Brzina ambijentalnog doznog ekvivalenta u Kopačkom ritu

Heđi, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:160:736074

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

Repository / Repozitorij:

Repository of Department of Physics in Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU

ANA HEĐI

BRZINA AMBIJENTALNOG DOZNOG EKVIVALENTA U KOPAČKOM RITU

Diplomski rad

Osijek, 2019.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU

ANA HEĐI

BRZINA AMBIJENTALNOG DOZNOG EKVIVALENTA U KOPAČKOM RITU

Diplomski rad

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku radi stjecanja akademskog naziva magistra edukacije fizike i informatike

Osijek, 2019.

Ovaj diplomski rad izrađen je u Osijeku pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Branka Petrinca u sklopu Sveučilišnog diplomskog studija fizike i informatike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

ZAHVALE

„Zahvaljujem se Jedinici za zaštitu od zračenja i Institutu za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu na ustupljenom uređaju za mjerenje. Također se želim zahvaliti svom mentoru izv. prof. dr. sc. Branku Petrincu, koji je sa stručnim savjetima i znanjem pomogao pri izradi ovog diplomskog rada. Želim se zahvaliti i predavaču Igoru Miklavčiću za izradu karte mjerenja za potrebu diplomskog rada te na prijevozu do lokacija mjerenja. „

Sadržaj

UVOD ... 1

1. GRAĐA ATOMA ... 2

2. IONIZIRAJUĆE ZRAČENJE ... 4

2.1. Alfa zračenje ... 5

2.2. Beta zračenje ... 6

2.3. Gama zračenje ... 7

3. DJELOVANJE IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA NA TVARI ... 9

4. DOZIMETRIJSKE VELIČINE ... 10

4.1. Apsorbirana doza zračenja ... 10

4.2. Ekvivalentna doza zračenja ... 10

4.3. Efektivna doza zračenja ... 11

4.4. Ambijentalni dozni ekvivalent ... 11

5. IZVORI ZRAČENJA ... 12

6. PROPISANE GRANICE OZRAČENJA ... 13

7. DETEKTORI I MJERNI UREĐAJI ... 14

7.1. Plinski detektori ... 14

7.2. Poluvodički detektori ... 15

7.3. Scintilacijski detektori ... 16

MJERENJE BRZINE AMBIJENTALNOG DOZNOG EKVIVALENTA U KOPAČKOM RITU ... 18

8. KORIŠTENI UREĐAJI I SOFTVERI ... 18

8.1. RDS-31 S/R Multi-purposeSurveyMeter ... 18

8.2. CSW-31 ... 19

8.3. eTrex 20 ... 21

8.4. ArcGIS 10.2.2. ... 22

9. LOKACIJE MJERENJA ... 23

10. REZULTATI MJERENJA ... 25

11. T-TEST ... 26

12. RASPRAVA REZULTATA ... 28

ZAKLJUČAK ... 30

LITERATURA ... 31

Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku
Odjel za fiziku

Diplomski rad

BRZINA AMBIJENTALNOG DOZNOG EKVIVALENTA U KOPAČKOM RITU

ANA HEĐI

Sažetak

U teorijskom dijelu rada opisana je osnovna teorija građe atoma, svojstva ionizirajućeg zračenja, podjela ionizirajućeg zračenja i djelovanje ionizirajućeg zračenja na ljudsko tijelo. Nadalje, opisane su osnovne dozimetrijske veličine i vrste detektora kojim se detektira zračenje. Osim toga navedeni su i izvori zračenja i njihova osnovna podjela.

U eksperimentalnom dijelu rada opisani su korišteni uređaji i računalni programi. Opisane su lokacije mjerenja i razlog zašto su provedena mjerenja na točno određenom području. Rezultati mjerenja su podijeljeni u dvije skupine uzoraka te statistički obrađeni. Osim uvida u brzinu ambijentalnog doznog ekvivalenta na području Kopačkog rita, željelo se utvrditi postoji li utjecaj Dunava na brzinu ambijentalnog doznog ekvivalenta.

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku.

Ključne riječi: park prirode Kopački rit/ Dunav/ brzina ambijentalnog doznog ekvivalenta/ RDS-31 / utjecaj rijeka na zračenje

Mentor: izv. prof. dr. sc. Branko Petrinec, prof. fiz.

Ocjenjivači:

Rad prihvaćen:

University Josip Juraj Strossmayer Osijek Master of Science Thesis

Department of Physics

AMBIENT DOSE EQUIVALENT RATE ON KOPAČKI RIT

ANA HEĐI

Abstract

Theoretical part od this thesis describes fundamental theory: built of an atom, the properties of ionizing radiation, classification of ionizing radiation and effects from ionizing radiation on human body . Furthermore, basic dosimetric quantities and types of detectors for detecting radiation are described. Also, sources of radiation and their classsification are listed.

In the experimental part of this thesis are described used devices and softwares as well as the area of measurement and the reason why measurements were carried out in specific area. The results of the measurements were divided into two groups of samples and statistically processed. Apart from the insight into the velocity of the ambient dosage equivalent in the Kopački rit field, it was desirable to determine whether the influence of the Danube River on the velocity of the ambient dosage equivalent was present

Thesis deposited in department of Physics library

Keywords: Nature park Kopački rit / Danube / speed od ambient dose equivalent / RDS-31 / the influence of river on radiation

Supervisor: Assoc. Prof. Branko Petrinec, PHD

Reviewers:

Thesis accepted:

UVOD

Naše tijelo je izloženo ionizirajućem zračenju u svakom trenutku. Podrijetlo tog zračenja dolazi iz prirodnih izvora i iz umjetnih izvora. Naš planet je sam po sebi izvor prirodnog zračenja. Najveća doza prirodnog zračenja dolazi iz tla i stijena te iz svemira. Naše tijelo je naviknuto na određenu dozu zračenja. Međutim, postoje i umjetni izvori ionizirajućeg zračenja koji su nastali upravo ljudskom djelatnošću. Dugotrajna izloženost povišenim dozama zračenja može imati negativne posljedice na zdravlje čovjeka. Iz tog razloga počela se voditi evidencija pozadinskog zračenja na područjima interesa i osobna dozimetrija. Pojam osobne dozimetrije odnosi se na pojedince koji su izloženi povišenim dozama zračenja zbog određenih djelatnosti poput radnika u nuklearnim elektranama, pilota, znanstvenika koji rade u laboratorijima i tako dalje.

Spominjući područja interesa, za naš diplomski rad to je park prirode Kopački rit. To područje se smatra „čistim područjem“. Ljudska djelatnost na tom području je potpuno zabranjena ili ograničena. U neku ruku, možemo reći da se radi o netaknutoj prirodi. Kao što sam naslov kaže, istraženo je kakva je brzina ambijentalnog doznog ekvivalenta na tom području. Također, napravljena je analiza mjerenja i na područjima koja ne pripadaju Kopačkom ritu kako bismo mogli usporediti mjerenja. Provedena su mjerenja i na poplavnim područjima dvije rijeke, Dunava i Drave kako bismo mogli usporediti i parametar utjecaja rijeka na zračenje.

1. GRAĐA ATOMA

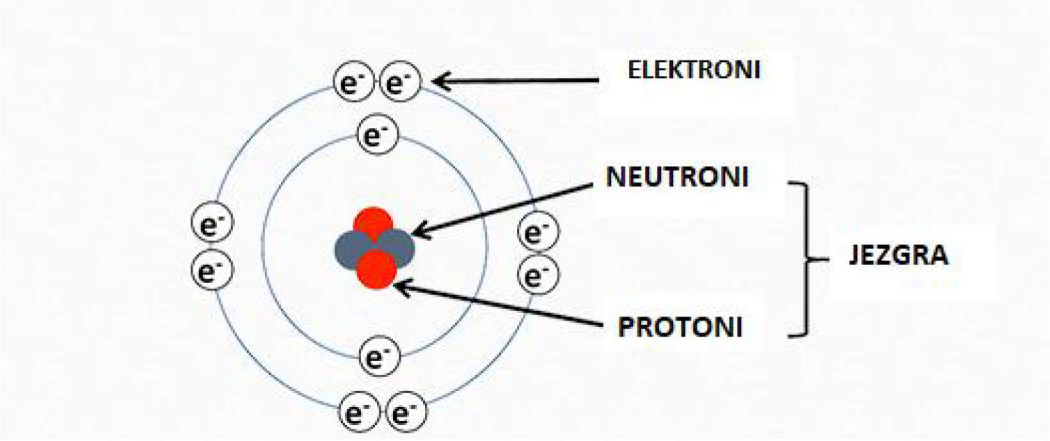
Kroz povijest mnogo se raspravljalo o građi atoma te su postojale razne teorije. Već u 4 st. pr. Kr. Demokritu se pripisuje prvi model atoma u kojem ih je Demokrit zamislio kao male nedjeljive kuglice. Kasnije zapažen model atoma pripada znanstveniku 19. i 20. stoljeća J.J. Thomsonu. Njegov model atoma poznat je i kao „model pudinga sa šljivama“ te je ponuđen nakon otkrića elektrona. Model predlaže da su u središtu atoma koncentrirani elektroni, a oko središta je pozitivan električni naboj. Model nije mogao biti točan te je sljedeću teoriju predložio Ernest Rutherford. Njegov model se naziva planetarnim modelom, u kojem se atom sastoji od pozitivno nabijene jezgre, u kojoj je skoncentrirana atomska masa, i određenog broja elektrona koji se okreću oko atomske jezgre i čine omotač. Ukupan naboj atoma je nula, odnosno atom je električki neutralan; broj elektrona u omotaču i broj protona u jezgri je jednak. Rutherfordova teorija gotovo odgovara današnjoj teoriji o građi atoma, no bilo ju je potrebno nadograditi. To je učinio Niels Bohr ponudivši postulate:

1. Atom boravi u određenom stacionarnom stanju najniže energije, ukoliko na njega ne djeluje neka vanjska sila elektron se može gibati oko jezgre samo po kvantiziranim stazama (n), a pri tom elektron ne emitira energiju.
2. Atom prima ili emitira energiju samo kad njegov elektron prelazi iz jedne u drugu stazu.
3. Elektroni mogu boraviti samo u onim energijskim stanjima ili stazama u kojima je njihov zakretni impuls (kutna količina gibanja, L) jednak umnošku tzv. reducirane Planckove konstante ($\hbar = {}^{h}/_{2\pi}$) i neke cjelobrojne vrijednosti n (n = 1, 2, 3…):

$$L = n \cdot \hbar$$

Prema postulatima, Bohrov atom se sastoji od jezgre ispunjene protonima i neutronima. Oko jezgre se nalaze staze s elektronima. Elektroni u neutralnom stanju nalaze u stacionarnim stazama i pri tome ne zrače energiju. Ukoliko atom primi dovoljno energije, prelazi u pobuđeno stanje, tj. elektron prelazi na višu orbitalu. Pri povratku na nižu orbitalu elektron emitira energiju. Treći postulat nam govori u kojim to stacionarnim orbitalama elektron može boraviti.

Bohrov model atoma savršeno odgovara jednostavnim atomskim strukturama poput vodikova atoma. Za kompliciranije atome točniju sliku daje kvanta mehanika koja uzima u obzir i druge parametre poput odbojnih sila među nabojima, pogreške mjerenja brzina čestica ili položaja itd. Za potrebe ovog diplomskog rada dovoljno je znati osnovu građe atoma koju aproksimiramo Bohrovim modelom (Slika 1.).



Slika 1. Shematski prikaz Bohrovog modela atoma [8]

2. IONIZIRAJUĆE ZRAČENJE

Da bismo došli do opće definicije ionizirajućeg zračenja potrebno je definirati što su ioni. Neutralni atom se sastoji od jednakog broja elektrona u elektronskom omotaču i protona u jezgri. Pri nekim procesima dogodi se da broj protona i elektrona nije više jednak i atom postaje električki nabijen. Tada taj atom, nejednakog broja elektrona i protona nazivamo ion. Ioni mogu biti pozitivno (višak protona) i negativno (višak elektrona) nabijeni. Ionizirajuće zračenje definiramo kao pojavu prijenosa energije u obliku fotona (foton je kvant elektromagnetskog zračenja) ili masenih (korpuskularnih) čestica pri čemu to zračenje ima dovoljno veliku energiju da ionizira tvar pri međudjelovanju. Promjene koje dolaze pri izloženosti tvari ionizirajućem zračenju očituju se u promjeni energije ili promjeni strukture atoma.

