



**Univerzitet u Novom Sadu  
Prirodno-matematički fakultet  
Departman za fiziku**

**Katedra za nuklearnu fiziku**  
Laboratorija za ispitivanje radioaktivnosti uzoraka i  
doze jonizujućeg i nejonizujućeg zračenja  
**21000 Novi Sad, Trg D.Obradovića 4**  
**TEL:021 455 318**  
**FAX:021 459 367**

Prof. dr Ištvan Bikit, Prof. dr Nataša Todorović, Doc. dr Dušan Mrđa,  
mr Sofija Forkapić, Nikola Jovančević, Jovana Nikolov, Jan Hansman

**ZAVRŠNI IZVEŠTAJ O REALIZACIJI PREDMETA UGOVORA**

**MERENJE RADIOAKTIVNOSTI ZEMLJIŠTA NA  
TERITORIJI AP VOJVODINE U 2010. GODINI**

**ZA POKRAJINSKI SEKRETARIJAT ZA ZAŠTITU ŽIVOTNE SREDINE  
I ODRŽIVI RAZVOJ, REPUBLIKA SRBIJA, AUTONOMNA  
POKRAJINA VOJVODINA – KOORDINATOR PROJEKTA**

**Novi Sad, decembar 2010.**

Ovaj izveštaj je napravljen u skladu sa Ugovorom

Sa Fondom za zaštitu životne sredine, Republika Srbija, Novi Beograd, dr Ivana Ribara 91 i Pokrajinskim sekretarijatom za zaštitu životne sredine i održivi razvoj, Republika Srbija, AP Vojvodina, Bulevar mihajla Pupina 16

**(ugovor br. 401-00-624/2010-01/1 od dana 22. 07. 2010. godine)**

Merenje i analizu rezultata izvršila je akreditovana Laboratorija za ispitivanje radioaktivnosti uzoraka i doze jonizujućeg i nejonizujućeg zračenja, Departmana za fiziku Prirodnomatematickog fakulteta

u Novom Sadu

## Sadržaj:

1. Prirodna radioaktivnost.....	4
2. Radioaktivnost zemljišta.....	9
3. Metodologija merenja.....	10
4. Rezultati merenja.....	14
4.1 Transfer faktor radionuklida iz zemljišta u biljke....	22
5. Analiza dobijenih rezultata.....	26
6. Zaključak i predlog mera.....	44
Literatura.....	46
Prilozi:	47
Sertifikat o akreditaciji Laboratorije za ispitivanje	
Rešenje o obimu akreditacije	

## 1. Prirodna radioaktivnost

Radioaktivni elementi (radionuklidi) se u prirodi nalaze u vazduhu, vodi i zemljištu i predstavljaju sastavne delove stena i zemljišta, mora i okeana, građevinskih materijala. Ne postoji mesto na Zemlji gde nema prirodne radioaktivnosti. Postoji preko 1500 različitih radionuklida koji se mogu podeliti u tri kategorije:

1. Primordijalni (prvobitni) – od pre nastanka Zemlje
2. Kosmogeni – nastali kao rezultat interakcije kosmičkih zraka
3. Veštački – nastali kao rezultat ljudskog delovanja

Pojava prirodne radioaktivnosti vezana je za proces sinteze jezgara. Prva jezgra, i to uglavnom ona najlakša, formirana su pre nekoliko milijardi godina, kada je po nekim teorijama nastao Svemir, a proces nukleonsinteze se od tog momenta kontinuirano odvija u središtima zvezda. Tom prilikom, osim poznatih stabilnih jezgara, formira se i veliki broj nestabilnih. Geološka starost planete Zemlje je dovoljno duga tako da se najveći deo nestabilnih jezgara koji je ušao u njen sastav prilikom formiranja sunčevog sistema već raspao. Do današnjih dana, preživeli su neki dugoživeći izotopi, sa periodom poluraspada većim od 500 miliona godina, kao na primer  $^{40}\text{K}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  itd.

Većina radionuklida koji postoje na Zemlji se mogu grupisati u tri prirodne radioaktivne familije, ili niza. To su uranijum-radijumski, uranijum-aktinijumski i torijumski niz. Osim ova tri, u laboratorijskim uslovima, je putem nuklearnih reakcija stvoren i četvrti, neptunijumski niz. Prirodni radioaktivni nizovi nastaju raspadom tri radioizotopa  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$  koji se zbog svog dugog perioda poluraspada još uvek nalaze u prirodi. Potomci ovih izotopa su takođe nestabilni pa se raspadaju, stvarajući nova nestabilna lakša jezgra, sve do stabilnog izotopa, na kome se niz završava. Osnovni procesi transformacije jezgara kod ovih nizova su alfa i beta raspad. Osnovne karakteristike četiri radioaktivna niza, date su u Tabeli 1.

