

Brzina ambijentalnog doznog ekvivalenta na Papuku

Bošković, Stjepan

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:160:496313>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-30**

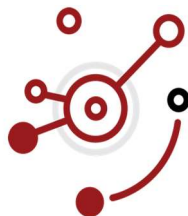


Repository / Repozitorij:

[Repository of Department of Physics in Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA FIZIKU



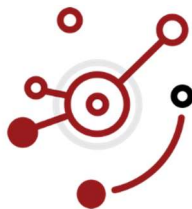
STJEPAN BOŠKOVIĆ

**BRZINA AMBIJENTALNOG DOZNOG EKVIVALENTA
NA PAPUKU**

Diplomski rad

OSIJEK, 2018.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA FIZIKU



STJEPAN BOŠKOVIĆ

**BRZINA AMBIJENTALNOG DOZNOG EKVIVALENTA
NA PAPUKU**

Diplomski rad

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

OSIJEK, 2018.

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

Zahvale

Zahvaljujem Jedinici za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu na ustupanju mjernog uređaja za potrebe izrade diplomskog rada. Iznimne zahvale upućene su mentoru doc.dr.sc. Branku Petrincu koji je svojim znanjima i iskustvom u poslu nositelja kolegija „Radioekologija“ na Odjelu za fiziku i višeg znanstvenog suradnika Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada uvelike olakšao izradu i usavršavanje ovog diplomskog rada svojim naputcima i savjetima.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TEORIJSKA PODLOGA	2
2.1 Ionizirajuće zračenje	2
2.2 Utjecaj ionizirajućeg zračenja na čovjeka i dozimetrijske veličine.....	4
2.2.1 Apsorbirana doza zračenja	5
2.2.2 Ekvivalentna doza zračenja	5
2.2.3 Efektivna doza zračenja	6
2.2.4 Ambijentalni dozni ekvivalent	7
2.3 Detektori zračenja.....	8
2.3.1 Plinom punjeni detektori.....	8
2.3.1.1 Ionizacijska komora	10
2.3.1.2 Proporcionalni brojač.....	10
2.3.1.3 Geiger-Mullerov brojač	11
2.3.2 Scintilacijski detektor.....	12
2.3.2.1 Fotomultiplikatorske cijevi.....	13
2.3.2.2 Fotodiode	14
3. BRZINA AMBIJENTALNOG DOZNOG EKVIVALENTA NA PAPUKU	15
3.1 Lokacije mjerenja	15
3.1.1 Park prirode Papuk.....	15
3.1.2 Područje oko kamenoloma i jezera.....	17
3.2 Proces mjerenja.....	18
3.2.1 Mjerni uređaj	18
3.2.2 Konfiguracijski računalni program	19
3.2.3 OruxMaps	22
3.2.4 Odabir lokacija i broj mjerenja	22
3.3 Rezultati mjerenja.....	24
3.3.1 Statistički testovi	24
3.3.2 Ovisnost brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta o udaljenosti.....	27
4. ZAKLJUČAK	31
LITERATURA.....	32
ŽIVOTOPIS	35
PRILOZI.....	VII

BRZINA AMBIJENTALNOG DOZNOG EKVIVALENTA NA PAPUKU

STJEPAN BOŠKOVIĆ

Sažetak

Početni dio ovog diplomskog rada bazira se na teorijskom uvodu u pojmove radioaktivnosti, vrsta zračenja i uređaja za detekciju zračenja uz detaljniji opis rada uređaja korištenog pri mjerenjima. Nakon toga slijedi detaljan opis mjerenja brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta na malom području Parka prirode Papuk u travnju i svibnju 2018. godine. Cilj rada je općenito zaključiti kakvo je radioekološko stanje na Papuku u odnosu na ostatak Hrvatske, odnosno postoje li na lokaciji mjerenja potencijalne opasnosti ili je to područje bezopasno. Detaljnije će se obraditi utjecaj obližnjih kamenoloma raznih ruda na brzinu ambijentalnog doznog ekvivalenta kao mjesta mogućih povišenih aktivnosti, a samim time i mjesta potencijalnih opasnosti za organizme i okolinu.

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku.

Ključne riječi: Park prirode Papuk/ brzina ambijentalnog doznog ekvivalenta/ zračenje/ kamenolomi/ RDS-31

Mentor: doc.dr.sc. Branko Petrincec

Ocjenjivači:

Rad prihvaćen:

AMBIENT DOSE EQUIVALENT RATE ON PAPUK

STJEPAN BOŠKOVIĆ

Abstract

Opening part of this work is based on theoretical introduction in basic concepts about radioactivity, types of radioation and gadgets built for measuring radioactivity with special description of device used in collecting data for this work. Furthermore, more specific description is given about measuring speed of ambient dose equivalent on area of Nature park Papuk in April and May of 2018. Primary goal of this work is to give general conclusion about radioecological condition on Papuk in comparison to the rest of the country and if there is some potential danger in the collecting data area. There will be more specific labor of nearby stonepits on speed of ambient dose equivalent as places of potential elevated activity including potential danger for organisms and environment.

Thesis deposited in department of Physics library

Keywords: Nature park Papuk/ speed of ambient dose equivalent/ radiation/ stonepits/ RDS-31

Supervisor: Professor Branko Petrinc, PhD

Reviewers:

Thesis accepted:

1. UVOD

Raspadanje radionuklida odnosno atoma s nestabilnim atomskim jezgrama praćeno je pojavom ionizirajućeg zračenja u obliku brzih čestica ili fotona visoke energije, a ta pojava se naziva radioaktivnost. U prirodi postoji više vrsta radionuklida prema njihovom porijeklu pa se tako razlikuju iskonski radionuklidi, kozmički radionuklidi te radionuklidi koje je proizveo čovjek. Isto tako, važno je napomenuti da zračenje ima različite učinke, ovisno o samoj energiji zračenja jer se zračenje tumači kao energija koja se prenosi u obliku valova ili struje čestica pa se tako razlikuje ionizirajuće i neionizirajuće zračenje. Razlika je u tome što ionizirajuće zračenje ima dovoljnu količinu energije koja uzrokuje izbacivanje elektrona iz atoma što narušava neutralnost atoma koji postaje pozitivno nabijen, a pozitivno nabijeni atomi i molekule nazivaju se ioni. [1,2]

Neionizirajuće zračenje je stalno prisutno, ali ono jednostavno nije od većeg interesa jer ne predstavlja opasnost kao ionizirajuće koje zbog toga privlači veću pozornost. Shodno tome, cilj rada je provjeriti kakav je utjecaj ionizirajućeg zračenja na području Parka prirode Papuk kao važnog društvenog područja, odnosno mjereći brzinu ambijentalnog doznog ekvivalenta želi se utvrditi postoje li značajnije razlike u odnosu na ostatak Republike Hrvatske za čovjeka i okolinu od strane ionizirajućeg zračenja o kojem će se više govoriti kasnije.

Prvi dio rada se prema tome bazira na samom teorijskom objašnjenju radioaktivnosti uz davanje veće pažnje ionizirajućem zračenju pri čemu slijedi opis vrsta ionizirajućeg zračenja, uređaja za detekciju zračenja uz poseban naglasak na onu vrstu uređaja korištenu u mjerenjima. Nakon uvodnog teorijskog dijela slijedi onaj najvažniji dio, a to su sami rezultati mjerenja brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta na području koje će biti detaljno opisano svojim položajem i značajem. Provesti će se razna statistička obrada koja za rezultat treba dati potvrdu o tome je li područje uzorkovanja unutar prosjeka za Republiku Hrvatsku ili postoje odstupanja na koje treba obratiti pozornost.

2. TEORIJSKA PODLOGA

Kao što je već rečeno, pojava ionizirajućeg zračenja u obliku brzih čestica ili fotona visokih energija, koja nastaje pri raspadanju radionuklida tj. atoma s nestabilnim atomskim jezgrama naziva se radioaktivnost. Otkriće radioaktivnosti pripisuje se francuskom fizičaru Henryu Becquerelu čiji je rad bio potaknut otkrićima Röntgena¹ na području rendgenskih zraka. Becquerel je htio izvesti eksperiment sličan Röntgenovom, odnosno računao je da će Sunčeva svjetlost potaknuti fluorescenciju (zračenje svjetlosti iz tvari za vrijeme ozračivanja ionizirajućim zračenjem ili svjetlošću) u uranijevim solima. Zbog lošeg vremena, Becquerel je pripremljene fotografske ploče s uranijevim solima spremio na tamno mjesto, ali nakon nekoliko dana je ipak primijetio trag na fotografskim pločama, kao što je prikazano na slici 1., na temelju čega je zaključio da uranijeve soli samostalno proizvode zračenje. To zračenje je kasnije nazvano radioaktivnošću te je Becquerel za svoja otkrića dobio Nobelovu nagradu² iz područja fizike 1903. godine. [1]



Slika 1. Trag zračenja na fotografskoj ploči [1]

2.1 Ionizirajuće zračenje

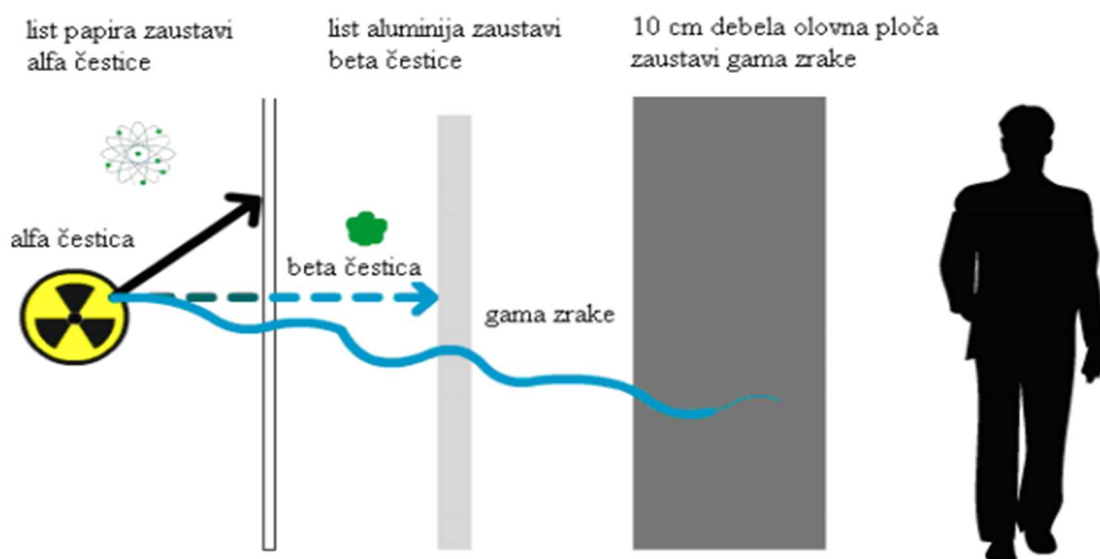
Zašto je u radu stavljen naglasak na ionizirajuće zračenje? Već je rečeno da je ionizirajuće zračenje od većeg interesa zbog potencijalne opasnosti koja predstavlja. Neionizirajuće zračenje nema energiju dovoljnu za stvaranje iona. U područje neionizirajućeg zračenja pripadaju optičko zračenje, infracrveno, ultraljubičasto, radiovalovi, mikrovalno zračenje i zračenje ekstremno niskih frekvencija. S druge strane, u ionizirajuće zračenje pripada alfa zračenje (α), beta zračenje

¹ Röntgen - Wilhelm Conrad Röntgen bio je njemački fizičar koji je 1901. godine dobio Nobelovu nagradu iz područja fizike zbog otkrića rendgenskih zraka koje je on prvotno nazvao x-zrake

² Nobelovu nagradu 1903. godine Becquerel je dobio zajedno sa P. i M. Currie zbog njihovog doprinosa u istraživanju fenomena radioaktivnosti (najvažnije: otkriće polonija i radija)

(β), fotonsko ili gama zračenje (γ), neutronska zračenje (n) i rendgensko zračenje (rendgenske zrake). Tu pripada i kozmičko zračenje iz svemira koje ujedno uključuje sve vrste navedenih zračenja.

Alfa zračenje je pozitivno nabijena jezgra helija koja je emitirana iz veće i nestabilnije jezgre atoma. Sastoje se od dva protona i dva neutrona iz čega se vidi da nose dvostruki pozitivan naboj. Najčešće nastaju povodom radioaktivnog raspada teških radioaktivnih elemenata, a zbog svoje velike mase i naboja imaju jako malen doseg kretanja od nekoliko centimetara pa ih tako može zaustaviti običan list papira (Slika 2.). S druge strane, lako ih se može zaustaviti, one su ujedno i čestice koje mogu napraviti ozbiljnu štetu živom organizmu jer nose energiju od nekoliko MeV³. Ako alfa čestica doprije u tijelo čovjeka, na primjer udisanjem, može prouzrokovati značajnu štetu na okolne organe i tkivo. [3,4,29]



Slika 2. Prodornost alfa, beta i gama zračenja [4]

Beta zračenje predstavlja elektron koji je emitiran raspadom nestabilne jezgre uz dodatno oslobađanje antineutrina⁴. Emitirani elektron izlijeće iz jezgre atoma pa se naziva beta čestica kako bi se razlikovao od elektrona koji kruže oko jezgre. Također, beta čestice mogu biti elektroni (β^- raspad) ili pozitroni (β^+ raspad). Kod β^- raspada neutron se raspada u proton, elektron i antineutrino, dok kod β^+ raspada proton se raspada u neutron, pozitron i neutrino. Za razliku od alfa čestica, imaju puno veći doseg od čak nekoliko metara, ali zbog većeg dosega nose manju

³ MeV – megaelektronvolt, $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

⁴ Neutrino – čestica gotovo bez mase koja odnosi dio energije u procesu raspada

količinu energije koja prouzrokuje puno manje štete od alfa čestice, a za zaustavljanje beta čestica može se upotrijebiti list aluminijske ili plastike (Slika 2.). [3,4,29]

Nakon raspadanja, jezgra se nalazi u pobuđenom stanju, odnosno ima višak energije kojeg se želi osloboditi. Umjesto emitiranja još jedne čestice (npr. alfa čestice), višak energije se gubi emitiranjem zračenja u obliku elektromagnetskog pulsa koji se naziva gama zraka ili gama foton. Zraka je po prirodi identična običnoj svjetlosti, ali nosi puno veću energiju. Ako je gama zraka identična svjetlosti tada kao i ostatak elektromagnetskog zračenja, nema niti masu niti naboj, a zbog neutralnosti naboja ne mogu djelovati s drugim tvarima kao što to rade alfa i beta čestice. Ipak, gama zrake reagiraju s materijalima tako što se sudaraju s elektronima. Pri sudarima gube energiju, ali pritom mogu proputovati značajne udaljenosti od čak nekoliko stotina metara te lako mogu proći kroz tijelo čovjeka. Poznati gama emiteri kao ^{137}Cs i ^{99}Tc pronašli su široku primjenu u području industrije i medicine. [3,4,29]