Zračenje masenim česticama povezujemo s radioaktivnošću. Radioaktivnost je proces spontane promjene atomske jezgre pri čemu se emitiraju čestice ili elektromagnetsko zračenje. Atomske jezgre koje su nestabilne (radioaktivne) nazivamo radionuklidima. Emitirane čestice ili elektromagnetsko zračenje nazivamo radioaktivnim zračenjem. Spontane promjene nestabilnih jezgri nazivamo radioaktivni raspad. Radioaktivni raspad može se prikazati na sljedeći način:

$$^{A1}_{Z1}X \rightarrow {}^{A2}_{Z2}Y + x + E$$

gdje je X (takozvana jezgra roditelj) nestabilna jezgra koja se raspada, Y jezgra „potomak“ u koju se jezgra roditelj transformira, x emitirana čestica ili kvant (radioaktivno zračenje), te E energija zračenja.

Uočavamo da se pri radioaktivnom raspadu oslobađa energija. Ukupna energija E raspada dobiva se na račun razlike u masi početne jezgre X i zbroja mase emitirane čestice i jezgre potomka:

$$E = \Delta mc^2$$

gdje je c brzina svjetlosti u vakuumu koja iznosi približno $3 \cdot 10^8$ m/s (prava vrijednost iznosi $2{,}99792458 \cdot 10^8$ m/s), a Δm razlika u masi.

Razlikujemo tri osnovne vrste radioaktivnog raspada: alfa, beta i gama. Alfa i beta zračenje je zračenje masenim česticama, a gama zračenje je elektromagnetsko zračenje.

Elektromagnetsko zračenje može nastati prijelazom elektrona s više energetske staze na nižu (pri tome se emitira kvant elektromagnetskog zračenja), kočenjem [1] ili promjenom smjera gibanja elektrona ili procesima promjene stanja atomske jezgre. Brzina elektromagnetskog zračenja jednaka je brzini širenja svjetlosti. Osim brzine širenja, elektromagnetsko zračenje opisujemo i s pripadnom frekvencijom (ν). Frekvencija

[1] Brzi elektroni ulaze u kristalnu rešetku atoma mete i usporavaju se u električnom polju atomskih jezgara.

elektromagnetskog zračenja definira se kao broj promjena električnog i magnetskog polja u vremenskom intervalu. Frekvenciju izražavamo u osnovnoj mjernoj jedinici herc [Hz]. Valnu duljinu (λ) elektromagnetskog zračenja definiramo pomoću frekvencije, a ona je jednaka brzini širenja zračenja (c) podijeljenoj s frekvencijom tog zračenja. Izražavamo ju u metrima [m].

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

Svaki kvant elektromagnetskog zračenja ima vlastitu energiju (E) koja je jednaka umnošku frekvencije i Planckove konstante (h) koja iznosi $6{,}6260693 \cdot 10^{-34}$Js:

$$E = h \cdot \nu$$

Energiju izražavamo osnovno u džulima [J], ali najčešće koristimo mjernu jedinicu elektronvolt [eV[2]].

Elektromagnetsko zračenje koje ima ionizirajuća svojstva obuhvaća zračenje iz spektra rendgenskog zračenja i gama zračenja. Rendgensko zračenje je zračenje valnih duljina u rasponu od 10^{-10} m do 10^{-13} m, a gama zračenje obuhvaća zračenja valnih duljina kraćih od 10^{-13} m.

2.1. Alfa zračenje

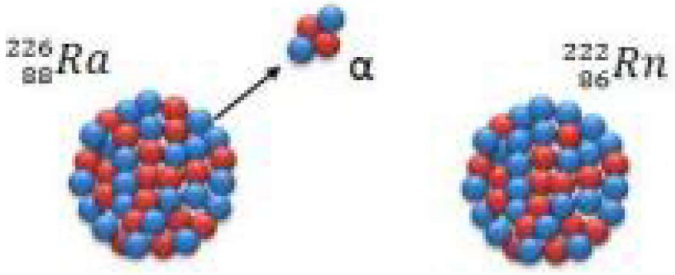
Alfa (α) zračenje je radioaktivan raspad pri kojem jezgra emitira takozvanu α-česticu, odnosno jezgru helija ($^{4}_{2}He$). Pri raspadu se maseni broj početne jezgre smanjuje za 4, a broj protona se smanjuje za 2:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + \alpha.$$

Redni broj jezgre roditelja u periodnom sustavu elemenata se pomiče za dva mjesta ulijevo.

Alfa zračenje ima linijski spektar zračenja te je raspon energija alfa čestica između 4 i 10 MeV-a. Brzina alfa čestice je otprilike $2 \cdot 10^{7}$ m/s. Alfa čestica ima relativno veliku masu te u sebi nosi dva protona, pa je međudjelovanje sa tvari kroz koju prolazi jako, ali je domet djelovanja malen. Domet alfa čestice u zraku je od 2 do 8 cm, dok je u tkivima tek 0,03 mm. Alfa zračenje može zaustaviti već list papira (Slika 6.), pa ono izvan organizma ne može napraviti gotovo nikakvu štetu. Ako se nađe unutar organizma, zbog jakog međudjelovanja s tvari i velike energije, jako je opasno i može izazvati jako velike posljedice. [6]

[2] Odnos 1 J i 1 eV možemo iskazati kao: 1 eV = $1.602176634 \cdot 10^{-19}$ J.



Slika 2. Shematski prikaz alfa zračenja na primjeru radija ^{226}Ra [4]

2.2. Beta zračenje

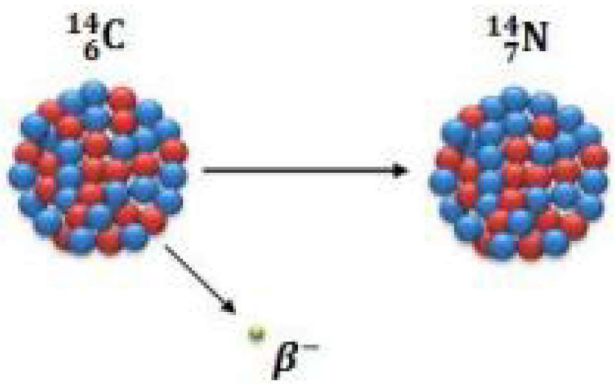
Beta (β) zračenje je radioaktivan raspad pri kojem jezgra emitira jedan elektron ili pozitron, pri čemu se u jezgri stvara jedan proton ili neutron. Ovisno o tome što jezgra emitira i što se pri tome stvara razlikujemo beta plus i beta minus zračenje.

U beta minus ($^{-}\beta$) raspadu jedan neutron iz jezgre transformira se u proton koji ostaje u jezgri, a iz jezgre izlijeće čestica po osobinama jednaka elektronu i antineutrino ($^{0}_{0}\tilde{\nu}$):

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + {}_{-1}^{0}e + {}^{0}_{0}\tilde{\nu}$$

$$^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}_{-1}^{0}e + {}^{0}_{0}\tilde{\nu}$$

Antineutrino je antičestica neutrinu. Neutrino je elementarna čestica bez električnog naboja, vrlo male mase koja se giba brzinom približnom brzini svjetlosti [14]. Pri raspadu novonastala jezgra se pomiče za jedno mjesto u desno u periodnom sustavu elemenata.



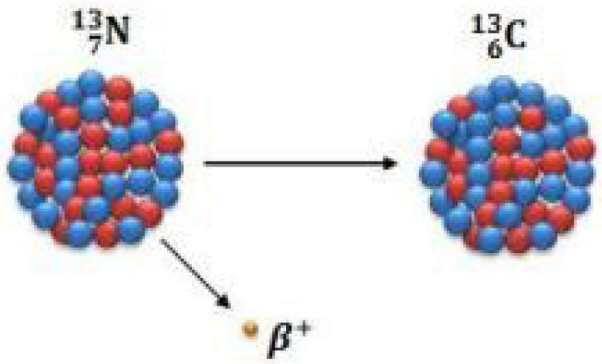
Slika 3. Prikaz sheme beta minus raspada na primjeru ugljika ^{14}C [6]

Pri beta plus raspadu ($^{+}\beta$) proton iz jezgre transformira se u neutron uz emisiju pozitrona i neutrina ($^{0}_{0}\nu$):

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z-1}^{A}Y + {}_{+1}^{0}e + {}^{0}_{0}\nu$$

$$^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}_{+1}^{0}e + {}^{0}_{0}\nu$$

Pozitron predstavlja antičesticu elektrona, ima jednaku masu kao elektron i naboj jednak elektronu, ali suprotnog predznaka. U periodnom sustavu novonastala jezgra se pomiče za jedan element u lijevo.



Slika 4. Shematski prikaz beta plus raspada na primjeru dušika ^{13}N [6]

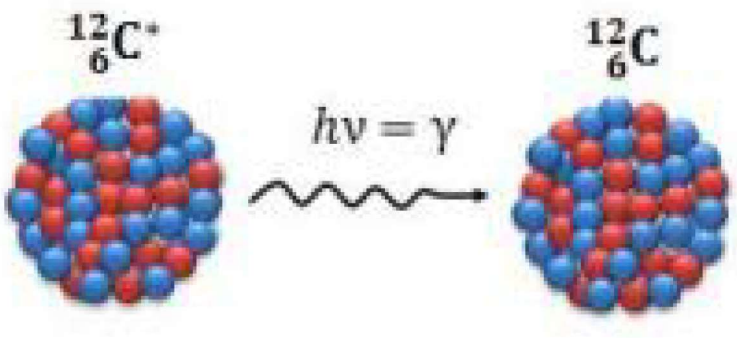
Beta zračenje je u odnosu na alfa zračenje manje prodorno. Doseg u zraku ovisi o energiji zračenja. Pri energiji od 0,5 MeV-a doseg beta čestice je 0,7 m, dok za energiju od 3 MeV-a je 10 m. Beta čestice može zaustaviti već aluminijski lim debljine nekoliko milimetara (Slika 6). [6]

2.3. Gama zračenje

Gama zračenje (γ zračenje) prikazujemo sljedećom jednadžbom:

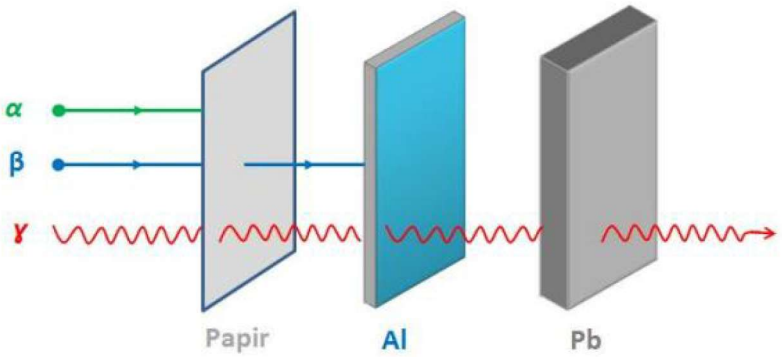
$$^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$$

gdje je X^* pobuđena jezgra, a γ kvant elektromagnetskog zračenja. Broj protona i neutrona se nije promijenio, pa nije došlo do promjene jezgre, već samo do neutralizacije pobuđene atomske jezgre. Pod neutralizacijom pobuđene atomske jezgre smatramo prelazak elektrona s više energetske orbitale na nižu. Gama zračenje je najčešće posljedica alfa i beta raspada.



Slika 5: Emisija gama zračenja na primjeru jezgre ugljika. [6]

Gama zračenje, u odnosu na alfa zračenje, ima puno manju energiju, pa stoga ima manju interakciju u usporedbi s alfa zračenjem. Ali u usporedbi s alfa zračenjem ima velik doseg. Najbolje ga apsorbiraju materijali velikog atomskog broja i gustoće. Gama zračenje ne može u potpunosti zaustaviti niti (najčešće korištena) olovna ploča debljine nekoliko milimetara (Slika 6). [6]



Slika 6. Prikaz prodornosti alfa, beta i gama zračenja

2.4. Neutronsko zračenje

Neutronsko zračenje također spada pod ionizirajuće zračenje. Neutronsko zračenje je roj brzih neutrona, čestica bez elementarnog naboja. Na neutron ne djeluju električna i magnetska polja zbog njegove neutralnosti. Upravo zbog toga nema međudjelovanja neutrona i elektrona u atomskom omotaču niti električnog međudjelovanja između jezgre i neutrona. Zbog toga neutron lako prodire do jezgre i tek onda počinju djelovati nuklearne sile. Neutronsko zračenje karakterizira energija neutrona koja je iznosa približno 10 MeV-a. [1]

Neutronsko zračenje posljedica je nuklearnih procesa. Dio je kozmičkog zračenja i zračenja iz nestabilnih jezgara velike mase.

