenske uređaje za panoramske dentalne snimke.

Razlikujemo klasični i digitalni rendgenski uređaj. Klasični dentalni rendgenski uređaji omogućavaju prikaz ograničenog dijela orofacijalnog područja, 2 - 3 zuba. Dobiveni rendgenske slike visoke su rezolucije, a pritom dobivene doze zračenja za bolesnika su male.



Rendgenski uređaji za panoramske dentalne snimke koriste se za snimanje gornje i donje čeljusti te temporomandibularnih zglobova. Kod ovih uređaja sinkrono se gibaju cijev i film oko pacijenta koji miruje [13].

Na slici 24, prikazan je klasični radiografski dentalni uređaj.



Slika 24: Klasični radiografski dentalni uređaj

Izvor: <http://www.dentoart.com/usluge/rendgenska-dijagnostika/>

U uporabi su i intraoralni digitalni senzori (slika 25), uz koje je doza zračenja bolesnika smanjena za 60% u odnosu na filmove kao receptore slike. Razlikujemo dvije vrste senzora, a to su: CCD (*Charge-Coupled Device*) senzor i CMOS-APS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor-Active Pixel Sensor*).



Slika 25: Intraoralni digitalni senzor

Izvor: <http://www.plastdent.com/proizvodi/stomatologija/rtg-aparati/intraoralni-digitalni-senzori-prosensor-planmeca/>

CT uređaji za radiologiju čeljusti i zubi (slika 26) su CT uređaji koji imaju posebni softver za dobivanje snimaka iz područja stomatologije. CT sa softverom za evaluaciju čeljusti (*Dental CT*) može u potpunosti zamijeniti panoramsku dentalnu snimku, a s mogućnošću 3D rekonstrukcije zadovoljava potrebe maksilofacijalne i estetske kirurgije [13].



Slika 26: Dentalni CT uređaj

Izvor: Frković Marija, Višković Klaudija; Zagreb, Zdravstveno veleučilište, 2013., Radiološka oprema

#### **5.4.8. Pokretni rendgenski uređaji**

Pokretni rendgenski (slika 27) uređaji koriste se za prosvjetljavanje i dobivanje rendgenskih snimaka pacijenata u prostorijama intenzivne njege, hitnog prijema i traumatologije. Njihova je prednost pokretljivost i korištenje napona iz standardnih utičnica, a ograničenja su manja snaga rendgenskih cijevi i snimanje bez tzv. Bucky rešetke.

Ti se uređaji razlikuju po:

- veličini elektronskih pojačala
- snazi uređaja
- izvedbom stativa ovisno o primjeni u pojedinim specijalnostima medicine (ravni „stubni“ stativ ili C-luk izvedba stativa).

Pokretni rendgenski uređaji dijele se na:

- konvencionalne (koriste rtg. film)
- digitalne (koriste fosforne ploče) uređaje za snimanje
- uređaje za prosvjetljavanje i snimanje.



Slika 27: Pokretni digitalni rendgenski uređaji različitih izvedbi stativa

Izvor: Frković Marija, Višković Klaudija; Zagreb, Zdravstveno veleučilište, 2013., Radiološka oprema

Pokretni mobilni mamografi i CT uređaji (slika 28) dizajnirani su kao prilagođena specijalna vozila (kombi ili kamion), te se sastoje od uređaja specifične namjene i izvedbe, s tehnološkog aspekta istovjetnih fiksnim uređajima. Unutrašnjost prijevoznog sredstva ima prostorna ograničenja, pa je nešto veći broj pacijenata koji se žale na klaustrofobiju [14].



Slika 28: Pokretni uređaji

Izvor: Frković Marija, Višković Klaudija; Zagreb, Zdravstveno veleučilište, 2013., Radiološka oprema

## 5.5. Detekcija i vizualizacija rendgenskog zračenja – nastanak rendgen snimaka

Kao što je već u prethodnim poglavljima objašnjeno, pri prolasku rendgenskog zračenja kroz tvar, apsorpcija zračenja ovisi o gustoći i sastavu te tvari te o energiji zračenja. Rendgensko zračenje iz objekta (tvar, pacijent) nosi plošnu sliku, nekog intenziteta koji ozračava put kojim je prošao i ako zračenje ozrači film ili detektor bilo koje vrste, na njima nastaje slika koja pokazuje raspored intenziteta. Raspodjela intenziteta rendgenskog snopa na izlazu iz pacijenta ovisi o razlikama tkiva kroz koja je snop prošao i upravo ta informacija se vizualizira detektorima zračenja. Detektor zračenja je bilo koji materijal koji mijenja svoja svojstva kada je izložen ionizirajućem zračenju.