2.2 Utjecaj ionizirajućeg zračenja na čovjeka i dozimetrijske veličine

Učinci ionizirajućeg zračenja na čovjeka općenito se dijele u dvije glavne skupine, a to su deterministički (nestohastički) i stohastički. Deterministički učinci se očituju pri primljenim velikim dozama, odnosno kada se prijeđe određeni prag ili granica koju organizam može podnijeti bez štetnih učinaka. Posljedice primanja veće količine zračenja očituje se u odumiranju velikog broja stanica što se događa u kratkom periodu nakon primanja zračenja. S druge strane, u stohastičke učinke pripadaju mutacije, nasljedne promjene i tumori koji, za razliku od determinističkih učinaka, zahtijevaju duži vremenski period te im za nastajanje nije potrebna veća količina zračenja nego ih može prouzrokovati i najmanja količina. Stohastički učinci zbog toga i jesu problematični jer ih se nikako ne može predvidjeti nego samo statistički očekivati (primanje manje doze kroz duži vremenski period). Vjerojatno najveća opasnost stohastičkih učinaka je ta što mogu nastati u somatskim i u spolnim stanicama što znači da se promjene mogu prenijeti i na potomstvo. [4,29]

Najbolji primjer determinističkih i stohastičkih utjecaja zračenja je Černobilska katastrofa⁵. Ljudi koji su primili velike količine zračenja imaju su za posljedicu otvorene rane, otekline,

⁵ 26. travnja 1986. godine zbog ljudskih pogrešaka i grešaka u radu reaktora došlo je do najveće nuklearne katastrofe u povijesti tako što je eksplodirao četvrti od ukupno četiri reaktora u Černobilskoj nuklearnoj elektrani

odvajanje mišića od kostiju i razne druge posljedice. Godinama kasnije očitovali su se stohastički učinci kao što je leukemija, rak, kardiovaskularni problemi te razni rizici kod fetusa. [5]

2.2.1 Apsorbirana doza zračenja

Apsorbirana doza je dozimetrijska veličina koja pokazuje koliko se poveća unutrašnja energija neke tvari koja je izložena ionizacijskom zračenju, a pod unutrašnju energiju se smatraju fizički i kemijski učinci. Računa se kao kvocijent srednje energije koja je apsorbirana zračenjem i mase koja je primila zračenje:

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} \quad (1)$$

Mjerna jedinica apsorbirane doze je gray⁶ (Gy), a doza od 1 Gy jednaka je količini energije izraženoj u jouleima (J) koju primi tijelo mase jednog kilograma (1 kg). [4,6]

2.2.2 Ekvivalentna doza zračenja

U stvarnosti je situacija bitno kompliciranija, jer poznavanje apsorbirane doze ne jamči prepoznavanje i predviđanje učinaka zračenja. Učinci zračenja ovise o vrsti zračenja, ali i o tvari koja je primila zračenje. U prijevodu to znači da jednaka apsorbirana doza različitih vrsta zračenja ima i različite biološke učinke pa se tada govori o ekvivalentnoj dozi ionizirajućeg zračenja ili doznom ekvivalentu. Osim apsorbirane energije po jedinici mase, ekvivalentna doza uključuje i vrstu zračenju te raspodjelu energije u tkivu što omogućuje direktno uspoređivanje različitih učinaka koji nastaju od više vrsta zračenja u različitim tkivima. Zbog takvih stvari se svakoj vrsti zračenja pripisuje odgovarajući težinski faktor W_R . Tada se ekvivalentna doza definira kao umnožak težinskog faktora odgovarajućeg zračenja vrste R i apsorbirane doze D_T za organ ili tkivo T:

$$H_T = W_R D_T \quad (2)$$

⁶ Gray (simbol Gy) je izvedena mjerna jedinica za apsorbiranu dozu ionizirajućeg zračenja, a nazvana je prema britanskom fizičaru Louisu Haroldu Grayu

Ako je neki organ ili tkivo ozračen s više vrsta zračenja (što nije rijedak slučaj) tada se ekvivalentna doza računa kao:

$$H_T = \sum W_R D_{T,R} \quad (3)$$

Jedinica ekvivalentne doze je J/kg što se definira kao sievert⁷ (Sv). Na slici 3. nalazi se popis graničnih vrijednosti doza koje određeni dio stanovništva smije primiti u vremenskom periodu od jedne godine. [4,6]

2.2.3 Efektivna doza zračenja

Ustanovilo se da veza između stohastičkih učinaka zračenja i ekvivalentne doze ovisi o vrsti tkiva ili organa koji je ozračen pa je prema analogiji s ekvivalentom dozom uveden težinski faktor tkiva W_T . Taj faktor je relativna veličina koja predstavlja vjerojatnost pojave stohastičkih učinaka zračenja koji nastupaju ozračivanjem tkiva. Zbroj svih produkata ekvivalentne doze i pripadnih težinskih faktora tkiva jednak je efektivnoj dozi primljenog zračenja:

$$E = \sum H_T W_T \quad (4)$$

Mjerna jedinica za efektivnu dozu je također Sv. Na slici 3. se uz ekvivalentne doze nalaze i efektivne doze, ponovno za različite skupine stanovništva također u periodu od jedne godine. [6]

⁷ Sievert (simbol Sv) je izvedena mjerna jedinica za ekvivalentnu dozu ionizirajućeg zračenja, a nazvana je prema švedskom fizičaru i liječniku Rolfu Sievertu

Dozimetrijska veličina / Skupina	Efektivna doza	Ekvivalentna doza	
		Za očne leće	Za podlaktice, šake, stopala ili kožu
Izloženi radnici	≤ 100 mSv (u razdoblju od pet uzastopnih godina, i uz uvjet max. 50 mSv/godini)	≤ 150 mSv	≤ 500 mSv
Osobe između 16 i 18 godina koje se obučavaju ili obrazuju za rad s izvorima ionizirajućeg zračenja	≤ 6 mSv	≤ 50 mSv	≤ 150 mSv
Ostalo stanovništvo	≤ 1 mSv (u posebnim okolnostima do 5 mSv, uz uvjet da je u pet uzastopnih godina prosječna efektivna doza max. 1 mSv/godini)	≤ 15 mSv	≤ 50 mSv

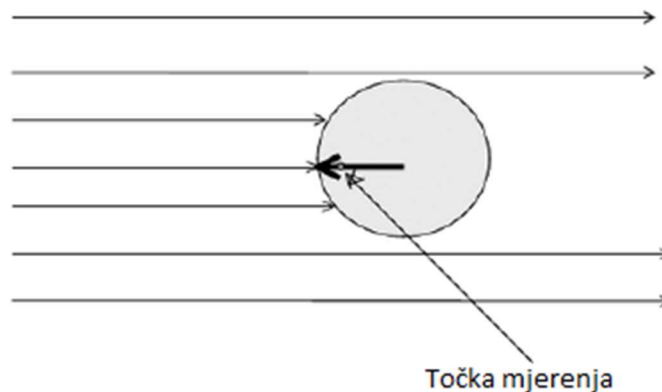
Slika 3. Dozvoljene granice izlaganja [30]

2.2.4 Ambijentalni dozni ekvivalent

Do sada je bilo govora o dozimetrijskim veličinama koje su bazirane na zaštiti od utjecaja zračenja pa se može reći da su to zaštitne dozimetrijske veličine, ali ne postoji metoda kojom se te veličine mogu izravno mjeriti tako da nisu baš dobre za preventivnu zaštitu od zračenja koja je i najvažnija. S druge strane, ambijentalni dozni ekvivalent $H^*(10)$ je operativna dozimetrijska veličina koja se može izravno mjeriti raznim vrstama detektora koji su odlični za prevenciju štetnog utjecaja zračenja ili za potvrdu, odnosno negaciju radiološkog rizika.

Ambijentalni dozni ekvivalent definira se pomoću tzv. „ICRU sfere⁸“ prema čijem modelu su bazirani i svi uređaji za detekciju zračenja. Kod vrlo prodornog zračenja, uzima se dubina d od 10 mm kao dubina na kojoj se nalazi sfera pa je tako ambijentalni dozni ekvivalent definiran kao dozni ekvivalent koji bi bio prouzročen odgovarajućim poljem zračenja u ICRU sferi na dubini od 10 mm u smjeru suprotnom od smjera polja (Slika 4.).

⁸ ICRU (eng. International Commission on Radiation Units and Measurements) sfera – sfera promjera 30 cm koja ima smjer suprotan smjeru vektora usmjerenog polja, gustoće 1 g cm^{-3} od materijala kisika, ugljika, vodika i dušika



Slika 4. Definicija ambijentalnog doznog ekvivalenta [30]

Kao što naslov rada kaže, vršena su mjerenja brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta na nekom području, odnosno mjereno je prodorno zračenje po jedinici vremena (Sv/h). [6,7]

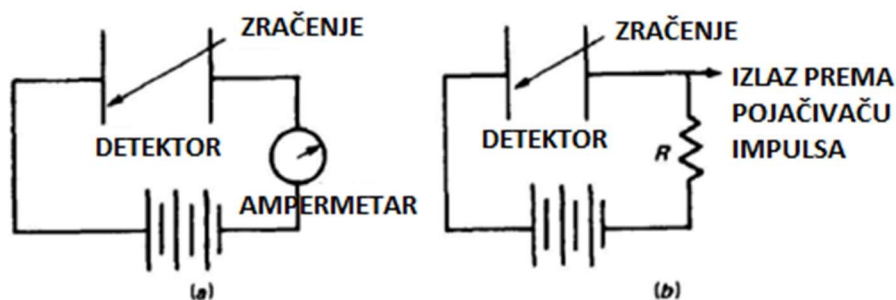
2.3 Detektori zračenja

Kada zračenje iz radioaktivnog materijala prođe kroz neku tvar dolazi od interakcije s atomima i molekulama te tvari pri čemu do prijelaza energije od zračenja na atome i molekule. To za posljedicu može imati dva učinka, ionizaciju (primarna ionizacija) i pobuđivanje. Do ionizacije dolazi kada elektron primi dovoljno energije da napusti atom ili molekulu što za posljedicu ima stvaranje ionskog para (negativno nabijeni elektron i pozitivno nabijeni atom ili molekula). Pobuđivanje je proces u kojem dolazi do poremećaja na osnovno stanje kruženje elektrona što za rezultat daje pobuđeno stanje atoma ili molekule. Oba navedena procesa su uključena u detekciju zračenja, ali naravno ionizacija je primarni proces zbog čega se pod proces radioaktivnog zračenja često podrazumijeva ionizirajuće zračenje. [1]

2.3.1 Plinom punjeni detektori

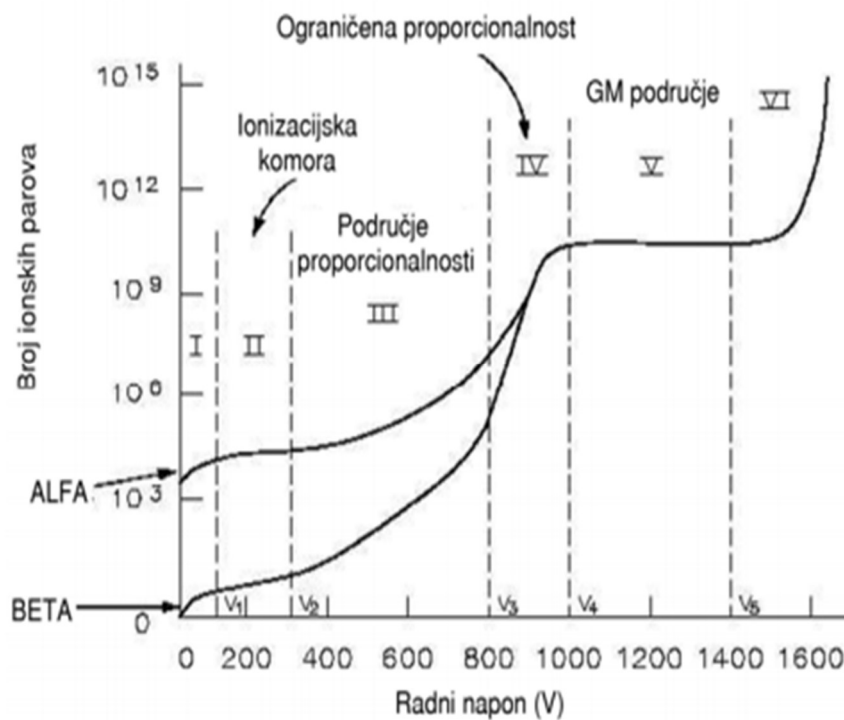
Većina plinom punjenih detektora pripadaju skupini detektora za ionizacijski zračenje. U tu skupinu pripadaju ionizacijska komora, proporcionalni brojač i Geiger-Mullerov brojač. Princip rada se temelji na skupljanju elektrona i iona koji dolaze na elektrode unutar detektora, a stvoreni su od strane ionizirajućeg zračenja. Elektrode su uronjene u plin te na sebi sadrže električni potencijal. Kao što je već rečeno, prolaskom ionizirajućeg zračenja dolazi do stvaranja elektron-ion para pri čemu oboje nose električni naboj te se gibaju pod utjecajem električnog polja pri čemu induciraju električnu struju pomoću koje se može odrediti energija koju je zračenje predalo plinu

(Slika 5., a). Ipak, ionizaciju koju proizvede čestica, moguće je pretvoriti u električni puls te se tako registrira svaka pojedina čestica (Slika 5., b).