3. DJELOVANJE IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA NA TVARI

Kao što je već spomenuto, pri prolazu ionizirajućeg zračenja kroz tvari dolazi do promijene svojstava zračenja i tvari. Mjerenje doze zračenja i posljedica zračenja u tvari naziva se dozimetrija. Polazna dozimetrijska veličina je energija. Energija koju tvar primi, nakon niza pojava, mijenja svojstva tvari. Ionizacija tvari nastaje kada naelektrizirane čestice izbacuju iz elektronskog omotača elektrone. Stanice ljudskog organizma su promjera od 5 do 6 μm[3], dok je promjer atoma reda veličine 0,1 nm [4]. Uspoređujući ove veličine vidimo da je stanica barem 10^5 redova veća od atoma. Apsorbiranjem ionizirajućeg zračenja u stanicama ljudskog tijela dolazi do oštećenja stanica. Izravni učinak na stanicu su ionizacija i ekscitacija[5]. Posljedica toga su sekundarne kemijske reakcije. Ukoliko pogođeni atom pripada molekuli nukleinske kiseline ili molekuli proteina dolazi do specifičnih posljedica; promjena aminokiselina i enzima, mijenjanja, oštećenja ili razaranja organskih makromolekula stanice. [10]

Učinci ionizirajućeg zračenja na tkiva podijeljeni su u dvije grupe: deterministički i stohastički. Obilježja prikazana u Tablici 1. [10].

DETERMINISTIČKI	STOHASTIČKI
Sigurno će se dogoditi svakom tkivu nakon primanja određene doze kod svih ozračenih	Postoji vjerojatnost, koja je proporcionalna primljenoj dozi kod nekih ozračenih, da se će dogoditi
Postoji prag doze za svaki učinak	Ne postoji prag doze
Težina oštećenja proporcionalna visini primljene doze	Težina oštećenja je jednaka kod svih doza
Uglavnom se temelji na ubijanju stanica tkiva	Temelji se na promjenama kromosoma
Dolazi do pojave u kratkom vremenu nakon ozračivanja	Pojavljuje se nakon duljeg vremena od ozračivanja
Bolesti: katarakta, sterilitet, eritem	Bolesti: maligni tumori, hereditarne bolesti

Tablica 1. Obilježja determinističkog i stohastičkog radiobiološkog učinka ionizirajućeg zračenja na tkiva

Zaključno, deterministički učinci ionizirajućeg zračenja kod čovjeka mogu prouzročiti smrt stanica. Gubitak tih stanica može prouzročiti teška oštećenja funkcija tkiva ili organa. Kod stohastičkih učinaka

[3] mikrometar, jednak 10^{-6} metara
[4] nanometar, jednak 10^{-9} metara
[5] u fiziologiji, uzbuđenje ili aktivirano stanje zbog određena podražaja; dodavanje energije, npr. ekscitacija molekule apsorpcijom fotona. [9]

ionizirajućeg zračenja dolazi do odgođenog oštećenja. Kod niskih doza vjerojatnost za pojavljivanje takvih oštećenja je mala.

4. DOZIMETRIJSKE VELIČINE

4.1. Apsorbirana doza zračenja

Predanu energiju E_D definiramo kao razliku ulazne energije E_u i izlaznu energiju E_i zračenja koja prolazi kroz neko tijelo. Uobičajeno, mjerna jedinica za energiju je džul (J). Kada smo definirali predanu energiju, možemo definirati što je to apsorbirana doza.

Apsorbirana doza zračenja (D_T) je količnik predane energije i mase m_T tijela koje je ozračeno.

$$D_T = \frac{\Delta E_D}{m_T}$$

Mjerna jedinica koja se koristi pri izražavanju apsorbirane doze naziva se grej [Gy]. Grej označava koliko džula energije je primio jedan kilogram mase ozračenog tijela. Mjerna jedinica koja se koristila prije bila je rad. Za usporedbu, 1 rad jednak je 10^{-2} Gy. Rad je za jedinicu mase uzimao gram, a ne kilogram. [1, 11]

Apsorbirana doza nije bila sasvim dovoljna za opis zračenja. Pri jednakim apsorbiranim dozama oštećenja tkiva i organa nisu bila jednaka. Prema tome, vjerojatnost stohastičkih efekata ovisit će o tome koja vrsta tkiva je bila ozračena.

4.2. Ekvivalentna doza zračenja

Kako bi se procijenio učinak zračenja s obzirom na sveukupne okolnosti, apsorbirana doza množi se s faktorima modifikacije. Ovisno o tome koja je vrsta zračenja i kolika je energija zračenja, ovisi i učinak na tkiva. Učinak tih vrsta zračenja i energija zračenja uspoređuje se s učinkom nekog polaznog zračenja za koje su ti učinci poznati. Tako bismo opisali ekvivalentu dozu zračenja. [1]

Prije nego definiramo ekvivalentnu dozu zračenja, definirat ćemo faktor kvalitete zračenja (w_R). Faktor kvalitete faktor je modifikacije kojim se opisuje biološki učinak nekog zračenja u odnosu na polazno rendgensko zračenje pri naponu od 200 kV. [11]

Konačno, ekvivalenta doza (H_T) definira se kao umnožak apsorbirane doze i faktora kvalitete zračenja:

$$H_T = w_R \cdot D_T$$

Mjerna jedinica kojom se izražava ekvivalenta doza naziva se sivert [Sv]. Stara mjerna jedinica bila je rem[6]. [1,11]

4.3. Efektivna doza zračenja

Utvrđena je veza između vjerojatnosti pojave stohastičkih efekata i ekvivalentne doze, a ona ovisi o vrsti organa ili tkiva. Prema tome uveden je takozvani težinski faktor tkiva (W_T). Težinski faktor opisuje vjerojatnost pojave stohastičkih učinaka koji su posljedica ozračivanja. Efektivna doza (E) definira se kao zbroj svih produkata ekvivalentne doze i pripadnih težinskih faktora:

$$E = \sum H_T \cdot W_T$$

Zbrajaju se doze svih organa i tkiva ljudskog tijela koja se smatraju osjetljivima na pojavu stohastičkih učinaka. Mjerna jedinica kojom se izražava efektivna doza zračenja također je Sv.

4.4. Ambijentalni dozni ekvivalent

Općenito, osnovne fizikalne veličine u osobnoj dozimetriji se dijele na fundamentalne (opisuju polje zračenja i njegovu interakciju s materijom) i veličine koje se koriste u zaštiti od zračenja (obuhvaćaju operativne i zaštitne veličine). U fundamentalne fizikalne veličine pripadaju već definirane apsorbirana doza i ekvivalentna doza zračenja, a u zaštitne spadaju ekvivalentna i efektivna doza. Navedene zaštitne veličine ne mogu se izravno mjeriti pa se zbog toga upotrebljavaju operativne veličine. Operativne veličine se prema ICRU koriste za procjenu gornjih granica vrijednosti zaštitnih veličina povezanih s izlaganjem ionizirajućem zračenju. Operativne veličine dijelimo na one za nadzor prostora i one za osobni nadzor. S obzirom da je cilj diplomskog rada nadzor prostora Kopačkog rita, zadržat ćemo se na operativnim veličina povezanim s nadzorom prostora.

Ambijentalni dozni ekvivalent ($H^*(10)$) je operativna veličina. Povezan je s efektivnom dozom, a koristi se za buduće procjene, kategorizaciju radnih prostora, provjeru učinkovitosti debljine zaštite od zračenja i slično.

[6] Odnos rem-a i Sv: 1 rem= 10^{-2} Sv

Oznaka 10 unutar zagrade definira se kao dozni ekvivalent na dubini 10 mm ICRU sfere. ICRU sfera je četveroelementno tkivo, odnosno sfera gustoće 1 gcm^{-3} načinjena od kisika, ugljika, vodika i dušika, promjera 30 cm, koja ima smjer suprotan smjeru vektora usmjerenog polja. Općenito, *H*(10)* je izotropna veličina čija vrijednost ne ovisi o smjeru raspodjele polja zračenja u promatranoj točki.

U praktičnom dijelu diplomskog rada rađena su mjerenja brzine ambijentalne ekvivalentne doze, odnosno mjereno je prodorno zračenje u jedinici vremena (Sv/h).

5. IZVORI ZRAČENJA

Izvori ionizirajućeg zračenja dijele se na dvije vrste: prirodni izvori i umjetni izvori. Prirodno pozadinsko zračenje dolazi iz tri izvora: kozmičko zračenje, prirodni radioaktivni izotopi[7] koji su članovi „radioaktivnih obitelji“ i prirodni radioaktivni izotopi koji nisu članovi „radioaktivnih obitelji“.

Kozmičko zračenje se odnosi na prirodne radioaktivne izotope koji su nastali u svim fazama evolucije Zemlje. Stvaranje ovih izotopa je posljedica interakcije kozmičkih zraka s jezgrama koje se nalaze u Zemljinoj kori i atmosferi. Kozmički radionuklidi su srednjeg ili malog atomskog broja s vremenom poluraspada od nekoliko sekundi do $5{,}7 \cdot 10^3$ godina. Ti radionuklidi su emiteri beta, gama i rendgenskih zraka. Glavni radionuklidi iz ove grupe zračenja su ugljik-14 (^{14}C), tricij (^{3}H), berilij-7 (^{7}Be) i natrij-22 (^{22}Na).

Prirodni radioaktivni izotopi koji su „članovi obitelji“ odnose se na tri prirodna radioaktivna niza: torijevog (^{232}Th), uran-aktinijevog (^{235}U) i uran-radijevog (^{238}U). To su primarni prirodni radionuklidi čije je porijeklo iz eksplozije supernova[8]. Njihova koncentracija u biosferi se postupno smanjuje, kako se smanjuje roditeljski izotop.

Prirodni radioaktivni izotopi koji nisu članovi „radioaktivnih obitelji“ odnose se radionuklide povezane s nastankom Zemlje. Glavno svojstvo ovih izotopa je da se direktno raspadaju na stabilne jezgre. Glavni radionuklidi iz ove grupe zračenja su kalij-40 (^{40}K) i rubidij-87 (^{87}Rb).

Umjetni izvori zračenja dolaze iz ljudske djelatnosti. Uglavnom su to strojevi koji su stvoreni za svrhu primjene u medicini, nuklearne elektrane, izrada nuklearnog oružja itd.

