



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЉЕНО:	29 ОКТ 2007
ОРГАНИЗ.ЈЕД.	БРОЈ
0603	91455

PRIRODNI I TEHNIČKI IZVORI ZRAČENJA

- diplomski rad -

Mentor:
Dr Nataša Todorović

Kandidat:
Mirjana Đukić

Novi Sad, 2007. godine

SADRŽAJ:

I O ZRAČENJU – UVOD	1
1.1. Prva istraživanja.....	2
1.2. Podela zračenja	5
1.3. Doze jonizujućeg zračenja.....	5
1.4. Izvori zračenja	7
II EFEKTI ZRAČENJA NA ORGANIZME	8
2.1. Somatski efekti	9
2.2. Genetski efekti	11
2.3. Efekti visokih doza	11
III PRIRODNI IZVORI ZRAČENJA I NJIHOV UTICAJ NA OZRAČIVANJE STANOVNJIŠTVA	13
3.1. Kosmičko zračenje	13
3.2. Sunce	15
3.2.1. Infracrveni zraci	16
3.2.2. Ultraljubičasti zraci	16
3.2.2.1. Biloški efekat UV zračenja i njegovo dejstvo na ljude	17
3.2.2.2. Dejstvo UV zračenja na oči	18
3.2.2.3. Dejstvo UV zračenja na kožu	18
3.2.2.4. Jedinice kojima se izražava UV zračenje, javni saveti o UV zračenju i potreba njegovog merenja	19
3.2.2.5. UV indeks	20
3.2.2.6. Zaštita od UV zračenja	21
3.3. Zemljina kora	22
3.3.1. Interno ozračivanje	23
3.3.2. Radon	23
IV TEHNIČKI IZVORI ZRAČENJA I NJIHOV UTICAJ NA OZRAČIVANJE STANOVNJIŠTVA	26
4.1. Medicinski izvori zračenja	26
4.1.1. Radiodijagnostika	27
4.1.2. Radioterapija	29
4.2. Primena jonuzujućeg zračenja u proizvodnji i očuvanju zdravstveno bezbedne hrane.....	30
4.2.1. Dejstvo i efekti jonuzujućeg zračenja na prehrambene proizvode	30
4.2.2. Neškodljivost ozračene hrane i sigurnost potrošača	31
4.2.3. Primena jonuzujućeg zračenja u prehrambenoj industriji	32
4.2.4. Zaključak	32
4.3. Nuklearni reaktori, nuklearne elektrane, nuklearno oružje	33

4.3.1. Nuklearni reaktori	34
4.3.2. Nuklearne elektrane	34
4.3.2.1. Posledice nuklearne havarije u Černobilu	36
4.3.2.2. Nuklearne elektrane, planovi za budućnost	37
4.3.3. Nuklearno oružje	38
4.4. Uticaj elektromagnetskog polja na zdravlje ljudi	39
4.4.1. Električna i magnetna polja vrlo niskih frekvencija	40
4.4.1.1. Mehanizmi interakcije organizma i elektromagnetskog polja	41
4.4.1.2. Biološki aspekti štetnog delovanja EMP vrlo niskih frekvencija	41
4.4.1.3. Zaštita od EMP veoma niskih frekvencija	42
4.4.2. Radotalasno i mikrotalasno zračenje	43
4.4.2.1. Uticaj visokofrekventnog zračenja na zdravlje ljudi	44
4.4.2.2. Delovanje mikrotalasa na biosisteme	44
4.4.2.3. Standardizacija u području mikrotalasa	45
4.4.2.4. Zaštita od mikrotalasnog zračenja	46
V MERE ZAŠTITE OD ZRAČENJA	47
5.1. Zaštita od jonizujućeg zračenja	47
5.2. Zaštita od zračenja u našoj zemlji	49
5.2.1. Stanje zaštite od zračenja u našoj zemlji	49
VI ZAKLJUCAK	52
LITERATURA	53
BIOGRAFIJA.....	54
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	55

I O ZRAČENJU – UVOD

Cilj ovog diplomskog rada je bliže upoznavanje sa izvorima zračenja, sa prirodom zračenja, kao i sa njegovim uticajem na biološke sisteme i na stanovništvo u celini.

Radioaktivnost i radijacija su postojale na Zemlji još davno pre nego što se na njoj pojavio život. One su bile prisutne u kosmosu još pre nego što je nastala sama Zemlja.

Radijacije je bilo u "velikom prasku", iz koga se, pre oko 20 milijardi godina rodila vasiona. Od tog vremena radijacija je prožela kosmos. Radioaktivni materijali postali su sastavni deo Zemlje prilikom njenog formiranja. Čak i sam čovek je neznatno radioaktivitan, jer svako živo tkivo sadrži u sebi tragove radioaktivnih materija. Međutim, tek pre manje od jednog veka čovečanstvo je otkrilo ovaj elementarni, univerzalni fenomen.

Poslednjih 60 godina čovek je povećao nivo radioaktivnosti proizvodnjom nuklearnih oružja i izvođenjem proba, razvila su se nuklearna industrijska postrojenja, proširila upotreba radioaktivnih izotopa, kao i korišćenje u medicinske svrhe.

Prirodni fon zračenja je povišen što se na živu materiju može odraziti na više načina (pošto je ona tokom evolucije adaptirana na niži nivo zračenja u prirodi).

Bitno je naglasiti da zračenje ne uspostavlja nove funkcije, samo menja postojeće ili dovodi do eksprimiranja nekih svojstava koja su ranije bila latentna. Veoma je bitno razumevanje delovanja zračenja na žive ćelije, posebno na njihov genetski materijal, da bi bolje bile shvaćene posledice koje ono može imati po živi svet.

Od posebnog je značaja u kom su odnosu prirodna radioaktivnost naše planete (na koju ne možemo uticati) i radioaktivnost koju mi stvaramo, kakve su promene ekosfere nakon ispuštanja proizvedenih radionuklida u prirodu i kakvi su efekti tih povišenih nivoa radioaktivnosti na čoveka.

1.1. Prva istraživanja

Prilikom izučavanja luminescencije uranovih soli, Bekerel je 1896. godine primetio da uzorci koji nisu eksponirani svetlošću, emituju zračenje koje vrši ionizaciju i može da se zabeleži na foto-ploči. Bekerel je ustanovio da je emitovanje zračenja svojstvo samog urana i da nije indukovano nikakvim spoljašnjim uticajem.



Slika 1.1. Anri Bekerel

U naredne dve godine Pjer i Marija Kiri su pokazali da slična svojstva poseduju i torijum, kao i dva nova elementa, polonijum i radijum, koje su izdvojili iz uranove rude. Na osnovu različitih prodornosti i putem skretanja u električnom i magnetnom polju u istraživanjima Kirijevih i Raderforda, ustanovljeno je da nepoznato zračenje ima dve komponente koje su nazvane α i β -zracima. Obe komponente imaju korpuskularnu prirodu.



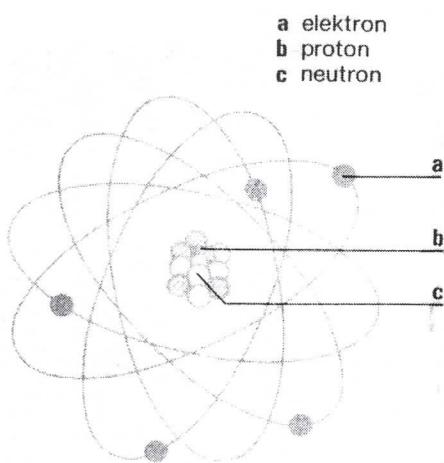
Slika 1.2. Marija Kiri

1900-te godine Vilard je otkrio i treću, najprodorniju komponentu, γ -zračenje, za koju je kasnije ustanovljeno da ima elektromagnetnu prirodu.

Kako se u to doba jedino znalo za postojanje elektrona, činjenica da neki atomi spontano emituju pozitivne ili negativne čestice, kao i elektromagnetsko zračenje nije mogla biti adekvatno objašnjena.

U narednih petnaestak godina, prikupljen je veliki broj eksperimentalnih činjenica o radioaktivnim elementima i upoznate su neke opšte zakonitosti radioaktivnosti kao pojave. Ustanovljeno je da α -čestice nisu ništa drugo do ubrzani, dvostruko jonizovani, atomi helijuma, i da su β -čestice brzi elektroni, ali još uvek je nedostajala globalna slika o sastavu atoma.

Raderford je 1911. godine izneo svoju teoriju strukture atoma gde je, po prvi put, uveden pojam **atomskog jezgra (nukleusa)**, pozitivno nanelektrisanog tela, dimenzija znatno manjih od veličine atoma. U jezgru bi trebala biti skoncentrisana gotovo kompletna masa atoma, dok se negativno nanelektrisani elektroni, mnogo manje mase, kreću oko njega. [1]



O strukturi jezgra se nije mnogo znalo sve do 1919. godine kada je Raderford uočio da se prilikom bombardovanja azotovih atoma α -česticama oslobođa radijacija prodornija od α -zračenja. Ustanovljeno je da je to zračenje korpuskulарне prirode i da se sastoji od čestica koje imaju masu i nanelektrisanje kao i ionizovani atom vodonika. Na taj način je otkriven **proton**, sastavna čestica jezgra koja poseduje jedno elementarno pozitivno nanelektrisanje.

Slika 1.3. Atom



Međutim, to još uvek nije bilo dovoljno da se objasni struktura jezgra. Naime, bilo je poznato da se sve mase hemijskih elemenata mogu izraziti kao celobrojni umnošci mase vodonikovog atoma.

Neosporno je da jezgro poseduje Z protona u svom sastavu, gde je Z redni broj elementa u periodnom sistemu ili broj elektrona u atomu, ali pojavilo se pitanje objašnjenja atomskog broja, jer jezgro atomskog broja A mora imati upravo A čestica mase protona. Odgovor na ovo pitanje dao je Čedvig 1932. godine kada je dokazao da zračenje koje nastaje pri bombardovanju berilijuma α -česticama potiče od nenelektrisanih čestica, mase približno jednake masi protona. Čestica je nazvana ***neutron*** i nakon njenog otkrića je postavljena teorija ***proton-neutronskog sastava jezgra***. [1]

Konačno, u prvih tridesetak godina nakon otkrića radioaktivnosti iskristalisale su se najosnovnije činjenice o strukturi atoma u obliku kakvog ga i danas znamo, bez bitnijih izmena. Naime, ustanovljeno je da je atom telo složene strukture i sastoji se od pozitivno nenelektrisanog jezgra, mnogo manjih dimenzija od veličine atoma, oko kojeg se kreću negativno nenelektrisani elektroni. U jezgru se nalazi skoro sva masa atoma, a sačinjavaju ga pozitivni protoni i elektroneutralni neutroni, čestice sa malom razlikom u masi.[1]

Svaki atom ima isti broj protona i elektrona koji kruže oko jezgra, elektroni su negativno nenelektrisani, pa su stoga oni i pozitivno nenelektrisani protoni u ravnoteži. Zbog toga sam atom nije ni pozitivno ni negativno nenelektrisan, već neutralan.

Atomi istog elementa uvek imaju u svojim jezgrima isti broj protona, ali mogu da imaju različit broj neutrona. Oni koji imaju različite brojeve neutrona, ali isti broj protona, pripadaju različitim oblicima istog elementa i nazivaju se njegovim ***izotopima***. Njih obeležavamo sabiranjem ukupnog broja čestica u njihovim jezgrima. Tako, uranijum-238 ima 92 protona i 146 neutrona, uranijum-235 ima takođe 92 protona, ali 143 neutrona. Na taj način označeni atomi nazivaju se ***nuklidima***.

Izotopi mogu biti:

- stabilni
- nestabilni (radionuklidi ili radioizotopi)

Stabilnost, odnosno nestabilnost jezgra je uslovljena odnosom broja protona i broja neutrona u njemu. Ukoliko je odnos optimalan, jezgro je stabilno. Na primer, jezgro sa 2 protona i 2 neutrona je stabilno.

Nestabilni izotopi, odnosno radioaktivni izotopi ili radionuklidi su atomi koji imaju odnos broja protona i broja neutrona veći ili manji od potrebnog za stabilnost. Nestabilni izotopi teže stabilnosti, a to se postiže radioaktivnim raspadom. Svi elementi iznad rednog broje 82 (olovo) su nestabilni jer odbojnim silama protona više nisu dovoljni neutroni kao ravnoteža. Naime, prevelika je koncentracija protona na jednom mestu. Jezgro radionuklida se spontano raspada prelazeći pri tome u neko drugo jezgro. Prilikom raspada jezgro radionuklida emituje čestice i /ili elektromagnetne zrake kratke talasne dužine.[6]

Proces pri kojem dolazi do spontane transformacije jezgra pri čemu se menja njegov sastav ili energetsko stanje naziva se ***radioaktivnost***. Do promene sastava jezgra dolazi ukoliko se u

procesu radioaktivnog raspada emituje čestica, dok emisija γ -zračenja menja samo energetsko stanje jezgra.

Broj preobražaja koji se događaju svake sekunde u jednoj količini radioaktivnog materijala naziva se njegovom aktivnošću. Aktivnost se meri jedinicama koje se nazivaju **bekerelima** po imenu čoveka koji je otkrio fenomen radioaktivnosti; **jedan bekerel (Bq) jednak je jednom preobražaju u jednoj sekundi.**

Različiti oblici radijacije razlikuju se po energiji i prodornoj moći, pa stoga imaju i različito delovanje na živa bića. U zavisnosti od energije, prodorne moći i dejstva na organizme, razlikujemo tri vrste radioaktivnog raspada:

1. **α – raspad:** emisija α – čestica (jezgara helijuma) koje su malog dometa (2 – 8 cm u vazduhu i 0,1 mm kroz tkivo), velike ionizacione sposobnosti, opasne pri unutrašnjoj kontaminaciji. Moguće ih je zaustaviti listom papira

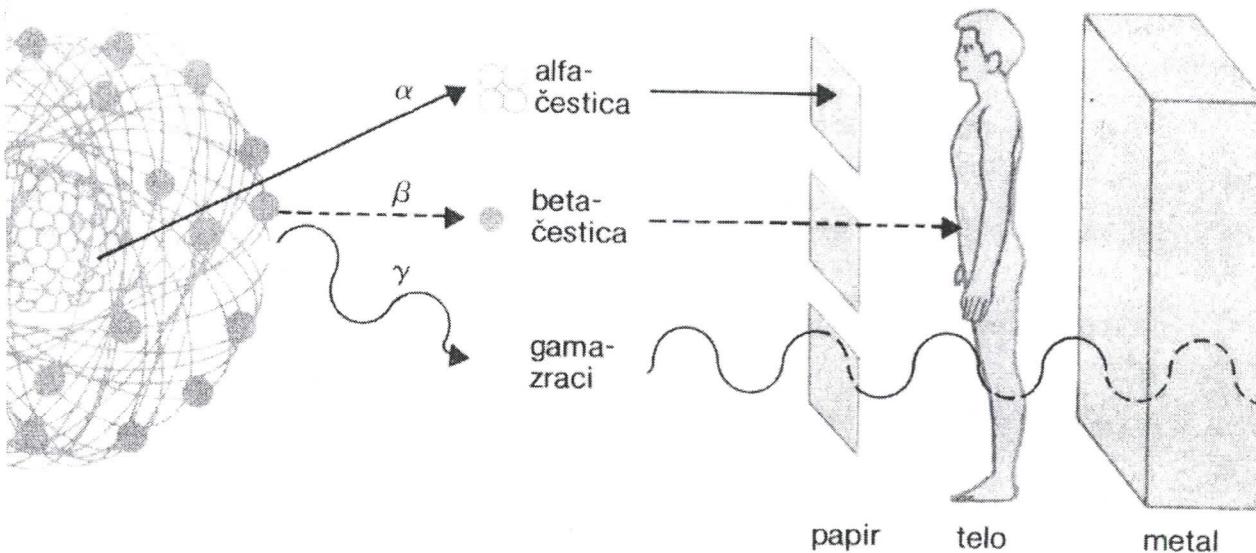
2. **β – raspad:** emisija brzih elektrona ili pozitrona većeg dometa (kroz tkivo 1 – 2 cm), oko 1 000 puta manje sposobnosti ionizacije od α – čestica.

β – čestice se mogu zaustaviti debljim stakлом, aluminijumskom folijom...

3. **γ – zračenje** je elektromagnetsko zračenje velike prodorne moći i dometa, slabe ionizacione

moći, za ljude predstavlja opasnost pri spoljašnjem ozračivanju.

γ – zraci prolaze kroz betonski zid debljine 1 m, ali ne i kroz olovni zid iste debljine.



Slika 1.4. Tri tipa radijacije i njihova prodorna moć

1.2. Podela zračenja

Razlikujemo ionizujuće i nejonizujuće zračenje, odnosno ona koja poseduju energiju potrebnu za jonizaciju atoma ili molekula, i ona koja to ne poseduju.

Ionizujuće zračenje je elektromagnetno ili čestično zračenje koje može da jonuzuje materiju i čija je energija veća od 12,4 eV.

Naziv *ionizujuće* potiče od efekta koji to zračenje izaziva pri kontaktu sa materijom: prolaskom kroz materiju zračenje predaje energiju atomima i molekulima koji je čine, izazivajući izbacivanje elektrona iz njihove putanje oko jezgra. Pogođeni atom gubi elektroneutralnost, postaje jonizovan i veoma reaktiv. U živim sistemima ovo proizvodi lančanu reakciju koja može dovesti do aktivacije različitih ćelijskih mehanizama i kao posledicu imati degradaciju ćelija i tkiva, nekada i smrt izloženog organizma.

Nejonizujuće elektromagnetno zračenje objedinjuje zračenje i elektromagnetna polja koja nemaju dovoljnu energiju da izazovu jonizaciju materije kroz koju prolaze. Energija fotona im je manja od 12 eV, talasna dužina veća od 1 000 nm, a frekvencija niža od 3 000 THz.

1.3. Doze ionizujućeg zračenja

Energija radijacije je ta koja izaziva oštećenja, a **količina energije deponovane u živom tkivu naziva se dozom**.

Doza može da potiče od bilo kojeg radionuklida ili više radionuklida, bez obzira da li oni ostaju izvan tela ili ga ozračuju iznutra, pošto su udahnuti sa vazduhom ili progutani sa hranom ili vodom.

Doze se različito izražavaju, zavisno od toga koliko je ozračeno neko telo i koji su njegovi delovi ozračeni, da li je jedan čovek ili su mnogi ljudi izloženi radijaciji i koliki je period izloženosti.

Količina energije zračenja koja se apsorbuje po gramu tkiva naziva se apsorbovanom dozom. [2]

Apsorbovana doza ionizujućeg zračenja (D) jednaka je količniku energije (dE) i mase (dm) kojoj je prolazom zračenja ta energija data, tj.

$$D = \frac{dE}{dm}$$

Jedinica apsorbovane doze je džul po kilogramu ($J \ kg^{-1}$), a zove se **grej**: $1 \ Gy = 1 \ J/kg$

Učinak zračenja u materiji ne zavisi samo od predate energije, nego i od vrste zračenja i materije. Konačni učinci zračenja na materiju zavise i od niza drugih činilaca: od načina

(jednokratno ili višekratno, stalno ili promenljivo) i ritma ozračivanja, od toga da je li ozračeno telo u praznom prostoru, ili je okruženo istovrsnom ili različitom materijom, da li je ozračeno samo zapaženo telo (ili deo tela) ili i okolna materija, nalazi li se izvor zračenja izvan tela ili je radioaktivna supstanca u posmatranom telu, lokalizovana ili raspršena itd. Zavisno od toga, raspršeno ili sekundarno zračenje može napuštati posmatrano telo ili u njega dolaziti iz okoline. Jednaka apsorbovana doza različitih vrsta i energijskih područja zračenja prouzrokuje u istoj materiji različite učinke. Da bi se procenio učinak zračenja s obzirom na sveukupne okolnosti, apsorbovana doza se koriguje tzv. faktorima modifikacije. Tek tako korigovana doza je pravi pokazatelj uticaja određenog zračenja na neku materiju. Učinak raznih vrsta i energija zračenja upoređuje se s učinkom nekog referentnog zračenja, onog za koje su ti učinci najbolje poznati. Zato se tako izračunata doza naziva **ekvivalentnom dozom**; ona najbolje pokazuje učinak zračenja i za praksu je najvažnija dozimetrijska veličina.