Slika 5. Shema plinskih brojača

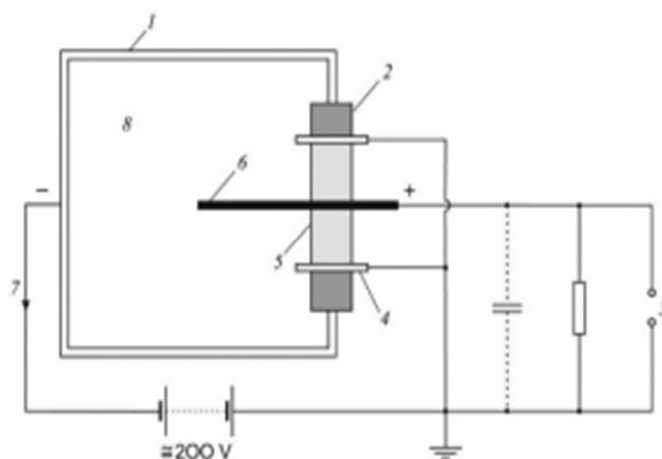
Područje rada plinskih detektora određeno je primijenjenom naponu, odnosno jakosti električnog polja u njima. Na slici 6. dan je prikaz ovisnosti broja električnih impulsa o naponu, odnosno jakosti polja pri detekciji alfa i beta čestica. Na početku se nalazi područje rada ionizacijske komore, nakon koje slijedi područje proporcionalnosti, a na samom kraju nalazi se Geiger-Mullerov brojač kod kojeg se može uočiti kako nema razlike između signala različitih čestica. [1]



Slika 6. Područje rada plinskih brojača

2.3.1.1 Ionizacijska komora

Glavna karakteristika ionizacijske komore je ta što ima malen napon između elektroda. Uglavnom se sastoji od cilindrične posude i elektroda kao što je prikazano na slici 7. Unutrašnjost posude se nalazi pod poznatim tlakom. Pri stvaranju parova, pod utjecajem električnog polja, pozitivni ioni putuju prema negativnoj katodi, a negativni ioni, odnosno elektroni putuju prema pozitivnoj anodi. Napon mora biti dovoljan da uspije razdvojiti pozitivne ione i elektrone, ali ipak ne smije biti prevelik kako elektroni ne bi uzrokovali sekundarnu ionizaciju⁹. Ako ionski parovi nastali primarnom ionizacijom u potpunosti dospiju na elektrode tada se mjeri apsorbirana energija upadnih čestica. [1,8]



Slika 7. Shema ionizacijske komore: 1-katoda, 2-vanjski izolator, 3-izlaz u pojačalo, 4-zaštitni prsten, 5-unutrašnji izolator, 6-anoda, 7-struja, 8-plin [8]

Ionizacijska komora može poslužiti i kao detektor čestica. Čim započne proces razdvajanja ionskih parova prema elektrodama, dolazi do malog i naglog pada napona, a takav električni impuls se može dodatno pojačati i registrirati, a iz jačine impulsa se može odrediti i energija koja je u procesu predana atomima i molekulama. [1,8]

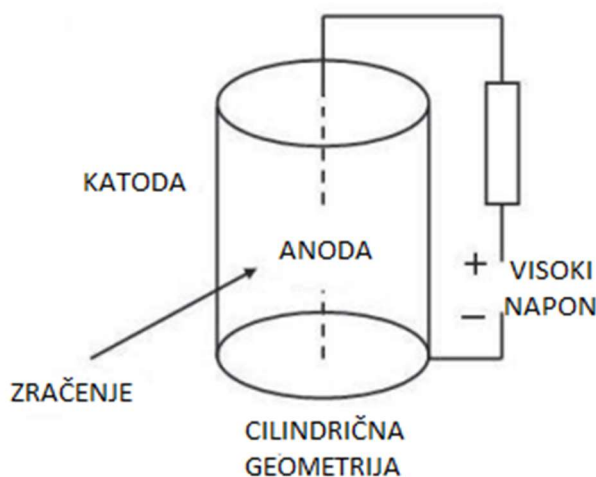
2.3.1.2 Proporcionalni brojač

Ako dođe do potpunog prijenosa energije čestice, lako je odrediti energiju upadne čestice, ali to za posljedicu ima veoma slab električni impuls pa je za detekciju čestice potrebno veliko

⁹ Sekundarna ionizacija – električno polje je tako jako da elektroni stvoreni u primarnoj ionizaciji na putu prema anodi bivaju dovoljno ubrzani da sudaranjem s atomima plina proizvedu novi ionski par

pojačanje signala. Problem je riješen unaprjeđenjem ionizacijske komore tako što se provodi unutarnje plinsko pojačanje pulsa. Ako se napon između ploča postepeno povećava, elektroni bivaju dovoljno ubrzani da dođe do sekundarne ionizacije što znači da se broj ionskih parova povećava za faktor dva, pa ponovnom ionizacijom za faktor četiri itd. Taj proces je ranije prikazan na slici 5. i on predstavlja proporcionalno područje, a uređaj koji se zasniva na tom principu je proporcionalni brojač. Odlično svojstvo takvih uređaja je to da je početni slabašni impuls znatno pojačan, ali je istovremeno proporcionalan početnom impulsu što znači da je podatak o energiji upadne čestice i dalje poznat.

Takav napredak u odnosu na komoru leži u tome što se struktura električnog polja između planparalelnih ploča zamijenila cilindričnim električnim poljem gdje cilindar predstavlja katodu, a anoda je aksijalno postavljena tanka žica kao što je prikazano na slici 8. [1,6]



Slika 8. Cilindrična struktura unutar koje je aksijalno postavljena tanka žica [6]

2.3.1.3 Geiger-Mullerov brojač

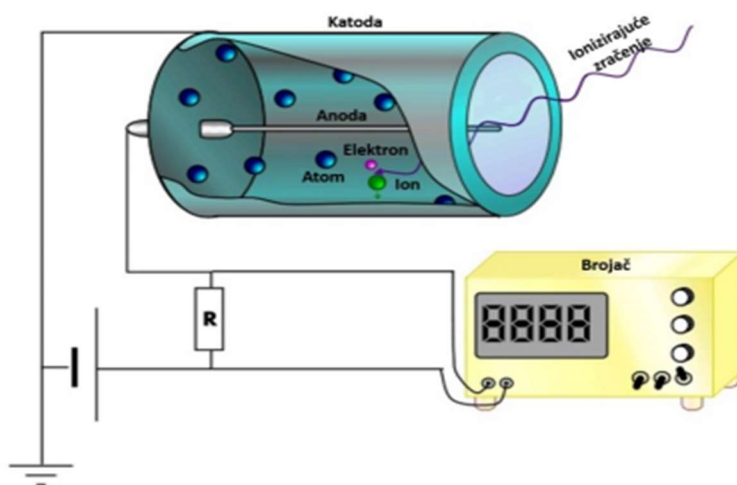
Uređaj koji danas ima najširu upotrebu te je korišten i u prikupljanju mjerenja za izradu ovog rada naziva se Geiger-Mullerov brojač. Po konstrukciji je najbližiji proporcionalnom brojaču. Razlika između ta dva uređaja je u tome što Geiger-Mullerov brojač sadrži iznimno jako električno polje koje stvara lavinsku reakciju stvaranja ionskih parova. Nedostatak je u tome što se uslijed naglog multipliciranja gubi podatak o energiji i vrsti zračenja upadnih čestica jer nema proporcionalnosti s početnim brojem čestica. S druge strane, dobivaju se snažni pulsovi koji se s lakoćom registriraju što upravo ovaj brojač čini iznimno korisnim zbog čega se jako često i

upotrebljava. Sam uređaj (Slika 9.) ne troši previše električne energije, relativno je jeftin i lagan što ga čini idealnim za terensku uporabu.



Slika 9. Prijenosni Geiger-Mullerov brojač [1]

Presjek brojača prikazan je na slici 10. Cijev je ispunjena inertnim plinom pod tlakom od otprilike 10% atmosferskog tlaka, a najčešće se koriste helij, neon ili argon. Kao i kod proporcionalnog brojača, unutrašnjost cijevi je obložena metalom koji predstavlja katodu kroz koju aksijalno prolazi anoda. Aksijalna žica izrađuje se od volframa i ima promjer od samo 0,02 do 0,05 mm. Na ulazu u cijev stavlja se materijal male gustoće kako bi se omogućio prodor alfa čestica. [1,9,10]



Slika 10. Presjek cijevi i shema spajanja Geiger-Mullerovog brojača [9]

2.3.2 Scintilacijski detektor

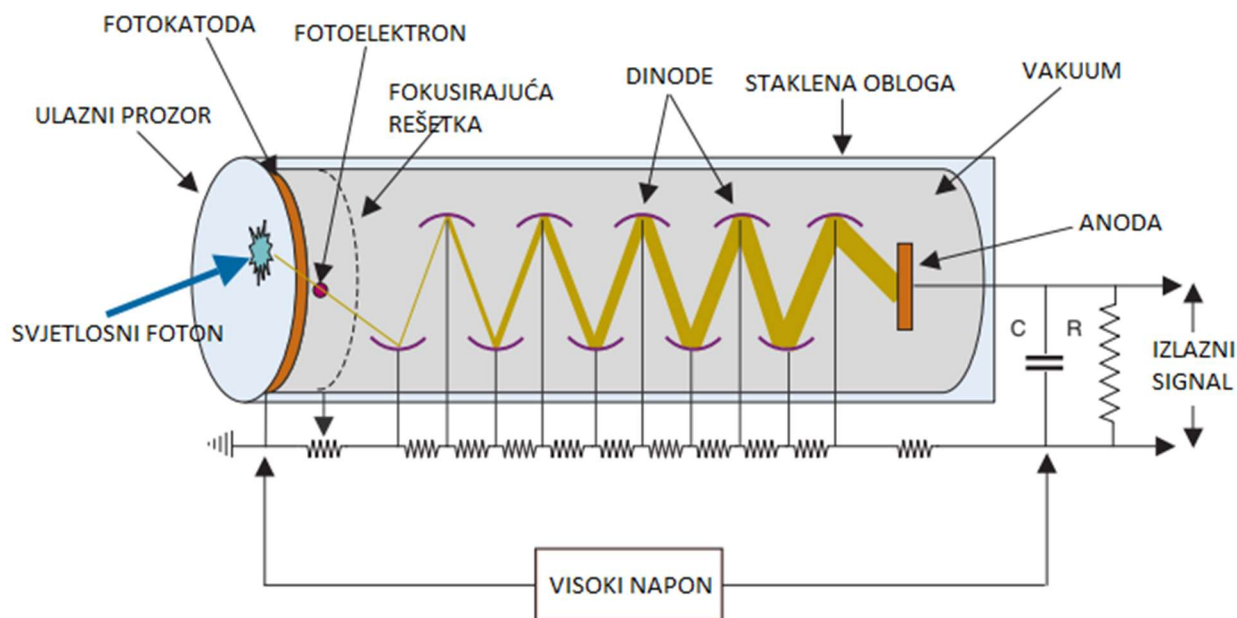
Do sada je bilo govora o interakciji radioaktivnih materijala i tvari kao rezultat pojave ionizacije ili pobuđivanja atoma i molekula pri čemu se energija oslobađa u obliku termalne energije, ali postoje materijali u kojima se energija oslobađa u obliku vidljive svjetlosti i oni se nazivaju scintilatori. Shodno tome, detektori načinjeni od takvih materijala nazivaju se

scintilacijski detektori. Scintilacijski materijali se općenito dijele u dvije glavne skupine: anorganske tvari u obliku čvrstih kristala i organske tvari rastopljene u tekućinu.

Glavna karakteristika koja je zajednička svim scintilacijskim materijalima je ta da je količina proizvedene vidljive svjetlosti proporcionalna energiji čestice. Općenito je količina proizvedene svjetlosti poprilično mala, od nekoliko stotina do nekoliko tisuća fotona što odgovara rasponu energije od 70 do 511 keV. U samim počecima nuklearne fizike, karakteristike čestica su se proučavale promatrajući scintilacije na cink-sulfidnom (ZnS) scintilacijskom zaslonu u tamnoj sobi dok su se te metode uvelike unaprijedile razvojem znanosti i tehnologije pa se tako u uporabu došli iznimno osjetljivi elektronski detektori svjetlosti koji su nazvani fotomultiplikatorske cijevi. [1,11,12]

2.3.2.1 Fotomultiplikatorske cijevi

Fotomultiplikatorske cijevi su jednostavni uređaji koji slabašni svjetlosni signal proizveden scintilacijom gama ili beta čestica pretvaraju u električni impuls. Princip rada prikazan je na slici 11.



Slika 11. Osnovni princip rada fotomultiplikatorske cijevi [1]

Unutarnji sloj ulaznog prozora obložen je tvari koja emitira fotone i ona je ta koja izbacuje elektrone kada na nju dolaze svjetlosni fotoni. Za tu uporabu se najčešće koristi cezijev antimon (CsSb). Tvar koja emitira elektrone pri dolasku fotona na nju se naziva fotokatoda, a emitirani

elektroni fotoelektroni. Kroz cijev su postavljene metalne pločice koje se nazivaju dinode koje se nalaze pod pozitivnim naponom od 200 do 400 V zbog čega privlače emitirane elektrone. Rešetka za fokusiranje elektrona usmjerava ih prema dinodama gdje elektroni sudaranjem s dinodom oslobađaju nekoliko sekundarnih elektrona pri čemu multipliciranje ovisi o energiji početnog fotoelektrona koja je određena naponom između fotokatode i dinode. Nakon toga, sekundarni elektroni dolaze na drugu dinodu koja je pod nešto nižim naponom i tako se proces nastavlja na svaku sljedeću dinodu kojih najčešće ima od 9 do 12. Konačno, dobije se val elektrona koji dolaze na anodu, a faktor multiplikacije je jako velik (6^{10} za cijev od 10 dinoda s faktorom multiplikacije 6 na svakoj dinodi) i za rezultat se dobije pretvorba slabašnog svjetlosnog signala u snažni električni impuls. [1,13,14]

2.3.2.2 Fotodiode

U raznim praktičnim primjenama, fotomultiplikatorske cijevi se zamjenjuju poluvodičkim detektorima osjetljivima na svjetlost, kao što je silicijeva (Si) fotodiode koja pretvara svjetlost u struju. U ovom slučaju, poluvodič služi samo za detekciju vidljive svjetlosti koja je emitirana od strane scintilacijskih materijala u interakciji s gama zrakama. Fotoni iz scintilacija imaju dovoljno energije da uzrokuju ionizaciju unutar silicija ili unutrašnji fotoelektrični efekt, a ukupni proizvedeni naboj je proporcionalan broju svjetlosnih fotona. Velika prednost ovakvih detektora je iznimno mala debljina od samo nekoliko milimetara što ih čini veoma praktičnim. Također imaju i znatno veću kvantnu efikasnost¹⁰ od fotomultiplikatorskih cijevi s vrijednostima od 60% do 80%. Problem koji imaju fotodiode je taj što se mala količina struje generira i u odsustvu svjetla, a ukupna struja jednaka je zbroju „tamne struje”¹¹ i fotostruje pa je poželjno da se tamna struja svede na najmanju moguću razinu kako bi povećala osjetljivost samog uređaja. [1,15,16]

