Mahovina kao bioindikator radioaktivnog onečišćenja u Parku prirode Papuk

Puharić, Igor

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:160:539313

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

Repository / Repozitorij:

Repository of Department of Physics in Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU

IGOR PUHARIĆ

MAHOVINA KAO BIOINDIKATOR RADIOAKTIVNOG ONEČIŠĆENJA U PARKU PRIRODE PAPUK

Diplomski rad

Osijek, 2018.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU

IGOR PUHARIĆ

MAHOVINA KAO BIOINDIKATOR RADIOAKTIVNOG ONEČIŠĆENJA U PARKU PRIRODE PAPUK

Diplomski rad

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

radi stjecanje zvanja magistra edukacije fizike i informatike

Osijek, 2018.

"Ovaj diplomski rad je izrađen u Osijeku pod vodstvom 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 se Jedinici za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu na provedenim visokorezolucijskim gamaspektrometrijskim mjerenjima uzoraka mahovina. Posebno se zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Branku Petrincu, na stručnim i korisnim savjetima u izradi ovog rada.

Sadržaj

1. Uvod 1

2. Ionizirajuće zračenje 2

2.1. Elektromagnetsko zračenje 2

2.2. Spektar elektromagnetskog zračenja 3

2.3. Neionizirajuće zračenje i ionizirajuće zračenje 3

2.4. Vrste ionizirajućeg zračenja 4

3. Park prirode Papuk 6

3.1. Izletište Orah 7

4. Poluvodički detektori 8

4.1. Opće karakteristike detektora 9

4.2. Silicijski detektori 10

4.3. HPGe detektrori 11

5. Visokorezolucijska gamaspektrometrija 13

5.1. Osnovne komponente visokorezolucijskog gamaspektrometrijskog sustava 13

5.2. Analiza spektra 15

6. Materijali i metode 18

7. Rezultati 20

7.1. ^{137}Cs 20

7.2. Prirodni radionuklidi – uranijev niz 21

7.3 ^{40}K 24

7.4. ^{7}Be 26

7.5. Radionuklidi na izletištu Orah 26

8. Zaključak 28

Literatura 29

Životopis 31

Prilog 1. Rezultati gamaspektrometrijske analize mahovina I

Prilog 2. Podaci o koordinatama, nadmorskoj visini i udaljenosti od kamenoloma lokacija uzorkovanja XXVII

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Diplomski rad

Odjel za fiziku

MAHOVINA KAO BIOINDIKATOR RADIOAKTIVNOG ONEČIŠĆENJA U PARKU PRIRODE PAPUK

IGOR PUHARIĆ

Sažetak

U prvim poglavljima ovoga rada opisana je kratka teorijska podloga o ionizirajućem zračenju, Parku prirode Papuk, poluvodičkim detektorima i visokorezolucijskoj gamaspektrometriji. Nadalje u radu su prikazani rezultati gamaspektrometrijskih mjerenja uzoraka mahovine uzorkovanih na području Parka prirode Papuk. Analizom rezultata koncentracije aktivnosti ^{137}Cs i ovisnosti o nadmorskoj visini vidljivo je kako koncentracija aktivnosti ^{137}Cs opada s porastom nadmorske visine. Analizom ^{238}U i njegovih potomaka vidljivo je kako koncentracija ^{238}U i njegovih potomaka opada s udaljavanjem od površinskih kopova obližnjeg kamenoloma. Gamaspektrometrijskim mjerenjima utvrđena je prisutnost ^{7}Be i ^{40}K na svim lokacijama uzorkovanja mahovine.

(31 stranica, 13 slika, 7 tablica, 24 literaturna navoda)

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: gamaspektrometrija / ionizirajuće zračenje / koncentracija aktivnosti radionuklida

Mentor: doc. dr. sc. Branko Petrinec

Ocjenjivači: izv. prof. dr. sc. Igor Lukačević

doc. dr. sc. Branko Petrinec

mr. sc. Slavko Petrinšak

Rad prihvaćen: 21.11.2018.

Josip Juraj Strossmayer University in Osijek
Department of Physics

Master of Science Thesis

MOSSES AS BIOINDICATOR OF RADIOLOGICAL CONTAMINATION IN THE NATURE PARK PAPUK

IGOR PUHARIĆ

Abstract

In the first few parts of this work it is given short theoretical introduction about ionizing radiation, Nature park Papuk, semiconductor detectors and high-resolution gamma spectroscopy. Furthermore, results of gamma spectroscopy measurments on moss samples collected on area of Nature park Papuk are displayed. Analizing results connecting concentration activity of ^{137}Cs and elevation, it is shown that concentration of ^{137}Cs is droping with growth of elevation. Analizing ^{238}U and it's descendants, it is visible that concentration of ^{238}U and it's descendants is droping with departure from nearby stonepits. Spending gamma spectroscopy measurments confirmed presence of ^{7}Be and ^{40}K on every location moss samples were taken.

(31 pages, 13 figures, 7 tables, 24 references)

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords: concentration of radionuclide activity / gama spectrometry / ionizing radiation

Supervisor: Assistant Professor Branko Petrinec, Ph.D.

Reviewer: Associate Professor Igor Lukačević, Ph.D.

Assistant Professor Branko Petrinec, Ph.D.

Slavko Petrinšak, M.Sc.

Thesis accepted: 21.11.2018.

1. Uvod

Radioaktivnost je spontano emitiranje čestica ili elektromagnetskog zračenja pri čemu nestabilni kemijski elementi prelaze jedni u druge uz oslobađanje energije. Kada radioaktivne čestice ili elektromagnetsko zračenje prolazi kroz materiju ima sposobnost ioniziranja materije te se takvo zračenje naziva ionizirajuće zračenje. Dugoročna izloženost visokim koncentracijama ionizirajućeg zračenja predstavlja rizik za ljudsko zdravlje.

Mahovine su višegodišnje biljke sporog rasta, te su jako osjetljive na uvjete u okolišu na kojemu rastu. Pokazale su se kao važan biološki indikator, te su vrlo važne u biomonitoringu okoliša. Uz pomoć mahovina mogu se prikupiti vrlo važni podaci o radiološkom onečišćenju zraka i okoliša, posebno u uvjetima nuklearnog udesa. U posliječornobiljskom razdoblju potvrdilo se kako su upravo mahovine i njihova kontaminacija fisijskim produktima, posebno ^{137}Cs važni u biomonitoringu.[17],[18]

U ovome radu provedeno je uzorkovanje i analiza mahovina uzorkovana na 26 lokacija na području Parka prirode Papuk. U području uzorkovanja nalazi se aktivni kamenolom s površinskim kopovima, te će se promatrati utjecaj kamenoloma na kontaminaciju prirodnim radionuklidima.

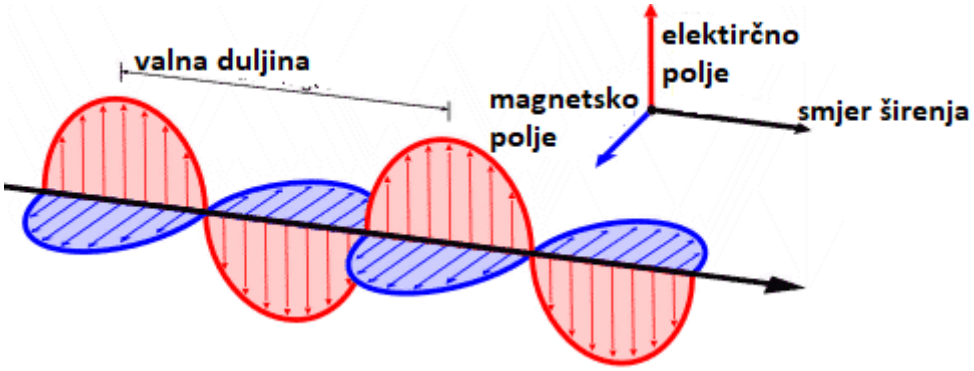
U prvome dijelu ovoga rada navedena je teorijska podloga o ionizirajućem zračenju, području uzorkovanja, poluvodičkim detektorima i visokorezolucijskoj gamaspektrometriji. U drugome dijelu rada opisani su materijali i metode korišteni u istraživanju i prikaz rezultata istraživanja.

2. Ionizirajuće zračenje

2.1. Elektromagnetsko zračenje

Elektromagnetski valovi se formiraju kada električno polje međudjeluje s magnetskim poljem. Magnetska i električna polja međusobno su okomita, ali su oba polja okomita i na smjer širenja vala. James Clerk Maxwell i Heinrich Hertz su znanstvenici koji su proučavali kako se elektromagnetski valovi formiraju i kako brzo putuju.

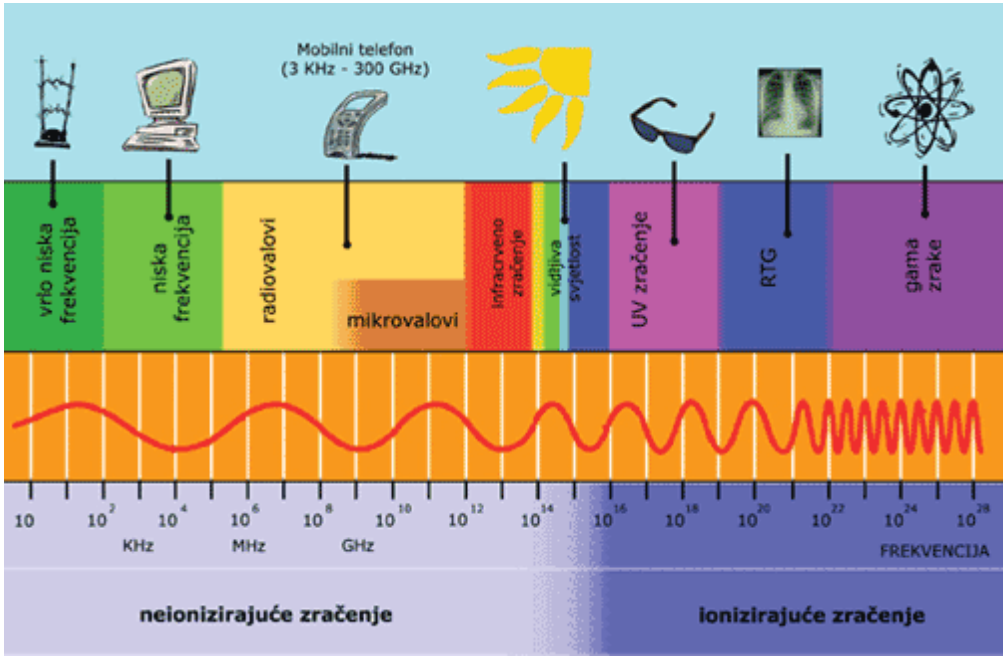
Elektromagnetski val nastaje titranjem električnih naboja pa se iz toga može zaključiti da izvor elektromagnetskih valova može biti električni titrajni krug, ali isto tako i titranje atoma u molekulama i tvarima.



Slika 1. Elektromagnetski val [24]

Elektromagnetski valovi su transverzalni valovi. Jedno od svojstava elektromagnetskih valova je da se u vakuumu šire brzinom svjetlosti, te za razliku od ostalih valova za njihovo širenje nije potreban medij jer na putu gdje titra elektromagnetski val ne titraju čestice već električna i magnetska polja. Elektromagnetski val poput svakog drugog vala može prenositi energiju prostorom.

2.2. Spektar elektromagnetskog zračenja



Slika 2. Spektar elektromagnetskog zračenja [1]

Područje svih mogućih valnih duljina elektromagnetskog vala nazivamo spektar. Elektromagnetski valovi imaju valne duljine od 10^{-12} m pa sve do 10^{3} m i više, a frekvencije od 10 Hz do 10^{28} Hz.

Spektar elektromagnetskog zračenja sastoji se od radiovalova, mikrovalova, infracrvenog zračenja, vidljive svjetlosti, ultraljubičastog zračenja, rendgenskog zračenja, gama zračenja i kozmičkog zračenja.

2.3. Neionizirajuće zračenje i ionizirajuće zračenje

Spektar elektromagnetskog zračenja možemo podijeliti na dvije osnovne vrste: neionizirajuće i ionizirajuće zračenje. Neionizirajuće zračenje je zračenje znatno niže energije od ionizirajućeg zračenja te ta energija nije dovoljna za stvaranje iona u materiji. Primjeri neionizirajućeg zračenja su: vidljiva svjetlost, radiovalovi, infracrveno zračenje i mikrovalovi. Ionizirajuće zračenje ima dovoljno energije da prilikom upada na neutralni atom iz njega izbije elektrone te atomu daje pozitivan naboj tj. dolazi do stvaranja iona.[2] Ionizirajuće zračenje može biti čestično i elektromagnetsko.

Ionizirajuće zračenje možemo podijeliti na prirodno i umjetno. Prirodni izvori ionizirajućeg zračenja su kozmičko zračenje, zračenje iz tla, hrane i pića. Umjetni izvori zračenja nastali su djelovanjem čovjeka te potječu od ionizirajućeg zračenja u medicini, testiranja nuklearnog oružja, radioaktivnog otpada nuklearne industrije, nuklearnih nesreća i sl.

