Javnozdravstvene posljedice u zagrebačkom području u slučaju nuklearne katastrofe

Mrak, Maksimilijan

Master's thesis / Diplomski rad

2014

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, School of Medicine / Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:105:231662

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Dr Med - University of Zagreb School of Medicine Digital Repository

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
MEDICINSKI FAKULTET

Maksimilijan Mrak

Javnozdravstvene posljedice na zagrebačkom području u slučaju nuklearne katastrofe

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2014.

Ovaj diplomski rad izrađen je na Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Škola narodnog zdravlja „Andrija Štampar“, Katedra za zdravstvenu ekologiju i medicinu rada, pod vodstvom doc. dr. sc. Iskre Alexandre Nole i predan je na ocjenu u akademskoj godini 2013/2014.

Sadržaj

Sažetak

Summary

Popis kratica

1.Uvod 1

1.1 Neionizirajuće zračenje 6

1.2 Ionizirajuće zračenje 8

1.2.1 Elektromagnetsko zračenje 8

1.2.2 Čestično zračenje 10

1.3 Nuklearni raspad i radioaktivnost 13

1.4 Utjecaj radioaktivnog zračenja na ljudski organizam 17

2. Nuklearne katastrofe i posljedice 23

2.1 Hiroshima 23

2.2 Nagasaki 25

2.3 Chernobyl 26

2.4 Fukushima Daiichi 27

3. Zagreb i okolica i nuklearna katastrofa 29

3.1 Izvori nuklearnog zračenja 29

3.2 Mjere sprječavanja nuklearne katastrofe 30

3.3 Protokoli postupanja u slučaju nuklearne katastrofe 33

4. Javnozdravstvene posljedice u slučaju nuklearne katastrofe 40

4.1 Javno zdravstvo i javnozdravstveni djelatnici 41

4.2 Javno zdravstvene posljedice i prevencija 42

5. Zaključak 47

6. Zahvale 48

7. Literatura 49

8. Životopis 51

Sažetak

Javnozdravstvene posljedice na zagrebačkom području u slučaju nuklearne katastrofe

Maksimilijan Mrak

Od svoga početka čovjek konstantno traga za načinima da olakša i unaprijedi svoj život. Električna energija je u današnje doba jedan od najvažnijih izuma bez kojeg bismo teško zamislili svoje postojanje. Kao ekološki čist izvor električne energije koji je u mogućnosti opskrbljivati veliku količinu ljudi koristimo nuklearnu energiju. Usprkos svojih brojnih pozitivnih strana nuklearna energija je tokom povijesti pokazala i svoje ružno lice koje ostavlja smrt i patnju ukoliko se njome ne rukuje kako treba.

Katastrofe su svaki prirodni ili tehničko-tehnološki događaj koji može ugroziti zdravlje i živote većeg broja ljudi, imovinu veće vrijednosti ili okoliš. Nuklearne katastrofe su upravo takvi događaji uzrokovani propustima u kontroli nuklearne energije. Da bi se vjerojatnost takvih katastrofa smanjila na što manju moguću razinu, razvijeni su brojni sigurnosni mehanizmi i protokoli kojima se priječi nastanak katastrofe ili ublažavaju posljedice njezina djelovanja. Javno zdravstveni djelatnici čine važnu kariku u svemu tome. Svojim djelovanjem i znanjem smanjuju paniku među stanovništvom, pokušavaju spriječiti akutne i kronične posljedice štetnog zračenja .

Grad Zagreb je sa svojom okolicom milijunski grad koji na svega 30 km zračne linije ima važan izvor električne energije NE Krško. Iako se dosad pokazala kao sigurna, NE Krško ipak može predstavljat veliki problem ukoliko dođe do greške u njenom radu.

Ključne riječi: nuklearne katastrofe, zagrebačko područje, zdravstveni djelatnici

Summary

Public health consequences in Zagreb area in case of a nuclear disaster

Maksimilijan Mrak

Since his beginning human being is constantly searching for ways to ease and upgrade his life. Nowadays electric energy is one of the most important inventions without which our life would be hard to imagine. Nuclear energy is one of the cleanest ways to make electricity accessible to masses. Despite its benefits, throughout history it showed its dark side, especially if it was not handled properly.

Catastrophes are natural or technological events that can endanger lives, health, belongings or environment. To prevent negative effects of nuclear accidents many safety mechanisms and protocols were constructed to minimize consequences of such event. public health professionals have important role as part of this protocols. Using its knowledge they try to treat acute and chronic effects of radiation.

City of Zagreb with its suburbs has over one million people. It is only 30 km away from nearest nuclear power plant NE Krško. Although it worked flawlessly, NE Krško could be a serious problem for people of Zagreb if something goes wrong with it.

Key words: nuclear catastrophes, Zagreb area, public health professionals

Popis kratica

IARC - International Agency for Research

RBD - Relativna biološka djelotvornost

LPE - Linearni Prijenos Energije

ABCC - Atomic Bomb Casualty Commission

IAEA - International Atomic Energy Agency

UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development

SOP - Standardni Operativni Postupak

HZJZ - Hrvatski zavod za javno zdravstvo

SPUNN – Sustav Pravodobnog Upozoravanja na Nuklearnu Nesreću

ANS- American Nuclear Society

1. UVOD

"What we know is a drop, what we don't know is an ocean."

Isaac Newton

Zračenje je svuda oko nas i prisutno je u našem svijetu mnogo duže nego što bi itko mislio. Iako se o nastanku svemira i svijeta kakvog poznajemo vode brojne polemike, oko jedne se teorije ipak većina složila. To je teorija „Velikog praska" ili Big bang theory.

Naime prije gotovo 13.798 ± 0.037 bilijuna godina, svemir je bio golemi izvor energije, velike temperature i gustoće koji se počeo naglo širiti. Samim svojim širenjem započelo je hlađenje istog što je stvorilo temelje za stvaranje subatomskih čestica, nužnih za nastanak ostalih većih čestica. Smatra se da su tada nastale goleme količine atoma vodika, helija i litija. Svojim daljnjim širenjem, nastajale su i druge čestice, atomi te zračenje koje je i dan danas prisutno i širi se tim beskonačnim prostranstvom (Peeble 2009).

Brojni su znanstvenici pokušali dokazati postojanje zračenja. Nakon velikog broja godina bezuspješnog opisivanja zračenja, prva osoba kojoj je to uspjelo bio je njemački fizičar Max Planck. On je postavio hipotezu kvanta energije.

Planckova teorija je te pojave zamislila kao „paketiće" energije. Ukupna energija E je zbroj svih tih kvanta ΔE koji su sudjelovali u prijenosu. Ta energija je razmjerna frekvenciji zračenje te iz svega proizlazi formula

$$\mathbf{E = h * f}$$

Daljnjim je istraživanjima uspostavljeno da je vrijednost h u Planckovoj teoriji prirodna konstanta za sva zračenja u cijelom materijalnom svijetu i naziva se Planckovom konstantom i iznosi:

$$\mathbf{h=6{,}6260693\ X\ 10^{-34}\ J\ s.}$$

Drugi fizičar koji je svojim radom zaslužan za naše razumijevanje zračenja bio je Albert Einstein. Primjenjujući Planckovu teoriju o paketićima energija (kvantovima) uspio je opisati fotoučinak. Odnosno, uspio je objasniti izbijanje elektrona prilikom obasjavanja metala zračenjem. Ono što se do tada znalo jeste da se taj efekt zbiva pri većim frekvencijama i pri jačim izvorima energije. Einstein je koristeći kvantnu teoriju, svaki taj kvant svjetlosti nazvao fotonom. Prema njegovoj teoriji bi svaki kvant svjetlosti (foton) izbio po jedan elektron iz kovine, uz pretpostavku „jedan na jedan“. Energija fotona se iskoristi za rad W za izdvajanje elektrona iz kovine (Cutnell 2003).

$$\mathbf{H * f = W + \frac{mv2}{2}}$$

Važan za opis i utjecaj zračenja je i Niels Bohr. On je prvi opisao građu najjednostavnijeg atoma, atoma vodika. Koristeći se planetarnim modelom, pretpostavio je da elektroni u elektronskom omotaču kruže po unaprijed određenim stazama i da tada ne gube energiju. Isto tako pretpostavio je da elektroni mogu prijeći samo u neke druge određene staze.

Daljnjim radom, postavio je dvije zakonitosti koje se nazivaju Bohrovi postulati.

1. postulat: Atomi se mogu nalaziti samo u određenim kvantnim stanjima. Svako takvo stanje je prikazano energijom i stazom po kojoj elektron kruži.

2. postulat: Atom se sam od sebe nalazi u kvantnom stanju najniže energije, ili stabilnom stanju. Kada se atomu dovede energija koja je dovoljno velika, on može prijeći u više kvantno

stanje odnosno u stanje više energije. Iz tog se pobuđenog stanja, atom vrlo brzo vraća u prethodno stanje, stanje niže energije. Pritom se, pri povratku u početno stanje, višak energije odašilje kao foton, odnosno kvant elektromagnetskog zračenja (Jakobović 2007).

Daljnjim proučavanjima shvatilo se da staze kojima elektroni kruže nisu staze doslovce već one čine najveću vjerojatnost da se elektron tamo nalazi u nekom trenutku te se danas koristi termin elektronski oblak. Zbog lakoće tumačenja danas se najčešće koristimo upravo Bohrovim modelom atoma kako za građu atoma tako i za pojavu zračenja te su njegovim učenjem stvoreni modeli mnogih složenijih atoma i molekula.

Atomi mnogih kemijskih elemenata su stabilni i električno neutralni. To znači da u sebi sadrže jednak broj protona u jezgri te jednak broj elektrona u elektronskom omotaču. Kemijska i električna svojstva kemijskih elemenata upravo ovise u broju elektrona u elektronskom omotaču. Elektroni putuju ljuskama. Svaka se ljuska sastoji od točno određenog broja elektrona koji iznosi $2n^2$, gdje n označava najniži broj ljuske. Prema tome broj elektrona se jednostavno matematički računa, u prvoj ljusci do 2, u drugoj do 8, itd. Samo energijsko stanje elektrona određeno je ovisno o tome u kojoj se stazi nalazi i ono ovisi o četiri kvantna broja (Jakobović 2007):

1. Prvi ili glavni kvantni broj - redni je broj ljuske
2. Sporedni ili orbitalni kvantni broje - karakterizira podljuske
3. Magnetski kvantni broj m - karakterizira prostorni položaj ravnine staze
4. Spinski broj - vlastiti zakretni moment elektrona.

Raspored elektrona u podljuskama je striktno određen te elektroni ne mogu prelaziti iz jednog stanja u drugo bilo kako, nego samo nekim određenim prijelazima. Za građu atoma osim njegove ljuske potrebno je opisati i njegovu atomsku jezgru te sile koje djeluju u njoj, a koje su dosta drugačije od onih izvan jezgre. Sama jezgra građena je od protona i neutrona,

koji su smješteni u prostoru koji je desetke tisuća puta manji od same veličine atoma i nezamislivo velike gustoće. U periodnom sustavu elemenata dvije vrijednosti su prikazane, naravno uz nemali broj ostalih, koji prikazuju osnovnu građu atoma. To su maseni broj A i atomski broj Z. Nukleone na okupu održavaju nuklearne sile. To su sile koje djeluju na malim udaljenostima, ali su vrlo velike, znatno veće od odbojnih električnih sila između protona. I jezgra se kao i omotač nalazi u kvantiziranim električnim stanjima određenim:

1. Energijom
2. Momentom vrtnje
3. Magnetskim momentom
4. Spinom.

Sama masa jezgre nešto je manja od zbroja masa nukleona koji je izgrađuju. Razliku između izračunate i izmjerene mase čini defekt mase. Taj defekt ima energijski ekvivalent koji prema Einsteinovoj jednadžbi iznosi $E=\Delta mc^2$. On je utrošen na energiju veze nukleona u jezgri. A prosječna energija veze mjera je stabilnosti atomske jezgre (Cutnell 2003).

Za odvajanje nekog nukleona iz jezgre potrebno je uložiti energiju koja je najmanje jednaka prosječnoj energiji veze po nukleonu.