¹⁰ Kvantna učinkovitost senzora (*eng. Quantum efficiency*) – omjer broj stvorenih elektrona i fotona koji su ih proizveli (postoje i razni drugi oblici kvantne učinkovitosti-npr. kvantna efikasnost solarnih ćelija)

¹¹ Tamna struja – struja koja se generira u fotodiodi u odsustvu svjetla

3. BRZINA AMBIJENTALNOG DOZNOG EKVIVALENTA NA PAPUKU

3.1 Lokacije mjerenja

U dogovoru s mentorom ovog rada, odlučeno je da će se provesti mjerenja na području Parka prirode Papuk (PP Papuk) kao velike prirodne znamenitosti Slavonije odnosno Hrvatske. Može se reći da je područje Papuka gotovo potpuno neistraženo što se tiče radioloških mjerenja zbog čega je i privuklo pažnju i želju za provedbom određenih mjerenja kako bi se mogli donijeti opći zaključci o radiološkom stanju na Papuku. Iako kroz Papuk godišnje prođe više tisuća posjetitelja¹², područje većeg interesa predstavljaju aktivni i pomalo kontroverzni kamenolomi. Zašto kontroverzni? Zato što je neuobičajeno da u jednom Parku prirode aktivno radi nekoliko kamenoloma te tako narušavaju prirodnu ravnotežu i ljepotu Papuka zbog stalnih rasprava oko vlasništva određenih interesnih građevinskih područja. S druge strane, istraživanja provedena na Papuku, potaknuta pojačanim koncentracijama zračenja na području Psunja i Papuka uslijed eksploatacije uranija u bivšoj Jugoslaviji od ranih 60-ih do kasnih 80-ih godina prošlog stoljeća, otkrila su postojanje raznih radioaktivnih minerala koji nisu ranije pronađeni na području Hrvatske zbog čega ovo promatrano područje privlači dodatnu pažnju području radioekologije. [17,18,25]

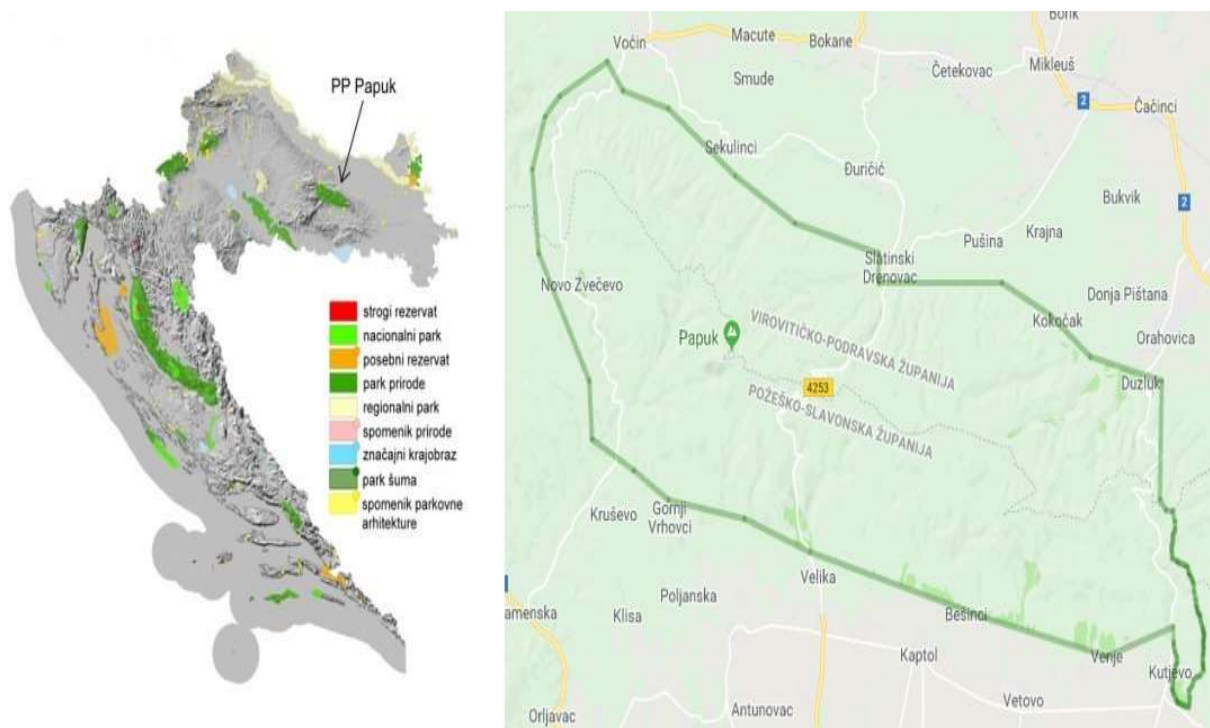
Mjerenja brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta $H^*(10)$ na području manjeg dijela Parka prirode Papuk bit će iskorišteno za eksperimentalni dio ovog rada i to sve u cilju donošenja zaključka o općem radioekološkom stanju na području prikupljanja mjerenja. Također će se istaknuti potencijalno opasnija mjesta te će se pokazati kakva je ovisnost udaljenosti od mjesta povišenih aktivnosti što će u konačnici dati rješenje o tome da li kamenolomi (kao potencijalna mjesta povišenih aktivnosti) uistinu predstavljaju bilo kakvu vrstu opasnosti.

3.1.1 Park prirode Papuk

Glavno prirodno obilježje istočnog dijela Slavonije, odnosno istočnog dijela Hrvatske koje je nekad bilo područje nepreglednih ravnica na kojemu je bilo Panonsko more iz kojih niču planine od kojih je jedna i Papuk. Papuk je proglašen Parkom prirode 23. travnja 1999. godine zbog svoje iznimne geološke raznolikosti i kulturno-povijesne baštine u cilju zaštite i promicanja prirodnih i kulturnih vrijednosti. Sam park obuhvaća najveći dio planine Papuk te djelomično Krndije te se

¹² 2017. godine zabilježen je rekordan broj posjetitelja (7470 posjetitelja)

prostire na površini od 336 km² na području dviju županija, Požeško-slavonske i Virovitičko-podravске županije (Slika 12.).

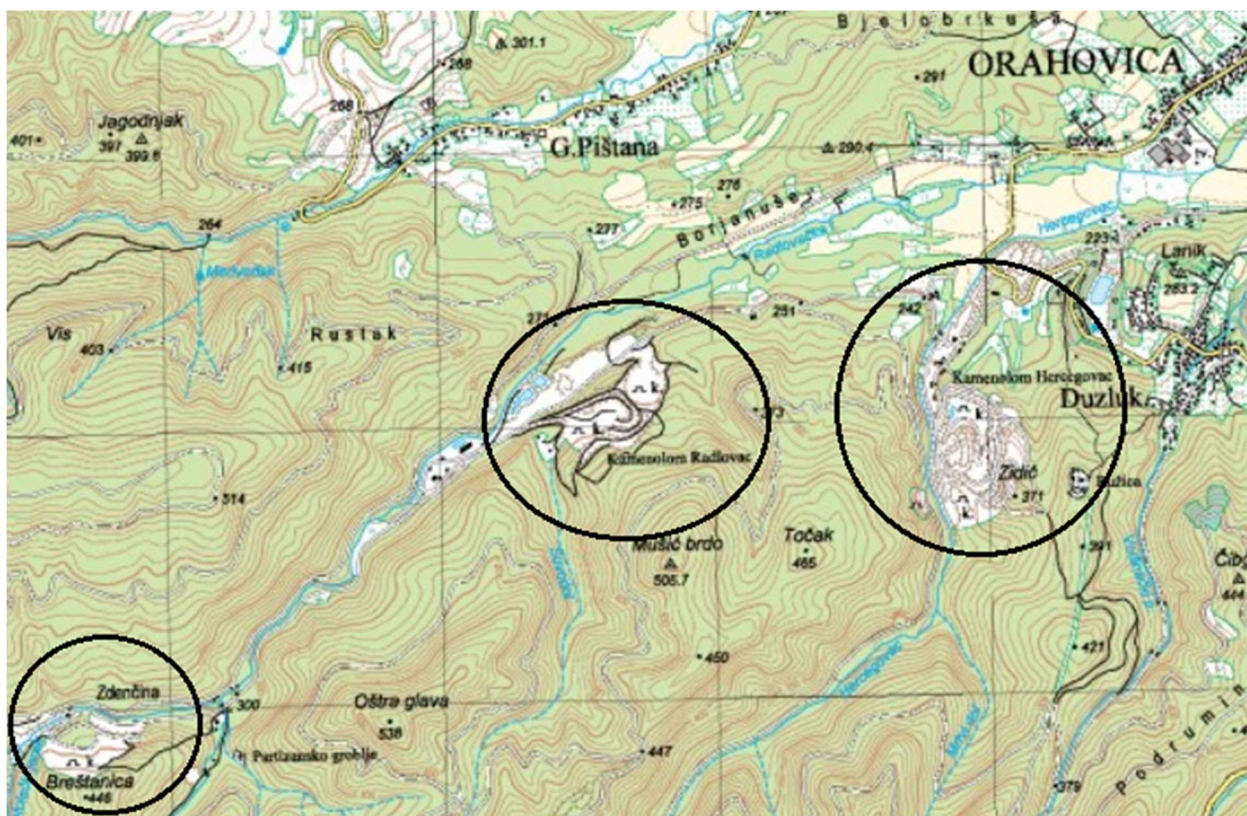


Slika 12. Položaj PP Papuk u istočnoj Hrvatskoj na području dviju županija [17,19]

Planine Papuk i Krndija pripadaju planinama slavonskog gorja koja se ističu svojim izrazito šumovitim površinama koje su dobro očuvane. Unutar samog parka nalaze se mnoga područja koja se ističu u odnosu na ostale dijelove parka zbog visokog stupnja zasićenosti pri čemu se misli na razne neobične značajke koje karakteriziraju pojedine dijelove kao jedinstvene. Područja koja su pod posebnom zaštitom su park šuma Jankovac, spomenik prirode Dva hrasta, geološki spomenik prirode Rupnica, spomenik prirode Stanište tise, posebni rezervat šumske vegetacije Sekulinačke planine i posebni floristički rezervat Pliš-Mališćak-Turjak-Lapjak. Isto tako, PP Papuk je ujedno i geološki najrazličitiji područje u istočnom dijelu Hrvatske. Zbog zaštite i očuvanja vrijednosti parkova prirode, stvorene su razne asocijacije koje rade u interesu zaštite geološke baštine kao što je Europska mreža geoparkova (EGN) i Svjetska mreža geoparkova (GGN) te Park prirode Papuk postaje njihov član 2007. godine kao prvi geopark u Hrvatskoj. [17,19,20]

3.1.2 Područje oko kamenoloma i jezera

Postoji dio PP Papuk koji nije toliko turistički atraktivno područje, ali kao što je rečeno, privlači pažnju zbog kontroverznosti povezanih s radom kamenoloma. Položajno, područje se nalazi na istočnom i sjeverno-istočnom dijelu parka u blizini grada Orahovica (Slika 13.) Kao što se može vidjeti na slici, na manjem području se nalazi veći broj kamenoloma kojima upravlja tvrtka Radlovac koja provodi radove na četiri lokacije u Parku prirode Papuk (kamenolomi Hercegovac, Oršulica, Brenzberg i Žervanjska).



Slika 13. Kamenolom Radlovac s okolnim lokacijama iskapanja [21]

Cijelo područje od Orahovice i kamenoloma Hercegovac, preko kamenoloma Radlovac do Breštanice prožeto je pristupačnim putovima kojima cjelodnevno prolaze kamioni i ostala mehanizacija te omogućuju lako kretanje s obzirom na iznimno strma i prožeta gustim raslinjem okolna brdovita područja. Kroz cijelo područje prolaze razni potoci pogodni za rad kamenoloma te postoje razna izvorišta vode koji nastaju slijevanjem površinskih voda kroz brdovita područja zbog čega često dolazi do odrona tla i rušenja drveća uslijed ispiranja tla. [19,20,22]

Osim opisanog područja, napravljeno je i nekoliko mjerenja oko poznatog Orahovačkog jezera kao turistički atraktivnog područja koje ne pripada području PP Papuk, ali se nalazi u neposrednoj blizini. Zbog velike cirkulacije ljudi, rezultati mjerenja mogu biti ozbiljan poziv na

oprez i dugoročno razmišljanje o radu kamenoloma (ako predstavljaju opasnost) kao uzroka povećanih aktivnosti koje ugrožavaju lokalno stanovništvo i turiste.

3.2 Proces mjerenja

Iako je za mjerenje brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta dovoljan samo jedan uređaj, cijeli proces prikupljanja podataka ipak nije tako jednostavan jer je potrebna dobra organizacija kako bi se provela što kvalitetnija mjerenja u što kraćem roku. Za početak, mjerenja se vrše u šumovitom i poprilično nepristupačnom području stoga je potrebno obratiti pozornost na vremenske uvijete. Bez adekvatne odjeće i obuće sama mjerenja mogu biti u krajnju ruku i opasna što naravno treba eliminirati. Adekvatna odjeća je posebno korisna zbog velike koncentracije komaraca u šumi koja je u vrijeme prikupljanja mjerenja bila izrazita. Prije samog odlaska valja provesti i dobre pripreme upoznavanja područja na kojima se rade mjerenja. Veliki problem predstavlja i potpuno nepostojanje signala mobilne mreže što automatski eliminira bilo kakvo korištenje mrežnih alata, ali srećom postoje i „offline“ aplikacije koje su i konačnici i korištene. Ipak kako tehnologija uvijek može zakazati, isprintane su detaljne topografske karte područja sa sustava ARKOD koje su u kombinaciji s profesionalnim kompasom bile otežano (nemogućnost upisivanja točnih koordinata lokacije), ali uistinu pouzdano i precizno rješenje. Konačno za mjerenje brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta korišten je jednostavan, ali uistinu kvalitetan uređaj kojega također treba pripremiti za rad kako ne bi bilo došlo do problema koji se na samom području prikupljanja mjerenja teško rješavaju.