Detektore dijelimo na:

- Aktivne detektore – direktno očitavanje promjene
- Pasivne detektore – obrada detektora prije očitavanja

U uporabi su još najviše kemijski detektori s filmom. Najveći problem kod filma je kontinuirano održavanje kvalitete snimke prilikom procesa razvijanja snimke. Stoga su sve češće u uporabi poluvodički detektori, čija je osnovna prednost pred filmom, laka pretvorba u digitalni zapis čime je omogućena vizualizacija pomoću računala. Vizualizacija putem računala je mnogo lakša, povećana je brzina rada i olakšano je čuvanje zapisa. Međutim, digitalni detektori su ograničene rezolucije, ali to nadomještaju povećanjem kontrasta i manipuliranjem snimke na računalu [5].

Slika 29, prikazuje uređaj za razvijanje radioloških snimki iz rtg filmova.



Slika 29: Uređaj za razvijanje radioloških snimki iz rtg filmova

Izvor: <http://www.capix.com/ndt-industrial-x-ray-processors.html>

## 6. ZAŠTITA NA RADNOM MJESTU U ZONI IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Zakonodavna zaštita je veoma važna jer vrlo strogim zakonskim propisima i podzakonskim aktima uređuje cjelokupnu problematiku zaštite od ionizirajućeg zračenja.

Zaštita od zračenja propisana je:

- Zakonom o zaštiti od ionizirajućeg zračenja
- Pravilnicima za provođenje zaštite od zračenja

Zaštita od zračenja odnosi se na sve ljude koji mogu biti izloženi zračenju ili posljedicama izlaganja zračenju. Cilj zaštite od zračenja je spriječiti nastanak determinističkih učinaka, te ograničiti pojavu stohastičkih učinaka na najmanju moguću mjeru. Potrebno je osigurati da pri obavljanju djelatnosti kod kojih dolazi do zračenja, korist od tog izlaganja uvijek bude veća od štete.

### 6.1. Osnovni specifični aspekti zaštite

Tri su osnovna načina zaštite od rendgenskog zračenja, a to su:

- Dovoljna udaljenost od izvora zračenja
- Što kraće vrijeme izlaganja zračenju
- Korištenje štita

Da bi ozračenje bilo što manje, udaljenost mora biti što veća, a vrijeme što kraće. Korištenjem ovih načina zaštite postiže se najveći efekt zaštite. Intenzitet zračenja  $I$ , opada s kvadratom udaljenosti. Poveća li se udaljenost od izvora zračenja dva puta, intenzitet će se smanjiti četiri puta. Ozračenje je proporcionalno vremenu izlaganja, odnosno što je neki pojedinac duže izložen ionizirajućem zračenju, toliko puta će biti veće njegovo ozračenje, i obrnuto. Tijekom radiografije vrijeme izlaganja je vrlo kratko, manje od sekunde. Zračenje prolazeći kroz materiju slabi, pa se stavljanjem štita između izvora zračenja i osobe koja je izložena zračenju može bitno smanjiti doza. Važan je i materijal od kojeg je štit napravljen, njegova debljina, te vrsta zračenja. Materijal koji se najčešće koristi za izradu štita je olovo [5].

Slika 30, prikazuje osnovne načine zaštite od rendgenskog zračenja.



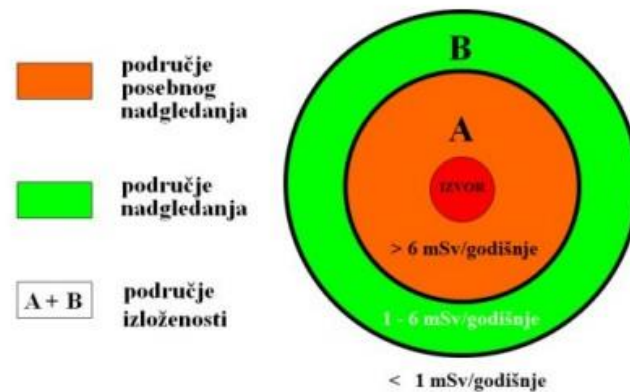
Slika 30: Načini zaštite od zračenja

Izvor: <http://docplayer.rs/189112372-U%C4%8Dinci-ioniziraju%C4%87eg-zra%C4%8Denja-na-ljudsko-tijelo.html>