Upravo se dio te energije veze oslobađa u nuklearnim reakcijama kao nuklearna energija, i to na dva načina:

1. Nuklearnom fisijom
2. Nuklearnom fuzijom

Na kraju, ali nikako najmanje važnu osobu, treba spomenuti i Louisa Victora de Brogliea. On je pokušao promjene koje se zbivaju u mikrosvijetu primijeniti na makro svijet. Tako je proučavao pojavu titranja žice glazbala. Putem niza matematičkih izračuna, opet koristeći se

formulama Maxa Plancka i Alberta Einsteina izveo je de Broglievu jenadžbu:

$$\mathbf{h = P * \lambda}$$

Čime nam je dokazao da se pojave u mikrosvijetu jednom pokazuju kao čestice, a jednom kao valovi. Stoga je razrađena valna mehanika čime su zapravo napuštene predodžbe atoma, u obliku staza i ljusaka.

Iz svega prethodno prikazanoga vidljivo je da je zračenje prirodna pojava kojom se energija prenosi kroz prostor u obliku elektromagnetnih valova. Osnovna podjela zračenja uključuje (Jakobović 2007):

1. Neionizirajuća zračenja

2. Ionizirajuća zračenja.

1.1. Neionizirajuće zračenje

U neionizirajuća zračenja spadaju ona koja nemaju dovoljnu veliku kvantnu energiju za ionizaciju atoma ili molekula, to jest da pomaknu elektron iz atoma. Prilikom prolaska kroz tvar njihova je energija dovoljno velika za pobuđivanje elektrona odnosno za njegov prelazak u viši energijski nivo te na eventualnu rotaciju i vibraciju atoma. To uglavnom uzrokuje termalni efekt. Nedavna istraživanja provedena od strane International Agency for Research on Cancer (IARC) pokazuju da radiofrekventna elektromagnetska polja mogu biti karcinogena za čovjeka. Biološki efekt neionizirajućeg zračenja ovisi o valnoj duljini i frekvenciji zraka. Pod fototerapijom se podrazumijeva korištenje infracrvenih i ultraljubičastih zraka u svrhu liječenja. Osnovni učinak temelji se na zagrijavanju kože. Potkožno masno tkivo djeluje kao izolator prijenosa topline i toplinska barijera svim

površinskim toplinskim postupcima. Infracrvene zrake svoj učinak temelje na aktivnoj kutanoj vazodilataciji kapilara zbog direktne stimulacije toplinom. Koristi se za liječenje kronične boli, hipertonusa mišića te površinskih promjena kože (Cutnell 2003).

Ultravioletne zrake (UV zrake) koje se nalaze u rasponu od 280 nm do 400 nm imaju dovoljno veliku energiju da izazovu disocijaciju atoma te kemijske reakcije, oštećenje DNK i karcinome kože. UV zrake koriste se u dermatologiji za liječenje širokog spektra kožnih bolesti i deficita vitamina D. Dugotrajno UV zrakama izlaganje povećava rizik od nastanka karcinoma jer stvara dimere pirimidina na mjestima gdje su dva pirimidina jedan do drugoga te se time narušava helikalna struktura (Harekić i Koren 1997).

Tablica 1. Tipovi neionizirajućeg zračenja i njihov biološki učinak

	IZVOR	VALNA DULJINA	FREKVENCIJA	BIOLOŠKI UČINAK
UVA	Sunce	318 – 400 nm	750 – 950 THz	Kožni eritem, kožna pigmentacija, fotokemijska katarakta
Vidljiva svjetlost	Sunce, LED žarulje, laseri, obične žarulje	400 – 780 nm	215 – 385 THz	Starenje kože, fotokemijska i termička ozljeda mrežnice
Infracrvena svjetlost- A	Sunce, toplinsko zračenje, laseri, daljinski upravljači	780 nm – 1.4μm	215 – 385 THz	Toplinska katarakta, toplinska ozljeda mrežnice, opekline kože
Infracrvena svjetlost B	Sunce, toplinsko zračenje, laseri	1.4 μm - 3μm	100 – 215 THz	Ozljede rožnice, katarakta, opekline kože
Infracrvena svjetlost C	Sunce, toplinsko zračenje, laseri	3μm – 1 mm	300 GHz – 100 THz	Ozljede rožnice, katarakta, zagrijavanje površine tijela
Mikrovalna	Mikrovalne peći, bežični telefoni, detektori pokreta, radari, Wi-Fi	1mm – 3cm	100 KHz – 1GHz	Zagrijavanje tkiva te potencijalni karcinogen

1.2. Ionizirajuće zračenje

Kao posljedica promjena u mikrosvijetu, promjene energijskih stanja atoma ili njegovog elektronskog omotača odašilju se fotoni odnosno elementarne čestice. Te čestice djeluju s tvari i stvaraju dosta složena međudjelovanja. Naime te čestice predaju svoju energiju samoj tvar odnosno ioniziraju ju. Posljedice mogu biti i za okoliš i za čovjeka korisne ili štetne. Osnovna podjela ionizirajućeg zračenja (Jakobović 2007):

1. elektromagnetsko
2. čestično.

1.2.1. Elektromagnetsko ili fotonsko zračenje

Elektromagnetsko ili fotonsko zračenje u suštini čini broj veoma brzih fotona. U tu vrstu zračenja svrstavamo rendgensko i gama zračenje.

Elektromagnetsko zračenje nastaje prilikom prelaska elektrona iz jedne elektronske razine u drugu ili prilikom naglog kočenja elektrona. Ovisno o tome da li je prelazak elektrona spontan ili pobuđen fotonima jednake energije govorimo o spontanom odnosno potaknutom odašiljanju fotona. Osnovne značajke elektromagnetskog zračenja su: brzina rasprostiranja, frekvencija, valna duljina te energija fotona.

Brzina rasprostiranja - jako je slična brzini svjetlosti. U zrakopraznome prostoru iznosi C_0=2,99792458 X 10^8 m/s.

Frekvencija - omjer broja promjena N u vremenskom okviru T. Mjerna jedinica je hertz (Hz).

Valna duljina - omjer brzine rasprostiranja c u nekom sredstvu i frekvencije f zračenja. Mjerna jedinica je metar, odnosno njene decimalne jedinice.

$$\boldsymbol{\lambda = \frac{c}{f}}$$

Energija fotona (E) - ovisi o frekvenciji i dana je Planckovom jednadžbom

$$\mathbf{E = h * f}$$

Mjerna jedinica je džul (J), ali upotrebljava se iznimno dopuštena mjerna jedinica elektronvolt (eV), vrijednosti 1eV=1,60217653 X 10^{-19} J (Cutnell 2003).

Rendgensko zračenje

Za otkriće rendgenskog zračenja zaslužan je Wilhelm Conrad Rontgen, njemački fizičar koji je 1895 otkrio X-zrake. To su zrake valne duljine 10^{-10} do 10^{-13}m. Ovo zračenje nastaje kao posljedica bombardiranja mete ubrzanim elektronima te ima dvije komponente zakočno i karakteristično zračenje (Jakobović 2007).

Gama zračenje

Svi valovi čija je valna duljina manja od 10^{-13} m pripadaju ovoj vrsti zračenja. Osim valne duljina karakteristika je ovog zračenja i energija njegovih fotona koja iznosi nekoliko keV. Ovo zračenje nastaje na nekoliko načina, a to su energetski prijelazi nestabilnih atomskih jezgara, anihilacija čestica[1] te usporavanje vrlo brzih čestica. Ovakva se vrsta zračenja može naći prilikom procesa u svemiru (Jakobović 2007).

[1] Anihilacija čestica- „totalno uništenje“, proces koji nastaje prilikom sudara čestice i njene antičestice.

1.2.2 Čestično zračenje

Čestično se zračenje naziva još i korpuskularnim[2]. Glavne značajke čestičnog zračenja kojima se ono opisuje su: brzina čestica, masa čestica, veličina gibanja, električni naboj i energija čestice.

Brzina čestica - iako imaju jako veliku brzinu samo elektroni mogu doseći brzinu koja je bliska brzini svjetlosti.

Masa čestice (m) - značajno ovisi o brzini i veća je u gibanju nego u mirovanju. Sama masa čestice se računa prema Einsteinovoj relativističkoj relaciji

$$\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{m0}} = \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{\mathbf{1} - (\frac{\mathbf{v}}{\mathbf{c}})^{\mathbf{2}}}}$$

Veličina gibanja (p) – ili impuls, umnožak je mase (m) i brzine (v) čestice. Mjerna jedinica je kilogrammetar u sekundi odnosno Ns.

$$\mathbf{p} = \mathbf{m} * \mathbf{v}$$

Energija čestice u gibanju – je njezina kinetička energija Mjerna jedinica se izražava u džulima (J), odnosno elektronvoltima (eV)

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{mv^2}}{\mathbf{2}}.$$

Električni naboj - svojstvo koje imaju sve čestice osim neutrona. Može biti pozitivan ili negativan i uvijek je cjeloviti višekratnik elementarnog naboja e.

[2] Lat.corpusculum- tjelešce, čest

Ovisno o samim česticama razlikujemo α- zračenje, β- zračenje, protonsko zračenje, neutronsko zračenje (Jakobović 2007).

Alfa zračenje

Zračenje koje se sastoji od dva protona i dva neutrona. Energija takvog zračenja mjeri se u MeV. Naboj mu je +2*e*. Takvo zračenje se prirodno nalazi u svemiru gdje se može detektirati u još većim energetskim vrijednostima, ali se može dobiti i umjetnim putem korištenjem akceleratora. Ovakvo zračenje iako zbog svoje velike energije jako ionizira tvari ima jako malen doseg od svega nekoliko centimetara (Jakobović 2007).

Beta zračenje

Roj je β čestica, odnosno elektrona koje izbacuju nestabilne atomske jezgre. Ono se sastoji od pozitrona kojima su brzine do 0.9 brzine svjetlosti. Energijski spektar takvog zračenja je kontinuiran od maksimalnog moguće energije pa do nule. Takva vrsta zračenja se može umjetnim putem stvoriti u uređajima koji se nazivaju Betatroni (Jakobović 2007).

Elektronsko zračenje

Ono se sastoji od brzih elektrona koji nastaju njihovim izbacivanje iz elektronskog omotača ili ubrzavanjem elektrona u akcelertoru. Po prirodi to zračenje je β^- zračenje i nastaje u istim uređajima Betatronima kao i obično β zračenje (Jakobović 2007).

Neutronsko zračenje

Velika je količina brzih neutrona, čestica čija je masa u mirovanju jednaka masi protona, ali su bez električnog naboja. Sam po sebi neutron je veoma nestabilna čestica koja se nakon 10^{-13} sekundi raspada na proton, elektron i antineutrino. Međudjelovanja protona i neutrona odnosno neutrona i elektrona nema. Ovo je zračenje veoma važno jer je temelj rada nuklearnih reaktora u procesima nuklearne fisije jezgara. Energija takvog zračenje iznosi 10 MeV (Jakobović 2007).

1.2. Nuklearni raspad i radioaktivnost

Radioaktivnost je pojava koja nastaje prilikom raspadanja nestabilnih atomskih jezgara odnosno nuklida. Očituje se u obliku brzih čestica ili fotona visoke energije. Ovisno o načinu nastanka razlikujemo prirodnu i umjetnu radioaktivnost. Ipak, neovisno o porijeklu nuklidi svojim raspadanjem prelaze u druge nuklide koji mogu biti stabilni ili nestabilni. Prilikom svoga raspada radionuklidi također oslobađaju emisiju čestica (alfa, beta, gama, protone,...) ili fotone, a u nekim slučajevima dolazi do nuklearne fisije, odnosno raspada jezgre na dvije manje jezgre različitih masa (Cutnell 2003).

Alfa raspad se očituje oslobađanjem velikih količina alfa čestica pri čemu novonastali nuklid ima dva protona i dva neutrona manje.

Beta raspad je praćen emisijom beta čestica (elektroni ili pozitroni) iz radionuklida, pri čemu se novonastalom nuklidu masa gotovo ne mijenja, ali mu se mijenja atomski broj. Ovisno o tome imamo li β^+ ili β^- raspad nastaju nuklidi sa atomskim brojem većim ili manjim za 1. Isto tako ovisno o vrsti raspada oslobađa se i neutrino i antineutrino. Inače oni su čestice čija je masa 10 000 puta manja od mase elektrona.

