

Radioaktivnost

Bilić, Debora

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:983467>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-14**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Debora Bilić

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
POVJERENSTVO ZA ZAVRŠNE ISPITE

Kandidatkinja **Debora Bilić**

Predala je izrađen završni rad dana: 5. rujna 2023.

Povjerenstvo u sastavu:

doc. dr. sc. Iva Movre Šapić, Sveučilište u Zagrebu Fakultet kemijskog
inženjerstva i tehnologije

izv. prof. dr. sc. Vladimir Dananić, Sveučilište u Zagrebu Fakultet
kemijskog inženjerstva i tehnologije

doc. dr. sc. Vesna Očelić Bulatović, Sveučilište u Zagrebu Fakultet
kemijskog inženjerstva i tehnologije

prof. dr. sc. Emi Govorčin Bajsić, Sveučilište u Zagrebu Fakultet
kemijskog inženjerstva i tehnologije (zamjena)

povoljno je ocijenilo završni rad i odobrilo obranu završnog rada pred
povjerenstvom u istom sastavu.

Završni ispit održat će se dana: 8. rujna 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Debora Bilić
RADIOAKTIVNOST
ZAVRŠNI RAD

Mentor: doc. dr. sc. Iva Movre Šapić

Članovi ispitnog povjerenstva:

doc. dr. sc. Iva Movre Šapić

izv. prof. dr.sc. Vladimir Dananić

doc. dr. sc. Vesna Očelić Bulatović

Zagreb, rujan 2023.

SAŽETAK

Zračenje i radioaktivni materijali dio su okoliša. Zračenje u okolišu dolazi od kozmičkog zračenja koje potječe iz svemira i od radioaktivnih materijala koji se prirodno pojavljuju u zemlji i u ljudskim tijelima. Radioaktivnost se odnosi na čestice koje se emitiraju iz jezgri kao rezultat nuklearne nestabilnosti. Različite vrste radioaktivnosti dovode do različitih puteva raspada koji pretvaraju jezgre u druge kemijske elemente. Mnoge su dobrobiti, ali i opasnosti radioaktivnog zračenja. Opasnosti radioaktivnog zračenja najbolje prikazuje Černobilska katastrofa. Dana 26. travnja 1986., operateri u kontrolnoj sobi reaktora 4 u nuklearnoj elektrani Černobil počinili su kobnu seriju pogrešaka tijekom sigurnosnog testa, što je izazvalo topljenje reaktora koje je rezultiralo najvećom svjetskom nuklearnom nesrećom do danas.

Ključne riječi: *radioaktivnost, radioaktivni raspad, Černobilska katastrofa*

SUMMARY

Radiation and radioactive materials are part of the environment. Radiation in the environment comes from cosmic radiation that originates in space and from radioactive materials that occur naturally in the earth and in human bodies. Radioactivity refers to particles emitted from nuclei as a result of nuclear instability. Different types of radioactivity lead to different decay pathways that convert nuclei into other chemical elements. There are many benefits, but also dangers of radioactive radiation. The dangers of radioactive radiation are best illustrated by the Chernobyl disaster. On April 26, 1986, operators in the control room of Reactor 4 at the Chernobyl nuclear power plant committed a fatal series of errors during a safety test, causing the reactor to meltdown resulting in the world's worst nuclear accident to date.

Key words: radioactivity, radioactive decay, Chernobyl disaster

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. RADIOAKTIVNOST I RADIOAKTIVNI RASPAD	2
2.1 Pojam radioaktivnosti	2
2.2 Radioaktivni raspad	3
2.3 Vrste radioaktivnih raspada	3
2.3.1 Zakon radioaktivnog raspada.....	4
2.3.2 α -raspad.....	5
2.3.3 β -raspad.....	6
2.3.4 Elektronski uhvat.....	7
3. UMJETNA RADIOAKTIVNOST I PRIMJENA	8
3.1 Umjetna radioaktivnost.....	8
3.2 Primjena umjetne radioaktivnosti.....	8
4. DOBROBITI I OPASNOSTI RADIOAKTIVNOG ZRAČENJA.....	10
4.1 Dobrobiti radioaktivnog zračenja	10
4.1.1 Primjena radioaktivnog zračenja u medicini.....	10
4.1.2 Primjena radioaktivnog zračenja u akademske i znanstvene svrhe	11
4.1.3 Primjena radioaktivnog zračenja u industriji.....	11
4.2 Opasnosti radioaktivnog zračenja.....	12
5. ČERNOBILSKA KATASTROFA.....	15
5.1 Izgradnja nuklearne elektrane Černobil	15
5.2 Černobilska katastrofa.....	16
5.2.1 Vremenska crta Černobilske katastrofe	16
5.2.2 Evakuacija stanovništva i događaji neposredno nakon katastrofe	21
5.3 Posljedice černobilske katastrofe	24
6. ZAKLJUČAK	27
POPIS LITERATURE	29

1. UVOD

Sav život na planeti Zemlji neizbježno je izložen utjecaju pozadinskog zračenja. Ono podrazumijeva svo ionizirajuće zračenje prisutno u okolišu koje nije namjerno izazvano. Osim toga, mnoge ljudske aktivnosti proizvode zračenje i radioaktivne materijale. Danas je zračenje uobičajen i vrijedan alat u medicini, istraživanju i industriji. Koristi se u medicini za dijagnosticiranje bolesti, a u velikim dozama za liječenje bolesti poput raka. Također, visoke doze zračenja koriste se za uništavanje štetnih bakterija u hrani i produljenje roka trajanja svježih proizvoda. Zračenje proizvodi toplinu koja se koristi za proizvodnju električne energije u nuklearnim reaktorima. Radioaktivni materijali koriste se u brojnim potrošačkim proizvodima, kao što su detektori dima i znakovi za izlaz, te za mnoge druge istraživačke i industrijske svrhe. Uz svoje prednosti, zračenje ima i svoje negativne strane, odnosno opasnosti. Cilj ovog rada je pojasniti pojam radioaktivnosti, odnosno vrste radioaktivnog raspada, te detaljnije opisati černobilsku katastrofu.

2. RADIOAKTIVNOST I RADIOAKTIVNI RASPAD

Zračenje i radioaktivni materijali dio su okoliša. Zračenje u okolišu dolazi od kozmičkog zračenja koje potječe iz svemira i od radioaktivnih materijala koji se prirodno pojavljuju u zemlji i u ljudskim tijelima. Zajedno, oni su poznati kao pozadinsko zračenje. Zračenje proizvodi rendgenska oprema i akceleratori čestica koji se koriste u istraživanju i medicini. Radioaktivni materijali se proizvode u nuklearnim reaktorima i akceleratorima čestica.

2.1 Pojam radioaktivnosti

Radioaktivnost predstavlja spontano emitiranje alfa čestica i beta čestica iz tvari, često praćeno i emisijom gama elektromagnetskih valova. Emitiranjem alfa i beta čestica dolazi do promjene svojstva tvari, odnosno prelaska kemijskih elemenata iz jednih u druge. Tada dolazi do oslobađanja energije u obliku kinetičke energije emitiranih čestica ili energije elektromagnetskih valova. [1] Radioaktivnost se odnosi na čestice koje se emitiraju iz jezgri kao rezultat nuklearne nestabilnosti.

Radioaktivnost je prirodna i sveprisutna komponenta svemira. Sva materija oko ljudskih bića nastala je nuklearnim reakcijama i popratnom radioaktivnošću. [2] Zračenje je energija koja se kreće kroz prostor ili materiju vrlo velikom brzinom. Ta energija može biti u obliku čestica, poput alfa ili beta čestica, koje emitiraju radioaktivni materijali, ili valova poput svjetlosti, topline, radiovalova, mikrovalova, x-zraka i gama zraka. Radioaktivni materijali, također poznati kao radionuklidi ili radioizotopi, atomi su koji su nestabilni. U prirodi postoji tendencija da nestabilni atomi prijeđu u stabilan oblik. Kako mijenjaju oblik, oslobađaju zračenje. [3]

Godine 1896., kada je Antoine Henri Becquerel istraživao novootkrivene X-zrake, slučajno je otkrio da uranijeve soli spontano emitiraju prodorno zračenje koje se može registrirati na fotografskoj ploči. Kroz daljnje studije, otkrilo se da je Henri Becquerel otkrio novi fenomen, prirodnu radioaktivnost. [4]

Četiri su glavna izvora radioaktivnosti:

- kozmičko zračenje;
- onečišćenje u tlu i atmosferi;
- nuklearni otpad i
- tvari sadržane u ljudskom tijelu.