Tabela 1. Neke od osnovnih karakteristika radioaktivnih nizova

ime niza	polazno jezgro	period poluraspada [godina]	krajnji član
torijumov	$^{232}\text{Th}$	$1.4 \cdot 10^{10}$	$^{208}\text{Pb}$
uranijum-radijumov	$^{238}\text{U}$	$4.5 \cdot 10^9$	$^{206}\text{Pb}$
uranijum-aktinijumov	$^{235}\text{U}$	$7.2 \cdot 10^8$	$^{207}\text{Pb}$

U Tabeli 2 date su osobine nekih od primordijalnih radionuklida. U prirodi se mogu naći i nekoliko nestabilnih radionuklida koji ne pripadaju radioaktivnim nizovima. Radi se o izotopima koji takođe imaju veoma dug period poluraspada, tako da se još uvek mogu pronaći na Zemlji. Od njih je svakako najznačajniji  $^{40}\text{K}$ , koga u prirodnom kalijumu ima samo 0.0117%, no s obzirom da je kalijum kao element veoma zastupljen u zemljinoj kori, prilikom gama spektrometrijskih merenja, neizbežno se detektuje i kalijumova aktivnost koja potiče od mogućeg prisustva kalijuma u uzorku koji se meri, ili od kalijuma koji se nalazi u objektima koji okružuju detektor. Primordijalni radionuklidi koji ne pripadaju radioaktivnim serijama su  $^{50}\text{V}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{113}\text{Cd}$ ,  $^{115}\text{In}$ ,  $^{123}\text{Te}$ ,  $^{138}\text{La}$ ,  $^{142}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Nd}$ ,  $^{147}\text{Sm}$ ,  $^{152}\text{Gd}$ ,  $^{174}\text{Hf}$ ,  $^{176}\text{Lu}$ ,  $^{187}\text{Re}$ ,  $^{190}\text{Pt}$ ,  $^{192}\text{Pt}$ ,  $^{209}\text{Bi}$ .

Tabela 2. Osobine nekih primordijalnih radionuklida

Radionuklid	Simbol	$T_{1/2}$	Prirodna aktivnost
<b>Uranijum 235</b>	$^{235}\text{U}$	$7.04 \times 10^8$ god	0.72% u prirodnom uranu
<b>Uranijum 238</b>	$^{238}\text{U}$	$4.47 \times 10^9$ god	99.2745% u prirodnom uranu; 0.5 do 4.7 ppm urana u stenama
<b>Torijum 232</b>	$^{232}\text{Th}$	$1.41 \times 10^{10}$ god	1.6 to 20 ppm u stenama
<b>Radijum 226</b>	$^{226}\text{Ra}$	$1.60 \times 10^3$ god	0.42 pCi/g (16 Bq/kg) u krečnjaku i 1.3 pCi/g (48 Bq/kg) u vulkanskim stenama
<b>Radon 222</b>	$^{222}\text{Rn}$	3.82 dana	Plemeniti gas, srednja vrednost koncentracije aktivnosti u zemljištu na teritoriji Novog Sada je oko 1000 Bq/m <sup>3</sup>
<b>Kalijum 40</b>	$^{40}\text{K}$	$1.28 \times 10^9$ godina	koncentracija aktivnosti u zemljištu između - 1-30 pCi/g (0.037-1.1 Bq/g)

Raspadom radijumovih jezgara nastaje radon (Rn), radionuklid najznačajniji za "kontaminaciju" atmosfere (posebno zatvorenih prostorija); prirodan, inertan radioaktivni gas, bez ukusa i mirisa, gustine 7.5 puta veće od gustine vazduha, rastvorljiv u vodi ( $T_{1/2}=3.8$  dana,  $\alpha$ -emiter). Raspadom jezgra  $^{222}\text{Rn}$  nastaju kratkoživeći potomci  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ , koji su odgovorni za visok radijacioni, zdravstveni rizik. Oni interaguju sa negativnim jonima prisutnim u atmosferi pripajajući se za prirodne aerosole.

Radioaktivni aerosoli sa dijametrima u intervalu od 0.1 do 10 nm se najbolje talože u ljudskim plućima. Aerosoli većih dimenzija se zadržavaju u nosu i usnoj duplji ne dopirući do osetljivog respiratornog epitela bronhijalnog stabla. Iako imaju mali domet  $\alpha$ -čestice radonovih potomaka deponovanih u plućima su izuzetno opasne zbog velike moći jonizacije. Promene na ćelijskom i molekularnom nivou izazvane jonizujućim zračenjem znatno su izraženije u ranim životnim fazama, što ukazuje na poseban zdravstveni rizik kod dece.

Značajan izvor prirodne radijacije je i kosmičko zračenje. Primarno kosmičko zračenje je galaktičkog i solarnog porekla, a sastoji se naelektrisanih čestica veoma visoke energije. Do zemljine površine ono veoma retko dospeva pošto nestaje u interakcijama u atmosferi, kojom prilikom se stvara sekundarno zračenje. U gornjim slojevima atmosfere nuklearnim reakcijama kosmičkog zračenja sa jezgrima azota i kiseonika dolazi do stvaranja nekolicine radioaktivnih jezgara, kao što su to  $^{14}\text{C}$  i  $^7\text{Be}$ . Nakon toga dolazi do njihovog ravnomernog raspoređivanja putem atmosferskih transportnih procesa te na taj način i oni daju svoj doprinos ukupnoj prirodnoj radioaktivnosti. U kosmogene radionuklide spadaju i  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{80}\text{Kr}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{32}\text{Si}$ ,  $^{39}\text{Ar}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{37}\text{Ar}$ ,  $^{33}\text{P}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{38}\text{Mg}$ ,  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{38}\text{S}$ ,  $^{31}\text{Si}$ ,  $^{18}\text{F}$ ,  $^{39}\text{Cl}$ ,  $^{38}\text{Cl}$ ,  $^{34\text{m}}\text{Cl}$ . U Tabeli 3 date su osobine nekih kosmogenih nuklida.