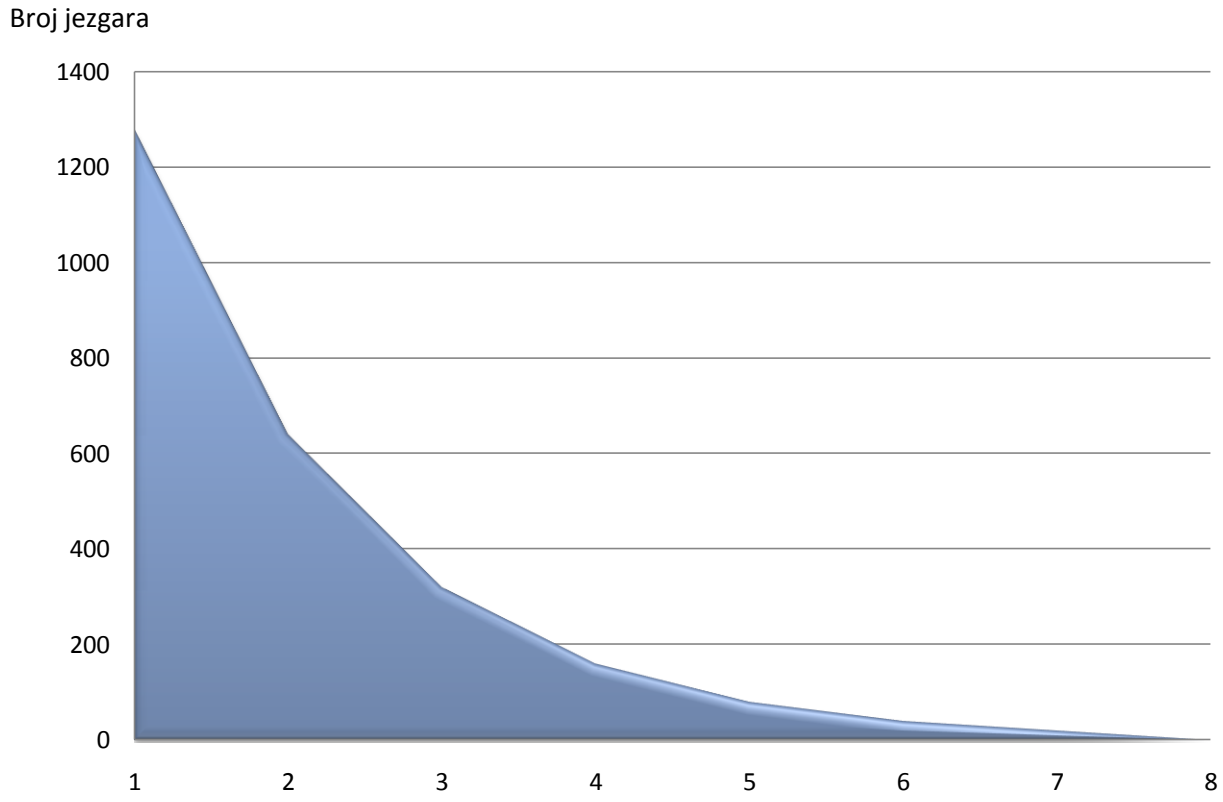
Gama raspad je popraćen emisijom gama-fotona iz radionuklida, pri čemu se ne mijenja niti masa nuklida niti njegov atomski broj, ali se mijenja energijsko stanje. Pri alfa i beta raspadu se oslobađa i često i gama zračenje, a dio se energije prenese u okolinu drugim oblicima kao što su kinetička energija emitiranih čestica, toplina, i druge (Cutnell 2003).

Kada govorimo o radioaktivnom raspadanju važno je naglasiti da postoji Zakon radioaktivnog raspadanja. On kaže da je samo raspadanje radionuklida slučajni proces bio on stabilan ili nestabilan te nastao prirodnim ili umjetnim putem. To je prirodna pojava na koju

se ne može utjecati temperaturom, električnom strujom, tlakom, magnetskim ili gravitacijskim poljima. Međutim kod neke se vrste radionuklida, statistički u nekom vremenskom intervalu uvijek raspadne sasvim određen broj od početnog broja jezgara (Slika 1). Taj je broj karakterističan zasvaku određenu tvar. Formula za takav raspad se iskazuje

$$\mathbf{\Delta N = -\lambda N_0 * \Delta T}$$

Gdje λ označava konstantu raspadanja odnosno brzinu raspadanja te tvari. Mjerna jedinica je recipročna sekunda. Recipročna vrijednost konstante raspadanja označava konstantu raspadanja odnosno brzinu raspadanja te tvari. Recipročna vrijednost konstante raspadanja je $\tau=1/\lambda$ i naziva se srednje vrijeme života. Ono dakle označava vrijeme koje je potrebno da se početni broj jezgara smanji na $N=N_0/e$, gdje je e osnova prirodnih logaritama. Takva pojava u kojoj se raspada samo određeni dio nekog skupa, a preostaje također neki određeni dio, nema kraja, odnosno ima ali tek kroz duže vrijeme (Cutnell 2003).



Slika 1. Grafički prikaz raspada nekog radioaktivnog materijala X

Zbog toga što se ne može izračunati vrijeme potrebno da se raspadnu sve jezgre, najčešće se koristi vrijeme potrebno da početni broj jezgara smanji na polovicu. To se vrijeme naziva vrijeme poluraspada. Ono se označava sa $T_{1/2}$ i iznosi

$$\mathbf{T_{\frac{1}{2}}} = \frac{\mathbf{0,693}}{\boldsymbol{\lambda}}$$

Postoje dvije vrste radioaktivnosti: prirodna i umjetna (Cutnell 2003).

Prirodna radioaktivnost je posljedica raspadanja prirodno nestabilnih radionuklida. Danas ih postoji otprilike 60-ak i potječu još od postanka svijeta te ih nazivamo praradionuklidima. Oni se raspadaju α, β, γ raspadom. Postoje četiri niza radioaktivnih pretvorbi, torijev, neptunijev, uranijev i aktinijev niz. Svaki niz završava jednim od stabilnih izotopa olova. Vremena raspada tih spojeva su veoma različita i iznose od 0.00016 s pa sve do 2,2 x 10^{24}godina što u usporedbi s nastankom Zemlje pokazuje kako su neki od tih spojeva ovdje prisutni od njezina nastanka. Najdulje vrijeme poluraspada ima ^{128}T, i njegovo vrijeme poluraspada iznosi 2,2 x 10^{24} godina (Cutnell 2003).

Umjetna radioktivnost je posljedica nestabilnosti nekih umjetno stvorenih radionuklida, naziva se još i pobuđenom odnosno potaknutom radioaktivnošću. Nastaje kad se stabilnom nuklidu poremeti omjer protona i neutrona u jezgri što se postiže bombardiranjem „teškim“ projektilima - protonima, neutronima. Taj novonastali nuklid je nestabilan i izbacuje iz sebe neku drugu česticu koja je različita od projektila, a posljedica je nuklid drugačiji od početnog. Dakle, nastupila je umjetna pretvorba kemijskog elementa. Prvi je takav nuklid stvorio E.Rutherford bombardiranjem dušika α česticama. Kroz povijest su važni i supružnici Joliot - Curie koji su 1934. stvorili umjetne radionuklide (Cutnell 2003).

Nuklearni procesi su promjene stanja ili sastava atomske jezgre, a većinom su popraćeni odašiljanjem različitih vrsta ionizirajućeg zračenja. Odvijaju se na dva načina: nuklearnim raspadom i nuklearnim reakcijama.

Nuklearni raspad je proces u kojem atomske jezgre spontano prelaze iz višeg u niže energetsko stanje pri čemu se odašilju ili fotoni ili čestice (protoni, neutroni lakše jezgre). Taj proces se zove fisija i prirodi je malo vjerojatan (Jakobović2007).

Nuklearne reakcije su procesi potaknuti česticom kojom se pogađa atomska jezgra. Takva novonastala tvar je najčešće nestabilna pa se s vremenom raspada. Tako nastaje jezgra-potomak. Te reakcije mogu ići uz oslobađanje energije ili je u njih potrebno ulagati energije pa ih ovisno o tome zovemo egzoenergetskim odnosno endoenergetskim. Razlikujemo nuklearnu fisiju i nuklearnu fuziju (Jakobović 2007).

Nuklearna fisija je proces cijepanja atomske jezgre. Jezgra se raspada na dva podjednaka dijela popraćen zračenjem manjih čestica. Nju uzrokuje neutron koji lako dopire do atomske jezgre. Ako je pri fisiji broj izlaznih neutrona veći nego broj ulaznih neutrona fisija se umnaža te nastaje lančana reakcija. Inače taj proces, upravljane egzoenergijske nuklearne fisije odvija se u današnjim nuklearnim reaktorima. Energija koja se oslobađa tim reakcijama konkretno za jezgru Uranija 235 iznosi 202 MeV. Što je gotovo 3000 000 puta više nego se oslobađa pri izgaranju iste mase ugljena. Fisijska lančana reakcija kojom se nakon pokretanja više ne može upravljati, a kojom se oslobađa velika količina energija poligon je za nastanak nuklearne eksplozije koja je osnova za nastanak nuklearnog oružja (Jakobović 2007).

Nuklearna fuzija je proces spajanja atomskih jezgara iz manjih u veće popraćen zračenjem čestica i fotona. Fuzija se odvija u plazmi na veoma visokim temperaturama pa se ujedno naziva i termonuklearnom reakcijom. Takve se reakcije prirodno događaju u zvijezdama.

Primjer takve reakcije je spajanje dvije jezgara vodikova izotopa deuterija u jezgru vodikova izotopa tricija pri čemu se oslobađa velika količina energije. Dan danas, usprkos velikom razvitku tehnologije, nije još ostvarena održiva i upravljiva nuklearna fuzija. Ta fuzija kojom se više nakon njena početka ne može upravljati osnova je za nastanak termonuklearnog oružja, odnosno vodikove ili hidrogenske bombe (Jakobović 2007).

1.4. Utjecaj ionizirajućeg zračenja na ljudski organizam

Kada govorimo o utjecaju zračenja na neku materiju prvo treba spomenuti linearni prijenos energije (LPE). O njemu ovise biološki učinci zračenja. On čini količinu energije ionizacijskog zračenja koja se apsorbira po jedinici prijeđenog puta. Različite zrake i čestice imaju različiti linearni prijenos energije. Tako na primjer x, beta i gama zrake spadaju u zračenja niskog LPE-a. A alfa, protoni i neutroni u zračenja visokog LPE-a. Zbog tih razlika LPE-u, imamo i razlike u relativnoj biološkoj djelotvornosti (RBD). Najveći RBD imaju alfa i teški ioni i njihov RBD iznosi 20, dok najmanji RBD imaju X, beta i gama zrake i njihov RBD iznosi 1. Sve što se događa u ljudskom organizmu započinje procesom ekspozicije i ionizacije pa to dovodi do bioloških posljedica na organizam. Sama interaktivnost ovisi o energiji fotona, te atomima u strukturi tkiva koji tu energiju prihvaćaju. Najveći dio apsorbirane energije se očituje Comptonovim učinkom. Pri tome foton mijenja smjer,a dio energije fotona se predaje elektronima u elektronskom omotaču atoma. Taj proces uzrokuje izbacivanje elektrona (ionizacija), promjenu spina te prekid kovalentnih veza što uzrokuje povećanu reaktivnost pojedinih molekula (Gamulin et al. 2005).

U samom se organizmu procesi na pojedinim razinama odvijaju prema vremenskom slijedu (Tablica 2).

Tablica 2. Redoslijed zbivanja u ozračenom organizmu.