Ekvivalentna doza ili dozni ekvivalent (H) za biološki učinak jednaka je proizvodu apsorbovane doze (D), faktora kvaliteta zračenja (Q) i proizvoda ostalih činilaca (N):

$$H=QDN$$

Jedinica ekvivalentne doze (za biološki učinak) je **sivert ($Sv=J/kg$)**. Stara jedinica ekvivalentne doze bila je: $1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv}$.

Zbog opasnosti za ljudsko zdravlje i život, koja bi usled upotrebe iste merne jedinice mogla nastati zamenom apsorbovane doze (koja se meri instrumentom) i ekvivalentne doze (koja se izračunava), ekvivalentnoj dozi je pridružena posebna jedinica sivert, iako su i grej i sivert samo posebni nazivi za džul po kilogramu. Na taj način se već iz naziva jedinica, grej ili sivert, jasno zna da li je u pitanju apsorbovana ili već preračunata ekvivalentna doza. [7]

Potrebno je ukazati na još jednu okolnost. Neki delovi tela su osjetljiviji od drugih, pa su različiti delovi tela rangirani po osjetljivosti. Kada se uzme u obzir i ovo rangiranje, ekvivalentna doza postaje **efektivna ekvivalentna doza** koja se takođe izražava u sivertima.[2]

Efektivna ekvivalentna doza je zbir ekvivalentnih doza (H_i) u pojedinim delovima tela (organima ili tkivima), pomnožena s tzv. težinskim faktorima ozračivanja (W_i): $HE = SW_i H_i$.

Težinski faktor opisuje deo štetnosti od stohastičkih učinaka koja dolazi od i-tog tkiva prema ukupnoj štetnosti od stohastičkih učinaka pri jednolikom ozračenom celom telu.[7]

Ako se saberi sve individualne efektivne ekvivalentne doze koje je primila gupa ljudi, dobija se **kolektivna efektivna ekvivalentna doza** i izražava u čovek-sivertima (čovek Sv).

Mnogi radionuklidi se tako sporo raspadaju, da će biti radioaktivni u dalekoj budućnosti, zbog čega se uvodi još jedna definicija, to je kolektivna efektivna ekvivalentna doza koju će tokom vremena primiti generacije ljudi a koja se zove **angažovana kolektivna efektivna ekvivalentna doza**. [2]

1.4. Izvori zračenja

Zemlja je neprekidno izložena prirodnom zračenju iz kosmičkih izvora kao i široko rasprostranjenim prirodnim aktivnim radionuklidima. Intenzitet kosmičkog zračenja zavisi od nadmorske visine i geografske širine (pošto magnetno polje Zemlje utiče na skretanje pojedinih čestica).

Prirodno zračenje postoji od samog postanka Zemlje, tako da je, na primer, globalna prirodna radioaktivnost Zemlje oko $3 \cdot 10^{18}$ Bq. U ovu grupu spadaju kosmička zračenja, kao i kosmogeni radionuklidi koji nastaju prilikom interakcije kosmičkog zračenja sa atmosferom.

Tehnološki izvori nastaju kao rezultat čovekove delatnosti:

- u industriji (sagorevanje uglja, rudarska i građevinska delatnost, radionuklidi u veštačkim đubrivima...)
- u medicini (za dijagnostiku i terapiju)
- u javnoj upotrebi (gromobrani, javljači požara ...)
- u nuklearnim objektima

II EFEKTI ZRAČENJA NA ORGANIZME

Zagadenost životne sredine ionizujućim zračenjem je najopasnije zagadenje po čoveka.

Čovek tokom života biva ozračen prirodnim radioaktivnim zračenjem, koje s obzirom na malu dozu nije opasno po zdravlje. U samom čoveku, u njegovim pojedinim tkivima, postoje radioaktivni elementi (kalijum, rubidijum, uranijum, torijum), čije je zračenje minimalno.

Čovek se izlaže radioaktivnom zračenju na sledeće načine:

- *profesionalno* (radnici na nuklearnim reaktorima, nuklearnim elektranama, u medicinskim laboratorijama i dr.);
- *medicinski* (lečenje i dijagnostika);
- *akcidentalno* (izlaganje stanovništva pri nuklearnim akcidentima);
- *hotimično* (atomsko oružje u ratu).

Ozračuje se masovno obično pri havarijama nuklearnih reaktora ili nakon dejstva atomske bombe, ali se može videti i kod nepažljive upotrebe rendgen-aparata ili kobalt-bombe u medicinske svrhe.

Ako radioaktivni izvor prodre u organizam, javlja se *unutrašnje zračenje*, a to se dešava ili ulaskom radioaktivnih čestica preko respirativnih organa (aerozagadenje) ili unosom putem hrane u digestivni trakt.

Ako je koža oštećena, može radioaktivni izvor i tim putem da dospe u organizam, ali se to ređe dešava. Što su čestice manje, tim lakše prodiru kroz respiratorne puteve.

Uneta radioaktivna supstanca se raspodeljuje po organizmu relativno podjednako, ili se nagomilava u nekim za nju specifičnim organima, od čega zavisi i mogućnost eleminacije (najteže se eliminiše iz kostiju).

Svi izvori radioaktivnog zračenja su opasniji ako su uneti u organizam (teže se isključuju) nego ako deluju spolja, a posebno je alfa zračenje škodljivo u odnosu na njegovo spoljno delovanje, koje može biti praktično i zanemareno, jer se lako odstranjuje.

Karakteristike radioaktivnog zračenja su:

- *da čovek čulima ne oseća njegovo prisustvo;*
- *da biološko dejstvo nije trenutno i deluje podmuklo;*
- *da radijacija opada sa dužinom vremena i sa kvadratom rastojanja od radioaktivnog izvora.*

Zračenje dovodi do oštećenja žive materije u tri faze:

- *u prvom periodu ionizacije koji traje delić sekunde zraci deluju direktno štetno na živu materiju ili stvaraju slobodne radikale koji su veoma reaktivni;*

- u drugom periodu nastaju biohemijska oštećenja ili započinje reparacija poremećenih biohemijskih procesa, a sve to traje od nekoliko minuta do nekoliko meseci ili godina;
- u trećem periodu nastaju manifestne promene žive materije.

Jonizujuće zračenje ima na čoveka, i na ostala bića, dva bitna efekta: ***Somatski (telesni) i genetski (nasledni) efekti.***

Ti efekti nastaju direktno zbog raspada DNK (dezoksiribonukleinske kiseline), što dovodi do teških mutacija, kao i zbog oslobađanja enzima i lizozoma koji napadaju ćelijske strukture i dovode do dezintegracije ćelije.

Efekti mogu nastati i indirektno, usled oslobađanja slobodnih radikala, koji vrše interakcije sa molekulima žive materije. Dolazi do inhibicije ćelijske mitoze, pa u prvi mah ne dolazi do stvaranja novih ćelija, a stare izumiru, pa se jedna klinička slika oštećenja viđa odmah, a druga naknadno.

2.1. Somatski efekti

Somatski efekti mogu biti akutni ili hronični, a jačina im zavisi od doze jonizujućih zraka i od dužine delovanja. Što je doza veća i delovanje duže, jačina efekta je veća.

Najosetljivije su mlade ćelije, koje se brzo razmnožavaju, kao što su polne, krvne i ćelije sluzokože, a slabije su osetljive ćelije koje nemaju razmnožavanja ili im je ono sporo, kao što su nervne ćelije.

Usled toga se javljaju anemija, sterilnost, poremećaji digestivnog trakta (povraćanje i prolivi). Zato su mlade osobe osetljivije na zračenje od starijih, plod u prva tri meseca trudnoće više nego kasnije.

Od životinjskog sveta najosetljiviji su sisari.

Mikroorganizmi su najotporniji.

Može doći i do funkcionalnih poremećaja, bez vidljivih oštećenja tkiva.

Ako je ozračen samo deo tela, reparacija će biti snažnija jer će preostali zdrav deo organizma tome pripomoći (npr. koštana srž).

Ako je organizam dugo ozračivan malim dozama radioaktivnih zraka, slika poremećaja je neujednačena zbog različitog reagovanja pojedinih organa, ali na kraju biva ispoljena jasna slika hronične ozračenosti.

Doza koja izaziva smrt ozračene osobe u roku od 60 dana je ***letalna doza.***

Množenjem jedinice apsorbovane doze grej (Gy) sa biološkom efikasnošću zračenja - RBE (za neutron - 5, a za alfa, beta i gama zrake - 1) dobija se ekvivalentna doza čija je jedinica

sivert (Sv), koja se koristi kod označavanja težine ozračenosti u različitim oblicima radijacione bolesti (ranije *rendgen* ili *rem*).

Letalna doza za čoveka, mereno u rendgenima, je od 250 do 850.

Maksimalna dozvoljena doza (MDD) ozračenosti ne dovodi do oštećenja organizma. Za profesionalna lica za celo telo to je 10 Sv nedeljno ili 500 Sv godišnje.

Neprofesionalno lice može da primi oko 1,4 - 7,0 mSv prirodnog zračenja dnevno, ali može i znatno više, zavisno od biotipa.

Za stanovništvo u celini MDD je za 30 godina (genetska doza) u vrednosti od 500 Sv, odnosno 17 Sv godišnje.

Smatra se da nema doze zračenja koja ne bi mogla biti štetna za ćeliju, odnosno čoveka, oštećujući somatsku ili germinativnu ćeliju.

Akutni efekti ili akutna radijaciona bolest, javlja se u toku prvog ili drugog dana nakon izlaganja velikim dozama ionizujućeg zračenja.

Dolazi do opšte slabosti, malokrvnosti, vrtoglavice i povraćanja, što traje nekoliko dana. Smatra se da je oštećenje teže što je povraćanje jače.

U drugoj fazi viđa se poboljšanje što traje od nekoliko dana do nekoliko nedelja.

U trećoj fazi, odnosno u toku treće nedelje, dolazi ponovo do pogoršanja, sada sa teškim simptomoma opšte klonulosti, malokrvnosti, proliva, povišene telesne temperature, mršavljenja, ubrzanog srčanog rada, krvavljenja iz desni i opadanja kose. Ukoliko bolesnik ne umre u toku sledeće dve nedelje, što je najčešće, dolazi do oporavka koji je spor i traje i do šest meseci.

Radijaciona bolest može imati *hemoragičan* oblik (manja ozračenost), kada se javljaju pretežno krvarenja po koži i sluzokoži, ili *digestivan* oblik (veća ozračenost), kada dominiraju povraćanje i prolivi, *plućni* oblik (još veća doza) sa krvarenjem iz pluća i *nervni* oblik (velika doza) sa grčevima-kada smrt nastupa već posle nekoliko sati.

Lečenje se sastoji u dekontaminaciji (pranje čistom vodom ili rastvorom sode bikarbune svih spoljašnjih delova tela, unošenje veće količine tečnosti radi unutrašnjeg „ispiranja“), kao i u suzbijanju opših simptoma davanjem lake ishrane, infuzija soli i šećera, antibiotika protiv infekcija, sredstava za smirenje, pa i transfuzija krvi. Obično se sprovodi u stacionarnoj zdravstvenoj ustanovi.

Kao specifično lečenje primenjuje se presađivanje zdrave koštane srži od pogodnog davaoca i to u prvom ili latentnom periodu bolesti.

Kod preživelih se posle nekoliko godina, i duže, mogu javiti maligne bolesti krvi (leukemija) i drugih organa (najčešće rak pluća ili digestivnog trakta), kao i različite kongenitalne promene kod njihovih naraštaja.

Ako se efekti zračenja ostvaruju postepeno nakon dužeg vremenskog izlaganja, to su **hronični efekti** ili **hronična radijaciona bolest**.

Vida se kod osoba koje su ozračene manjim dozama radioaktivnih zraka posle atomske eksplozije ili nuklearnog akcidenta, ali i kod osoba koje rade sa radioaktivnim izotopima i izvorima zračenja, kao što su radnici na nuklearnim reaktorima, u radioizotopskim laboratorijama ili na rendgenskim aparatima. Nalazi se i kod pacijenata koji se podvrgavaju dužem radioizotopskom medicinskom tretmanu.

Promene se uočavaju sporo kao što se sporo i razvijaju. Javljuju se umor, slabost apetita, povremeno povraćanje, poremećaji sna, nervozna, nizak krvni pritisak. Na koži može da se javi depigmentacija, gubitak dlaka, manja nekroza. U krvi se nalazi anemija i smanjen broj belih krvnih zrnaca (posebno limfocita). Na očima dolazi do zamućenja očnog sočiva i slabosti vida, a postoji i slabija sposobnost oplodnje zbog manjka spermatozoida. Ponekad se razvijaju rak kože, rak pluća ili maligne bolesti krvi (leukoze odnosno leukemije).

Kod slabijeg izlaganja zračenju i simptomi su slabiji.

2.2. Genetski efekti

Genetski efekti (mutacija gena) ispoljavaju se odmah kod somatskih ćelija, a kod polnih ćelija tek naknadno, rađanjem oštećenih jedinki, a može nastati i usled malih doza zračenja.

Nema doze radioaktivnog zračenja koja ne može biti štetna, posebno ako deluje duže vreme, pa se efekti kumuliraju.

Oštećenja DNK hromozoma mogu biti razna. Prekidanje hromozoma ili njihova izmena dovodi do mutacija. Kod većih zračenja mutacije se mogu ispoljiti već u prvoj generaciji u vidu pobačaja ili letalnih ishoda.

Genetski efekti mogu se ispoljiti u nizu generacija koje dolaze posle onih koje su ozračene. Zbog svega navedenog, treba postupati veoma obazrivo kod izlaganja radijaciji.

2.3. Efekti visokih doza

Posmatramo li izlaganje čitavog tela jednoj jedinoj dozi prodornog zračenja najmanja doza koja će imati primetni efekat iznosi oko 0,25 Sv. Ta doza bi kod većine ljudi, ali ne kod svih, prouzrokovala blagu promenu u broju belih krvnih zrnaca, a kod nekih bi moglo doći do mučnine. Efekti su jače izraženi s povećanom dozom.

Kod doze od jednog Sv približno 10 % ljudi će biti umereno bolesno a nekolicina će biti ozbiljno bolesno.

Dalje povećanje doze povećavaće broj bolesnih a pojavljivaće se i smrtni slučajevi.

Kod doze od 4 Sv sve izložene osobe će biti ozbiljno bolesne, a približno polovina njih će umreti. Taj iznos doze zove se i **letalna doza: LD50**.

Kod doze od 6 Sv samo mali broj ljudi će preživeti.

Prirodne razlike u osetljivosti i otpornosti pojedinih osoba objašnjavaju raznolikost posledica koje mogu nastupiti za iste doze.

Ako je umesto čitavog tela, izlaganje ograničeno na deo udova, reakcija će biti mnogo manja i obično će biti ograničena na kožu. Za dozu od 4 Sv, doći će do crvenila kože; moguć je gubitak kose. Međutim oba efekta će biti privremenog karaktera. S većim dozama doći će do težih oštećenja kože.

Vrlo jake doze će proizvesti prave opekotine, koje polagano zarastaju i mogu se razviti u maligne oblike.

U sledećoj tabeli data je verovatnoća radiacione bolesti odnosno verovatnoća smrtnosti nakon ozračenja čitavog tela jednokratnom visokom dozom:

Ekvivalentna doza (Sv)	Procenat obolelih	Procenat smrtnosti
0.5-1	5	-
1-1.5	20	-
1.5-2.0	50	-
2.0-2.5	75	-
2.5-3.0	100	5
3.0-3.5	100	20
4	100	50
6	100	100

Nakon ozračenja od 25 - 30 Sv znakovi slabosti će se pojaviti nakon svega 5 minuta, a smrt će nastupiti kroz 4 do 6 dana od ozračenja.

Nakon ozračenja dozama od 70 - 90 Sv slabost se pojavljuje nakon 5 minuta, a smrt će nastupiti nakon 1 - 2 dana.

Nakon ozračenja od 170 Sv i više smrt nastupa kroz 24 časa od ozračenja. [3]

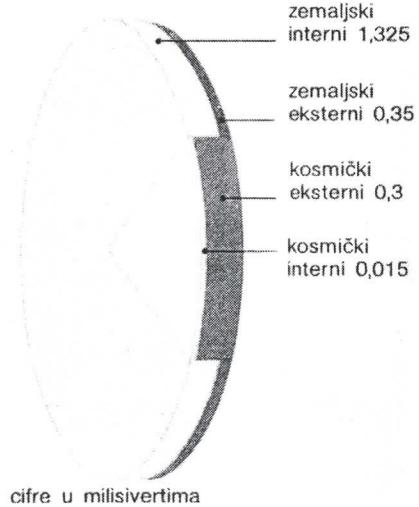
III PRIRODNI IZVORI ZRAČENJA I NJIHOV UTICAJ NA OZRAČIVANJE STANOVNJIŠTVA

Daleko najveći deo radijacije koju svetsko stanovništvo prima potiče od prirodnih izvora. Izlaganje najvećem delu ove radijacije je neizbežno. Tokom čitave istorije naše planete radijacija dopire do njene površine iz kosmosa i iz radioaktivnih materijala koji se nalaze u Zemljinoj kori.

Ljudi bivaju ozračeni na dva načina: radioaktivne supstance mogu da ostanu izvan tela i da ga ozračuju spolja, „eksterno“, ili pak, mogu da se udišu sa vazduhom i gutaju sa hranom i vodom i da tako ozračuju ljude iznutra, „interno“.

Mada svi stanovnici Zemlje primaju prirodnu radijaciju, neki apsorbuju mnogo veće količine nego drugi. To može da zavisi od toga gde ko živi. Doze su na nekim mestima sa naročito radioaktivnim stenama ili tlom, znatno više od proseka; na drugim mestima su, pak, znatno niže. Kolike će doze neko primiti, može da zavisi od njegovog životnog stila. Korišćenje naročitog građevinskog materijala za kuće, kuvanje na plinu, otvoreno ognjište na kome sagoreva ugalj, izolacija kuće, pa čak i avionski letovi-sve to povećava prirodno zračenje.

U celini uzev, zemaljski izvori su odgovorni za najveći deo čovekove izloženosti prirodnoj radijaciji.



U normalnim prilikama, na njih otpada više od pet šestina godišnje efektivne ekvivalentne doze koju apsorbuju pojedinci i to pretežno internom radijacijom. Na kosmičke zrake otpada preostali deo, pretežno eksterne radijacije.

Prirodni izvori zračenja su:

- Kosmos,
- Sunce,
- Zemlja i
- Radioaktivni izvori (prirodni radionuklidi) dospeли у јива бића.