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

Sve prostorije zdravstvenih ustanova moraju udovoljavati svim zahtjevima iz Pravilnika koji određuje minimalne uvjete u pogledu prostora, radnika i medicinsko-tehničke opreme za obavljanje zdravstvene djelatnosti. Moraju zadovoljavati sve sanitarno-tehničke i higijenske uvjete (mehaničku otpornost i stabilnost, zaštitu od požara, higijenu, zdravlje i zaštitu okoliša, sigurnost u korištenju, zaštitu od buke, osvjetljenje, visina stropa, širina vrata, instalacijski sustavi moraju biti prema normi HRN EN 793,) i uvjete u pogledu prostora, radnika i medicinsko-tehničke opreme za pojedine djelatnosti. Odjel radiologije u kojemu se obavljaju dijagnostičke pretrage potrebno je izolirati od okoline, a za to se najčešće koriste olovne ploče ili neki drugi elementi koji zadržavaju prodor rendgenskih zraka u istoj mjeri kao i olovo [14]. Lokacija rendgen odjela također je bitna. Poželjno je da se oni nalaze na samom ulazu u bolnicu radi prijema hitnih slučajeva. Od početka primjene rendgenskih uređaja ti odjeli su se najčešće nalazili u podrumima ili prizemljima bolnica, a i danas je u većini bolnica takav princip jer je na tim područjima moguće pružiti najbolju zaštitu. Prostorije u kojima se koriste rendgenski uređaji moraju biti projektirane prema osnovnom načelu zaštite od ionizirajućeg zračenja. Područje izloženosti definira se kao područje na kojem postoji mogućnost da pojedinac ili grupa ljudi bude izložena zračenju iznad granice ozračenja propisane za pojedinog stanovnika. To područje izloženosti dijeli se na područje nadgledanja i područje posebnog nadgledanja [5].

Slika 31, prikazuje zone područja izloženosti.



Slika 31: Zone područja izloženosti

Izvor: [http://www.mefos.unios.hr/~hbrkic/SES\\_OS/MED\\_RDG.pdf](http://www.mefos.unios.hr/~hbrkic/SES_OS/MED_RDG.pdf)

U 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, te se ispravnost uređaja mora redovito provjeravati i kontrolirati. Na svim ulazima u takve prostorije mora biti označeno oznakom opasnosti o ionizirajućeg zračenja te oznakom o vrsti izvora ionizirajućeg zračenja s naznakom da li se radi o području nadgledanja ili području posebnog nadgledanja. Upozoravajuće svjetlo mora biti postavljeno na ulaznim vratima u prostoriju u kojoj se nalazi rendgenski uređaj. Po mogućnosti može se omogućiti otvaranje vrata samo iznutra kada je uređaj u upotrebi te ugradnja prekidača koji isključuje rendgensko zračenje u slučaju otvaranja vrata za vrijeme rada uređaja.

Takvim sustavima se mogu uvjetovati izlaganja pacijenta zračenju, a i ozračenje osoblja, te zbog toga područje posebnog nadgledanja mora biti:

- opremljeno uređajem koji obavještava svjetlosnim ili zvučnim signalom osobu koja ulazi ili ovlaštenog radnika o ulasku u to područje
- zaključano osim u razdoblju u kojem je ulaz u područje potreban s primjerenim nadzorom tijekom ulaska [5].

Na slici 32, prikazana je radiološka prostorija.



Slika 32: Prikaz radiološke prostorije

Izvor: <https://www.nelcoworldwide.com/medical-shielding-solutions/diagnostic/x-ray/>

### **6.3. Zdravstveni nadzor izloženih radnika**

Zdravstveni nadzor izloženih radnika provode zdravstvene ustanove, koje obavljaju djelatnost medicine rada i koje posjeduju ovlaštenje za obavljanje provjere zdravstvene sposobnosti. Zdravstveni nadzor provode i psiholozi koji imaju ovlaštenje za obavljanje psihološke djelatnosti. Takve osobe moraju imati posebno stručno obrazovanje o primjeni mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja. Zdravstvena sposobnost izloženih radnika određuje se prethodnim i redovitim zdravstvenim pregledom, nadzornim zdravstvenim pregledom, te izvanrednim zdravstvenim pregledom. U izložene radnike spadaju svi radnici koji imaju doticaj s izvorima ionizirajućeg zračenja. Poslovi s izvorima ionizirajućih zračenja su poslovi s posebnim uvjetima rada, i smiju ih obavljati samo osobe koje zadovoljavaju uvjete za to. Izložene osobe imaju pravo na vlastiti zahtjev obaviti redoviti zdravstveni pregled, ali preporučeno je ne češće od svake tri godine. Specijalist medicine rada donosi ocjenu o zdravstvenoj sposobnosti te potpisuje svjedodžbu o zdravstvenoj sposobnosti. Tu dokumentaciju medicina rada je obavezna čuvati sve dok pregledana osoba ne bude u starosnoj dobi višoj od 75 godina, a najmanje 30 godina od prestanka rada u području izloženosti [5]. Svi radnici koji se nalaze u području izloženosti moraju biti pod dozimetrijskim nadzorom. Radiološki nadzor provodi se zbog sprječavanja kontaminacije radne i životne okoline izloženih radnika.



