

D-416



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЉЕНО: 23 ОКТ 2002	
ОРГАНИЗ.ЈЕД.	БРОЈ
0603	9/353

**ODREĐIVANJE
KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI ^{137}Cs
U MULJU DUNAVA**

-DIPLOMSKI RAD-

MENTOR
Prof. Dr Ištvan Bikit

KANDIDAT
Željka Tomašev

Novi Sad , 2002.

Napomena

Zahvaljujem se svim zaposlenim u laboratoriji za nuklearnu fiziku, Departmana za fiziku, Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu na saradnji. Posebno se zahvaljujem profesoru dr Ištvanu Bikitu i profesoru dr Miroslavu Veskoviću na stručnoj pomoći i gospođi Nataši Lakobriji i gospodinu Emili Fejzulahiju na tehničkoj podršci. Bez njih ovaj rad ne bi bio uspešno završen.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OPŠTI DEO	2
2.1. Jonizujuće zračenje i njegovo dejstvo na živi svet.....	2
2.2. Doze i procena rizika.....	3
2.3. Kretanje radionuklida u prirodi.....	5
2.4. Iotop cezijum 137.....	6
2.5. Černobilska katastrofa.....	7
2.6. Posledice černobilske katastrofe.....	9
3. METODE MERENJA	13
3.1. Gama zračenje.....	13
3.2. Merenje radioaktivnosti.....	14
3.3. Gama-spektrometrija.....	16
3.4. Eksperimentalni spektri γ -zračenja.....	18
4. EKSPERIMENTALNI DEO	20
4.1. Priprema uzorka i merenje.....	20
4.2. Rezultati merenja.....	21
4.3. Analiza rezultata.....	22
5. ZAKLJUČAK	23
6. LITERATURA	24

1. UVOD

U ovom radu je merena i analizirana koncentracija aktivnosti, ^{137}Cs u mulju Dunava. Uzorci su uzeti sa obale Dunava u okolini Novog Sada.

Specifično za reke je da sa sobom nose mulj i sve otpadne materije. Na taj način otpadne materije koje Dunav pokupi u svom gornjem toku, pri prolasku kroz zapadnu i centralnu Evropu, dospevaju u našu zemlju. Obzirom da su to industrijski visoko razvijene zemlje, količina otpada nije zanemarljiva. U sastav otpada ulaze i radioaktivne materije, između ostalog i cezijum 137. Njegova koncentracija aktivnosti u severnoj zemljinoj hemisferi, a posebno u Evropi, znatno je porasla posle černobilske katastrofe 1986. godine. Zbog protoka vode koncentracija aktivnosti raste u samom toku reke.

Merenja koncentracije aktivnosti se na području Vojvodine sprovode od 1978. godine, u proseku četiri puta godišnje na Institutu za fiziku Prirodno-matematičkog fakulteta. Poznato je da je ^{137}Cs veštački radionuklid, koji nastaje fisijom. Nije postojao u prirodi pre početka nuklearnih proba i nesreća na nuklearnim postrojenjima.

Poseban razlog za merenja 2001. i 2002. godine je rušenje novosadskih mostova u NATO bombardovanju 1999. godine, što je u mnogome izmenilo slobodan tok reke i izazvalo taloženje mulja. Iz tog razloga se očekuje porast koncentracije aktivnosti u odnosu na ranija merenja.

Po nekim istraživanjima, genetski rizik od ^{137}Cs je najveći, pa je od posebnog značaja ispitivanje njegove migracije i promene koncentracije aktivnosti. Pored toga on je jedan od elemenata koji je uz ^{85}Kr , ^{133}Xe , ^{131}I , ^{132}Te , ^{134}Cs , u većoj količini napustio jezgro černobilskog reaktora. Obzirom da su vremena poluraspada ostalih elemenata nekoliko dana do deset godina, svi osim ^{137}Cs su se uglavnom raspali. Znači da u bližoj budućnosti najveća opasnost po okolinu i ljudsko zdravlje uopšte preti od cezijuma.

U radu su razmatrani rezultati uzoraka mulja uzetog sa destinacija: Sremski Karlovci, Sremska Kamenica, Dunavac, Štrand, Oficirska plaža i Bećarac. Ispitivanje je obavljeno na dvadeset jednom uzorku. Za metodu je odabранa γ -spektrometrija, kao jedna od do sada najpouzdanijih metoda za određivanje koncentracije aktivnosti i identifikaciju radionuklida.



2. OPŠTI DEO

2.1. *Jonizujuće zračenje i njegovo dejstvo na živi svet*

Čovek je sa radijacijom živeo oduvek. Zračenje je nastalo još u „Velikom prasku”, 20 milijardi godina pre nastanka Zemlje i do danas se zadržalo u prirodi. Pri normalnim uslovima dejstvo prirodnih izvora radijacije je mnogo značajnije od dejstva veštačkog zračenja. Čak i tkivo čoveka sadrži u sebi neznatne količine radioaktivnosti.

Francuski naučnik Anri Bekerel je 1896. godine otkrio zračenje urana, a Marija i Pjer Kiri su nastavili proučavanja. Svi oni i još mnogo naučnika posle njih je umrlo od posledica radijacije, ali su istraživanja nastavljena. Tih godina, 1895. je Vilhelm Rendgen otkrio X-zrake. Od tada počinju izučavanja mogućnosti primene jonizujućeg zračenja u medicinske, vojne i energetske svrhe.

Jonizujuće zračenje je dobilo naziv po efektu koji izaziva pri prolasku kroz materiju. Značajno je za proučavanje jer oštećuje tkivo živih bića (za razliku od nejonizujućeg, koje nema dovoljnu energiju za tu vrstu interakcije). U jonizujuće zračenje spada: X-zračenje, neutroni, protoni, elektroni i teška jezgra. Kao produkti nuklearnih raspada javljaju se: α -čestice, β -čestice i γ -zračenje.

Zračenje se međusobno razlikuje po svojoj prodornoj moći i dejstvu na materiju. Karakteristike zračenja nastalog radioaktivnim raspadom su:

- α -čestica, jezgro helijuma (dva protona i dva neutrona). Karakteriše je mali domet, 0,1 mm u tkivu; velika moć ionizacije, 50–100 hiljada jonskih parova pri prelazu kroz 1 cm vazduha. Najveću opasnost predstavlja ako se unese u organizam.
- β -čestica je elektron ili pozitron nastalo raspadom jezgra. Imaju veći domet od α -čestica, 1–2 cm u tkivu; i hiljadu puta manja jonizaciona moć 30–300 parova, po 1 cm pređenog puta kroz vazduh.
- γ -zračenje nastaje obično pri pomenutim raspadima. Gama zračenje je elktromagnetsko zračenje i predstavlja čisto energetsku promenu u jezgru. Karakteriše ga velika prodorna moć, a manja sposobnost ionizacije. Detaljnije je opisano u poglavljju 3.1.

Pod ionizacijom podrazumevamo interakciju zračenja sa elektronskim omotačem atoma. Zračenje predaje deo (Komptonovo rasejanje) ili celokupnu energiju (foto-efekat) elektronu u atomskom omotaču, koji tu energiju koristi za napuštanje atoma. Elektron napušta atom samo pod uslovom da je energija koju je primio od zračenja veća od energije ionizacije (ionizacionog potencijala) karakteristične za taj atom. Ionizacioni potencijal za većinu elemenata koji ulaze u sastav organske materije je između 10 i 20 eV. Kada elektron napusti atom, jedno negativno nanelektrisanje nedostaje, u do tada neutralnom atomu, i nastaje pozitivno nanelektrisani ion. Izbijeni elektroni imaju različite energije. Neki od njih imaju dovoljnu energiju da i sami mogu da izazivaju ionizaciju.

2. OPŠTI DEO

Usled ionizacije dolazi do oštećenja molekula koji čine tkiva živih bića, na taj način što visoko reaktivni joni i elektroni stupaju u hemijske reakcije i grade slobodne radikale. Slobodni radikali reaguju međusobno ili sa drugim molekulima i nastaju biološke promene u vitalnim delovima ćelije. Ove promene, koje mogu da se javе nekoliko decenija od momenta dejstva zračenja, uništavaju ćeliju ili je menjaju na način koji dovodi do nastanka tumora ili genetskih promena.

Jedro je najvažniji deo ćelije. Ono upravlja svim procesima u ćeliji. U njemu se nalaze i hromozomi, koji su sastavljeni od nukleinskih kiselina (DNK i RNK) i nosioci su informacija o naslednim karakteristikama. Ako se oštete hromozomi u ćelijama polnih organa do mutacije može da dođe kod potomaka od 3. do 60. generacije. Proces nastanka promena koje uzrokuju tumor još uvek je nedovoljno istražen.

U zavisnosti od doze zračenja, intenziteta, vremena ekspozicije, dela tela koji je ozračen, uzrasta i mnogih drugih okolnosti, posledice mogu biti različite.