Tabela 3. Osobine nekih kosmogenih radionuklida

Nuklid	Simbol	$T_{1/2}$	Izvor	Prirodna aktivnost
<b>Ugljenik 14</b>	$^{14}\text{C}$	5730 god	Inetrakcije kosmičkih zraka, $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$	6 pCi/g (0.22 Bq/g) u organskim materijalima
<b>Vodonik 3 (Tricijum)</b>	$^3\text{H}$	12.3 god	Inetrakcije kosmičkih zraka sa N i O, spalacije, $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$	0.032 pCi/kg ( $1.2 \times 10^{-3}$ Bq/kg)
<b>Berilijum 7</b>	$^7\text{Be}$	53.28 dana	Inetrakcije kosmičkih zraka sa N i O	0.27 pCi/kg (0.01 Bq/kg)

Osim prirodnih radioizotopa, u atmosferi, vodi i tlu se mogu naći i neki radionuklidi koji su nastali nakon ljudskih (tehnoloških) aktivnosti. Najbrojnija grupa ovih veštački stvorenih radioizotopa su fisioni produkti (ili fragmenti) koji nastaju nakon cepanja teških jezgara, najčešće uranijuma i torijuma. Fisioni procesi su osnovni izvor energije, kako nuklearnog oružja, tako i procesa koji se odvijaju u reaktorima nuklearnih elektrana. To znači da se putem nadzemnih proba nuklearnog oružja ili tokom havarija u nuklearnim elektranama oslobađa izvesna količina fisionih fragmenata. Najveći broj ovih radionuklida imaju veoma kratak period poluraspada i predstavljaju realnu opasnost po ljudsku populaciju neposredno nakon probe nuklearnog oružja ili havarije. Manji broj ovih

radionuklida imaju velik period poluraspada i putem vazdušnih i vodenih strujanja se transportuju na velike distance da bi se konačno istaložili. Ovi se radioizotopi mogu naći u zemljištu. Nuklearne elektrane u određenim okolnostima mogu ispuštati izvesnu količinu radionuklida koji nisu fisioni fragmenti. Naime visok fluks neutrona u reaktoru može dovesti do aktiviranja mekih materijala od kojih su načimjeni pojedini delovi reaktora ili sistema njegovog hlađenja. Ovako nastali izotopi se mogu naći u životnoj sredini, najčešće u vodotokovima i sedimentu.

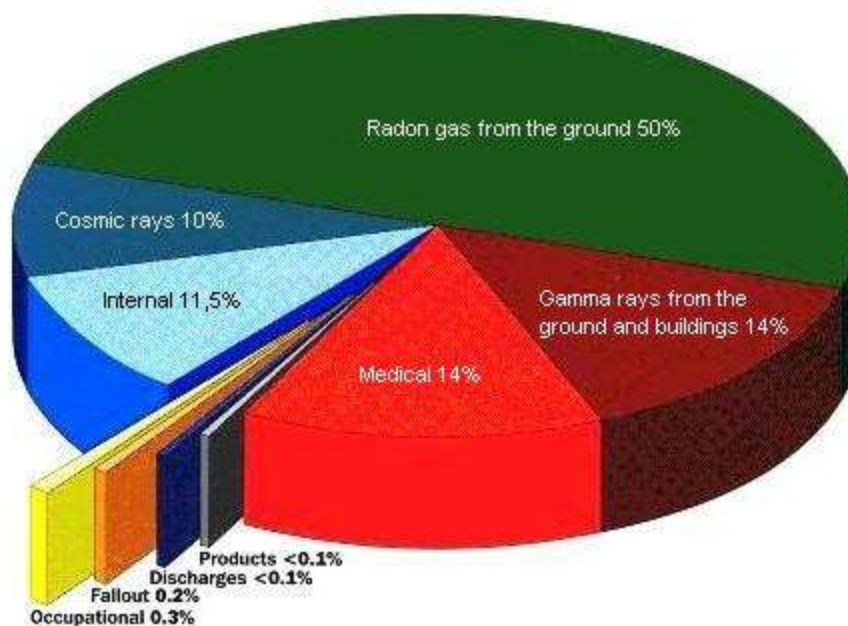
Tabela 4. Osobine nekih veštački proizvedenih radionuklida