Kozmičko zračenje podrazumijeva fotone, protone, elektrone i mezone. Onečišćenje u tlu i atmosferi podrazumijeva prirodne radioaktivne stijene, dok nuklearni otpad podrazumijeva otpad nastao u nuklearnim eksplozijama. Tvari sadržane u ljudskom tijelu su kalij-40 te članovi uranovog i torijevog radioaktivnog niza. [5]

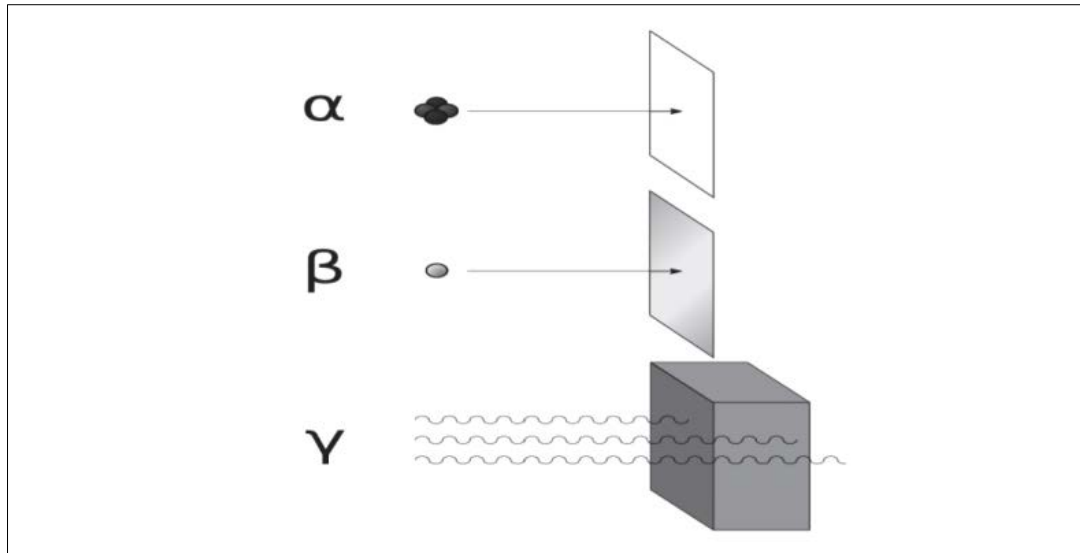
2.2 Radioaktivni raspad

Nestabilnost atomske jezgre dovodi do radioaktivnog raspada. Radioaktivnim raspadom jezgre, kemijski elementi prelaze iz jednih u druge te pritom dolazi do emitiranja alfa-čestica ili beta-čestica i gama-zračenja. Prema vrsti, pretvorba jedne atomske jezgre u drugu može biti alfa-raspad, beta-raspad i elektronski uhvat. Raspadi emisijom jednog ili dva protona, neutrona, događaju se rjeđe, dok teže jezgre pri radioaktivnom raspadu mogu emitirati i ugljik ^{14}C . [6]

Elementi u periodnom sustavu mogu poprimiti nekoliko oblika. Neki od ovih oblika su stabilni; drugi oblici su nestabilni. Tipično, najstabilniji oblik elementa je najčešći u prirodi. Međutim, svi elementi imaju nestabilan oblik. Nestabilni oblici emitiraju ionizirajuće zračenje i radioaktivni su. Postoje neki elementi bez stabilnog oblika koji su uvijek radioaktivni, poput urana. Elementi koji emitiraju ionizirajuće zračenje nazivaju se radionuklidi. [7]

2.3 Vrste radioaktivnih raspada

Elementarne čestice, elektromagnetska zračenja, se u radioaktivnim procesima emitiraju iz jezgri atoma. Najuobičajeniji oblici elektromagnetskog zračenja, odnosno elementarne čestice nazivaju se alfa-čestice (α), beta-čestice (β) i gama-zračenjima (γ). [8]



Slika 1. Vrste zračenja [8]

Slika 1. Prikazuje vrste zračenja i to, alfa zračenje, beta zračenje te gama zračenje. Slikovnim prikazom predstavljaju se i materijali koji zaustavljaju određenu vrstu zračenja. Alfa zračenje može zaustaviti papir, beta zračenje moguće je zaustaviti aluminijskim limom debelim svega nekoliko milimetara, dok gama zračenje može zaustaviti olovna ploča, debljine od desetak centimetara.

Zračenje koje u interakciji s materijom može proizvesti ione naziva se ionizirajuće zračenje. Ioni su nabijene čestice koje nastaju kada se elektroni uklone sa svojih položaja u atomima. Alfa čestice, beta čestice, x-zrake i gama zrake su oblici ionizirajućeg zračenja. S druge strane, zračenje koje nije u stanju proizvesti ione u materiji poznato je kao neionizirajuće zračenje. [3]

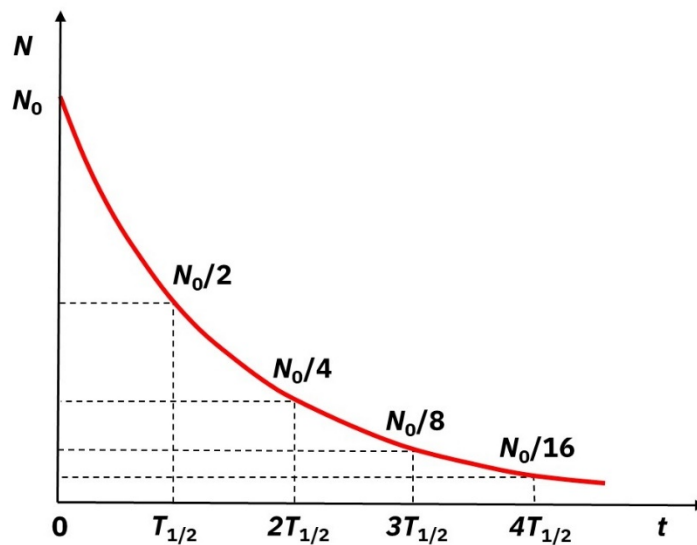
2.3.1 Zakon radioaktivnog raspada

Svim nuklearnim raspadima zajednički je statistički karakter. Takvi procesi ponašaju se prema zakonu radioaktivnog raspada koji govori o promjeni količine radioaktivne tvari u nekom vremenu. Zakon je dan sljedećim izrazom:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

pri čemu je N broj neraspadnutih jezgara. Na slici 2., koja prikazuje krivulju raspada, vidljivo je da se taj broj eksponencijalno smanjuje s vremenom. [30] N_0 je broj radioaktivnih jezgara u trenutku $t=0$. Umjesto konstante raspada λ , češće se koristi vrijeme poluraspada $t_{1/2}$. Ono označava vrijeme potrebno da se polovica radioaktivnih

jezgara raspadne. Zakon radioaktivnog raspada analogan je kemijskoj kinetici prvog reda. [32]

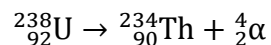


Slika 2. Radioaktivni raspad kao funkcija vremena [31]

2.3.2 α -raspad

Alfa zračenje zasniva se na teškim pozitivno nabijenim česticama. Alfa čestice emitiraju atomi poput urana i radija. Alfa zračenje može zaustaviti papir, dok može prodrijeti jedino u tanki sloj kože. Ako je uneseno u ljudsko tijelo udisanjem, hranom ili vodom, alfa zračenje oštećuje unutarnja tkiva. [8]