2.2. Doze i procena rizika

Kada ionizujuće zračenje prolazi kroz materiju ono gubi energiju. Najveći deo te energije pretvara se u toplotu, a samo mali deo troši se na ionizaciju i dovodi do bioloških oštećenja. Biološki efekti zračenja izrazito su nesrazmerni sa predatom energijom. Ova se pojava naziva **radiološki paradoks**. Naime, doza od 10 Gy može da usmrti čoveka i bilo koje živo biće, a pri tome podiže telesnu temperaturu za svega 0.001°C . Ova doza stvara 2×10^{15} jonskih parova po gramu tkiva, a to je 2×10^6 jona po ćeliji. Do letalnog dejstva ne bi došlo da nisu u pitanju vitalni centri malih dimenzija.

Doza je količina energije deponovana na živom tkivu, bez obzira da li je uneta u organizam ili je na površinskim slojevima. To je ona količina koja je dovoljna da izazove dejstvo. Da bi se doza bliže odredila uvodi se pojam **apsorbovane doze** što je količina energije apsorbovana u gramu živog tkiva:

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm} [\text{Gy}]$$

Sa $d\bar{E}$ je obeležena srednja energija zračenja, a sa dm masa živog tkiva. Jedinica mere apsorbovane doze je grej ($1\text{Gy} = 1\text{J/kg}$). Definisana apsorbovana doza ne uzima u obzir tip zračenja.

Iste apsorbovane doze različitog zračenja mogu prouzrokovati različita oštećenja. Da bi se odredila moć neke doze da izazove oštećenja definisana je **ekvivalentna doza**.

Preko faktora kvaliteta QF određuje se koliko puta neko zračenje izaziva veći efekat od γ i X-zračenja, koji su uzeti za referencu. Faktori kvaliteta različitih tipova zračenja prikazani su u tabeli 2.1.

TIP ZRAČENJA	QF
γ i X-zračenja	1
β -čestica sa $E_{\max} > 0.03$ MeV	1
β -čestica sa $E_{\max} < 0.03$ MeV	1.7
neutroni i protoni sa $E < 10$ MeV	10
α -čestice	20
teška jezgra	20

Tabela 2.1. Faktor kvaliteta različitih tipova zračenja

Jedinica mere ekvivalentne doze je sivert (Sv) i dimenziono je jednak greju (Gy). Faktor kvaliteta je bezdimenziona veličina.

Svi delovi tela nisu podjednako osetljivi i rangirani su po osetljivosti. Najosetljiviji su reproduktivni organi, zatim pluća, pa koštana srž. Za tim slede štitna žlezda i površina kostiju, koje su podjednako osetljive. **Efektivna doza** je ekvivalentna doza merena osetljivošću različitih tkiva na oštećenja.

Do sada su određene samo individualne doze. Sabiranjem svih individualnih efektivnih ekvivalentnih doza, koje prima grupa ljudi dobija se **kolektivna efektivna ekvivalentna doza** i izražava se u čovek sivertu (čovek Sv). Kako se veliki broj radionuklida sporo raspada i posledice se očekuju u dalekoj budućnosti, kolektivni efekat koji će tokom vremena primiti generacije ljudi, je **angažovana kolektivna ekvivalentna doza**.

Do akutnih povreda dolazi pri dejstvu određene minimalne doza radijacije, ali tumor i genetska oštećenja se mogu javiti pri svakoj i najmanjoj dozi. Znači da ne postoji najniži nivo radijacije koji može da se smatra dovoljno bezbednim.

Značajno je napomenuti da se manje doze primljene u više navrata bolje podnose nego veća doza primljena odjednom.

Po efektima koje izazivaju, doze zračenja se dele na:

1. Visoke doze. Oštećenja su akutna, brzo i lako uočljiva kao na primer: dejstvom doze od 100 Gy, toliko se oštećuje centralni nervni sistem da do smrti dolazi trenutno ili u roku od nekoliko dana. Ako celo telo primi dozu od 10 do 50 Gy, do smrti dolazi u roku od nekoliko nedelja usled oštećenja želuca i creva. Manje doze od pomenutih mogu izazvati slabija oštećenja probavnog trakta tako da se žrtva oporavi, ili ih uopšte ne moraju izazvati. U tom slučaju osobe umiru posle nekoliko meseci, a posledica je oštećenje koštane srži. Polovina ljudi od ukupnog broja koji prime dozu od 3 do 5 Gy umire usled oštećenja koštane srži.
2. Niske doze. Izazivaju tumor i genetska oštećenja. Posledice se mogu javiti i posle niza godina, a ne može se sa sigurnošću utvrditi da je uzrok zračenje. Zato je praćenje i ispitivanje ovih pojava otežano.

2. OPŠTI DEO

Biološki efekti se mogu deliti i na somatske (ispoljavaju se na ozračenoj osobi) i genetske (posledice trpi potomstvo).

2.3. Kretanje radioaktivnosti u prirodnoj sredini

Kretanje radioaktivnosti u prirodi uprošćeno pokazuje kako radionuklidi ulaze u lanac ishrane i dospevaju do čoveka.

Pod ekosistemom podrazumevamo složenu jedinicu sastavljenu od abiotičkog, fizičko-hemijskog okruženja i biotičkog sistema živih organizama. Sve komponente ekosistema su uzajamno zavisne i između njih postoji ravnoteža, ako je čovek svojim uticajem ne naruši.

Abiotički činoci su: zemljишte, vazduh i voda. To su i mogući putevi kontaminacije. Zagađenje bilo koje od ovih komponenata može prouzrokovati zagađenje celog ekosistema.

Vazduh se zagađuje nuklearnim probama, incidentima u nuklearnim postrojenjima i kosmičkim zračenjem. Transport radioaktivnosti kroz vazduh u mnogome zavisi od klimatskih faktora.

Voda kao i zemljишte može biti kontaminirana prirodnom i tehnološkom radioaktivnošću. Koliko će zemljишte usvajati radioaktivne materije i koliko će ih predati biljkama zavisi od mineraloškog sastava, kiselosti zemljишta, mehaničkog sastava i drugih faktora.

Osnovna podela biotičkog sistema, po proizvodnji organske materije, je na proizvođače (autotrofni organizmi) i konzumente (heterotrofni organizmi). Preko lanaca ishrane možemo posmatrati kretanje materije, kao i radionuklida u prirodi.

Prvi u lancu ishrane su autotrofni organizmi, biljke, koje pored nekih vrsta bakterija jedine imaju sposobnost da neorgansku materiju pretvore u organsku. Tako su one prve u lancu koje mogu usvojiti radionuklide. Oni dospevaju u biljke preko korena, iz zemlje ili vode, ili inhalacionim putem iz vazduha. Nije zanemarljiva ni njihova kontaminacija usled radioaktivnih padavina.

Sledeći u nizu su primarni heterotrofni organizmi, biljojedi, zatim sekundarni heterotrofni organizmi, mesojedi, koji mogu da budu nižeg i višeg stupnja. Na kraju lanca ishrane su razgrađivači ili saprofiti. Oni, hraneći se uginulim životnjama, razgrađuju organsku materiju pretvarajući je u neorgansku. Na taj način obezbeđuju hranu za biljke. Tako se ciklus zatvara.

Čovek kao deo lanca može da unese radionuklide u organizam ishranom ili inhalacijom. Obzirom na raznovrsnost njegove ishrane, kontaminacija je moguća konzumiranjem voća, povrća, mesa ozračenih životinja, vode i mleka. Specifično za mleko je da se radioaktivnost u njemu ispoljava za kratko vreme, bez obzira da li je ozračena direktno stoka ili trava koju je pasla.

Možemo zaključiti da zagađenjem bilo kog segmenta prirode, čovek automatski šteti samom sebi i svojim potomcima.

2.4 Izotop cezijuma 137

Cezijum u prevodu sa latinskog, znači nebesko plav, što je i njegova karakteristična linija u spektru i iznosi 661.66 keV. Otkrili su ga Robert Bunsen i Gustav Kichhoff 1861. godine. Stabilni $^{133}_{55}Cs$ sadrži u svom jezgru 55 protona i 78 neutrona. Spada u grupu alkalnih metala (u spoljnoj ljudi ima jedan elektron) i najaktivniji je u toj grupi.

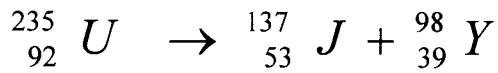
Karakteristike:

- atomski broj 55,
- maseni broj 132.9054,
- tačka topljenja 28.5°C ,
- tačka ključanja 678.4°C ,
- tečno agregatno stanje
- srebrno bele boje.

Radioaktivni Cs se koristi u medicini za lečenje tumora, a stabilni u atomskim časovnicima itd. Osnovna nalazišta su stene i zemljište odakle i započinje svoje kruženje u ekosistemima.