Slika 3.1 Prosečne godišnje efektivne ekvivalentne doze iz prirodnih izvora radijacije

3.1. Kosmičko zračenje

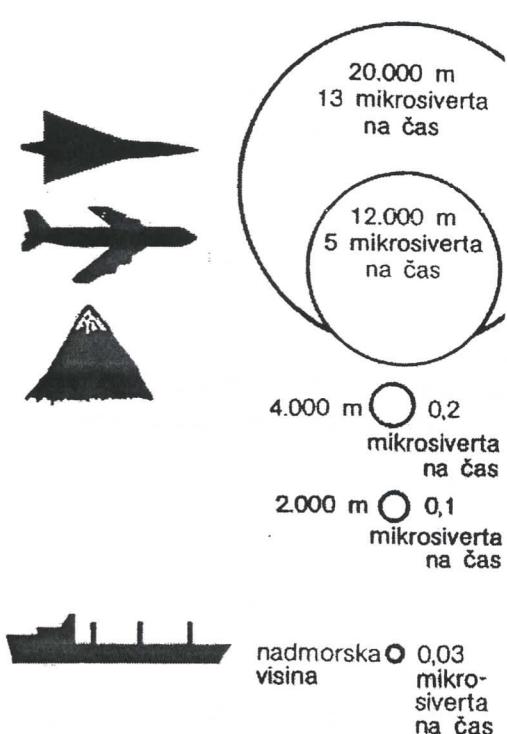
Značajnu radijaciju proizvode Sunce i kosmos. Međutim, Zemljin vazdušni omotač, a posebno sloj ozona, zadržavaju većinu tog zračenja, tako da na Zemlju dospeva samo mala

količina. Kako se smanjuje debljina tog omotača, tako se povećava opasnost od kosmičkog zračenja.

Kosmičko zračenje sačinjavaju rojevi elementarnih čestica (protoni, neutroni, mezoni), atomska jezgra (alfa čestice) i elektromagnetsko zračenje velike energije i prodornosti, koji stižu sa svih pravaca na Zemlju, a količina im raste sa nadmorskom visinom (jer ima manje vazduha da deluje kao štit) i sa udaljenošću od ekvatora. Polovi primaju više radijacije nego ekvatorijalni regioni, zbog toga što magnetno polje Zemlje skreće nanelektrisane čestice sadržane u zračenju.

Neko ko živi na nivou mora, prima godišnje efektivnu ekvivalentnu dozu od oko 300 mikrosiverta, dok onaj ko živi na visini iznad 2 000 metara prima nekoliko puta veću dozu. Leteći avionima, putnici i osoblje izloženi su i većim dozama, mada za kraće vreme. Na visinama između 4 000 metara, to je visina najviših stalno naseljenih šerpaskih sela na obroncima Mont Everesta, i 12 000 metara, koliko iznosi najveća visina interkontinentalnih letova-izloženost kosmičkoj radijaciji povećava se oko 25 puta. Ona se dalje povećava na visinama između 12 000 i 20 000 metara, kolika je maksimalna visina leta supersoničnih aviona. [2]

Nešto zračenja na Zemlju dolazi i sa planeta Sunčevog sistema, posebno sa Jupitera.



Interakcijom kosmičkog zračenja sa Zemljinom atmosferom nastaju radioaktivni izotopi kao što su tricijum i ugljenik-14.

Tricijum je radioaktivni izotop vodonika čiji je period poluraspada 12,3 godine.

Međudelovanjem kosmičkog zračenja sa atmosferom godišnje se proizvede oko $5 \cdot 10^{10}$ Bq ovog radioizotopa. Raspada se emisijom vrlo mekih β zraka. Linearni prenos energije takvih elektrona je veći nego β zraka veće energije, što uzrokuje i jače biološko delovanje u poređenju sa drugim radioaktivnim izotopima. Kod jednokratnog uzimanja, efektivno vreme poluiščezavanja iz organizma je oko 10 dana. U lancu ishrane koncentracija tricijuma se ne povećava. Prirodni tricijum u okolišu rezultira dozom na čitavo telo od 0,01 $\mu\text{Sv/god}$.

Slika 3.2. Nivoi kosmičke radijacije

Ugljenik – 14

Radioizotop ugljenika ^{14}C prirodno se stvara kao i tricijum interakcijom kosmičkih zraka sa atmosferom. ^{14}C nastaje takođe i u nuklearnim elektranama.

Zbog dugačkog vremena poluraspada (oko 5600 godina) proizvodnji ^{14}C u nuklearnim postrojenjima treba posvetiti posebnu pažnju. ^{14}C nalazimo u obliku ugljenik(IV)-oksida u vazduhu ili karbonata u vodi. Prirodna aktivnost ^{14}C je $\sim 220 \text{ Bq/g}$ u prirodnom ugljeniku. Količina ^{14}C prisutna u organizmu dovodi do ozračenja čitavog tela dozom od $\sim 10\mu\text{Sv/god.}$ [3]

3.2. Sunce

Najvažniji izvor zračenja na Zemlju je Sunce.

Od njegovog poslatog zračenja prema Zemlji svega 42 % stigne do tla, od čega se jedna četvrtina odbija

Kako Sunčeva energija nastaje i dospeva do nas?

Sunčev zračenje predstavlja energiju koja na Suncu nastaje pretvaranjem ogromnih količina vodonika u helijum. Ova energija se oslobađa u okolini vaskonski prostor, širi kroz svemir i dospeva do svih planeta Sunčevog sistema. Količina energije koja će dospeti do planeta u najvećoj meri zavisi od njihove udaljenosti od Sunca. Planeta Zemlja dobija samo dvomilijarditi deo ukupne oslobođene energije, i on je dovoljan da obezbedi opstanak života na Zemlji.

Sunce emituje energiju u obliku elektromagnetskih talasa koji se međusobno razlikuju po talasnoj dužini, odnosno frekvenciji. Zraci manje talasne dužine imaju veću energiju i frekvenciju, i obrnuto. Sunčev spektar obuhvata zračenje talasnih dužina između 0,01-10 000 nm. Zbog razlike u osobinama i efektima koje ima na živi svet, naučnici su ga podelili u više oblasti, a to su kosmičko, gama, x, ultraljubičasto (UV, ultraviolet, engl.), vidljivi (VIS, visible, engl.), infracrveno zračenje (IR, infra red, engl.), mikrotalasi i radiotalasi.

Sunce emituje različite količine zračenja na različitim talasnim dužinama. Prolazeći kroz vaskonski prostor, a zatim i kroz Zemljinu atmosferu, zračenje gubi veliku količinu energije i menja zastupljenost talasa određenih talasnih dužina.

Na površini Zemlje, gde se i nalazi živi svet ili biosfera, Sunčev zračenje obuhvata zrake talasnih dužina između 290 - 3 000 nm. Najveći intenzitet, odnosno količina zračenja pripada zracima talasne dužine oko 500 nm, ali predstavlja samo polovinu intenziteta zračenja koje se emituje sa Sunca na toj talasnoj dužini.

Najveći deo energije koja dospe do površine Zemlje, 56 %, pripada infracrvenom zračenju (IR), talasnih dužina od 780 - 3 000 nm; 39 % vidljivom zračenju (VIS), talasnih dužina od 400 - 780 nm, a svega 5 % ultraljubičastom zračenju (UV), talasnih dužina od 290 - 400 nm. IR zračenje osećamo kao toplotu, VIS zračenje vidimo kao svetlost, a UV zračenje ne možemo osetiti.

Zračenje koje nam dolazi od Sunca ima veliki biološki značaj pa predstavlja jedan od faktora postojanja života na Zemlji. Naime, biljke pomoću hlorofila upijaju Sunčev zračenje i u procesu fotosinteze energiju koju ono nosi pretvaraju u hemijsku pa je potom ugrađuju u



hranjive materije. Tako, ishranom, svi organizmi unose prerađenu Sunčevu energiju i iskorišćavaju je za svoje životne procese, a pri tome biljke oslobadaju kiseonik koji je, takođe, neophodan za život.

3.2.1. Infracrveni zraci

Infracrveni zraci su nevidljivi i nalaze se na delu Sunčevog spektra talasne dužine veće od talasne dužine vidljive svetlosti. Na putu prema Zemlji delimično ih apsorbuje vodena para.

Ove zrake emituju i svi predmeti koji su zagrejani iznad apsolutne nule, a posebno mnogo ako temperatura prelazi 500°C . Emisija ih čovek: pri temperaturi vazduha od plus 20°C (što je zona vazomotorne termoregulacije: $19\text{-}31^{\circ}\text{C}$). Čovek gubi skoro polovinu toploće samo infracrvenim zračenjem.

Infracrveni zraci su toplotni, pa utiču podsticajno na metabolizam živog sveta. Prodiru duboko ispod kože, u mišiće, kosti i unutrašnje organe.

Mogu izazvati oštećenje oka usled zamućenja očnog sočiva i očne vodice, ali dovode i do crvenila kože („šarena“ pigmentacija) i do opeketina raznog stepena.

Ako direktno padaju na nezaštićenu glavu, mogu dovesti do poremećaja rada mozga i gubitka svesti (sunčanica). Najjači su na moru, oko podneva, zbog čega se savetuje izbegavanje sunčanja u to vreme.

Upotrebljavaju se u medicini za lečenje reumatskih bolesti (soluks lampa), u kulinarstvu za termičku obradu namirnica, u mraku za gledanje i fotografisanje predmeta (durbin,fotoaparat).

Za zaštitu od infracrvenog zračenja postavljaju se ispred izvora zračenja specijalne metalne ili vodene zavese, a u ličnoj zaštiti koriste se za oči naočare (kobaltne), glava se pokriva kapom, šake i ruke rukavicama, a telo specijalnim odelom. Osobe koje su u industriji izložene hronično infracrvenim zracima podvrgavaju se i kontrolnim lekarskim pregledima. [4]

3.2.2. Ultraljubičasti zraci

UV zračenje nastaje na visokotemperaturem površinama, kao što je Sunce, u kontinualnom spektru i atomskim eksitacijama pri pražnjenju gasova u cevima kao diskretan spektar talasnih dužina.

Najveći deo Sunčevog UV zračenja apsorbuje kiseonik u Zemljinoj atmosferi, koji formira ozonski omotač u nižoj stratosferi.

Osim toga što je neophodan uslov za stvaranje i opstanak živog sveta na Zemlji, danas, osim pozitivnih efekata na prirodu i čoveka, ono ima i mnogo negativnih efekata koji mogu biti vrlo ozbiljni. Ti negativni efekti nastaju kada ozonski omotač postane suviše tanak, pa ne može da apsorbuje dovoljno UV-B zračenja koje pada na površinu Zemlje i postaje štetno za žive organizme.

Najkraći talasi koji u optimalnim uslovima dopiru do površine zemlje su dužine 290 nm, tako da se prizemno Sunčeve UV zračenje nalazi u spektralnoj oblasti od 290-400 nm.

UV zračenje je podeljeno na tri podopsega:

UV-A (315 nm - 400 nm), nije bitno za biološku aktivnost, a ni količina mu se ne menja sa koncentracijom ozona. Od ukupne količine zračenja koja stiže do površine zemlje UV-A komponenta čini 97 %.

UV-B (280 nm-315 nm), biološki je aktivno i njegov intenzitet na Zemljinoj površini zavisi od količine ozona u atmosferi. UV-B zračenje iznosi 3 % ukupnog fluksa UV zračenja ili oko 0,1 % ukupnog fluksa globalnog Sunčevog zračenja. Male promene u ozonu mogu dovesti do velikih promena onog dela UV-B zračenja koje dolazi do površine Zemlje.

UV-C (100 nm - 280 nm), se kompletno apsorbuje u atmosferi i praktično se ne opaža na površini Zemlje, taj opseg se često zove i sterilišuće zračenje.

Iako je UV zračenje koje dopire do površine Zemlje slabo, ono je, ipak, od velike praktične važnosti, jer izaziva hemijske, električne, biološke i druge procese. Fotohemijske reakcije, koje ono izaziva na gasovima u atmosferi, dovode do stvaranja jonosferskih slojeva, zatim do pretvaranja O₂ u O₃, i stvaranja ozonskog omotača, a pri Zemlji na organskoj materiji dovode do različitih procesa. U zelenom bilnjom tkivu zračenje omogućava fotosintezu. Kod čoveka UV zračenje izaziva ozbiljne promene i oštećenja na koži i očima. UV zračenje usporava rast planktona i nekih nižih vrsta vodenih organizama, bakterija i virusa, a takođe ubrzava degradaciju materijala kao što su: plastične mase, izvesne boje, gume, papir...

3.2.2.1. Biološki efekat UV zračenja i njegovo dejstvo na ljude

Ultraljubičasto zračenje predstavlja opasnost za ljudsko zdravlje zbog svojih genotoksičnih, mutagenih, kancerogenih i imunotoksičnih svojstava. Prekomerno izlaganje UV zračenju može indukovati kancer kože, oštećenja očiju i smanjiti otpornost organizma na infekcije. Sve veću pažnju izaziva činjenica da UV zračenje utiče na pad imuniteta kroz interakcije sa kožom, što povećava rizik od infekcije. Posebnu pažnju i zaštitu zahtevaju deca, u periodu razvoja, koja su naročito osetljiva na oštećenja izazvana zračenjem, upravo jer im imuni sistem još nije potpuno razvijen. Biološki efekat delovanja svetlosnog zračenja, nastaje kao rezultat apsorpcije energije od strane tkiva. Elektromagnetni zraci, prolazeći kroz tkivo, izazivaju njegovo zagrevanje. Pri tome je najznačajnija apsorpcija energije zračenja, koja je izazvana rezonantnim oscilacijama molekula, atoma i njihovih delova. Ako se frekvencija elektromagnetskog talasa podudari sa frekvencijom rezonatora (molekula, atoma), tada se energija elektromagnetskog talasa apsorbuje od strane rezonatora. UV zračenje se karakteriše kraćim talasnim dužinama i njegova frekvencija odgovara frekvenciji delova molekula ili atoma. Uvećanje energije molekula, kao rezultat apsorpcije UV zračenja, predstavlja uzrok stvaranja slobodnih radikala koji dovode do fotohemiskog i abiotskog oštećenja tkiva. Stepen oštećenja tkiva zavisi kako od doze zračenja, tako i od postojanja brzine reparacionih procesa u tkivu.

Radijaciono oštećenje tkiva se ne ispoljava odjednom, već ima kumulativno dejstvo. Dužina latentnog perioda zavisi ne samo od doze, nego i od talasne dužine dejstvujućih zraka. Latentni period se meri minutima za infracrvene, satima za ultravioletne, a nedeljama i mesecima za ionizujuće zračenje.

3.2.2.2. Dejstvo UV zračenja na oči

Kod organa vida rožnjača i sočivo u velikoj meri apsorbuju prirodnu i veštačku UV radijaciju. Pri tome rožnjača upija zrake talasne dužine do 300 nm, a sočivo talase od 295 nm do 400 nm. Prednje-komorna tečnost je praktično prolazna za UV zračenje i ne štiti sočivo.

Rožnjača je relativno otporna na UV zračenje i u prirodnim uslovima ne strada. Izuzetak predstavlja „snežno slepilo“ (ophthalmia nivea), koje naročito nastaje u planinama sa većitim snegom gde je nivo Sunčeve radijacije neobično velik. Eksperimentalno je utvrđeno da prag traumatske doze za rožnjaču zavisi od talasne dužine.

Najopasnije je oštećenje endotela rožnjače zbog toga što endotelijalne ćelije kod čoveka ne raspolažu regenerativnom sposobnošću (starenjem se njihov broj smanjuje). Profesionalno oštećenje sočiva izazvano višegodišnjom akumulacijom povreda UV zracima kod lica koja se svakodnevno izlažu produženom dejstvu prirodnog ili veštačkog zračenja (mornari, zemljoradnici, radnici koji rade na planinama) nije teško sprečiti nošenjem naočara za sunce, koje upijaju ili odbijaju UV zrake.

3.2.2.3. Dejstvo UV zračenja na kožu

U čovekovoj koži se najveći deo zračenja apsorbuje u epidermu, tj. u površinskom sloju kože, stoga oštećenje koje je prouzrokovano UV zračenjem zavisi ne samo od energije zračenja, nego i od propustljivosti epiderma. Dejstvo na kožu sastoji se u pojavi eritema (crvenilo kože) i edema (otok na koži), posle nekoliko sati od zračenja. Izvesno vreme nakon početne upale kože ili pojave eritema, povećava se količina kožnog pigmenta ili melanina, koji služi kao zaštitni sloj protiv UV zračenja. Koža tada potamni.

Osetljivost kože na Sunce zavisi od njene pigmentacije, tj. od količine melanina u epidermu. Ta osetljivost se naziva fotobiološki tip kože; postoji ukupno 6 fotobioloških tipova kože. Na našem podneblju fotobiološki tip kože je uglavnom između 3 i 4.

Za nastanak Sunčevih opeketina presudna je dilatacija krvnih sudova koji se nalaze upravo ispod tog površinskog sloja i ta dilatacija se manifestuje kao crvenilo kože ili eritem.

Da bi se na prosečnoj koži čoveka dobila minimalna primetna eritemska reakcija, potrebno je izložiti UV-B zračenju od 1 MED, što je u medicini poznato kao minimalna doza eritema. Ta vrednost zavisi od tipa kože i data je u tabeli 3.1.

Zanimljivo je da, ukoliko bismo takav efekat hteli da proizvedemo sa UV-A zračenjem, trebala bi nam 600 do 1 000 puta veća energija zračenja.

Tabela 3.1. je bazirana na izlaganju od 3 MED-a nepotamnele kože čoveka, koja nije izlagana Suncu, i u njoj su dati opisi fototipova kože i njeno ponačanje pri osunčavanju.

Fototip kože	Neizložena boja kože	MED opseg (mJ/cm^2)	Osetljivost na UV zračenje	Pregorevanje ili tamnjenje
I	bela	15-30	vrlo osetljiva	uvek lako pregori, nikad ne potamni
II	bela	25-40	vrlo osetljiva	uvek lako pregori, potamni uz male poteškoće
III	bela	30-50	osetljiva	minimalno pregoreva, tamni postepeno i uniformno
IV	svetlo braon	40-60	umereno osetljiva	minimalno pregoreva, uvek dobro potamni
V	braon	60-90	Minimalno osetljiva	retko pregoreva, obimno tamni (tamno braon)
VI	tamno braon ili crna	90-150	neosetljiva ili jedva osetljiva	nikad ne pregoreva obimno tamni (crna)

Tabela 3.1. Fototipovi ljudske kože i njihova reakcija na Sunce (V i VI fototip se odnose na crnu populaciju)

3.2.2.4. Jedinice kojima se izražava UV zračenje, javni saveti o UV zračenju i potreba njegovog merenja

Postoji više načina na koje nadležne službe pokušavaju stanovništvu, koje živi na područjima sa visokim stepenom UV zračenja, da ukažu na stepen opasnosti koji trenutno postoji. U nekim zemljama se daju javni saveti o dužini dnevnog izlaganja Suncu, zatim šta obući da bi se zakolinili od UV zračenja, koje zaštitne faktore da koriste i sl.

Dugoročni cilj savetovanja o UV zračenju je da pojedinci mogu da procene šta ta vrednost ili indeks znači za njih na isti način kao što procenjuju temperaturu, i da se u skladu s tim i ponašaju.

U skorije vreme mnoge zemlje su počele da obezbeđuju stanovništvu podatke o UV zračenju. WMO (Svetska Meteorološka Organizacija) je 1994.god. preporučila da se sve zemlje prilagode standardizovanom UV indeksu. To je bilo bazirano na kalkulaciji vremenskog izlaganja Suncu. Izlaganje Suncu je proračunato za čisto nebo i varira u odnosu na doba dana i godišnje doba.

3.2.2.5. UV indeks

Potreba da se javnost obaveštava jednostavnim, razumljivim informacijama o UV zračenju i mogućim štetnim posledicama na ljude, dovela je naučnike do definisanja parametra koji je upotrebljen kao indikator izloženosti UV zračenju. Taj parametar se naziva *UV indeks*.

On je povezan sa eritemalnim dejstvom sunčevog UV zračenja na ljudsku kožu, a njegova definicija je standardizovana i publikovana kao zajednička preporuka Svetske zdravstvene organizacije (WHO), Svetske meteorološke organizacije (WMO), Programa Ujedinjenih nacija za životnu sredinu (UNEP) i Međunarodne komisije za nejonizujuće zračenje (ICNIRP).