Nuklid	Simbol	$T_{1/2}$	Izvor
<b>Tricijum</b>	$^3\text{H}$	12.3 god	pri testiranju oružja i u fisionim reaktorima; pri proizvodnji nuklearnog oružja
<b>Jod 131</b>	$^{131}\text{I}$	8.04 dana	fisioni produkt pri testiranju oružja i u fisionim reaktorima, koristi se u medicinskoj terapiji
<b>Jod 129</b>	$^{129}\text{I}$	$1.57 \times 10^7$ god	fisioni produkt pri testiranju oružja i u fisionim reaktorima,
<b>Cezijum 137</b>	$^{137}\text{Cs}$	30.17 god	fisioni produkt pri testiranju oružja i u fisionim reaktorima,
<b>Stroncijum 90</b>	$^{90}\text{Sr}$	28.78 god	fisioni produkt pri testiranju oružja i u fisionim reaktorima,
<b>Tehnecijum 99</b>	$^{99}\text{Tc}$	$2.11 \times 10^5$ god	nastaje raspadom $^{99}\text{Mo}$ , koristi se u medicinskoj dijagnostici
<b>Plutonium 239</b>	$^{239}\text{Pu}$	$2.41 \times 10^4$ god	nastaje pri bombardovanju $^{238}\text{U}$ neutronima ( $^{238}\text{U} + n \rightarrow ^{239}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{Np} + \beta \rightarrow ^{239}\text{Pu} + \beta$ )

Na osnovu preporuka IAEA formirana je lista dugoživećih fisionih produkata ili radioizotopa nastalih aktivacijom koji bi mogli predstavljati dugoročni izvor zračenja u životnoj sredini. Uobičajeno je da se prilikom kontrole uzoraka vode ili zemljišta na ove izotope posebno obrati pažnja. Radi se o sledećim izotopima:  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{106}\text{Rh}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{124}\text{Sb}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{134}\text{Ss}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$  i  $^{160}\text{Tb}$ . U Tabeli 3 date su osobine nekih kosmogennih nuklida.

Istraživanja vršena poslednje decenije pokazuju da u normalnim uslovima preko 70% ukupne godišnje doze koju prima stanovništvo potiče od prirodnih izvora jonizujućih zračenja, pri čemu je 50% uslovljeno udisanjem prirodnog radioaktivnog gasa, radona  $^{222}\text{Rn}$ , odnosno njegovih potomaka, slika 1.

Godišnja efektivna ekvivalentna doza koju stanovništvo prima od pojedinih izvora zračenja u područjima sa ne povišenim osnovnim vrednostima zračenja data je u Tabeli 5.



Slika 1. Godišnje doze koje prima stanovništvo

Tabela 5. Godišnja efektivna ekvivalentna doza iz pojedinih izvora zračenja u područjima s 'normalnim' osnovnom zračenjem za čoveka (UNSCEAR, 1982.) u mSv (Sv=J/kg):

izvor	spoljašnje ozračivanje	unutrašnje ozračivanje	ukupno ozračivanje
<i>kosmički zraci</i>			
ionizaciona komponenta	0.28 mSv		0.28 mSv
neutronska komponenta	0.2 mSv		0.02 mSv
kosmogeni nuklidi	0.015 mSv		0.015 mSv
<i>primordijalni (prvobitni) nuklidi</i>			
$^{19}\text{K}^{40}$	0.12 mSv	0.18	0.30 mSv
$^{37}\text{Rb}^{87}$		0.006	0.006 mSv
uranov niz	0.08	0.96	1.04 mSv
torijumov niz	0.14 mSv	0.19	0.33 mSv
<b>ukupno</b>			<b>2.00 mSv</b>



## 2. Radioaktivnost zemljišta

Zemljište je kompleksan materijal koji se sastoji od mineralne (neorganske) kao i organske komponente koja uglavnom nastaje raspadom biljnog materijala. Neorganska, ili mineralna komponenta zemljišta se sastoji od čestica nastalih erozivnim dejstvom raznih prirodnih faktora na stene. Kako stene koje ulaze u sastav zemljine kore poseduju određenu koncentraciju prirodnih radionuklida, za očekivati je da se oni mogu naći i u zemljištu nastalom raspadanjem stena. U Tabeli 6 prikazane su karakteristične vrednosti koncentracija aktivnosti  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{238}\text{U}$  u nekim karakterističnim stenama. Može se videti da sadržaj svakog od navedenih radionuklida u različitim vrstama stena varira u relativno širokom opsegu.

Tabela 6. Karakteristične koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida u nekim stenama

radionuklid	bazalt	sieniti	granit	krečnjak	peščar
$^{40}\text{K}$ [Bq/kg]	210	1400	1290	89	370
$^{232}\text{Th}$ [Bq/kg]	6.5	69.2	87.5	7	11
$^{238}\text{U}$ [Bq/kg]	5.3	102.0	59.7	28	19

Osim  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$  u zemljištu bi trebalo da se nađe još oko 50 radioaktivnih elemenata koji pripadaju njihovim nizovima. Može se pretpostaviti da se aktivnosti svih radioaktivnih elemenata u jednom nizu nalaze u radioaktivnoj ravnoteži, tj. da je aktivnost svakog od njih jednaka aktivnosti prvog elementa niza. Od veštačkih radioaktivnih elemenata, obično se  $^{137}\text{Cs}$  može naći u zemljištu u nekoj količini koja je iznad praga detekcije niskofonskih detektorskih sistema. Ovaj izotop ima period poluraspada od 30 godina, hemijski se ponaša identično kao kalijum i natrijum pošto pripada prvoj grupi periodnog sistema.  $^{137}\text{Cs}$  je u najvećoj meri dospelo u životnu sredinu tokom havarije u nuklearnoj elektrani u Černobilu koja se odigrala pre dvadeset godina. Zbog dugog perioda poluraspada, ovaj izotop se još uvek može naći u uzorcima zemljišta.