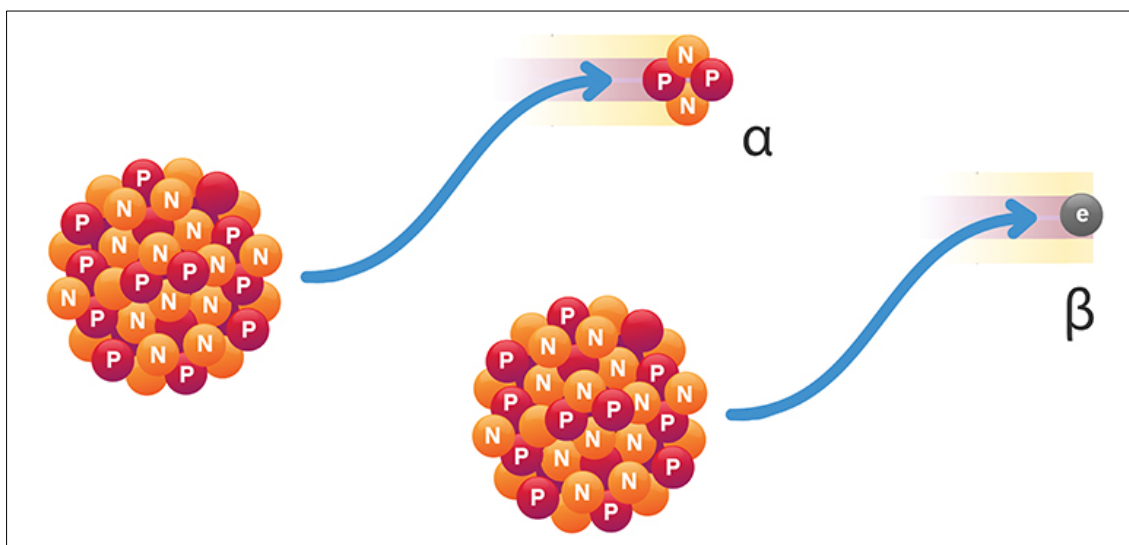
Alfa raspad vrsta je radioaktivne dezintegracije u kojoj neke nestabilne atomske jezgre rasipaju višak energije spontanom izbacivanjem alfa čestica. Budući da alfa čestice imaju dva pozitivna naboja i masu od četiri jedinice, njihova emisija iz jezgri proizvodi jezgre kćeri koje imaju pozitivan nuklearni naboj ili atomski broj dvije jedinice manji od svojih roditelja i masu četiri jedinice manju. [9] U nastavku je prikazan primjer raspada jezgre urana 238 koji glasi:



Brzina, a time i energija alfa čestice izbačene iz dane jezgre, specifično je svojstvo roditeljske jezgre i određuje karakteristični domet ili udaljenost koju alfa čestica putuje. Iako su izbačene brzinom od oko jedne desetine brzine svjetlosti, alfa čestice nisu jako prodorne. Imaju raspone u zraku od samo nekoliko centimetara (što odgovara energetsom rasponu od oko 4 milijuna do 10 milijuna elektron volti). [9]

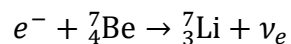
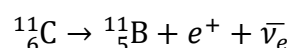
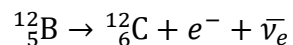
2.3.3 β -raspad

Beta zračenje sastoji se od elektrona. Beta zračenje može zaustaviti aluminijski lim debljine nekoliko milimetara, dok škodi očima i koži. [8] U nastavku slijedi slikovni prikaz α - i β -radioaktivnog raspada (Slika 2.).



Slika 3. α - i β -radioaktivni raspad [10]

Beta raspad je bilo koji od tri procesa radioaktivne dezintegracije kojim neke nestabilne atomske jezgre spontano raspršuju višak energije i prolaze kroz promjenu jedne jedinice pozitivnog naboja bez ikakve promjene masenog broja. Tri procesa su emisija elektrona, emisija pozitrona (čestica jednake mase kao i elektron, ali suprotnog električnog naboja, to je antičestica elektrona) i hvatanje elektrona. [11] U nastavku su redom prikazani primjeri svih triju procesa beta raspada:



Beta raspad je, 1899. godine, nazvao Ernest Rutherford kada je uočio da radioaktivnost nije jednostavan fenomen. Manje prodorne zrake nazvao je alfa, a prodornije zrake beta. Većina beta čestica izbacuje se brzinama koje se približavaju brzini svjetlosti. [11]

U emisiji elektrona, koja se također naziva negativni beta raspad (β^- -raspad), nestabilna jezgra emitira energični elektron (relativno male mase) i antineutrino (s malo ili bez mase mirovanja), a neutron u jezgri postaje proton koji ostaje u produktnoj jezgri. U emisiji pozitrona, koja se također naziva pozitivni beta raspad (β^+ -raspad), proton u roditeljskoj jezgri raspada se u neutron koji ostaje u jezgri kćeri, a jezgra emitira neutrino i pozitron. [11]

2.3.4 *Elektronski uhvat*

Gama zračenje oblik je elektromagnetskog zračenja. Gama zračenje može zaustaviti olovna ploča debljine od desetak centimetara, no može proći kroz cijelo ljudsko tijelo. [8]

Elektronski uhvat je proces radioaktivnog raspada kojim se elektron unutarnje orbite atoma apsorbira unutar jezgre nakon čega slijedi pretvorba protona u neutron i emisija neutrina. [12]

Hvatanje elektrona, odnosno elektronski uhvat, jedan je od procesa koji nestabilni atomi mogu koristiti da postanu stabilniji. Tijekom zarobljavanja elektrona, elektron u unutarnjoj ljusci atoma biva uvučen u jezgru gdje se spaja s protonom, tvoreći neutron i neutrino. Neutrino se izbacuje iz jezgre atoma. [13]

Prelaskom elektrona iz unutarnje ljuske u jezgru, slobodno mjesto elektrona u unutarnjoj ljusci popunjava se prijelazom elektrona iz viših ljusaka pri čemu se emitiraju karakteristične rendgenske zrake.

Budući da atom gubi proton tijekom hvatanja elektrona, on se mijenja iz jednog elementa u drugi. Na primjer, nakon zarobljavanja elektrona, atom ugljika (sa 6 protona) postaje atom bora (s 5 protona). Iako se broj protona i neutrona u jezgri atoma mijenja tijekom zarobljavanja elektrona, ukupni broj čestica (protoni + neutroni) ostaje isti. [13]

3. UMJETNA RADIOAKTIVNOST I PRIMJENA

3.1 Umjetna radioaktivnost

Iako se radioaktivnost smatra prirodnim procesom, može se i umjetno inducirati. Inducirana radioaktivnost, koja se naziva i umjetna radioaktivnost ili umjetno stvorena radioaktivnost, proces je korištenja zračenja da se prethodno stabilan materijal učini radioaktivnim. [14]

Ernest Rutherford bio je istaknuti novozelandski znanstvenik i dobitnik Nobelove nagrade za kemiju 1908. Među njegovim ogromnim popisom otkrića je i umjetno izazvana radioaktivnost. [14] Zaključio je da se atomi jednog specifičnog elementa mogu pretvoriti u atome drugog elementa. Ako je nastali element radioaktivan, tada se taj proces naziva umjetno izazvana radioaktivnost.

Prije ovog otkrića umjetne indukcije radioaktivnosti, bilo je uobičajeno vjerovanje da su atomi materije nepromjenjivi i nedjeljivi. Nakon prvih otkrića Ernesta Rutherforda, Irene Joliot-Curie i njezina supruga Frederica Joliot, razvijeno je novo gledište. Gledište da iako se atomi čine stabilnima, oni se mogu transformirati u nove atome s različitim kemijskim svojstvima. Danas postoji preko tisuću umjetno stvorenih radioaktivnih nuklida, koji brojčano znatno nadmašuju stvorene neradioaktivne. [14]

3.2 Primjena umjetne radioaktivnosti

Osim što su značajno jeftiniji od prirodnih radioaktivnih elemenata, umjetni radioaktivni elementi imaju veliku primjenu u medicini i tehnici.