2.4. Vrste ionizirajućeg zračenja

Alfa zračenje

Alfa čestica se sastoji od dva protona i dva neutrona, te nosi dvostruko pozitivan elementarni naboj. Zbog velike mase i nabijenosti alfa čestice nemaju velik doseg u zraku i imaju malu sposobnost prodiranja kroz materiju. Alfa česticu može zaustaviti već komad papira i vanjski sloj kože. Zbog malog dosega od svega nekoliko centimetara u zraku, alfa zračenje izvan ljudskog tijela ne predstavlja opasnost od zračenja. Veći problem alfa čestice predstavljaju kada se unose u ljudsko tijelo (inhalacija i ingestija) te tako dovode do ionizacije okolnog tkiva unutar organizma.[2]

Beta zračenje

Beta čestice su energetski elektroni, relativno lagani i nose jedan elementarni naboj. Osim elektrona beta česticama pripadaju i pozitroni. Pozitron je antičestica jednake mase kao i elektron, ali nosi pozitivan elementarni naboj. Pošto su beta čestice male mase uglavnom dostižu relativističke energije. Prilikom kretanja kroz materiju put beta čestica nije pravocrtan već se kreću „cik-cak“ te na taj način gube na dometu. Domet beta čestice u zraku je nekoliko metara. Beta česticu može zaustaviti debeli karton, listovi od plastike i stakla. Kada je izvor beta zračenja izvan tijela, beta čestice mogu prodrijeti kroz vanjski sloj kože i doprijeti do aktivnih stanica kože, ali ne mogu prodrijeti dublje u tkivo. Beta zračenje predstavlja opasnost kada se nađe unutar tijela. [2],[3]

Fotonsko zračenje (gama i rendgensko zračenje)

Fotonsko zračenje je elektromagnetsko zračenje, te postoje dvije vrste ionizirajućeg fotonskog zračenja, a to su: gama i rendgensko zračenje. Gama zračenje sastoji se od fotona koji potječu iz jezgre, a rendgensko zračenje se sastoji od fotona koji potječu izvan jezgre, te je

rendgensko zračenje niže energije od gama zračenja. Za razliku od alfa i beta zračenja, fotonsko zračenje je mnogo prodornije i ima veći domet. Fotonsko zračenje može prodrijeti u tkiva i organe kada se izvor zračenja nalazi izvan tijela. Kako bi se fotonsko zračenje zaustavilo ili mu se smanjio domet koriste se gusti materijali poput olova i čelika.[2]

Neutronsko zračenje

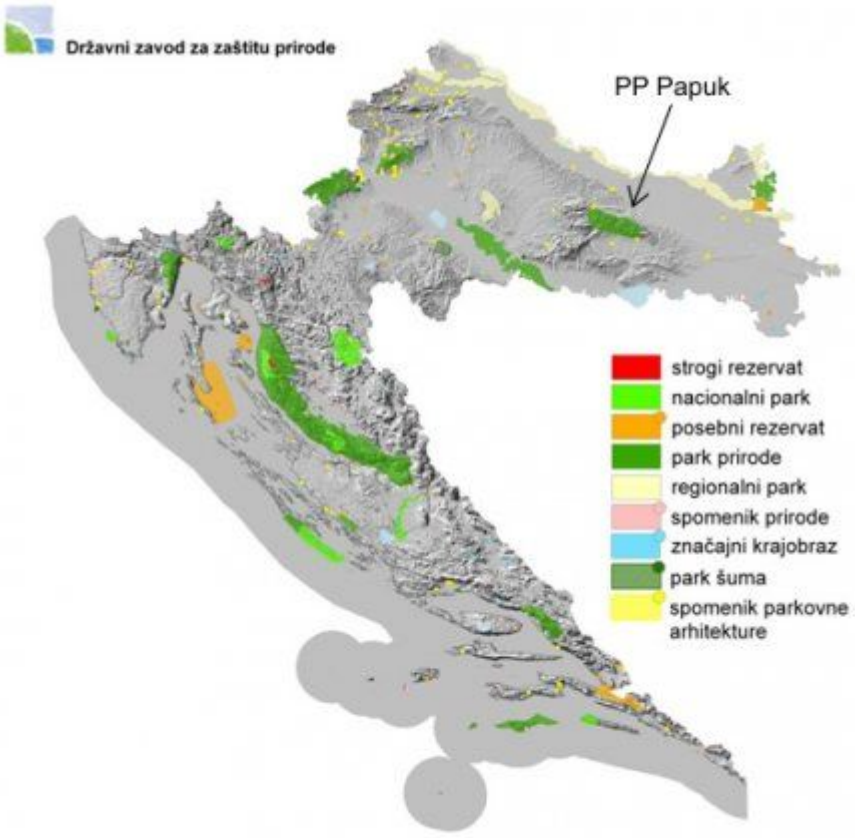
Osim kozmičkog zračenja, spontana fisija je jedini prirodni izvor neutrona odnosno neutronskog zračenja. Osnovno svojstvo neutrona je to da su oni električki neutralni te stoga električne sile ne mogu utjecati na njih niti ih zaustaviti. Neutroni se jako raspršuju kada se sudaraju s teškim jezgrama. Apsorpcija neutrona uzrokuje pokretanje određene nuklearne reakcije i stvaranje radioaktivne tvari, što je popraćeno nizom drugih zračenja. Neutroni su u stanju prodrijeti u tkiva i organe kada se izvor zračenja nalazi izvan tijela. Kao štiti od neutronskog zračenja najbolje su se pokazali materijali koji sadrže lake vodikove atome poput parafinskog voska i plastike. Najčešća zaštita koja se koristi od neutronskog zračenja je teški beton koji u sebi sadrže teške prirodne agregate poput barita ili magnetita te se u njih dodaje željezo, željezna strugotina, olovo i još neki drugi aditivi. [2],[3]

Slika 3. Sposobnost prodiranja različitih vrsta ionizirajućeg zračenja [2]

Slika 3. sumira vrste ionizirajućeg zračenja ranije spomenute, poredanih od ionizirajućeg zračenja viših energija ka nižim i njihovu sposobnost prodiranja kroz papir, kožu, olovo i vodu

3. Park prirode Papuk

Papuk je dio Slavonskog gorja smješten u istočnoj Hrvatskoj, na sjevernoj i sjeverozapadnoj granici Požeške kotline. Papuk se nalazi u kolizijskoj zoni dvaju makroploča – Afričke i Euroazijske. [6]



Slika 4. Položaj parka prirode Papuk na karti hrvatske[7]

Gorje Papuk je najšire na zapadu (oko 20 km), a najuže je na krajnjem istoku (manje od 10 km), a proteže se na 45 km duljine. Najviši vrh je Papuk visine 953 m. Geološka građa područja Papuka vrlo je raznolika. „Najveći dio Papuka izgrađuju paleozojske metamorfne i magmatske stijene. Detaljna geološka istraživanja izdvojila su tri grupe takvih stijena: regionalnometamorfne stijene, migmatite i granitoidne stijene. Mezozojske stijene su zastupljene donjotrijaskim klastitima, srednjotrijaskim karbonatima koji izgrađuju vršni dio Papuka te gornjokrednom vulkanogeno-sedimentnom formacijom vrlo malog rasprostiranja. Tercijarno-kvartarne klastične naslage izgrađuju sjeverno i južno podnožje Papuka.“[7] Papuk sadrži formacije stijena koje su stare i preko 600 milijuna godina, te pripadaju među jedne od najstarijih stijena u Hrvatskoj.

Papuk predstavlja veliko šumsko bogatstvo u kojemu prevladavaju šume bukve i hrasta. Pored bukve i hrasta zastupljeni su javor, klen, jasen, pitomi kesten i dr. Papuk se nametnuo kao odlično stanište i za brojne životinjske vrste, te je Papuk utočište jelena, srna, divljih svinja, kuna lisica i dr. Također, Papuk pruža odlična staništa i za mnoge vrste ptica. [8]

Zbog svoje izuzetne geološke i biološke raznolikosti, te vrijedne kulturne baštine Papuk je proglašen parkom prirode 23. travanja 1999. godine. Park prirode Papuk prostorno obuhvaća veći dio planine Papuk te dijela Krndije. Prostire se na 336 km^2 te nalazi u području Požeško-slavonske i Virovitičko-podravske županije.[6]

Unutar Parka prirode pronalazimo brojna područja koja se po stupnju zaštićenosti razlikuju od ostalih dijelova, te su zbog svojih neuobičajenih značajki dobili status posebno zaštićenih područja. „Posebno zaštićena područja su: geološki spomenik prirode Rupnica, park šuma Jankovac, posebni rezervat šumske vegetacije Sekulinačke planine, spomenik prirode Dva hrasta, spomenik prirode Stanište tise, posebni floristički rezervat Pliš-Mališčak-Turjak-Lapjak.“[6]

Zbog svoje specifičnosti i georaznolikosti Papuk je 2007. postao članom Europske i Svjetske mreže geoparkova te uvršten u UNESCO-vu listu Geoparkova kao prvi geopark iz Hrvatske.

3.1. Izletište Orah

Izletište Orah se nalazi u Parku prirode Papuk udaljeno oko 1500 m zračene udaljenosti od centra Orahovice. Na izletištu se nalazi Orahovačko jezero. Osim jezera u blizini se nalaze uređene planinarske i biciklističke staze, dječje igralište, površine namijenjene za roštiljanje i kampiranje. U blizini se nalazi i drevni srednjovjekovni grad Ružica grad. Upravo mnogobrojni sadržaji u netaknutom dijelu prirode privlače velik broj posjetitelja tijekom sezone. Tijekom sezone Orahovačko jezero posjeti više od 250 000 kupača.

4. Poluvodički detektori

Poluvodički detektori najčešće se koriste kada je potrebna najbolja energetska razlučivost. U poluvodičkim detektorima osnovni prijenosnici informacija su parovi elektroni-šupljine. Signal detekcije se formira na način da se skupljaju parovi elektroni-šupljine. Od dostupnih poluvodičkih materijala, silicij se koristi uglavnom za detekciju nabijenih čestica i rendgenskog zračenja, dok se germanij koristi za gamaspektrometriju.

Svaki čvrsti materijal ima karakterističnu elektroenergetsku strukturu. Najviše zauzeta elektronska vrpca naziva se valentna vrpca i nad kojim se nalazi vodljiva vrpca. Energetski pojas između valentne i vodljive vrpce naziva se energetski procijep. Ovisno o procijepu, materijali se klasificiraju kao metali, izolatori i poluvodiči.[9]

Slika 5. Struktura elektronskih vrpci kod metala, poluvodiča i izolatora [10]

U slučaju metala, valentna i vodljiva vrpca se poklapaju. Prema tome, pod primjenom prednapona elektron se može s niskim otporom pomicati u vodljivoj vrpci. Dok je za izolator valentna vrpca napunjena, ne sadrži dopušteno prazno stanje te je odvojena od vodljive vrpce energetskim procijepom od oko 4-5 eV, tako da nema praznih stanja za prijenos elektrona prednaponom. Postoje čvrsti materijali poput silicija i germanija s energetskim procijepom manjim od 1 eV, i ti se materijali nazivaju poluvodiči. Energetski procijep poluvodiča je takav da nekoliko elektrona koji su termalno pobuđeni mogu napustiti valentnu vrpcu i prijeći u vodljivu te tako iza sebe ostavljajući šupljinu i pozitivan naboj u valentnoj vrpci. Ovi generirani nosioci naboja nose malu struju pod djelovanjem prednapona. Struja se u poluvodiču može povećati povećanjem koncentracije elektrona ili šupljina što se postiže dopiranjem poluvodiča. Poluvodič može biti dopiran s trovalentnim atomima (B, Al, Ga i In) tako da se povećava koncentracija šupljina i tako dopiran poluvodič se zove p-tip poluvodiča. Isto tako, dopiranjem s peterovalentnim atomima (P,

As, Sb) povećava se koncentracija elektrona u vodljivoj vrpci i takav poluvodič se zove n- tip poluvodiča.[9]

Kada se n-tip i p-tip poluvodiča spoje zajedno, elektroni se gibaju od n-područja prema p-području, šupljine se gibaju od p-područja prema n-području dok se električno polje između spoja ne suprotstavi daljnjoj akumulaciji naboja. Područje između dva tipa poluvodiča naziva se područje osiromašenja, a p-n spoj se naziva spojna dioda. Dioda provodi struju kada je pozitivan pol spojen na p-tip, a negativan na n-tip, u suprotnom spoju dolazi do proširenja područja osiromašenja.[9]

Kako bi se ionizirajuće zračenje koje dolazi na poluvodički detektor što kvalitetnije detektiralo, poluvodička dioda se spaja na visoki napon u zapornom smjeru, gdje dolazi do proširenja područja osiromašenja koje predstavlja osjetljivi sloj detektora. [9]

Kada električki nabijena čestica prolazi osjetljivim (aktivnim) slojem detektora koji je spojen na visoki napon u zapornom smjeru, u aktivnom sloju detektora stvaraju se pokretni nosioci naboja. U valentnoj vrpci aktivni nosioci naboja su šupljine dok su u vodljivoj vrpci to elektroni. Prilikom padanja nabijene čestice na aktivni sloj detektora dolazi do protjecanja električne struje, odnosno stvaranja električnog signala koji je proporcionalan gubitku energije čestice u aktivnom sloju detektora. [9]

4.1. Opće karakteristike detektora

Osjetljivost

Osjetljivost detektora je sposobnost detektora da proizvede mjerljiv signal za upadno zračenje i danu energiju. Detektori su obično dizajnirani tako da detektiraju samo pojedini tip zračenja i energetsko područje.[15]

Odziv detektora

Kako bi detektor odredio ne samo tip zračenja već i upadnu energiju mora dati signal koji je proporcionalan energiji upadnog zračenja. Energija upadnog zračenja očituje se u količini naboja koji sadrži strujni puls u detektoru. Odnos između energije upadnog zračenja i količine naboja naziva se odziv detektora. [15]

Energetska rezolucija

Energetska rezolucija je sposobnost detektora da razlikuje dvije bliske energije. Energetska rezolucija mjeri se iz spektra detektora izazvanog monoenergetskim upadnim zračenjem.