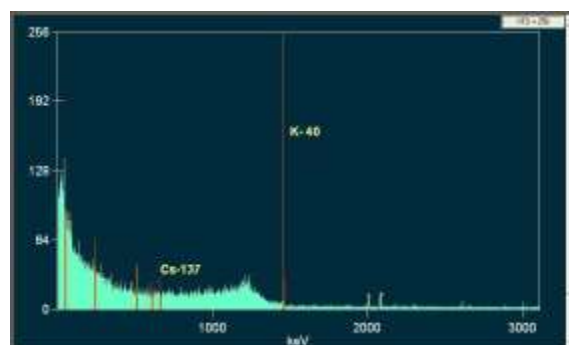
### 3. Metodologija merenja

Uzorci zemljišta su uzeti po metodi IAEA Technical Report Series No.295 – Measurement of Radionuclides in Food and the Environment - Section 5. Collection and Preparation of Samples-page 27 (5.2.3 Soil). Uzorci zemljišta su sušeni na 105°C do konstantne mase. Nakon toga je izvršeno uklanjanje svih mehaničkih nečistoća, uglavnom kamenčića i delova biljnog materijala. Osušeni uzorci zemljišta su mehanički usitnjeni do forme finog praha i homogenizovani. Konačno je materijal pripremljen na ovaj način prenet u posude za merenje oblika cilindra visine 62 mm, i prečnika 67 mm. Tipična masa uzoraka iznosila je između 200 i 300 g. Koncentracija aktivnosti radionuklida određena je metodom niskofonske gama-spektrometrije.

Gama-spektrometrijska merenja su izvršena prema standardnoj metodi ASTM C 1402 – 04 Standard Guide for High Resolution Gamma Ray Spectrometry of Soil Samples. Korišćena su dva visokorezoluciona HPGe detektora. Prvi od njih, proizvođača CANBERRA nominalne efikasnost od 36% (Slika 6) ima moć razlaganja od 1.9 keV-a na 1332 keV. Detektor je smešten u specijalnu niskofonsku zaštitnu komoru sa olovnim zidovima debljine 12 cm i bakarnim unutrašnjim slojem. Drugi HPGe detektor, nominalne efikasnosti 22% (Slika 5) , je smešten u specijalnu niskofonsku zaštitnu komoru sa gvozdanim zidovima debljine 25 cm. Komora je izrađena od gvožđa livenog pre drugog svetskog rata, tako da ne sadrži primese veštačke radioaktivnosti i snižava nivo okolnog zračenja za oko 1000 puta. Spektri su preko lanca predpojačavača i pojačavača tipa CANBERRA dovedeni u višekanalni analizator CANBERRA sa dva analogno-digitalna konvertora i ukupne memorije od 8192 kanala. Višekanalni analizator je direktno povezan sa PC računarnom u kojem su obrađivani i storirani izmereni spektri. Za obradu spektara korišćena je verzija programa GENIE koja osim identifikovanih  $\gamma$ -linija uvek iskazuje spektralne intenzitete i za više od 30 izabranih izotopa.

Za gama-spektrometrijska merenja radioaktivnosti u uzorcima zemljišta korišćen je i ultra nisko-fonski germanijumski detector tipa GMX (sa proširenim energetske opsegom od 10 keV do 3 MeV-a proizvođača ORTEC, nominalne efikasnosti 32% u pasivnoj i aktivnoj zaštiti. Pasivna zaštita je izrađena od olova debljine 12 cm u obliku cilindra i presvučena slojem kalaja i bakra. Aktivna zaštita (veto detektori) su pet scintilacionih plastičnih detektora koji su u antikoincidentnom režimu rada sa HPGe detektorom i u potpunosti prekrivaju pasivnu zaštitu (Slika 3.). Aktivna zaštita snižava integralni odbroj u fonu za faktor 3 za opseg od 50 Kev do 2800 keV-a, što snižava prag detekcije i

pogodno je za merenja uzoraka iz životne sredine. Na Slici br. 3 prikazan je spektar deteline lucerke dobijen ovim spektrometerskim sistemom.