3.2.1 Mjerni uređaj

Uređaj korišten za mjerenje brzine doze ambijentalnog doznog ekvivalenta je *RDS-31 S/R Multi-Purpose Survey Meter* (Slika 14.) poznate američke tvrtke *Mirion Technologies*. Uređaj služi za detekciju gama i rendgenskog zračenja te koristi Geiger-Mullerovu cijev kao primarni detektor. Osim toga, nudi mogućnost priključivanja različitih sonda koja tada također omogućuju detekciju alfa i beta zračenja. Glavne odlike uređaja su malene dimenzije i masa, jednostavno korištenje, otpornost na udarce i vlagu te rad na baterije što ga čini idealnim za rad u vanjskim uvjetima. Uređaj sadrži zvučnik preko kojega daje signale paljenja, detektiranja čestica itd. te osvijetljeni zaslon.



Slika 14. Uređaj RDS-31

Upravljanje uređajem se odvija pomoću dvije lako uočljive tipke. Promjene određenih postavki, gašenje i paljenje uređaja je postavljeno tako da je potrebno držati određenu tipku određeni vremenski period što sprječava mogućnost slučajnog gašenja uređaja na primjer. S gornje strana uređaja se nalazi zaštićeni ulaz na koji se može spojiti sonda, ali i kabel za povezivanje s računalom. Ako je uključena funkcija *Histogram* uređaj sam pohranjuje podatke ovisno o tome kako su postavljene određene postavke bilježenja rezultata. [23,24]

3.2.2 Konfiguracijski računalni program

RDS-31 dolazi zajedno s pripadajućim konfiguracijskim računalnim programom koji povezuje uređaj s računalom. Prije spajanja uređaja i računala, na računalu je potrebno instalirati računalni program CSW-31. Nakon toga, pokrene se program, spoji se uređaj s računalom putem USB kabela te se uključi uređaj nakon čega je potrebno pričekati da program ne pokaže status uređaja (Slika 15.). Na početnoj kartici *Main* se prikaže status povezanosti uređaja i računala, maksimalna i trenutna brzina doze, stanje baterije i memorije, stanje kalibracije uređaja, današnji datum itd.



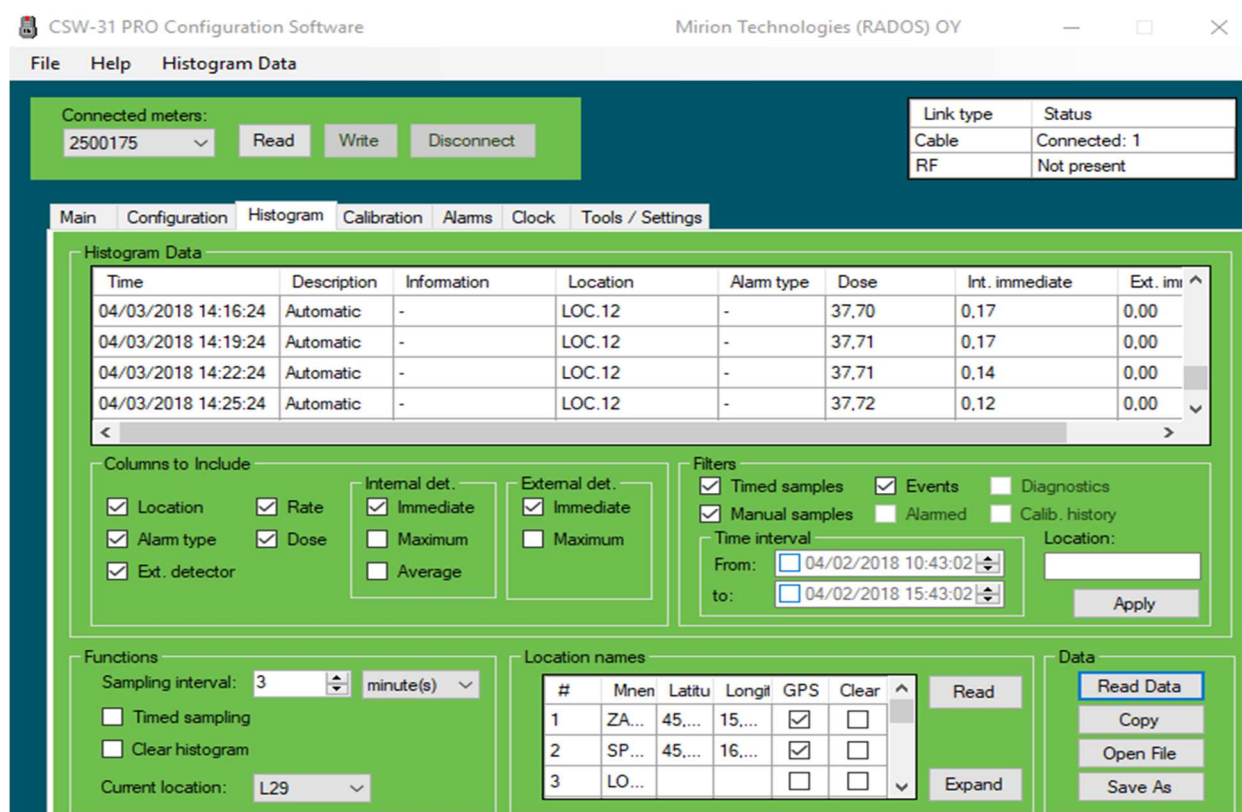
Slika 15. Glavna (Main) kartica

Sljedeća je kartica *Configuration* u kojoj postoji niz opcija koje se mogu uključivati ili isključivati ovisno o potrebi te će biti prikazane u izborniku samog uređaja kao što je na primjer brzina doze, alarm i histogram (Slika 16.). Na ovoj kartici postoji jedna bitnija opcija *Manual Store* koja omogućava korisniku ručno pohranjivanje podataka u bilo kojem trenutku. Postoji još niz manje važnih opcija koje se ugađaju ovisno o potrebama i zahtjevima korisnika.



Slika 16. Kartica Configuration

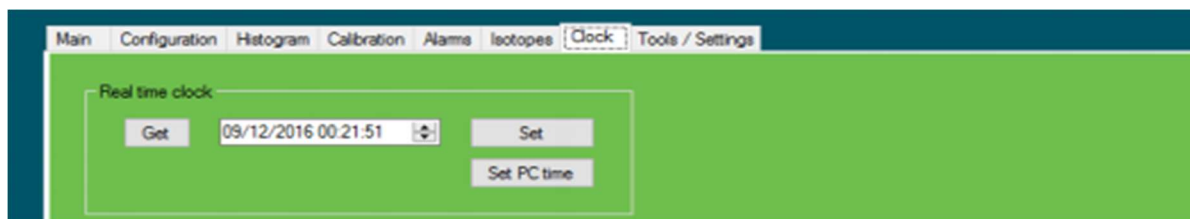
Kartica *Histogram* (Slika 17.) je u konačnici najvažnija jer se u njoj nalaze podaci mjerenja koji su pohranjeni na uređaju. Ovdje se na brz i lak način može provjeriti jesu li mjerenja u skladu s očekivanjima te ostaju li mjerenja uopće zabilježena. Ispod tablice s podacima nalazi se niz opcija koji se odnose na same podatke pa se tako mogu birati podaci koji su potrebni uz svako mjerenja. Pod tim se podrazumijeva datum i vrijeme, broj lokacije i vrsta zapisa brzina doze, ali se mogu uključiti u druge korisne opcije kao na primjer koordinate (ako se radi više mjerenja na jednoj lokaciji), vrsta alarma, informacije i slično. Niz podataka se može filtrirati raznim opcijama koje olakšavaju postupak pronalaženja podataka jer se na uređajima najčešće nalazi jako puno podataka od prijašnjih mjerenja. Postoji jedna jako korisna opcija, a to je *Timed Sampling* čijim uključivanjem uređaj sam pohranjuje podatke u vremenskom periodu koji je postavljen. To može biti jako korisno ako je potrebno na primjer napraviti mjerenja za cijeli dan u periodima od jednog sata na jednoj lokaciji. Naravno, računalni program omogućuje ispis podataka i to u XML (eng. *Extensive Markup Language*) ili jednostavnije rečeno podaci se otvaraju u internetskom pregledniku, a sam ispis podataka je nužan u gotovo svakom slučaju za njihovu daljnju analizu i interpretaciju.



Slika 17. Kartica Histogram

Valja napomenuti i karticu *Clock* (Slika 18.) u kojoj se podešavaju datum i vrijeme što je naravno važno kako bi se kasnije znalo točno kada je što mjereno. Oni se mogu ručno postaviti ili

računalo to može samostalno preuzeti. Na ovo je važno obratiti pozornost zato što se datum i vrijeme uređaja mogu izgubiti uslijed uklanjanja baterija na duži period (nekoliko minuta).



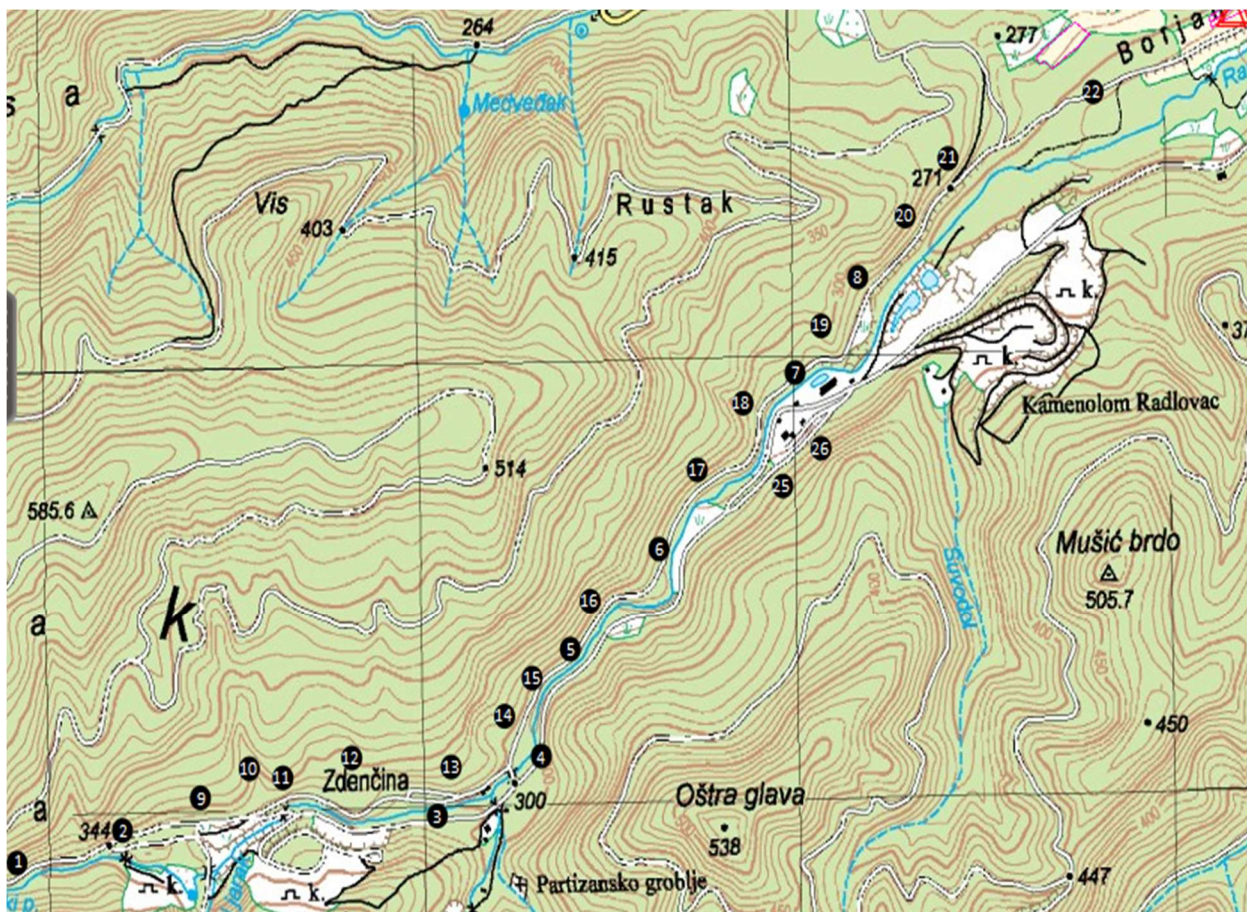
Slika 18. Kartica Clock

3.2.3 OruxMaps

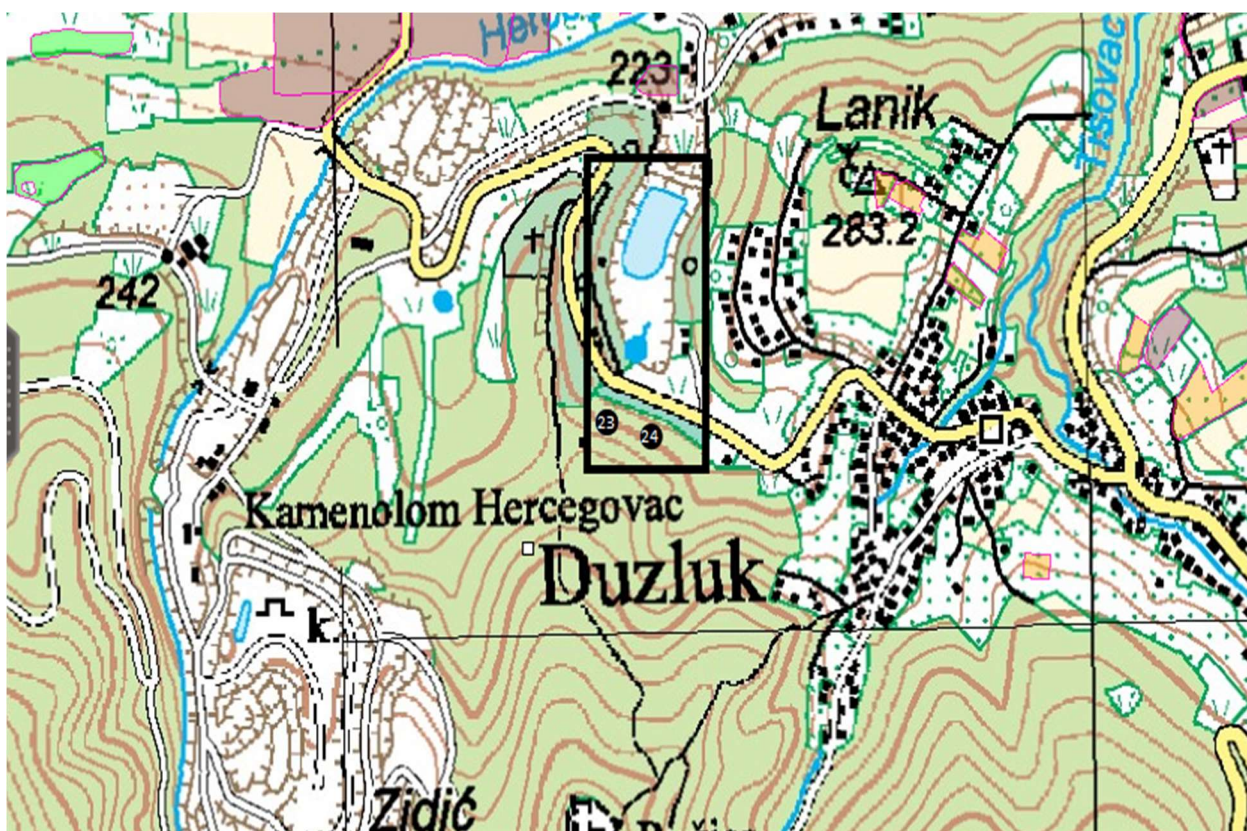
Kao što je već rečeno, problem nedostatka signala i uporabe online alata za obilježavanje koordinata lokacije riješen je uporabom „offline“ alata, odnosno konkretno je za ova mjerenja korištena aplikacija OruxMaps. Aplikacije se može koristiti za navigaciju, označavanje lokacija pri čemu ispisuje koordinate i nadmorsku visinu te omogućuje unos gotovih karata, opet ovisno o potrebi korisnika. Općenito, ovo je jedna prilično zahvalna aplikacije za situacije kao što je prikupljanje mjerenja za ovaj rad na području Papuka.