UV indeks:

- je mera količine UV zračenja koja odgovara njegovom dejstvu na ljudsku kožu
- definiše se kao efektivno zračenje dobijeno intergraljenjem spektra zračenja, pomnoženog težinskom funkcijom CIE (1987), po talasnim dužinama od 290 nm do 400 nm
- je izražen numerički, kao ekvivalent vremenski otežinjenog i usrednjenoj deјstva zračenja (W/m^2) pomnožen sa 40

Vrednosti UV indeksa (prema EPA-Agenciji za zaštitu životne sredine):

Minimalan - 0, 1, 2

Ova kategorija predstavlja minimalnu opasnost od UV zračenja. Većina ljudi može ostati na suncu i više od 1 sat da ne dobije opekatine. Preporučuje se upotreba naočara za sunce. Ipak, ljudi sa vrlo osjetljivom kožom (tip 1) i novorođenčad trebaju se uvek zaštiti od produženog boravka na suncu i sunčanim naočarima i zaštitnom kremom. Ne sme se zaboraviti na odbijeno (reflektovano) UV zračenje, pa se posebna oprezost preporučuje za skijaše i ljude koji borave u planinama, kao i one na moru (plivači, jedriličari) koji trebaju posebno da zaštite područja ispod brade i nosa.

Nizak - 3, 4

UV indeks ovih vrednosti predstavlja malu opasnost od UV zračenja. Za većinu ljudi se preporučuje upotreba šešira sa širokim obodom, naočare za sunce i zaštitna krema. Osetljiva populacija još treba da doda i odeću sa dugim rukavima jer oni mogu dobiti opekatine već za 20 minuta.

Dobro je pratiti sopstvenu senku. Što je ona kraća, postoji veća opasnost od UV zračenja.

Srednji - 5, 6

Ove vrednosti predstavljaju već značajnu opasnost od UV zračenja. Za većinu ljudi se preporučuje upotreba šešira sa širokim obodom, naočara za sunce, zaštitne kreme i odeće sa

dugim rukavima. Osetljivija populacija može da dobije opekomine za manje od 20 minuta, pa se ne preporučuje izlaganje novorodenčadi suncu u vremenu od 10 do 16 sati. Ukoliko se boravi ili radi na otvorenom svakako treba zaštititi vrlo osetljiva područja kao što su nos, vrhovi ušiju i usne.

Visok - 7, 8 ,9

Te vrednosti UV indeksa predstavljaju visoku opasnost od UV zračenja. Svakako treba smanjiti boravak na suncu između 10 i 16 sati, koristiti šešir sa širokim obodom, naočare za sunce, zaštitnu kremu i odeću dugih rukava. Ljudi sa vrlo osetljivom kožom mogu dobiti opekomine za manje od 10 minuta. Preporuka je da novorođenčad i deca ne izlaze na sunce između 10 i 16 sati.

Svakako je dobro potražiti senku, ali treba biti svestan da voda, pesak, beton, stene, refleksijom UV zračenja mogu povećati nivo UV zračenja i u senci pa je potrebna zaštita.

Dobro je koristiti odeću od gusto tkanog materijala, jer UV zraci mogu da prodrnu kroz vrlo tanku tkaninu.

Vrlo visok - 10 i više

Vrednosti UV indeksa 10 i iznad 10 predstavljaju vrlo veliku opasnost od UV zračenja. Preporuka je da se maksimalno smanji boravak na otvorenom sredinom dana od 10 do 16 sati. Kao zaštita se svakako preporučuje upotreba šešira sa širokim obodom, naočara za sunce, zaštitne kreme, odeće sa dugim rukavima od gustog tkanja i izbegavanje boravka na direktnom suncu. Preporuka je da novorođenčad i deca nikako ne izlaze na sunce između 10 i 16 sati. Osetljivija populacija može da dobije opekomine za manje od 5 minuta.

3.2.2.6. Zaštita od UV zračenja

Koža i oči su organi na ljudskom telu koji su najčešće izloženi UV zračenju, stoga se najveća pažnja posvećuje njihovoj zaštiti. Ispitivanja su pokazala da adekvatna UV zaštita može u 70 % slučajeva da predupredi rak kože. Smatra se da se koža najbolje štiti odećom, a delove tela koji nisu zaštićeni odećom treba mazati zaštitnim kremama. Međunarodne preporuke kažu da treba koristiti zaštitnu kremu sa zaštitnim faktorom 15 i primenjivati je na svaka 2 sata, kao i svaki put posle plivanja.

Posebnu pažnju treba obratiti na osetljive delove tela koji su više ili pod direktnijim uglom izloženi Sunčevom zračenju.

Najvažnija mera zaštite je izbegavanje izlaganja suncu onda kada je ono najopasnije (od 10 do 16 sati) i redovno praćenje i informisanje u javnim medijima o intenzitetu UV zračenja i pridržavanje preporuka koje se u njima daju.

Savremena farmaceutska industrija intenzivno radi na tome da čovekov boravak na suncu učini što bezbednijim. Osim eksternih sredstava zaštite u obliku zaštitnih krema za sunce koje apsorbuju štetno UV zračenje pre nego što ono stigne do kože, postoje i sredstva za oralnu

upotrebu. Ti preparati su najčešće kombinacija vitamina i drugih supstanci koje imaju antioksidaciona dejstva, jer se na taj način sprečava stvaranje slobodnih radikala i širenje štetnih efekata zračenja, što doprinosi očuvanju opštег zdravlja organizma. Oni se koriste zajedno, u kombinaciji sa kremama za zaštitu koje takođe imaju višestruko dejstvo: štite, hrane, vlaže i neguju kožu.

Zaštini faktor (SPF) ovih krema je vrednost vidno istaknuta na kutijama ovih preparata koja pokazuje koliko se puta duže može boraviti na suncu uz primenu zaštitnog preparata nego bez njega, a da ne dođe do pojave crvenila (eritema) na koži. [9]

3.3. Zemljina kora

Najveći deo spoljašnjeg ionizujućeg zračenja važnog za čoveka dolazi ipak iz *Zemljine kore*, gde se nalaze uran i druge stene bogate radioaktivnim materijalom.

Glavni radioaktivni materijal u stenama jesu kalijum-40, rubidijum-87 i dve porodice radioaktivnih elemenata koje nastaju raspadanjem uranijuma-238 i torijuma-232, dva dugovečna radionuklida koji su se zadržali na Zemlji od njenog postanka.

Naravno, nivoi zemaljske radijacije razlikuju se od mesta do mesta širom sveta, kao što se menja i koncentracija ovih materijala u Zemljinoj kori.

Za većinu ljudi ove razlike nisu naročito dramatične. Ispitivanja u Francuskoj, Italiji, Nemačkoj, Japanu i SAD, na primer, ukazuju da 95 % ljudi živi u oblastima gde prosečna doza varira od 0,3 do 0,6 milisiverta godišnje. Ali, neki ljudi primaju znatno veće doze; oko 3 % ljudi je izloženo dozi od jednog milisiverta godišnje, a polovina njih prima više od 1,4 milisiverta godišnje. Ima mesta na Zemlji gde je zračenje iz zemljišta još i mnogo veće.

U proseku, prema proračunima UNSCEAR-a, svetsko stanovništvo prima efektivnu ekvivalentnu dozu od oko 350 mikrosiverta godišnje, koja potiče od eksterne prirodne zemaljske radijacije; to je znatno više nego što prosečna osoba koja živi na nivou mora prima od kosmičkog zraka.

UNSCEAR je organ koji je Generalna skupština Ujedinjenih nacija osnovala 1955. godine, sa zadatkom da procenjuje doze, efekte i rizike od radijacije u globalnim razmerama. Komitet okuplja vodeće naučnike iz 20 zemalja i predstavlja jedno od najautoritativnijih tela ove vrste u svetu. UNSCEAR ne postavlja niti čak preporučuje standarde bezbednosti; on samo pruža informacije o radijaciji.

Poznate su tri prirodne radioaktivne familije:

- familija uranijuma, čije je vreme poluraspada 4,5 milijardi godina,
- familija torijuma, sa vremenom poluraspada od 13,9 milijardi godina i
- familija aktinijuma, koja se dobija raspadom uranijuma-235

U rudnicima u kojima se kopa uranijumova ruda nalazi se povećana radioaktivnost, a viđa se i jači izlazak gasa radona, zbog čega su rudari izloženi radijaciji koja ugrožava njihovo zdravlje (obolevaju češće od raka pluća).

Deponije jalovine, nastale nakon ispiranja peska od uranijumovih stena, ostaju dugo radioaktivne, čak i hiljadama godina. Njome se zagadjuju zemljiste i vode u blizini, a merenjem se nalazi povećana količina radijuma. Ugrožavanje ljudskog zdravlja je direktno, ili indirektno preko fito- i zoocenoze.

I šljaka dobijena od sagorelog uglja sadrži u sebi tragove urana, pa je potrebno znati da postoji posebna opasnost ako se takva šljaka ili jalovina koriste za stambenu ili kakvu drugu izgradnju u kojoj borave ljudi (ili životinje), a što se dešava u svetu i kod nas.

3.3.1. Interno ozračivanje

U proseku, dve trećine efektivne ekvivalentne doze koju ljudi primaju iz prirodnih izvora potiče od radioaktivnih materijala u vazduhu koji udišu, hrani koju jedu i vodi koju piju.

Veoma malo od ove interne doze potiče od radioaktivnih materijala-kao što su ugljenik-14 i tricijum koji se stvaraju usled kosmičkog zračenja. Gotovo čitava interna doza potiče iz zemaljskih izvora.

U proseku, ljudi primaju oko $180 \mu\text{Sv}$ godišnje iz kalijuma-40, koji telo apsorbuje uporedno sa neradioaktivnim kalijumom, elementom od bitnog značaja. Ali, neuporedivo najveća količina potiče iz elemenata koji nastaju raspadanjem uranijuma-238, a u manjoj meri iz raspadanja torijuma-232. Neki od ovih, kao olovo-210 i polonijum-210, uglavnom ulaze u telo zajedno sa hranom. Jedan i drugi koncentrisani su u ribi i rakovima; ljudi koji jedu velike količine hrane iz mora nužno će primiti odgovarajuće visoke doze radijacije.

Na desetine hiljada stanovnika krajnjeg severa hrani se uglavnom mesom irvasa (ili karibua). U telu ovih životinja nalaze se velike koncentracije od dva radioaktivna materijala, naročito polonijuma-210, zbog toga što one zimi pasu lišajeve u kojima se te radioaktivne materije nagomilavaju. Tako se događa da u organizam stanovnika ovih krajeva dospevaju količine polonijuma-210 koje su do 35 puta veće od normalnih.

U međuvremenu, na drugom kraju sveta, ljudi koji žive u oblasti Zapadne Australije bogatoj uranijumom primaju, jedući meso i iznutricu ovaca i kengura, doze radijacije koje su do 75 puta veće od normalne. [2]

3.3.2. Radon

Čovek je najviše izložen prirodnom radioaktivnom gasu radonu koji nastaje dezintegracijom *radijuma*, odnosno radonovim izotopima 222 (nastaje raspadom uranijuma 238) i izotopu 220 (nastaje raspadom torijuma-232).

Radon izbija kroz pukotine Zemljine kore ili preko radioaktivnih mineralnih izvora.

Istraživanja vršena poslednje decenije pokazuju da u normalnim uslovima najveći doprinos u dozi koju prima stanovništvo imaju prirodni zemaljski izvori jonuzujućeg zračenja (oko 60%

od ukupne godišnje doze) pri čemu 40 % ukupnog ozračenja ljudske populacije potiče od udisanja radona, odnosno njegovih kratkoživećih potomaka.

Radon je radioaktivni plemeniti gas 7,5 puta teži od vazduha. Fizičko vreme poluraspada mu je 3,8 dana, a vreme polueliminacije iz pluća 30 minuta. Emisija α-čestice energije 5,5 MeV.

Pri raspadanju jezgra atoma radijuma stvori se atom radona, koji kao hemijski inertan gas napušta mesto formiranja i prelazi u atmosferu, tako da stalno postoji, i uvek je postojao njegov dotok u životnu sredinu, te se može reći da je ona prirodno kontaminirana radonom.

U građevinske objekte radon dospeva prvenstveno difuzijom iz zemljišta na kojima je sagrađen objekat, građevinskog materijala i vode koja se koristi u samom objektu.

Zbog velikog koeficijenta difuzije i dovoljno dugog vremena poluraspada radon difunduje kroz gornje slojeve zemlje i sa dubine od nekoliko stotina metara.

Koncentracija radona u zatvorenim prostorijama je oko 10 puta veća nego na otvorenom prostoru, pa je u njima i rizik mnogo veći, pogotovo ako se ima u vidu da čovek oko 2/3 ukupnog vremena provodi u zatvorenom prostoru.

S obzirom na to da je radon gas sa relativno kratkim vremenom poluraspada, zdravstveni rizik suštinski potiče u najvećoj meri od njegovih radioaktivnih potomaka. Naime, raspadom jezgra ^{222}Rn nastaju ^{218}Po , ^{214}Pb i ^{214}Bi , tako da u atmosferi uvek postoje i radon i njegovi kratkoživeći potomci.

Kada se radon i slobodni ili pripojeni potomci udahnu, zadržavaju se delimično u nosu, usnoj šupljini i gornjim delovima traheje, a delom u traheobronhijalnom i pulmonalnom tkivu.

Iako imaju mali domet α-čestice radonovih potomaka deponovanih u plućima su izuzetno opasne zbog velike moći ionizacije. Kada prodru u organizam α-čestice tokom desetbilionitog dela sekunde izazivaju ionizaciju atoma tkiva. Ionizovan atom tokom sledećeg desetmiljarditog dela sekunde formira slobodne radikale koji za milioniti deo sekunde reaguju sa biološki značajnim molekulima i izazivaju posledice u vidu mutacija, hromozomskih aberacija, ćelijske smrti ili onkogenih transformacija. U izazivanju bioloških posledica najznačajniji su DNK lomovi i oštećenja azotnih baza. Promene na ćelijskom i molekularnom nivou izazvane ionizujućim zračenjem znatno su izraženije u ranim životnim fazama, što ukazuje na poseban zdravstveni rizik kod dece.

Prema procenama agencije za zaštitu životne sredine SAD (EPA) izloženost radonu pri inhalaciji u zatvorenim prostorijama u Americi je uzrok 10 % od svih smrtnih slučajeva uslovljenih kancerom pluća, dok je procenjeno da je u Evropi taj procenat nešto manji. Zbog visokog zdravstvenog rizika nivoi radona i njegovih kratkoživećih potomaka u vazduhu zatvorenih prostorija sistematski se ispituju u celom svetu.

Internacionalna komisija za radiološku zaštitu (ICRP) donela je 1994. god. preporuku za zaštitu od ^{222}Rn u stambenim i radnim prostorijama, sa strože definisanim tolerišućim nivoima. Prema preporukama ICRP u zatvorenim prostorijama mogu da se tolerišu nivoi radona do 200 Bq/m^3 . Građevinski standard pri izgradnji novih stanova i kuća je 100 Bq/m^3 radona kao prosečan godišnji nivo. Iznad 200 Bq/m^3 treba preduzimati jeftinije sanacione mere, a iznad 400 Bq/m^3 se podrazumevaju skupe sanacione mere.

Direktni putevi ulaska radona iz zemljišta u zgrade su naprsline u betonskim pločama i zidovima, loše veze između zidova i ploča, slobodno oslonjene cevi u zidovima i podovima i podni slivnici pokriveni perforiranim poklopциma.

U cilju zaštite od povišenih nivoa radona u zatvorenim prostorijama treba vršiti kontrolu radioaktivnosti potencijalnog građevinskog zemljišta, kao i kontrolu građevinskog materijala. Pored toga, treba obezbediti dobru prirodnu ventilaciju prostorija u građevinskom objektu.

IV TEHNIČKI IZVORI ZRAČENJA I NJIHOV UTICAJ NA OZRAČIVANJE STANOVNJIŠTVA

Za poslednjih nekoliko decenija čovek je veštački proizveo nekoliko stotina radionuklida. Naučio je da koristi snagu atoma za niz raznih svrha, od medicine do oružja, od proizvodnje energije do otkrivanja požara, od svetlećih brojčanika satova do nalaženja minerala.

Sve upotrebe radioaktivnosti povećavaju doze koje čovek kao pojedinac prima, a i čovečanstvo kao celina.

Individualne doze iz veštačkih izvora radijacije znatno variraju. Većina ljudi prima relativno male doze zračenja od veštačkih putem stvorenih izvora, ali pojedini primaju nekoliko hiljada puta veću količinu iz veštačkih nego iz prirodnih izvora.

Ova raznolikost u primljenim dozama obično je veća za veštačke nego za prirodne izvore. Osim toga, većina veštačkih izvora može lakše da se kontroliše nego najveći broj prirodnih izvora; mada je izloženost eksternom zračenju od radioaktivnih padavina koje potiču, recimo, od izvršenih nuklearnih eksplozija gotovo isto tako neizbežna i izvan svake kontrole kao što je izloženost radijaciji koja potiče od kosmičkih zraka ili od samog zemljišta

4.1. Medicinski izvori zračenja

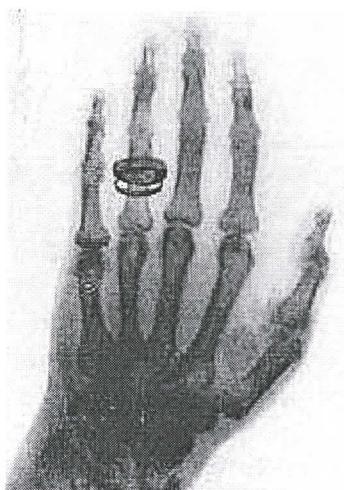
Pre nešto više od sto godina Vilhelm Konrad Rendgen (1845.-1923.) pred članovima Fizičko-medicinskog društva grada Vircburga održao je svoje istorijsko predavanje u kome je opisao neobično, prodorno zračenje, kasnije nazvano iks-zračenjem. Radeći sa katodnim cevima, za čiji su razvoj zaslužni V. Gajsler, V. Kruks i F. Lenard, Rendgen je slučajno zapazio da one emituju zračenje nepoznatog porekla koje dejstvuje na fotografsku ploču.



Slika 4.1. Vilhem Konrad Rendgen

Optimizirajući konstrukciju katodnih cevi dobio je takav izvor x-zraka kojim je mogao da izvodi različite eksperimente. Iz prvih od njih rodila se i nezaboravna fotografija šake Rendgenove supruge koja je zadivila ceo svet i nagovestila velike mogućnosti primene aparata koji je dobio Rendgenovo ime.

Za otkriće x-zraka bio je nagrađen prvom Nobelovom nagradom za fiziku.



Slika 4.2. Prvi rendgenski snimak, na slici je šaka Rendgenove supruge, Berte

4.1.1. Radiodijagnostika

Vrlo brzo po otkriću rendgenskih zraka pokazala se neslućeno velika korist od njih: prošavši kroz ljudsko telo, oni su na fotografskoj ploči ocrtavali unutrašnjost tela pa je rendgenski aparat postao jedno od najvrednijih dostignuća u dijagnostici brojnih bolesti. Međutim, već za nekoliko godina, uočene su štetne posledice rendgenskih zraka: stotine pionira rendgenologije obolelo je i umrlo od posledica štetnog izlaganja tim zracima bez ikakve zaštite.

Tako je uočeno dvostruko delovanje tih zraka: i štetnost i korist.

Od tada je osnovni problem kako naći pravu granicu između koristi i štete. Taj se problem rešava i sada, posle više od jednog veka.