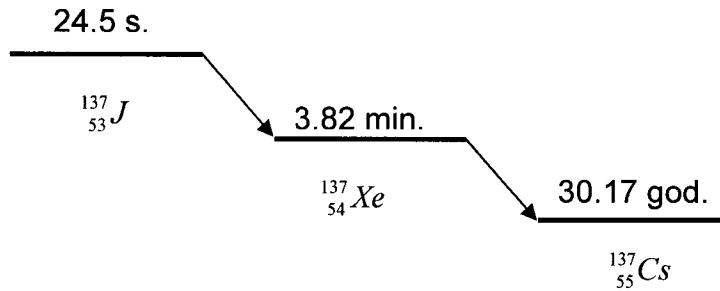
Neki od radioizotopa su $^{134}_{55}Cs$ sa $T_{1/2} = 2.06$ godina, $^{136}_{55}Cs$ sa $T_{1/2} = 13.1$ dan, $^{137}_{55}Cs$ sa $T_{1/2} = 30$ godina, $^{138}_{55}Cs$ $T_{1/2} = 32.2$ min, gde je sa $T_{1/2}$ označeno vreme poluraspada, odnosno vreme za koje se raspade polovina od ukupnog broja nukleona. Ima ih ukupno 38 od ^{116}Cs do ^{146}Cs , od kojih je samo Cs-133 stabilan.

Radioaktivni izotop $^{137}_{55}Cs$ se ne nalazi u prirodi već nastaje u fisionim procesima: pri nuklearnim probama atomskog oružja i incidentima u nuklearnim postrojenjima. Fisija je nuklearna reakcija cepanja teških jezgara na dva ili ređe na tri dela. Do cepanja može doći bombardovanjem neutronima ili drugim brzim česticama i spontano. U oba slučaja fisioni fragmenti su najčešće radioaktivni. Cezijum 137 nastaje kao fisioni produkt ^{235}U i ^{239}Pu . Ovo je samo jedna od mogućih shema raspada.



2.1. Shema fisije urana-235 na jod-137 i trijum-98

Prvi direktni produkt fisije je ^{137}J , čije je vreme poluraspada $T_{1/2} = 24.4$ s, a $^{137}_{55}Cs$ je posledica β -raspada $^{137}_{54}Xe$.



2.2. Shema β -raspada, joda-137 i dobijanje cezijuma-137 preko raspada ksenona-137

2. OPŠTI DEO

Prvi put je detektovan u prirodi 1954., a značajnija koncentracija aktivnosti se javila posle vazdušnih testova nuklearnog oružja i černobilske katastrofe. U prirodi se obično pojavljuje kao aerosol i na tlo dospeva u vidu atmosferskih padavina. Zahvaljujući svojoj velikoj aktivnosti vrlo brzo se vezuje za površinske slojeve zemlje. Biljke ga mogu apsorbovati preko korena, iz zemlje ili inhalacionim putem, a do čoveka dospeva ili putem hrane ili inhalacijom.

Cezijum 137 se raspada β -raspadom, produkt raspada je kratkoživeći ^{137}Ba sa $T_{1/2} = 2.55$ min. Metastabilni barijum uz emisiju γ -kvanta, prelazi u stabilni. Energija emitovanog γ -kvanta pri prelazu je $E = 661.65$ keV.

7/2 + 30.17 god.

$^{137}_{55}\text{Cs}$				
β^-	94.6%	9.6^1	11/2-	2.551 min
				0.66165
γ	5.4%		3/2+	12.1
$^{137}_{56}\text{Ba}$				

M4

2.3. Shema β -raspada cezijuma-137 do stabilnog barijuma-137

Prelaz iz metastabilnog Ba u stabilni je M4, koji je malo verovatan što je razlog relativno dugog života $^{137}_{55}\text{Cs}$.

2.5. Černobilska katastrofa

Černobilska nuklearna elektrana "Lenjin" se nalazi u Ukrajini na reci Pripjat koja se uliva u Dnjepar. Broj stanovnika u okruženju od 30 km bio je oko 100 000, od tog broja 49 000 je živelo u gradu Pripjat (na 3 km od elektrane) i 12 500 u gradu Černobil (udaljenom 15 km). Osnovna delatnost oblasti je poljoprivreda. Najrazvijenije grane su stočarstvo i mlekarstvo.

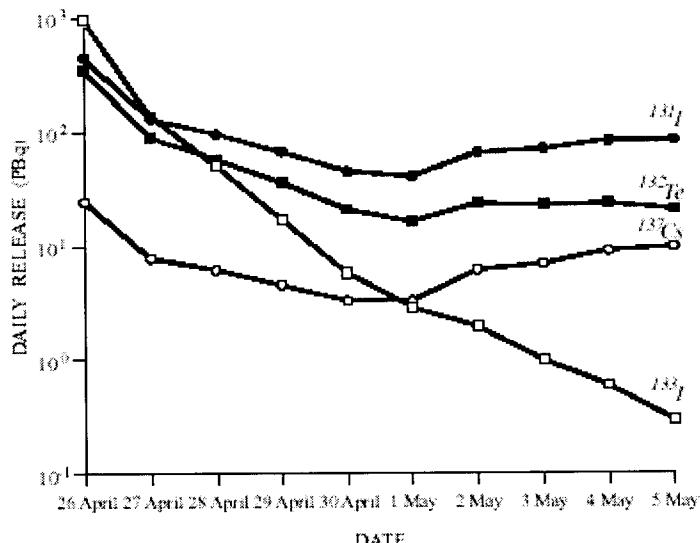
Postrojenje se sastojalo od četiri ista reaktora. Tip reaktora je RBMK što je u prevodu sa ruskog skraćenica za "Reaktor visoke snage multikanalskog tipa". Tečnost koja je korišćena za hlađenje je laka voda, pod visokim pritiskom, koja je prolazila kroz preko 3 400 rashladnih cevi, a za moderator je korišćen grafit. Svaki reaktor je izgledao kao sače sastavljeno od više pojedinačnih reaktora sa preko hiljadu tona goriva.

U noći između 25. i 26. aprila 1986. godine dogodila se do sada najveća katastrofa na nuklearnom postrojenju. Do nesreće je došlo kada je testiran novi način električnog upravljanja na četvrtom postrojenju. Prilikom testa "niske snage" došlo je do znatnog variranja temperature. Pored toga je napravljen i tehnički propust: sigurnosni sistem je bio isključen, a protivpožarna izolacija je nepropisno urađena. Zbog otkazivanja rashladnog uređaja istopio se cirkonijumski omotač gorivnih elemenata. Pregrejana para iz turbine je

2. OPŠTI DEO

reagovala sa grafitom, uranijumom i cirkonijumom i došlo je do eksplozije. Jezgro reaktora se zapalilo uz veliki prasak, kao i grafitna obloga i deo zgrade u kojoj se reaktor nalazio. Svedoci tvrde da je plamen išao do 50 m preko krova reaktora.

Najveća količina radionuklida oslobođila se pri samoj eksploziji. Njihovo oticanje iz reaktora je bilo intenzivno prvih nekliko dana i zatim je počelo da opada. Proces je trajao deset dana dok lokacija nije sanirana. Grafikonom 2.1. je prikazana koncentracija aktivnosti, nekih bitnijih radionuklida, oslobođenih u toku tih deset dana.



Grafik 2.1. Dnevno oslobađanje radionuklida iz postrojenja

Najznačajniji za praćenje su ^{131}I i ^{137}Cs jer direktno utiču na ljudsku populaciju. Jod-131 može u kratkom roku, $T_{1/2} = 8.04$ dana da prouzrokuje oštećenja štitne žlezde, a cezijum 137 utiče na genetske promene. Po izveštajima Ujedinjenih nacija Jugoslavija je na prvom mestu u svetu po izmerenoj prosečnoj ekvivalentnoj tiroidnoj dozi kod odraslih, 5.5 mSv, a na petom mestu kod dece, 14 mSv, nastale usled ove katastrofe.

Iz postrojenja je za to vreme isteklo svega 4-5% ukupnog sadržaja, a aktivnost ispuštenе materije je bila 7×10^{17} Bq. Pod aktivnošću se podrazumeva broj spontanih raspada u jedinici vremena. Poređenjem sa dotadašnjim vrednostima prirodne aktivnosti (zemljina hidrosfera 1.7×10^{22} Bq, litosfera 1.4×10^{25} Bq i atmosfera 3×10^{18} Bq) vidimo da povećanje nije zanemarljivo.

U noći katastrofe je na dužnosti bilo 176 radnika iz raznih pogona. Na sanaciji je radilo 286 građevinskih radnika, 69 vatrogasaca i još 250 ih je bilo u pripravnosti. U samoj akciji je poginulo pet vatrogasaca. U jednom momentu je hospitalizovano oko 300 osoba zbog opekotina i posledica radijacije.