---

[7] atomi istog kemijskog elementa koji se razlikuju po broju neutrona u atomskoj jezgri

[8] zvijezde u eksploziji koje u svemir velikom brzinom, bliskom brzini svjetlosti, odbacuju velik dio svoje tvari, velika količina oslobođene energije omogućava stvaranje elemenata masivnijih od željeza [18]

Najistaknutiji element prirodnog zračenja je radon (Rn) koji je najveći izvor prirodnog zračenja (čak 55%). Nastaje iz radioaktivnih nizova. Plemeniti je plin bez boje i mirisa čiji je izvor najčešće tlo. Najpoznatiji izotopi su radon (^{222}Rn), toron (^{220}Rn) i aktinon (^{219}Rn). Vrijednosti torona i aktinona se najčešće zanemaruju jer imaju kratko vrijeme poluraspada (toron 51,5 sekundi, a aktinon 3,92 sekundi), dok radon ima vrijeme poluraspada 3,8 dana. Radon koji udišemo u zraku ne predstavlja problem jer je koncentracija između 5 i 15 Bq/m^3. Potrebno je mjeriti njegovu koncentraciju u zatvorenim prostorima jer u velikim koncentracijama, udisanjem te daljnim raspadom može oštetiti DNA i uzorkovati karcinom pluća. [19]

6. PROPISANE GRANICE OZRAČENJA

Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti propisuje da izloženost pojedinca ionizirajućem zračenju mora biti ograničena. Zakon se ne odnosi na izlaganje prirodnom zračenju, izlaganje stanovništva tijekom leta u zrakoplovu te izlaganje iznad površine tla radionuklidima prisutnima u Zemljinoj kori. [21] Unutar zakona nalazi se pravilnim u kojem su zapisane dozvoljene doze izlaganja pojedinca u jednoj godini. Pravilnik propisuje dozvoljenu dozu za stanovništvo i izložene radnike (Tablica 6). [20]

Skupina izloženih osoba		**Izloženi radnici**	**Ostalo stanovništvo**
Dozimetrijske veličine			
Ekvivalentna doza	*Očne leće*	150 mSv	15 mSv
	Koža, podlaktice, šake, stopala	500 mSv	50 mSv
Efektivna doza		100 mSv	1 mSv

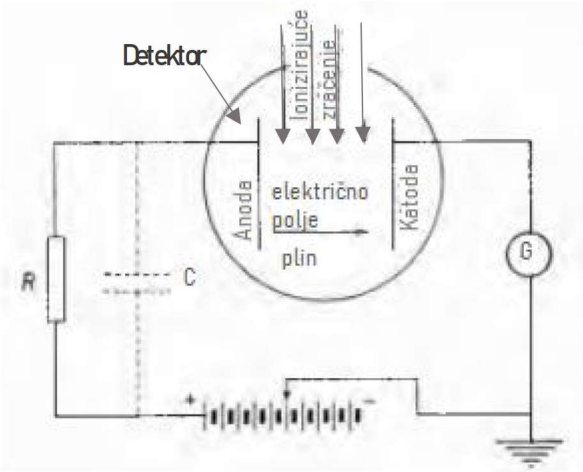
Tablica 2. Dozvoljene doze izvora ionizirajućeg zračenja koji su uključeni u djelatnosti s izvorima ionizirajućih zračenja

7. DETEKTORI I MJERNI UREĐAJI

Metoda promatranja i kvantitativnog mjerenja različitih vrsta zračenja zasniva se na interakciji emitiranih čestica ili elektromagnetskog zračenja sa materijom. Ta interakcija izaziva promjene poput ionizacije ili pobuđivanja atoma unutar sredstva kroz koje prolazi. Pri tome se u detektoru javlja električni impuls ili kvant svjetlosti koji se registrira i analizira pomoću aparature ugrađene u uređaj. Postoje tri osnovne skupine uređaja za mjerenje zračenja: vizualizatori tragova, dozimetri i brojači. Kod vizualizatora tragova, na temelju međudjelovanja, ostaju trajno ili privremeno tragovi čestica ili fotona. Dozimetri, s druge strane, mjere energiju koju je zračenje predalo tvari. A brojači, kao što sama riječ kaže, registriraju i broje pojedine naelektrizirane čestice i fotone. U daljnem tekstu raščlanit ćemo podrobnije uređaje prema principu rada.

7.1. Plinski detektori

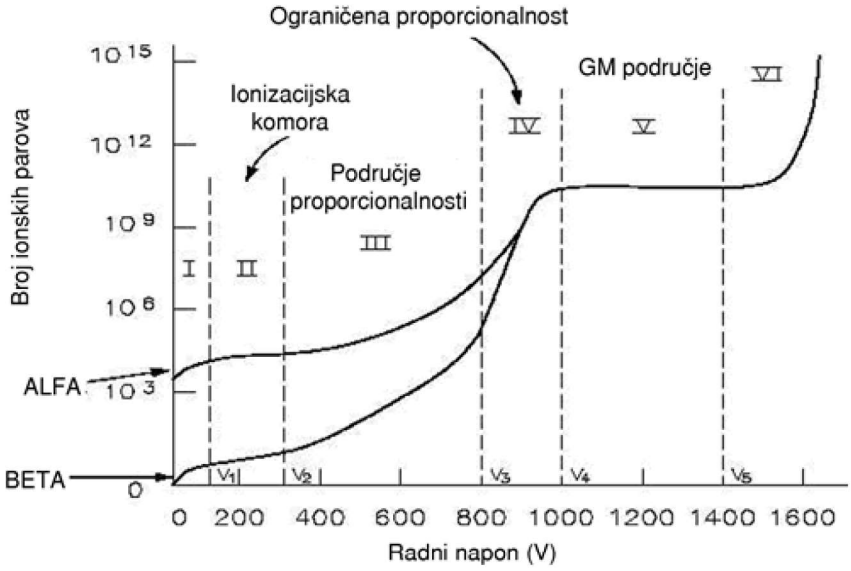
U plinske detektore ubrajamo ionizacijsku komoru, proporcionalni brojač i Geiger-Müllerov brojač. Plinski detektori su podvrsta ionizacijskih detektora. Ionizacijski detektori rade na principu ionizacije. Unutar plinskih detektora (Slika 7.) nalazi se plinska komora unutar koje se uslijed prolaska zračenja javlja ionizacija te se ti ioni pretvaraju u električni impuls u prisustvu električnog polja. Ukoliko ne bi bilo napona na elektrodama nastali ioni bi se rekombinirali te postali neutralni. Prilikom uspostavljanja napona pozitivni ioni kreću se prema katodi, a negativni ioni prema anodi.



Slika 7. Shema plinskih detektora [13]

Područje rada plinskih detektora određeno je prema primijenjenom naponu na elektrodama. Na slici 8. možemo vidjeti graf ovisnosti broja ionskih parova o radnom naponu pri detekciji alfa i beta čestica. Područje

označeno brojem jedan pripada djelomičnom sakupljanju iona zbog rekombinacije. Područje dva pripada području rada ionizacijske komore gdje dolazi do skupljanja svih ionskih parova. Područje tri naziva se područje proporcionalnosti i ono opisuje povećan broj detekcije, ali se zadržava proporcionalnost s primarno stvorenim ionskim parovima. Područje četiri nazvano ograničenom proporcionalnosti odgovara opisu područja proporcionalnosti s time da se proporcionalnost gubi. Područje pet je područje rada Geiger-Müllerovog brojača. Valja zapaziti da G.M. brojač ne razlikuje alfa i beta zračenje. [15, 13]



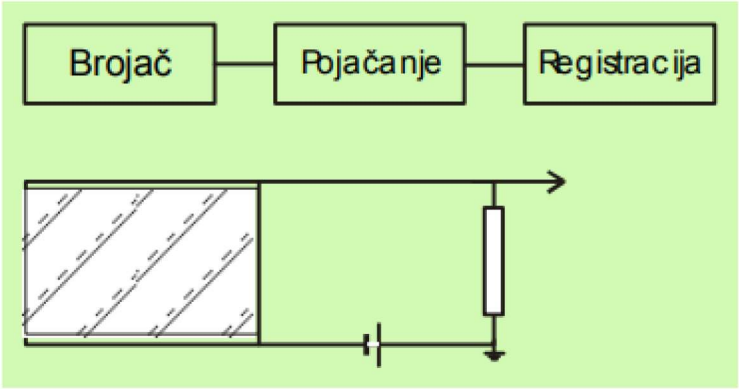
Slika 8. Područje rada plinskih detektora [15]

Karakteristika plinskih detektora je velika osjetljivost na zračenje, može detektirati sve vrste ionizirajućeg zračenja, dimenzije uređaja mogu biti raznolike te jednostavnost elektronskih uređaja za registraciju izlaznog signala. [13]

7.2. Poluvodički detektori

Poluvodički detektori također spadaju pod ionizacijske detektore. Aktivna sredina detektora je neki materijal načinjen od poluvodiča. Karakteristika poluvodiča je da pri niskim temperaturama ne provodi struju ako se na krajeve doveden napon, ali dovođenjem nekih vanjskih utjecaja, poput zračenja, može se inducirati vodljivost. Induciranjem vodljivosti slobodni elektroni se kreću materijalnom i za sobom ostavljaju šupljine (mjesta gdje nedostaju elektroni). Na taj način se poluvodič ponaša kao plin u plinskim detektorima. Shema rada poluvodičkih detektora prikazana je na slici 9. Parovi elektron-šupljina skupljaju se na suprotnim elektrodama te

se tako dobiva signal proporcionalan broju parova. Taj broj je i proporcionalan energiji upadne čestice. Ovi detektori, upravo zbog tog svojstva, mogu služiti i za spektrometriju zračenja[9]. [7]



Slika 9. Shema principa rada poluvodičkih detektora [7]

Najčešće korišteni poluvodički materijali su silicij (Si) i germanij (Ge). Prednosti ovog tipa detektora su male dimenzije, neosjetljivi su na prisutnost magnetskog polja, visoka energetska rezolucija i malo „mrtvo vrijeme“[10]. Mana detektora je da čestice visoke energije mogu oštetiti i promijeniti karakteristike poluvodičkog materijala, mala amplituda izlaznog signala te osjetljivost na temperaturu. [7,13]

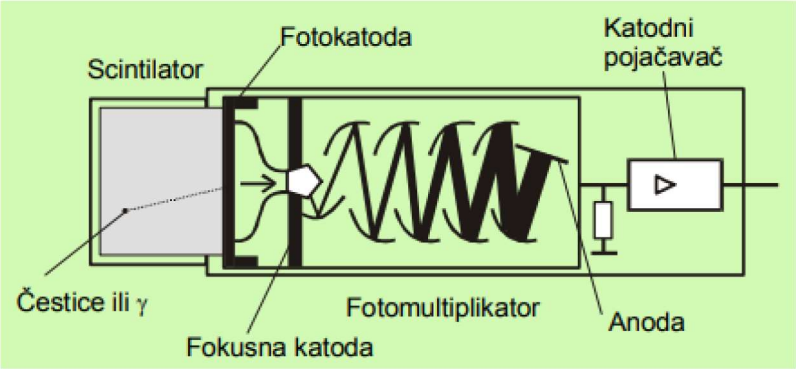
7.3. Scintilacijski detektori

Prolaskom ionizirajućeg zračenja kroz neke materijale dolazi do emitiranja elektromagnetskih valova u području vidljivog i ultraljubičastog spektra, tj dolazi do svjetlucanja (luminiscencije). Ti materijali nazivaju se scintilatori. Prolaskom zračenja kroz te materijale, zračenje predaje dio svoje energije elektronima i oni prelaze u pobuđeno stanje. Povratkom u osnovno stanje emitiraju kvant elektromagnetskog zračenja (u obliku spomenutog svjetlucanja). Ta pojava je temelj rada scintilacijskih detektora. Princip rada se temelji na dva procesa: apsorpciju energije zračenja u fosforu sa pretvorbom te energije u luminiscentno zračenje i registraciju pomoću fotomultiplikatora. [17, 13]

Kako bismo detaljnije opisali princip rada prvo pogledajte sliku 10. Ulaskom zračenja u obliku čestica ili gama zraka nastaje struja elektrona. Struja tih elektrona pojačava se pomoću uređaja nazvanog fotomultiplikator.