Trend karakterističan za medicinsko izlaganje sastoji se od dve vrste promena: promene u tipu i učestanosti procedura koje se sprovode i promene u nivou doze za pojedinca. Doze su uslovljene kontinualnim unapređenjem tehnika za proizvodnju, detekciju i kontrolu rendgenskog zračenja, uključujući i razvoj alternativnih dijagnostičkih metoda, i inicijativama za kontrolu kvaliteta i zaštitu pacijenata.

Prema podacima UNSCEAR-a broj rendgendifagnostičkih pregleda na 1000 stanovnika kreće se od preko 1 400 do svega nekoliko desetina, u zavisnosti od stepena razvijenosti zemlje. Za celokupnu svetsku populaciju, broj pregleda na godišnjem nivou iznosi 1,9 milijardi, što u proseku odgovara frekvenciji od 330 pregleda na 1 000 stanovnika. Porast broja pregleda na 1 000 stanovnika zabeležen je u mnogim zemljama. Ukupna godišnja kolektivna doza procenjena je na oko 2,22 miliona čovek Sv, što odgovara prosečnoj dozi od oko 0,4 mSv.

Srednja vrednost efektivne doze po jednom pregledu u poslednjoj deceniji, prema podacima UNSCEAR-a iznosi 1,2 mSv, što je za oko 20 % više u odnosu na prethodnu dekadu. Ovaj porast pripisuje se većem doprinosu kompleksnih procedura i kompjuterizovane tomografije (CT), posebno u razvijenim zemljama. UNSCEAR veruje u mogućnosti za smanjenje doza, posebno u slučaju pregleda kao što su snimanje karlice, kuka, lobanje i CT.

U poslednjih nekoliko decenija zabeležen je veoma intenzivan razvoj opreme i dijagnostičkih metoda. Dijagnostički uređaji sve su bolji i time i dijagnostika uspešnija, a uz to su štetne posledice sve manje i na pacijentima i na profesionalcima.

Ipak, zaštita pacijenata od nepotrebnog izlaganja zračenju zahteva značajnu pažnju, jer prosečan stanovnik Evrope tokom svog životnog veka prima oko 10 puta veću dozu od procedura dijagnostičke radiologije u odnosu na sve druge veštačke izvore zračenja. [12]

Procedura	Efektivna doza (mSv)
Snimanje lobanje AP/PA	0.03
Snimanje lobanje LAT	0.01
Snimanje pluća PA	0.02
Snimanje pluća LAT	0.04
Snimanje grudnog dela kičmenog stuba AP	0.4
Snimanje grudnog dela kičmenog stuba LAT	0.3
Snimanje slabinskog dela kičmenog stuba AP	0.7
Snimanje slabinskog dela kičmenog stuba LAT	0.3
Snimanje slabinskog dela kičmenog stuba LSJ	0.3
Snimanje abdomena AP	0.7
Snimanje karlice AP	0.7
Snimanje zuba intraoralno	0.01
Snimanje zuba panoramsko	0.01
Mamografija	1.24

Tabela 4.1. Podaci o efektivnim dozama za tipične radiološke procedure

4.1.2. Radioterapija

Grana medicine koja se bavi korištenjem zračenja u svrhe lečenja naziva se kod nas radioterapija, a u svetu još i radijacijska onkologija. Radioterapija je metoda lečenja koja upotrebljava prodorne snopove ionizujućih zraka (energetski talasi ili snopovi čestica - elektrona, protona, neutrona) koje prodiru u telo na zadanom mestu i u ciljnoj željenoj dubini, izazivaju uništenje i umiranje bolesnog tkiva. Najčešće se primenjuje u lečenju obolelih od zločudnih tumora. Zračenje na taj način može umanjiti ili kompletno uništiti tumorski čvor, odnosno umanjiti neugodne pojave vezane za pritisak tumora na okolinu (bol, oticanje i sl.).

Mnoge vrste raka mogu biti sasvim izlečene samo radioterapijom, kao što su početni tumori glasnih žica, lokalizovana Hodgkinova bolest, tj. limfomi i neki drugi, što je dobro znati jer se na taj način izbegavaju neka od nepovratnih oštećenja koja bi se desila pri operacijskom zahvatu (npr. gubitak sposobnosti govora kod operacije grla).

Kod drugih se radioterapijom može postići smanjenje tumora i istovremeno redukcija obima planiranog operativnog zahvata.

Zračenje se može primeniti i u uznapredovalom stadijumu bolesti, za privremeno, odnosno palijativno lečenje - smanjenje neugodnih ili bolnih pojava (koštane metastaze, gušenje zbog pritiska na bronhije, krvarenja).

Zračenje se može primeniti na gotovo svakom delu ljudskog tela, može se upotrebljavati pre, za vreme ili nakon operacije ili hemoterapije.

Prema izveštaju UNSCEAR, krajem 1993. godine širom sveta je bilo 7 809 radioterapijskih jedinica, koji su godišnje obavljali oko $3,3 \times 10^6$ terapijskih tretmana. Ti tretmani su dali porast godišnje kolektivne efektivne doze od $1,5 \times 10^6$ čovek Siverta.

1,1 $\times 10^5$ profesionalno izloženih lica koja rade u radioterapiji (što iznosi 5 % od ukupnog broja od 2,2 miliona profesionalno izloženih lica u medicini) prima srednju godišnju efektivnu dozu od 0,87 mSv i godišnji kolektivni efektivni ekvivalent doze od 100 čovek Sv.

U radioterapiji se upotrebljavaju visoke doze zračenja za uništenje tumorskog tkiva. Rizik uništenja i zdravog tkiva u okolini tumora uvijek je prisutan i realan. Očekivani učinak lečenja zračenjem mora biti veći nego rizik oštećenja da bi se zračenje odabralo kao metoda izbora u lečenju. Nepravilno ili netačno primenjeno zračenje može biti po život opasno, prvenstveno za osobu koju se leči, ali i za osoblje koje radi s izvorima zračenja. Stoga je potrebno da takvu terapiju planiraju i izvode posebno izučeni doktori-specijalisti radioterapije, zajedno sa saradnicima koji su takođe posebno obučeni za rad sa zračenjem i koji poznaju dobre i loše strane zračenja. [12]

4.2. Primena ionizujućeg zračenja u proizvodnji i očuvanju zdravstveno bezbedne hrane

Proizvodnja životnih namirnica u dovoljnim količinama, nameće važan zadatak - očuvanje proizvedene hrane. Procjenjuje se da gubici u toku čuvanja i transporta prehrambenih proizvoda iznose, prosečno, jednu četvrtinu godišnje proizvodnje.

Klasični postupci koji se koriste za čuvanje hrane kao što su primena visokih ili niskih temperatura, dimljenje, soljenje, sušenje i dr. nisu prihvatljivi za sve vrste hrane, jer dolazi do redovne promene mirisa, ukusa i sastava hrane. Osim toga, ovi klasični postupci čuvanja hrane dugo traju i dosta su skupi. Zbog toga se velika pažnja posvećuje istraživanjima na iznalaženju novih postupaka, koji bi povećali kvalitet proizvoda i povećali mikrobiološku sigurnost. Jedan od tih postupaka je i primena ionizujućeg zračenja.

4.2.1. Dejstvo i efekti ionizujućeg zračenja na prehrambene proizvode

Ozračivanje hrane je fizički proces, koji se sastoji u izlaganju hrane direktnom dejstvu elektromagnetskih ili korpuskularnih zraka, u cilju njene konzumacije ili poboljšanja higijenskog kvaliteta

U zavisnosti od doze zračenja, korisni efekti dejstva zračenja na hranu klasificuju se na sledeći način:

Radapertizacija: tretman hrane dozom ionizujuće energije koja je dovoljna da spreči kvarenje ili toksifikaciju od strane mikroorganizama, bez obzira pod kakvim je uslovima hrana skladištena nakon tretmana, ali pod uslovom da je obezbeđena od rekontaminacije. Ovaj postupak je, takođe, nazvan i sterilizacija. Potrebne doze gama zraka za ovaj tretman su obično u rasponu od 25-45 kGy.

Radicidacija: tretman hrane dozom ionizujuće energije dovoljne da redukuje broj formi sposobnih za život, kao i asporogenih i patogenih bakterija do takvog nivoa da se ni jedna od ovih formi ne može detektovati prilikom ispitivanja hrane bilo kojim poznatim bakteriolškim test metodama. Ovakav tretman, takođe, inaktivira i parazite prisutne u hrani. Potrebne doze gama zraka su u rasponu od 2-8 kGy. Postupak može biti primenjen i za destrukciju parazita, kao što su pantlijičara i Trichinella u mesu. U tom slučaju su dovoljne doze gama zraka od 0,1-1 kGy.

Radurizacija: tretman hrane dozom ionizujuće energije dovoljne za povećanje i održavanje kvaliteta hrane koji može biti ugrožen od strane uzročnika supstanci redukcije, a koje se stvaraju ukoliko je povećan broj živih mikroorganizama - uzročnika kvarenja. Doze zračenja, koje se tom prilikom traže, su u rasponu od 0,4-10 kGy.

Dezinfestacija: uništavanje insekata, larvi i jajašaca smeštenih unutar nekih žitarica i drugih vrsta hrane, čime se izbegava delovanje hemijskim agensima. Doze ionizujućeg zračenja potrebne za ovaj postupak su manje od 1 kGy.

Kontrola fizioloških procesa: sprečavanje klijanja nekih poljoprivrednih proizvoda, posebno krompira i luka, za šta su potrebne vrlo niske doze ionizujućeg zračenja i to 0,06 kGy za luk i

0,1 kGy za krompir. Ovaj način kontrole fizioloških procesa se niva na destrukciji enzima, čime se produžava vreme sazrevanja voća, a time se produžava i vreme transporta i skladištenja (npr. banane ozračene dozom od 0,1-0,4 sazrevaju 10 do 20 dana kasnije od neozračenih banana). [16]

4.2.2. Neškodljivost ozračene hrane i sigurnost potrošača

Neškodljivost ozračene hrane je tačno definisan pojam koji obuhvata (WHO, 1981; IAEA, 1981; Codex..., 1984; Amandment..., 1989):

1. Stepen hranljive vrednosti
2. Odsustvo indukovane radioaktivnosti
3. Odsustvo štetnih mikroorganizama
4. Odsustvo toksičnih, mutagenih i kancerogenih jedinjenja

Prva tri uslova se mogu proveriti detaljnim hemijskim i mikrobiološkim analizama tretiranog proizvoda. Zračenje hrane se ograničava na korišćenje γ i x zraka, koji pri prolasku kroz materiju ne indukuju radioaktivnost.

Podaci o odsustvu toksičnih, mutagenih i kancerogenih jedinjenja, dobijaju se iz eksperimenata sa hranjenjem životinja ozračenom hranom.

Ova i mnogobrojna druga ispitivanja rađena su više od 20 godina, tako da je na osnovu dobijenih rezultata WHO (1981) dala preliminarni izveštaj u kome se kaže da je zajednički Komitet eksperata u okviru FAO/IAEA/WHO zaključio da zračenje bilo kojeg prehrambenog artikla u rasponu prosečne doze zračenja do 10 kGy nije toksikološki opasno, tako da toksikološki testovi ovako tretirane hrane nisu dalje obavezni. Zaključci ekspertnog Komiteta su, stoga, jasno zasnovani i kažu da je ozračena hrana dozom zračenja do 10 kGy zdravstveno ispravna i oslobođena je ispitivanja na toksičnost, kancerogenost, radioaktivnost i antigenost.

U našoj zemlji je 28.12.1984. godine, na osnovu prethodno navedene preporuke Komiteta eksperata FAO/IAEA/WHO, a po predlogu naših stručnjaka za nuklearne nauke, donet Pravilnik (SI. list SFRJ br. 68/84), kojim se odobrava upotreba jonizujućeg zračenja za sterilizaciju sledećih vrsta hrane: žita, leguminoze, crni i beli luk, krompir, dehidrirano voće i povrće, sušene pečurke, jaja u prahu, čajevi, začini, sveže meso peradi, kao i ambalaže za namirnice, sredstava za održavanje lične higijene, negu i ulepšavanje lica i tela.

Treba reći i to, da pre nego što se zakonski odobri upotreba jonizujućeg zračenja za sterilizaciju nekog prehrambenog proizvoda dozom do 10 kGy, neophodno je obaviti mikrobiološka, hemijska i senzorna ispitivanja, da se ne bi narušila postojeća ravnoteža i pogledu nutritivne vrednosti, s jedne strane i zdravstvene bezbednosti ozračene hrane, s druge strane.

Zbog toga, što se upotreba jonizujućeg zračenja odobrava posebno za svaki proizvod, usporava se njegova komercijalna primena. U našoj zemlji, zračenje hrane ili nekih drugih materijala, obavlja se u Institutu za nuklearne nauke "Vinča" u Vinči. Kao izvor gama zraka najčešće se koristi ^{60}Co . [16]

4.2.3. Primena ionizujućeg zračenja u prehrambenoj industriji

Postoje namirnice (npr. hrana u prahu, aditivi, začini, kakao prah, griz, žito itd.), koje su često kontaminirane izrazito termorezistentnim mikroorganizmima. Ako se primene visoke temperature za njihovu sterilizaciju, dolazi do narušavanja osnovnih organičkih svojstava. Međutim, dekontaminacija ovih namirница omogućava se ionizujućim zracima vrlo efikasno, a uz pravilnu primenu, bez promena nutritivnih organoleptičkih i senzornih svojstava.

Konzervisanje hrane ionizujućim zračenjem u prehrambenoj industriji je jedan od najznačajnijih vidova primene atomske energije u mirnodopske svrhe. Postoje otpori za primenu ionizujućeg zračenja u industrijskoj proizvodnji. Međutim, savremena nauka podržava ovaj oblik sterilizacije.

Od 1981. godine WHO i FAO su dale saglasnost da se prilično veliki broj namirnica i predmeta opšte upotrebe steriliše ionizujućim zračenjem.

U zavisnosti od tipa hrane i doze zračenja, ionizujuća energija može imati različite korisne funkcije, što je prikazano u tabeli broj 4.2.

4.2.4. Zaključak

Ionizujuće zračenje je fizički proces koji se sastoji u izlaganju hrane direktnom dejstvu gama zraka u cilju njenog očuvanja i produžetka veka trajanja.

Velika prodornost gama zraka i njihovo razorno dejstvo na živu ćeliju omogućili su da se ona uspešno primeni za industrijsku sterilizaciju. Pri dejstvu na materiju, ovi zraci izazivaju hemijske i fizičke promene, ali bez obzira na prirodu i sastav materijala, na uslove ozračivanja i količinu zračenja, ozračeni predmet nije nikad radioaktivran.

Ova sterilizacija se naziva i hladna sterilizacija, jer se temperatura za vreme sterilizacije povećava samo za 1-2°C. Zbog toga je ova metoda povoljna za sterilizaciju određenih prehrambenih proizvoda, čiji je hemijski sastav osjetljiv na delovanje visokih temperatura (u slučaju primene termičke sterilizacije).

Sterilizacija gama zracima nije samo površinska nego i dubinska, tj. prodire u sve odelove izloženog predmeta. Zbog ove osobine gama zračenja, namirnica se pre sterilizacije može upakovati u odgovarajuću ambalažu, čime se eliminiše potreba za aseptičnim postrojenjima i postupcima, a mogućnost rekontaminacije je onemogućena.

Prilikom tretiranja namirnica ionizujućim zračenjem treba voditi računa o tome da se određenom dozom zračenja spreči delovanje prisutnih mikroorganizama, kontaminenata hrane, da bi se proizvod mogao čuvati određeno vreme u određenim uslovima, a namirnica zadrži svoja nutritivna i senzorna svojstva. Iako je Pravilnikom odobrena upotreba maksimalne doze zračenja do 10 kGy za sterilizaciju određenih vrsta hrane, ta doza se ne može primeniti za sve proizvode. Ona se određuje na osnovu vrste, broja i radiorezistentnosti mikroorganizama u proizvodu, vrste proizvoda, njenog hemijskog sastava, tretmana sa proizvodom i drugih činilaca.

Danas se ionizujuće zračenje, kao metod sterilizacije hrane, primenjuje u preko 50 zemalja sveta, a sve to na osnovu preporuke Komiteta eksperata FAO (Organizacija za poljoprivredu i ishranu), IAEA (Međunarodna agencija za atomsku energiju) i WHO (Svetska zdravstvena organizacija), koji su sprovodili višegodišnja ispitivanja na polju ozračene hrane. Ova ispitivanja traju i dalje.

Funkcije zračenja hrane		
Funkcija	Doza (kGy)	Ozračeni proizvodi
Niske doze (ispod 1 kGy)		
Inhibicija klijanja	0.05-0.15	Krompir, luk, teli luk, koren đumbira itd.
Dezinfestacija insekata i dezinfekcija parazita	0.15-0.5	Žitarice i mahunarke, sveže i sušeno voće, sušena riba i meso, sveza svinjetina itd.
Odlaganje fizioloških procesa, npr. zrenja	0.5-1.0	Sveže voće i povrće
Srednje doze (1-10 kGy)		
Producetak veka trajanja	1.0-3.0	Sveža riba, jagode itd.
Odstranjanje patogenih mikroorg. i mikroorg. uzročnika kvarenja	1.0-7.0	Sveža i smrznuta morska hrana, sveza ili smrznuta živina i meso itd.
Poboljšanje tehnoloških osobina hrane	2.0-7.0	Grejpfrut (povećanje prinosa soka), sušeno povrće (redukovanje vremena kuvanja) itd.
Visoke doze (10-50 kGy)*		
Industrijska sterilizacija (u kombinaciji sa blagim zagrevanjem)	30-50	Meso, živina, morska hrana, gotova jela, sterilizovana dijetalna hrana za bolnice.
Dekontaminacija proverenih aditiva hrane i ingredijenata	10-50	Začini, enzimski preparati, prirodna guma itd.
* Dozvoljeno samo za specijalne potrebe (FAO/IAEA/WHO).		
Izvor: WHO (1988.).		

Tabela 4.2. Funkcije zračenja hrane

4.3. Nuklearni reaktori, nuklearne elektrane, nuklearno oružje

Nedugo posle otkrića prirodnih radioaktivnih elemenata: urana, polonijuma i torijuma fizičari su okrili još jednu tajnu koju je sakrivalo jezgro, a ta tajna omogućila je nastanak jednog novog sveta, omogućila je čovečanstvu da zagospodari ogromnom energijom, energijom koja je dovela do velikog napretka, ali ta ista tajna, na žalost, omogućila je i stvaranje najopasnijeg oružja na planeti.

Od vremena kada je otkrivena, nuklearna energija je pokazala da je mnogo bolji sluga nego vatra, ali je zato i mnogo opasniji gospodar. Gotovo je nemoguće zamisliti savremeni svet bez nuklearne energije, ali je više puta upravo ta energija dovela do katastrofa ogromnih razmara, nekada sa namerom, nekada slučajno. Čovečanstvo nikada neće zaboraviti posledice nuklearnih bombi bačenih u Drugom svetskom ratu na Hirošimu i Nagasaki 1945. godine, kao ni havariju nuklearne elektrane u Černobilu, Ukrajina, aprila 1986. godine. Nuklearna energija je, najverovatnije, jedan od sigurnih izvora energije u budućnosti. Njena upotreba nosi i veliki rizik, kao i veliku opasnost od zloupotrebe. Da nam, kojim slučajem, atomsko jezgro nije otkrilo svoju tajnu, sigurno bismo živeli u potpuno drugačijem svetu. Da li bi taj svet bio bolji ili lošiji nikada nećemo saznati, jedino što nam preostaje je da tajne atomskih jezgra koje smo otkrili upotrebimo na najbolji mogući način.

4.3.1. Nuklearni reaktori

Nuklearni reaktori, kojih u svetu ima nekoliko stotina, najviše u SAD-u i Rusiji, koriste se kako za dobijanje prečišćenih radioizotopa tako i za proizvodnju moćnog atomskog, hidrogenskog i neutronskog oružja.