I	Apsorpcija energije zračenja (ekscitacija i ionizacija atoma i molekula)	10^{-16} sekunda
II	Kemijske promjene molekula („izravno“ oštećenje- kidanje vodikovih veza „neizravno“ oštećenje- teorija reaktivnih slobodnih radikala)	10^{-11} do 10^{-12} sekundi
III	Biokemijsko oštećenje (ulazak oštećenih molekula u metaboličke procese, skretanje metaboličkih putova, nastanak toksičnih produkata)	Nekoliko sekunda do nekoliko sati
IV	Morfološke promjene stanica (znakovi oštećenja membrana i degeneracija, vakuole u citoplazmi, piknoza jezgre, prestanak dijeljenja)	Nekoliko minuta do nekoliko dana
V	Smrt stanice (neposredna, tj. U interfazi ili reprodukcijska)	Više sati do više dana
VI	Odumiranje tkiva (organa)	Više dana do nekoliko mjeseci
VII	Smrt ili postupni oporavak organizma (ovisno o stupnju otkazivanja vitalno važnih organa)	Više tjedana do više mjeseci
VIII	Genetičke posljedice u potomstvu	desetljeća

Preuzeto iz: Gamulin, Marušić, Kovač (2005), str.693, uz dopuštenje Medicinske naklade

S obzirom da se u ljudskom organizmu nalazi velika količina vode, zbog djelovanja ionizacijskog zračenja nastati će velika količina nusprodukata vezanih uz vodu tzv. slobodni radikali.

H_2O ekscitacija $H_2O^* \longrightarrow H^\circ + OH^\circ$

H_2O ionizacija $H_2O^+ + e^-$

$H_2O^+ + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + OH^\circ$

$e^- + H_2 \longrightarrow H_2O^- \longrightarrow H^+ + OH^I$

ili

$e^- + H_2O \longrightarrow e_{aq}^-$ (tzv. Hidratizirani elektron)

Ovaj hidratizirani elektron i hidroksilni radikal se ubrajaju u radikale najreaktivnije s biološki važnim molekulama. Osim ovih primarnih produkata radiolize vode postoje i neki drugi reducirajući odnosno oksidirajući spojevi.

Kao posljedica djelovanja svih tih spojeva može nastati oštećenje nukleinskih kiselina i proteina te inaktivacija stanica. Isto tako ti radikali mogu stvarati sekundarne radikale odnosno makroradikale. Sve te reakcije se odvijaju u veoma kratkom vremenu između 10^{-10} i 10^{-2} s poslije apsorpcije zračenja, a nastale molekule remete normalne metaboličke putove. Izravnim lomovima i modifikacijama te posrednim učincima slobodnih radikala nastaju štetne posljedice na stanicama (Gamulin et al. 2005).

Utjecaj na genomsku strukturu i stanice

Utjecaj na genomsku strukturu je izrazito važan jer ne mora odmah uzrokovati štetne posljedice na ljudski organizam već se može očitovati godinama nakon prvotnog kontakta u obliku razno raznih zloćudnih bolesti ili se može očitovati na samom početku života ukoliko zračenje započinje svoj utjecaj još in utero (Birjukov 1994).

Stanice su različito osjetljive, ovisno o fazi ciklusa u kojoj se nalaze. Najveću osjetljivost imaju u G_2 i M fazi pri čemu stanica ima deset do sto puta manju vjerojatnost preživljavanja. To se može povezati s time da su visoko proliferativne stanice najosjetljivije na djelovanje zračenja (koža, zametni epitel, stanice koštane srži). Sudbina ozračenog organizma ovisi o stupnju zakazivanja i mogućnostima oporavka stanica i tkiva prijeko

potrebnih za život. Same spolne stanice mogu biti zaustavljene u svojoj diobi već i pri malim dozama zračenja. Oštećenje DNA uzrokuje mutaciju gena te zračenje spolnih žlijezda uzrokuje nakupljanje odnosno akumulaciju, tako da su gonade integratori svih primljenih doza. Oštećenja će se možda vidjeti u prvoj generaciji potomaka, ali gotovo sigurno u sljedećim generacijama. To pak dovodi do latentnog genetskog tereta populacije. Osim o fazi staničnog ciklus važan je i utjecaj lokalnih čimbenika. Poglavito je važan učinak povećanog parcijalnog tlaka kisika gdje isti povećava osjetljivost na zračenja. U takvim uvjetima postoji povećana lokalna koncentracija toksičnih kisikovih radiakala što je logično jer povećanjem koncentracije kisika imamo povećanu koncentraciju njegovih toksičnih radikala. Ono što je nedavnim istraživanjima dokazano, a vezano je uz doze zračenja osobito njihove male doze (0,05 Sv) koje pokazuju čak i pozitivan učinak na organizam u smislu da potiču proliferativnu aktivnost i imunosnu otpornost, hormezu. Ta vrijednost od 0,05 Sv se ujedno smatra i maksimalnom graničnom dozom koju profesionalno osoblje smije primiti.

Kada govorimo o ozračenosti ljudskog organizma važno je napomenuti da postoji unutrašnje i vanjsko ozračivanje. Izvori mogu biti otvoreni ili zatvoreni npr. RTG aparat kao zatvoreni ili otopine radionuklida koje su u izravnom dodiru s organizmom kao otvoreni (Gamulin et al. 2005).

Vanjska ozračenost može biti akutna ili kronična te ovisno o djelu ozračenog tijela može biti ozračeno cijelo tijelo odnosno samo neka njegova regija. Inače, o akutnoj ozračenosti govorimo kada je odjednom tijelo izloženo većim dozama, ili kronično kad postoji opetovano izlaganje manjim dozama.

Unutrašnja ozračenost ovisi o četiri čimbenika. To su: topljivost radionuklida, organotropna svojstva, vrsta i energija zračenja te vrijeme poluiščezavanja iz organizma. U ovisnosti o tim osobinama radioaktivni nuklidi se dijele na:

1. Vrlo toksične radionuklide
2. Srednje tosksične radionuklide
3. Slabo toksične radionuklide.

Od svih vrsta zračenja, za ljudski organizam najopasnije je α zračenje, dok β zračenje iako nema ionizacijski učinak i dalje štetno djeluje.

Utjecaj zračenja s obzirom na udio ozračenog tijela može biti lokalan ili sistemski. Lokalno ozračivanje najbolje se može vidjeti na područjima kože gdje na početku uzrokuje eritem te potom opekline II i III stupnja (oteklina, edem, bol, mjehuri, vlažni dermatits, nekroza), a ako je zračenje bilo izrazito jako može doći i do nekroze dubljih slojeva. Tada nastaju duboke ulceracije, te ishemija i nekroza, infekcije i sepsa što posljedično dovodi do amputacije.

Ozračivanje cijeloga tijela naziva se paniradijacija. Simptomi ovise o dozi ozračenosti. Tako se u niskih i srednjih doza najčešće vide hematološki simptomi zog osjetljivosti hematološkog sustava na zračenje i posljedična limfopenija. Daljnje povećanje doze dovodi do krvarenja, a intenzivna ozračenost cijelog tijela dovodi do teškog enterokolitisa koji je uzrok smrti i prije nego smrt uzrokovana oslabljenom hematopoezom.

Kada se govori o ozračivanju osobito je važno spomenuti akutnu i kroničnu radijacijsku bolest (Gamulin et al. 2005).

Akutna radijacijska bolest nastaje ako je tijelo ozračeno velikim dozama zračenja u malom vremenskom roku. Bolest prolazi kroz nekoliko faza. Na samom početku imamo latentnu fazu praćenu nespecifičnim simptomima kao što je mučnina, povraćanje i proljev. Nakon toga dolaze simptomi zahvaćanja pojedinog sustava. Ovisno o dozi ozračenja simptomi dolaze od strane hematopoetskog sustava (600 cG). Iznad 1000 cG smrt nastupa

zbog hemoragičnog enterokolitisa i upale pluća, dok doze više od 5000 cG dovode do kliničke slike cerebralnog sindroma. Danas su poznate kemijske tvari koje mogu umanjiti učinak ionizacijskog zračenja na organizam. Njihovo djelovanje temelji se na hvatanju slobodnih radikala i njihovom neutraliziranju. To su najčešće spojevi iz skupine aminotiola (Dodig et al. 2002).

Kronična radijacijska bolest može nastati kao posljedica trajnog ozračivanja malim dozama, kao posljedica inkorporiranja radionuklida s dužim vremenom poluraspada ili ukoliko je osoba ozračena velikim dozama koje ne uzrokuju smrt unutar dva mjeseca. Simptomi se očituju funkcijskim poremećajima koji su reverzibilni. U lakom stupnju prevladavaju neurovegetativni simptomi. Srednje teški stupanj ima astenični sindrom i žarišne neurološke poremećaje uz povišenje intrakranijalnog tlaka, a težak stupanj se očituje difuznim encefalomijelitisom uz povećanu propusnost krvnih žilica (Dodig et al. 2002).

Kad se prikazuje utjecaj radioaktivnog zračenja na razvitak malignih bolesti, važno je napomenuti da je on ovisan o dozi. Smatra se da doze manje od 0,05 Sv djeluju pozitivno na imunosni sustav. Istraživanja pokazuju manju učestalost leukemija te hematopoetičkih i limfatičkih tumora u osoba koje su primale doze zračenja u vrijednostima 0.5 pa sve do 40cSv (Pollycove 1998).

2. NUKLEARNE KATASTROFE I POSLJEDICE

Iako nuklearna energija ima veliku i važnu pozitivnu ulogu u radu i razvitku čovječanstva, nažalost tijekom povijesti pokazala je i svoju crnu stranu. Ta crna strana je za sobom ostavila nemali broj umrlih, veliki broj ozlijeđenih i oštećenih te prostore koji su ostali nenaseljivi, a takvi će ostati još jedno vrijeme. Četiri najveća nuklearna događaja koja su obilježila povijest čovječanstva su: eksplozije atomskih bombi u Hiroshimi i Nagasakiju u drugom svjetskom ratu, eksplozija nuklearne elektrane u Chernobylu 1986. godine, te iz najnovije povijesti, eksplozija nuklearne elektrane Fukushima Daichii 2011. godine. Iz ovih primjera moguće je predočiti posljedice eventualne nuklearne katastrofe koje bi zadesile Zagreb u slučaju iste.

2.1. Hiroshima

Grad osnovan još davne 1589 godine, nalazi se uz obalu Seto Inland mora. Osnivač grada je Moru Terumoto. Obuhvaća površinu od 905,01 km2 i 2010 je brojao 1 173 980 stanovnika. Tijekom II. Svjetskog rata, Japan je bio na strani Hitlerove nacističke Njemačke. Iako je Berlin pao te je Njemačka 8.svibnja1945. potpisala kapitulaciju, na Pacifiku se rat još uvijek vodio (Life in the ruins 2005).

Pod pseudonimom „Manhattan Project“ Saveznici su radili te završili i uspješno testirali atomsko oružje. Američke zračne snage su 6. kolovoza 1945. bacile atomsku bombu naziva „Little boy“. Sama bomba je proglašena neefikasnom sa sveukupno 1.7% fisije te je posljedično totalno uništila sve u radijusu od 1.6 km. Stanovništvo toga područja je eksploziju vidjelo u obliku jakoga bljeska nakon kojeg je uslijedio bučan „booming“ zvuk. Tada je

poginulo 70 000 – 80 000 ljudi sa preko 70 000 ozlijeđenih. Osoba koja je preživjela, a vjeruje se da je bila najbliže samom padu bombe živjela je do svojih 80-ih godina. Preživio je zahvaljujući tome što se nalazio u posebnoj zgradi napravljenoj da se ne uruši pod utjecajem jakih potresa koji su potresali Japan. Smatra se da je u tom napadu poginulo 90% liječnika i 93% medicinskih sestara jer su se nalazili u djelu grada gdje je bio sam epicentar pada bombe. Iako je veliki broj zdravstvenih djelatnika poginuo, veoma su brzo zahvaljujući pravodobnoj reakciji policije i volontera osnovani evakuacijski centri u ostalim bolnicama, školama, postajama te mrtvačnica (The spirit of Hiroshima 2014).

U prva dva mjeseca nakon bombardiranja unesrećenima je bila pružena minimalna pomoć. Većina tih ljudi je bila smještena u školama. U prosincu 1945. situacija je bila toliko teška da su žrtve bile prebačene u Američke vojno-medicinske ustanove (Life in the ruins 2005).