[9]spektrometrijska tehnika kemijske analize temeljena na energetskim promjenama koje se događaju u atomima kao učinak apsorpcije ili emisije elektromagnetskog zračenja [16]
[10] vrijeme za koje detektor ne može registrirati novu česticu

Fotomultiplikator je uređaj koji služi za pojačavanje signala izazvanog svjetlosnim zračenjem. Sastoji se od fotoćelije[11] i većeg broja elektroda za pojačavanje signala. Fotoni nastali u scintilatoru iz materijala fotoćelije izbacuju elektrone. Ti primarni elektroni dolaze do elektroda za pojačavanje signala i iz nje izbacuju nekoliko novih elektrona (prosječno tri nova elektrona, ovisno o naponu). Sekundarni elektroni (novonastali), ponovo idu sljedećoj elektrokatodi, ponovo nastaju novi elektroni i taj proces se ponavlja na sljedećoj elektrokatodi. Uobičajeni koeficijent pojačanja elektrona jest od 10^5 do 10^7. Nakon umnožavanja elektrona, anoda prikuplja mjerljiv impuls te šalje dalje u uređaj za registraciju. [7]



Slika 10. Shema scintilacijskog detektora [7]

Scintilatori koji se uobičajeno koriste su neorganski kristali, organski kristali, tekućine i polimeri. Uvjet korištenja je da je koeficijent fluorescencije visok, da je materijal propustan za emitiranu svjetlost i da ima spektarske karakteristike koje odgovaraju fotoćeliji. Najčešće se koriste cink sulfid s primjesama srebra (ZnS(Ag)), natrij jodid s primjesama talija (ScI (Tl)) i litij jodid s primjesama talija (LiI(Tl)). [7,13]

Prednost ovog detektora je što se ionizirajuće čestice (α, β, protoni itd.) mogu sa sigurnošću utvrditi uz istovremeno mjerenje energije, efikasnost utvrđivanja γ i rendgenskih zraka je veća nego kod drugih detektora, brzina registracije je velika (oko 10^{-9} s) i dimenzije su prilagodljive. [13]

[11] fotoosjetljiva katoda

8. KORIŠTENI UREĐAJI I SOFTVERI

8.1. RDS-31 S/R Multi-purposeSurveyMeter

RDS-31 S/R Multi-purpose Survey Meter (Slika 11.) mjerni je uređaj korišten za mjerenje brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta. Proizvodi ga tvrtka Mirion Tehnologies koja uglavnom proizvodi uređaje za mjerenje i detekciju nuklearnog zračenja. Prigodan je za djelatnosti u civilnoj zaštiti, vatrogastvu te industrijskoj i laboratorijskoj upotrebi. Uređaj je na baterije i jedna od glavnih prednosti je što je malih dimenzija. Detektor je otporan na udarce i vlagu, stoga je odličan za mjerenje u prirodi. U sebi ima ugrađene vibracijske, vizualne i auditivne alarme. Ima velik LCD zaslon s pozadinskim osvjetljenjem pa je pogodan i za korištenje po danu i po mraku. Pomoću tipki koje se nalaze na uređaju moguće je konfigurirati način izvođenja ponovljenih operacija poput ručne zbirke uzoraka histograma, prikaz vrijednosti doze, dijagnostika i slično. Funkcija histograma služi za pohranjivanje mjerenih podataka. Interval mogućeg mjerenja je od 0,1 μSv do 10 Sv. [22,23]

Slika 11. Uređaj RDS-31 R/S multimetar

Glavni detektor uređaja je Geiger Műllerov brojač koji omogućuje mjerenje gama i rendgenskih zraka energija u rasponu od 48 keV-a do 3 MeV-a. Uređaj se može nadopuniti sondama kako bi mogao mjeriti alfa i beta zračenje. [23]

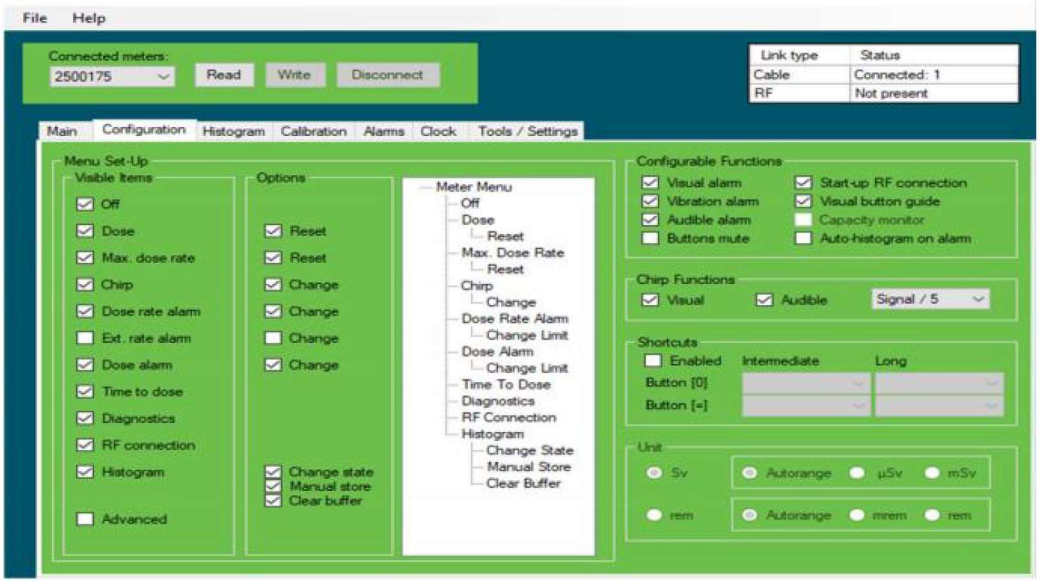
8.2. CSW-31

Uređaj RDS-31 moguće je spojiti s računalom te ga podesiti pomoću zadanog programa. CSW-31 konfiguracijski je program koji dolazi u paketu s uređajem. Uređaj se spaja pomoću USB kabela te se program automatski instalira. Program je na engleskom jeziku te je potrebno baratati barem osnovama jezika. Program u sebi sadrži sedam kartica: Main, Configuration, Histogram, Calibration, Alarms, Clock i Tools/Settings.

Unutar kartice Main (Slika 12.) nalaze se opći podaci: serijski broj uređaja, trenutna brzina doze, iznos trenutne doze, maksimalna brzina doze, vrsta baterije, stanje baterije te stanje memorije histograma.

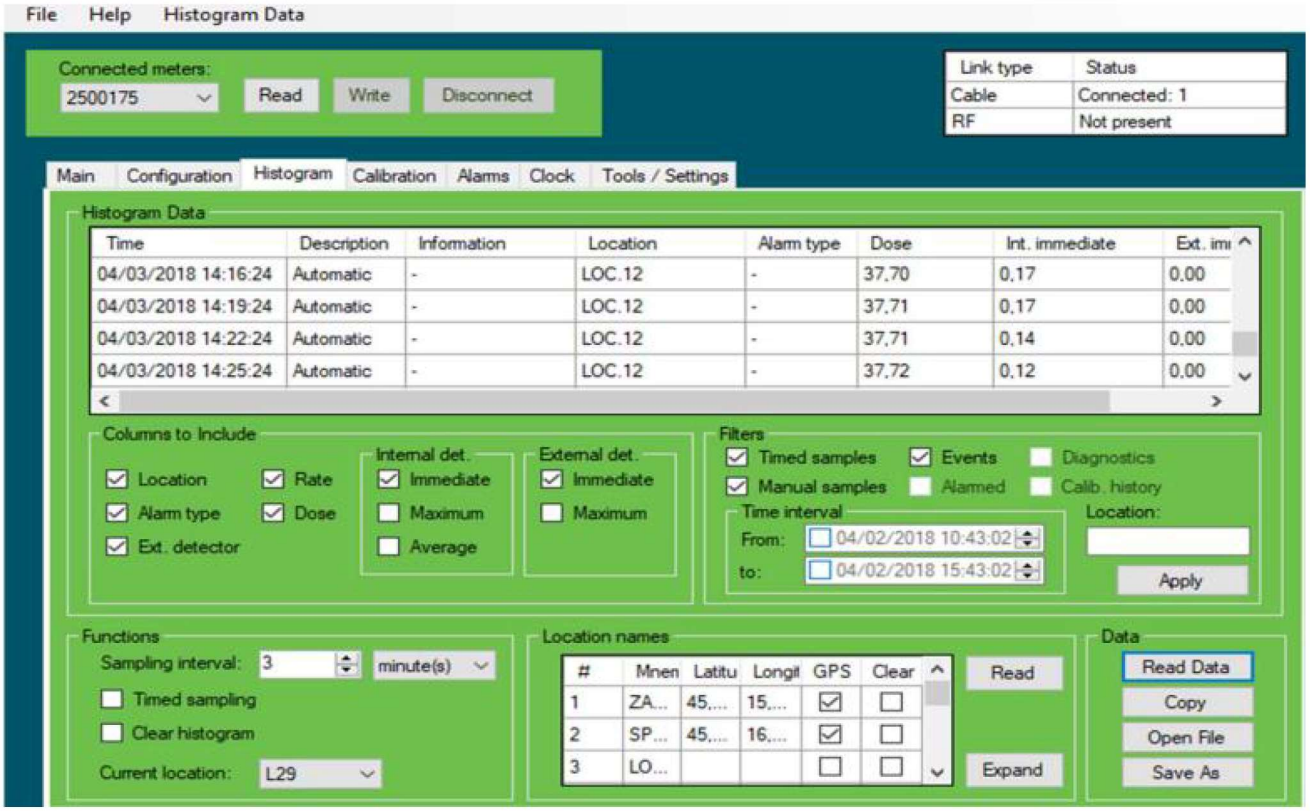
Slika 12. Kartica Main softvera CSW-31

Unutar kartice Configuration nalazi se niz opcija uređaja koje se mogu uključiti ili isključiti, poput alarma doze, histograma, maksimalne izmjerene doze, dijagnostike i tako dalje (Slika 13.)



Slika 13. Kartica Configuration softvera CSW-31

Sljedeća kartica je kartica Histogram (slika 14.). Ukoliko se uređaju naredi da pamti izmjerene doze unutar te kartice se nalaze podaci mjerenja. Ta funkcija je praktična, jer nije potrebno nositi sa sobom papir i olovku koji se lako mogu smočiti i uništiti. Osim podataka moguće je uključiti i isključiti neke funkcije koje se mogu nalaziti u tablici histograma poput lokacije, doze, brzine doze i slično. Jedna od najvažnijih funkcija je interval mjerenja koji se može podesiti. Lokacijama se mogu pridružiti geografska dužina i širina. Kartica ima još mnogo opcija koje mogu pomoći pri mjerenjima.



Slika 14. Kartica Histogram

Za potrebe konfiguracije uređaja pri izradi diplomskog dovoljno je bilo koristiti ove dvije kartice.

8.3. eTrex 20

Uređaj eTrex 20 (Slika 15.) koristili smo pri određivanju lokacije. Proizvodi ga američka tvrtka Garmin koja se bavi istraživanjem GPS navigacije i nosivom tehnologijom iste u automobilskim, zrakoplovnim, pomorskim i fitnes tržištima. Koristi privatne i državne izvore podataka te GPS[12] i GLONASS[13] satelite. Uređaj je praktičan za korištenje u prirodi zbog svojih malih dimenzija, koristi baterije koje rade do 25 sati i ima zaslon s kojeg se može čitati pri jakoj Sunčevoj svjetlosti.

[12] Global Positioning System, satelitski radionavigacijski sustav za određivanje položaja na Zemlji ili u njezinoj blizini [27]
[13] Ruski položajni sustavi [27]

Slika 15. Ručni GPS eTrex 20 [26]

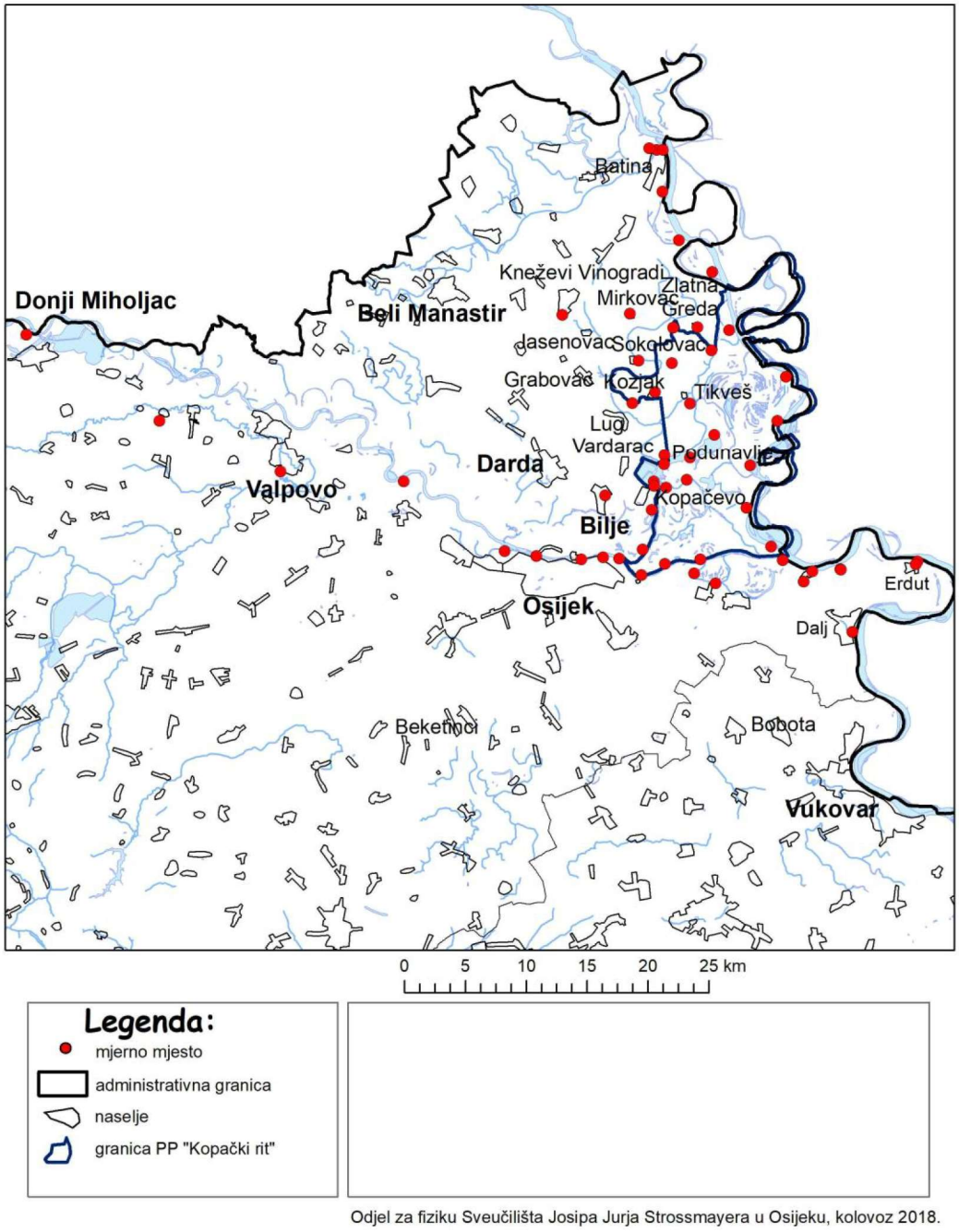
Za naše potrebe, dovoljno je bilo da nam uređaj ispisuje koordinate latitude (geografska širina) i longitude (geografska dužna). Osim toga, uređaj ima još brojne mogućnosti. Ispisuje nadmorsku visinu, može služiti kao kompas, mogu se dodavati karte, može se odrediti krajnja točka itd.