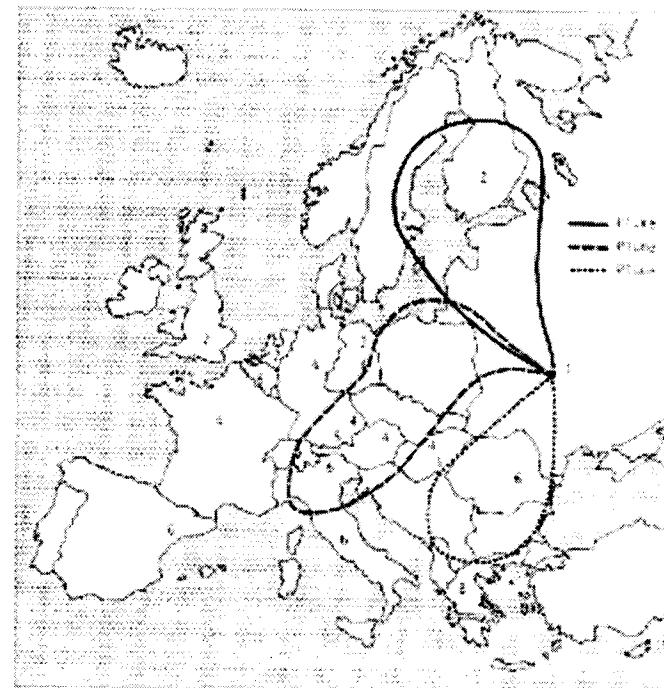
Korišteno je 1 800 helikoptera koji su izbacili oko 5 000 tona materijala za gašenje požara. Zbog velikog dima uslovi su bili otežani i vidljivost smanjena, pa je veći deo materijala umesto na jezgro reaktora, dospeo na krov postrojenja. Ukupna materijalna šteta prevazišla je desetine milijardi dolara, što se ne može porebiti sa ekološkom štetom koja je naneta.

Posle deset dana oslobađanja radioaktivnih čestica i plemenitih gasova oticanje je znatno usporeno. Posledice katastrofe se osećaju i danas, posle 16 godina i na žalost trpeće ih još puno generacija.

2.6. Posledice černobilske katastrofe, sa posebnim osvrtom na cezijm 137

U najužoj zoni, u prečniku od 10 km oko reaktora, od prvog dana merena je aktivnost i doza. Helikopterima su uzimani uzorci iz vazduha i 26. aprila je upozorenje stanovništvo obližnjih gradova da ostane u kućama. Državne ustanove, škole i zabavišta su bila zatvorena. U gradu Pripyat nivo radioaktivnosti je rastao dostižući 10 mSv/h. Ove vrednosti se mogu uporediti sa maksimalnim dozvoljenim vrednostima od 10 mSv/godišnje. Sledećeg dana zračenje je dostiglo nivo neophodan za evakuaciju, po propisima SSSR, 250 mSv doze na celo telo. Narednih dana evakuisani su i stanovnici Kijeva, Gomejja, Žitomira i drugih okolnih mesta. Ukupan broj evakuisanih ljudi prelazio je 150 000, svi su lekarski pregledani i preduzete su preventivne mere.

Zahvaljujući promenljivom smeru vetra, radijacija je zahvatila celu severnu hemisferu, naročito Evropu. Kontaminacija je bila jako neravnomerna čak i u okviru malih oblasti. Prvi talas je dospeo u Švedsku i Finsku, a manji deo tih čestica detektovan je u Poljskoj i Nemačkoj, što se dešavalo u toku 27. i 28. aprila. Naredna dva dana vetar je duvao prema centralnoj i istočnoj Evropi, tako da su bile zahvaćene severna Italija, Švajcarska, Austrija, Francuska i Belgija. Prvog maja aktivnost je detektovana u Engleskoj, a 2. maja na Balkanskom poluostrvu. Manje koncentracije primećene su i u Turskoj, Izraelu i Kuvajtu. Na karti 2.2. su prikazani A-prvi, B-drugi i C-treći talas radioaktivne materije nošen vетром. Brojevima su označeni dani posle incidenta, kada je talog dospeo u određeno područje.

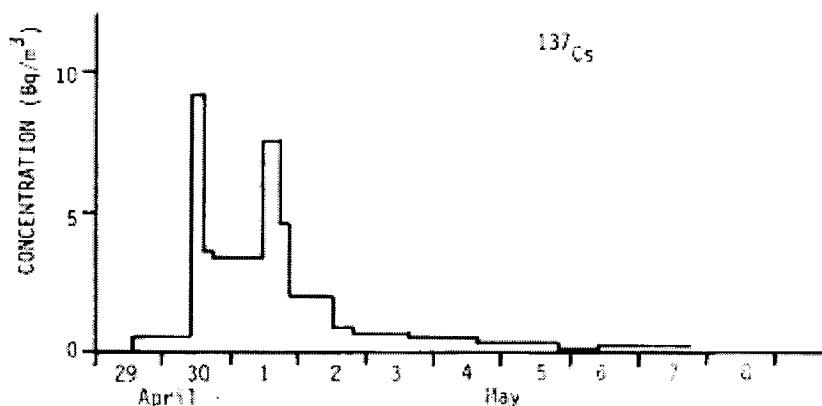


2.2. Prostorno vremenska raspodela taloženja radionuklida iz černobilske katastrofe

2. OPŠTI DEO

Na južnoj zemljinoj hemisferi nije zabeleženo prisustvo radioaktivnih čestica. Jedine posledice zračenja osetile su se usled transfera robe, hrane i ostalih proizvoda, koje su uvezene iz Evrope. Dospele koncentracije su neznatne i zanemarljive.

Posle ove katastrofe širom Evrope su preduzeta merenja. Kontrole koncentracije i migracije se i danas obavljaju. Kao što je već pomenuto najinteresantniji za praćenje je ^{137}Cs , zbog svog dugog vremena poluraspada i značajne količine oslobođene iz jezgra reaktora. Na grafiku 2.3. prikazana je promena koncentracije ^{137}Cs sa vremenom, po m^3 vazduha u nemačkom gradu Minhenu. Vrednosti su izmerene u prva dva meseca posle samog incidenta. Mogu se primetiti nagle promene koncentracije u prvih nekoliko dana. One su prouzrokovane promenljivim vетром koji je duvao u to vreme. Početkom maja koncentracija u vazduhu je naglo opadala. Manji deo aerosola se istaložio, a veći deo je padavinama dospeo na zemlju.

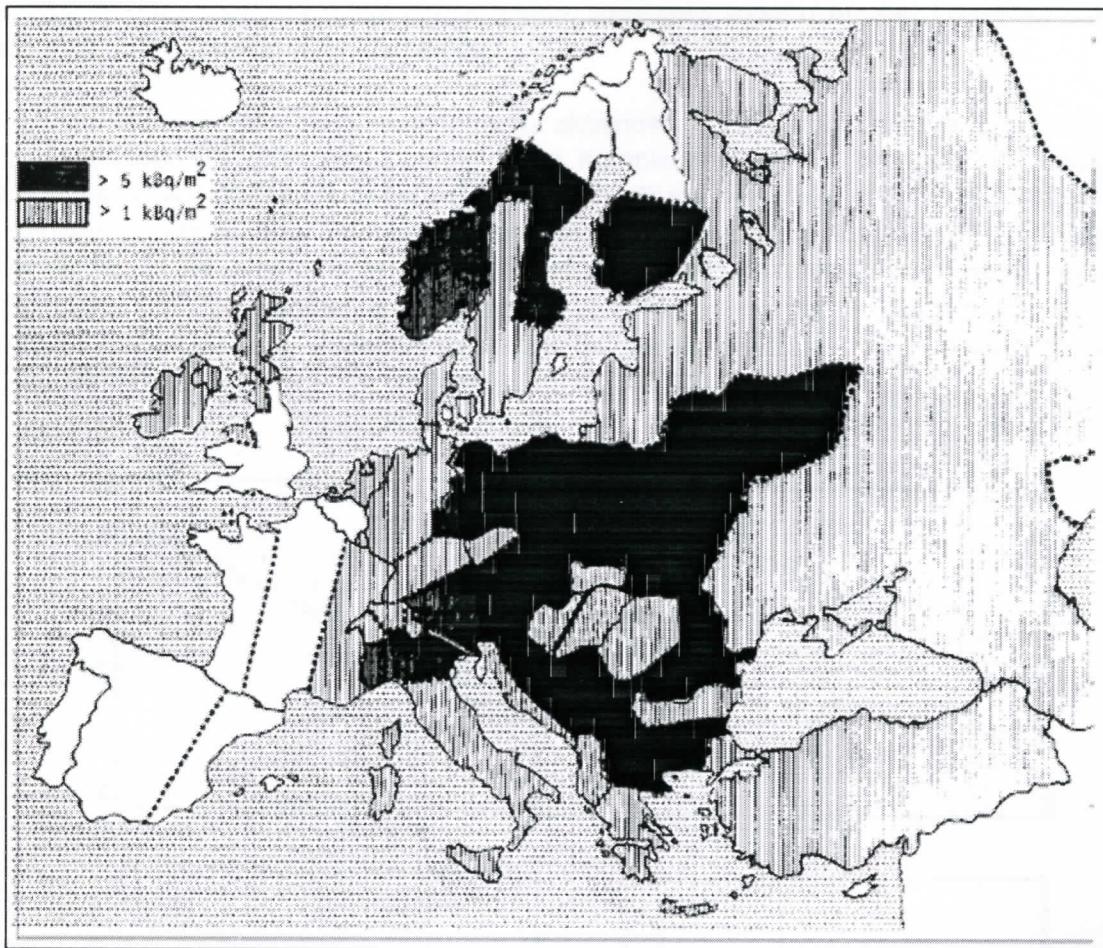


2.3. Koncentracija ^{137}Cs u m^3 vazduha merena u Minhenu u Nemačkoj

Zanimljiv je i podatak, da je aktivnost uzorka uzeta iz prašine u tadašnjem Sovjetskom Savezu bila i do 35 puta veća od aktivnosti merene u vazduhu nad zapadnom Evropom.