Nuklearni reaktori i akceleratori danas su glavni izvor radioaktivnih elemenata. Iako radioaktivnost djeluje razarajuće na ljudski život, ali i sve žive organizme, tijekom drugog svjetskog rata i pedeset godina nakon, razvijano je nuklearno oružje. Radioaktivnost također kontaminira materijalne tvorevine, zemljište i zrak. [15]

Nuklearno oružje, oružje je za masovno uništavanje s razarajućim djelovanjem za koje se koristi energija što se fisijom ili fuzijom oslobađa iz atomskih jezgara nuklearnog eksploziva. Svojim sveobuhvatnim djelovanjem pogađa sve žive organizme i materijalne objekte u zahvaćenom području s kratkoročnim i dugoročnim

posljedicama. Prema vrsti reakcije, nuklearno oružje može biti nuklearna, termonuklearna ili neutronska bomba. [16]

4. DOBROBITI I OPASNOSTI RADIOAKTIVNOG ZRAČENJA

4.1 Dobrobiti radioaktivnog zračenja

Danas, za dobrobit čovječanstva, zračenje se koristi u medicini, akademiji i industriji, kao i za proizvodnju električne energije. Osim toga, zračenje ima korisne primjene u područjima kao što su poljoprivreda, arheologija, istraživanje svemira, provođenje zakona, geologija i mnoga druga.

4.1.1 *Primjena radioaktivnog zračenja u medicini*

Zdravstvene ustanove, liječnici i stomatolozi, koriste razne nuklearne materijale i postupke za dijagnosticiranje, praćenje i liječenje širokog spektra metaboličkih procesa i medicinskih stanja kod ljudi. Medicinski postupci koji koriste zračenje spasili su tisuće života kroz otkrivanje i liječenje stanja u rasponu od hipertireoze do raka kostiju.

Najčešći od medicinskih postupaka uključuje korištenje rendgenskih zraka, vrste zračenja koja može proći kroz ljudsku kožu. Kada se snima rendgenom, ljudske kosti i druge strukture bacaju sjene jer su gušće od kože, a te se sjene mogu otkriti na fotografskom filmu. Učinak je sličan stavljanju olovke iza komada papira i držanju olovke i papira ispred svjetla. Sjena olovke se otkriva jer većina svjetlosti ima dovoljno energije da prođe kroz papir, ali gušća olovka zaustavlja svu svjetlost. Razlika je u tome što su x-zrake nevidljive, pa je potreban fotografski film kako bi se mogle otkriti na fotografskom filmu. To omogućuje liječnicima i stomatolozima da uoče slomljene kosti i probleme sa zubima. [17]

U terapijske i dijagnostičke svrhe koriste se radioaktivni izotopi. Mnogi radioaktivni izotopi imaju karakteristike kao i atomi neradioaktivnih elemenata te stoga služe za dijagnozu određenih bolesti. Radioaktivni element jod-131, koristi se u medicini za određivanje minutnog volumena i volumena plazme. Najvažnija primjena joda-131 je mogućnost mjerenja aktivnosti štitnjače, koje je moguće jer se, hormoni koji prenose jod, nalaze u štitnjači. [18]

4.1.2 Primjena radioaktivnog zračenja u akademske i znanstvene svrhe

Sveučilišta, fakulteti, srednje škole i druge akademske i znanstvene institucije koriste nuklearne materijale u nastavi, laboratorijskim demonstracijama, eksperimentalnim istraživanjima i raznim primjenama u zdravstvenoj fizici. Na primjer, kao što liječnici mogu označiti tvari unutar tijela ljudi, znanstvenici mogu označiti tvari koje prolaze kroz biljke, životinje, itd.. To omogućuje istraživačima proučavanje stvari kao što su putevi kojima različite vrste onečišćenja zraka i vode prolaze kroz okoliš. Slično tome, zračenje je pomoglo da čovječanstvo sazna više o vrstama tla, koje su različite biljke potrebne za rast, veličinama novootkrivenih naftnih polja i tragovima oceanskih struja. Osim toga, istraživači koriste niskoenergetske radioaktivne izvore u plinskoj kromatografiji za identifikaciju komponenti naftnih proizvoda, smoga i dima cigareta, pa čak i složenih proteina i enzima koji se koriste u medicinskim istraživanjima. [17]

Arheolozi također koriste radioaktivne tvari za određivanje starosti fosila i drugih predmeta kroz proces koji se naziva datiranje ugljikom. Na primjer, u višim slojevima atmosfere, kozmičke zrake pogađaju atome dušika i stvaraju prirodno radioaktivni izotop koji se zove ugljik-14. Ugljik se nalazi u svim živim bićima, a mali postotak toga je ugljik-14. Kada biljka ili životinja umre, više ne uzima novi ugljik, a ugljik-14 koji je akumulirala tijekom svog života započinje proces radioaktivnog raspada. Kao rezultat toga, nakon nekoliko godina stari objekt ima niži postotak radioaktivnosti od novijeg objekta. Mjerenjem ove razlike, arheolozi mogu odrediti približnu starost predmeta. [17]

4.1.3 Primjena radioaktivnog zračenja u industriji

Poljoprivredna industrija koristi zračenje za poboljšanje proizvodnje i pakiranja hrane. Sjeme biljaka, na primjer, bilo je izloženo zračenju kako bi se dobile nove i bolje vrste biljaka. Osim što jača biljke, zračenje se može koristiti za kontrolu populacije insekata, čime se smanjuje upotreba opasnih pesticida. Radioaktivni materijal se također koristi u mjeračima koji mjere debljinu ljuski jaja kako bi se izdvojila tanka, lomljiva jaja prije nego što se pakiraju u kutije za jaja. Osim toga, mnoga hrana pakirana je u polietilensku foliju koja se skuplja i koja je ozračena tako da se može zagrijati iznad svoje uobičajene točke taljenja i omotati oko hrane kako bi se osigurao hermetički zaštitni omotač. [17]

Inženjeri također koriste mjerače koji sadrže radioaktivne tvari za mjerenje debljine papirnatih proizvoda, razine tekućine u spremnicima za ulje i kemikalije te vlažnost i gustoću tla i materijala na gradilištima. Oni također koriste proces rendgenskih zraka, koji se naziva radiografija, kako bi pronašli inače neprimjetne nedostatke u metalnim odljevcima i zavarenim spojevima. Radiografija se također koristi za provjeru protoka ulja u zabrtvljenim motorima te stope i načina trošenja različitih materijala. Uređaji za karotažu bušotina koriste radioaktivni izvor i opremu za otkrivanje kako bi identificirali i zabilježili formacije duboko unutar bušotine za istraživanje nafte, plina, minerala, podzemne vode ili geološko istraživanje. Radioaktivni materijali također pokreću svemirske letjelice i opskrbljuju električnom energijom satelite koji se šalju u misije u najudaljenija područja sunčevog sustava. [17]

Električna energija proizvedena nuklearnom fisijom, cijepanjem atoma, jedna je od najvećih upotreba zračenja. Električna energija se može proizvoditi na mnogo načina. Pomoću generatora koji pokreću sunce, vjetar, voda, ugljen, nafta, plin ili nuklearna fisija.[17]

Nuklearna fisija je tip reakcije prilikom koje teška jezgra apsorbira spori neutron. Tako nastale složene jezgre nazivaju se fragmentima fisije te se raspadaju na dvije srednje teške jezgre i nekoliko neutrona. Fragmenti fisije su izrazito nestabilni i kao takvi postaju vrlo radioaktivni. Opisana reakcija koristi se u nuklearnim reaktorima na način da se višak neutrona apsorbira. Svaki od njih proizvodi novu nuklearnu fisiju ravnomjernim odvijanjem procesa što u praksi nazivamo kontroliranom fisijom. U slučaju viška neapsorbiranih elektrona nastaje nekontrolirana lančana fisija prilikom koje se oslobađa velika količina energije. Produkti nastali lančanom fisijom su jezgre nastale cijepanjem atoma uranija. Takav tip reakcije doveo je do niza eksplozija koje su raznijele reaktor u nuklearnoj elektrani Černobil. [29]

4.2 Opasnosti radioaktivnog zračenja

Izravna izloženost velikim količinama radioaktivnosti može izazvati mučninu, povraćanje, gubitak kose, proljev, krvarenje, uništenje probavnog sustava, oštećenje središnjeg živčanog sustava i smrt. Također izaziva oštećenje DNK i povećava

opasnost od raka, osobito kod djece i fetusa. Izravna izloženost štetnom zračenju može uzrokovati teški rak kože i drugih organa. [19]

Izloženost različitim vrstama izvora zračenja posebno utječe na određene dijelove tijela. Nekoliko je čimbenika uključeno u određivanje potencijalnih zdravstvenih učinaka izloženosti zračenju. To uključuje:

- veličinu doze (količina energije deponirane u tijelu);
- sposobnost zračenja da ošteti ljudsko tkivo i
- koji su organi zahvaćeni.