Raspadanjem radioaktivnih elemenata veštačkim putem u nuklearnim reaktorima dobijaju se radionuklidi koji u ili na organizam čoveka mogu dospeti pri akcidentima. Oni jonizujuće deluju i ako se koriste u medicinske i druge svrhe. Takvih radionuklida ima više: radioaktivni jod se koristi za ispitivanje štitne žlezde, radioaktivni kalcijum za analizu ugradnje kalcijuma u kosti, radioaktivni fosfor za ispitivanje metabolizma fosfora, radioaktivno gvožđe za praćenje puta gvožđa u organizmu, radioaktivni ugljenik za upoznavanje raznih biohemičkih reakcija itd. Radioaktivni nuklidi služe i u terapiji raznih bolesti, pre svega malignih, jer svojim zračenjem razaraju maligne ćelije više nego zdrave.

Udesi reaktora su i teorijski i praktično neizbežni. Smatra se da svakih 20 godina dolazi do veće nuklearne havarije. I do sada ih je bilo, ali se često tretiraju kao državne tajne. Njih je bilo u svim zemljama koje poseduju reaktore, s tim što negde nije bilo posledica za okolinu zbog blagovremenih intervencija, a kod drugih je kontaminacija zahvatila velike prostore. Radnici koji rade na održavanju reaktora su posebno ugroženi od štetnih doza zračenja. [4]

4.3.2. Nuklearne elektrane

Nuklearne elektrane, uz pomoć nuklearnih reaktora, proizvode električnu energiju. Za njihov rad potrebna je velika količina vode, pa se grade, obično, u blizini reka, ispuštanjući u njih preuzetu hladnu vodu kao toplu. Prosečan vek trajanja im je preko tri decenije. Havarije u nuklearnim elektranama su opasnije od udesa nuklearnih reaktora. U našoj zemlji je, nakon Černobilske katastrofe 1986. godine, zakonski zabranjena izgradnja nuklearnih elektrana, ali to ne znači da ne postoji opasnost od mogućeg radioaktivnog zagađenja u slučaju havarija, s obzirom na to da u susednim državama postoje nuklearne elektrane (Mađarska – Pakš, udaljenost 85 km, Bugarska – Kozloduj, udaljenost 84 km, Slovenija – Krško, udaljenost 300 km).

U otpadnim produktima nuklearnih elektrana nalaze se radionuklidi kao što su:

Kobalt

Oba radioaktivna izotopa ^{58}Co i ^{60}Co nalaze se u otpadnim produktima nuklearnih elektrana. U zavisnosti od tipa reaktora oni mogu sačinjavati jednu do dve trećine ukupne aktivnosti aerosola. Vremena poluraspada su 71 dan za ^{58}Co i 5,27 godina za ^{60}Co . Taloženjem na biljkama kobaltni izotopi se mogu naći u mleku krava koje pasu u blizini elektrana. U vodenom svetu dolazi do koncentracije kobaleta. Srednje biološko vreme odstranjenja iz organizma je približno jedna sedmica. Kobaltni izotopi koncentrišu se u malim količinama u jetri, gušteraci, nadbubrežnoj žlezdi i timusu.

Hrom – 51

^{51}Cr ($T_{1/2} = 27,7$ dana) se nalazi u vodi i u vazduhu reaktora. Iz ventilacionog vazduha taloži se na biljke i na taj način dospeva u mleko i druge prehrambene proizvode životinjskog porekla. U organizmu čoveka ^{51}Cr se ne skuplja posebno ni u jednom organu i dovodi do skoro jednolikog ozračenja organizma.

Kripton

Radioaktivni izotopi plemenitog gasa kriptona su, zajedno sa radioaktivnim izotopima ksenona, najvažniji gasni otpaci u nuklearnim centralama. Zbog dugog vremena poluraspada ($T_{1/2} = 10,8$ god.), sa stanovišta zaštite ^{85}Kr predstavlja najvažniji izotop. Pošto se radi o plemenitom gasu, raspodela kriptona u atmosferi postaje s vremenom, ravnomerna iznad čitave Zemlje. Izotopi kriptona doprinose 2/3 spoljašnje doze primljene od radioaktivnog oblaka. Doza koja se dobija, zbog zračenja kriptona, spolja 100 puta je veća od doze koja se dobija udisanjem.

Antimon

Radioizotopi ^{124}Sb ($T_{1/2} = 60$ dana) i ^{125}Sb ($T_{1/2} = 2,77$ god.) se nalaze u otpadnim vodama i aerosolima nuklearnih elektrana. U organizmu čoveka, koncentrišu se posebno u jetri i u štitnoj žlezdi.

Jod

Radioaktivni izotopi joda (^{129}I , ^{131}I , ^{133}I , ^{135}I) se nalaze u otpadnim vodama i aerosolima nuklearnih elektrana. Po potencijalnoj opasnosti za čoveka najvažniji je ^{131}I ($T_{1/2} = 8$ dana). Jod se koncentriše u štitnoj žlezdi, tako da je ona izložena 1 000 puta većoj dozi nego ostatak tela. Zbog toga se, u svim slučajevima akcidentalnog ispuštanja radioaktivnog joda, preporučuje blokiranje štitne žlezde kod osoba koje bi mogle biti kontaminirane. To blokiranje se sastoji u uzimanju preparata sa neaktivnim jodom. Na taj način štitna žlezda koncentriše neaktivni jod do zasićenja i, eventualni, radioaktivni jod ne nalazi mogućnost ulaženja u štitnjaču.

Cezijum

^{134}Cs ($T_{1/2} = 2$ god.) i ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30$ god.) čine nekoliko procenata ukupne otpadne aktivnosti reaktora. U mleku i ribama dolazi do mnogostrukog obogaćenja. Posebno velike količine cezijuma se nalaze u gljivama. [3]

Plutonijum

Radioaktivni izotopi plutonijuma stvaraju se u reaktorima. U otpadnim materijama nuklearnih elektrana se nalaze u tragovima. Kada se plutonijum, prisutan u aerosolima, inhalira onda on, uz prirodni torijum, predstavlja najtoksičniji radioizotop. Deo plutonijuma koji se hranom i aerosolima unese u probavni trakt i pluća, nalazi put u krv i odatle se akumulira u kostima i

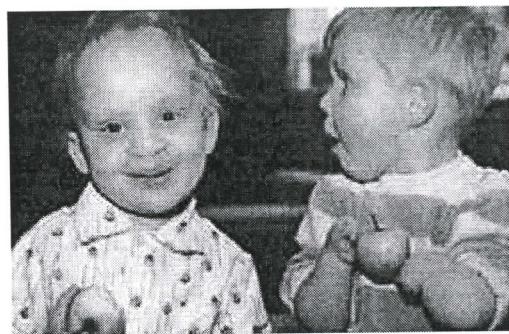
jetri. Akcidenti sa nekontrolisanim ispuštanjem plutonijuma u okolini ubrajaju se među najopasnije.

Nuklearne elektrane i reaktori mogu da zagade životnu sredinu i prilikom havarija kojih je do sada bilo nekoliko desetina, a koje se često kriju od javnosti. Najpoznatija dosadašnja havarija desila se 1986. godine prilikom kvara nuklearne elektrane u Černobilu (Ukrajina), kada je veliki deo Evrope, u mesecu aprilu, u vremenu bujne vegetacije, kontaminiran radioaktivnim izotopima koji su se raširili vazdušnim strujama, pa doprli i do Srbije, a u određenoj količini razneti su, praktično po celom svetu.

4.3.2.1. Posledice nuklearne havarije u Černobilu

Ljudske žrtve je nemoguće tačno proceniti. Podaci se kreću od par stotina (zvaničan stav SSSR-a) pa do više od 400 000, pa i milion ljudi koji imaju trajne posledice izlaganja prekomernom zračenju.

Najvećem zračenju bilo je izloženo oko 400 radnika i vatrogasaca koji su se tog jutra borili sa upaljenim reaktorom, njih 30 umrlo je istog dana (28 od posledica radioaktivnosti), a 134 osobe je umrlo kasnije od posledica radioaktivnosti. Svi ljudi, njih 116 000, koji su živeli u krugu od 30 km od mesta nesreće je evakuisano. U periodu 1990. – 1995. preseljeno je još 210 000 ljudi koji su živeli u toj oblasti. Svi oni bili su izloženi prekomernoj dozi zračenja. Oko 226 000 ljudi radilo je na dekontaminaciji oblasti njuže oblasti oko reaktora (do 30 km daljine) u periodu od 1986.-1987. godine. Još oko 400 000 ljudi je kasnije boravilo u toj oblasti i bilo izloženo velikim dozama zračenja. Ukupan broj ljudi sa posledicama nikada neće biti poznat, a ljudi se masovno neće vraćati u ovu oblast sigurno još 300 godina, a po nekim procenama ljudi tamo ne mogu da žive narednih devet vekova.



Slika 4.3. Mutacije od radijacije kod dece

Za samo par meseci nakon nesreće sagrađen je „sarkofag“ od betona, olova i čelika oko celog reaktora. Ovaj štit bio je relativno dobra zaštita od zračenja, ali to nije trajno rešenje. U planu je gradnja još jednog, novog i mnogo sigurnijeg „sarkofaga“ koji bi bio trajno rešenje problema zračenja iz ovog reaktora. Preostala tri reaktora nastavila su da rade nakon nesreće ali su iz bezbenosnih razloga zatvoreni 2000. godine. Nakon ove katastrofe svi reaktori ovog tipa pretrpeli su velike tehničke izmene da bi se sprečila mogućnost slične katastrofe. Danas je u funkciji još 13 ovakvih reaktora (11 u Rusiji i 2 u Litvaniji).

Pravi uzrok nesreće ostaće nepoznat. Da li je u pitanju greška operatera, greška u konstrukciji, oba ili nešto treće verovatno se neće nikada tačno znati. Vlada SSSR-a smatrala je da najveći deo krivice snose glavni operateri reaktora, koji tada nisu ni bili u kontrolnoj sali već su spavali u svojim domovima i koji su ostavili svoje mlade kolege da sprovedu test reaktora (koji je po pravilu trebao da se obavi tokom dana, kada je kompletan tim operatera na poslu). Međunarodna komisija smatrala je da je glavni uzrok nesreće loša konstrukcija ovog tipa reaktora.

Ko je u pravu, verovatno i nije toliko važno. Jedino je sigurno da je najveći krivac za stradanje ogromnog broja ljudi neznanje, prikrivanje i neobaveštavanje ljudi o tome šta se dogodilo.

Sem katastrofe u černobiljskoj nuklearnoj elektrani, u poslednjih 50 godina bilo je par stotina drugih incidenata o kojima šira javnost zna malo ili nimalo.

4.3.2.2. Nuklearne elektrane, planovi za budućnost



Slika 4.4. Nuklearna elektrana

Pritisnute sve višim cenama fosilnih goriva i novim naučnim dokazima o ozbiljnim posledicama globalnog zagrevanja, mnoge zemlje se ponovo okreću nuklearnoj energiji.

U narednih pet godina više od dvadeset nuklearnih elektrana trebalo bi da bude podignuto u Kanadi, Kini, nekoliko evropskih zemalja, Indiji, Iranu, Pakistanu, Rusiji i Južnoafričkoj republici. Sjedinjene Države i Velika Britanija, takodje pripremaju planove za izgradnju možda čak 15 nuklearki. Većina planiranih reaktora je starog tipa, sa vodom pod pritiskom, ali neke kompanije u Kini, Francuskoj i Južnoafričkoj republici rade na izgradnji četvrte generacije takozvanih reaktora sa "nuklearnim šljunkom", nazvanih tako jer je nuklearno gorivo u obliku oblataka, prečnika oko 6 centimetara. Umesto vode, ovi reaktori koriste za hladjenje neki inertni ili poluinertni gas - helijum, azot ili ugljenik(IV)-oksid, a za kontrolisanje nuklearne reakcije pirolitički grafit. Vreli gas ne apsorbuju radioaktivne čestice tako da može direktno da pokreće turbinu za okretanje generatora. Kada napusti turbinu vreli gas može da se koristi za razne hemijske procese, zagrevanje, pa čak i za pokretanje drugih

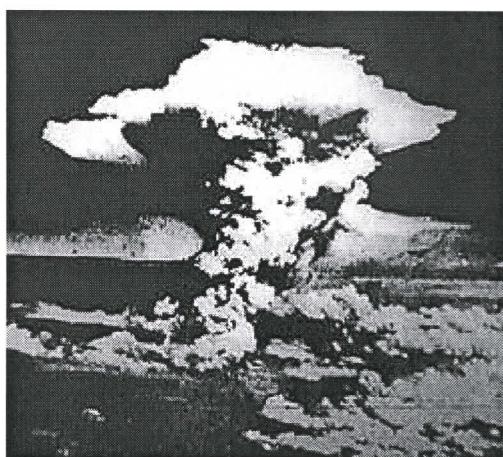
topltnih motora. Najvažnije je, međutim, to da su reaktori sa vrelim gasovima prilično bezbedni jer imaju proces koji po prirodi ne može da se otme kontroli. Kritičari, međutim, ističu da je potrošeno gorivo iz ovakvih reaktora teže skladištiti nego ono iz klasičnih. [18]

4.3.3. Nuklearno oružje

Nuklearno oružje (u kojem se koristi plutonijum ili obogaćeni uranov izotop 235) prvi put je upotrebljeno avgusta 1945. godine bacanjem američkih *atomskih bombi* na japanske gradove Hirošimu i Nagasaki, kada su oba grada zajedno sa svojim stanovništvom bila uništena-razorena, spaljena i radiološki kontaminirana.

Tada se podigao snažan stub prašine i gasova u vidu ogromne pečurke, sa delovanjem mehaničkim (vetar), topotnim (vatra) i radijacionim, što je ubilo oko 200 000 ljudi, a oko 280 000 je bilo ozračeno jače ili slabije.

Broj leukemija je u sledećih 20 godina bio povišen za 10 do 20 puta, a svako sedmo dete bilo je nenormalno. [4]



Slika 4.5. Eksplozija nuklearne bombe

Smatra se da atomska bomba (koristi fisiju) od 1 megatona (ravna bombi od milion tona klasičnog eksploziva) uništava sve objekte na prostoru od 100 km^2 , spaljuje područje u površini i do 300 km^2 , a ozrači površinu od $2\,500 \text{ km}^2$.

Od prve hidrogenske bombe (koristi fusiju, pa je atomska bomba samo njen upaljač) bačene eksperimentalno 1954. godine, još lebdi deo radioaktivnog oblaka u stratosferi i seje svoje kiše po planeti.

Danas postoji još moćnije nuklearno oružje od atomskog. To je *neutronska bomba*, koja nema mehaničkog dejstva, već ubija svojim snažnim neutronskim zračenjem sve žive organizme na terenu na koji je bečena, ali pošteđuje objekte.

Nuklearno oružje upotrebljava se i kao taktičko, u manjim oblicima, a uranijum i za presvlačenje klasičnih bombi ili projektila, kako bi im se pojačala udarna i probojna snaga.

Eksperimentima nuklearnim oružjem, što se izvodi u atmosferi, u vodi, ili pod zemljom, takođe se zagadjuje životna sredina ionizujućim zračenjem. Najopasnije su nuklearne probe u atmosferi (zapravo u stratosferi), jer radioaktivne čestice bivaju raznete putem vazdušnog omotača i vetrova na velike udaljenosti, pa padajući (radioaktivne „padavine“) na zemlju, vodu, biljke i organizme, dovode do kontaminacije, koja je spoljašnja, a ako biljke uzimaju radioaktivne elemente iz zemlje i vode, lako dolazi do unutrašnje kontaminacije čoveka (i životinja) koji biljke, odnosno životinje, koristi kao svoju hranu.

Nakon eksplozije atomske bombe radioaktivni elementi pretvaraju sve elemente atmosfere u radioaktivne izotope, koji počinju da otpuštaju alfa, beta i gama zrake. Tako nastaje sekundarna radioaktivnost, koju biljke ugrađuju u sebe kao i primarnu, pa putem lanaca ishrane prenose u čoveka i životinje.

Od primarnih radioaktivnih elemenata najvažniji je za ljude i životinje *stroncijum-90* (vreme poluraspada je 53 dana), koji se preko lanaca ishrane (biljke→čovek) nakuplja u kostima umesto kalcijuma i zračenjem ošteće koštanu srž izazivajući sarkome i leukemije.

Od sekundarnih izotopa brojan je i važan *ugljenik (^{14}C)*, koji se nalazi u svim organskim materijama, a vreme poluraspada mu je 5 560 godina.

Ukupna angažovana kolektivna efektivna doza usled zračenja od dosadašnjih nuklearnih eksplozija u atmosferi dostiže 30 000 000 čovek Sv. Samo 12 % ove vrednosti predato je do 1980. godine, a ostatak će čovek primati tokom milion godina.

Međunarodnim ugovorima zabranjeno je vršenje eksperimenata nuklearnim oružjem u vazduhu, vodi ili pod zemljom, ali sve države posednice oružja nisu te ugovore potpisale.

Ukupna snaga nuklearnog oružja bila 1977. godine tolika da je mogla uništiti 40 puta više stanovnika nego što ih je Zemlja tada imala.

Da li će čovek umeti da vlada nuklearnom snagom koja mu je data, ili će svojim nerazumom uništiti i sebe i planetu koja ga je iznedrila, ostaje na odluci samog čoveka. Moćne upaljače drže u rukama nekolicina državnika sveta i ponajviše od njih zavisi da li će moćna energija čovekovu budućnost ulepšavati ili će staviti definitivnu tačku na istoriju ljudske civilizacije.

4.4. Uticaj elektromagnetskog polja na zdravlje ljudi

Od nastanka života na Zemlji do dvadesetog veka, slaba, prirodna niskofrekventna i visokofrekventna električna i magnetna polja, pored Zemljinog statičkog magnetnog polja, su sačinjavala zemaljski elektromagnetski ambijent. Ova prirodna polja potiču iz dva izvora: Sunca i atmosferskih pražnjenja.

Međutim, od početka dvadesetog veka naša okolina sadrži različite oblike polja, kako prirodno nastalih tako i onih koje je, svojom tehnikom, proizveo čovek.

Elektromagnetna energija se koristi na različite načine, iako još njena suština nije u potpunosti poznata. Mnogi izumi sa kraja dvadesetog veka, od svakodnevnih kućnih i kancelarijskih uređaja do mobilnih telefona, su toliko važni i toliko olakšavaju stil života da se, često, postavlja pitanje kako je čovek mogao da živi bez njih. Ovi izumi su postali integralni deo modernog života. Postavlja se pitanje, da li njihovo korištenje predstavlja rizik po zdravlje čoveka.

Poslednjih godina sve više se učvršćuje mišljenje da EM polja, proizvedena na različite načine, od energetskih vodova do mobilnih telefona, izazivaju različita oboljenja, uključujući i rak. Po tom pitanju, zbog nedovoljnog znanja, još uvijek nema jedinstvenog stava. Bolji uvid u realnu situaciju ukazuje da ne treba ignorisati potencijalne opasnosti, po zdravlje, od EM polja. Primećeni su uticaji i polja veoma male jačine, što nije lako objasniti.

Tokom niza godina, izvedeno je mnogo značajnih istraživanja o ovim efektima. Istraživači sada pokušavaju da identifikuju pomenute uticaje koji mogu ugroziti zdravlje ljudi. Ovi uticaji se moraju pažljivo izučiti i to ima primarni značaj u zaštiti ljudi.

Dok, poodavno, postoje dovoljno ubedljivi dokazi da visokofrekventna elektromagnetna polja, u određenim uslovima, ispoljavaju negativne posledice po zdravlje čoveka, kada se radi o stacionarnim i niskofrekventnim poljima, industrijskih učestanosti (50 Hz, odnosno 60 Hz), još uvek nema jedinstvenog stava, ali ne sme se zapostaviti pitanje štetnih uticaja stacionarnih i niskofrekventnih EM polja na zdravlje čoveka. To pitanje je veoma aktuelno poslednjih decenija.