Radioaktivni materijal je na zemlju u najvećoj meri dospeo padavinama, a kako je kiša u vreme kontaminacije vazduha neravnomerno padala, tako je i zagađenje po Evropi neravnomerno. Gustina taloga ^{137}Cs je u najvećoj meri, izuzimajući SSSR, izmerena u Švedskoj u okolini Stokholma i iznosila je $85 \text{ kBq}/\text{m}^2$, u Austriji je varirala od 59.46 do $33 \text{ kBq}/\text{m}^2$, u Saveznoj Republici Nemačkoj, u Bavarskoj oblasti dostizala je vrednosti i do $45 \text{ kBq}/\text{m}^2$. Na slici 2.4. prikazane su srednje vrednosti gustine taloga ^{137}Cs u Evropi. Oblasti su podeljene na one kod kojih je gustina manja od $1 \text{ kBq}/\text{m}^2$, veća od $1 \text{ kBq}/\text{m}^2$ i veća od $5 \text{ kBq}/\text{m}^2$. Radioaktivna kontaminacija iz černobilske katastrofe znatno je istaložena na našim prostorima 1. maja.

2. OPŠTI DEO



2.4. Prosečno taloženje ^{137}Cs po m^2 u evropskim zemljama

Sa slike se može videti da je najveća površina tadašnje Jugoslavije bila značajno kontaminirana.

Ono što bi bilo interesantno za ovaj rad je zagađenost podunavskih zemalja. Dunav pre ulaska u Jugoslaviju protiče kroz: SR Nemačku, Austriju, Čehoslovačku i Mađarsku. Podaci su iz 1988. godine pre ujedinjenja Nemačke, razdvajanja Čehoslovačke i raspada Jugoslavije. U tabeli 2.5. prikazane su gustine taloga ^{137}Cs u zemljama kroz koje protiče Dunav pre ulaska u Jugoslaviju.

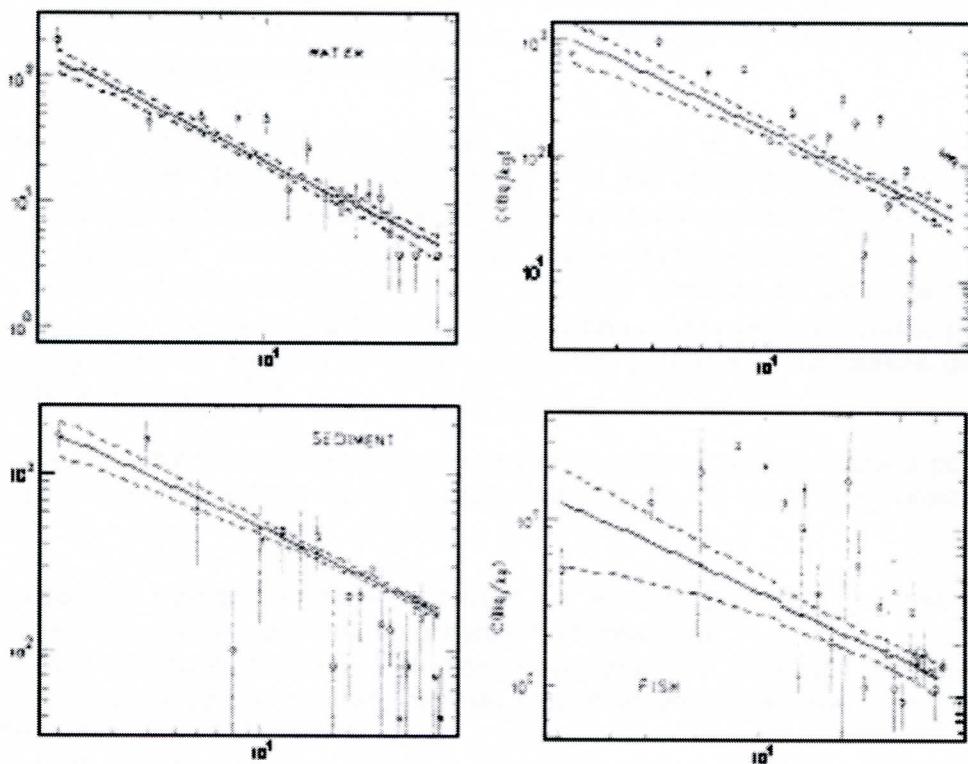
DRŽAVA	SR Nemačka (3 oblasti)	Austrija	Čehoslovačka (3 oblasti)	Mađarska (2 oblasti)
Gustina taloga [kBq/m ²]	2.0 4.0 16.0	23.0	2.3 5.3 2.8	4.8 1.5

2.5. Gustina taloga ^{137}Cs u podunavskim zemljama

2. OPŠTI DEO

Stara Jugoslavija je podeljena na tri oblasti i gustine taloga u tim oblastima su: 23.0 kBq/m², 10 kBq/m² i 4.0 kBq/m². Znači da je gustina taloga po kvadratnom metru u Jugoslaviji veća nego u ostalim podunavskim zemljama, osim u Austriji. Uzrok su obimne kiše koje su u to vreme kod nas padale.

Posle černobilske katastrofe, koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u vodi Dunava je porasla 200 puta u odnosu na referentni uzorak. Zbog kompleksnih uslova prenošenja i položenja radionuklida, koncentracija aktivnosti u rečnom mulju pokazuje znatnu nehomogenost. Ekosistem Dunava se u mnogome promenio. Kako tkivo riba akumulira ^{137}Cs , njegova koncentracija se stalno povećava. Na slici 2.6. je prikazana dugoročna prirodna eliminacija ^{137}Cs iz ekosistema Dunava. Za opis eksperimentalnih podataka korišten je FICK-ov zakon difuzije, podešen metodom najmanjih kvadrata. Kao medijum su uzeti: voda, perifiton, sediment i ribe. Za vremenski period su uzeti meseci.



2.6. Dugoročna prirodna eliminacija ^{137}Cs iz ekosistema Dunava

3. METODE MERENJA

3.1. Gama zračenje

Radioaktivnost se javlja kod nestabilnih atoma, koji raspadom ili preko radioaktivnog niza prelaze u stabilne. Može biti prirodna, spontana, i veštačka, indukovana (nastaje ubacivanjem čestica u jezgro atoma). Svi elementi koji se nalaze u prirodi, a redni broj im je veći od 83 (bizmut) pokazuju svojstvo radioaktivnosti. Početno i krajnje jezgro pri raspodu se nazivaju jezgro predaka i jezgro potomka. Raspadi su praćeni emisijom radioaktivnog zračenja, α , β i γ (definisani u poglavlju 2.1.). Za izvor γ -zraka se uzima naziv predaka, mada on nastaje u potomku.

Gama zračenje je elektromagnetne prirode, za razliku od α i β -zraka. Karakteriše ga izuzetno visok stepen prodornosti (može proći kroz sloj olova debljine preko 20 cm) i relativno mala sposobnost ionizacije i do 10^4 puta manja od α -zraka. Ne može se govoriti o dometu γ -zračenja, obzirom da intenzitet opada eksponencijalno pri prolazu kroz materiju, pa se posmatra debljina sloja koja smanjuje intenzitet na pola. Za razliku od rendgenskih zraka, koji nastaju usled prelaza elektrona u atomskom omotaču, γ -zračenje potiče iz jezgra atoma. Talasna dužina im je 10–100 puta manja od talasne dužine X-zraka i reda je veličine 10^{-12} m.

Ovo zračenje je posledica energetskog preuređivanja jezgra, naime prelaza iz pobuđenog stanja u osnovno ili pobuđeno stanje sa nižom energijom. Do nuklearnog prelaza može doći usled:

1. β -raspada (prelaz neutrona u proton uz emisiju elektrona, atomski broj se povećava za jedan, a maseni broj ostaje nepromenjen)
2. Zahvat elektrona (elektron iz atomskog omotača biva zahvaćen jezgrom i jedan proton se pretvara u neutron, atomski broj se smanjuje za jedan, maseni broj se ne menja)
3. Emisija pozitrona (proton prelazi u neutron, emisijom β^+ -čestice, atomski broj se smanjuje za jedan, maseni broj se ne menja)
4. α -raspad (emisija jezgra helijuma 4_2He , atomski broj se smanjuje za 2, a maseni za 4)
5. Izomernog raspada (pobuđeno stanje koje ima relativno dugo vreme poluživota, metastabilno stanje, atomski i maseni brojevi ostaju isti, samo dolazi do preuređenja energije i jezgro se spušta u osnovno stanje)

Deeksitacija pobuđenih stanja se događa prelazom na niže energetsko stanje u istom jezgru. Do prelaza može doći emisijom γ -zračenja, ili internom konverzijom, predavanjem energije jednom od elektrona u atomskom omotaču. Ovako jezgro prelazi u osnovno stanje, koje može biti stabilno ili podložno daljem raspodu.