Slika 3. HPGe detektor GMX tipa u aktivnoj zaštiti (levo) i izgled spektra (desno)

Spektrometar sa oznakom kartona B (Slika 4) je ultra nisko-fonski germanijumski detektor velike zapremine, proizvođača Canberra, godine proizvodnje 2007, tip GX10021, serijski broj b08093. Ima prošireni merni opseg od 6 keV do 3 MeV i nalazi se u originalnoj zaštiti od olova debljine 15 cm. Relativna efikasnost ovog detektora je 100% (ekvivalentno apsolutnoj efikasnosti 3"x 3" NaI(Tl) detektora na 1332 keV), što odgovara aktivnoj zapremini detektora od 380 cm<sup>3</sup>.



Slika 4. HPGe detektor efikasnosti 100%

Zaštita detektora je napravljena od slojevito spojenog olova. Spoljašnjih 5 inča (125 mm) je obično niskofonsko olovo, dok je unutrašnji sloj od oko 1 inč (25 mm) olovo sadržaja <sup>210</sup>Pb od oko 20 Bq/kg. Pasivna zaštita ima unutrašnji sloj koji zaustavlja X zrake iz K nivoa energije od 75-85 keV. Presvučeni materijali su nisko-fonski kalaj debljine 1 mm i bakar visoke čistoće debljine 1.5 mm. X-zraci koji potiču iz sloja kalaja (od 25 -28 keV) su takođe redukovani bakrom.

Zaštita je opremljena sa gasnim priključkom koji služi za uvođenje tečnog azota iz Dewar-a u unutrašnjost zaštite kako bi se snizio fon koji potiče od radona i radonovih potomaka. Ukupna masa

zaštite iznosi 1633 kg. Redukcioni faktor fona za kompletni spektar (od 40 keV – 2768 keV) iznosi 238. Visoki napon za ovaj detektor dobija se iz izvora Canberra Model 3125 Dual. Signali se sa spektroskopskog pojačavača Canberra Model A 2026 vode na Canberra Multiport I sa ADC-om. Ovaj je preko USB porta priključen na standardni PC, sa operativnim sistemom Windows XP. Upravljanje sakupljanjem podataka i on-line praćenje spektara u formatu Canberra \*.CNF vrši se pomoću programa Canberra Genie2000, verzija 2.1.

Tipično vreme merenja uzoraka iznosilo je 60000 s. Na osnovu intenziteta gama linija zabeleženih u izmerenim spektrima, izračunate su koncentracije aktivnosti za sve radioizotope koji se u uzorcima nalaze. Za radioizotope kojima nije primećena ni jedna karakteristična gama linija u spektrima, procenjena je gornja granica koncentracije aktivnosti u uzorcima zemljišta. Greške rezultata merenja su iskazane sa nivoom poverenja od 95%, što znači da je verovatnoća da se pri ponovljenom merenju istog uzorka dobije rezultat izvan granica iskazane greške manja od 5%.



Slika 5. HPGe spektrometar proizvođača Canberra u niskofonskoj zaštiti od gvožđa



Slika 6. HPGe spektrometar proizvođača Canberra u niskofonskoj zaštiti od olova

## 4. Rezultati merenja

Poljoprivredno zemljište je uzorkovano sa 50 lokacija sa područja AP Vojvodine u toku novembra 2010. godine:



Slika 7. Geografski prikaz lokacija na kojima je uzorkovano zemljište

Na svakoj lokaciji uzeti su uzorci zemljišta iz površinskog sloja do 5 cm dubine sa 10 mikrolokacija na površini 10 m x 10 m i napravljen je jedan kompozitni uzorak. Lokacije su birane proporcionalno broju stanovnika i površini pojedinih regiona (Bačka -20 uzoraka, Banat – 20 uzoraka i Srem – 10 uzoraka). Takođe su zastupljeni svi tipovi zemljišta u skladu sa pedološkom kartom Vojvodine, na

kojima se uzgajaju poljoprivredne kulture. Najviše uzoraka je zemljište tipa černozem koji je ujedno najzastupljeniji u Vojvodini.

Tabela 7. Geomorfološke celine, tip zemljišta, način korišćenja i GPS koordinate lokacija