Mrtvo vrijeme

Mrtvo vrijeme je vrijeme potrebno detektoru da obradi neki događaj, te je povezano s dužinom trajanja strujnog signala. Ovisno o tipu detektora, on može biti osjetljiv ili neosjetljiv za vrijeme trajanja mrtvog vremena. Ako je detektor neosjetljiv, tada je događaj koji se dogodio za vrijeme mrtvog vremena nedetektiran.

Vrijeme odziva

Vrijeme odziva je vrijeme proteklo od dolaska zračenja na detektor do formiranja izlaznog signala. Odnosno, to je vrijeme potrebno detektoru da generira signala. Za kvalitetno vremensko razlučivanje vrlo je bitno da se signal što je brže moguće generira u oštar puls. Također, važno je i vrijeme trajanja pulsa jer se novi događaj ne može registrirati za vrijeme trajanja pulsa, tj. detektor je tada neosjetljiv što pridonosi mrtvom vremenu detektora.

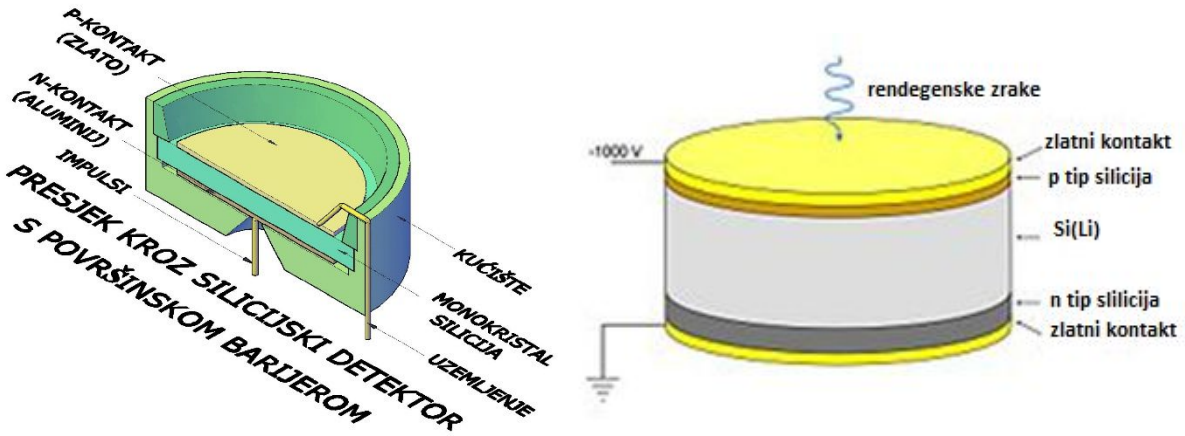
Efikasnost detektora

Efikasnost detektora je mjera vjerojatnost da zračenje koje je emitirano iz izvora bude registrirano u detektoru. Općenito se razmatraju dvije vrste efikasnosti detektora: apsolutna efikasnost i vlastita efikasnost. Apsolutna efikasnost definira se kao omjer registriranih događaja i događaja emitiranih iz izvora zračenja. Vlastita efikasnost predstavlja omjer registriranih događaja i broja događaja koji su pogodili detektor. [15]

4.2. Silicijski detektori

Postoje dva osnovna postupka u proizvodnji silicijskih detektora: ionska implantacija i tehnologija površinske barijere. Svaka tehnika je karakteristična za proizvodnju određenih vrsta detektora. Budući da je glavna primjena silicijskog detektora spektrometrija nabijenih čestica, stoga je važno smanjenje mrtvog sloja detektora (područje koje nije detektorski osjetljivo). U tipu detektora s površinskom barijerom, tanki mentalni sloj se isparava kao nečistoća na površini

silicijskog poluvodiča, obično se na p-tip nanosi konektor od zlata, a na n-tip poluvodiča aluminij. Kada se detektor priključi u zapornom smjeru, stvara se osjetljivi sloj u kojemu su uklonjeni nosioci naboja. U ionskoj implantaciji, ioni nečistoća su izravno ugrađeni u poluvodič. Obično se nanosi sloj litija na monokristal poluvodiča p-tipa. Ovakav tip detektora karakterizira veća debljina osjetljivog sloja i bolja energetska rezolucija. Kada se detektor spoji na zaporni napon kroz cijelu debljinu sloja kroz koji je implementiran litij javlja se električno polje. Ovakvi detektori se upotrebljavaju za brzo dobivanje rezultata kod detekcije elektrona i protona.[9]



Slika 6. Detektor s površinskom barijerom (lijevo) i detektor s ionskom implantacijom (desno) [11] i [12]

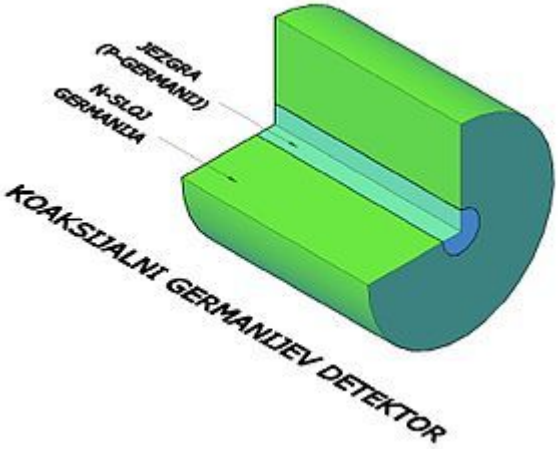
4.3. HPGe detektrori

Germanijski detektori mnogo su pogodniji za detekciju gama zračenja od silicijskih, njihova prednost se očituje u višem atomskom broju germanija u odnosu na silicij. Zbog višeg atomskog broja, presjek za fotoelektrični efekt je oko 60 puta veći kod germanija nego kod silicija. Ali kako bi kristal germanija bio učinkovit mora biti ohlađen na temperaturu tekućeg dušika.

Velik napredak u poluvodičkoj tehnologiji doveo je do proizvodnje poluvodiča s malim udjelom primjesa, te je tako moguće proizvesti skoro čisti kristal germanija. Germanijski detektori s malim udjelom nečistoća pogodni su jer se ne moraju cijelo vrijeme održavati na niskim temperaturama. Germanijski detektor visoke čistoće (HPGe - High Purity Germanium) rade na sličan način kao i germanijski detektori dopirani ionima litija. Poluvodič germanija visoke čistoće se spaja zaporno na izvor napona te dolazi do stvaranja jakog električnog polja unutar besprimjernog sloja. Kada u besprimjerni upadne foton dolazi do interakcije s elektronima i se stvara velik broj parova elektron – šupljina čija je koncentracija proporcionalna energiji upadnog fotona. Ovisno o vrsti primjene, HPGe detektori mogu razlikovati po geometriji i osnovnim karakteristikama. [9]

Koaksijalni detektori

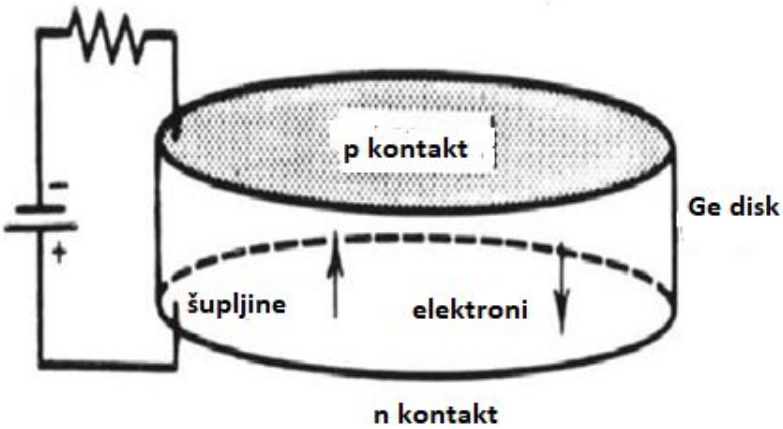
Koaksijalni detektori imaju oblik cilindra. Njihov energetski raspon je širok, te mogu detektirati gama zrake od 5 keV pa sve do nekoliko MeV. Velika prednost koaksijalnih detektora je da mogu detektirati fotone od jednog do drugog kraja i preko cijele bočne strane, tj. imaju veliku korisnu površinu.[15]



Slika 7. Koaksijalni detektor [13]

Planarni detektori

Planarni detektori koriste se za detekciju zračenja od 5 keV do nekoliko stotina keV. Imaju veću energetsku rezoluciju od koaksijalnih detektora do gornje granice. Oblik ovakvog detektora je cilindričan pri čemu mu je duljina manja od širine te mogu detektirati zračenje samo jednom površinom. Potreba za određenom energetskom rezolucijom izravno utječe na dimenziju detektora.[15]



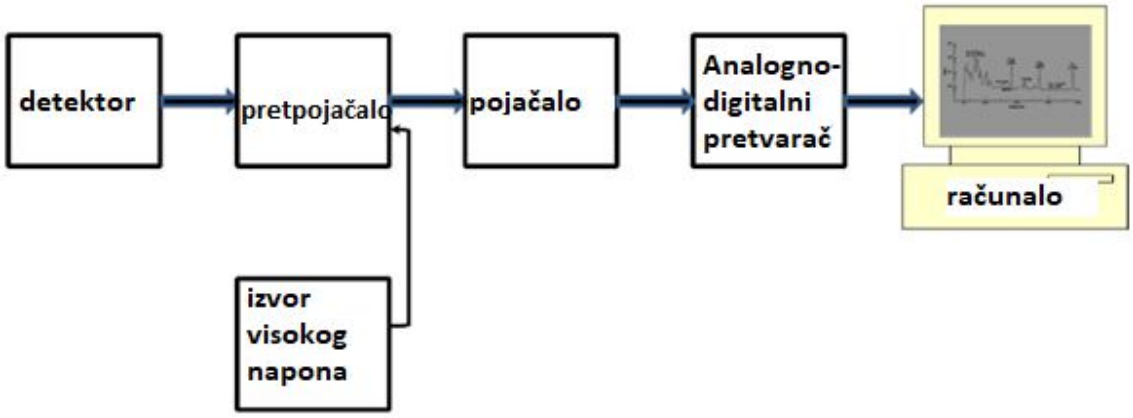
Slika 8. Planarni detektor [14]

5. Visokorezolucijska gamaspektrometrija

Visokorezolucijska gamaspektrometija predstavlja nerazornu tehniku kojom se mjeri elektromagnetsko zračenje u gama-spektru radioaktivnih izvora. Ova tehnika temelji se na postupku brojanja i mjerenja energije pojedinačnog fotona emitiranog od izvora zračenja. Korištenje detektora izrađenog od germanjja visoke čistoće u visokorezolucijskoj gamaspektrometriji predstavlja jednu od najčešćih metoda za identifikaciju i kvantifikaciju nepoznatih radionuklida. Izmjerena energija gama zrake odgovara određenom radionuklidu, dok broj detektiranih zraka odgovara aktivnosti radionuklida. Proces mjerenja gama zračenja započinje emitranjem gama zrake od izvora tijekom radioaktivnog raspada. Ova tehnika zahtijeva ranije znanje o energiji vrha za određeni radionuklid.[23]

5.1. Osnovne komponente visokorezolucijskog gamaspektrometrijskog sustava

Proizvedeni električni signala od prikupljanje naboja je analogne prirode, te se dalje obrađuje pomoću određenih uređaja. Osnovni dijelovi gamaspektrometijskog sustava su: pretpojačalo, pojačalo, analogno-digitalni pretvarač, izvor visokog napona, višekanalni analizator i računalo. Na slici 9. su prikazane osnovne komponente gamaspektrometrijskog sustava.