3. METODE MERENJA

Verovatnoća prelaza γ -kvanta ne zavisi od načina pobuđivanja stanja, već od prirode nivoa (razlike energija, spinova i parnosti) između kojih dolazi do prelaza. Ona je obrnuto proporcionalna periodu poluraspada pobuđenog stanja sa kojeg se događa emisija.

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{W(s^{-1})} = \frac{6.6 \times 10^{-16}}{\Gamma_\gamma(eV)}$$

Gde W predstavlja parcijalnu verovatnoću emisije γ -kvanta, a Γ_γ je parcijalna širina pobuđenog stanja na kom se dešava prelaz.

Pri emisiji γ -zraka, zbog očuvanja energije i impulsa jezgro mora da uzmakne u suprotnom pravcu od kretanja fotona. Masa fotona je zanemarljiva pa je i uzmak jezgra zanemarljiv, ali se mora uzeti u obzir pri posmatranju nuklearnih stanja. Iz zakona održanja energije sledi:

$$E_\gamma = E_i - E_f - E_R$$

Gde su E_i i E_f energije početnog i krajnjeg stanja, a E_R energija uzmaka jezgra koja se izračunava preko:

$$E_R = 0.5368 \times 10^{-6} \frac{E_\gamma^2}{A}$$

Gde su energije izražene u KeV, a A je relativna atomska masa.

Spektri γ -zraka imaju izrazito diskretnu strukturu i sastoje se od jedne ili nekoliko frekvencija, što ukazuje na činjenicu da su energetska stanja u jezgru diskretna.

3.2. Merenje radioaktivnosti

Kako prilikom radioaktivnog raspada nastaje α , β i γ -zračenje ispitivanje se može obaviti merenjem intenziteta jednog od ovih zračenja. Kod detekcije se koriste pojave: eksitacija i ionizacija atoma medija kroz koji zračenje prolazi, kao i domet čestice u određenoj sredini.

Prvi detektori su fotografска ploča i elektroskop. Za elektroskop se koristio materijal koji svetluca pod dejstvom zračenja i na taj način se ono registrovalo.

Detektori se mogu podeliti prema načinu na koji registruju zračenje na: detektore diferencijalnog tipa (detektuju svaku česticu pojedinačno) i na detektore integralnog tipa (detektuju ukupan efekat ionizacije). Ionizacija ili eksitacija u medijumu detektora se mogu ustanoviti preko električnih ili optičkih indikatora. U tabeli 3.1. klasifikovani su detektori po ovim kategorijama.

3. METODE MERENJA

TIP	DIFERENCIJALNI	INTEGRALNI
ELEKTRIČNI	Jonizaciona komora Proporcionalni brojač Gajger- Milerov brojač Poluprovodnički brojač Scintilacioni brojač Brojač Čerenkova	Jonizaciona komora
OPTIČKI	Fotografska emulzija Maglena komora Mehurasta komora Varnična komora	Fotografska emulzija

3.1. Klasifikacija i tipovi detektora

Važna karakteristika detektora je efikasnost. To je verovatnoća da će čestica koja prođe kroz efikasnu zapreminu detektora biti registrovana. Zato je bitno da efektivna zapremina detektora bude što veća. Efikasnost zavisi od karakteristika detektora kao i od energije čestice. Izračunava se formulom:

$$\epsilon = \frac{N_i}{N}$$

gde je N_i broj detektovanih čestica u određenom vremenskom intervalu, a N broj emitovanih čestica od strane izvora u istom intervalu.

Mrtvo vreme je jedna od značajnih karakteristika detektora. To je vreme za koje detektor posle registracije jedne čestice, nije u stanju da registruje drugu. Potrebno je da ovo vreme bude što kraće.

Spektrometri za razliku od detektora koji samo ukazuju na prisustvo čestice i mere intenzitet zračenja, daju i podatke o njihovoj energiji. Svaki detektor čiji je izlazni signal proporcionalan energiji upadne čestice je i spektrometar. Tu spadaju:

- Diferencijalna jonizaciona komora
- Proporcionalni brojač
- Scintilacioni detektor
- Poluprovodnički detektor

Pomoću jednog detektora moguće je detektovati različito zračenje. Alfa i beta zračenje se mogu registrisati direktno, a γ samo preko pojava koje izaziva.

Beta spektrometri ne mogu da identifikuju radionuklide, jer β -čestice imaju kontinualnu raspodelu energija. Ako se meri koncentracija određenog radionuklida β -spektrometrijom, on se hemijskim putem mora izdvojiti iz uzorka, što može umanjiti koncentraciju radionuklida i dovesti do greške. Ovi spektrometri su pogodni za registrovanje zračenja na mestima gde nije potrebno odrediti koji izvori su u pitanju. Tako se oni postavljaju oko nuklearnih postrojenja, kao alarmni uređaji.

Što se tiče α -zračenja, njegove energije su diskretne, može se koristiti za identifikaciju radionuklida prisutnih u ispitivanom uzorku. Relativno mali domet ovih čestica ima i svojih prednosti i mana pri merenju. Prednost je da se izbegava fon okoline, a mana da zbog malog dometa može doći do atenuacije čestica u samom izvoru. Problem se rešava

3. METODE MERENJA

fizičko–hemijskim postupkom kojim se dobija vrlo tanak sloj izvora što može izmeniti njegov sastav i autentičnost.

Kako je u ovom radu za detekciju i određivanje koncentracije aktivnosti ^{137}Cs korišćena γ -spektrometrija, odnosno poluprovodnički detektor, ovaj tip će biti posebno opisan.

3.3. Gama spektrometrija

Cilj γ -spektrometrije je da se odredi energija i broj fotona koji emituje izvor. Pomoću ovih podataka se mogu identifikovati radionuklidi u izvoru i odrediti koncentracija njihove aktivnosti.

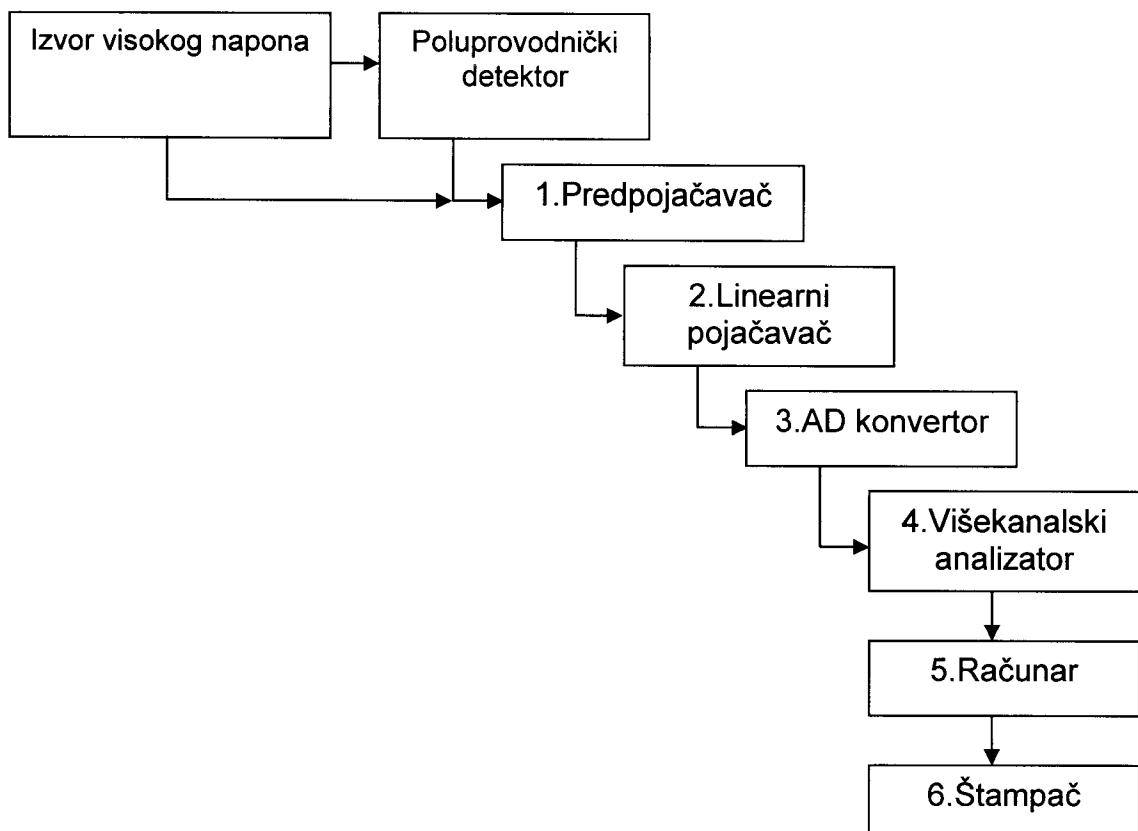
Gama zračenje se u detektoru registruje preko efekata koje proizvodi. Najvažniji efekti pri kojima fotoni interaguju sa atomima su: fotoelektrični efekat (dominantan za niže energije), Komptonovo rasejanje (preovladava na višim energijama, do nekoliko MeV) i stvaranje parova elektron pozitron (efekat je dominantan na energijama višim od 10 MeV). U sva tri procesa nastaju elektroni, posredstvom kojih se detektuje prolaz fotona kroz materiju. Energija se dobija određivanjem količine nastalog naelektrisanja, koja je proporcionalna energiji upadnih fotona.