Uošteno, EM spektar možemo podeliti u tri široke oblasti : polja vrlo niskih frekvencija (VNF), radiofrekventno zračenje (RFZ) i nekoherentno optičko zračenje. [22]

4.4.1. Električna i magnetna polja vrlo niskih frekvencija

Po definiciji, to su polja frekvencije do 3 kHz. Na ovim frekvencijama, talasna dužina je veoma velika (6000 km za 50 Hz i 5000 km za 60 Hz). Električna i magnetna polja, u ovom opsegu, deluju nezavisno pa se tako i mene. Pošto je 6000/5000-kilometarska talasna dužina, 50/60 Hz-nog zračenja mnogo veća od relevantnih udaljenosti od izvora polja, intenzitet tzv. bliskog polja je znatno veći od tzv. polja zračenja.

VNF polja se koriste u energetskim primenama (prenos, distribucija i razne aplikacije) i za stratešku komunikaciju podmornica zaronjenih u morima. Takođe, VNF polja proizvode veoma različiti uređaji i postrojenja kako u kući tako i na radnom mestu. To su, na primer, mašine za fotokopiranje, energetski vodovi, transformatori, kućni uređaji, električni vozovi i računari.

Dakle, stanovništvo je izloženo VNF magnetnim i električnim poljima koja potiču iz mnogo izvora: prenosnih vodova koji povezuju elektrane i domove preko distributivnih vodova i

kablova koji razvode energiju do kuća, škola i radnih mesta, transformatorskih stanica, transformatora, instalacija u kućama i zgradama, prevoza i različitih električnih uređaja.

Izlaganje elektromagnetnom polju (EMP) učestanosti 50/60 Hz je sigurno najzastupljeniji vid izlaganja u stambenom i poslovnom prostoru. Čovek je okružen mnoštvom električnih uređaja koji nemonovno stvaraju EMP koje predstavlja zagađenje njegovog životnog prostora. Elektromagnetna polja učestanosti naše elektroistributivne mreže (50/60 Hz) spadaju u oblast ekstremno niskih učestanosti. Ljudski organizam ne poseduje čula koja bi mogla registrovati ova polja i zbog toga je vrlo bitno proučiti efekte ovog polja na ljudski organizam s obzirom na to da je stalno izložen dejству ovih polja u savremenom radnom i životnom okruženju. U litaturi čitav spektar tih polja koja su neželjena u nekom prostoru se naziva elektromagnetni smog. [19]

4.4.1.1. Mehanizmi interakcije organizma i elektromagnetcnog polja

Postoje 3 mehanizma interakcije organizma i EM polja koje navode UNEP/WHO/IRPA preporuke:

- Interakcije organizma sa niskofrekventnim električnim poljem
- Interakcije organizma sa niskofrekventnim magnetnim poljem
- Apsorbovanje energije elektromagnetcnog polja

Interakcije organizma sa niskofrekventnim električnim poljem nastaje kao posledica protoka električne energije kroz telo koje dovodi do polarizacije i formiranje električnih dipola. Ujedno dolazi i do preusmeravanja električnih dipola koji već postoje u tkivu. Stepen ovih promena zavisi od električnih karakteristika tela. Spoljašnje električno polje indukuje na površini tela nanelektrisanja i struju unutar tela čija raspodela zavisi od veličine i oblika tela kao i njegovog položaja u polju.

Interakcije organizma sa niskofrekventnim magnetnim poljem dovode do indukcije električnog polja i indukcije električne struje. Intenzitet indukovanih polja i gustina struje su proporcionalni veličini (obimu) organa ili tkiva, električnoj provodnosti tkiva i brzini promene magnetnog fluksa. Za datu amplitudu i frekvenciju magnetnog polja najjače električno polje će se indukovati u organima i tkivima sa najvećim obimom. Tačna putanja kretanja struje zavisiće od električne provodnosti svakog tkiva. Biološki sistemi nisu električno homogeni pa se gustina indukovane struje može izračunavati računarskim modelovanjem koristeći anatomske karakteristike tela.

4.4.1.2. Biološki aspekti štetnog delovanja EMP vrlo niskih frekvencija

Epidemiološke studije su pokazale štetne efekte EMP katodnih cevi kod žena u reproduktivnom periodu koji se ogledaju u nešto većoj incidenci spontanih abortusa. mada postoje i studije koje nisu našle ovaj vid povezanosti, kao ni povezanost sa upotrebom drugih električnih uređaja . Drugi važan segment epidemioloških studija, koje su se bavile štetnim

delovanjem EMP niskih učestanosti predstavljaju ispitivanje patogenetskog efekta za razvoj malignih oboljenja. Najveći broj istraživača se slaže sa činjenicom da EMP ima određeni uticaj na veću incidencu leukemija kod dece (izračunati rizik je 1,5-3,0 puta veći). Za ostale vidove malignih oboljenja ne postoje jedinstveni nalazi o povezanosti njihove pojave sa izlaganjem EM polju. Treba napomenuti da su efekti za pojavu leukemije dozno zavisni i da najverovatnije postoji prag reagovanja. Epidemiološki podaci kod radnika profesionalno izloženih EM polju ukazuju na nešto veći broj obolelih od leukemije i glioblastoma, a najnoviji podaci i na povezanost sa Alzheimer-ovom bolesću.

Studije koje su obavljene proteklih decenija kako in vitro tako i in vivo izučavale su ovu problematiku i navele veći broj različitih poremećaja na skoro svim organskim sistemima, posebno centralnom nervnom sistemu (CNS-u) i kardiovaskularnom sistemu. Jedna od prvih opservacija o negativnom dejstvu EM polja na ljudsko zdravlje je pojava različitih nespecifičnih simptoma: razdražljivost, neurovegetativna distonija i nesanica kod radnika izloženih EMP u elektroenergetskim postrojenjima. Medicinski aspekti štetnog delovanja elektromagnetsnog polja industrijskih učestanosti (50-60Hz) još uvek su nedovoljno poznati u domenu oksidativne modifikacije proteina i lipoproteina, kao i promenama moždanih funkcija.

Danas se naglašava da su efekti EM polja posledica direktnog oštećenja DNK i promenjene genske ekspresije. Dokazano je da EMP dovodi do kidanja jednog ili oba lanca DNK u moždanim ćelijama eksperimentalnih životinja i/ili oštećenja reparatornih mehanizama ćelije.[21]

4.4.1.3. Zaštita od EMP veoma niskih frekvencija

Biološki efekat EM polja je svaka fiziološka promena na živom organizmu, nastala dejstvom tih polja. Produceno dejstvo bioloških efekata može da dovede do trajnih oštećenja zdravlja čoveka. Biološki efekti, koji su povezani sa negativnim posledicama po zdravlje, ispitivani u laboratorijskim studijama, se dešavaju pri jačinama polja koje su znatno veće od onih jačina polja sa kojima susrećemo u normalnom okruženju. Međutim, ono što upozorava na uticaj EM polja jesu epidemiološka istraživanja koja ukazuju da EM polja imaju uticaj na žive organizme i pri vrednostima koje se susreću u svakodnevnom (normalnom) okruženju.

Epidemiološka ispitivanja su ustanovila samo vezu između VNF polja i štetnih bioloških efekata. Nedovoljno ustanovljeni mehanizmi koji dovode do tih efekata, kao i obim uticaja daju za pravo i onima koji tvrde da ne treba činiti nikakvu akciju dok se ne postignu zadovoljavajući naučni rezultati.

Nekoliko razloga koji doprinose razmišljanju zašto se ništa štetno ne bi trebalo desiti nakon izloženosti niskofrekventnim električnim i magnetnim poljima su:

- Džulova topota proizvedena u tkivu tela, usled struja indukovanih u telu niskofrekventnim poljima, je manja od 0,0001 dela sopstvene topote tela;
- Niskofrekventna polja nose pre malo energije u kvantima za razbijanje hemijske veze i molekula i time ne čine oštećenja biološkog tkiva kao ionizujuće zračenje, na primer, x-zraci;

- Električna polja proizvedena u telu spolješnjim izvorima su, obično, mnogo slabija od polja koja se javljaju prirodno unutar tela;
- Struje indukovane u telu, često, nisu jače od onih koje se indukuju kretanjem u magnetnom polju Zemlje.

Na osnovu izloženog, takođe, treba reći da je eksplisitno i rigorozno prezentovanje rezultata istraživanja po razmatranoj problematici delikatno sa dva aspekta:

1. Ne reći punu istinu o mogućim, iako malim, štetnim uticajima pojedinih vidova polja i u pojedinim situacijama bi išlo na štetu naučne istine i bilo bi, u neku ruku, obmanjivanje javnosti;
2. Rigorozno prezentovanje rezultata istraživanja imalo bi za posledicu ekonomski efekte na račun vlasnika sistema, sredstava i uređaja na koja se odnose prethodno pomenuta istraživanja.

Konkretno, ukoliko bi se donele zakonske odredbe da se svi sumnjivi slučajevi rekonstruišu ili im se nametnu dodatni vidovi zaštite to bi zahtevalo velika finansijska ulaganja. Kako stvari izgledaju, između ova dva granična slučaja, još uvek će da budu na snazi kompromisni stavovi, što uključuje:

1. precautionary principle - obazriv pristup;
 2. prudent avoidance - obazrivo izbegavanje;
 3. ALARA pristup (*as low as reasonably acceptable*) - toliko malo koliko je razumno prihvatljivo.
1. Obazriv pristup reflektuje potrebu da se preduzme neka akcija po razumnoj ceni i bez dokaza o ozbiljnim posledicama, ne čekajući rezultate naučnih istraživanja.
2. Obazrivo izbegavanje se definiše kao preuzimanje koraka da se ljudi sklone sa puteva EM polja, preusmeravajući delove EES-a i redizajnirajući uređaje i instalacije. Ova politika usmerava na preuzimanje određenih koraka za smanjenje izloženosti koji se mogu uraditi uz minimalne troškove, dok se ne utvrdi više. Ova politika, takođe, ohrabruje usvajanje pojedinačnih i društvenih navika da se izbegava nepotrebno izlaganje EM poljima.
3. ALARA je politika koja koristi minimiziranje poznatih rizika, ostvarujući izlaganje niskim koliko je to moguće, uzimajući u obzir: troškove, tehnološke povlastice, sigurnost kao i ostale socijalne i ekonomске pokazatelje.

Polja ne moraju predstavljati rizik, pa takve akcije mogu biti beskorisne. One mogu biti beskorisne čak i ako polja predstavljaju rizik. Ali, koštaju malo, ne mogu biti štetni, a mogu pomoći. [22]

4.4.2. Radotalasno i mikrotalasno zračenje

Radiotalasno i mikrotalasno zračenje su elektromagnetska zračenja frekvencijskog područja od 3kHz do 300 GHz. Obično se mikrotalasno zračenje smatra delom radiotalasnog zračenja

iako alternativna konvencija smatra radiotalasno i mikrotalasno zračenje kao dva zasebna spektralna područja. Mikrotalasi su u spektralnom području između 300 GHz i 300 MHz, dok su radiotalasi između 300 MHz i 3 kHz.

Mnogi od ovih izvora nisu pod kontrolom jer radiotalasno zračenje se ne smatra opasnim, iako opasnost postoji, u zavisnosti od frekvencije, snage izvora i vremenskog perioda izlaganja izvoru.

Za razliku od optičkog zračenja (UV, infracrveno, vidljiva svjetlost) mikrotalasno i radiotalasno zračenje prodire dublje i može delovati na unutrašnje organe.

Problemu izlaganja ljudi RF poljima može se prići ispravno, uzimajući u obzir frekvenciju, modulaciju, usmerenost i relativnu lokaciju izvora.

Eksponencijalni rast u upotrebi ličnih komunikacijskih tehnologija poslednjih godina izazvao je interes i zabrinutost zbog izlaganja relativno slabim radio-frekvencijskim (RF) radijacijama. Utjecaji radijacijskih izvora na ljudsko telo, priroda i posljice upijanja snage u ljudsko telo su vrlo važne teme koje bi se trebale analizirati. Osnovni fizikalni zakoni i efekti pomažu u popunjavanju informacione dokumentacije o izlaganju i proceni informacija izloženih u naučnim i masovnim medijima. [19]

4.4.2.1. Uticaj visokofrekventnog zračenja na zdravlje ljudi

U današnje, moderno doba, sa svih strana smo okruženi mikrotalasnim (visokofrekventnim) zračenjem iz najrazličitijih izvora (radarski sistemi, radio i TV predajnici, mobilni telefoni, itd.), pa se, logično, nameće pitanje kako i na koji način to zračenje deluje na ljude i na njihovo zdravlje.

U mnogim zemljama trenutno su u toku različita istraživanja sa ciljem da se ispita i dokaže veza između izloženosti mikrotalatom zračenju i pojave bolesti u ljudskom organizmu.

Najgrublja podela uticaja zračenja na zdravlje ljudi bila bi na **termičko i netermičko**.

Uglavnom, sva istraživanja koja se trenutno sprovode pokušavaju dokazati da mikrotalasno zračenje štetno deluje na ljudski organizam i na druge načine osim zagrevanja.

4.4.2.2. Delovanje mikrotalasa na biosisteme

Način na koji će mikrotalasno zračenje uticati na žive organizme zavisi od više faktora. Svakako da je najbitnija snaga izvora zračenja, ali veliki uticaj ima i frekvencija zračenja. Uzimajući u obzir intenzitet apsorpcije energije u ljudskom telu, EM (elektromagnetno) zračenje se može podeliti u četiri grupe:

- frekvencije od 100 kHz do 20 MHz kod kojih apsorpcija opada sa opadanjem frekvencije, a znatna apsorpcija se pojavljuje u vratu i nogama;
- frekvencije iz opsega od oko 20 MHz do 300 MHz kod kojih se relativno visoka apsorpcija javlja u čitavom telu, a pri rezonanciji i znatno viša u predelu glave;

- frekvencije iz opsega od 300 MHz do nekoliko GHz pri kojoj se javlja znatna lokalna neuniformna apsorpcija;
- frekvencije iznad 10 GHz pri kojima se apsorpcija javlja, prvenstveno, na površini tela.

Primarni i najjednostavniji štetni uticaj EM zračenja je zagrevanje.

Izloženost RF (radio-frekventnom) zračenju većem od 100 mW/cm^2 može izazvati ozbiljne ozlede ljudskog tkiva izazvane preteranim zagrevanjem. U određenim uslovima, moguće je da dođe do merljivog zagrevanja tkiva i pri zračenju koje se po svojoj vrednosti nalazi između 1 i 10 mW/cm^2 , ali to ne mora izazvati oštećenje tkiva.

Makroskopski gledano, zagrevanje EM talasima se ne razlikuje od zagrevanja bilo kojim spoljašnjim izvorom. EM zračenje uzrokuje zagrevanje u dubini tkiva i to predstavlja problem jer su receptori smešteni, prvenstveno, u površinskom tkivu. Tako se organizam zagreva, a da se to ne može osetiti. U ovom slučaju ne može doći do pokretanja aktivnih mehanizama termoregulacije jer nema informacija o temperaturi ozračenog tkiva. To znači da može doći do hipertermije biosistema pre nego u slučaju zagrevanja spoljnim izvorom toplove.

Delovanje porasta temperature na metabolizam, krvna zrnca, ponašanje, rad srca i dr., usled mikrotalasnog zračenja, identičan je delovanju zagrevanja iz bilo kojeg drugog izvora energije. To znači da postoji unutrašnja termoregulacija koja funkcioniše s ciljem da se unutrašnja temperatura održava u granicama normale.

Veliki broj istraživača pokušao je dovesti u vezu izloženost mikrotalasnom zračenju i pojavu ozbiljnih oboljenja kao što su leukemija i rak mozga. Međutim, ni jedan eksperiment nije ponovljen pod istim uslovima, a da se došlo do istih rezultata.

U poslednje vreme, pojavljuje se veliki broj studija o tome da li mikrotalasno zračenje može izazvati mutagene efekte kod ljudi ili životinja. Veći deo donosi zaključke u prilog tome da mikrotalasno zračenje ne može štetno delovati na ljudski organizam na taj način, ali postoje i one koje govore da bi se to, ipak, moglo dogoditi. Jedna od tih je studija Maes-a koja govori da zračenje ljudskih ćelija frekvencijom 954 MHz pri $1,5 \text{ W/kg}$ nije izazvalo direktno oštećenje DNK lanca, ali je povećalo broj hromozoma oštećenih hemijskim kancerogenom. [20]

4.4.2.3. Standardizacija u području mikrotalasa

Na temelju postojećih istraživanja, u pojedinim zemljama doneti su određeni standardi i preporuke. Veliki problem predstavlja to što nema jedinstvenog standarda koji bi obavezao sve zemlje sveta. Trenutna situacija je takva da se standardi razlikuju od države do države, a postoje i države koje uopšte nemaju definisane standarde za intenzitet mikrotalasnog zračenja. Zbog toga je WHO (World Health Organisation) započela istraživanje s ciljem da pokuša razviti međunarodni okvir za RF sigurnosne standarde.

Među najpoznatije i najkompetentnije institucije koje se bave određivanjem standarda i zaštitom od nejonizovanog zračenja ubraju se Američki nacionalni institut (ANSI) i ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection).

U SAD-u oстоји i organizacija NCRP (National Council on radiation protection and Measurements) koja je 1986. godine objavila svoj standard koji se samo malo razlikovao od standarda 1982 ANSI.

ANSI agencija je 1991. godine usvojila IEEE standard kao nacionalni standard i dodelila mu naziv ANSI/IEEE C95.1-1992.

Granične vrednosti za izloženost zračenju bazirane su na kriterijumu specificiranom na uslovima "specifične brzine apsorpcije" (SAR – Specific Apsorbion Rate). SAR je mera brzine kojom telo apsorbuje RF energiju. Oba standarda i ANSI/IEEE i NCRP su utemeljeni na pretpostavci da se potencijalno štetni biološki efekti mogu javiti na SAR vrednosti od 4 W/kg, uzeto u proseku na celo telo. Odgovarajući sigurnosni faktori su određeni tako da mogu zadovoljiti oba uslova i izloženost celog tela (0,4 W/kg za zračenje na radnom mestu i 0,8 W/kg za obično stanovništvo) i izloženost samo određenih delova tela (što se može pojaviti u glavi kod korisnika mobilnog telefona). ANSI standard predvidio je i vrednosti pri delimičnoj izloženosti zračenju i zahteva da lokalni SAR u svakom gramu tkiva ne sme prekoračiti 8 W/kg.

Pomenute agencije usvojile su i standarde kojima se uređuje i jačina zračenja baznih stanica i antena. Ovi standardi su izraženi u "jačini snage ravnog talasa". Za antene koje rade na frekvencijama od 1800 – 2 000 MHz, 1992 ANSI/IEEE standard o izloženosti zračenju je 1,2 mW/cm² za javna mesta, dok za frekvencije od oko 900 MHz standard iznosi 0,57 mW/cm². Standardi NCRP i ICNRP su, u ovom području, približno jednaki standardu 1992 ANSI/IEEE. Ovi standardi se odnose na srednju vrednost snage u okviru relativno kratkog vremenskog perioda. Ako se u nekom području nalazi veći broj antena, ovaj standard se odnosi na ukupnu izraženu snagu od strane svih antena.

Većina zemalja sveta definisala je svoje standarde na istim fundamentalnim osnovama na kojima su bazirani ANSI/IEEE i NCRP standardi.