Slika 9. Osnovne komponente gamaspektrometrijskog sustava [15]

Izvor visokog napona

Kako bi se formirao naponski impuls uzrokovan zračenjem detektor mora biti priključen na izvor visokog napona. Napon mora biti dovoljno visok kako bi detektor mogao prikupiti većinu zračenja. Red veličine visokog napona koji je potreban je oko nekoliko kV, Kao izvor visokog napona mogu poslužiti i akumulatorske baterije ili napunjeni kondenzatori uz odgovarajuće pretvarače napona.[15]

Pretpojačalo

Pretpojačalo ima dvije osnovne funkcije: pretvara malu amplitudu kratkog trajanja trenutnog impulsa u naponski puls čija je amplituda proporcionalna energiji gama zrake i maksimizira omjer signala i šuma izlaznog impulsa i čuva informacije o energiji gama zrake. Kako bi se smanjila razina izlaznog šuma pretpojačalo se postavlja što je moguće bliže detektoru.[15]

Pojačalo

Svrha pojačala je pojačavanje signala s pretpojačala u linearni naponski puls u rasponu od 0 - 10 V. Također, pojačalo oblikuje oblik pulsa u skladu s uređajem za analizu pulsa. Analizator mjeri amplitudu impulsa u odnosu na referentni napon te bi se izlazni impuls trebao vratiti što je brže moguće na stabilan napon kako bi se osigurao što kvalitetniji spektar. [15]

Jednokanalni analizator

Impuls iz pojačala ide na jednokanalni analizator koji analizira visinu impulsa. Obično sadrži dva praga koja su dopuštena te propušta impulse koji se nalaze između dva praga na brojač koji ih broji. [15]

Višekanalni analizator

Višekanalni analizator vrlo važna komponenta gamaspektrometrijskog sustava. On obavlja ključnu funkciju u prikupljanju podataka pružajući vizualizaciju spektra prikupljenog na detektoru. Analogno-digitalni pretvarač pretvara analogni naponski impuls s pojačala u binarni te razvrstava impulse u velik broj kanala ovisno o visini naponskog impulsa. Budući da je visina

impulsa proporcionalna energiji gama zrake, odnos između pojedinog kanala i energije je gotovo linearan. [15]

5.2. Analiza spektra

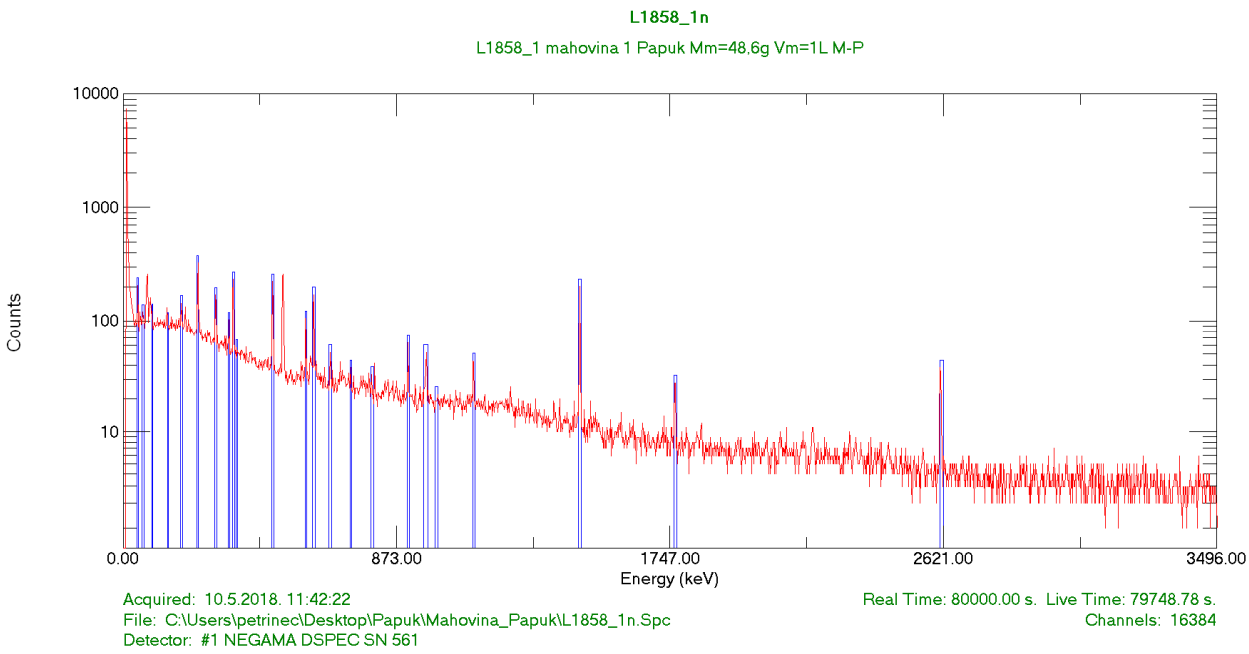
Kada se dobije spektar, on se mora analizirati kako bi se izvukli željeni podaci. Obično se gamaspektar koristi za dobivanje inforormacija o energiji i broju fotona emitiranih iz izvora. Budući da je energija koja odgovara punoj energiji karakteristična za određeni radionuklid u spektru se analiziraju samo te pune energije. Nakon uočavanja karakteristične energije analiziraju se vrhovi spektra s obzirom na njihovu lokaciju (kanal), njihova vršna površina i puna širina na pola maksimuma (FWHM).[15]

Površina ispod vrha

Površina ispod vrha je potrebna za dobivanje informacija o broju detektiranih fotona određene energije. Površina se može dobiti sumiranjem pojedinačnih fotona svih kanala ispod vrha. Ova se metoda se ne može koristiti kod složenog spektra gdje se vrhovi preklapaju. Većina analogno-digitalnih pretvarača je opremljena programima za analizu područja vrhova koji daju energiju i intenzitet vrhova. [15]

Energetska kalibracija

Analogno-digitalni pretvarač razvrstava impulse prema visinama u različite kanale. Energetska kalibracija služi za povezivanje kanala s energijom koju je čestica ostavila na detektoru. Energetska kalibracija dobrog spektrometrijskog sustava je gotovo linearna i nužna je za identifikaciju određenog radionuklida. [15]



Slika 10. Spektar gama zračenja uzoraka mahovine

Izračun koncentracije aktivnosti uzorka

Koncentracija aktivnosti definira se kao broj radioaktivnih raspada po jedinici mase. Mjerna jedinica za koncentraciju aktivnosti u SI sustavu je Bq/kg. Standardna formula kojom je određivanje koncentracija aktivnosti (A) gama emitera u uzorku dana je sljedećim izrazom:

$$A = \frac{N}{\varepsilon \gamma t_s m K_1 K_2 K_3 K_4 K_5}$$

pri čemu je N ukupan broj impulsa odgovarajućeg fotovrha:

$$N = N_s - \frac{t_s}{t_b} N_b.$$

N_s- ukupni broj impulsa odgovarajućeg fotovrha u spektru uzorka

N_b- ukupni broj impulsa odgovarajućeg fotovrha u spektru osnovnog zračenja

ε- efikasnost detektora u energiji promatranog fotovrha

t_s- vrijeme brojanja uzorka u sekundama

t_b- vrijeme brojanja osnovnog zračenja u sekundama

m- masa uzorka u kilogramima

γ- vjerojatnost emisije gama linije koja odgovara energiji fotovrha

K_1 - korekcijski faktor za nuklearni raspad od vremena uzorkovanja do početka mjerenja, dan kao:

$$K_1 = e^{\frac{-\ln 2 \cdot \Delta t}{T_{1/2}}},$$

gdje je Δt proteklo vrijeme od vremena uzorkovanja do vremena mjerenja, a $T_{1/2}$vrijeme poluraspada.

K_2 - korekcijski faktor za nuklearni raspad tijekom mjerenja, dan kao:

$$K_2 = \frac{T_{1/2}}{\ln 2 \cdot t_r}\left(1 - e^{\frac{-\ln 2 \cdot t_r}{T_{1/2}}}\right),$$

gdje je t_r stvarno proteklo vrijeme tijekom mjerenja.

K_3 - korekcijski faktor za samoatenuaciju, tj. atenuacijski faktor u mjerenom uzorku u usporedbi s uzorkom za baždarenje, a definiran je kao omjer efikasnosti pune energije pika $\varepsilon(\mu,E)$ za uzorak s linearnim atenuacijskim koeficijentom μ i efikasnosti pune energije pika $\varepsilon(\mu_{ref},E)$ za uzorak s linearnom atenuacijom μ_{ref}:

$$K_3 = \frac{\varepsilon(\mu,E)}{\varepsilon(\mu_{ref},E)}.$$

K_4 - korekcijski faktor za gubitak impulsa zbog nasumičnog sumiranja

$$K_4 = e^{-2R\tau},$$

gdje je τ vrijeme rezolucije mjernog sustava, a R srednja vrijednost brzine brojanja. Kada je brzina brojanja niska, ovaj korekcijski faktor iznosi 1.

K_5 - korekcijski faktor podudarnosti za one radionuklide koji se raspadaju kaskadom sukcesivnih emisija fotona. Definiran je kao omjer odgovarajuće prividne efikasnosti $\varepsilon_{ap}(E)$i efikasnosti ukupne energije $\varepsilon(E)$:

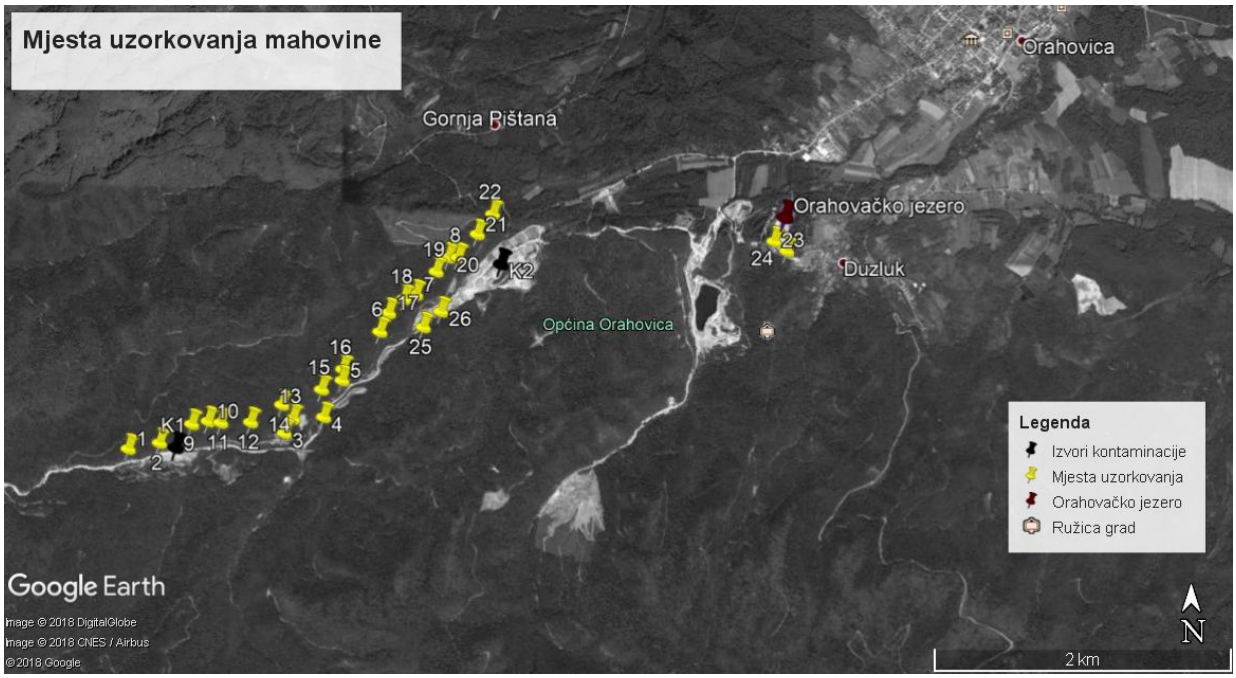
$$K_5 = \frac{\varepsilon_{ap}(E)}{\varepsilon(E)}$$

Ako radionuklid nema gama kaskadu, K_5=1. K_5 ovisi o shemi raspada, o geometriji i sastavu uzorka te o parametrima detektora.[4]

6. Materijali i metode

Uzorci mahovine su skupljani na području Parka prirode Papuk nedaleko od grada Orahovice, u području aktivnog kamenoloma Radlovac. Mahovina je uzorkovana na 26 lokacija. Dva uzorka mahovine su uzeta na obližnjem izletištu Orah, dok su ostali uzorci uzeti duž šumskog puta u području kamenoloma. Uzorkovanje mahovine je vršeno tijekom travnja i svibnja 2018. godine. Uzorci mahovine su očišćeni od primjesa (zemlja, lišće) te pakirani u plastične vrećice volumena 5 litara, te kasnije sušeni do konstantne mase. Mjesto uzorkovanja je označeno na topografskoj karti preuzetoj s sustava Arkod, te su kasnije uz pomoć računala i sustava Arkod očitane koordinate i nadmorska visina.

Slika 11. Uzorkovanje mahovine



Slika 12. Mjesta uzorkovanja mahovina [Google Earth, 2018.]

Uzorci mahovina su, nakon sušenja do konstantne mase pakirani u posude za mjerenje. Svi uzorci obrađeni su visokorezolucijskom gamaspektrometrijom, akreditiranom metodom prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007. Korišten je detektor: HP GMX detektor ORTEC rezolucije 2,2 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti od 74% na 1,33 MeV ^{60}Co povezani s elektroničkim sustavom i osobnim računalom. Kalibracija efikasnosti provedena je standardima Češkog metrološkog instituta, osiguranje kvalitete određivanja radionuklida provodi se sustavnim sudjelovanjima u usporednim mjerenjima u organizaciji Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) i Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) kao i JRC EU. [16]

7. Rezultati

Visokorezolucijskom gamaspektrometrijom dobiveni su podaci o aktivnostima: ^{40}K, ^{7}Be, ^{137}Cs, ^{232}Th, ^{228}Ra, ^{208}Tl, ^{238}U, ^{226}Ra, ^{214}Pb, ^{210}Pb i ^{235}U u uzorcima mahovina. U tablicama su prikazane prosječne, minimalne i maksimalne vrijednosti koncentracija aktivnosti za određeni radionuklid *N* uzoraka od kojih je *n* rezultata iznad granice detekcije.