Poluprovodnički detektori se najčešće prave od silicijuma i germanijuma. Za detekciju γ -zračenja koriste se germanijumski detektori. Ovaj tip detektora je inverzno polarisani PN spoj. Efikasnu zapremenu predstavlja oblast prostornog naelektrisanja. Oblast prostornog naelektrisanja se povećava sa porastom napona, a on može rasti samo do napona proboga. Zbog toga se pribegava drugim načinima dobijanja veće efikasne zapremine. Pri interakciji sa materijom zračenje stvara elektrone i šupljine, brzina drifta im je približna. Stvorena naelektrisanja se kreću suprotno polaritetu priključenog napona. Usled nastale struje, na random otporu dolazi do pada napona koji je proporcionalan energiji upadne čestice.

Pre merenja se mora izvršiti kalibracija energije i efikasnosti detektora. Energetska kalibracija se izvodi pomoću izvora koji emituje γ -zrake tačno određenih energija. Cilj je da se dobije veza između pozicije vrha u spektru i energije zračenja. Za ovu kalibraciju postoje komercijalni setovi, a najjednostavnije je da se za izvor koristi ^{152}Eu , jer on pokriva ceo interval u kome se koristi spektar. Kalibracija efikasnosti se izvodi pomoću standarda poznate aktivnosti i oblika istog kao i ispitivani uzorci. Zatim se konstruiše grafik zavisnosti efikasnosti od energije koji se koristi u daljem radu.

Gama spektrometrijski sistem za merenje niskih aktivnosti, koji je korišten za merenje koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u mulju Dunava, sastoji se iz: poluprovodničkog detektora, niskofonske zaštitne komore, sistema uređaja za obradu signala, kalibracionih izvora i kompjutera sa odgovarajućim softverom. Blok shema ovog sistema prikazana je na slici 3.2.

3. METODE MERENJA



3.2. Blok shema sistema korišćenog za merenje koncentracije aktivnosti

1. Predpojačavač ORTEC model 257N, sadrži filter za visoki napon. Integralna i diferencijalna nelinearnost je manja od 50%, na 90% dinamičkog opsega. Temperaturna nestabilnost je manja od 50 ppm/ $^{\circ}$ C. Postavljen je uz sam detektor da bi izdvajao signal iz detektora sa što manjim smanjenjem odnosa signal-šum.
2. Pojačavač CANBERRA model 2021, integralna nelinearnost je manja od 0.05% za ceo dinamički opseg pri konstanti integracije od 2 μ s. Podešena konstanta integracije je 6 μ s. Grubi stepen pojačanja je 100, a fini 0.3. Promena pojačanja zbog temperaturnih varijacija je manji od 75 ppm/ $^{\circ}$ C. Uvećava amplitudu predpojačavačkog izlaznog signala sa mV opsega na opseg od 0.1-10 V. Neophodno je da daje linearno pojačanje.
3. Analogni digitalni konvertor model CANBERRA 8075, maksimalni opseg konverzije 8192 kanala. Meri maksimum amplituda analognog ulaznog impulsa i pretvara ga u digitalni signal.
4. Višekanalni analizator model CANBERRA 35 PLUS, sa 8192 kanala. Memorijski prostor je podeljen u dva dela, pa se može koristiti za dva detektora istovremeno. Razvrstava, odnosno kanališe, digitalne signale. Širina kanala odgovara nekom energetskom intervalu ΔE . Kao rezultat se dobija dijagram spektra sa zavisnošću broja impulsa unutar nekog kanala od položaja kanala.
5. Računar, omogućava vizuelizaciju, obradu i čuvanje spektra.

3.4. Eksperimentalni spektri γ -zračenja

Kada se intenzitet elektromagnetskog zračenja predstavi u funkciji od talasne dužine, frekvencije ili energije, struktura grafika može biti kontinuirana, diskretna (linijska), ili kombinacija ove dve.

Važni parametri spektra su:

- energija fotona koja je prikazana na apscisi (karakteristična za određeni radionuklid pa se on na taj način može identifikovati)
- širina diskretnih linija (kod užih linija se razaznaju dubleti što olakšava analizu i interpretaciju)
- amplituda linija (površina koju linija obuhvata je proporcionalna aktivnosti radionuklida)
- raspodela amplituda u kontinuiranom delu spektra (pretstavlja fon koji je nepoželjan)

Linijske komponente spektra potiču od prelaza između diskretnih energijskih stanja sistema koji emituje. Kontinuirani spektar može nastati kao posledica više različitih uzroka. Javlja se usled zakočnog zračenja elektrona i Komptonovog rasejanja što je i najverovatniji uzrok.

Korisne informacije se dobijaju iz linijskog spektra, odnosno iz vrha totalne apsorpcije koji nastaje kada foton predaje celokupnu energiju detektoru, što je slučaj kod fotoelektričnog efekta. U ovom slučaju za obradu spektra korišćen je program GAMAR. On nalazi što je moguće bolju funkciju zavisnosti koja opisuje vrh totalne apsorpcije. Program ACTCN na osnovu površine ispod vrha izračunava aktivnost određenog radionuklida.

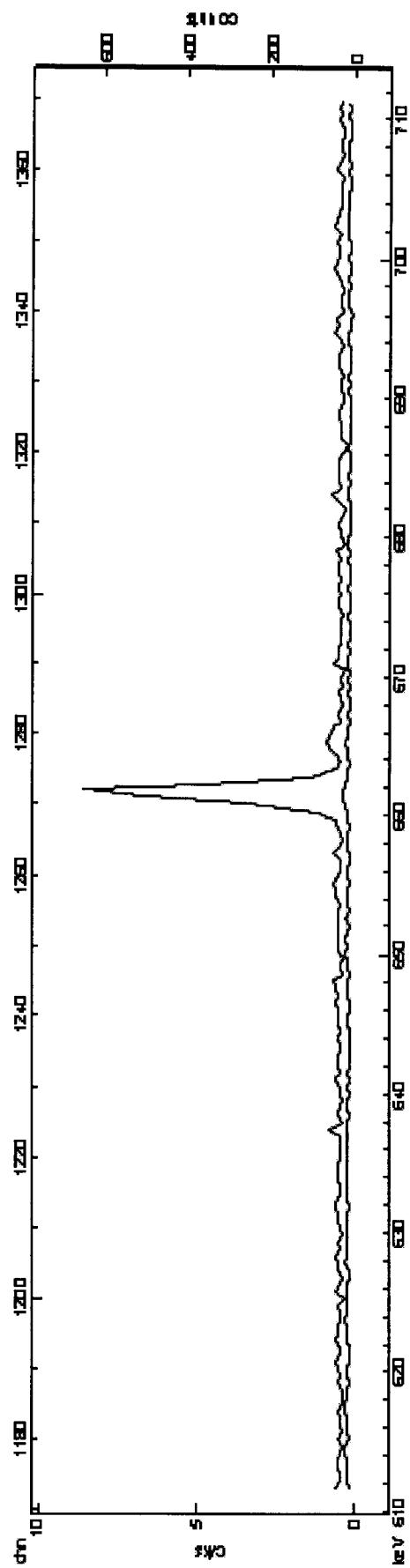
Spektralni kontinuum je nepoželjan, no on se može samo smanjiti, ali ne i eliminisati. Komptonski elektroni doprinose spektralnom kontinumu. Raspodela energija im uzima vrednosti od nulte do

$$E_c = \frac{E}{1 + \frac{m_e c^2}{2E}}$$

gde je sa E_c obeležena energija komptonskog elektrona, sa $m_e c^2$ energija mirovanja elektrona, a sa E energija primarnog fotona. Pod fonom se podrazumeva svo zračenje osim posmatranog γ -zračenja. Znači da tu spadaju i γ -zračenje viših energija i fon okoline. Da bi se odredio fon okoline snima se prvo on sam, bez uzorka, a zatim se ta vrednost oduzimama od spektra snimljenog sa uzorkom.

Na slici 3.3. prikazana je spektar sa karakterističnom linijom ^{137}Cs . Na spektru se jasno može primetiti snimak fona, zračenja u komori i jasno izražena linija ^{137}Cs .