Najvažniji čimbenik je veličina doze, količina energije koja se stvarno deponira u ljudskom tijelu. Što više energije apsorbiraju stanice, veća je biološka šteta. Zdravstveni fizičari količinu energije koju tijelo apsorbira nazivaju dozom zračenja. [20] Apsorbirana doza, količina apsorbirane energije po gramu tjelesnog tkiva, obično se mjeri u jedinicama koje se nazivaju grey (Gy). Druga jedinica radijacije je sivert (Si) ili rendgenski ekvivalent kod čovjeka. Prije uvođenja SI sustava, kao mjerna jedinica za apsorbiranu dozu bila je rad. Za pretvaranje greya u rade broj greya se množi s 100. [30] Za beta, gama i rendgensko zračenje rendgenski ekvivalent iznosi jedan dok za neke neutrone, protone ili alfa čestice taj je broj dvadeset. [20]

Jedno od najvećih opasnosti radioaktivnog zračenja je nuklearno oružje. Nuklearno oružje je najopasnije oružje na svijetu. Može se uništiti cijeli grad, potencijalno ubiti milijune i ugroziti prirodni okoliš i živote budućih generacija svojim dugoročnim katastrofalnim učincima. Opasnosti od takvog oružja proizlaze iz samog njegovog postojanja.

Nuklearno oružje predstavlja oružje za masovno uništavanje. Nuklearno oružje ima razarajuće djelovanje, gdje se oslobađa energija iz atomskih jezgara nuklearnog eksploziva. Nuklearno oružje, prema vrsti reakcije može biti:

- nuklearna bomba;
- termonuklearna bomba i
- neutronska bomba.

Nuklearno oružje svojim razarajućim djelovanjem utječe na sve žive organizme i materijalne objekte u zahvaćenom području. Posljedice mogu biti kratkoročne i dugoročne. [21] Nuklearno oružje bitno se razlikuje od konvencionalnog oružja zbog ogromne količine eksplozivne energije koju može osloboditi i vrsta učinaka koje proizvodi, poput visokih temperatura i zračenja.

Učinci nuklearne eksplozije ovise o mnogim čimbenicima, uključujući dizajn oružja (fisija ili fuzija) i njegovu snagu; događa li se detonacija u zraku (i na kojoj visini), na površini, pod zemljom ili pod vodom; meteorološki i okolišni uvjeti; i je li meta urbana, ruralna ili vojna. Kada nuklearno oružje detonira, pojavljuje se vatrena kugla s temperaturama sličnim onima u središtu Sunca. Emitirana energija ima nekoliko oblika. Otprilike 85 posto eksplozivne energije proizvodi zračni udar i toplinsko zračenje. Preostalih 15 posto oslobađa se kao početno zračenje, proizvedeno unutar prve minute i zaostalo (ili odgođeno) zračenje, emitirano tijekom određenog vremenskog razdoblja, od kojih neka mogu biti u obliku lokalnih padavina. [22]

Jedno nuklearno oružje može uništiti grad i ubiti većinu ljudi. Nekoliko nuklearnih eksplozija iznad modernih gradova ubilo bi desetke milijuna ljudi. Potrebno je oko 10 sekundi da vatrena kugla od nuklearne eksplozije dosegne svoju najveću veličinu. Nuklearna eksplozija oslobađa ogromne količine energije u obliku eksplozije, topline i zračenja. Ogromni udarni val doseže brzinu od više stotina kilometara na sat. Eksplozija ubija ljude blizu nulte točke, a dalje uzrokuje ozljede pluća, oštećenje uha i unutarnje krvarenje. Ljudi zadobiju ozljede od rušenja zgrada i letećih objekata. Toplinsko zračenje toliko je intenzivno da gotovo sve što je blizu nulte točke ispari. Dugoročno gledano, nuklearno oružje proizvodi ionizirajuće zračenje koje ubija ili izaziva bolesti onih koji su bili izloženi, zagađuje okoliš i ima dugoročne zdravstvene posljedice, uključujući rak i genetska oštećenja.

5. ČERNOBILSKA KATASTROFA

Povijesno gledajući, Černobilska katastrofa je, s obzirom na globalne posljedice, najveća nuklearna nesreća nastala kao posljedica eksplozija u nuklearnom reaktoru.

5.1 Izgradnja nuklearne elektrane Černobil

Černobil je gradić koji se nalazi u sjevernoj Ukrajini, otprilike 100 km sjeverno od Kijeva i 15 kilometara od Černobiljske nuklearne elektrane. Mali grad, Pripjat, izgrađen je nekoliko kilometara od mjesta nuklearne elektrane za smještaj radnika i njihovih obitelji. [23] Izgradnja elektrane u Černobilu započela je 1977. godine, kada je Ukrajina još bila dio Sovjetskog Saveza.

Černobilski energetska kompleks, koji leži oko 130 km sjeverno od Kijeva u Ukrajini i oko 20 km južno od granice s Bjelorusijom, sastojao se od četiri nuklearna reaktora dizajna RBMK-1000, a jedinice 1 i 2 izgrađene su između 1970. i 1977., dok su blokovi 3 i 4 istog projekta dovršeni 1983. U narednim godinama planirano je dodavanje još dva reaktora. [24]

Jugoistočno od elektrane, izgrađeno je umjetno jezero od nekih 22 km², smješteno uz rijeku Pripjat, pritoku Dnjepra, kako bi se osigurala voda za hlađenje reaktora. Otprilike 3 km od reaktora, u novom gradu, Pripjatu, živjelo je 49 000 stanovnika. Stari grad Černobil, koji je imao 12 500 stanovnika, nalazi se oko 15 km jugoistočno od kompleksa. U krugu od 30 km od elektrane ukupno je živjelo između 115 000 i 135 000 stanovnika. [24]

RBMK-1000 je sovjetski dizajniran i izgrađen reaktor tipa grafitne cijevi s umjerenim tlakom, koji koristi malo obogaćeno (2% ²³⁵U) gorivo uran dioksida. To je reaktor s kipućom lakom vodom, s izravnim dovodom pare u turbine, bez interventnog izmjenjivača topline. Voda koja se pumpa na dno kanala za gorivo ključa dok napreduje prema tlačnim cijevima, proizvodeći paru koja napaja dvije turbine od 500 MWe. Voda djeluje kao rashladno sredstvo i također daje paru koja se koristi za pogon turbina. Okomite tlačne cijevi sadrže uran-dioksidno gorivo presvučeno legurom cirkonija oko

kojeg teče rashladna voda. Posebno dizajnirani stroj za punjenje goriva omogućuje promjenu paketa goriva bez gašenja reaktora. [24]

Najvažnija karakteristika RBMK reaktora je da posjeduje "pozitivan koeficijent šupljine". To znači da ako se snaga poveća ili protok vode smanji, dolazi do povećane proizvodnje pare u kanalima goriva, tako da će neutroni koje bi apsorbirala gušća voda sada proizvesti povećanu fisiju u gorivu. Međutim, s povećanjem snage raste i temperatura goriva, a to utječe na smanjenje toka neutrona (negativan koeficijent goriva). Neto učinak ove dvije suprotne karakteristike varira s razinom snage. Na visokoj razini snage normalnog rada prevladava temperaturni učinak, tako da ne dolazi do odstupanja snage koje dovode do prekomjernog pregrijavanja goriva. Međutim, pri nižoj izlaznoj snazi manjoj od 20% maksimuma, učinak pozitivnog koeficijenta praznine je dominantan i reaktor postaje nestabilan i sklon naglim udarima struje. To je bio glavni faktor u razvoju nesreće. [24]

5.2 Černobilska katastrofa

Sigurnosni test, koji je održan 26. travnja 1986. u nuklearnoj elektrani Černobil, smatran je toliko rutinskim da ni direktor elektrane nije bio prisutan. Međutim, sigurnosni test brzo je izmakao kontroli, jer su neočekivani skok struje i nakupljanje pare doveli do niza eksplozija koje su raznijele reaktor.