U proljeće 1948. godine osnovana je Atomic Bomb Casualty Commission (ABCC) čija je uloga bila proučiti kasne učinke djelovanja bombe među preživjelima napada. Jedna od studija obuhvaćala je i proučavanje ishoda trudnoća u gradu Kure koji se nalazi 29 km južno od Hiroshime. Dr. James Neel je vodio navedeni projekt te je prikazao da broj malformirane djece u roditelja koji su bili trudni za vrijeme bombardiranja nije bio nešto posebno veći nego inače. Doduše dokazao je da je tada bio znatno veći broj malformacija središnjeg živčanog sustava koji su uključivali mikrocefaliju i anencefaliju (ABM 2005).

Usprkos istraživanju liječnika, povjesničar Ronald E. Powaski napisao je da je Hiroshima zabilježila povećanje broja mrtvorođenih, porođajnih anomalija i novorođenačke smrtnosti.

Smatra se da se 1900 karcinoma može pridružiti bombardiranju. Epidemiološka studija provedena između 1950. i 2000. godine pokazala je da je 46% leukemija i 11% solidnih tumora vezano uz samo bombardiranje (200 leukemija i 1700 solidnih tumora) (Takayama 2000).

2.2. Nagasaki

Nagasaki je do bombardiranja bio jedna od najvažnijih luka južnoga Japana. U njemu se nalazila uglavnom vojna industrija. Grad je brojao 263 000 stanovnika.

Samo bombardiranje Nagasakija nije bilo u prvotnom planu napada Saveznika. Prvi cilj napada bio je bombardiranje grada Kokura koji zbog tehničkih poteškoća unutar samog aviona i žestoke Japanske protuavionske obrane ipak nije bio napadnut. Samim time, promijenio se cilj te je Nagasaki postao primarni cilj napada. U 11.01 kapetan Bockscara zapovjedio je izbacivanje bombe „The Fat Man“ iznad industrijske zone grada. Bomba je imala plutonijevu jezgru mase 6.4 kg. Eksploziju je uzrokovala val vrućine 3 900°C te vjetrove brzine 1 005 km/h. Iako je bomba bila jača od one bačena na Hiroshimu sam efekt bombe je lokaliziran na relativnom uskom području unutar Urukami doline. Smatra se da je tada preminulo između 40 000 i 75 000 ljudi. Do kraja 1945 godine broj preminulih iznosio je gotovo 80 000. Područje u 1.6 km radijusu je bilo kompletno uništeno kao i gotovo čitava vojna industrija Nagasakija (ABM 2005).

Unutar Urukami doline nalazila se glavna bolnica koja je nuklearnom bombom bila u potpunosti razrušena. Od 70-ak liječnika koji su imali privatnu praksu u gradu svega njih 30 je ostalo živo i sposobno pružiti pomoć. Kako je Nagasaki bio luka, tako je bio okružen brojnim lučnim objektima koji su imali i liječničko osoblje koje je pomoglo da katastrofa ne bi poprimila i veće razmjere (Nagasaki City 2004)

2.3. Chernobyl

Chernobylska elektrana nalazila se 13 km od Kijeva te 20-tak km od Bjeloruske granice. To je bilo slabo naseljeno područje s najbližim gradom na udaljenosti od 3 km gdje se nalazilo 49 000 stanovnika. Sam grad Chernobyl nalazio se 15 km od kompleksa i brojao je 12 500 stanovnika. Čitavo područje je u radijusu od 30 km brojalo do 135 000 stanovnika. Gradnja reaktora započela je 1970 godine te je u potpunosti završena 1983. godine. Sam reaktor sastojao se od 4 jedinice.

Neposredno prije rutinskog gašenja elektrane, 26. travnja 1986., u reaktoru 4 su pripremali test kojim su htjeli vidjeti koliko dugo će se turbine vrtjeti i isporučivati energiju pumpama za hlađenje ukoliko dođe do prekida glavnog izvora energije. Nažalost došlo je do niza ljudskih grešaka koje su između ostalog uključivale i prekid rada sustava za automatsko gašenje reaktora u slučaju nestabilnosti. Prevelika para i pritisak koji je nastao doveo je do eksplozije i otpuštanja fisijskog materijala u atmosferu. Nakon 2-3 sekunde došlo je do druge eksplozije koja je izbacila fragmente gorivih ćelija i grafita što je dovelo do porasta zračenja u iznosu od $14 * 10^{18}$ Bq. Dva radnika su poginula u samom trenutku eksplozije. Šest vatrogasaca poginulo je u gašenju požara na krovu zgrade unutar nekoliko sati. Radioaktivni oblak je došao čak do Skandinavije. Organizirana je posebna ljudska jedinica, „likvidatori“, koji su imali zadaću oporavka i čišćenja područja zahvaćenog eksplozijom. Gotovo 600 000 ljudi je angažirano od kojih je 200 000 primilo visoke doze u iznosu od 100mSv. Najveću dozu primilo je ono osoblje koje se na području nalazilo na sam dan eksplozije. Pripyat je 27.travnja čitav bio evakuiran kao i ostatak ljudi koji su živjeli u radijusu od 30 km od eksplozije. Kasnije je zona evakuacije proširena sa 2800 km^2 na 4300 km^2 (Chernobyl accident 2014).

World Health Organisation (WHO) je 1989. godine izrazio zabrinutost zbog nedovoljnih informacija koje su izdavali USSR-ovi znanstvenici vezanih uz katastrofu u Chernobylu čime se htjelo ublažiti prikaz posljedica katastrofe. Nedugo nakon, vlada USSR-a i International Atomic Energy Agency (IEAE) su oformili radnu skupinu koja je imala zadatak opisati utjecaj zračenja. terenskih studija je provedeno 1990. i 1991. koje nisu prikazale neku preveliku ulogu zračenja. Ipak prema novijim informacijama smatra se da 1 000 000 ljudi bilo izloženo zračenju. Smatra se da je 4000 karcinom štitnjače u djece nastalo kao posljedica izlaganja zračenju. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2006. godine je iskazao da nema dokazanog povišenja učestalosti i smrtnosti od karcinoma izuzev karcinoma štitnjače. Isto tako rekli su da sve osobe izložene zračenju ipak pod povećanim rizikom od nastanka malignih bolesti.

Najvišu dozu zračenja primilo je 600 ljudi koje se nalazilo na mjestu nesreće u samoj noći nakon eksplozije. Oni su primili veliku dozu gama i beta zračenja. Akutna radijacijska bolest je potvrđena u 134 osobe (Chernobyl accident 2014).

2.4. Fukushima Daichii

Najnovija nuklearna katastrofa je ona koje se dogodila 11.ožujka 2011 godine u Japanu u gradu Okuma. Taj grad je brojao 11 515 stanovnika. Tada, 11.ožujka, dogodio se potres na pučini. U skladu s propisima, nuklearna elektrana je započela hitno gašenje sustava. Samim time fisijska reakcija je ugašena, ali gorive ćelije i dalje isijavaju određenu količinu topline. Pedeset minuta nakon potresa došao je tsunami val koji je probio 10 metara visoki zid koji štiti nuklearnu elektranu. Voda je doprla do generatora koji su hladili sistem te su se generatori ugasili. Pričuvni baterijski sistemi su se upalili ali je njihovo djelovanje

kratkotrajno upravo zbog toga što rade na baterije. Idućeg dana, 12.ožujka, sistemi za hlađenje su prestali sa radom što je dovelo do zagrijavanja reaktora te su se počele stvarati velike količine vodikovih plinova koji su uzrokovali eksploziju reaktora. Smatra se da niti jedna smrt nije tada bila uzrokovana zračenjem, a 153 884 žrtve su poginule kao posljedica potresa i posljedičnog tsunamija. Daljnjim istraživanjima pokazano je da je doza zračenja za stanovništvo bila izuzetno malena, ali se svejedno provode preventivni programi ranog otkrivanja karcinoma štitnjače. U izvješću iznesenom u veljači 2013. 40% djece koja su živjela u okolici elektrane imaju neki oblik abnormalnosti štitnjače, a 10 od 186 boluje od karcinoma štitnjače (ANS 2012)

3. ZAGREB I OKOLICA I NUKLEARNA KATASTROFA

Zagreb, glavni grad Republike Hrvatske broji 790 017 stanovnika. Zagrebačka županija broji još 317 606 stanovnika. Graniči s Bosnom i Hercegovinom, Slovenijom, Srbijom, Crnom Gorom, Mađarskom te ima morsku granicu s Italijom. Od svih tih država dvije su posebno važne za Hrvatsku. To su Slovenija i Mađarska jer one jedine imaju nuklearne reaktore koje koriste za izvore energije. Slovenija ima jednu nuklearnu elektranu, a Mađarska četiri. Za Hrvatsku su najvažnije dvije nuklearne elektrane: jedna koja je smještena u gradu Krško u susjednoj nam Sloveniji, te nuklearna elektrana Pakš smještena u Mađarskoj. Nuklearna elektrana u Krškom udaljena je 40 km zračne linije od našeg glavnog grada Zagreba. Nuklearna elektrana Pakš udaljena je 90 km od Belog Manastira, a 120 km zračne linije od grada Osijeka.

Upravo zato, važno je objasniti kakve bi bile posljedice u slučaju nuklearne katastrofe u Zagrebu i njegovoj okolici , kako bi se one odrazile na populaciju, te kakvo bi se djelovanje moralo provesti (Piljak 2006).

3.1 Izvori nuklearnog zračenja

Izvori nuklearnog zračenja su zapravo brojni. U Hrvatskoj postoji još 40 opasnih izvora zračenja. Tako na primjer kao izvore nuklearnog zračenja možemo navesti (DZRNS 2014):

1. BOUYUGES- Podružnica u Hrvatskoj, 52510 Pula, Sv. Teodora 2
2. KBC Sestre milosrdnice, 10000 Zagreb, Vinogradska cesta 29
3. KBC Zagreb, 10000 Zagreb, Kišpatićeva 12

4. Institut „Ruđer Bošković“, 10000 Zagreb, Bijenička cesta 54
5. Cedevita d.o.o., 48260 Križevci, Brežanci 89-91, Apatovec
6. KBC Split, 21000 Split, Spinčićeva 1

Bez njih ne bi bili mogući brojni dijagnostički i terapijski postupci u medicini, brojni istraživački postupci u širokom spektru znanstvenih grana. Ipak za cijelu populaciju važni su izvori koji u slučaju katastrofe mogu u veoma kratkom vremenu izložiti štetnom zračenju veliki broj ljudi. U te izvore prvenstveno spadaju NE Krško i NE Pakš (DZRNS 2014)

3.2. Mjere sprječavanja nuklearne katastrofe

„Historia est magistra vitae“

(latinska poslovica)

Još od davne 1942. godine kada su započela prva eksperimentiranja u nadi da će se energija atoma moći iskoristiti u kontroliranim uvjetima kao izvor energije za pučanstvo štošta se poduzelo da do nuklearnih katastrofa ne bi došlo. Jedan od scenarija o kojem se najviše vodilo brige bilo je otapanje jezgre reaktora. Upravo u tom djelu je industrija najviše napredovala. U 14 500 kumulativnih godina života, u 32 zemlje, zabilježene su 3 velike nesreće. Dvije smo spomenuli ranije u tekstu, Chernobyl i Fukushiimu Daichii te treća Three Mile Island u SAD-u. Kod nesreće u SAD-u, iako je reaktor bio jako oštećen, nije došlo do rasipanja radijacije te samim time nikakvih posljedica po okoliš ili ljude nije bilo. Upravo za prevenciju i mjere zaštite, Ujedinjeni Narodi su 1957. godine, osnovali International Atomic Energy Agency (IAEA) čija se uloga nakon Chernobylske nesreće još znatnije pojačala (Safety of nuclear power reactors 2014).