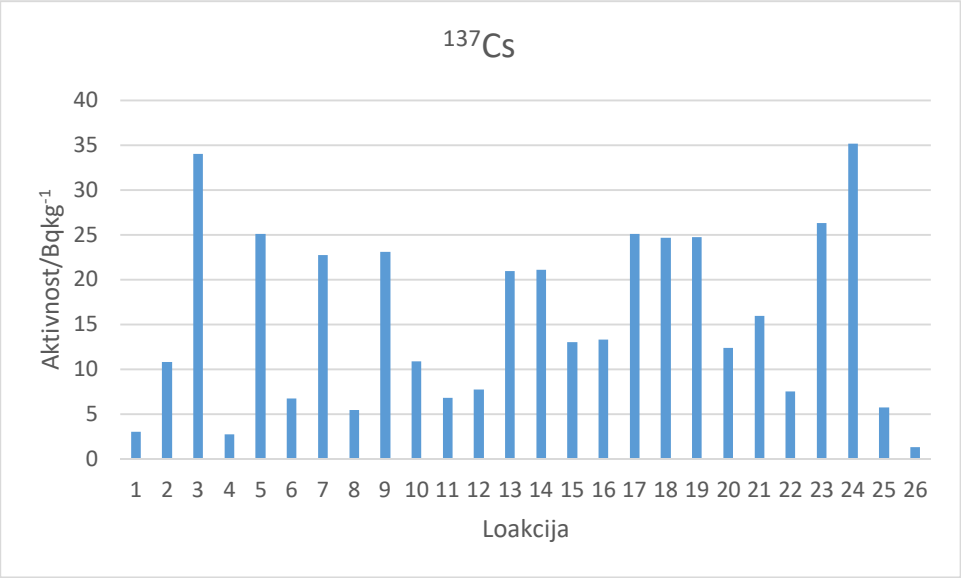
7.1. ^{137}Cs

Cezij je mekan, fleksibilan, srebrno bijel metal koji blizu sobne temperature postaje tekućina. U prirodi postoji 11 važnih izotopa cezija, dok je najčešći izotop ^{137}Cs. ^{137}Cs je produkt nuklearne fisije te se pojavljuje kao nusproizvod nuklearnih fisijskih procesa u nuklearnim reaktorima i ispitivanju nuklearnog oružja. ^{137}Cs ima vrijeme poluraspada 30 godina. Budući da se ^{137}Cs veže s kloridima te tvori kristalnu strukturu, te u okolišu reagira poput kuhinjske soli (NaCl). Cezij je lako topljiv u vodi, lako se kreće kroz zrak, veže se za tlo i biljke. ^{137}Cs se u malim količinama koristi za umjeravanje uređaja za mjerenja zračenja, dok se u većim količinama koristi u medicini i industriji. Ekstremno izlaganje većim količinama ^{137}Cs može izazvati opekline, akutnu bolest zračenja, pa čak i smrt. Izloženost ^{137}Cs može povećati rizik od raka zbog prisutnosti visokoenergetskog gama zračenja, dok se prilikom ingestije i inhalacije ^{137}Cs zadržava u mekim tkivima, posebno mišićima. U normalnim okolnostima veće količine ^{137}Cs se ne pronalaze u prirodi. [19]

U dosadašnjim istraživanjima i mjerenjima koncentracije aktivnosti na području Republike Hrvatske pokazalo se kako mahovine akumuliraju cezij iz okoliša, te kako je on prisutan i godinama nakon nesreće u Černobilu. [16],[17],[18]

^{137}Cs	**Koncentracija aktivnosti ± *2σ* [Bq/kg]**		
n/N	***prosjek***	***minimum***	***maksimum***
26/26	15,6 ± 3,8	1,3 ± 0,1	35,1 ± 0,2

Tablica 1. Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs

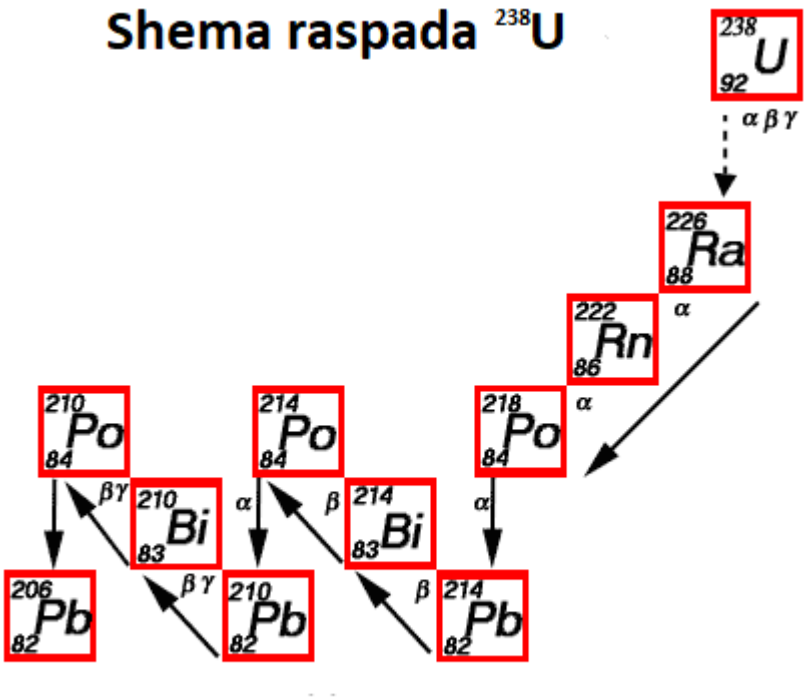


Grafikon 1. Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs

Izmjerene koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u području Parka prirode Papuk su niske i ne predstavljaju radiološki rizik. Usporedbe radi, koncentracija aktivnosti ^{137}Cs izmjerena u uzorcima mahovine prikupljene na stablu tijekom 2015. i 2016. godine u Zagrebu iznosi 23,6 ± 0,8 Bq/kg [16]. Veće koncentracije su izmjerene u šumskim područjima (lokacija 23 i 24), na području izletišta Orah, jer se cezij duže zadržava u šumskim područjima.

7.2. Prirodni radionuklidi – uranijev niz

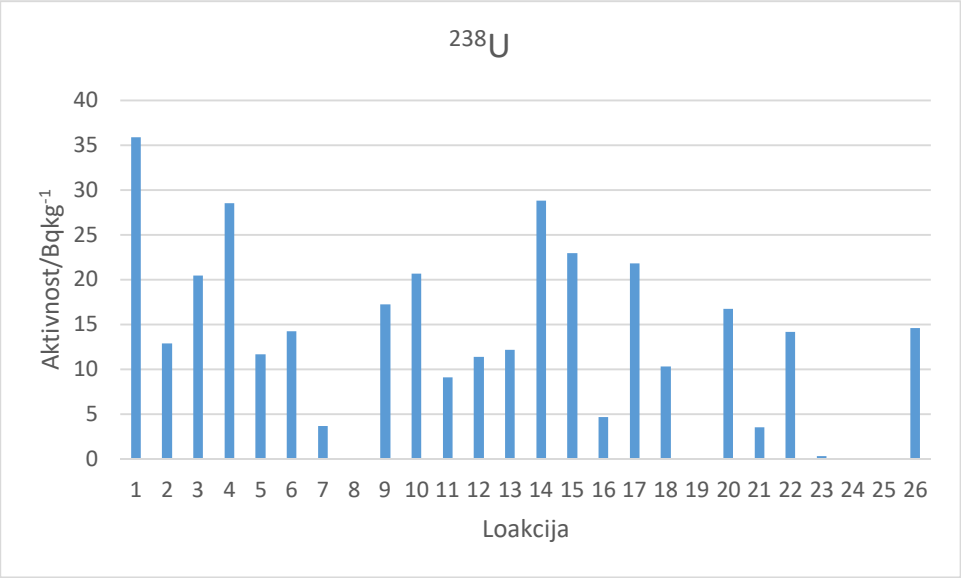
Prirodni uranij se sastoji od tri izotopa: ^{238}U, ^{235}U i ^{234}U koji su radioaktivni. Jezgre uranija su nestabilne, što znači da se transformiraju u druge elemente, emitirajući zračenje. ^{238}U je najčešći izotop u uranijevoj rudi i ima vrijeme poluraspada od oko 4,5 milijardi godina. ^{238}U je djelomično topljiv u vodi, dok njegov potomak ^{226}Ra iz tla lako dospijeva u biljke te se na taj način prenosi na životinje i ljude. Vrijeme poluraspada ^{226}Ra je 1600 godina. Daljnjim raspadom ^{226}Ra na ^{222}Rn nastaje ^{210}Pb. Raspad ^{238}U završava stabilnim ^{206}Pb. Shema raspada ^{238}U nalazi se na slici 13.



Slika 13. Shema raspada ^{238}U [20]

^{238}U	**Koncentracija aktivnosti ± *2σ* [Bq/kg]**		
n/N	***prosjek***	***minimum***	***maksimum***
22/26	15,3 ± 3,5	0,3 ± 0,2	35,9 ± 7,5

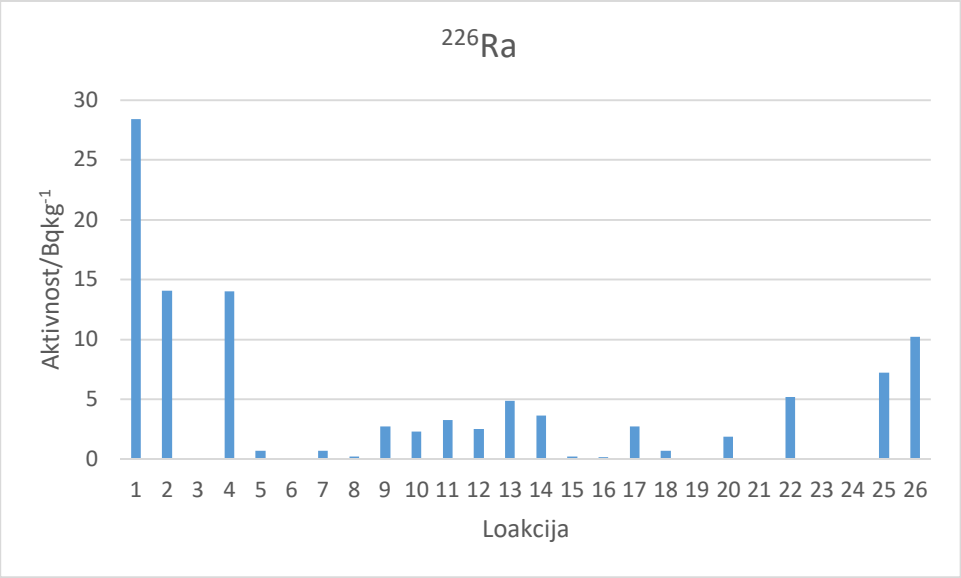
Tablica 2. Koncentracija aktivnosti ^{238}U



Grafikon 2. Koncentracija aktivnosti ^{238}U

^{226}Ra	**Koncentracija aktivnosti ± *2σ* [Bq/kg]**		
n/N	***prosjek***	***minimum***	***maksimum***
20/26	5,3 ± 2,7	0,2 ± 0,1	28,4 ± 2,4

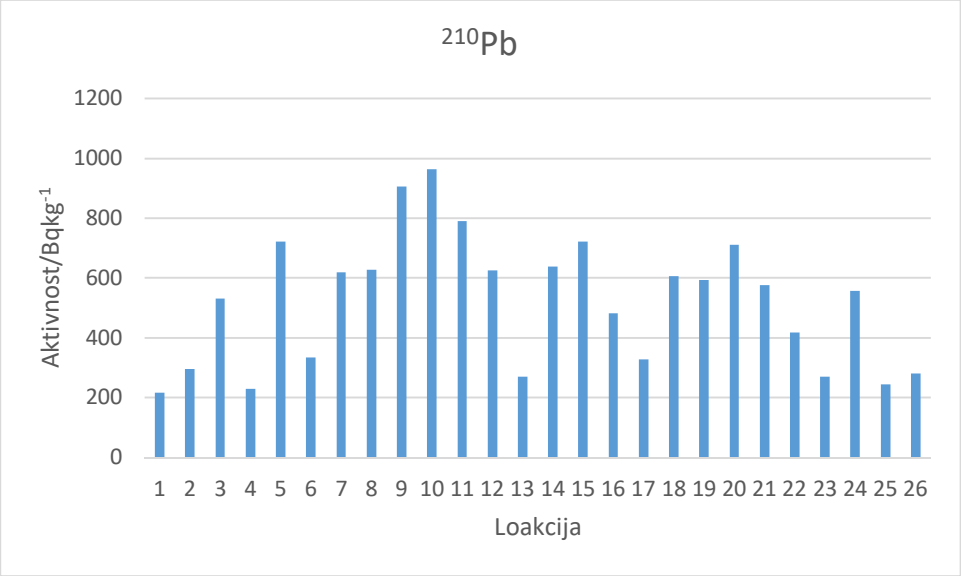
Tablica 3. Koncentracija aktivnosti ^{226}Ra



Grafikon 3. Koncentracija aktivnosti ^{226}Ra

^{210}Pb	**Koncentracija aktivnosti ± *2σ* [Bq/kg]**		
n/N	***prosjek***	***minimum***	***maksimum***
26/26	520,7 ± 84.8	215,2 ± 17,0	962,1 ± 21,5

Tablica 4. Koncentracija aktivnosti ^{210}Pb



Grafikon 4. Koncentracija aktivnosti ^{210}Pb

Gore su prikazani rezultati mjerenja koncentracija aktivnosti ^{238}U, ^{226}Ra i ^{210}Pb. Zbog blizine površinskih kopova kamenoloma, na karti označeni s K1 i K2 mahovine su na sebi zadržale ^{238}U. Iako postoji utjecaj obližnjeg kamenoloma kao izvora ^{238}U, njegov utjecaj je zanemariv. Uz ^{238}U, na ispitivanome području izmjerene su koncentracije aktivnosti ^{226}Ra koje variraju od 0,2 do 28,4 Bq/kg, te koncentracije aktivnosti ^{210}Pb koje variraju od 215,2 do 962,1 Bq/kg. Za koncentraciju aktivnosti prirodnih radionuklida niza raspada ^{238}U izračunat je Pearsonov koeficijent korelacije. Između koncentracija aktivnosti ^{226}Ra i ^{210}Pb koeficijent korelacije iznosi -0,64 što predstavlja dobru negativnu korelaciju. Koeficijent korelacije između koncentracije aktivnosti ^{238}U i ^{226}Ra iznosi 0,60 što predstavlja dobru pozitivnu korelaciju.