#### 6.4. Zaštitna oprema i sredstva

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 sami rendgenski uređaj koriste se i dodatna zaštitna sredstva i oprema.

Osobna zaštitna sredstva za zaštitu profesionalnog osoblja i bolesnika su:

- zaštitne pregače koje se koriste za zaštitu unutrašnjih organa
- štitnik za vrat koji štiti štitnu žlijezdu
- zaštitne rukavice
- zaštitne naočale za zaštitu očne leće
- zaštitne pregače za bolesnike
- štitnici za ovarije i sjemenike bolesnika.

Slika 33, prikazuje osobna zaštitna sredstva u radiologiji.



Slika 33: Osobna zaštitna sredstva u radiologiji

Izvor: <https://vokodak.en.made-in-china.com/product/PBiEZQJGuoUa/China-Dental-X-ray-Half-Sleeve-Protective-Clothing.html>

Svi radnici koji se nalaze u prostoriji u kojoj se nalazi rendgenski uređaj te provodi dijagnostički postupak, kao i osobe koje im pritom pomažu, moraju obavezno koristiti zaštitna sredstva. Međutim, osobna zaštitna sredstva slabo su učinkovita ako se nalaze direktno na snopu zračenja. Ako je nemoguće izbjeći da dio tijela bude izložen snopu, tada je poželjno prilagoditi način rada.

#### Svojstva zaštitnih sredstva:

- zaštitna pregača mora pokrivati osobu od ključnih kostiju do polovice potkoljenice obuhvaćajući bedra
- zaštitne rukavice moraju za svaki prst imati zasebni prostor i dosezati do laktova
- zaštitni učinak zaštitnih rukavica i zaštitne pregače, ovratnik i naočale moraju imati vrijednost jednak zaštitnom učinku olovu debljine 0,25 mm
- zaštitni učinak zaštitne pregače pri naponima rendgenske cijevi iznad 100 kV ne smije biti manji od zaštitnog učinka olova debljine 0,35 mm
- zaštitne rukavice i zaštitne pregače ne smiju se savijati, ne smiju biti oštećene, te se njihova cjelovitost i ispravnost moraju redovito kontrolirati
- zaštitne naočale moraju imati olovno staklo debljine od 0.5-1.0 mm [5].

## ZAKLJUČAK

Upotreba umjetnih izvora ionizirajućeg zračenja sve je raširenija, te se značajno povećava iz godine u godinu, zbog kontinuiranog razvoja novih tehnologija. Upotreba ionizirajućeg zračenja u medicinskoj dijagnostici našla je široku primjenu. Razvoj tehnologije omogućio je konstrukciju dijagnostičkih medicinskih uređaja, odnosno rendgenskih uređaja, čija je svrha pravovremeno dijagnosticiranje bolesti. Korištenje rendgenskih uređaja za prikaz i pomoć u dijagnosticiranju bolesti i ozljeda se proširilo tijekom protekla dva desetljeća. Mnogi načini snimanja primjenjuju ionizirajuće zračenje te kao posljedica toga izloženost pacijenata zračenju se povećala kako se medicinsko snimanje proširilo. Bez obzira koliko upotreba takvog zračenja ima veliku korist ono je i dalje veoma opasno po okoliš, zdravlje i život ljudi i životinja. Nepravilnim korištenjem dijagnostičkih uređaja, nepravilnim radom, zaštitom te nesavjesnošću liječnika odnosno radiologa pri ordiniranju terapije može doći do kobnih posljedica za ljudsko zdravlje. Zbog toga je vrlo važno poznavati i primjenjivati načela i principe sigurnog korištenja izvora ionizirajućeg zračenja. Važno je educirati medicinsko osoblje i medicinske sestre/tehničare koji rade u zoni ionizirajućeg zračenja ili su u bilo kakvom kontaktu s tim odjelima i to tijekom školovanja, ali i tijekom radnog vijeka. Korištenjem odgovarajućih zaštitnih mjera prilikom izlaganja ionizirajućem zračenju te pravilnim rukovanjem radiološkom opremom štitimo sebe kao i sve u našoj okolini.