Mjere zaštite, kako van nuklearne elektrane, su važne i unutar nje. Tako u nuklearnim elektranama postoje brojni senzori koji mjere količinu radijacije, a osim toga radnici posjeduju i vlastite uređaje, dozimetre, kojima se mjeri individualna količina zračenja. Radi postizanja veće sigurnosti radnika, oni imaju točno određeno vrijeme boravka kao i posebnu vrstu zaštitne odjeće kojoj je cilj smanjiti izloženost štetnom zračenju. Amerikanci prilikom gradnje svojih nuklearnih elektrana postavljaju cilj da frekvencija otapanja jezgara bude najmanje 1 na 10 000 godina, iako se danas proizvode reaktori čija je frekvencija znatno manja i smatra se da moderne elektrane imaju frekvenciju otapanja jezgara u iznosu 1 na 10 000 000. Europljani u gradnji svojih elektrana se drže sličnih načela samo još ista nadopunjuju sa boljim „hardware-om“ u slučaju da primarna oprema otkaže svoje djelovanje. Danas se grade takve vrste elektrana da prilikom bilo kakve nesreće radijacija bude zadržana unutar same elektrane te da nema potrebe za evakuacijom okolnog stanovništva. Da bi se to postiglo, prilikom gradnje elektrana koristi se nekoliko fizičkih barijera koji odvajaju jezgru elektrane od okoline. Same gorive ćelije se nalaze u obliku keramičkih kuglica, a produkti fisije ostaju unutar kuglica kad je gorivo sagorjelo. Same kuglice se nalaze unutar cijevi građenih od cirkonija i aluminija. Sve cijevi se nalaze zajedno unutar čelične komore čiji zidovi imaju debljinu gotovo 30 cm debelu. U komoru su konstantno upumpava voda nužna za hlađenje i rad elektrane. Sve izvana je okruženo cementnom strukturom sa zidovima debljine bar jedan metar. Sve navedene barijere se konstantno promatraju da bi se zamijetile promjene te izbjegle eventualne katastrofe. Glavni sigurnosni dijelovi obuhvaćaju dva procesa. Prvi koji prilikom bilježenja povišenja temperature unutar reaktora smanjuje efikasnost nuklearne reakcije te drugi koji zamjećuje povećano stvaranje para te reaktor sam automatski usporava nuklearnu reakciju. Nadalje reaktori posjeduju kontrolne šipke koje apsorbiraju neutrone te i time reguliraju fisijski proces. Zatim se u elektrane ugrađuju dodatni sustavi hlađenja koji hlade reaktore u slučajevima da primarna zaštita otkaže. Moderne

nuklearne elektrane se automatski gase u slučaju potresa (Safety of nuclear power reactors 2014).

Prilikom gradnje elektrana vodi se mišljenje o eventualnim terorističkim napadima i zaštiti od istih. Kod nuklearnih elektrana, nažalost 80% nesreća čini upravo ljudska greška, a na nju je jako teško utjecat. Da bi se ta ljudska greška čim više eliminirala ugrađuju se brojni pasivni sistemi koji ne zahtijevaju rad čovjeka već sami od sebe ispravljaju greške. Elektrane moraju svakih nekoliko godina provesti niz stres testova kojima bi se očitalo stanje elektrane te, ukoliko elektrane zadovolje testove, dobivaju licencu kojom je omogućen njen daljnji rad.

Nakon svega navedenog postavlja se pitanje koliko su zapravo nuklearne elektrane sigurne. Po izvješću Organsation for Economic Co-operation and Development (OECD) iz 2010 godine u razdoblju od 1969 do 2000 godine bilo je 2259 poginulih kao posljedica rada elektrana na ugljen, 1043 poginula prilikom rada elektrana na plin, 14 poginulih pri radu elektrana na vodikov pogon te 31 poginuli pri radu nuklearnih elektrana (Safety of nuclear power reactors 2014).

3.3. Protokoli postupanja u slučaju nuklearne katastrofe

Sve države pa tako i naša, Republika Hrvatska, posjeduju protokole postupanja u slučaju nuklearnog događaja. U našoj državi je taj zakon donijet 6.rujna 2012. godine na temelju članka 65. stavka 1 Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 2010). Tim se uredbama određuje odgovor na izvanredni događaj koji može nastati u djelatnostima s izvorima ionizirajućeg zračenja i intervencije koje se poduzimaju u slučaju izvanrednog događaja. Uredba sadrži odredbe koje su u skladu sa aktom Europske nije iz 27.studenog 1989. Svaki protokol mora uključiti sve razine djelovanja kako bi se pružila što uspješnija i kvalitetnija pomoć pogođenom području i stanovništvu.

Mjere koje se provode uključuju:

Dekontaminacija - aktivnost kojom se potpuno ili dijelom uklanja radioaktivno onečišćenje korištenjem ciljanih fizičkih, kemijskih ili bioloških postupaka (NN 2012).

Dugoročne mjere zaštite i spašavanja - privremeno ili trajno preseljenje stanovništva, zaštitne mjere u poljoprivredi, pojačani nadzor prekograničnog prometa ljudi i roba, dekontaminacija građevina, poljoprivrednih, javnih i drugih površina te drugi sanacijski zahvati u okolišu. Dugoročne mjere zaštite mogu se poduzimati tjednima, mjesecima ili godinama (NN 2012).

Evakuacija - mjera kojom se ugrožene osobe premještaju iz ugroženog objekta ili područja u manje ugrožene ili neugrožene objekte ili područja (NN 2012).

Hitne mjere zaštite i spašavanja - evakuaciju, zaklanjanje i profilaksu stabilnim jodom, a provode se u kratkom vremenu, nekoliko sati nakon izvanrednog događaja. Osobna dekontaminacija i medicinsko zbrinjavanje su također mjere zaštite koje treba hitno provoditi (NN 2012).

Intervencije - sustavne, unaprijed planirane mjere kojima se smanjuje već postojeća razina izlaganja ionizirajućem zračenju ili mogućnost ozračenosti ionizirajućim zračenjem koje je posljedica izvanrednog događaja (NN 2012).

Jodna profilaksa ili uzimanje tableta stabilnog joda- hitna mjera zaštite i spašavanja koja se provodi konzumiranjem odgovarajuće doze stabilnog joda u tabletama (NN 2012).

Mjere zaštite i spašavanja - aktivnosti i postupci koje operativne snage zaštite i spašavanja provode u cilju spašavanja života i zdravlja stanovništva te zaštite imovine i sastavnica okoliša u slučaju izvanrednih događaja (NN 2012).

Monitoring okoliša - sustavno ispitivanje i praćenje vrste i aktivnosti radioaktivnih tvari u okolišu, predmetima opće uporabe, stambenim i radnim prostorijama te mjerenje vanjskog zračenja kako bi se utvrdile promjene u intenzitetu ili vrsti zračenja ili u koncentraciji radionuklida (NN 2012).

Preseljenje stanovništva - mjera koja se poduzima radi sprječavanja dugotrajnog izlaganja stanovništva ionizirajućem zračenju, a podrazumijeva preseljenje ljudi iz njihovih domova u privremeni smještaj (prihvatni centri) na duže vremensko razdoblje. Osim ljudi, preseljavaju se i domaće životinje te premješta pokretna osobna imovina. Provodi se unutar prvog tjedna ili prvog mjeseca nakon nuklearne nesreće. Ako traje do dvije godine, radi se o privremenom preseljenju, a ako povratak nije moguć u tom roku, radi se o trajnom preseljenju (NN 2012).

Upravljanje - postupak odlučivanja o potrebi poduzimanja odgovarajućih mjera zaštite i spašavanja stanovništva, zaštite imovine i zaštite okoliša. Upravljanje je postavljeno na principima jednonadređenosti i subordinacije (NN 2012).

Zaklanjanje - mjera zaštite stanovništva koja se provodi u kućama ili bilo kojem drugom prostoru koji sa ili bez prilagodbe omogućava zaštitu od radioaktivnog onečišćenja (NN 2012).

Zaštitne mjere - poljoprivredi su mjere koje se poduzimaju radi ograničenja unosa i distribucije hrane, hrane za životinje i drugih poljoprivrednih proizvoda proizvedenih u području zahvaćenom posljedicama izvanrednog događaja. Odnose se i na vodu za piće (NN 2012).

Dokumentom su određena tri načela postupanja u slučaju izvanrednih događaja. To su:

1. načelo opravdanosti (svaka intervencija mora ublažiti posljedice izvanrednog događaja, a posebno smanjiti izlaganje ljudi ionizirajućem zračenju)

2.načelo optimizacije (provedba, opseg i trajanje intervencije mora postići razumno moguć pozitivan učinak)

3.načelo ograničenja zračenja (ozračenost pojedinih osoba ne smije prijeći utvrđene granice).

Ovim zakonom donesene odredbe primjenjuju se u slučaju izvanrednog događaja u NE Krško te NE Paks te svim ostalim nuklearnim elektranama u svijetu čije se radiološke posljedice mogu očekivati na teritoriju Republike Hrvatske, zatim u slučaju izvanrednog događaja u plovilu na nuklearni pogon koje se nalazi u Jadranskom moru, izvanrednom događaju prilikom prijevoza radioaktivnih izvora i materijala na teritoriju Republike Hrvatske, izvanrednih događaja u skladištima radioaktivnog otpada, pada satelita s radioaktivnim izotopima, uvozu hrane onečišćene radionuklidima, te nedozvoljenom prometu radioaktivnih tvari.

Ovim dokumentom su također određene kategorije objekata u kojima izvanredni događaji uzrokuju posljedice. Objekti su podijeljeni u 4 kategorije:

I kategorija - objekti u kojima izvanredan događaj uzrokuje ozbiljne determinističke učinke izvan lokacije na kojoj se obavlja nuklearna djelatnost ili djelatnost s izvorima ionizirajućeg zračenja i imati za posljedicu potrebu primjene hitnih mjera zaštite i spašavanja na ograničenom području, a dugoročnih mjera zaštite i spašavanja na cijelom području Republike Hrvatske (npr. NE Krško).

II kategorija - objekti u kojima izvanredni događaj mogu imati za posljedicu dozu ionizirajućeg zračenja zbog kojih bi bilo potrebno primijeniti hitne mjere zaštite i spašavanja na ograničenom području, a dugoročne mjere zaštite i spašavanja na širem području Republike Hrvatske (npr. u Hrvatskoj takvih objekata nema).

III kategorija - objekti u kojima izvanredni događaji mogu imati za posljedicu doze ionizirajućeg zračenja zbog kojih može biti potrebno primijeniti hitne mjere zaštite i spašavanja na lokaciji izvanrednog događaja, a iznimno i na ograničenom području oko lokacije izvanrednog događaja (npr. popis takvih objekata određuje Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost).

IV kategorija - predstavljaju aktivnosti koje mogu dovesti do izvanrednog događaja i imati za posljedicu potrebe hitnih mjera zaštite i spašavanja na lokacijama koje nije moguće unaprijed predvidjeti (npr. događaji u prijevozu radioaktivnog materijala, pada satelita pogonjen radioizotopima,...).