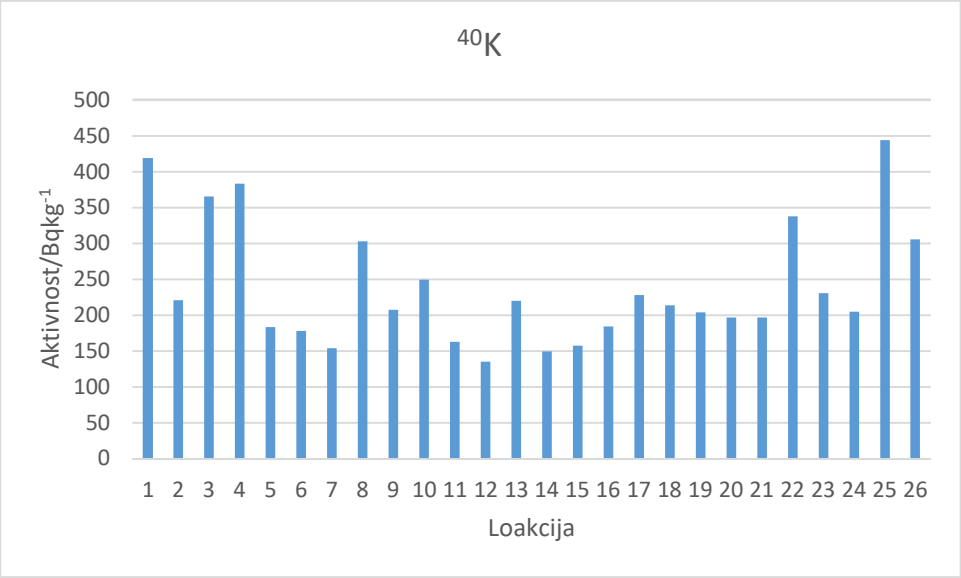
7.3 ^{40}K

Kalij je kemijski element koji je sveprisutan u biljnom i životinjskom svijetu. Visoko je zastupljen u Zemljinoj kori. Prirodni izotop kalija je ^{40}K te njegova koncentracija u Zemljinoj kori iznosi oko 1.8 mg/kg. ^{40}K ima vrijeme poluraspada je 1.3 milijardi godina. ^{40}K lako dospijeva u

hranu jer se nalazi u tlu i koristi u proizvodnji umjetnih gnojiva. U biljne i životinjske organizme dospijeva putem uobičajenih bioloških procesa. [21]

^{40}K	**Koncentracija aktivnosti ± *2σ* [Bq/kg]**		
n/N	***prosjek***	***minimum***	***maksimum***
26/26	239,2 ± 33,8	134,3 ± 3,8	443,0 ± 9,8

Tablica 5. Koncentracija aktivnosti ^{40}K



Grafikon 5. Koncentracija aktivnosti ^{40}K

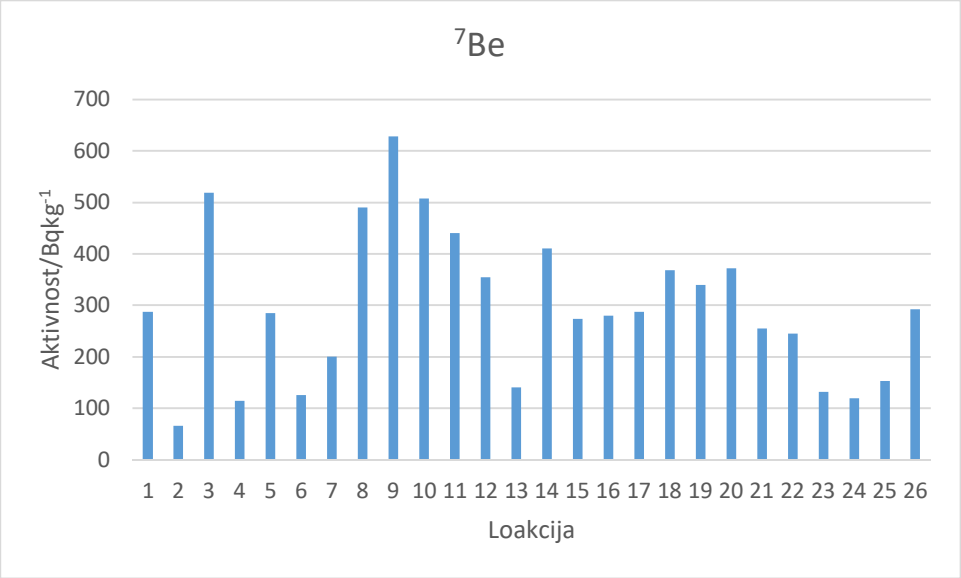
Iz rezultata mjerenja je vidljivo kako je koncentracija ^{40}K izmjerena na svim mjestima uzorkovanja, što je bilo i predviđeno, jer je ^{40}K prirodni radionuklid. Izmjerene koncentracije na ispitivanome području variraju od 134,3 do 443,0 Bq/kg.

7.4. ^{7}Be

^{7}Be nastaje interakcijom kozmičkog zračenja s kisikom i dušikom u atmosferi. Vrijeme poluraspada ^{7}Be je 53,3 dana. Mjerenja aktivnosti ^{7}Be služe za kratkoročno proučavanje gibanja zračnih masa u atmosferi.[22]

^{7}Be	**Koncentracija aktivnosti ± *2σ* [Bq/kg]**		
n/N	***prosjek***	***minimum***	***maksimum***
26/26	295,0 ± 56,8	65,0 ± 5,6	627,1 ± 11,4

Tablica 6. Koncentracija aktivnosti ^{40}K



Grafikon 6. Koncentracija aktivnosti ^{7}Be

Provedenim mjerenjima na ispitivanome području na svim lokacijama su izmjerene koncentracije aktivnosti ^{7}Be. Vrijednosti variraju od 65,0 do 671,0 Bq/kg.

7.5. Radionuklidi na izletištu Orah

Kako je i ranije spomenuto izletište Orah se nalazi u području Parka prirode Papuk, te ga tijekom sezone posjeti velik broj ljudi. U tablici 7. nalaze se srednje izmjerene vrijednosti koncentracije aktivnosti radionuklida izmjerene na lokacijama 23 i 24.

	Koncentracija aktivnosti ± *2σ* [Bq/kg]
Radionuklid	***prosjek***
^{7}Be	125,1 ± 13,2
^{40}K	217,0 ± 26,0
^{137}Cs	31,0 ± 8,8
^{210}Pb	412,0 ± 285,8
^{226}Ra	nije izmjereno
^{228}Ra	10,0 ± 0,8
^{235}U	0,3 ± 0,1
^{238}U	0,3 ± 0,1

Tablica 7. Koncentracije radionuklida na izletištu Orah

Uvidom u dobivene rezultate vidljivo je kako je su koncentracije prirodnih radionuklida, kojima su izvor obližnji kamenolomi (uranij, radij), niske te se može zaključiti kako obližnji kamenolomi ne predstavljaju opasnost od kontaminacije na izletištu Orah. Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs je viša u odnosu na ostale lokacije zbog činjenice da se izletište Orah nalazi u šumi koja zadržava ^{137}Cs. Iz izmjerenih vrijednosti može se zaključiti kako je područje izletišta Orah radiološki sigurno područje.

8. Zaključak

Ljudi su svakodnevno izloženi prirodnom pozadinskom zračenju, koje potječe od Sunca, iz svemira, tla, hrane, vode, pića, te onom umjetno stvoreno koje dodatno kontaminira okoliš u kojemu se nalazimo.

Analizom podataka dobivenih na uzorkovanome području, izmjerene su koncentracije aktivnosti ^{137}Cs. Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs na ispitivanome području je u prosjeku niža nego ona izmjerena u Zagrebu tijekom 2015. i 2016. godine. Analizom prirodnih radionuklida koji su sastavni dio niza raspada ^{238}U ustanovljeno je kako koncentracija ^{238}U i njegovih potomaka prisutna u uzorcima mahovina. Analizom uzoraka također je utvrđena prisutnost ^{7}Be kozmogenog podrijetla, te ^{40}K kao prirodnog zemljinog radionuklida. Analizom uzoraka uzetih na području izletišta Orah utvrđeno je kako je utjecaj obližnjeg kamenoloma kao izvora zračenja zanemariv.

Mahovine su se pokazale kao vrlo važan bioindikator u ovome istraživanju jer su akumulirale radioaktivnost iz okoliša. Iz rezultata analize mahovina vidljivo je kako na području Parka prirode Papuk nema povećane koncentracije aktivnosti radionuklida te ispitano područje ne predstavlja rizik za ljudsko zdravlje. Kako bi se dobio uvid u prostornu i vremensku razdiobu radionuklida na području cijeloga Parka prirode Papuk, trebalo bi se provesti prostorno i vremenski opsežnije istraživanje.

Literatura

[1] http://www.megon.net/images/spektar.gif Pristupljeno 30.8.2018.

[2] Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC). *Introduction to Radiation*. CNSC, 2012.

[3] http://www.nuclear-power.net Pristupljeno 13.8.2018.

[4] Petrinec B.; Franic Z.; Bituh T.; Babić, D. *Quality Assurance in Gamma-ray Spectrometry of Seabed Sediments.* // Arhiv za higijenu rada i toksikologiju. 62, 2011

[5] http://www.geografija.hr/hrvatska/geomorfologija-krsa-papuka-kap-krsa-u-srcu-slavonije Pristupljeno 13.7.2018.

[6] http://pp-papuk.hr Pristupljeno 13.8.2018.

[7] http://www.geografija.hr/hrvatska/geomorfologija-krsa-papuka-kap-krsa-u-srcu-slavonije 13.8.2018 Pristupljeno 13.8.2018.

[8]https://www.papukgeopark.com/index.php?option=com_content&view=category&id=38&layout=blog&Itemid=75&lang=hr Pristupljeno 14.8.2018.

[9] G.F. Knoll, Radiation Detection and Measurement - 3rd edition , John Wiley & Sons, 1999.

[10] http://2.bp.blogspot.com/_09K0lSeb8oQ/TSUr5D_Ld7I/AAAAAAAAAUo/lzsoosw1wQ0/s400/energetska+barijera.bmp Pristupljeno 30.8.2018.

[11] https://goo.gl/images/qWfUao Pristupljeno 30.8.2018.

[12] https://goo.gl/images/URRDiW Pristupljeno 30.8.2018.

[13] https://goo.gl/images/xfhX6M Pristupljeno 30.8.2018.

[14]https://www.researchgate.net/profile/Jatara_Wise/publication/26903666/figure/fig2/AS:310073411817473@1450938670577/Configuration-of-a-planar-HPGe-detector-The-germanium-semiconductor-may-be-n-type-p.png Pristupljeno 19.8.2018.

[15] http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/4710/11/11_chapter%202.pdf Pristupljeno 23.8.2018.

[16] Babić, D.; Marović, G.; Šoštarić, M., Franić, Z.; Petrinec, B.; Senčar, J. *Radioaktivnost mahovine pokazatelj radiološkog onečišćenja*, Zbornik radova 11. simpozija HRVATSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA, Hrvatsko društvo za zaštitu od zračenja, 2017

[17] Marović, G. The role of bioindicators in assessing radioactive contamination. Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, 1990;41:371-378

[18] Marović, G; Franić, Z; Senčar, J; Bituh, T; Vugrinec, O. *Mosses and some Mushroom Species as Bioindicators of Radiocaesium Contamination and Risk Assessment*. Collegium antropologicum. 2008;32(S2): 109-114.

[19] https://www.epa.gov/radiation/radionuclide-basics-cesium-137#cesiumenvironment Pristupljeno 21.8.2018.

[20]https://www.radtrainonline.com/free/viewslide.asp?CourseID=92&ModuleID=353&SlideID=6297 Pristupljeno 21.8.2018.