Red. br.	Lokalitet	Geomorf.celina	Tip zemljišta	Način korišćenja	GPS
1	Horgoš	Sub. horgoška peščara	Arenosol	vinograd	N 46°08'17,5'' E 19°59'31,9'' 87 m
2	Palić	Sub. horgoška peščara	Solončak	pašnjak	N 46°06'10,3'' E 19°51'55,5'' 99 m
3	Žednik	Bačka lesna zaravan	Černozem	oranica	N 45°57'15,0'' E 19°37'58,3'' 109 m
4	Aleksa Šantić	Bačka lesna zaravan	Černozem	oranica	N 45°55'38,3'' E 19°20'10,9'' 119 m
5	Tornjoš	Bačka lesna zaravan	Černozem	oranica	N 45°52'15,3'' E 19°48'54,6'' 107 m
6	Gakovo	Bačka lesna terasa	Černozem	oranica	N 45°53'28,5'' E 19°03'52,8'' 91 m
7	Kula	Bačka lesna zaravan	Černozem	oranica	N 45°38'33,3'' E 19°32'10,3'' 106 m
8	Bečej	Aluvijalna ravan	Humoglej	oranica	N 45°34'51,6'' E 20°04'43,4'' 77 m
9	Srbobran	Bačka lesna zaravan	Černozem	oranica	N 45°33'11,0'' E 19°43'59,8'' 87 m
10	Srpski Miletić	Bačka lesna terasa	Černozem	oranica, neuzor. ž.o. soje	N 45°33'31,2'' E 19°13'04,5'' 91 m
11	Bogojevo	Bačka lesna terasa	Humoglej	oranica, neuzor. ž.o. kukuruza	N 45°32'03,7'' E 19°06'27,8'' 88 m
12	Nadalj	Bačka lesna terasa	Černozem	oranica, neuzor. ž.o. soje	N 45°31'14,6'' E 19°54'03,3'' xxx m
13	Ruski Krstur	Bačka lesna terasa	Černozem	oranica, neuzor. ž.o. kukuruza	N 45°34'27,2'' E 19°26'38,6'' 86 m
14	Parage	Bačka lesna terasa	Černozem	oranica, neuzor. ž.o. kukuruza	N 45°24'26,0'' E 19°25'11,7'' 89 m
15	Rimski Šančevi	Bačka lesna terasa	Černozem	oranica, neuzor. ž.o. soje	N 45°19'50,6'' E 19°50'48,6'' 87 m
16	Žabalj	Bačka lesna terasa	Černozem	oranica, neuzor. ž.o. kukuruza	N 45°25'04,9'' E 20°04'21,2'' 85 m
17	Maglić	Bačka lesna terasa	Černozem	oranica	N xx°xx'xx,x'' E xx°xx'xx,x'' xxx m
18	Kač	Aluvijalna ravan	Fluvisol	pašnjak	N 45°18'25,3'' E 19°52'59,0'' 79 m
19	Bačko Novo Selo	Aluvijalna ravan	Fluvisol	oranica, neuzor. ž.o. pšenice	N 45°17'51,3'' E 19°08'18,7'' 88 m
20	Ban. Arandelovo	Aluvijalna ravan	Humoglej	oranica	N 46°02'16,3'' E 20°16'26,7'' 79 m
21	Sanad	Aluvijalna ravan	Fluvisol	pašnjak	N 45°59'12,6'' E 20°06'29,6'' 82 m

Red. br.	Lokalitet	Geomorf.celina	Tip zemljišta	Način korišćenja	GPS
22	Crna Bara-Čoka	Banatska lesna terasa	Černozem	oranica	N 45°56'33,0'' E 20°10'20,4'' 86 m
23	Kikinda	Banatska lesna terasa	Černozem	oranica, neuzor. ž.o. kukuruza	N 45°51'15,5'' E 20°27'35,3'' 79 m
24	Rusko Selo	Banatska lesna terasa	Humoglej	oranica	N 45°41'41,0'' E 20°37'09,3'' 82 m
25	Torda	Banatska lesna terasa	Humoglej	oranica	N 45°35'57,7'' E 20°26'58,4'' 81 m
26	Kumane	Banatska lesna terasa	Solonjec	pašnjak	N 45°32'01,6'' E 20°12'49,2'' 74 m
27	Begejci	Banatska lesna terasa	Černozem	oranica	N 45°31'29,9'' E 20°36'04,6'' 80 m
28	Zrenjanin	Banatska lesna terasa	Černozem	oranica	N 45°25'02,6'' E 20°23'34,8'' 81 m
29	Boka	Banatska lesna terasa	Solonjec	pašnjak	N 45°21'00,4'' E 20°50'45,5'' 73 m
30	Orlovat	Tamiška lesna zaravan	Černozem	oranica	N 45°15'27,6'' E 20°33'22,9'' 88 m
31	Vršački Ritovi	Aluvijalna ravan	Humoglej	oranica	N 45°11'31,7'' E 21°11'50,5'' 85 m
32	Kozjak	Deliblatska les. zaravan	Černozem	oranica	N 45°11'29,9'' E 20°52'25,8'' 88 m
33	Ilandža	Banatska lesna terasa	Humoglej	oranica	N 45°11'10,3'' E 20°55'18,0'' 87 m
34	Idvor	Banatska lesna terasa	Černozem	oranica	N 45°10'37,2'' E 20°30'10,1'' 83 m
35	Padina	Deliblatska les.zaravan	Černozem	oranica	N 45°07'04,3'' E 20°42'52,9'' 116 m
36	Vršac	Vršačke planine	Kambisol	vinograd	N 45°06'25,5'' E 21°19'12,2'' 137 m
37	Crepaja	Banatska lesna terasa	Černozem	oranica	N 44°59'53,1'' E 20°38'24,4'' 84 m
38	Deliblato	Deliblatska peščara	Černozem	oranica	N 44°51'32,4'' E 21°03'33,8'' 134 m
39	Bavanište	Banatska lesna terasa	Černozem	oranica	N 44°49'29,3'' E 20°51'11,6'' 90 m
40	Petrovaradin	Fruška gora	Kambisol	oranica	N 45°14'19,9'' E 19°52'11,9'' 136 m
41	Šid	Fruškog. lesna zaravan	Černozem	oranica	N 45°06'51,6'' E 19°15'02,8'' 111 m
42	Rivica	Fruškog. lesna zaravan	Černozem	oranica	N 45°05'52,5'' E 19°49'50,9'' 209 m
43	Ruma	Fruškog. lesna zaravan	Černozem	oranica	N 45°03'11,6'' E 19°50'41,1'' 147 m
44	Indija	Fruškog. lesna zaravan	Černozem	oranica	N 45°06'11,5'' E 20°01'52,0'' 152 m
45	Morović	Aluvijalna ravan	Pseudoglej	šuma	N 45°01'46,5'' E 19°13'12,1'' 86 m