Rutinska vježba za testiranje hoće li hitni sustav vodenog hlađenja raditi tijekom nestanka struje započela je u 1:23 ujutro 26. travnja. Unutar nekoliko sekundi, nekontrolirana reakcija uzrokovala je stvaranje pare u reaktoru br. 4. Para je raznijela krov s reaktora, oslobađajući oblake radijacije i komade zapaljenog, radioaktivnog otpada. Oko dvije do tri sekunde kasnije, druga eksplozija izbacila je dodatno gorivo. Požar je izbio na krovu reaktora br. 3, zbog čega je postojala opasnost od proboja u tom postrojenju. Automatski sigurnosni sustavi koji bi se inače aktivirali nisu jer su bili isključeni prije testa. [23]

5.2.1 Vremenska crta Černobilske katastrofe

Operateri Černobila, 25. travnja 1986. godine u 13:00 sati počinju smanjivati snagu u reaktoru br. 4 u pripremi za sigurnosno ispitivanje, koje su tempirali da se podudara s

rutinskim gašenjem radi održavanja. Test bi trebao utvrditi mogu li, u slučaju nestanka struje, turbine elektrane koje se još vrte proizvesti dovoljno električne energije da pumpe rashladne tekućine rade tijekom kratkog razdoblja prije nego što se uključe generatori za hitne slučajeve. [25]



Slika 4. Kontrolna soba u reaktoru 4 [26]

Dana 26. travnja 1986., operateri u kontrolnoj sobi reaktora 4, prikazanoj na slici 4., u nuklearnoj elektrani Černobil počinili su kobnu seriju pogrešaka tijekom sigurnosnog testa, što je izazvalo topljenje reaktora što je rezultiralo najvećom svjetskom nuklearnom nesrećom do danas.

U 14 sati sustav hlađenja jezgre reaktora br. 4 u nuždi je onemogućen kako ne bi ometao ispitivanje. Iako to ne uzrokuje nesreću, pogoršava udar. Otprilike u isto vrijeme, testiranje i gašenje su privremeno odgođeni kako bi se zadovoljile potrebe za električnom energijom u regiji. U 23:10 operateri dobivaju dopuštenje za nastavak testa i gašenje. Do tada je na poslu bila manje iskusna noćna smjena, koja navodno nikada nije dobila odgovarajuće upute o tome kako izvesti test. [25]

26. travnja 1986. u 00:28 snaga pada daleko ispod razine na kojoj se reaktor smatra stabilnim. Operateri odgovaraju uklanjanjem većine kontrolnih šipki kršeći sigurnosne smjernice elektrane, ali i dalje imaju problema s povećanjem snage, dijelom zbog nakupljanja ksenona u jezgri. Nakon pola sata, u 01:00 ujutro, snaga se stabilizira, iako na nižoj razini od željene, a nadzornici tvornice naređuju nastavak testa. Sustav automatskog isključivanja u nuždi i druge sigurnosne značajke naknadno se isključuju. [25]

U 1:23:04 ujutro, test službeno počinje i dolazi do neočekivanog udara struje. U 1:23:40 operater pritišće tipku za hitno isključivanje, ali kontrolne šipke se zaglavljaju dok ulaze u jezgru. U 1:23:58 dolazi do prve eksplozije, nakon koje će ubrzo uslijediti barem još jedna, raznosi krov od 1000 tona ravno s reaktora i izbacuje vatrenu kuglu visoko u noćno nebo. Nestanak struje zamućuje elektranu dok se zrak puni prašinom i komadićima grafita, a zračenje počinje širiti. Ruše se zidovi i oprema, izbijaju deseci požara, uključujući i onaj na vrhu susjednog reaktora. Unatoč svim dokazima koji govore suprotno, nuklearni inženjer koji je vodio test tvrdi da je reaktor br. 4 još uvijek netaknut. [25]



Slika 5. Krhotine nakon eksplozije nuklearne elektrane [23]

Slika 5. prikazuje krhotine nakon eksplozije unutar nuklearne elektrane. Posljedica eksplozije je nalikovala eksploziji nuklearne bombe.

U 1:28 na mjesto događaja stižu prve vatrogasne ekipe. Vatrogasne ekipe nisu znale ništa o zračenju i zbog toga nisu nosili zaštitnu odjeću. Iskazi očevidaca vatrogasaca koji su pomogli u gašenju požara opisali su radijaciju kao "okus metala", i osjećaj boli poput igala i igala na njihovim licima. Danima kasnije, mnogi od tih vatrogasaca umrli su od posljedica radijacije. U 2:15 ujutro, Lokalni sovjetski dužnosnici sazivaju hitan sastanak na kojem odlučuju blokirati automobilima izlazak ili ulazak u Pripjat, obližnji grad koji je izgrađen za smještaj radnika u Černobilu. Policajci koji pomažu u blokadi ceste također nisu znali za radijaciju i nisu nosili zaštitnu odjeću. [25]

U 5 ujutro, službenici su zatvorili reaktor br. 3, da bi sljedećeg jutra uslijedilo zatvaranje reaktora br. 1 i 2. Ponovno su otvoreni mjesecima kasnije. Do 6:35 su svi požari ugašeni osim plamena u jezgri reaktora koji je gorio danima nakon katastrofe. 27. travnja 1986. u 10 sati helikopteri počinju bacati pijesak, glinu, bor, olovo i dolomit u goruću jezgru u pokušaju usporavanja radioaktivnih emisija. [25]



Slika 6. Nuklearna elektrana Černobil tri dana nakon eksplozije [25]

Slika 6. prikazuje nuklearnu elektranu Černobil tri dana nakon eksplozije. Nesreća koja se dogodila 26. travnja 1986., izravno je ubila 31 osobu, mnoge zbog trovanja radijacijom tijekom čišćenja.

Oštećeno postrojenje ispuštalo je u zrak veliku količinu radioaktivnih tvari, uključujući jod-131, cezij-137, plutonij i stroncij-90, u razdoblju od 10 dana. Radioaktivni oblak taložen je u blizini kao prašina i krhotine, ali ga je vjetar nosio i iznad Ukrajine, Bjelorusije, Rusije, Skandinavije i drugih dijelova Europe. [23]



Slika 7. Černobilsko slonovo stopalo [23]

Duboko u podrumu reaktora 4 nalazi se černobilsko slonovo stopalo, koje prikazuje slika 7. Slonovo stopalo ogromna je masa otopljenog betona, pijeska i visoko radioaktivnog nuklearnog goriva. Masa je dobila ime po svom naboranom izgledu, koji je neke promatrače podsjetio na naboranu kožu slonove noge i stopala. U 1980-ima, slonovo stopalo emitiralo je procijenjenih 10.000 rendgena zračenja svakog sata, dovoljno da ubije osobu udaljenu tri metra za manje od dvije minute. Do 2001. godine ta je stopa pala na otprilike 800 rendgena po satu. [23]

5.2.2 Evakuacija stanovništva i događaji neposredno nakon katastrofe

27. travnja 1986. u 14:00 sati, više od dvadeset i četiri sata od katastrofe, sovjetski dužnosnici konačno počinju evakuirati otprilike 115.000 ljudi iz Pripjata, kao i iz obližnjih gradova i sela. Stanovnicima je rečeno da će evakuacija biti privremena i da trebaju spakirati samo osnovne dokumente i stvari, te nešto hrane. Ubrzo nakon toga, oko Černobila je postavljena zona isključenja koja sprječava njihov povratak. [25]



Slika 8. Evakuacija stanovništva grada Pripjata [25]

Slika 8. prikazuje evakuaciju stanovništva, koja je trajala svega nekoliko sati, jer je stanovnicima rečeno kako će vratiti svojim domovima nakon nekoliko dana te su stanovnici sa sobom uzeli samo identifikacijske dokumente i osnovne stvari. Većina stanovništva nije se vratila u svoje domove.