8.4. ArcGIS 10.2.2.

ArcGIS 10.2.2. softver je koji je korišten za izradu mape s lokacijama (Slika 16.). Prvenstveno je izrađen za finska sveučilišta i sveučilišta primijenjenih znanosti od strane finske tvrtke CSC IT Center. Softver pokriva mnoštvo sofisticiranih GIS (Geographic Information System) alata. Za rad na softveru potrebna je licenca. [28]

9. LOKACIJE MJERENJA

Mjerenja su se radila na području Kopačkog rita i uz poplavna područja rijeka Drave i Dunava na ukupno 52 lokacije (Slika 16.). Područje mjerenja geografski pripada teritoriju Osječko-baranjske županije. Mjerenje je rađeno na visini 1 m iznad tla i u trajanju 15 minuta. Mjerenja su provedena u proljeće i ljeto 2018. godine. Uređaj je tokom mjerenja podešen da mjeri brzinu ambijentalnog doznog ekvivalenta u mjernoj jedinici µSv/h. Zbog praktičnosti, u priloženoj tablici brzina je izražena u nSv/h.



Slika 16. Zemljovid lokacija mjerenja brzine ambijentalne ekvivalentne doze zračenja

Kopački rit proglašen je parkom prirode[14] 1976. godine. Proteže se 177 km^2 na teritoriju Baranje. Poplavno je područje dviju rijeka: Drave i Dunava. Službene granice Kopačkog rita prikazane su na slici 16. Dom je više od 2300 biljnih i životinjskih vrsta. Uvršten je u mnoge popise zaštite, što nam govori o velikoj prirodnoj važnosti tog područja. Uvršten je na popis Ramsarskih područja te na IBA-in popis (Important Bird Areas). Osim toga, dio je projekta Uspostava nacionalne ekološke mreže kao dijela Sveeuropske ekološke mreže i EU mreže Natura 2000 te je Park prirode i Posebni zoološki rezervat Kopački rit određen kao područje od međunarodne važnosti. Upravo zbog tolike važnosti i netaknute prirode nama je bila interesantan odabir za istraživanje. Kako bismo mogli vršiti mjerenja na području Kopačkog rita bila je potrebna posebna dozvola od Ministarstva zaštite okoliša i energetike, jer osim mjerenja brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta, skupljali smo i mahovine za diplomski rad kolegice. [24]

Poplavne površine protežu se do Batine na sjeveru, Bijelog Brda na jugu i Donjeg Miholjca na zapadu. Mjerenja na poplavnim područjima Dunava provođena su na način da se do lokacija došlo pomoću kanua jer dio tih područja još uvijek nije razminirano (lokacije u priloženoj tablici od 34 do 41). Spustili smo se niz Dunav od Zelenog Otoka do Aljmaša, otprilike 35 kilometara. Na svakih cca 5 riječnih kilometara, stali smo na obalu te proveli mjerenja. Do ostalih, pristupačnijih lokacija, došli smo automobilom.

[14] prostor prirodne ljepote u kojemu su ljudske aktivnosti dozvoljene, ali bez narušavanja sklada prirode [25]

10. REZULTATI MJERENJA

Nakon obrade svih rezultata mjerenja brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta dobivena je prosječna vrijednost koja iznosi:

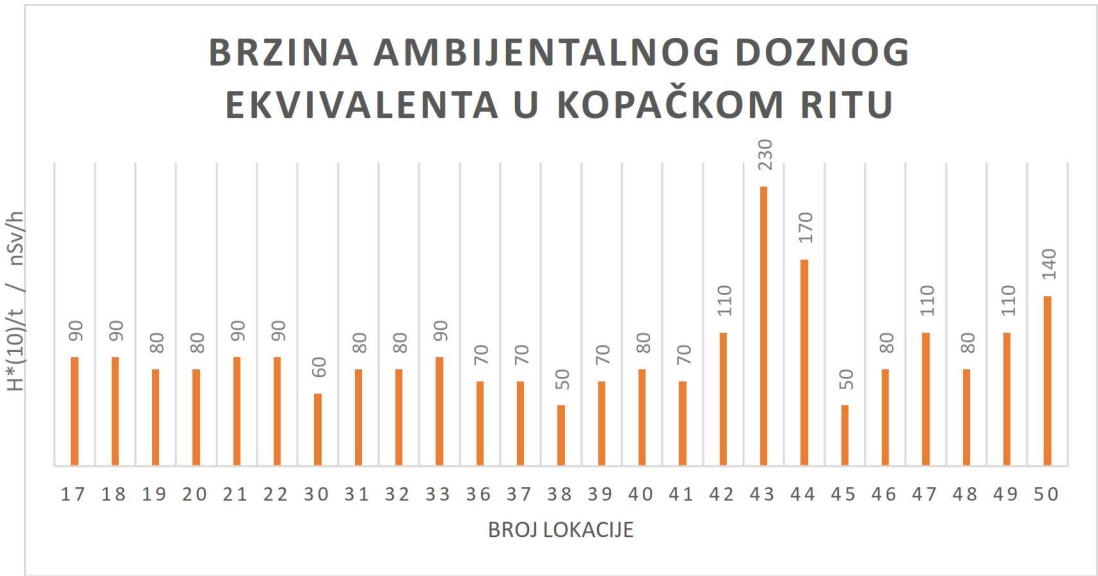
$$H^*(10)/t = (93 \pm 32)\ nSv/h \quad (1)$$

S obzirom da smo analizu mjerenja podijelili na mjerenja koja se nalaze na području Kopačkog rita i mjerenja na području poplavnih područja rijeka sama prosječna vrijednost mjerenja nam ne igra ulogu u našem istraživanju. Možemo samo navesti da je na području Osječko-baranjske županije izmjerena prosječna vrijednost prikazana u jednadžbi (1). Unutar tablice priložene uz diplomski rad vidimo da najveća izmjerena vrijednost $H^*(10)/t$ iznosi 230 nSv/h te da se lokacija nalazi unutar Kopačkog rita i unutar poplavnih područja (lokacija broj 43), a najmanja 50 nSv/h gdje dvije lokacije pripadaju Kopačkom ritu (lokacija 38 i lokacije 45) i jedna ne pripada (lokacija 51).

Prosječna vrijednost brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta na području Kopačkog rita iznosi:

$$H^*(10)/t = (93 \pm 39)\ nSv/h$$

Prilog dva prikazuje nam lokacije mjerenja na području Kopačkog rita te možemo vidjeti najvišu i najnižu izmjerenu vrijednost. Najviša izmjerena vrijednost, već je navedena u prethodnom odlomku (230 nSv/h), a najniža izmjerena vrijednost na području Kopačkog rita iznosi 50 nSv/h. Na slici 17. možemo vidjeti graf koji prikazuje sva mjerenja.

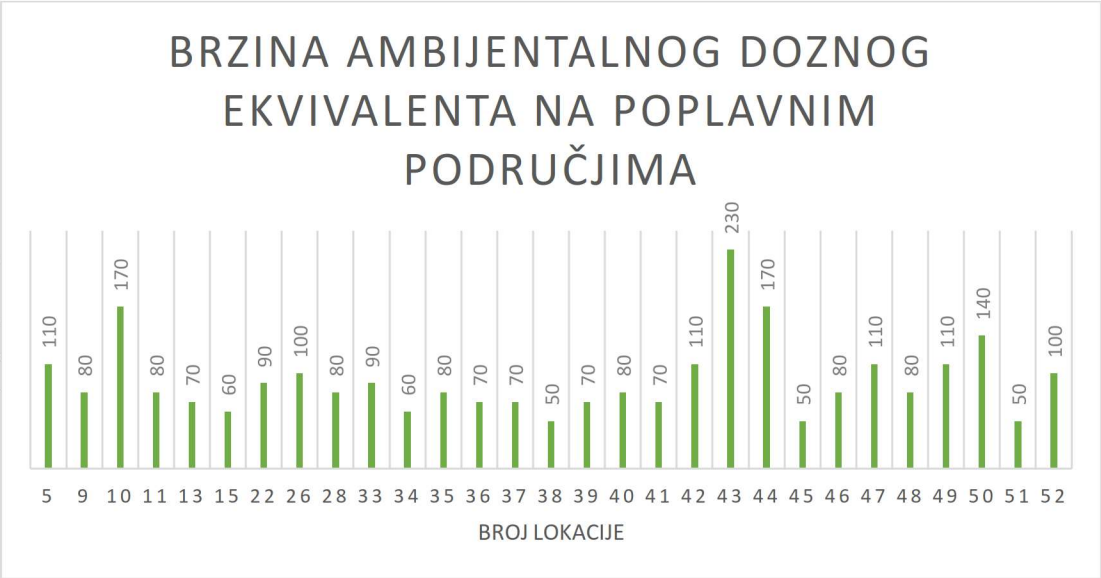


Slika 17. Prikaz izmjerenih vrijednosti u Kopačkom ritu

Prosječna vrijednost brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta na poplavnim područjima rijeka iznosi:

$$H^*(10)/t = (93 \pm 40)\ nSv/h$$

U prilogu 3 nalaze se lokacije mjerenja koje spadaju pod poplavna područja. Najveća izmjerena vrijednost brzine ambijentalnog ekvivalenta iznosi 230 nSv/h, a najmanja 50 nSv/h. Na slici 18 možemo vidjeti graf svih mjerenja.



Slika 18. Prikaz izmjerenih vrijednosti na poplavnim područjima

11. T-test

T-test je statistički postupak za testiranje značajnosti razlike između dva uzorka gdje uspoređujemo njihove aritmetičke sredine. Ispituje se postoji li statistički značajna razlika između dva uzorka. Služi za provjeru nul-hipoteze koju postavljamo na početku testiranja. Ukoliko t-test pokaže da razlika između aritmetičkih sredina nije statistički značajna, onda smo potvrdili nul-hipotezu, a ako je razlika statistički značajna, oborili smo nul-hipotezu. Postoji šest tipova t-testa: t – test razlike između aritmetičke sredine osnovnog skupa i uzorka, razlike između aritmetičkih sredina dva mala nezavisna uzorka, razlike između aritmetičkih sredina dva mala zavisna uzorka, razlike između aritmetičkih sredina dva velika nezavisna uzorka, razlike između aritmetičkih sredina dva velika zavisna uzorka i t – test proporcije. [29]

Za provjeru naših rezultata koristili smo t-test razlike između aritmetičkih sredina dva velika nezavisna uzorka. Testira značajnost razlike između prosječnih vrijednosti dva velika nezavisna uzorka. Podijelili smo mjerenja na dva testiranja. Za jednu grupu uzoraka uzeli smo mjerenja koja se nalaze u kopačkom ritu i mjerenja koja se nalaze izvan Kopačkog rita, a za drugu grupu uzorka uzeli smo mjerenja koja se nalaze na poplavnim područjima rijeka i izvan poplavnih područja. Željeli smo usporediti razlikuju li se mjerenja unutar svake grupe.