[21] Environmental Science Division (EVS) of Argonne National Laboratory. Radiological and Chemical Fact Sheets to Support Health Risk Analyses for Contaminated Areas, 2007.

[22] M. Yoshimori ,*Production and behavior of beryllium 7 radionuclide in the upper atmosphere,* Advances in Space Research 36 (2005)

[23] https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5238602/ Pristupljeno 24.8.2018.

[24] https://i.stack.imgur.com/S237W.png Pristupljeno 30.8.2018.

Životopis

Zovem se Igor Puharić. Rođen sam 28.11.1994.. Pohađao sam osnovnu školu Stjepana Radića u Čaglinu. Nakon osnovne škole pohađao sam Gimnaziju u Požegi opći smjer. Završio sam preddiplomski studij fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Trenutno sam student Diplomskog studija fizike i informatike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

Prilog 1. Rezultati gamaspektrometrijske analize mahovina

Mjesto/Lokacija		***1***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_1***							
Datum uzorkovanja		**od**		***3.4.2018.***		**do**		***3.4.2018.***	
Datum mjerenja		**od**		***10.5.2018.***		**do**		***11.5.2018.***	
Količina uzorka	**kg**	***0,049***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	4,18E+02	±	1,02E+01	<		±		
K	**gkg^{-1}**	1,35E+01	±	3,31E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	2,87E+02	±	1,34E+01	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	3,05E+00	±	3,74E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	2,26E-01	±	2,82E-02					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	2,84E+01	±	2,37E+00	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	2,84E+01	±	2,37E+00	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	9,54E+00	±	5,41E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	3,59E+01	±	7,51E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	8,07E+00	±	3,00E-01	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	9,27E+00	±	6,28E-01	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	7,72E+00	±	3,41E-01	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	2,15E+02	±	1,70E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	1,67E+00	±	3,50E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
ANALIZIRAO				**PREGLEDAO**					
Branko Petrinec									

Mjesto/Lokacija		***2***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_2***							
Datum uzorkovanja		**od**	***3.4.2018.***			**do**	***3.4.2018.***		
Datum mjerenja		**od**	***14.5.2018.***			**do**	***15.5.2018.***		
Količina uzorka	**kg**	***0,147***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	2,20E+02	±	4,69E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	7,11E+00	±	1,52E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	6,50E+01	±	5,58E+00	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	1,08E+01	±	2,81E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	1,52E+00	±	5,10E-02					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	1,40E+01	±	6,79E-01	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,40E+01	±	6,79E-01	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	5,09E+00	±	5,02E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	1,29E+01	±	3,00E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	3,78E+00	±	1,14E-01	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	4,24E+00	±	1,81E-01	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	3,47E+00	±	1,47E-01	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	2,95E+02	±	8,64E+00	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	6,01E-01	±	1,40E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		

ANALIZIRAO	**PREGLEDAO**
Branko Petrinec	

Mjesto/Lokacija		***3***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_3***							
Datum uzorkovanja		**od**	***3.4.2018.***		**do**	***3.4.2018.***			
Datum mjerenja		**od**	***15.5.2018.***		**do**	***16.5.2018.***			
Količina uzorka	**kg**	***0,066***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	3,65E+02	±	9,56E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	1,18E+01	±	3,09E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	5,18E+02	±	1,33E+01	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	3,40E+01	±	7,06E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	2,88E+00	±	9,64E-02					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	1,53E+01	±	1,31E+00	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,53E+01	±	1,31E+00	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	6,18E+00	±	7,09E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	2,05E+01	±	5,39E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	5,31E+02	±	1,77E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	9,55E-01	±	2,52E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
ANALIZIRAO				**PREGLEDAO**					
Branko Petrinec									

Mjesto/Lokacija		***4***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_4***							
Datum uzorkovanja		**od**		***3.4.2018.***		**do**		***3.4.2018.***	
Datum mjerenja		**od**		***16.5.2018.***		**do**		***17.5.2018.***	
Količina uzorka	**kg**	***0,125***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	3,82E+02	±	6,28E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	1,24E+01	±	2,03E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	1,13E+02	±	5,10E+00	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	2,76E+00	±	2,11E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	2,23E-01	±	1,75E-02					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	2,48E+01	±	1,14E+00	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	2,48E+01	±	1,14E+00	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	1,03E+01	±	5,08E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	2,85E+01	±	4,54E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,40E+01	±	3,29E-01	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	1,48E+01	±	5,63E-01	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	1,36E+01	±	4,04E-01	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	2,27E+02	±	9,18E+00	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	1,33E+00	±	2,12E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
ANALIZIRAO				**PREGLEDAO**					
Branko Petrinec									

Mjesto/Lokacija		***5***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_5***							
Datum uzorkovanja		**od**		***3.4.2018.***		**do**		***3.4.2018.***	
Datum mjerenja		**od**		***17.5.2018.***		**do**		***18.5.2018.***	
Količina uzorka	**kg**	***0,104***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	1,82E+02	±	4,93E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	5,90E+00	±	1,59E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	2,85E+02	±	9,05E+00	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	2,51E+01	±	4,69E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	4,25E+00	±	1,40E-01					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	1,25E+01	±	9,05E-01	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,25E+01	±	9,05E-01	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	6,40E+00	±	5,03E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	1,17E+01	±	3,30E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	6,40E-01	±	2,65E-02	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	5,23E-01	±	3,43E-02	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	8,10E-01	±	4,16E-02	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	7,21E+02	±	1,42E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	5,46E-01	±	1,54E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		

ANALIZIRAO	**PREGLEDAO**
Branko Petrinec	

Mjesto/Lokacija		***6***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_6***							
Datum uzorkovanja		**od**	***3.4.2018.***			**do**	***3.4.2018.***		
Datum mjerenja		**od**	***21.5.2018.***			**do**	***22.5.2018.***		
Količina uzorka	**kg**	***0,086***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	1,78E+02	±	5,82E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	5,75E+00	±	1,88E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	1,25E+02	±	9,03E+00	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	6,75E+00	±	3,34E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	1,17E+00	±	6,96E-02					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	9,25E+00	±	1,23E+00	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	9,25E+00	±	1,23E+00	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	1,27E+00	±	3,39E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	1,42E+01	±	3,62E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	3,34E+02	±	1,24E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	6,64E-01	±	1,69E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
ANALIZIRAO				**PREGLEDAO**					
Branko Petrinec									

Mjesto/Lokacija		***7***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_7***							
Datum uzorkovanja		**od**	***3.4.2018.***			**do**	***3.4.2018.***		
Datum mjerenja		**od**	***22.5.2018.***			**do**	***23.5.2018.***		
Količina uzorka	**kg**	***0,130***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	1,53E+02	±	4,49E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	4,95E+00	±	1,45E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	2,00E+02	±	6,35E+00	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	2,28E+01	±	3,95E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	4,59E+00	±	1,57E-01					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	1,00E+01	±	6,78E-01	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,00E+01	±	6,78E-01	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	3,59E+00	±	3,20E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	3,70E+00	±	1,55E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	2,43E+00	±	9,06E-02	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	3,31E+00	±	2,09E-01	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	2,22E+00	±	1,01E-01	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	6,18E+02	±	1,17E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	1,73E-01	±	7,24E-02	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		

ANALIZIRAO	**PREGLEDAO**
Branko Petrinec	

Mjesto/Lokacija		***8***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_8***							
Datum uzorkovanja		**od**	***3.4.2018.***			**do**	***3.4.2018.***		
Datum mjerenja		**od**	***23.5.2018.***			**do**	***24.5.2018.***		
Količina uzorka	**kg**	***0,150***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	3,03E+02	±	5,06E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	9,79E+00	±	1,64E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	4,90E+02	±	8,38E+00	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	5,47E+00	±	2,12E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	5,58E-01	±	2,36E-02					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	6,66E+00	±	5,89E-01	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	6,66E+00	±	5,89E-01	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	2,05E+00	±	2,41E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,75E-01	±	1,06E-02	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	1,43E-01	±	1,09E-02	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	6,42E-01	±	4,18E-02	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	6,26E+02	±	1,11E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
ANALIZIRAO				**PREGLEDAO**					
Branko Petrinec									

Mjesto/Lokacija		***9***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_9***							
Datum uzorkovanja		**od**		***30.4.2018.***		**do**		***30.4.2018.***	
Datum mjerenja		**od**		***24.5.2018.***		**do**		***25.5.2018.***	
Količina uzorka	**kg**	***0,066***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	2,07E+02	±	7,57E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	6,68E+00	±	2,45E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	6,27E+02	±	1,14E+01	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	2,31E+01	±	5,97E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	3,45E+00	±	1,55E-01					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	1,53E+01	±	1,34E+00	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,53E+01	±	1,34E+00	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	5,85E+00	±	7,63E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	1,72E+01	±	4,93E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	2,69E+00	±	1,60E-01	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	2,82E+00	±	2,78E-01	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	2,63E+00	±	1,96E-01	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	9,06E+02	±	2,05E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	8,03E-01	±	2,30E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		

ANALIZIRAO	**PREGLEDAO**
Branko Petrinec	

Mjesto/Lokacija		***10***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_10***							
Datum uzorkovanja		**od**	***30.4.2018.***		**do**	***30.4.2018.***			
Datum mjerenja		**od**	***24.5.2018.***		**do**	***25.5.2018.***			
Količina uzorka	**kg**	***0,064***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	2,49E+02	±	7,42E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	8,06E+00	±	2,40E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	5,07E+02	±	1,11E+01	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	1,09E+01	±	4,76E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	1,35E+00	±	7,13E-02					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	1,46E+01	±	1,33E+00	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,46E+01	±	1,33E+00	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	6,90E+00	±	7,55E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	2,07E+01	±	5,48E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	2,27E+00	±	9,72E-02	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	1,70E+00	±	1,38E-01	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	2,82E+00	±	1,37E-01	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	9,62E+02	±	2,15E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	9,65E-01	±	2,56E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		

ANALIZIRAO	**PREGLEDAO**
Branko Petrinec	

Mjesto/Lokacija		***11***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_11***							
Datum uzorkovanja		**od**	***30.4.2018.***			**do**	***30.4.2018.***		
Datum mjerenja		**od**	***4.6.2018.***			**do**	***5.6.2018.***		
Količina uzorka	**kg**	***0,145***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	1,62E+02	±	4,23E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	5,24E+00	±	1,37E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	4,40E+02	±	6,60E+00	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	6,81E+00	±	2,41E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	1,30E+00	±	5,71E-02					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	9,39E+00	±	7,00E-01	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	9,39E+00	±	7,00E-01	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	3,70E+00	±	3,63E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	9,08E+00	±	2,69E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	3,25E+00	±	1,14E-01	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	4,71E+00	±	2,70E-01	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	2,93E+00	±	1,26E-01	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	7,90E+02	±	1,20E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	4,24E-01	±	1,25E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		

ANALIZIRAO	**PREGLEDAO**
Branko Petrinec	

Mjesto/Lokacija		***12***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_12***							
Datum uzorkovanja		**od**	***30.4.2018.***			**do**	***30.4.2018.***		
Datum mjerenja		**od**	***5.6.2018.***			**do**	***6.6.2018.***		
Količina uzorka	**kg**	***0,141***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	1,34E+02	±	3,82E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	4,34E+00	±	1,24E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	3,54E+02	±	7,55E+00	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	7,76E+00	±	2,55E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	1,79E+00	±	7,77E-02					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	8,58E+00	±	7,11E-01	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	8,58E+00	±	7,11E-01	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	2,91E+00	±	2,84E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	1,14E+01	±	3,30E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	2,51E+00	±	9,48E-02	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	3,75E+00	±	2,55E-01	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	2,31E+00	±	1,02E-01	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	6,24E+02	±	1,15E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	5,31E-01	±	1,54E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		

ANALIZIRAO	**PREGLEDAO**
Branko Petrinec	

Mjesto/Lokacija		***13***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_13***							
Datum uzorkovanja		**od**		***30.4.2018.***		**do**		***30.4.2018.***	
Datum mjerenja		**od**		***6.6.2018.***		**do**		***7.6.2018.***	
Količina uzorka	**kg**	***0,062***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	2,20E+02	±	7,39E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	7,10E+00	±	2,39E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	1,40E+02	±	1,04E+01	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	2,10E+01	±	6,13E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	2,95E+00	±	1,32E-01					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	1,63E+01	±	1,32E+00	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,63E+01	±	1,32E+00	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	5,27E+00	±	7,52E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	1,22E+01	±	4,06E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	4,84E+00	±	1,73E-01	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	4,16E+00	±	2,73E-01	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	5,29E+00	±	2,24E-01	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	2,69E+02	±	1,47E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	5,69E-01	±	1,89E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
ANALIZIRAO				**PREGLEDAO**					
Branko Petrinec									

Mjesto/Lokacija		***14***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_14***							
Datum uzorkovanja		**od**	***30.4.2018.***			**do**	***30.4.2018.***		
Datum mjerenja		**od**	***7.6.2018.***			**do**	***8.6.2018.***		
Količina uzorka	**kg**	***0,082***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	1,49E+02	±	5,69E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	4,82E+00	±	1,84E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	4,09E+02	±	9,12E+00	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	2,11E+01	±	5,07E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	4,38E+00	±	1,97E-01					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	1,07E+01	±	1,16E+00	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,07E+01	±	1,16E+00	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	2,96E+00	±	3,93E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	2,88E+01	±	1,13E+01	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	3,64E+00	±	1,30E-01	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	3,13E+00	±	2,05E-01	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	3,98E+00	±	1,68E-01	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	6,38E+02	±	2,63E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	1,34E+00	±	5,26E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
ANALIZIRAO				**PREGLEDAO**					
Branko Petrinec									