Švedski monitori zraka 28. travnja 1986. godine detektirali su veliku količinu radijacije u atmosferi, koja seže od SSSR-a. Sovjetski dužnosnici priznali su da je došlo do nesreće, ali su lažno tvrdili da je situacija pod kontrolom. 29. travnja, špijunske satelitske fotografije omogućuju američkim dužnosnicima prvi uvid u razaranje izazvano katastrofom u Černobilu. [25] Trebali su dani da sovjetsko vodstvo obavijesti

međunarodnu zajednicu da se katastrofa dogodila. Sovjetska vlada nije dala službenu izjavu o nesreći globalnih razmjera sve dok švedski čelnici nisu zatražili objašnjenje kada su operateri nuklearne elektrane u Stockholmu zabilježili neobično visoke razine radijacije u blizini njihove elektrane.

Sovjetski dužnosnici odbili su otkazati prvomajske svečanosti u Kijevu, iako se radijacija i dalje nesmanjeno oslobađala. Sovjetske prvomajske parade u čast radnika odvijale su se kao i obično u Moskvi, Kijevu i glavnom gradu Bjelorusije Minsku, čak i dok su opasne količine radijacije i dalje strujale iz uništene elektrane. Većina ljudi, čak ni unutar Ukrajine, još uvijek nije bila svjesna nesreće, smrti i užurbane evakuacije Pripjata.

4. svibnja, ispod uništenog reaktora ubacuje se tekući dušik, kako bi se reaktor ohladio. Također, započinje se s drugim aspektima čišćenja, koji uključuju do 800.000 radnika, uključujući rušenje kontaminiranih sela buldožerima, pucanje u kontaminirane kućne ljubimce i stoku i zakopavanje ogromnih količina kontaminiranog gornjeg sloja tla. Radioaktivne emisije, 6. svibnja 1986. naglo opadaju, vjerojatno zato što je vatra u jezgri sama izgorjela. U međuvremenu, sovjetski dužnosnici konačno zatvaraju škole u Kijevu i savjetuju stanovnicima da ostanu unutra i ne jedu lisnato povrće. [25]

8. svibnja 1986. radnici dovršavaju ispuštanje oko 20.000 tona radioaktivne vode iz podruma ispod jezgre. 9. svibnja radnici su započeli izljevati beton ispod reaktora, koji je kasnije zatvoren u ogromnu strukturu od betona i metala poznatu kao sarkofag. Tijekom užurbanog razdoblja izgradnje od 206 dana, ekipe su podigle sarkofag od čelika i cementa kako bi oklopili oštećeni reaktor. [25]



Slika 9. Vanjski pogled na sarkofag izgrađen na reaktoru u nuklearnoj elektrani [23]

Slika 9. prikazuje vanjski pogled na sarkofag izgrađen na reaktoru. Nakon postavljanja nove strukture, radijacija u blizini elektrane pala je na samo jednu desetinu prethodnih razina, prema službenim podacima. Struktura je dizajnirana da sadrži radioaktivni otpad 100 godina. [23]

14. svibnja 1986. sovjetski vođa Mihail Gorbačov prvi put javno je govorio o incidentu u nuklearnoj elektrani. Mihail Gorbačov naredio je slanje stotina tisuća ljudi, uključujući vatrogasce, vojne rezerviste i rudare, na mjesto kako bi pomogli u čišćenju. Korpus je postojano radio, često s neodgovarajućom zaštitnom opremom, tijekom 1986. kako bi raščistio ostatke i obuzdao katastrofu. Četiri mjeseca nakon katastrofe koja se dogodila u nuklearnoj elektrani, u razdoblju od 25.-29. kolovoza 1986., Međunarodna agencija za atomsku energiju bile je domaćin konferencije na kojoj znanstvenici za nesreću nisu okrivili samo ljudsku pogrešku i lošu sigurnosnu kulturu, već i nedostatke u sovjetskom dizajnu reaktora. [25]

5.3 Posljedice černobilske katastrofe

Ukrajinska vlada je 1995. objavila da je 125.000 ljudi umrlo od posljedica zračenja u Černobilu. U izvješću Černobilskog foruma Ujedinjenih naroda iz 2005. procjenjuje se da bi, iako je u mjesecima nakon nesreće poginulo manje od 50 ljudi, do 9000 ljudi moglo umrijeti od prekomjerne smrti od raka povezane s izloženošću zračenju iz Černobila nakon 2005. godine. Od te godine, prema Union of Concerned Scientists, oko 6000 slučajeva raka štitnjače i 15 smrtnih slučajeva od raka štitnjače pripisivali su se Černobilu. [23]

Teško tjelesno i mentalno hendikepirana djeca, koje su se odrekli roditelji, živjeli su u dječjem domu za napuštenu djecu s poteškoćama u razvoju. To je jedan od nekoliko takvih objekata u ruralnoj južnoj Bjelorusiji koji primaju potporu Chernobyl Children Internationala, humanitarne organizacije osnovane 1991. godine nakon najveće nuklearne katastrofe na svijetu. [26]

U Ukrajini je u prvih pet godina nakon katastrofe broj slučajeva raka kod djece porastao za više od 90 posto. Tijekom prvih dvadeset godina nakon nesreće u Rusiji, Ukrajini i Bjelorusiji registrirano je oko 5000 slučajeva raka štitnjače među onima koji su u vrijeme eksplozije bili mlađi od osamnaest godina. [27]

Nesreća u nuklearnoj elektrani Černobil zahtijevala je veliku reorganizaciju cjelokupnog zdravstvenog sustava. U rješavanju posljedica nesreće korišteno je i sovjetsko i strano iskustvo u radijacijskoj medicini. Činjenica da je zemlja imala specijaliziranu medicinsku službu, uspostavljenu davno prije černobilske nesreće za potrebe nuklearne industrije i atomske energetike, omogućila je brzu organizaciju medicinske pomoći žrtvama. [28]

Među 1,5 milijuna ljudi (uključujući 160.000 djece do sedam godina u trenutku nesreće) koji su živjeli u zoni najjače kontaminacije jodom-131, doze zračenja apsorbirane u štitnjači bile su sljedeće: do 30 rada u 87 posto odraslih i 48 posto djece; između 30 i 100 rad u 11 posto odraslih i 35 posto djece; a više od 100 rada u 2 posto odraslih i 17 posto djece. [28]

Svjetska zdravstvena organizacija procjenjuje da je približno 5 000 smrtnih slučajeva od raka povezano s nesrećom u Černobilu, ali ovu brojku često osporavaju neovisni stručnjaci. U Ukrajini je 2005. godine 19 000 obitelji primalo državnu pomoć zbog gubitka hranitelja porodice čija se smrt smatrala povezanom s nesrećom u Černobilu. Ostale posljedice uključuju genetsko oštećenje ljudi rođenih nakon katastrofe. Znanstvenici su posebno zabrinuti zbog slučajeva mikrosatelitske nestabilnosti (MSI), stanja koje utječe na sposobnost DNK da se replicira i popravlja, što je otkriveno kod djece čiji su očevi bili izloženi zračenju nakon nesreće. [27] Slične promjene ranije su pronađene kod djece sovjetskih vojnika koja su apsorbirala zračenje tijekom nuklearnih testova.

Cijena katastrofe bila je golema, a s njom su se morale nositi sve tri istočnoslavenske zemlje. Usvojili su uglavnom slične formule, definirajući najzagađenija područja čijim je stanovnicima bilo potrebno preseljenje ili pomoć, a zatim utvrđujući kategorije građana za koje se smatralo da su najteže pogođeni, čime su stekli pravo na financijsku naknadu i povlaštenu pristup medicinskim ustanovama. Sveukupno blizu 7 milijuna ljudi dobilo bi neki oblik naknade za posljedice černobilske katastrofe. [27] Ali veličina skupina koje su imale pravo na subvencije i iznos financijske naknade razlikovali su se u trima državama, ovisno o međugri političkih i gospodarskih okolnosti.