## LITERATURA

- [1] Cherry, S., Phelps, M., Sorenson, J.(2012). Physics in Nuclear Medicine. Philadelphia: Elsevier Saunders.
- [2] Hebrang Andrija, Lovrenčić Marijan: „Radiologija“, Medicinska naklada, Zagreb, (2001.), ISBN 953-176-123-X
- [3] <https://sh.wikipedia.org/wiki/Zra%C4%8Denje>, pristupljeno kolovoz 2020.
- [4] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=27752>, pristupljeno kolovoz 2020.
- [5] [http://www.mefos.unios.hr/~hbrkic/SES\\_OS/MED\\_RDG.pdf](http://www.mefos.unios.hr/~hbrkic/SES_OS/MED_RDG.pdf), pristupljeno kolovoz 2020.
- [6] Dželalija, M.: „Ionizirajuće zračenje i biosferi“(interna skripta), Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet, Split, (2011.)
- [7] <https://radioaktivniotpad.org/radioaktivnost/>, pristupljeno kolovoz 2020.
- [8] [https://www.fzsri.uniri.hr/files/FAKULTET/KATEDRE/Katedra\\_temeljne/Microsoft%20Word%20-%20Radioaktivnost\\_Primjena%20u%20medicini\\_povjerenstvo\\_Z.pdf](https://www.fzsri.uniri.hr/files/FAKULTET/KATEDRE/Katedra_temeljne/Microsoft%20Word%20-%20Radioaktivnost_Primjena%20u%20medicini_povjerenstvo_Z.pdf), pristupljeno kolovoz 2020.
- [9] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Rendgenske\\_zrake](https://hr.wikipedia.org/wiki/Rendgenske_zrake), pristupljeno kolovoz 2020.
- [10] <http://www.mathos.unios.hr/~mdjumic/uploads/diplomski/VUJ33.pdf>, pristupljeno kolovoz 2020.
- [11] <http://www.hfd.hr/ljskola/arhiva/1996/popovic/STANKO.pdf>, pristupljeno kolovoz 2020.
- [12] <http://www.zzjzpgz.hr/nzl/31/vidi.htm>, pristupljeno kolovoz 2020.
- [13] Frković Marija, Višković Klaudija; Zagreb, Zdravstveno veleučilište, 2013., Radiološka oprema
- [14] Janković S, Eterović D (2002) Fizikalne osnove i klinički aspekti medicinske dijagnostike. Medicinska naklada Zagreb

## POPIS SLIKA

	<b>STRANICA</b>
Slika 1: Znak za opasnost od radioaktivnosti.....	3
Slika 2: Periodni sustav elemenata.....	4
Slika 3: Alfa raspad.....	5
Slika 4: Beta minus raspad.....	7
Slika 5: Beta plus raspad.....	7
Slika 6: Gama raspad.....	9
Slika 7: Prodornost zračenja.....	11
Slika 8: Geiger-Müller brojač.....	13
Slika 9: Ionizacijska komora.....	14
Slika 10: Različite vrste dozimetra.....	15
Slika 11: Radiološka dijagnostika početkom 20-tog stoljeća.....	22
Slika 12: Shematski prikaz rendgenskog uređaja za snimanje.....	23
Slika 13: Unutarnji izgled rendgenske cijevi.....	24
Slika 14: Rendgenska cijev.....	25
Slika 15: Generator rendgenskog uređaja.....	25
Slika 16: Visokonaponski kablovi.....	26
Slika 17: Različite vrste stativa.....	26
Slika 18: Stol za pregled pacijenta.....	27
Slika 19: Upravljačka jedinica.....	28
Slika 20: Radiografski uređaji.....	29
Slika 21: Uređaji za prosvjetljavanje ili dijaskopiju i snimanje.....	29
Slika 22: Višenamjesnki uređaji za rendgen.....	30
Slika 23: Rendgenski uređaji za mamografiju.....	31
Slika 24: Klasični radiografski dentalni uređaj.....	32
Slika 25: Intraoralni digitalni senzor.....	32
Slika 26: Dentalni CT uređaj.....	33
Slika 27: Pokretni digitalni rendgenski uređaji različitih izvedbi stativa.....	34
Slika 28: Pokretni uređaji.....	34

Slika 29: Uređaj za razvijanje radioloških snimki iz rtg filmova.....	35
Slika 30: Načini zaštite od zračenja.....	37
Slika 31: Zone područja izloženosti.....	38
Slika 32: Prikaz radiološke prostorije.....	39
Slika 33: Osobna zaštitna sredstva u radiologiji.....	40