Na slici 19. nalazi se rezultat t-testa koji smo računali u programu IBM SPSS Statistics 20. Rezultat se odnosi na usporedbu izmjerenih rezultata unutar Kopačkog rita i izvan njega.

Group Statistics

	sifra	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Kopacki	k	25	92.80	38.678	7.736
	i	27	92.22	23.751	4.571

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Kopacki	Equal variances assumed	1.769	.190	.065	50	.948	.578	8.827	-17.152	18.307
	Equal variances not assumed			.064	39.266	.949	.578	8.985	-17.592	18.748

Slika 19. T-test mjerenja unutar Kopačkog rita i izvan Kopačkog rita

Opći podaci iz gornje tablice govore nam da postoji ukupno 25 lokacija unutar Kopačkog rita i 27 lokacija izvan njega. Uspoređivale su se srednje vrijednosti ukupnog broja mjerenja ta dva uzorka. Srednja vrijednost (mean) mjerenja unutar Kopačkog rita iznosi približno 93 nSv/h, a srednja vrijednost mjerenja izvan Kopačkog rita iznosi približno 92 nSv/h. Već pogledom na rezultate vidimo da ne postoji znatna razlika u mjerenjima, a u rezultatu potvrđujemo da ne postoji statistički značajna razlika između mjerenja unutar granica Kopačkog rita i izvan njega jer je pogreška mjerenja (Sig.(2-tailed)) veća od 0,5.

Na slici 20. nalazi se rezultat t-testa koji se odnosi na usporedbu izmjerenih rezultata unutar poplavnih područja i izvan tih područja. Iz gornje tablice vidimo podatak da je 29 mjerenja s poplavnih područja, a 23 mjerenja ne spadaju pod poplavna područja. Srednja vrijednost mjerenja na poplavnim područjima iznosi otprilike 93 nSv/h, a izvan poplavnih područja srednja vrijednost mjerenja iznosi 91 nSv/h. Iz rezultata testa zaključujemo da ne postoji statistički značajna razlika izmjerenih vrijednosti brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta unutar poplavnih područja i izvan njih.

Group Statistics

	kod	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Poplavna	p	29	93.45	40.380	7.498
	i	23	91.30	14.864	3.099

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Poplavna	Equal variances assumed	8.920	.004	.242	50	.810	2.144	8.875	-15.682	19.970
	Equal variances not assumed			.264	37.010	.793	2.144	8.114	-14.296	18.584

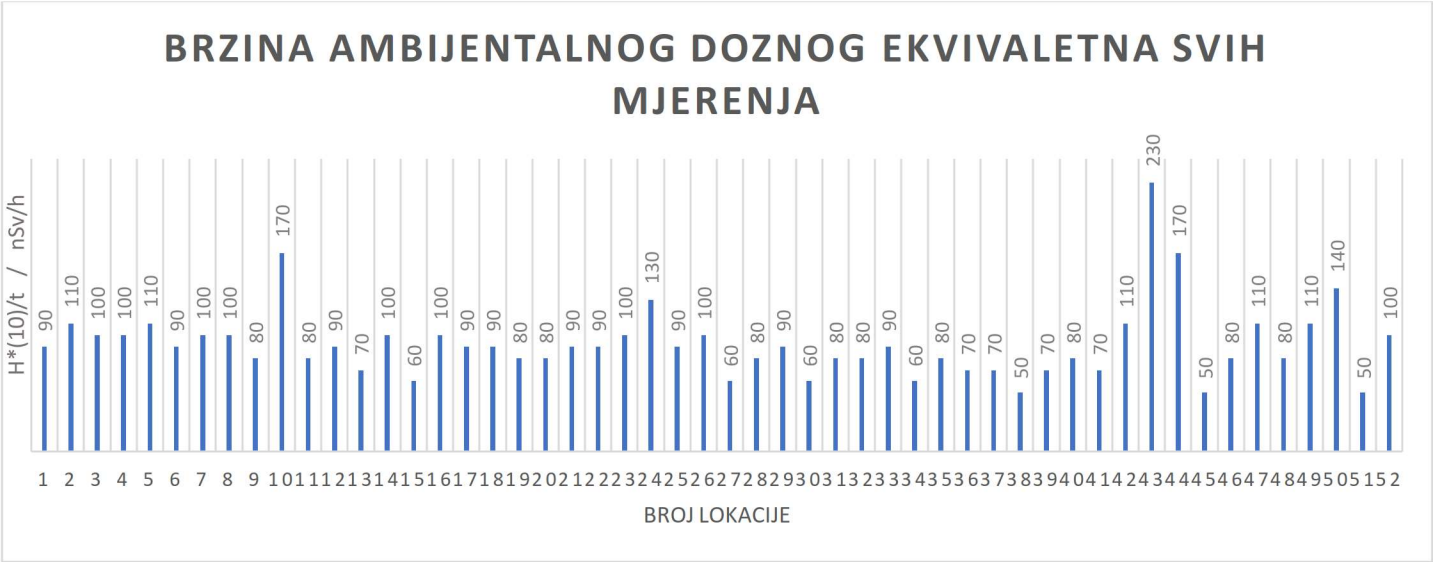
Slika 20. T-test mjerenja na poplavnim područjima i izvan njih

12. RASPRAVA REZULTATA

T-test nam je pokazao da ne postoji statistički značajna razlika u mjerenjima na dvije grupe uzoraka: između mjerenja u Kopačkom ritu i izvan njega i mjerenja na poplavnim područjima i izvan njih. Glavna poveznica između te dvije grupe uzoraka je rijeka Dunav. Dunav je druga rijeka po veličini unutar Europe, a duga je ukupno 2857 km (kroz Hrvatsku prolazi ukupno 188 km). Područja oko Dunava su gusto naseljena, postoje mnoga industrijska postrojenja i područja poljoprivredne industrije. Upravo iz tih razloga Dunav je osjetljiv na različite vrste onečišćenja. Među tim onečišćenjima moguća su i radioaktivna onečišćenja. Radioaktivna onečišćenja dolaze iz nuklearnih elektrana (nuklearna elektrana Paks u Mađarskoj) i testiranja nuklearnog oružja. Opasnost onečišćenja je dugo vrijeme poluraspada nekih radionuklida i nemogućnost potpunog uklanjanja iz okoliša što može rezultirati dugoročnim posljedicama na ljudsku populaciju i okoliš. Najznačajniji radionuklidi kojima je podrijetlo iz nuklearnih elektrana i ispitivanja nuklearnog oružja su ^{137}Cs (čije je vrijeme poluraspada 30,1 godina) i ^{90}Sr (čije je vrijeme poluraspada 28,5 godina). Dodatna opasnost su prirodni radionuklidi koji nastaju korištenjem umjetnih gnojiva u poljoprivrednoj proizvodnji i njihova distribucija u okoliš putem navodnjavanja. Iako je kopački rit je područje gdje nema ljudske djelatnosti (ili je strogo ograničena), kroz njega

prolazi Dunav koji nije bezazlen izvor onečišćenja. Upravo zbog tih značajki Dunava željeli smo provjeriti ima li Dunav utjecaj na zračenje. S obzirom da nema statistički značajne razlike u rezultatima možemo odbaciti hipotezu da Dunav ima utjecaj na radiološku karakterizaciju područja Kopačkog rita. [30, 31]

Najveća izmjerena vrijednost nalazi se unutar Kopačkog rita i ujedno se nalazi na lokaciji koja pripada poplavnom području Dunava (230 nSv/h). To je rezultat koji odskače od neke prosječne brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta, točnije za čak 137 nSv/h (147 %). Kada se pogleda distribucija svih mjerenja (slika 21.), imamo širok spektar izmjerenih vrijednosti: od 50 nSv/h, pa sve do 230 nSv/h. Analizom grafa bismo rekli da osim maksimalne vrijednosti iskaču i mjerenja s lokacija 10 (170 nSv/h), 43 (230 nSv/h) i 44 (170 nSv/h), lokacija koje pripadaju poplavnom području Dunava, a lokacije 43 i 44 pripadaju području Kopačkog rita.



Slika 21. Graf brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta svih mjerenja

Provedbom t-testa i analizom grafa možemo odbaciti hipotezu da postoji utjecaj rijeka na zračenje. U našem slučaju to je bio Dunav. Područje Kopačkog rita jest područje ograničene ljudske djelatnosti, pa bi bismo i pretpostavili da nema nuklearnog onečišćenja. Srednja vrijednost svih mjerenja je oko 93 nSv/h što spada u prosječnu vrijednost mjerenja brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta za Republiku Hrvatsku (77 nSv/h do 120 nSv/h) [33]. Lokacije u kojima brzina ambijentalnog doznog ekvivalenta iskače ne predstavljaju opasnost boravka na tim lokacijama. Postoje mnogi faktori o kojima može ovisiti brzina doze, pa bi trebalo voditi evidenciju na lokaciji kroz dulje vremensko razdoblje kako bi se eventualno utvrdila opasnost boravka.

ZAKLJUČAK

Park prirode Kopački rit jedno je od područja u Hrvatskoj od međunarodnog interesa. Riječ je o području od velikog turističkog značaja koje je dom brojnim biljnim i životinjskim vrstama. Kako je turizam u Hrvatskoj jedna od važnijih djelatnosti potrebno je voditi brigu o sigurnosti tog područja. U svrhu diplomskog rada i općeg interesa željeli smo ispitati radiološku karakterizaciju tog područja. Osim toga, željeli smo ustvrditi ima li rijeka Dunav utjecaj na zračenje u Kopačkom ritu s obzirom da se proteže kroz to područje.

Provedena su mjerenja brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta na ukupno 52 lokacije, od čega 25 lokacija pripada Kopačkom ritu i 29 lokacija pripada poplavnom području Drave i Dunava. Analizom rezultata došli smo do zaključka da ne postoji znatna razlika u izmjerenim brzinama ambijentalnog doznog ekvivalenta unutar područja Kopačkog rita i izvan njega. Analizom mjerenja koja se nalaze na poplavnim područjima ispitivali smo utjecaj Dunava na zračenje. Statističkom analizom opovrgnuli smo hipotezu da rijeka Dunav ima utjecaj na zračenje. Motiv ispitivanja te hipoteze bila je spoznaja da se Dunav proteže kroz više velikih europskih gradova te da se u obalnim područjima vrše različite poljoprivredne i industrijske djelatnosti.

Najveća izmjerena vrijednost brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta na području Kopačkog rita i na poplavnom području Dunava iznosi 230 nSv/h. To mjerenje odstupa od srednje vrijednosti za čak 147%, ali to ne znači da je ta doza opasna za zdravlje ukoliko se tamo boravi. Osim toga, srednja vrijednost svih mjerenja (93 nSv/h) spada u prosječnu vrijednost za Republiku Hrvatsku.

Osim ovog diplomskog rada, projektom „Radiološka karakterizacija Kopačkog rita“ nastoji se utvrditi radiološka karakterizacija parka prirode Kopački rit mjereći kroz duži vremenski period. U planu su daljna mjerenja i ispitivanja.

LITERATURA

[1] Jakopović, Z. (1991.), *Ionizirajuće zračenje i čovjek*, Školska knjiga, Zagreb

[2] Planinić, J., *Osnove fizike III., Valovi – akustika – optika – uvod u atomsku fiziku*, Filozofski fakultet Osijek, 2005.

[3] Faj, Z., (1999.), *Pregled povijesti fizike*, PF, Osijek

[4] Veriš, A., Ćetojević, D., Mijatović, D., Tramošljika, LJ., (2009.) Uticaj radioaktivnog zračenja na ljudski organizam, International ConferenceEcologicalsafetyin post-modernenviroment, Panevropski univerzitet „APEIRON“ Banja Luka, Banja Luka,

URL:http://apeironsrbija.edu.rs/icama2009/Aleksandra%20Veris%20-%20Uticaj%20radioaktivnog%20zracenja%20na%20ljudski%20.pdf , pristupljeno: 18.6.2019.

[5] http://radioaktivniotpad.org/radioaktivnost/ , pristupljeno datuma: 14.10.2018.