Ruska bogatstva nafte i plina pomogla su joj da se nosi s krizom nakon Černobila, dok Ukrajina i Bjelorusija siromašne resursima nisu imale ništa usporedivo. Te su dvije zemlje početkom 1990-ih godina uvele poseban černobilski porez koji je u Bjelorusiji iznosio 18 posto svih plaća isplaćenih u nepoljoprivrednom sektoru. Općenito, međutim, bjeloruska se vlada nosila s golemim izazovom nastavljajući sovjetsku tradiciju suzbijanja istraga velikih katastrofa. Iako je Bjelorusija bila postsovjetska zemlja najviše pogođena katastrofom u Černobilu, njezin antinuklearni pokret nikada nije dosegao razmjere svog ukrajinskog pandana. Bjeloruski parlament i vlada nisu imali političku volju i, što je još važnije, resurse da priznaju puni opseg katastrofe i učinkovito se nose s njezinim posljedicama. Godine 1993. bjeloruski parlament usvojio je zakone kojima se smanjuju razine onečišćenog tla koje se smatra opasnim za ljudsko stanovanje. Čak i tada, sa znatno manjim teritorijem i stanovništvom

obuhvaćenim zakonima o socijalnoj skrbi, vlada je uspjela dodijeliti samo manje od 60 posto sredstava koje su zakonodavci odobrili za programe vezane uz Černobil. [27]

Osim stalno rastućih ljudskih žrtava katastrofe, nesreća u Černobilu također je za sobom ostavila ogromno područje zemlje zaražene radijacijom. Utjecaj katastrofe na okolne šume i divlje životinje također ostaje područje aktivnog istraživanja. [26] Neposredno nakon nesreće, područje od oko četiri četvorne milje postalo je poznato kao "Crvena šuma" jer je toliko stabala postalo crvenkasto-smeđe i umrlo nakon što je apsorbiralo visoke razine zračenja. Danas, 37 godina nakon nesreće, područje Černobila je još uvijek opustošeno i nepovoljno za život, što je prikazano na slici 10.



Slika 10. Napušteni grad Pripjat [33]

6. ZAKLJUČAK

Radioaktivnost je čin spontanog emitiranja zračenja. Spontano emitiranje zračenja čini atomska jezgra koja je, iz nekog razloga, nestabilna. Kada se radioaktivni atomi raspadnu, oslobađaju energiju u obliku ionizirajućeg zračenja. Takvo zračenje ima dovoljno energije da u interakciji s tvari ionizira njezinu jezgru odnosno izbija čvrsto vezane elektrone iz orbite atoma. To uzrokuje da atom postane nabijeni ion.

Mnoge su opasnosti radioaktivnosti. Postojanje nuklearnog oružja ima snažan utjecaj na okoliš. Nuklearni rat značio bi klimatski poremećaj s razornim posljedicama. Svijet bi pao pod nuklearnu zimu, bio bi izložen smrtonosnoj globalnoj gladi i pogoršanim učincima globalnog zatopljenja. Iako može biti destruktivna, radioaktivnost može biti i korisna, osobito kada su u pitanju medicinski testovi i određeni medicinski tretmani. Ne samo da zračenje može pronaći tumore u tijelu, ono ih također može uništiti ili usporiti njihov rast.

Godine 1986. se dogodila najveća nuklearna katastrofa u nuklearnoj elektrani Černobil. Černobilska katastrofa dogodila se kada su tehničari nuklearne reaktorske jedinice 4 pokušali izvesti loše osmišljen eksperiment. Isključili su reaktorski sustav za regulaciju snage i njegove sigurnosne sustave za hitne slučajeve, te uklonili kontrolne šipke iz jezgre dopustivši reaktoru da radi sa 7 posto snage. Ove pogreške, u kombinaciji s drugima, dovele su do nekontrolirane lančane reakcije koja je rezultirala s nekoliko velikih eksplozija.

Danas je Pripjat grad duhova, njegove su stambene zgrade, trgovine, restorani, bolnica, škole, kulturni centar i sportski objekti zapušteni, a ulice obrasle u drveće. Grad se nalazi u unutarnoj zoni isključenosti oko Černobila. Trenutačni i kratkoročni učinci černobilske katastrofe, koji proizlaze iz izloženosti teškim padalinama, uključuju radijacijsku bolest i kataraktu. Kasnije moguće posljedice su rak štitnjače, osobito kod djece i adolescenata, te leukemija među izloženim radnicima. Nesreća je također imala velike psihosocijalne učinke.

Kako bi se spriječila još jedna nuklearna katastrofa, ali i pravilno gospodarenje radioaktivnim materijalima, važno je znanje stručnjaka, ali i cijelog čovječanstva. Znanje je najvrjednija imovina i resurs industrije nuklearne energije, bez kojeg industrija ne može poslovati sigurno i ekonomično. Glavni cilj nuklearne sigurnosti je postizanje odgovarajućih uvjeta i sprječavanje ili ublažavanje posljedica nesreće, što rezultira zaštitom radnika, stanovništva i okoliša od nepotrebnih opasnosti od zračenja.

POPIS LITERATURE

- [1] <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=51474> (pristup 14. siječnja 2023.)
- [2] <https://bit.ly/3YjqbTy> (pristup 14. siječnja 2023.)
- [3] <https://on.ny.gov/3J3BM3B> (pristup 16. siječnja 2023.)
- [4] <https://bit.ly/2QtTSDc> (pristup 14. siječnja 2023.)
- [5] Grasty, R.L., LaMarre, J.R., The Annual effective dose from natural sources of ionizing radiation in Canada, Radiation Protection Dosimetry 108. (2004) 215-226.
- [6] <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=51472> (pristup 17. siječnja 2023.)
- [7] <https://bit.ly/3YDQdRx> (pristup 05. veljače 2023.)
- [8] Pavelić, Đ., Sigurnost: časopis za sigurnost u radnoj i životnoj okolini, Radioaktivnost i radioaktivni materijal, Vol. 60 No. 3 (2018) 277-281.
- [9] <https://www.britannica.com/science/alpha-decay> (pristup 08. veljače 2023.)
- [10] <https://bit.ly/3T0v4zS> (pristup 17. siječnja 2023.)
- [11] <https://www.britannica.com/science/beta-decay> (pristup 08. veljače 2023.)
- [12] <https://radiopaedia.org/articles/electron-capture> (pristup 07. veljače 2023.)
- [13] <https://education.jlab.org/glossary/electroncapture.html> (pristup 10. veljače 2023.)
- [14] <https://bit.ly/3YC7dl3> (pristup 20. siječnja 2023.)
- [15] <https://bit.ly/3mRvs7W> (pristup 05. veljače 2023.)
- [16] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=44388> (pristup 05. veljače 2023.)
- [17] <https://bit.ly/3l8edym> (pristup 28. siječnja 2023.)
- [18] <https://bit.ly/41YOkBI> (pristup 22. siječnja 2023.)
- [19] <https://bit.ly/3LeTpij> (pristup 29. siječnja 2023.)
- [20] <https://bit.ly/3YGxt3G> (pristup 10. veljače 2023.)
- [21] <https://bit.ly/42bXT0y> (pristup 02. veljače 2023.)
- [22] <https://bit.ly/2JliXvo> (pristup 02. veljače 2023.)
- [23] <https://bit.ly/401ZWIY> (pristup 17. veljače 2023.)
- [24] <https://bit.ly/3l8yROZ> (pristup 25. veljače 2023.)
- [25] <https://bit.ly/3JByYvU> (pristup 17. veljače 2023.)
- [26] <https://bit.ly/3Lih02F> (pristup 20. veljače 2023.)
- [27] <https://bit.ly/3ZZeMJD> (pristup 22. veljače 2023.)
- [28] <https://bit.ly/3LnfVqF> (pristup 22. veljače 2023.)

[29] Kulišić, P., Lopac, V., Elektromagnetske pojave i struktura tvari, Zagreb, 2003., 2. izdanje, str. 484.,485.

[30] https://hr.wikipedia.org/wiki/Apsorbirana_doza (pristup 17.svibnja 2023.)

[31] <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/eb63acab-6d0c-4a0a-84b8-345fddcdcec2/zakon-radioaktivnog-raspada.html>
(pristup 17.svibnja 2023.)

[32] Lieser, K. H., Nuclear and radiochemistry: fundamentals and applications, Njemačka, SAD, 1997.,str. 33.

[33] <https://www.weforum.org/agenda> (pristup 19.srpnja 2023.)