3.2.4 Odabir lokacija i broj mjerenja

Mjerenja su rađena na 26 različitih lokacija (slika 19. i slika 20.), a na svakoj lokaciji je napravljeno 3-6 mjerenja po 3 minute što u konačnici daje oko 150 mjerenja. Pri mjerenju, uređaj je podignut na 1 m iznad tla, a skup mjerenja na jednoj lokaciji je rađen u krugu od otprilike 5-10 metara. Postavlja se pitanje zašto svako mjerenje nema zasebno lokaciju, odnosno zašto su mjerenja grupirana u skupove. Prikupljanje mjerenje je provedeno zajedno s prikupljanjem uzoraka mahovina kao bioindikatora prisustva zračenja stoga su se mjerenja radila na istim lokacijama kako bi se kasnije mogla napraviti dobra usporedba ovih dviju metoda. Shodno tome, zbog težeg pronalaženja prikladne lokacije veće količine mahovina i sama mjerenja nisu jednoliki raspoređena na ranije opisanom području mjerenja kao što se to dobro vidi na slici 19. Na slici 19. (na slici nedostaju dva udaljena mjerenja kod jezera (slika 20.)) lokacije su napravljene na topografskoj karti radi bolje usporedbe položaja samih lokacija u odnosu na opisivane kamenolome.



Slika 19. Lokacije mjerenja 1 (topografska karta)



Slika 20. Lokacije mjerenja 2 (topografska karta)

3.3 Rezultati mjerenja

Nakon provedenih mjerenja na svim navedenim lokacijama dobivena je ukupna prosječna brzina ambijentalnog doznog ekvivalenta

$$H^*(10) = (102 \pm 23) \text{ nSv/h.} \quad (5)$$

Sama prosječna vrijednost nema prevelikog značaja, posebice ako se uzme u obzir nepostojanje nekakve opće poznate vrijednosti pozadinske brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta. Shodno tome, potrebno je razlučiti mjesta najnižih vrijednosti od mjesta povišenih vrijednosti kao „hotspotova“ kako bi se takvim lokacijama mogao pridružiti status mjesta povišenih aktivnosti, odnosno potencijalno opasnih mjesta. Iz rezultata mjerenja, kao mjesta najniže izmjerene brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta izdvajaju se lokacije 6 (prosječno 50 nSv/h), 18 (prosječno 84 nSv/h) i 26 (prosječno 80 nSv/h). To su tri lokacije s najniže izmjerenim prosječnim vrijednostima, pri čemu se posebno izdvaja lokacija 6 sa upola manjom prosječnom vrijednosti brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta od ukupne prosječne vrijednosti svih lokacija. Zbog puno manje prosječne brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta u odnosu na ostala mjerenja, lokacija 6 će se smatrati područjem s prihvatljivom brzinom ambijentalnog doznog ekvivalenta koje će služiti za ustanovljavanje koliko zapravo ostale lokacije odstupaju od te vrijednosti. Lokacija 6 se nalazi na sredini između dvaju aktivnih manjih kamenoloma čime se nalazi na relativno većoj udaljenosti od mjesta aktivnih iskopa. S druge strane, lokacije 2 (prosječno 122 nSv/h), 8 (prosječno 143 nSv/h), 11 (prosječno 120 nSv/h), 20 (prosječno 120 nSv/h) i 25 (prosječno 123 nSv/h) predstavljaju mjesta s najvećom prosječnom brzinom ambijentalnog doznog ekvivalenta. Usporedbom lokacije 6 i lokacije 8, kao mjesta najniže i najviše prosječne vrijednosti brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta, lako se uočava približno utrostručenje brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta i to je nešto što se nikako ne može zanemariti te se zahtjeva provedba statističkih testova i analiza radi usporedbe navedenih lokacija kako bi se dobio zaključak o tome koliko su te razlike značajne. [28]

3.3.1 Statistički testovi

Kruskal-Wallis ili H test je neparametarska metoda kojom se uspoređuju srednje vrijednosti za više od dvije varijable. Sam rezultat na kraju može reći da se varijable statistički značajnije ne razlikuju što je potvrđeno provedbom testa u statističkom programu za obradu

podataka IBM SPSS (Tablica 1.) pri čemu asimptotska signifikantnost (*eng. Asymp. Sig.*) ispod 0,05 (testiranje pretpostavke na razini 5% signifikantnosti) odbacuje pretpostavku da ne postoji statistički značajnija razlika između srednjih vrijednosti pojedinih lokacija, odnosno potvrđuje se postojanje statistički značajnije razlike. Opće gledano, to i nije iznenađenje budući da većina mjerenja varira oko ukupne srednje vrijednosti, ali postoje ekstremne vrijednosti koje itekako odudaraju od prosjeka. Ipak, taj podatak ne daje odgovor na pitanje koje se postavlja u ovom radu, odnosno iz toga se ne može saznati odnos lokacija nižih i viših prosječnih vrijednosti brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta. [26]

Tablica 1. Kruskal-Wallis test u programu IBM SPSS Statistics Data Editor

	Brzina ambijentalnog doznog ekvivalenta
Hi kvadrat	71,346
Stupnjevi slobode	25
Asimptotska signifikantnost	0,000

T test je jedan od najpoznatijih statističkih testova, a temelji se na utvrđivanju značajnosti razlike između samo dviju skupina. Konkretno u ovom slučaju, korištenjem t testa neovisnih uzoraka utvrdit će se postoji li statistički značajna razlika između dvije promatrane lokacije na temelju njihovih aritmetičkih sredina brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta (primjer provedbe T testa u statističkom programu za obradu podataka IBM SPSS prikazan je na slici 21.). [27]

➔ T-Test

Group Statistics

	Lokacija	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Brzina_ambijentalnog_do	6,00	5	50,0000	7,07107	3,16228
znog_ekvivalenta	8,00	6	143,3333	25,03331	10,21981

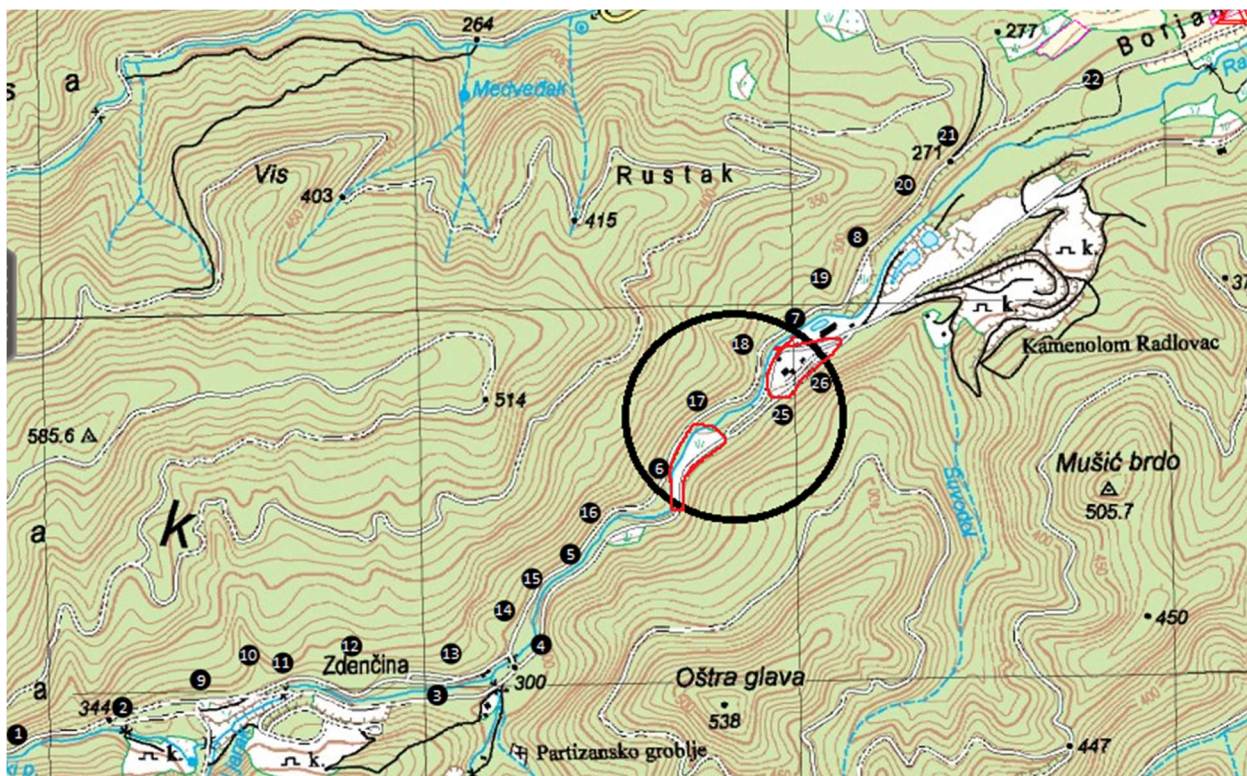
Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Brzina_ambijentalnog_do znog_ekvivalenta	Equal variances assumed	7,364	,024	-8,009	9	,000	-93,33333	11,65343	-119,69523	-66,97144
	Equal variances not assumed			-8,724	5,935	,000	-93,33333	10,69787	-119,57944	-67,08723

Slika 21. T test neovisnih uzoraka (lokacija 6 i 8) u programu IBM SPSS

Provedbom t testova, prvo su ispitivani odnosi ekstremnih vrijednosti kako bi se potvrdili zaključci Kruskal-Wallisovog testa. Analizom lokacije 6 i lokacije 8 (Slika 21.), kao ekstrema, očekivano se dobiva postojanje statistički značajnije razlike (signifikantnost 0,000) što je potvrda ranijih zaključaka. Pitanje koje se postavlja je utvrđivanje granice statističke značajnije razlike, odnosno iznad koje srednje vrijednosti brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta, lokacije značajnije odstupaju od ostalih svojim vrijednostima. Provedbom testova, pokazalo se da lokacija 6, kao lokacija s najnižom prosječnom brzinom ambijentalnog doznog ekvivalenta, statistički značajnije odstupa od sljedeće najniže vrijednosti, a samim time i od svih ostalih. Cilj je bazirati se na lokacije s povišenim vrijednostima, te promatrati njihov odnos s lokacijama oko ukupne prosječne vrijednosti te je tako dobiveno da lokacija 8, kao mjesto s najvišom prosječnom vrijednosti od 143 nSv/h, statistički značajnije odstupa od vrijednosti oko 117 nSv/h, a to ujedno znači da odstupa od gotovo svih mjerenja jer u skupinu s prosjekom iznad 117 nSv/h pripadaju samo lokacije 2, 11, 20, 25 koje su i ranije bilo izdvojene kao radioaktivnije. Ipak, navedene četiri lokacije imaju manje vrijednosti (prosjek za sva četiri lokacije je 121 nSv/h) od najviše izmjerene vrijednosti na lokaciji 8 te je potrebno utvrditi koja je granica statistički značajnijeg odstupanja od te vrijednosti. Izračunima je dobiveno da je ta granica 88 nSv/h što znači da statistički značajnije odstupaju samo lokacije 6, 18 i 26.

Iz svih tih brojeva može se izvući zaključak da su lokacije 6, 18 i 26 potpuno sigurne lokacije (lokacije 18 i 26 statistički značajnije odstupaju od lokacije 6). Iako su mjerenja rađena u dužem vremenskom periodu, smatra se da su uvjeti podjednaki, ali su moguće razne oscilacije (vremenske prilike) pa se zanemaruju bitnije razlike između navedene tri lokacije. Uzevši to u obzir, može se reći da sve ostale lokacije predstavljaju mjesta statistički značajnijih odstupanja, posebice izdvojenih pet lokacija s prosjekom većim od 117 nSv/h. Zanimljivo je uočiti kako se tri lokacije s najmanjim prosjekom brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta nalaze na bliskom prostoru (Slika 22.). Valja napomenuti kako se označeni krug na karti nalazi na sredini između dvaju velikih aktivnih mjesta kopanja, posebice lokacija 6, te se u blizini nalaze samo ravne površine pripremljene za odlaganje kamena spremnog za transport i administrativnih građevina (crvena područja na slici 22.). U krugu se još nalaze lokacija 17 s prosječnom vrijednošću, ali i lokacija 25 koja je svrstana u potencijalno najopasnije. Naravno, sama vrijednost brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta može ovisiti o puno različitih faktora te bi bilo potrebno provesti dodatna mjerenja kako bi se mogle bolje utvrditi prosječne vrijednosti za pojedinu lokaciju.



Slika 22. Područje s najmanjim prosječnim vrijednostima brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta

S druge strane, lokacije s najvišim vrijednostima nalaze se u blizini aktivnih mjesta iskopa. Lokacije 8, 20 i 25 se nalaze u blizini najvećeg kamenoloma Radlovca, dok su lokacije 2 i 11 smještene kod drugog aktivnog kamenoloma. U području između ta dva kamenoloma nalazi se veći broj lokacija te samo lokacija 25 odstupa od prosjeka što, kao što je već rečeno, ne mora biti slučaj nego slučajna povišena vrijednost. Između lokacija 2 i 11 se nalaze lokacije 9 i 10 koje također imaju vrijednosti iznad ukupnog prosjeka te zajedno s lokacijama 8 i 20 koje pripadaju skupini najviših vrijednosti navode na zaključak kako lokacije bliže aktivnim mjestima iskopa uistinu imaju povišenije vrijednosti ambijentalnog doznog ekvivalenta.