Mjesto/Lokacija		***15***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_15***							
Datum uzorkovanja		**od**	***30.4.2018.***			**do**	***30.4.2018.***		
Datum mjerenja		**od**	***8.6.2018.***			**do**	***9.6.2018.***		
Količina uzorka	**kg**	***0,109***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	1,57E+02	±	4,92E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	5,07E+00	±	1,59E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	2,73E+02	±	7,34E+00	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	1,30E+01	±	3,61E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	2,57E+00	±	1,07E-01					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	1,16E+01	±	7,98E-01	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,16E+01	±	7,98E-01	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	3,63E+00	±	2,39E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	2,30E+01	±	5,82E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	2,00E-01	±	1,03E-02	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	1,48E+00	±	1,44E-01	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	1,94E-01	±	1,04E-02	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	7,21E+02	±	1,55E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	1,07E+00	±	2,71E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
ANALIZIRAO				**PREGLEDAO**					
Branko Petrinec									

Mjesto/Lokacija		***16***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_16***							
Datum uzorkovanja		**od**		***30.4.2018.***		**do**		***30.4.2018.***	
Datum mjerenja		**od**		***12.6.2018.***		**do**		***13.6.2018.***	
Količina uzorka	**kg**	***0,077***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	1,84E+02	±	6,47E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	5,95E+00	±	2,09E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	2,80E+02	±	1,38E+01	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	1,33E+01	±	5,20E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	2,23E+00	±	1,18E-01					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	8,58E+00	±	1,06E+00	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	8,58E+00	±	1,06E+00	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	6,34E+00	±	7,93E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	4,64E+00	±	2,21E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,50E-01	±	9,40E-03	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	1,54E-01	±	9,40E-03	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	4,82E+02	±	1,60E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	2,16E-01	±	1,03E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
ANALIZIRAO				**PREGLEDAO**					
Branko Petrinec									

Mjesto/Lokacija		***17***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_17***							
Datum uzorkovanja		**od**		***30.4.2018.***		**do**		***30.4.2018.***	
Datum mjerenja		**od**		***13.6.2018.***		**do**		***14.6.2018.***	
Količina uzorka	**kg**	***0,077***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	2,28E+02	±	7,94E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	7,36E+00	±	2,57E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	2,87E+02	±	1,14E+01	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	2,50E+01	±	5,89E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	3,40E+00	±	1,43E-01					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	8,14E+00	±	8,84E-01	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	8,14E+00	±	8,84E-01	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	3,43E+00	±	4,96E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	2,18E+01	±	5,26E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	2,68E+00	±	1,28E-01	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	2,24E+00	±	3,40E-01	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	2,76E+00	±	1,38E-01	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	3,26E+02	±	1,45E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	1,02E+00	±	2,45E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		

ANALIZIRAO	**PREGLEDAO**
Branko Petrinec	

Mjesto/Lokacija		***18***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_18***							
Datum uzorkovanja		**od**	***30.4.2018.***		**do**	***30.4.2018.***			
Datum mjerenja		**od**	***14.6.2018.***		**do**	***15.6.2018.***			
Količina uzorka	**kg**	***0,065***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	2,14E+02	±	7,82E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	6,91E+00	±	2,53E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	3,68E+02	±	1,18E+01	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	2,47E+01	±	5,99E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	3,57E+00	±	1,57E-01					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	1,73E+01	±	1,83E+00	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,73E+01	±	1,83E+00	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	4,77E+00	±	7,70E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	1,03E+01	±	3,88E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	6,82E-01	±	4,60E-02	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	9,36E-01	±	4,83E-02	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	6,06E+02	±	1,86E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	4,82E-01	±	1,81E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		

ANALIZIRAO	**PREGLEDAO**
Branko Petrinec	

Mjesto/Lokacija		***19***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_19***							
Datum uzorkovanja		**od**	***30.4.2018.***		**do**	***30.4.2018.***			
Datum mjerenja		**od**	***15.6.2018.***		**do**	***16.6.2018.***			
Količina uzorka	**kg**	***0,057***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	2,03E+02	±	7,45E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	6,57E+00	±	2,41E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	3,39E+02	±	1,39E+01	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	2,47E+01	±	6,54E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	3,76E+00	±	1,70E-01					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	1,41E+01	±	1,65E+00	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,41E+01	±	1,65E+00	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	8,93E+00	±	8,53E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	5,93E+02	±	2,00E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
ANALIZIRAO				**PREGLEDAO**					
Branko Petrinec									

Mjesto/Lokacija		***20***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_20***							
Datum uzorkovanja		**od**		***30.4.2018.***		**do**		***30.4.2018.***	
Datum mjerenja		**od**		***20.6.2018.***		**do**		***21.6.2018.***	
Količina uzorka	**kg**	***0,085***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	1,96E+02	±	6,33E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	6,34E+00	±	2,05E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	3,71E+02	±	1,23E+01	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	1,24E+01	±	4,09E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	1,95E+00	±	9,01E-02					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	1,19E+01	±	8,99E-01	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,19E+01	±	8,99E-01	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	3,36E+00	±	3,43E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	1,67E+01	±	4,22E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,84E+00	±	7,81E-02	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	1,30E+00	±	8,64E-02	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	4,27E+00	±	1,83E-01	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	7,11E+02	±	1,60E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	7,80E-01	±	1,97E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
ANALIZIRAO				**PREGLEDAO**					
Branko Petrinec									

Mjesto/Lokacija		***21***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_21***							
Datum uzorkovanja		**od**		***30.4.2018.***		**do**		***30.4.2018.***	
Datum mjerenja		**od**		***21.6.2018.***		**do**		***22.6.2018.***	
Količina uzorka	**kg**	***0,091***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	1,96E+02	±	4,45E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	6,34E+00	±	1,44E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	2,54E+02	±	1,16E+01	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	1,60E+01	±	4,15E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	2,52E+00	±	8,70E-02					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	1,14E+01	±	1,08E+00	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,14E+01	±	1,08E+00	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	4,96E+00	±	5,76E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	3,53E+00	±	1,65E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	1,17E+00	±	5,96E-02	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	5,75E+02	±	1,49E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	1,65E-01	±	7,70E-02	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		

ANALIZIRAO	**PREGLEDAO**
Branko Petrinec	

Mjesto/Lokacija		***22***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_22***							
Datum uzorkovanja		**od**		***30.4.2018.***		**do**		***30.4.2018.***	
Datum mjerenja		**od**		***22.6.2018.***		**do**		***23.6.2018.***	
Količina uzorka	**kg**	***0,088***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	3,37E+02	±	7,21E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	1,09E+01	±	2,33E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	2,44E+02	±	1,11E+01	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	7,55E+00	±	3,37E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	6,92E-01	±	3,42E-02					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	1,35E+01	±	8,30E-01	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,35E+01	±	8,30E-01	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	5,26E+00	±	6,41E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	1,42E+01	±	4,03E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	5,19E+00	±	1,92E-01	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	4,78E+00	±	3,61E-01	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	5,34E+00	±	2,26E-01	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	4,17E+02	±	1,34E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	6,62E-01	±	1,88E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		

ANALIZIRAO	**PREGLEDAO**
Branko Petrinec	

Mjesto/Lokacija		***23***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_23***							
Datum uzorkovanja		**od**	***4.5.2018.***		**do**	***4.5.2018.***			
Datum mjerenja		**od**	***23.6.2018.***		**do**	***24.6.2018.***			
Količina uzorka	**kg**	***0,059***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	2,30E+02	±	7,46E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	7,44E+00	±	2,41E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	1,32E+02	±	1,11E+01	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	2,63E+01	±	6,48E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	3,53E+00	±	1,44E-01					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	1,04E+01	±	1,44E+00	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,04E+01	±	1,44E+00	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	1,58E+00	±	2,59E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	3,37E-01	±	1,85E-01	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	2,70E+02	±	1,53E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	1,57E-02	±	8,64E-03	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
ANALIZIRAO				**PREGLEDAO**					
Branko Petrinec									

Mjesto/Lokacija		***24***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_24***							
Datum uzorkovanja		**od**	***4.5.2018.***			**do**	***4.5.2018.***		
Datum mjerenja		**od**	***26.6.2018.***			**do**	***27.6.2018.***		
Količina uzorka	**kg**	***0,061***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	2,04E+02	±	7,11E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	6,60E+00	±	2,30E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	1,19E+02	±	1,20E+01	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	3,51E+01	±	7,31E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	5,32E+00	±	2,16E-01					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	9,57E+00	±	1,28E+00	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	9,57E+00	±	1,28E+00	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	2,11E+00	±	5,49E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	2,27E+00	±	2,17E-01	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	5,56E+02	±	1,84E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
ANALIZIRAO				**PREGLEDAO**					
Branko Petrinec									

Mjesto/Lokacija		***25***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_25***							
Datum uzorkovanja		**od**	***4.5.2018.***			**do**	***4.5.2018.***		
Datum mjerenja		**od**	***27.6.2018.***			**do**	***28.6.2018.***		
Količina uzorka	**kg**	***0,069***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	4,43E+02	±	9,82E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	1,43E+01	±	3,18E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	1,53E+02	±	1,70E+01	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	5,76E+00	±	3,84E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	4,02E-01	±	2,82E-02					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	2,24E+01	±	1,68E+00	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	2,24E+01	±	1,68E+00	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	9,32E+00	±	8,12E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	7,20E+00	±	2,62E-01	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	8,79E+00	±	5,60E-01	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	6,76E+00	±	2,97E-01	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	2,44E+02	±	1,39E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
ANALIZIRAO				**PREGLEDAO**					
Branko Petrinec									

Mjesto/Lokacija		***26***							
Opis uzorka		***Mahovina***							
Oznaka uzorka		***L1858_26***							
Datum uzorkovanja		**od**	***4.5.2018.***			**do**	***4.5.2018.***		
Datum mjerenja		**od**	***28.6.2018.***			**do**	***29.6.2018.***		
Količina uzorka	**kg**	***0,106***							
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI		**a**	**±**	**2σ**		**DL**	**±**	**2σ**	**NAPOMENA**
^{40}K	**Bqkg^{-1}**	3,05E+02	±	6,51E+00	<		±		
K	**gkg^{-1}**	9,86E+00	±	2,11E-01					
^{7}Be	**Bqkg^{-1}**	2,92E+02	±	1,02E+01	<		±		
^{137}Cs	**Bqkg^{-1}**	1,34E+00	±	1,95E-01	<		±		
^{137}Cs	**Bqg^{-1} (K)**	1,36E-01	±	2,00E-02					
^{134}Cs	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}Cs	**Bqg^{-1} (K)**		±						
^{232}Th	**Bqkg^{-1}**	1,99E+01	±	9,95E-01	<		±		
^{228}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,99E+01	±	9,95E-01	<		±		
^{208}Tl	**Bqkg^{-1}**	6,24E+00	±	4,93E-01	<		±		
^{238}U	**Bqkg^{-1}**	1,46E+01	±	4,02E+00	<		±		
^{226}Ra	**Bqkg^{-1}**	1,02E+01	±	2,94E-01	<		±		
^{214}Pb	**Bqkg^{-1}**	1,16E+01	±	6,24E-01	<		±		
^{214}Bi	**Bqkg^{-1}**	9,76E+00	±	3,34E-01	<		±		
^{210}Pb	**Bqkg^{-1}**	2,81E+02	±	1,08E+01	<		±		
^{235}U	**Bqkg^{-1}**	6,82E-01	±	1,88E-01	<		±		
^{131}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{132}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{133}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{134}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		
^{135}I	**Bqkg^{-1}**		±		<		±		

ANALIZIRAO	**PREGLEDAO**
Branko Petrinec	

Prilog 2. Podaci o koordinatama, nadmorskoj visini i udaljenosti od kamenoloma lokacija uzorkovanja

Lokacija	Latitude	Longitude	Nadmorska visina/m	Udaljenost/m
1	45,50325	17,802567	378	315
2	45,503606	17,805261	356	132
3	45,504194	17,805261	318	736
4	45,505167	17,819425	304	1015
5	45,507381	17,820986	310	1216
6	45,510339	17,824244	311	939
7	45,512578	17,827342	294	604
8	45,514822	17,830992	297	302
9	45,504747	17,808039	374	199
10	45,504919	17,80945	364	273
11	45,504839	17,810531	352	347
12	45,504853	17,813097	344	533
13	45,505069	17,816747	333	802
14	45,505922	17,815808	379	765
15	45,506825	17,819208	327	1057
16	45,508044	17,821067	327	1269
17	45,511472	17,825011	340	832
18	45,512339	17,826325	324	696
19	45,513961	17,829103	303	439
20	45,514822	17,830172	314	366
21	45,516242	17,832675	300	270
22	45,517478	17,833986	294	346
23	45,515794	17,858392	254	1849
24	45,515233	17,859492	256	1954
25	45,510603	17,827986	312	679
26	45,511567	17,829519	302	516