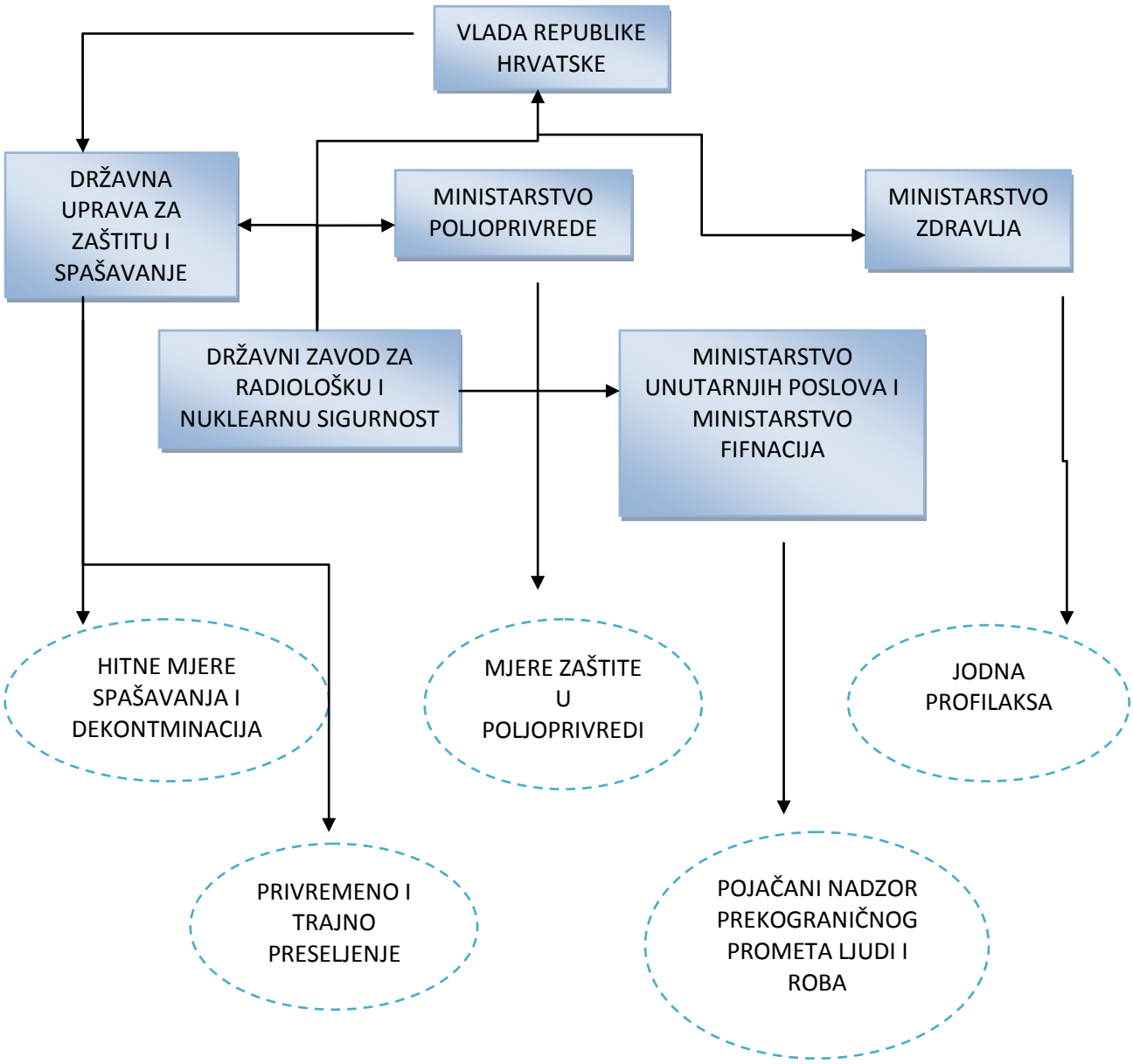
V kategorija - predstavlja aktivnosti koje mogu dovesti do izvanrednog događaja, a uslijed kojih ne treba očekivati potrebu primjene hitnih mjera zaštite i spašavanja, ali neposredne i

dugoročne mjere mogu biti potrebne na cijelom području Republike Hrvatske (npr. Nesreća u NE Pakš).

Dalje je ovim zakonom određen i postupak odgovora na izvanredan događaj. Odgovor obuhvaća nekoliko zadaća (NN 2012):

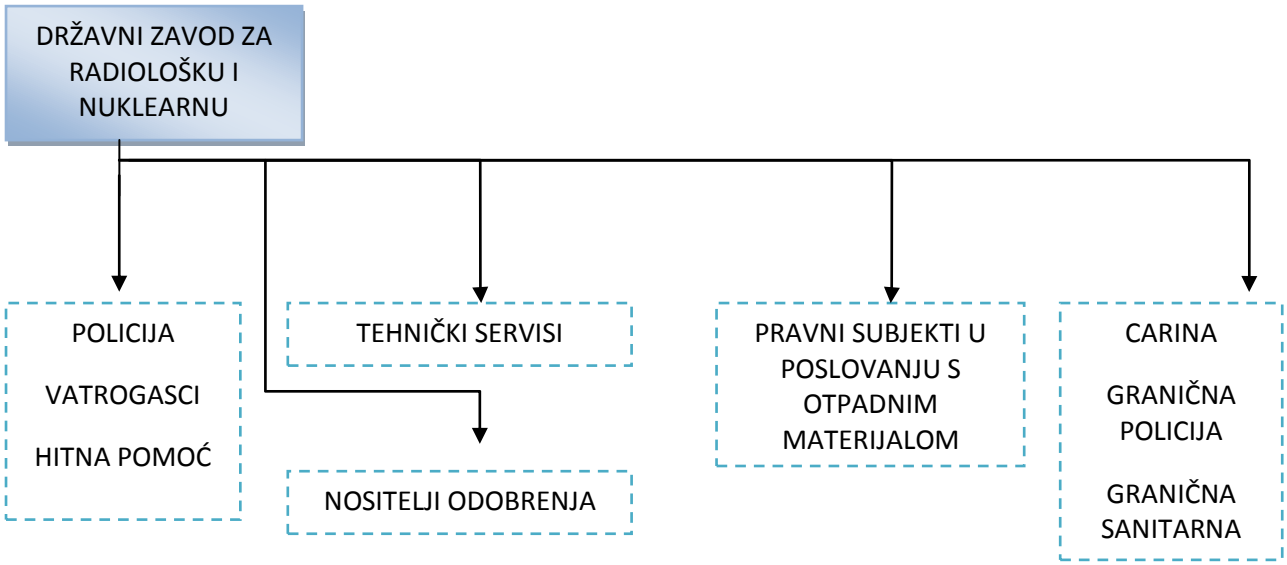
1. Aktiviranje sustava odgovora na izvanredan događaj
2. Upravljanje u slučaju izvanrednog događaja
3. Provođenje mjera zaštite i spašavanja
4. Stručna potpora upravljanju
5. Educiranje i informiranje stanovništva
6. Međunarodna razmjena podataka i međunarodna suradnja u primjenama mjera zaštite i spašavanja
7. Osposobljavanje i uvježbavanje sudionika.

Protokol postupanja ovisiti će i o kategoriji u kojoj se dogodio izvanredni događaj (Slika 2 i Slika 3).



Slika 2. Sustav upravljanja u slučaju izvanrednog događaja I i II kategorije.

Preuzeto iz: Uredba o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te intervencija u slučaju izvanrednog događaja (NN 2012)



Slika 3. Sustav upravljanja u slučaju izvanrednog događaja III, IV i V kategorije.

Preuzeto iz: Uredba o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te intervencija u slučaju izvanrednog događaja (NN 2012)

4. JAVNOZDRAVSTVENE POSLJEDICE U SLUČAJU NUKLEARNE KATASTROFE

Prvi put se o zdravlju počelo ozbiljnije govoriti na konferenciji u Ottawi 1986. godine kad je donesena „Povelja o unaprjeđenju zdravlja“ koji naglašava jačanje osobe da teži ka unaprjeđenju svoga zdravlja. Upravo je ovdje važna uloga javnog zdravstva i javno zdravstvenih djelatnika. „Javno zdravstvo je znanost i umijeće sprječavanja bolesti, produženja života i unapređenja fizičkog zdravlja i uspješnosti putem organiziranih napora zajednice u sanitaciji okoliša, suzbijanja zaraze u zajednici, odgoju pojedinaca na načelima osobne higijene, organizaciji medicinske i sestrinske službe za ranu dijagnozu i preventivno liječenje bolesti, te razvoj društvenog mehanizma koji će osigurati svakom pojedincu u zajednici životni standard dostatan za održavanje zdravlja“ (prema E.A. Winslowu). Za veliki napredak javnog zdravstva u našim krajevima posebno je zaslužan dr. Andrija Štampar, koji je 1927. godine osnovao Školu narodnog zdravlja i povezao je s Higijenskim zavodom (Džakula et al. 2003).

4.1. Javno zdravstvo i javno zdravstveni djelatnici

„Zdravlje je stanje potpunog tjelesnog, duševnog i socijalnog blagostanja, a ne samo odsustvo bolesti i iznemoglosti.“

(Svjetska zdravstvena organizacija)

Središnja medicinska ustanova javnog zdravstva u Hrvatskoj je Hrvatski zavod za javno zdravstvo (HZJZ) u Zagrebu. Osnovan je 1923. kao Epidemiološki zavod, a 1926. godine mu je promijenjeno ime u Higijenski zavod sa Školom narodnog zdravlja koju je osnovao dr. Andrija Štampar, jedan od osnivača Svjetske zdravstvene organizacije. Hrvatski zavod za javno zdravstvo jest zdravstvena ustanova za obavljanje stručnih i znanstvenoistraživačkih zdravstvenih djelatnosti iz okvira prava i dužnosti Republike Hrvatske na području javnozdravstvene djelatnost. Hrvatski zavod za javno zdravstvo prati i skrbi se za sve čimbenike, koji utječu na zdravlje stanovništva Hrvatske kao cjeline, između ostaloga to su: zarazne bolesti, nezarazne masovne kronične i akutne bolesti, sigurna i zdrava prehrana pučanstva i sigurni predmeti opće uporabe, sigurna javna vodoopskrba i odlaganje otpadnih tvari, skupljanje podataka laboratorijske dijagnostike i analitike, a uz to i raznoliki pokazatelji o ustroju i djelovanju cijelog sustava zdravstva. U svom svakodnevnom radu Zavod, ili pojedini njegovi specijalizirani dijelovi, predlažu, koordiniraju, prate provođenje, ili i sami provode potrebne mjere prevencije i suzbijanja bolesti među ljudima u Hrvatskoj (Džakula et al. 2003).

Ciljevi javnog zdravstva u Hrvatskoj:

1. Prevencija bolesti i unaprjeđenje zdravlja građana
2. Kontrola i prevencija širenja bolesti
3. Unapređenje životne i radne okoline kroz očuvanje i unapređenje okoliša
4. Potpora akcijama zajednice
5. Aktivno sudjelovanje u zdravstvenom odgoju i obrazovanju.

Hrvatski zavod za javno zdravstvo ima slijedeće glavne dijelove (HZJZ 2014):

1. Služba za epidemiologiju,
2. Služba za javno zdravstvo,
3. Služba za mikrobiologiju,
4. Služba za zdravstvenu ekologiju,
5. Služba za promicanje zdravlja,
6. Služba za medicinsku informatiku i biostatistiku,
7. Služba za gospodarstvene, pravne i opće poslove,
8. Ravnateljstvo.

4.2. Javno zdravstvene posljedice i prevencija

Ionizirajuće zračenje osim na čovjeka ima i djelovanje na njegovu okolinu, biljke i životinje. Čovjek je konstantno izložen određenoj dozi ionizirajućeg zračenja. To je zračenje koje potječe iz svemira i danas se smatra da osoba koja ni na koji drugi način nije primila neku dozu zračenja godišnje primi prosječno 2.4 mSv. Ukoliko je ta ista osoba odradila jedan CT pregled abdomena i zdjelice primila je još 10 mSv. Maksimalna dopuštena doza od 250 mSv je doza koju su primili radnici koji su radili na sanaciji incidenta koji se dogodio u

nuklearnoj elektrani Fukushima Daichii. Akutni radijacijski sindrom uzrokuje doza od 1000 mSv , dok je doza od 10 000 mSv smrtonosna u razdoblju od nekoliko tjedana. UNSCEAR je 2012. godine glavnom vijeću Ujedinjenih naroda prikazao utjecaj dugoročnog primanja malih doza zračenja. U svom iskazu nisu uspjeli u potpunosti dokazati da konstantno primanje malih doza zračenja, kojima smo konstantno izloženi, ima negativan utjecaj na naše zdravlje. Nadalje, epidemiolozi su proučavali 76 000 ljudi koji su bili izloženi zračenju nakon bombardiranja Hiroshime. Smatra se da su ti ljudi primili zračenje u vrijednosti od preko 5000 mSv. Kod tih ljudi je dokazano povećana učestalost karcinoma, do nekoliko stotina karcinoma više u odnosu na normalnu populaciju koja takvom zračenju nije bila izložena. Iz tih je istraživanja International Commission on radiological protection (ICRP) izdao zaključak da povećanje zračenja u iznosu od 1 Sv povećava vjerojatnost nastanka smrtonosnog karcinoma za 5%. United States National Cancer Institute (NCI) je 1990. godine svojim istraživanjem pokazao da osobe koje žive u blizini nuklearnih elektrana nemaju povećani mortalitet od karcinoma. Prije 60-ak godina dokazano je radijacija uzrokuje genetske mutacije u voćnih mušica, kasnije je isto dokazano u u biljaka i životinja, ali nije dokazana nasljednost prenošenja genetske mutacije u ljudi čak i ako su primili visoke doze zračenja. Doze kojima su izloženi radnici koji rade u nuklearnoj industriji su takve da ne uzrokuju oštećenja tkiva i minimiziraju vjerojatnost nastanka karcinoma. Djece roditelja koji preživjeli visoke doze zračenja u Hiroshimi i Nagasakiju 1945. odine, njih 75 000, bili su predmet istraživanja. Studija na njima je dokazala da nije bilo povećanja u genetskim abnormalnostima u istraživanoj populaciji. Daljnja istraživanja provedena su na miševima koji su primili male doze zračenja te nisu imali nikakva oštećenja DNA. Neka istraživanja pokazuju i pozitivni učinak zračenja (doze do 10 mSv godišnje). Taj se učinak naziva radijacijska hormeza i smatra se da nastaje kao posljedica sposobnosti stanice da se prilagodi na neki štetni čimbenik ukoliko je on u dovoljno maloj dozi. Kao posljedica hormeze imamo

manju prevalenciju karcinoma i povećanu rezistenciju na više doze zračenja (Safety of Nuclear Power Reactors 2014)