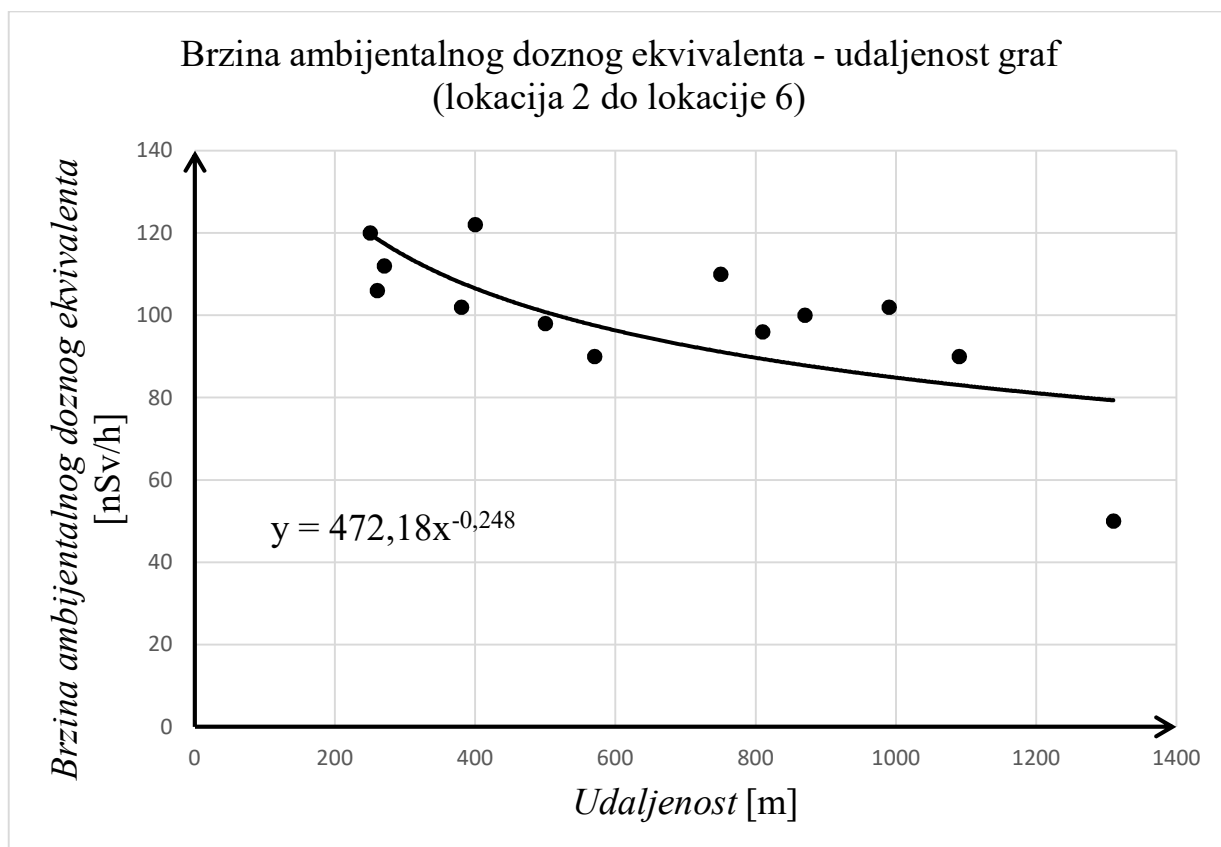
3.3.2 Ovisnost brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta o udaljenosti

Nakon utvrđivanja lokacija u blizini aktivnih kamenoloma kao mjesta povišenih aktivnosti, u odnosu na lokacije s najnižim vrijednostima brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta koje se nalaze između te dva kamenoloma, želi se utvrditi ovisnost vrijednosti brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta u ovisnosti o udaljenosti. Utvrdit će se ovisnost o udaljavanju do lokacije 6 kao utvrđenog mjesta najniže aktivnosti, odnosno konačne točke, od središta aktivnih kamenoloma na jugu (kod lokacije 2) i sjeveru (kod lokacije 8).

Tablica 2. Ovisnost brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta o udaljenosti (lokacija 2 do lokacije 6)

Lokacija	Udaljenost [m]	Brzina ambijentalnog doznog ekvivalenta [nSv/h]
2	400	122
9	260	106
10	270	112
11	250	120
12	380	102
3	500	98
13	570	90
14	750	110
4	810	96
15	870	100
5	990	102
16	1090	90
6	1310	50

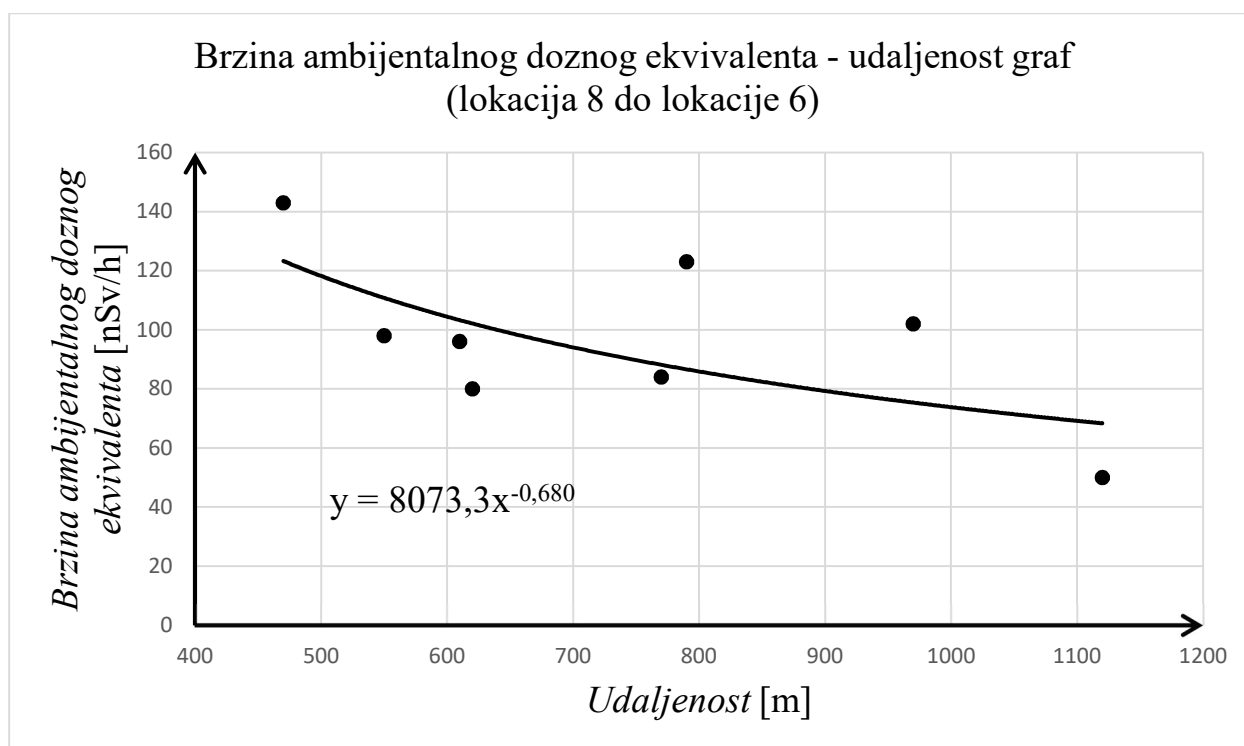
Grafikon 1. Ovisnost brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta o udaljenosti (lokacija 2 do lokacije 6)



Tablica 3. Ovisnost brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta o udaljenosti (lokacija 8 do lokacije 6)

Lokacija	Udaljenost [m]	Brzina ambijentalnog doznog ekvivalenta [nSv/h]
8	470	143
19	550	98
7	610	96
26	620	80
18	770	84
25	790	123
17	970	102
6	1120	50

Grafikon 2. Ovisnost brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta o udaljenosti (lokacija 2 do lokacije 6)



Nakon izrade grafičkog prikaza ovisnosti brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta o udaljenosti od lokacije 2, kao izražene visoke vrijednosti kod južnog kamenoloma, do lokacije 6, dobivena je funkcionalna ovisnost $y=x^{-0,248}$. Korišten je fit parabole kako bi se utvrdila da li ta ovisnost uistinu daje paraboličnu putanju, odnosno kakva je potencija na x vrijednosti u jednadžbi iz čega se može zaključiti je li opadanje bliže linearnoj ili paraboličnoj funkcionalnoj ovisnosti. Iz

dobivenog grafičkog prikaza te pripadajuće jednadžbe može se zaključiti kako nema opadanja s kvadratom udaljenosti nego je bliže linearnoj ovisnosti ($y=x$), odnosno brzina ambijentalnog doznog ekvivalenta linearno opada s udaljenošću. Isto tako, grafički prikaz od lokacije 8, kao izražene visoke vrijednosti kod sjevernog kamenoloma, do lokacije 6 daje sličnu funkcionalnu ovisnost ($y=x^{-0,680}$). Općenito se može reći da brzina ambijentalnog doznog ekvivalenta od „hotspotova“ do nekakve pozadinske, odnosno „čiste“ vrijednosti opada, ali samo približno linearno.

Dobivene rezultate ipak treba uzeti s rezervom, odnosno oni sigurno nisu pravi i potpuni pokazatelj stanja. Nije uzeto u obzir da se neke lokacije nalaze na puno većim nadmorskim visinama (razlika do nekoliko stotina metara) te kako se između lokacije priječe reljefne uzvisine. Jednostavnije rečeno, mjerenja nisu rađena u idealnim laboratorijskim uvjetima gdje se mjeri brzina ambijentalnog doznog ekvivalenta pri povećavanju pravocrtne udaljenosti od izvora zračenja. Ipak, početna pretpostavka da brzina ambijentalnog doznog ekvivalenta treba opadati s udaljenošću je potvrđena jer je utvrđen gotovo identičan linearan rast brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta od lokacije 6 prema lokacijama s visokim vrijednostima u blizini kamenoloma što zapravo još jednom potvrđuje zaključke dobivene provedbom statističkim testova kako postoje značajnije statističke razlike u vrijednostima brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta između lokacija izrazito niskih i izrazito visokih vrijednosti.

4. ZAKLJUČAK

Područje Parka prirode Papuk važno je zbog svojih prirodnih i kulturnih znamenitosti te kao takvo zahtjeva sigurnosti i povjerenje brojnih turista koji ga posjećuju. Kao što je rečeno na početku rada, cilj je donijeti zaključak o općoj radiološkoj karakterizaciji na manjem području Papuka, odnosno utvrditi da li rad bližnjih kamenoloma na području Papuka predstavlja bilo kakvu opasnost za rad parka i obližnjeg stanovništva.

Nakon provedbe i analize mjerenja, utvrđeno je da kamenolomi predstavljaju mjesta povišenih brzina ambijentalnog doznog ekvivalenta. Točnije rečeno, vrijednosti izmjerene u blizini kamenoloma statistički značajnije odstupaju od ostalih mjesta udaljenih od kamenoloma te je grafičkom analizom utvrđeno da brzina ambijentalnog doznog ekvivalenta približno linearno ovisi o udaljenosti. Razlike u vrijednostima nisu bezazlene, tj. utrostručenje vrijednosti brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta na potezu od samo nekoliko stotina metara se ne može zanemariti, ali ipak najviša prosječna izmjerena vrijednost od 143 nSv/h i dalje ne predstavlja nikakvu ozbiljniju vrijednost oko koje bi se trebalo zabrinuti što znači da navedena statistička odstupanja nisu indikator mjesta opasnih po život, nego samo upućuju na to da postoje oscilacije daleko unutar bezbrižnih vrijednosti. Dakako, ovaj rad je samo početna teza o utjecaju rada kamenoloma te je potrebno provesti još velik broj mjerenja i analiza oko samih kamenoloma i na puno većim udaljenostima od kamenoloma jer su za ovaj rad mjerenja prikupljana na relativno uskom području. Veći broj mjerenja na puno većem području dao bi bolji uvid u stvarno stanje, ali i ova mjerenja i rezultati upućuju na to da potrebe za zabrinutošću nema te kako je područje Parka prirode Papuk na kojemu se vršena mjerenja potpuno sigurno.

Napravljena mjerenja oko poznatog Orahovačkog jezera, u blizini Parka prirode Papuk, uklapaju se u srednju vrijednost brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta na području Papuka iz čega se može zaključiti kako je to području u potpunosti sigurno za veliko mnoštvo posjetitelja te Orahovačke destinacije.

LITERATURA

- [1] Cherry, S., Sorenson, J., Phelps, M. *Physics in nuclear medicine*, Philadelphia: Elsevier Saunders, 2012.
- [2] Suljić-Beganović, F., Tanković, A., Talajić, M., Lutvica, S., Muhamedagić, L. *Jonizirajuće zračenje u medicini*, Bilten Ljekarske komore, broj 19
- [3] United States Environmental Protection Agency, *Ionizing Radiation*. 2007.
- [4] Jakobović, Z. *Jonizirajuće zračenje i čovjek*, Školska knjiga, Zagreb, 1991.
- [5] Mara, W. *The Chernobyl Disaster: Legacy and Impact on the Future of Nuclear Energy*, Malaysia: Marshall Cavendish Corporation, 2011.
- [6] International Atomic Energy Agency (IAEA). *Nuclear Medicine Physics: A Handbook for Teachers and Students*, 2014.
- [7] Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC), *Introduction to Radiation*, CNSC, 2012.
- [8] Ionizacijska komora, Hrvatska enciklopedija
URL: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=27753>
(Pristupljeno: 26. lipnja 2018.)
- [9] Radiation Geiger Counter, Principles, Readout, Limitations, Types, Where And What To Purchase
URL: <https://www.agreenroadjournal.com/2013/01/geiger-counter-principles-readout.html> (Pristupljeno 27. lipnja 2018.)
- [10] Geiger-Mullerovo brojilo, Hrvatska enciklopedija
URL: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=21512>
(Pristupljeno: 27. lipnja 2018.)
- [11] Scintilacija, Hrvatska enciklopedija
URL: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=55063>
(Pristupljeno: 29. lipnja 2018.)
- [12] Scintillation properties
URL: <http://scintillator.lbl.gov/> (Pristupljeno: 29. lipnja 2018.)