[6] Predavanje iz fizike: Radioaktivnost. Primjena u medicini, Fakultet zdravstvenih studija, Rijeka

URL:https://www.fzsri.uniri.hr/files/FAKULTET/KATEDRE/Katedra_temeljne/Microsoft%20Word%20-%20Radioaktivnost_Primjena%20u%20medicini_povjerenstvo_Z.pdfpristupljeno: 27.6.2019.

[7] Miljanić, S., (2008.) *Udžbenik nuklearne hemije*, Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju, Beograd

[8] URL: https://www.radiologycafe.com/radiology-trainees/frcr-physics-notes/atomic-structurepristupljeno : 18.6.2019.

[9] Ekscitacija, Hrvatska enciklopedija

URL: http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=17398 , pristupljeno dana: 19.6.2019.

[10] Grgić, S., (1990.) Djelovanje ionizirajućih zračenja na žive stanice, Hrvatsko društvo za zaštitu od zračenja (str. 87.- 94.), Zagreb, Ministarstvo zdravstva RH

[11] International Atomic Energy Agency (IAEA). *Nuclear Medicine Physics: A Handbook for TeachersandStudents*, 2014.

[12] Surić Mihić, M., Prlić, I., Šiško, J., Meštrović, T., (2013.) *Koncept osobne dozimetrije i osnovne fizikalne veličine u osobnoj dozimetriji,* MATEST &Certificationconferenceproceeding, Zagreb

[13] Tehnička encikopedija, 1969., svezak 3: Detekcija nuklearnog zračenja

URL: http://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/detekcija_nuklearnog_zracenja.pdf posjećeno: 27.6.

[14] Neutrino, Struna

URL: http://struna.ihjj.hr/naziv/neutrino/10279/

[15] http://www.nemis.hr/index.php/radioaktivnost/detekcija-i-zastita-od-zracenja.htmlpristupljeno: 27.6.2019.

[16] Atomska spektrometrija, Hrvatska encikopedija

URL: http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=4486 posjećeno: 28.6.2019.

[17] Scintilacija, Hrvatska enciklopedija

URL: http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=55063 posjećeno 28.6.2019.

[18] Supernova, Hrvatska enciklopedija

URL: http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=58823 posjećeno: 28.6.2019.

[19] Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost: o radonu

URL: http://radon.dzrns.hr/o-radonu/ posjećeno: 1.7.2019.

[20] Pravilnik o granicama ozračenja, NN 59/2013

[21] Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti, NN 141/2013

[22] RDS-31 S/R Multi-purposeSurveyMeterUser's Manual, MirionTehnologies (RADOS), 2010.

[23] RDS-31 S/R Multi-purposeSurveyMeter, komercijalni plakat s kratkim informacijama

URL: http://www.laurussystems.com/products/products_pdf/LS_RDS31.pdf posjećeno: 2.7.2019.

[24] Park prirode kopački rit, službena stranica

URL: https://pp-kopacki-rit.hr, posjećemo 2.7.2019.

[25] Park prirode, Hrvatska enciklopedija

URL: http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=66939, posjećeno: 2.7.2019.

[26] Uređaj Garmin eTrex 20, službena stranica proizvođača

URL: https://buy.garmin.com/en-US/US/p/518046/pn/010-01508-00, posjećeno: 6.7.2019.

[27] GPS, Hrvatska enciklopedija

URL: http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=22330, posjećeno: 6.7.2019.

[28] ArcGIS, službena stranica

URL: https://research.csc.fi/web/research/-/arcgis posjećeno:6.7.2019.

[29] Zdravstveno veleučilište u Zagrebu, Vježbe iz statistike

URL: https://ldap.zvu.hr/~oliverap/VjezbeIzStatistike/7_T-test%20vje%C5%BEbe.pdf posjećeno 16.7.2019.

[30] Petrinec, B., Poje Sovilj, M., Babić, D., Meštrović, T., Miklavčić, I., Radolić, V., Stanić, D., Vuković, B., Šoštarić, M., (2018.), *Assessing the radiological load on the environment in the middle Danube river basin on the basis of a study of the Kopački Rit Nature Park, Croatia*, Radiation and Environmental Biophysics 57:285–292

[31] Hrvatska enciklopedija, Dunav

URL: http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=16593 , posjećeno 17.7.2019.

[32] Meštrović, T., Petrinec, B., Šoštarić, M., Heđi., A., Marjanović, K., Miklavčić, I., Babić, D., (2019.), *Određivanje brzine ambijentalnog ekvivalenta doze(H*(10)/t) u Kopačkom ritu*, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku, Osijek

[33] Marović G, Avdić M, Babić D, Bituh T, Branica G, Franić Z, Franulović I, Kolar M, Petrinec B, Petroci LJ, Senčar J, Skoko B. *Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj za 2012-2017. godinu, Izvještaj IMI-CRZ*, Zagreb 2013- 2018.

PRILOZI

PRILOG 1: Tablica svih mjerenja

Broj lokacije	Koordinata-geografska dužina	Koordinata-geografska širina	Lokacija	Brzina doze H*(10) (nSv/h)
1	18.63533	45.57449	Šuma kod Retfale- Pampas strelište	90
2	18.53821	45.63472	Petrijevci- šuma kod Drave	110
3	18.41017	45.65305	Valpovo- šumski put (obilaznica)	100
4	18.28959	45.70148	Črnkovci- šuma	100
5	18.16029	45.77603	Donji Miholjac- stara Drava	110
6	18.73750	45.56118	Šuma Zeleno polje	90
7	18.85218	45.53156	Sarvaš - rukavac Drave, na bentu	100
8	18.94448	45.52459	Aljmaš - svetište kod vodice	100
9	18.92532	45.54237	Ušće Drave i Dunava - obala na Dunavu	80
10	18.95511	45.53125	Aljmaš - obala na Dunavu	170
11	18.98468	45.53001	Aljmaš planina - obala na Dunavu	80
12	18.98475	45.52970	Manastir uspenja presvete bogorodice Dalj	90
13	19.06638	45.52853	Erdut - obala na Dunavu	70
14	19.06420	45.52653	Kula Erdut	100
15	18.98892	45.48312	Dalj - obala na Dunavu	60
16	18.74758	45.60615	Bilje - park kod dvorca	100
17	18.78837	45.67151	Lug - granica PP	90
18	18.83512	45.69703	Dvorac Tikveš	90
19	18.84894	45.66598	„Ćošak šume“ - (kod sela Tikveš)	80
20	18.84082	45.72291	Kanal (most) prema Zlatnoj Gredi*	80
21	18.86661	45.72109	Zlatna Greda	90
22	18.87825	45.70284	Zlatna Greda-Dunavac*	90
23	18.80025	45.70208	Sokolovac	100
24	18.72620	45.74268	Kneževi Vinogradi	130
25	18.84709	45.85424	Batina -spomenik	90
26	18.85372	45.85370	Batina -centar uz Dunav	100
27	18.83931	45.85608	Batina -sjever Karašica	60
28	18.84774	45.82344	Batina -Zeleni otok	80
29	18.79755	45.73721	Mirkovac	90
30	18.81350	45.67759	Kozjak	60

31	18.81502	45.63021	Podunavlje - restoran Kormoran	80
32	18.81354	45.62346	Bent ispod nasipa prema Kormoranu	80
33	18.80075	45.61182	Jezero Sakadaš -pristanište broda	90
34	18.85875	45.78640	Dunav -RKM 1419	60
35	18.88940	45.76006	Dunav -RKM 1414	80
36	18.89940	45.71597	Dunav -RKM 1409	70
37	18.95299	45.67642	Dunav -RKM 1403	70
38	18.93807	45.64525	Dunav -RKM 1398	50
39	18.90390	45.61437	Dunav -RKM 1393 otok	70
40	18.89431	45.58385	Dunav -RKM 1388	80
41	18.91495	45.55323	Dunav -RKM 1384	70
42	18.84176	45.62582	Kopački rit - Čilingeš	110
43	18.83522	45.60981	Kopački rit - Čonakut kanal - Hordovanj	230
44	18.81288	45.60616	Kopački rit - Čonakut kanal - Feut	170
45	18.80019	45.60843	Kopački rit - Veliki Sakadaš - kod brane	50
46	18.79469	45.59117	Kopački rit - ispod nasipa prema Osijeku 1	80
47	18.77989	45.56325	Kopački rit - ispod nasipa prema Osijeku 2	110
48	18.75413	45.55853	Kopački rit - ispod nasipa prema Osijeku 3	80
49	18.80152	45.55058	Kopački rit - uz Dravu3	110
50	18.77548	45.54462	Kopački rit - uz Dravu4	140
51	18.71465	45.56168	Drava - Podravlje kod otoka - obala	50
52	18.66794	45.56806	Drava -ZOO vrt -obala	100

PRILOG 2: Tablica mjerenja u kopačkom ritu

Broj lokacije (iz tablice svih mjerenja)	Lokacija	Brzina doze H*(10) (nSv/h)
17	Lug - granica PP	90
18	Dvorac Tikveš	90
19	„Ćošak šume“ - (kod sela Tikveš)	80
20	Kanal (most) prema Zlatnoj Gredi	80
21	Zlatna Greda	90
22	Zlatna Greda-Dunavac	90
30	Kozjak	60
31	Podunavlje - restoran Kormoran	80
32	Bent ispod nasipa prema Kormoranu	80
33	Jezero Sakadaš -pristanište broda	90
36	Dunav -RKM 1409	70
37	Dunav -RKM 1403	70
38	Dunav -RKM 1398	50
39	Dunav -RKM 1393 otok	70
40	Dunav -RKM 1388	80
41	Dunav -RKM 1384	70
42	Kopački rit - Čilingeš	110
43	Kopački rit - Čonakut kanal - Hordovanj	230
44	Kopački rit - Čonakut kanal - Feut	170
45	Kopački rit - Veliki Sakadaš - kod brane	50
46	Kopački rit - ispod nasipa prema Osijeku 1	80
47	Kopački rit - ispod nasipa prema Osijeku 2	110
48	Kopački rit - ispod nasipa prema Osijeku 3	80
49	Kopački rit - uz Dravu3	110
50	Kopački rit - uz Dravu4	140

PRILOG 3: Tablica mjerenja na poplavnim područjima Drave i Dunava.

Broj lokacije (iz tablice svih mjerenja)	Lokacija	Brzina doze H*(10) (nSv/h)
5	Donji Miholjac- stara Drava	110
9	Ušće Drave i Dunava - obala na Dunavu	80
10	Aljmaš - obala na Dunavu	170
11	Aljmaš planina - obala na Dunavu	80
13	Erdut - obala na Dunavu	70
15	Dalj - obala na Dunavu	60
22	Zlatna Greda-Dunavac*	90
26	Batina -centar uz Dunav	100
28	Batina -Zeleni otok	80
33	Jezero Sakadaš -pristanište broda	90
34	Dunav -RKM 1419	60
35	Dunav -RKM 1414	80
36	Dunav -RKM 1409	70
37	Dunav -RKM 1403	70
38	Dunav -RKM 1398	50
39	Dunav -RKM 1393 otok	70
40	Dunav -RKM 1388	80
41	Dunav -RKM 1384	70
42	Kopački rit - Čilingeš	110
43	Kopački rit - Čonakut kanal - Hordovanj	230
44	Kopački rit - Čonakut kanal - Feut	170
45	Kopački rit - Veliki Sakadaš - kod brane	50
46	Kopački rit - ispod nasipa prema Osijeku 1	80
47	Kopački rit - ispod nasipa prema Osijeku 2	110
48	Kopački rit - ispod nasipa prema Osijeku 3	80
49	Kopački rit - uz Dravu3	110
50	Kopački rit - uz Dravu4	140
51	Drava - Podravlje kod otoka - obala	50
52	Drava -ZOO vrt -obala	100

ŽIVOTOPIS

Ana Heđi rođena je 25. listopada 1994. godine u Virovitici. Pohađala je prva dva razreda osnovne škole u OŠ Davorin Trstenjak u Čađavici te se nakon toga preselila u Donji Miholjac i nastavila školovanje u OŠ Augusta Harambašića Donji Miholjac. Nakon osnovne škole upisuje opću gimnaziju u srednjoj školi Donji Miholjac. Nakon završene srednje škole, 2013. godine na Sveučilištu J. J. Strossmayer u Osijeku upisuje preddiplomski studij fizike na Odjelu za fiziku. Po završetku preddiplomskog studija, 2016. godine upisuje diplomski studij fizike i informatike na Odjelu za fiziku u Osijeku.