Prevencija od posljedica radioaktivnog zračenja je prvenstveno važna u osoba koje su zaposlene u rudnicima uranija kao i osoba zaposlenih u nuklearnim postrojenjima. U većini zemalja maksimalno dopuštena doza je 20 mSv godišnje prosječno kroz 5 godina, s time da osoba ne smije primiti više od 50 mSv u pojedinoj godini. Danas se u rudnicima uranija koriste četiri metode zaštite od poznatog izvora zračenja:

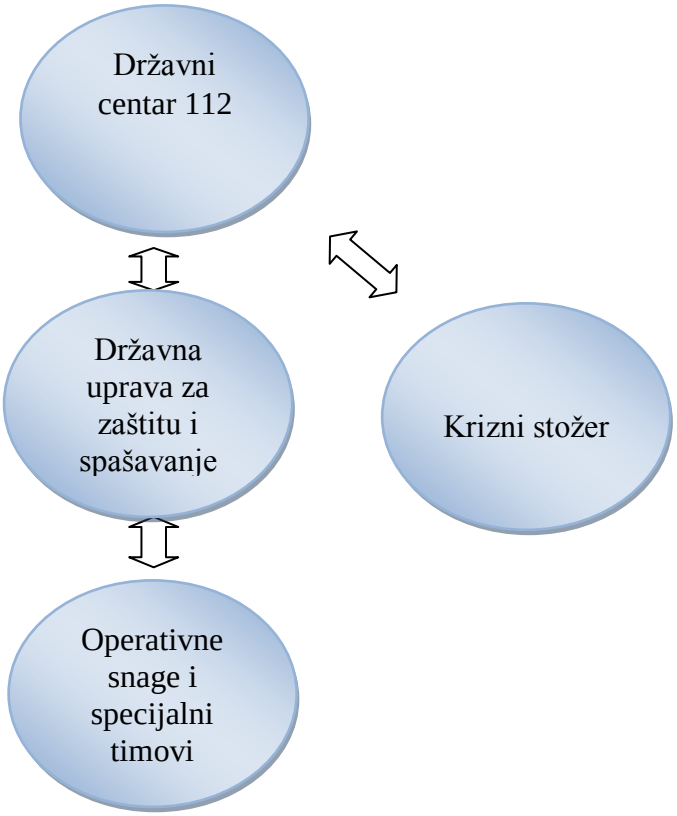
1. Ograničavanje izlaganju zračenju
2. Održavanje udaljenosti od izvora jer sa povećanjem udaljenosti opada i intenzitet zračenja
3. Zaštita u obliku olovnih, cementnih ili vodenih barijera
4. Izolacija radioaktivnih izvora i njihovo spremanje na mjesta udaljena od radnog okoliša i okoliša uopće.

Naša država ima program mjera kojim je određeno što učiniti prilikom nuklearnog incidenta. Važnu ulogu u svemu tome ima nacionalni sustav pripravnosti za slučaj nuklearnih i radioloških nesreća.

Sustav se sastoji od četiri glavna sudionika (NN 2013):

1. Državni centar 112 (DC 112)
2. Krizni stožer državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost (KS)
3. Državna uprava za zaštitu i spašavanje (DUZS)
4. Operativne snage i specijalni timovi.

Veoma je važno da sve karike sustava međusobno komuniciraju i taj postupak se odvija prema protokolu prikazanom na slici 4.



Slika 4. Sustav pripravnosti za slučaj nuklearne nesreće.

Prema zakonu o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 2010) i Državnom planu i programu mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja te intervencija u slučaju izvanrednog događaja (NN 2008)

U Hrvatskoj postoji SPUNN[3]sustav. On omogućuje alarmiranje u slučaju povišene razine radioaktivnosti u okolišu te osigurava ulazne podatke za procjenu doza za stanovništvo. Sastoji se od 25 mjernih postaja i centralne jedinice. Svaka postaja mjeri brzinu ambijentalne gama doze. A neke postaje mjere i koncentracije radionuklida u atmosferi.

U slučaju nuklearne nesreće da bi se spriječili štetni učinci potrebno je pravodobno primijeniti zaštitne mjere. Te se mjere mogu podijeliti na hitne i dugotrajne (NN 2013).

[3] Sustav pravodobnog upozoravanja na nuklearnu nesreću.

U hitne mjere spada:

1. zaklanjanje (upućivanje stanovništva da se skloni u zatvorene prostore)
2. evakuacija (hitno preseljenje stanovništva iz ugroženog područja)
3. jodna profilaksa (zasićenje štitne žlijezde jodom da bi se spriječio unos radioaktivnog joda).

U dugotrajne mjere zaštite spada:

1. privremeno preseljenje (preseljenje stanovništva iz ugroženog područja u trajanju do dvije godine)
2. trajno preseljenje
3. mjere vezane za prehrambene proizvode (mjere za smanjenje kontaminacije i ograničenja u konzumiranju prehrambenih proizvoda)
4. mjere u poljoprivredi(ograničenja u korištenju stočne hrane, promjene u načinu obrađivanja zemljišta, skladištenja i prerade poljoprivrednih proizvoda) (Uredba o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te intervencija u slučaju izvanrednog događaja) (NN 2013).

5. ZAKLJUČAK

Kao i u drugim vrstama katastrofa tako je i u nuklearnim katastrofama nužna kvalitetna priprema i razrađen sustav i plan djelovanja. Sve javnozdravstvene ustanove i njihovi djelatnici bi po protokolim trebali biti upoznati s postupcima pravodobne i kvalitetne reakcije na takav izvanredan događaj. Ulaskom Hrvatske u Europsku Uniju odnosno njenim predpristupnim pregovorima preuzeli smo nove i prilagodili naše zakone vezane uz takve iznimne situacije. Zakoni kao i protokoli postupanja postoje, ali je teško reći koliko su oni zapravo funkcionalni jer nuklearne katastrofe većih razmjera u novijoj povijesti nije bilo.

Usprkos svih mogućih sigurnosnih mehanizama i protokola koji postoje u nuklearnim elektranama i njihovoj okolici čovjek je ipak pokazao da se ne može suprotstaviti silama prirode te možda svom najvećem neprijatelju, samom sebi. To najbolje prikazuju dvije posljednje nesreće, černobilska nesreća uzrokovana ljudskom greškom te nesreća u nuklearnoj elektrani Fukushima Daiichi uzrokovana silama prirode. Zbog svega toga trebamo se paziti i raditi na potencijalno manje opasnim izvorima energije. A dok do toga ne dođemo trebamo i dalje razvijati preventivne mehanizme u samim izvorima potencijalnih nesreća, a javnozdravstvene i druge službe obrazovati i pripremiti na potencijalnu katastrofu te se nadati da do iste neće doći.

6. ZAHVALE

Veliku zahvalnost dugujem doc.dr.sc Iskri Alexandri Nola. Njeno strpljenje, poznavanje problematike i pomoć koju je nesebično pružala je omogućilo pisanje ovoga rada.

Također svoju zahvalnost dugujem i svojoj obitelji bez čije pomoći i podrške ne bi završio ovaj studij te samim time daljnju budućnost u profesiji koju volim.

7. LITERATURA

1. ABM AtomicBombMuseum.org (2005) Social damages. www.AtomicBombMuseum.org/4_ruins.shtml. Accessed: 19.4.2014
2. ANS The American Nuclear Society Special Committee on Fukushima (2012). http://fukushima.ans.org/report/Fukushima_report.pdf. Accessed: 20.4.2014
3. Birjukov A (1994) Immunological and endocrinological abnormalities in patients irradiated in the Chernobyl atomic power plant accident. Andrei Birioukov, Michael Meurer, Wilhelm Kaffenberger, Ralf Peter, Otto Braun-Falco and Gerd Plewig.
4. Chernobyl accident 1986 (2014) http://www.world-nuclear.org/info/safety-and-security/safety-of-plants/chernobyl-accident/. Accessed: 11.5.2014
5. Cutnell J, Johnson K (2003) Physics. USA: WiIley
6. Dodig D, Ivančević D i Popović S (2002) Radijacijske ozljede: dijagnostika i liječenje. Zagreb: Medicinska naklada
7. DZRNS Državni plan i program mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja te intervencija u slučaju izvanrednog događaja (2008) ww.cms.dzrns.hr. Accessed: 20.4.2014
8. Đakula A, Kovačić L, Šogorić S (2003) Javno zdravstvo. Kovačić L, ur. U: Organizacija i upravljanje u zdravstvenoj zaštiti. Zagreb: Medicinska naklada
9. Gamulin S, Kovač Z, Marušić M (2005) Patofiziologija 6. Zagreb: Medicinska naklada
10. Harekić J, Koren Z (1997) Biološki učinci neionizirajućeg zračenja. Zagreb: Akademija tehničkih znanosti Hrvatske
11. HZJZ (2014). Dostupno sa: www.hzjz.hr. Accessed: 20.4.2014
12. Jakobović Z (2007) Fizika zračenja. Odabrana poglavlja za studij radiološke tehnologije. Zagreb: Zdravstveno veleučilište

13. Life in the ruins (2005) Dostupno sa: www.AtomicBombMuseum.org (2005). www.AtomicBombMuseum.org/4_ruins.shtm Accessed:19.4.2014
14. Nagasaki City (2004) Records of the Nagasaki atomic bombing. Nagasaki: The City http://www.city.nagasaki.lg.jp/peace/english/record/photo/part_2_01.html Accessed:19.4.2014
15. NN 49/2008 (2008) Državni plan i program mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja te intervencija u slučaju izvanrednog događaja.
16. NN 28/2010 (2010) Pravilnik o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu.
17. NN 102/2012 (2012) Uredba o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te intervencija u slučaju izvanrednog događaja.
18. NN 141/2013 (2013) Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti.
19. Peeble, Edwin P J (2009) Finding the bing bang peeble. New York: Cambridge University press.
20. Piljak D (2006) Izloženost ljudi ionizirajućem zračenju. Zagreb: Kigen
21. Pollycove M (1998) Nonlinearity of Radiation Health Effects. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC. Environmental Health Perspectives 106(1)
22. Safety of Nuclear Power Reactors (2014) Dostupno sa: http://www.world-nuclear.org/info/Safety-and-Security/Safety-of-Plants/Safety-of-Nuclear-Power-Reactors/). Accessed: 11.5.2014
23. Takayama H (2000) Hiroshima in memoriam and today: a testament of peace for the world. Hitoshi Takayama with the cooperation of Hiroshima citizens. Hiroshima : The HIMAT Group
24. The spirit of Hiroshima (2014): An introduction to the atomic bomb tragedy . The Hiroshima Peace Memorial Museum. http://www.hiroshima-spirit.jp/en/. Accessed: 20.06.2014

8. Životopis

Rođen sam u Zagrebu, 10.siječnja 1989. godine. Prva četiri razreda osnovne škole pohađao sam u Osnovnoj školi Pantovčak u Zagrebu, a ostatak u osnovnoj školi Matko Laginja isto u Zagrebu. 2007. godine završavam Gornjogradsku gimnaziju u Zagrebu i upisujem Medicinski fakutet, Sveučilišta u Zagrebu.