Neke evropske države imaju standarde koji su stroži od onih koji se koriste u SAD-u. Na primer, u Italiji važi standard o frekvencijama na kojima rade mobilni telefoni od 0,1 mW/cm², a na mestima na kojima se očekuje izloženost zračenju duža od 4 sata dnevno ta vrednost je dodatno smanjena na 0,01 mW/cm². Lokalne regionalne administracije imaju ovlašćenja da još više umanju ove vrednosti, tako da u nekim italijanskim pokrajinama imaju granice 4 puta manje.

4.4.2.4. Zaštita od mikrotalasnog zračenja

Do sada se pouzdano zna jedino to da mikrotalasi štetno deluju na termičkoj osnovi. Uočeno je da bi mogla postojati veza između mikrotalasa i nekih negativnih bioloških i zdravstvenih pojava pa je na tu temu obavljen čitav niz eksperimenata. Neki od njih indiciraju da bi mikrotalasi mogli imati štetan uticaj na ljudski organizam i to je dovoljan razlog da se preporuči zaštita od njih.

Trenutno najbolja zaštita od mikrotalasnog zračenja je poštovanje zakona, standarda i preporuka koje se tiču ovog područja a koji su doneti s ciljem da se zaštiti stanovništvo. Budući da naučno nije dokazano da mikrotalasno zračenje deluje štetno na ljudski organizam na bilo koji način osim termički, većina standarda uzela je kao ograničavajuću 10 puta manju vrednost jačine zračenja od vrednosti za koju se smatra da bi mogla prouzrokovati termičke povrede bilo koje vrste.

V MERE ZAŠTITE OD ZRAČENJA

5.1. Zaštita od ionizujućeg zračenja

Osnovni vidovi zaštite od ionizujućeg zračenja su:

- tehnička zaštita,
- medicinska zaštita i
- vaspitno-obrazovne mere zaštite.

Nakon korišćenja uranijuma kao goriva u nuklearnim elektranama ili nuklearnim reaktorima i laboratorijama ili nakon upotrebljenih radionuklida, dobija se *nuklearni otpad*, koji dalje emanira radijaciju.

Svaka zemlja dužna je da vodi računa o bezopasnom smeštaju i čuvanju takvog otpada i to na svojoj teritoriji; iz otpada se još uvek može preradom dobiti određena količina plutonijuma, koji služi za spravljanje atomske bombe.

Nakon svega nuklearni otpad se deponuje, transportuje i odlaže na tzv. „sigurna mesta“. Čitav ovaj proces je opasan zbog mogućih akcidenata i povećane radioaktivnosti.

Nuklearni otpad iz koga je odstranjen plutonijum, u tečnom je ili čvrstom stanju i ne može se više ni za šta upotrebiti. A samo iz jedne nuklearne elektrane, sa jednim reaktorom, dobija se oko 8 tona otpada godišnje!

Krajnji otpad odlaže se u pećine ili stara rudarska okna, ili stavlja u olovnu burad i zakopava u zemlju, ili tako osiguran odlaže u buradima, krišom, na dno mora ili okeana.
Sve to, međutim, nije sigurno.

Tečni otpad ponekad iscuri, kao što se dešavalo u SAD, u državi Vašington; a zbog bacanja nuklearnog otpada u Atlanski ocean, došlo je već do povećane radioaktivnosti njegovih voda i ugroženosti flore i faune priobalnog pojasa.

Za sada nema definitivno dobrog rešenja za skladištenje nuklearnog otpada, s obzirom na to da ni jedno tehničko rešenje ne zadovoljava, a među nuklearnim otpadom ima i onog koje će zračiti i predstavljati opasnost za životnu sredinu i posle nekoliko hiljada godina!

Zbog toga pojedine zemlje pokušavaju da svoj nuklearni otpad pohrane daleko od svoje teritorije, čak i u stranim državama koje su pod njihovim protektoratom.

Za dobijanje čistog urana, inače, potrebne su ogromne količine električne energije, a zalihe urana na Zemlji su neobnovljive i ima ih, prema dosadašnjem korišćenju i procenama tek za narednih 40 do 50 godina, zbog čega su visoko razvijene industrijske zemlje zainteresovane da pod svojom kontrolom drže dosadašnja i buduća nalazišta, koristeći ne samo političke već i vojne akcije.

U zaštiti od zračenja treba znati da postoje međunarodno dogovorene maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) zračenja, odnosno aktivnost radionuklida u jedinici zapremine vode ili hrane čije unošenje uglavnom ne dovodi do nepovratnih somatskih ili genetskih oštećenja organizma ili pojedinih organa.

Sistemske mere zaštite sastoje se:

- u stalnom monitoringu-praćenju stanja radioaktivnosti zemljišta, voda, vazduha i hrane,
- u prelasku na druge vidove energije izvan nuklearne,
- na obustavi atomskih proba u vazduhu, u vodi i pod zemljom,
- u boljoj kontroli funkcionisanja postojećih nuklearnih reaktora i nuklearnih centrala,
- u iznalaženju približnog sigurnosnog smeštaja radioaktivnog otpada,
- u sveobuhvatnom obrazovanju i vaspitanju stanovništva o zračenju, i tome slično.

U ove mere spadaju i periodični pregled radnika na ugroženim radnim mestima, skraćenje njihovog radnog vremena i sklanjanje iz ugrožene radne sredine ukoliko je došlo do prekomerne ozračenosti ili oštećenja.

U rudnicima urana, gde je najjače izraženo gama zračenje, s obzirom na delovanje radijuma i gasa radona, koristi se, pored drugih mera zaštite, i zamena rudarske ekipe koja je primila maksimalnu dozu zračenja, novom ekipom.

Koriste se u radu i posebne bušilice sa mlazom vode, lična zaštitna sredstva, ali se vodi računa i o dobroj ventilaciji.

U *lokalne mere zaštite* spadaju upotreba olovnih odela, kecelja i rukavica, pri radu sa radioaktivnim materijalom, kao i kontrola radioaktivnosti pojedinih izvora (jonizacionim komorama) i ozračenosti *ličnim dozimetrima* (oblik nalivpera ili filma).

Na radna mesta sa radioaktivnim materijalima ne bi trebalo primati osobe sa malokrvnošću i drugim krvnim bolestima, osobe koje imaju problema sa štitastom žlezdom, ako imaju bilo kakav oblik maligne bolesti, tuberkulozu ili oštećenje kože ili neku drugu bolest koja se može od zračenja pogoršati (manjak spermatozoida), pa i ako su rekovalessenti.

Trudnice treba udaljiti od izvora zračenja čim se sazna za trudnoću, a treba izbegavati i radiografiju i radioskopiju kod takvih osoba. Posebno je za plod opasna rendgen-skopija u prva tri meseca trudnoće.

Dekontaminacija je važna mera zaštite od zračenja. Ona može biti potpuna ili delimična, a mere kojima se vrši jesu fizičke i hemijske.

-*Fizičke mere* su: ispiranje mlazevima vode, brisanje, četkanje, istresanje, kupanje (ljudi i stoke), usisavanje, odstojavanje, struganje itd. zavisno od objekta koji se dekontaminira.

-*Hemijske mere* su: razblaživanje, pranje deterdžentima ili sapunom, upotreba kiselina i alkalija, organskih rastvarača itd.

Dekontaminacija se vrši pored kakvog vodenog izvora (jezero, reka, bunar), a utrošena voda treba da otiče prema kontaminiranom području.

Kontaminirani materijal (i ljudi) dolazi s jedne, a nakon dekontaminacije, odlazi na drugu stranu, ne mešajući se.

Voće i povrće pre upotrebe najbolje je dobro oprati u nekoliko protočnih voda, a potom, ako je moguće, oljuštiti.

Nakon dekontaminacije neophodno je odgovarajćim aparatima ispitati preostali intenzitet zračenja.

U slučaju da se merenjem kontaminacije životne sredine (gama zračenja u vazduhu odnosno radionuklida u životnim namirnicama) oceni da postoji verovatnoća da će stanovništvo neke teritorije biti u toku nedelju dana izloženo zračenju od 30 rendgena (odnosno odgovarajućih kulona), proglašava se vanredno stanje od radiološke opasnosti.

5.2 Zaštita od zračenja u našoj zemlji

Problemi vezani za zaštitu od zračenja nalaze se u nadležnosti većeg broja ministarstava. To su resorna ministarstva za zdravstvo, industriju, poljoprivredu, zaštitu životne sredine i druga. Zakonska osnova nalazi se u "Zakonu o zaštiti od jonizujućeg zračenja" i "Zakonu o zaštiti životne sredine". Ovi zakoni su pravljeni na osnovu međunarodnih preporuka i po svojoj formi su savremeni. Međutim, nisu dovoljno usklađeni sa realnom situacijom pa su potrebne određene izmene i dopune, kao izrada novih aktuelnih akata.

Postavlja se pitanje kako ovako razuđeni sistem zaštite od zračenja funkcioniše u praksi, odnosno, da li su stanovništvo, profesionalno osoblje i životna sredina zaštićeni od mogućeg štetnog delovanja zračenja. Na žalost, veliki broj primera u bliskoj prošlosti pokazao je da sistem nije funkcionalan i da ga treba značajno izmeniti.

Ovi primeri su obrađeni u tački: Stanje zaštite od zračenja u našoj zemlji.

5.2.1. Stanje zaštite od zračenja u našoj zemlji

Za vreme udesa u Černobilu videle su se sve mane sistema zaštite od zračenja još u okviru SFRJ. Prvo, kasnilo se u reagovanju, što je veoma važno sa stanovišta uspešnosti delovanja, nisu se znale nadležnosti i obaveze pojedinih institucija, rezultati merenja su bili neusaglašeni, informisanost je bila pogrešna.

Posle toga pristupilo se dogradnji sistema zaštite.

Međutim, događaji tokom 1999. godine i NATO bombardovanja pokazali su trajne slabosti ovog sistema. To se odnosi na: mogućnost bombardovanja reaktora RA u INN Vinča i korišćenje municije sa osiromaćenim uranijumom na našoj teritoriji.

U prvom slučaju sistem zaštite nije mogao da profunkcioniše, koordinacija između institucija nije bila dobra, nadležnost saveznih, republičkih, opštinskih i gradskih organa nije bila jasna i predstavljala je smetnju. Tek pred prestanak opasnosti od bombardovanja sistem zaštite se oformio na takav način da je efikasno mogao da deluje.

Drugi slučaj odnosi se na osiromašeni uranijum. Po prestanku bombardovanja Jugoslavije problem osirumašenog uranijuma je trebao biti rešen. Za to je postojala čak i zakonska obaveza. Međutim, zbog neorganizovanosti, problem je rešavan na više mesta i to, najčešće, nekompetentno. Samo u situacijama kada se svet zainteresuje za taj problem kod nas se pristupalo nekom poslu. Posle toga, kao i sada, nema ozbiljnog rada.

Postojanje istraživačkog reaktora RA u INN Vinča, koji već preko 15 godina ne radi, takođe, pokazuje hronične probleme u oblasti zaštite. Sve vreme isluženo nuklearno gorivo nalazi se u bazenu pored reaktora, što predstavlja najveću opasnost pri eventualnom akcidentu. To je, direktno, u vezi sa gradnjom odlagališta za ovakvu vrstu otpada. Ni ovaj problem se neće rešiti dok se jasno ne definišu obaveze i odgovornosti svih činilaca u državi.

Radioaktivni gromobrani, iako je sadašnjim i prethodnim zakonom o zaštiti od zračenja naloženo njihovo skidanje, još uvek su prisutni. Dobrom organizacijom ovaj problem bi se mogao rešiti u kratkom roku.

Nerešenih primera iz oblasti zaštite od zračenja ima još. Jedno od takvih je i postojanje veće količine radijumskih igala u Institutu za onkologiju.

Stanje opreme za rendgen dijagnostiku i nuklearnu medicinu, kako sa stanovišta kvaliteta dijagnostike, tako i sa stanovišta zaštite od zračenja, je znatno ispod nivoa razvijenih zemalja. Na tim pitanjima se nedovoljno radi.

Radon je, kao izvor zračenja, veoma aktuelan u svetu. Njegov doprinos ukupnoj godišnjoj dozi ozračivanja stanovništva je, čak, oko 50 %. Ovako visok procenat se može znatno smanjiti, kako konkretnim merama zaštite, tako i regulativom. U našoj zemlji se ovom problemu nikada nije prišlo organizovano, iako postoji odgovarajući kadar i oprema raspodeljeni u više institucija.

Regulativa iz oblasti zaštite od jonizujućeg zračenja u našoj zemlji postoji. Bazira se na međunarodnim preporukama, ali nije sasvim uvažila realnu situaciju kod nas, pa često, ne obezbeđuje potrebnu zaštitu, zbog čega je potrebno njeno inoviranje.

Zaštiti od nejonizujućeg zračenja pažnja se poklanja tek zadnjih godina. Naročito je značajno pitanje zaštite od zračenja kojem je izložena velika populacija ili celokupno stanovništvo.

Zaštita od zračenja vezana za vojsku je dobro organizovana. Međutim, u poslednje vreme, zbog finansijske situacije ova oblast je sve više zapostavljena.

Ova kratka analiza pokazuje da, u oblasti zaštite od zračenja, bez obzira na postojanje obrazovanog kadra i dela opreme, postoji veliki broj nerešenih problema. Njihovo rešavanje je od interesa za celu zemlju.

Od značaja je kako kako se ovi problemi rešavaju u drugim, razvijenijim zemljama. Pošto su od primene zračenja, pored profesionalaca koji tako ostvaruju dohodak, ugroženi i stanovništvo, lokalno ili u celini, kao i životna sredina, jasno je da se radi o nacionalnom problemu koji se mora rešavati na nacionalnom nivou. Stoga, u većini zemalja, postoje nacionalni instituti ili agencije za zaštitu od zračenja koji imaju eksperte, iz različitih oblasti, potrebne za uspešan rad. Takvo rešenje najbolje i za našu zemlju. [23]

VI ZAKLJUČAK

Pod pojmom **zračenje** podrazumeva se kako ionizujuće (alfa, beta, gama,...), tako i nejonizujuće (UV, elektromagnetsko, lasersko) zračenje.

Čovek je oduvek živeo u uslovima izloženosti zračenju koje potiče iz kosmosa, sa Sunca, iz zemljišta i čak iz sopstvenog tela.

U prošlom veku ljudi su naučili da koriste zračenje u medicini, industriji i nauci. Pokazalo se da, pored velike koristi, zračenje može da predstavlja opasnost za ljude i životnu sredinu. Stoga je neophodno preuzeti odgovarajuće mere zaštite.

Oblast zaštite od zračenja se neprekidno razvijala u svetu. Postoji više značajnih međunarodnih institucija koje se bave ovom oblašću kao što su: Međunarodna komisija za radiološku zaštitu (ICRP), Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA), Naučni komitet Ujedinjenih Nacija za efekte atomskog zračenja (UNSCEAR) i Svetska zdravstvena organizacija (WHO). One su postavile savremeni koncept zaštite od zračenja koji je prihvaćen i u našoj zemlji. Sve to prati i regulativa čiju osnovu kod nas čini "Zakon o zaštiti od ionizujućeg zračenja" (Sl. List SRJ 46/96) i više pratećih podzakonskih akata.

U našoj zemlji postoji značajna primena zračenja u medicini, nauci i industriji. U odnosu na razvijene zemlje nedostaje samo primena u nuklearnoj energetici. Problemima zaštite od zračenja od zračenja bavi se više ustanova. To su, pre svega, INN Vinča i Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović". Ovim problemom bave se i druge ustanove: VMA, Vojnotehnički institut, Institut bezbednosti, Institut za primenu nuklearne energije u poljoprivredi, Institut za tehnologiju nuklearnih i mineralnih sirovina, kao i više fakulteta.

LITERATURA:

1. M. Krmar: *Osnovi nuklearne fizike*; Univerzitet u Novom Sadu, PMF
2. E. Časar: *Radijacija: doze, posledice, rizici*; Elit, Beograd, 1986. god.
3. V. Paić, G. Paić: *Osnove radijacione dozimetrije i zaštite od zračenja*; Zagreb, 1983. god.
4. S. Berber: *Ekologija*; Sombor, 2001. god.
5. Kristoforović – Ilić, Radovanović, Vajagić, Jevtić, Folić, Krnjeticin, Obrknežev: *Komunalna higijena*; Prometek, Novi Sad, 1998. god.
6. www.radiobiologija.vet.hr
7. www.zpr.fer.hr
8. www.milan.milanovic.org
9. www.if..ns.ac.yu
10. www.planeta.org.yu
11. www.zzzpgz.hr
12. www.radteh.org.yu
13. www.mojdoktor.hr
14. www.viva-fizika.org
15. www.info-medcial.cg.yu
16. www.consumer.org.yu
17. www.well.org.yu
18. www.voanews.com
19. www.egronomija.zpm.fer.hr
20. www.pregled.com
21. www.medfak.ni.ac.yu
22. www.etfbl.net
23. www.jdzzz.org.yu



BIOGRAFIJA

Mirjana Đukić je rođena 19. 4. 1968. godine u Loznicama. Osnovnu školu je završila u Lešnici, a srednju školu u Šapcu. Pedagošku akademiju završila je 1990. godine u Sarajevu. Kao nastavnik matematike i fizike zaposlena je u osnovnoj školi "Sveti Sava" u Lipničkom Šoru.



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa:

Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsta rada:

Diplomski rad

VR

Autor:

Mirjana Đukić

AU

Mentor:

Dr Nataša Todorović

MN

Naslov rada:

Prirodni i tehnički izvori zračenja

NR

Jezik publikacije:

srpski (latinica)

JP

Jezik izvoda:

srpski/engleski

JI

Zemlja publikovanja:

Srbija i Crna Gora

ZP

Uže geografsko područje:

Vojvodina

UGP

Godina:

2007.

GO

Izdavač:

Autorski reprint

IZ

Mesto i adresa:

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

MA

Fizički opis rada:

6/52/27/4/11/0/0/

FO

Naučna oblast:

Fizika

NO

Naučna disciplina:

Zaštita životne sredine

ND

Predmetna odrednica/ ključne reči:

Radioaktivnost, izvori zračenja, ionizujuće zračenje, nejonizujuće zračenje, doze zračenja, zaštita

PO

UDK

Čuva se:

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

ČU

Važna napomena:

VN

Izvod:

Otkriće ionizujućeg zračenja. Doze zračenja. Prirodni i tehnički izvori zračenja. Uticaj ionizujućeg i nejonizujućeg zračenja na zdravlje čoveka. Zaštita od zračenja.

IZ

Datum prihvatanja teme od NN veća:

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik:

Prof. dr Radomir Kobilarov

član:

Prof. dr Miodrag Krmar

član:

Doc. dr Nataša Todorović

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

DT

Type of record:

TR

Content code:

CC

Author:

AU

Mentor/comentor:

MN

Title:

TI

Language of text:

LT

Language of abstract:

LA

Country of publication:

CP

Locality of publication:

LP

Publication year:

PY

Publisher:

PU

Publication place:

PP

Physical description:

PD

Scientific field:

SF

Scientific discipline:

SD

Subject/ Key words:

SKW

UC

Holding data:

HD

Note:

N

Abstract:

AB

Monograph publication

Textual printed material

Final paper

Mirjana Đukić

PhD Nataša Todorović

Natural and technical sources of radiation

Serbian (Latin)

English

Serbia and Montenegro

Vojvodina

2007.

Author's reprint

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

6/52/27/4/11/0/0

Physics

Environment protection

Radiation, sources of radiation, ion radiation, un ion radiation, radiation doses, protection.

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

Discovery of ion radiation. Radiation doses. Natural and technical sources of radiation, Radiation influence to human health. Protection from radiation.

Accepted by the Scientific Board:

ASB

Defended on:

DE

Thesis defend board:

DB

President: PhD Radomir Kobilarov, full professor

Member: PhD Miodrag Krmar, full professor

Member: PhD Nataša Todorović, assistant professor