- [13] Photomultiplier Tubes, Molecular expressions
URL: <https://micro.magnet.fsu.edu/primer/digitalimaging/concepts/photomultipliers.html>
(Pristupljeno: 29. lipnja 2018.)
- [14] Hamamatsu, Photomultiplier Tubes, Basics and Applications
URL: https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/PMT_handbook_v3aE.pdf
(Pristupljeno: 29. lipnja 2018.)
- [15] Optički odziv tankih filmova nanokristaličnog silicija, Hrvatska znanstvena bibliografija
URL: <https://bib.irb.hr/prikazi-rad?rad=429958> (Pristupljeno: 1. srpnja 2018.)
- [16] Hamamatsu Opto-Semiconductors
URL: https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/opto-semi_koth0001e.pdf
(Pristupljeno: 1. srpnja 2018.)
- [17] Park prirode Papuk
URL: <http://pp-papuk.hr/> (Pristupljeno: 9. srpnja 2018.)
- [18] Nemir u okruženju Parka prirode i geoparka Papuk, Virovitica.net
URL: <https://www.virovitica.net/nemir-u-okruzenju-parka-prirode-i-geoparka-papuk/9275/> (Pristupljeno: 9. srpnja 2018.)
- [19] Geomorfologija krša Papuka – kap krša u srcu Slavonije, Geografija.hr
URL: <http://www.geografija.hr/hrvatska/geomorfologija-krsa-papuka-kap-krsa-u-srcu-slavonije/> (Pristupljeno: 9. srpnja 2018.)
- [20] Pamić, J., Radonić, G., Pavić, G. *Geološki vodič kroz Park prirode Papuk*, Velika, 2003.
- [21] ARKOD sustav, Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju
- [22] Kamenolom Radlovac
URL: <http://www.radlovac.hr/info.html> (Pristupljeno: 9. srpnja 2018.)
- [23] About Mirion Technologies, Mirion Technologies
URL: <https://www.mirion.com/about-us/overview/> (Pristupljeno: 16. srpnja 2018.)
- [24] RDS-31, Modular Radiation Survey Meter, Mirion Technologies
URL: <https://mirion.app.box.com/s/gawpdx0cwvzlx95pmhw>
(Pristupljeno: 16. srpnja 2018.)

- [25] Ščavničar, S., Bermanec, V., Kniewald, G., Barišić, D., Oreščanin, V. *Uranium Minerals in the Radlovac Series Metasediments at Mt. Papuk, Croatia*, *Geologia Croatica*, 165-171
- [26] Laerd Statistics, Kruskal Wallis H Test using SPSS Statistics
URL: <https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/kruskal-wallis-h-test-using-spss-statistics.php> (Pristupljeno: 31. srpnja 2018.)
- [27] Laerd Statistics, Independent t-test using SPSS Statistics
URL: <https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/independent-t-test-using-spss-statistics.php> (Pristupljeno: 1. kolovoza 2018.)
- [28] Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, Sustav pravodobnog upozoravanja
URL: http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/pravodobno_upozoravanje
(Pristupljeno: 20. kolovoza 2018.)
- [29] Ionizirajuće zračenje u biosferi
URL: <http://personal.unizd.hr/~mdzela/nastava/KTF.pdf>
(Pristupljeno: 20. Kolovoza 2018.)
- [30] Alvarez, J. L. *Measurement of External Effective Dose*, Jacksonville, 2001.

ŽIVOTOPIS

Stjepan Bošković rođen je 4. kolovoza 1994. godine u Požegi. Završio je Osnovnu školu Dobriše Cesarića u Požegi te potom prirodoslovno-matematičku gimnaziju također u Požegi. Nakon završenog srednjoškolskog obrazovanja upisuje i završava sveučilišni preddiplomski studij fizike na Odjelu za fiziku u Osijeku. Trenutno je student diplomskog studija fizike i informatike također na Odjelu za fiziku u Osijeku.

PRILOZI

Prilog 1: Rezultati mjerenja

Datum i vrijeme	H* (10) [nSv/h]	Vremenski interval mjerenja [s]	Lokacija	Geografska širina	Geografska dužina
3.4.2018. 10:20:22	90	180	1	45,503250	17,802567
3.4.2018. 10:23:22	90	180	1	45,503250	17,802567
3.4.2018. 10:26:22	100	180	1	45,503250	17,802567
3.4.2018. 10:29:22	110	180	1	45,503250	17,802567
3.4.2018. 10:32:22	110	180	1	45,503250	17,802567
3.4.2018. 10:55:50	180	180	2	45,503606	17,805261
3.4.2018. 10:58:50	110	180	2	45,503606	17,805261
3.4.2018. 11:01:50	110	180	2	45,503606	17,805261
3.4.2018. 11:04:50	110	180	2	45,503606	17,805261
3.4.2018. 11:07:50	100	180	2	45,503606	17,805261
3.4.2018. 11:24:08	120	180	3	45,504194	17,816036
3.4.2018. 11:27:08	70	180	3	45,504194	17,816036
3.4.2018. 11:30:08	90	180	3	45,504194	17,816036
3.4.2018. 11:33:08	110	180	3	45,504194	17,816036
3.4.2018. 11:36:08	100	180	3	45,504194	17,816036
3.4.2018. 11:39:08	100	180	3	45,504194	17,816036
3.4.2018. 12:17:06	120	180	4	45,505167	17,819425
3.4.2018. 12:20:06	40	180	4	45,505167	17,819425
3.4.2018. 12:23:06	80	180	4	45,505167	17,819425
3.4.2018. 12:26:06	100	180	4	45,505167	17,819425
3.4.2018. 12:29:06	140	180	4	45,505167	17,819425
3.4.2018. 12:43:16	140	180	5	45,507381	17,820986

3.4.2018. 12:46:16	100	180	5	45,507381	17,820986
3.4.2018. 12:49:16	90	180	5	45,507381	17,820986
3.4.2018. 12:52:16	90	180	5	45,507381	17,820986
3.4.2018. 12:55:16	90	180	5	45,507381	17,820986
3.4.2018. 13:04:41	40	180	6	45,510339	17,824244
3.4.2018. 13:07:41	50	180	6	45,510339	17,824244
3.4.2018. 13:10:41	50	180	6	45,510339	17,824244
3.4.2018. 13:13:41	50	180	6	45,510339	17,824244
3.4.2018. 13:16:41	60	180	6	45,510339	17,824244
3.4.2018. 13:37:54	120	180	7	45,512578	17,827342
3.4.2018. 13:40:54	70	180	7	45,512578	17,827342
3.4.2018. 13:43:54	80	180	7	45,512578	17,827342
3.4.2018. 13:46:54	100	180	7	45,512578	17,827342
3.4.2018. 13:49:54	110	180	7	45,512578	17,827342
3.4.2018. 14:13:24	150	180	8	45,514822	17,830992
3.4.2018. 14:16:24	170	180	8	45,514822	17,830992
3.4.2018. 14:19:24	170	180	8	45,514822	17,830992
3.4.2018. 14:22:24	140	180	8	45,514822	17,830992
3.4.2018. 14:25:24	120	180	8	45,514822	17,830992
3.4.2018. 14:28:24	110	180	8	45,514822	17,830992
30.4.2018. 9:21:57	80	180	9	45,504747	17,808039
30.4.2018. 9:24:57	130	180	9	45,504747	17,808039
30.4.2018. 9:27:57	110	180	9	45,504747	17,808039
30.4.2018. 9:30:57	100	180	9	45,504747	17,808039
30.4.2018. 9:33:57	110	180	9	45,504747	17,808039
30.4.2018. 9:36:57	110	180	9	45,504747	17,808039

30.4.2018. 9:39:57	120	180	10	45,504919	17,80945
30.4.2018. 9:42:57	120	180	10	45,504919	17,80945
30.4.2018. 9:45:57	120	180	10	45,504919	17,80945
30.4.2018. 9:48:57	110	180	10	45,504919	17,80945
30.4.2018. 9:51:57	90	180	10	45,504919	17,80945
30.4.2018. 9:54:57	100	180	11	45,504839	17,810531
30.4.2018. 9:57:57	120	180	11	45,504839	17,810531
30.4.2018. 10:00:57	130	180	11	45,504839	17,810531
30.4.2018. 10:03:57	130	180	11	45,504839	17,810531
30.4.2018. 10:06:57	120	180	11	45,504839	17,810531
30.4.2018. 10:09:57	100	180	12	45,504853	17,813097
30.4.2018. 10:12:57	90	180	12	45,504853	17,813097
30.4.2018. 10:15:57	100	180	12	45,504853	17,813097
30.4.2018. 10:18:57	100	180	12	45,504853	17,813097
30.4.2018. 10:21:57	120	180	12	45,504853	17,813097
30.4.2018. 10:51:49	120	180	13	45,505069	17,816747
30.4.2018. 10:54:49	80	180	13	45,505069	17,816747
30.4.2018. 10:57:49	80	180	13	45,505069	17,816747
30.4.2018. 11:00:49	90	180	13	45,505069	17,816747
30.4.2018. 11:03:49	80	180	13	45,505069	17,816747
30.4.2018. 11:06:49	90	180	13	45,505069	17,816747
30.4.2018. 11:09:49	90	180	14	45,505922	17,815808
30.4.2018. 11:12:49	110	180	14	45,505922	17,815808
30.4.2018. 11:15:49	120	180	14	45,505922	17,815808
30.4.2018. 11:18:49	120	180	14	45,505922	17,815808
30.4.2018. 11:21:49	120	180	14	45,505922	17,815808

30.4.2018. 11:24:49	100	180	14	45,505922	17,815808
30.4.2018. 11:27:49	100	180	15	45,506825	17,819208
30.4.2018. 11:30:49	100	180	15	45,506825	17,819208
30.4.2018. 11:33:49	100	180	15	45,506825	17,819208
30.4.2018. 11:36:49	100	180	15	45,506825	17,819208
30.4.2018. 11:39:49	100	180	15	45,506825	17,819208
30.4.2018. 11:42:49	80	180	16	45,508044	17,821067
30.4.2018. 11:45:49	100	180	16	45,508044	17,821067
30.4.2018. 11:48:49	90	180	16	45,508044	17,821067
30.4.2018. 11:51:49	100	180	16	45,508044	17,821067
30.4.2018. 11:54:49	80	180	16	45,508044	17,821067
30.4.2018. 12:02:36	120	180	17	45,511472	17,825011
30.4.2018. 12:05:36	90	180	17	45,511472	17,825011
30.4.2018. 12:08:36	100	180	17	45,511472	17,825011
30.4.2018. 12:11:36	110	180	17	45,511472	17,825011
30.4.2018. 12:14:36	90	180	17	45,511472	17,825011
30.4.2018. 12:17:36	80	180	18	45,512339	17,826325
30.4.2018. 12:20:36	70	180	18	45,512339	17,826325
30.4.2018. 12:23:36	80	180	18	45,512339	17,826325
30.4.2018. 12:26:36	90	180	18	45,512339	17,826325
30.4.2018. 12:29:36	100	180	18	45,512339	17,826325
30.4.2018. 12:32:36	110	180	19	45,513961	17,829103
30.4.2018. 12:35:36	100	180	19	45,513961	17,829103
30.4.2018. 12:38:36	90	180	19	45,513961	17,829103
30.4.2018. 12:41:36	100	180	19	45,513961	17,829103
30.4.2018. 12:44:36	90	180	19	45,513961	17,829103

30.4.2018. 12:59:59	130	180	20	45,514822	17,830172
30.4.2018. 13:02:59	120	180	20	45,514822	17,830172
30.4.2018. 13:05:59	120	180	20	45,514822	17,830172
30.4.2018. 13:08:59	120	180	20	45,514822	17,830172
30.4.2018. 13:11:59	120	180	20	45,514822	17,830172
30.4.2018. 13:14:59	110	180	20	45,514822	17,830172
30.4.2018. 14:14:21	110	180	21	45,516242	17,832675
30.4.2018. 14:17:21	100	180	21	45,516242	17,832675
30.4.2018. 14:20:21	90	180	21	45,516242	17,832675
30.4.2018. 14:23:21	80	180	21	45,516242	17,832675
30.4.2018. 14:26:21	100	180	21	45,516242	17,832675
30.4.2018. 14:29:21	100	180	21	45,516242	17,832675
30.4.2018. 14:32:21	100	180	22	45,517478	17,833986
30.4.2018. 14:35:21	100	180	22	45,517478	17,833986
30.4.2018. 14:38:21	100	180	22	45,517478	17,833986
30.4.2018. 14:41:21	90	180	22	45,517478	17,833986
30.4.2018. 14:44:21	90	180	22	45,517478	17,833986
4.5.2018. 9:00:56	80	180	23	45,515794	17,858392
4.5.2018. 9:03:56	80	180	23	45,515794	17,858392
4.5.2018. 9:06:56	90	180	23	45,515794	17,858392
4.5.2018. 9:09:56	110	180	23	45,515794	17,858392
4.5.2018. 9:12:56	110	180	23	45,515794	17,858392
4.5.2018. 9:15:56	120	180	23	45,515794	17,858392
4.5.2018. 9:18:56	130	180	23	45,515794	17,858392
4.5.2018. 9:21:56	110	180	24	45,515233	17,859492
4.5.2018. 9:24:56	100	180	24	45,515233	17,859492

4.5.2018. 9:27:56	90	180	24	45,515233	17,859492
4.5.2018. 9:30:56	80	180	24	45,515233	17,859492
4.5.2018. 9:33:56	70	180	24	45,515233	17,859492
4.5.2018. 10:02:43	110	180	25	45,510603	17,827986
4.5.2018. 10:05:43	110	180	25	45,510603	17,827986
4.5.2018. 10:08:43	130	180	25	45,510603	17,827986
4.5.2018. 10:11:43	130	180	25	45,510603	17,827986
4.5.2018. 10:14:43	140	180	25	45,510603	17,827986
4.5.2018. 10:17:43	120	180	25	45,510603	17,827986
4.5.2018. 10:21:13	80	180	26	45,511567	17,829519
4.5.2018. 10:24:13	100	180	26	45,511567	17,829519
4.5.2018. 10:27:13	90	180	26	45,511567	17,829519
4.5.2018. 10:30:13	70	180	26	45,511567	17,829519
4.5.2018. 10:33:13	60	180	26	45,511567	17,829519