3. METODE MERENJA



Slika 3.3 snimak spektra Cs - 137 iz mulja Dunava

4. EKSPERIMENTALNI DEO

4.1. *Priprema uzorka i merenje*

Uzorci, mulja, su uzeti sa obale Dunava, a ispitivana je koncentracij aktivnosti ^{137}Cs . Prilikom pripreme, uzorci su sušeni na $105^{\circ}C$ da bi se isparila voda i koncentrovali radionuklidi. Na taj način se sastav radionuklida ne menja. Sušenje je trajalo prosečno 24 časa, u zavisnosti od vlažnosti uzorka. Prečnik uzorka je 67 mm, a debljina može biti različita u zavisnosti koliko se uzorka istovremeno meri.

Za merenje je korišćen germanijumski poluprovodnički detektor, GMX proizvođača ORTEC iz SAD. Namjenjen je merenjima u uslovima niskog fona, a relativna efikasnost mu je 32% (u odnosu na natrijum jodid). Moć razlaganja detektora je 1.9σ , mereno na liniji ^{60}Co , energije 1332 keV. Greška je iskazana u intervalu 1.645σ , sa nivoom poverenja od 97%. Radna temperatura detektora se održava na $77^{\circ} K$, pomoću kriostata koji je u kontaktu sa tečnim azotom.

Vreme merenja je trajalo u proseku 36 ks po uzorku, što je značajan podatak, obzirom da nesigurnost rezultata opada sa korenom vremena merenja.

4.2. Rezultati merenja

U tabeli 4.1. prikazani su rezultati merenja iz 2001. i 2002. godine. Merenje je obavljeno na dvadeset jednom uzorku. Uzorci su uzeti sa sedam različitih lokaliteta.

Nº	Lokacija	Datum snimanja	Dužina snimanja [ks]	Masa uzorka [kg]	Koncentracija aktivnosti [Bq/kg]
1	Sr. Karlovci 1.	04.04.02.	41.573	0.2237	25.9±2.1
2	Sr. Karlovci 2.	06.04.02	65.399	0.2441	16.8±1.1
3	Sr. Karlovci 3.	05.04.02	43.802	0.2648	2.6±1.5
4	Šodroš	18.08.01	46.611	0.2948	1.8±0.4
5	Šodroš	11.06.01	51.623	0.2952	2.7±0.4
6	Šodroš	21.07.01	53.011	0.2823	3.9±0.5
7	Bećarac Šstrand	07.08.01.	20.854	0.2572	11.5±1.5
8	Bećarac Šstrand	12.07.01.	43.300	0.2886	16.3±1.1
9	Bećarac Šstrand	15.06.01	77.031	0.2842	22.4±1.1
10	Sr. Kamenica	10.08.01	20.334	0.2260	58.0±4.0
11	Sr. Kamenica	20.07.01.	28.914	0.2135	50.2±2.8
12	Sr. Kamenica	10.06.01.	20.241	0.2297	51.0±3.0
13	Oficirska plaža	14.08.01	20.106	0.3073	18.9±1.4
14	Oficirska plaža	17.07.01.	41.209	0.2779	33.0±1.9
15	Oficirska plaža	09.06.01	30.167	0.2225	61.0±4.0
16	Šstrand	05.08.01	23.871	0.2859	21.0±1.5
17	Šstrand	12.07.01	20.28	0.2440	35.4±2.9
18	Šstrand	12.06.01	40.045	0.2148	35.3±2.1
19	Dunavac	04.08.01	20.156	0.2324	7.2±1.4
20	Dunavac	08.06.01.	20.028	0.3013	3.6±0.7
21	Dunavac	11.07.01.	20.500	0.2428	9.7±1.2

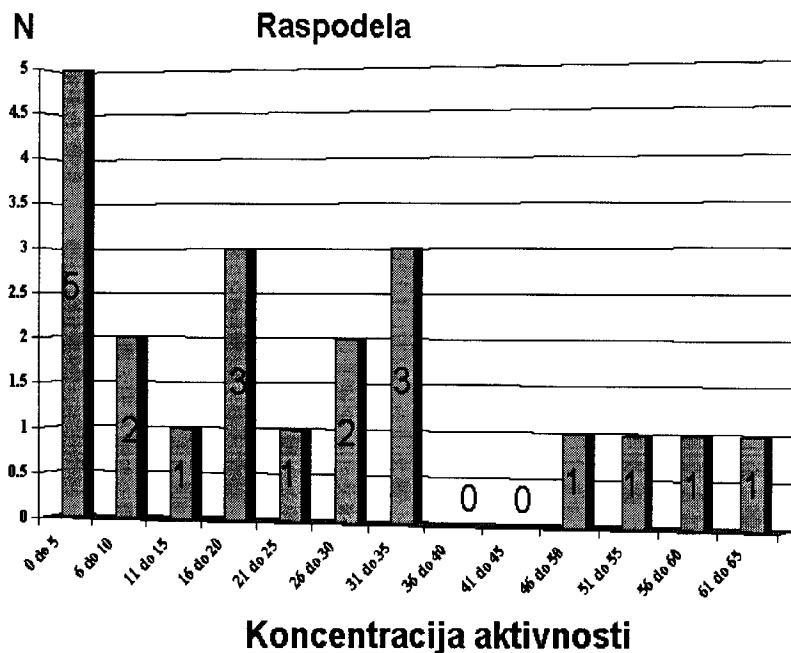
4.1. Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u mulju Dunava

4.3. Analiza merenja

Iz tabele se može primetiti da koncentracija aktivnosti znatno varira, od lokacije do lokacije. Variranja su relativno velika i u okviru jedne lokacije, a uzorci su uzeti sa rastojanja ne većeg od nekoliko metara. U Sremskim Karlovcima ta razlika je i do 23.3 Bq/kg između maksimalne i minimalne izmerene vrednosti.

Da je došlo do poremećaja u toku reke, može se zaključiti iz činjenice da je koncentracija aktivnosti veća na Dunavcu nego na Šstrandu. Pod normalnim uslovima koncentracija aktivnosti je najveća u rukavcima, a najmanja na mestima gde je Dunav otvoren.

Ako se napravi grafik raspodele, odnosno zavisnost koncentracije aktivnosti od broja onih koji upadaju u određeni interval, očekuje se normalna raspodela. Grafik raspodele za ove rezultate, prikazan je na slici 4.2. U ovom merenju je odstupanje od normalne raspodele veliko, što je još jedan od pokazatelja poremećaja toka reke.



4.2. Raspodela koncentracije aktivnosti

5. ZAKLJUČAK

Iz rezultata merenja ovog rada vidi se da černobilска katastrofa, iako je prošlo već šesnaest godina od incidenta, još uvek ima uticaja na ekosisteme. Svaki i najmanji poremećaj u prirodi, kao i migracija, dovode do promene koncentracije radionuklida.

Diskutabilno je da li treba nastaviti sa izgradnjom i korišćenjem nuklearnih elektrana. Obzirom da su prirodni resursi nafte i uglja već prilično iskorišteni i da ova goriva predstavljaju, u normalnim uslovima, veće zagađivače od nuklearnih elektrana, za sada je ovo jedno od malobrojnih alternativa. No nikad se sa sigurnošću ne može oceniti mogućnost dešavanja incidenta, što je u ovom slučaju realan problem, pored problema skladištenja nuklearnog otpada. Nuklearni otpad se može bezbedno skladištiti i kontrolisati, no verovatnoća incidenta uvek postoji.

Korišćenje nuklearne energije se može opravdati, ali za njeno korišćenje u vojne svrhe, kao i probe zbog unapređivanja oružja nemaju razumno objašnjenje.

6. LITERATURA

1. Dr Lazar Marinkov: "Osnovi nuklearne fizike", Novi Sad 1976.
2. J. Slivka, I. Bikit, M. Vesković, Lj. Čonkić: "Gama spektrometrija specijalne metode i primene", Novi Sad 2000.
3. "Zbornik radova" Novi Sad 1987.
4. UNSCEAR: "RADIATION-Doses, Effects, Risks", London 1985.
5. Dr Ljiljana Čonkić: Doktorska disertacija, Novi Sad, 1991.
6. Application of cesium. "Cesium-137 in Erosion and Sedimentation", Study_files
7. UNSCEAR Annex j, "Exposures and effects of the Chernobyl accident"
8. UNSCEAR Annex d, "Exposures from the Chernobyl accident", Report 1988.
9. Danielle Team: "Sky Blue", London 1998.
10. IAEA: "NUCLEAR POWER", Annual Report 2001.
11. IAEA: "Annual Report", Vienna 2002.
12. IAEA: "NUCLEAR FUEL CYCLE AND WASTE MANAGEMENT TECHNOLOGY", Annual Report 2001.
13. Ler Filip: Diplomski rad na temu "Gama spektrometrija u određivanju transporta prirodnih radionuklida iz zemljišta u biljke" Novi Sad 1995.
14. Ljiljana Kralj : Diplomski rad na temu "Komparativno određivanje koncentracije Cs-137, gama spektrometrijom i integralnim beta merenjem nakon radiohemijiske separacije", Novi Sad 1988.
15. Mrđa Dušan: Diplomski rad na temu "Gama spektrometrijsko određivanje koncentracije aktivnosti osiromašenog uranijuma u zemlji", Novi Sad 2001.