Red. br.	Lokalitet	Geomorf.celina	Tip zemljišta	Način korišćenja	GPS
46	Višnjicevo	Aluvijalna ravan	Pseudoglej	šuma	N 44°57'52,3'' E 19°16'48,7'' 84 m
47	S.Mitrovica	Sremska lesna terasa	Černozem	oranica	N 44°58'20,6'' E 19°39'02,5'' 86 m
48	Popinci	Sremska lesna terasa	Černozem	oranica	N 44°55'19,6'' E 19°59'03,6'' 89 m
49	Donji Tovarnik	Sremska lesna terasa	Humoglej	oranica	N 44°49'26,0'' E 19°56'41,4'' 81 m
50	Kupinovo	Aluvijalna ravan	Fluvisol	šuma	N 44°41'35,9'' E 20°02'20,2'' 73 m

Nakon odgovarajuće pripreme uzoraka: sušenja, usitnjavanja i homogenizacije, uzorci su hermetički pakovani u posude za merenje cilindrične geometrije i izvršeno je niskofonsko gama-spektrometrijsko određivanje koncentracije aktivnosti radionuklida u zemljištu na germanijumskim detektorima visoke radiočistoće. Prilikom uzorkovanja zemljišta vođeno je računa o promeni mikrolokacija u odnosu na prethodna ispitivanja. Napominjemo da je Laboratorija za Nuklearnu fiziku jedina Laboratorija u Srbiji koja je akreditovana za gama-spektrometrijska merenja i da takođe poseduje sva zakonska ovlašćenja od državnih organa za obavljanje poslova ispitivanja radioaktivnosti. Navedene reference garantuju visok kvalitet izvršenih merenja i međunarodnu prepoznatljivost dobijenih rezultata. U prilogu ovog izveštaja data je kopija Sertifikata o akreditaciji Laboratorije za ispitivanje radioaktivnosti uzoraka i doze jonizujućeg i nejonizujućeg zračenja (SRPS ISO/IEC 17025:2006) i Rešenje o obimu akreditacije Laboratorije.

Tabela 8. Šifra uzoraka, masa i datum uzorkovanja

R. Br.	NAZIV LOKACIJE			
	ŠIFRA	LOKACIJA	MASA(g)	DATUM
1.	M.VZ1001	HORGOS	315,3	17.11.2010.
2.	B.VZ1002	PALIĆ	265,4	17.11.2010.
3.	K.VZ1003	ŽEDNIK	234,0	17.11.2010.
4.	K.VZ1004	ALEKSA ŠANTIĆ	226,7	17.11.2010.
5.	M.VZ1005	TORNJOŠ	224,1	17.11.2010.
6.	L.VZ1006	GAKOVO	245,2	17.11.2010.
7.	B.VZ1007	KULA- LIPAR	223,7	17.11.2010.
8.	B.VZ1008	BEČEJ	209,9	17.11.2010.
9.	L.VZ1009	SRBOBRAN	241,4	17.11.2010.
10.	K.VZ1010	SRPSKI MILETIĆ	259,2	25.11.2010.
11.	B.VZ1011	BOGOJEVO	286,0	25.11.2010.
12.	B.VZ1012	NADALJ	238,7	25.11.2010.
13.	B.VZ1013	RUSKI KRSTUR	261,9	25.11.2010.

R. Br.	NAZIV LOKACIJE			
	ŠIFRA	LOKACIJA	MASA(g)	DATUM
14.	L.VZ1014	PARAGE	238,1	25.11.2010.
15.	M.VZ1015	RIMSKI ŠANČEVI	256,8	25.11.2010.
16.	B.VZ1016	ŽABALJ	219,2	25.11.2010.
17.	K.VZ1017	MAGLIĆ	261,2	25.11.2010.
18.	L.VZ1018	KAĆ	213,9	25.11.2010.
19.	B.VZ1019	BAČKO NOVO SELO	287,5	25.11.2010.
20.	M.VZ1020	BAN. ARANĐELOVO	216,3	15.11.2010.
21.	L.VZ1021	SANAD	216,5	15.11.2010.
22.	B.VZ1022	CRNA BARA- ČOKA	238,6	15.11.2010.
23.	K.VZ1023	KIKINDA	227,0	15.11.2010.
24.	B.VZ1024	RUSKO SELO	235,1	15.11.2010.
25.	K.VZ1025	TORDA	227,1	15.11.2010.
26.	M.VZ1026	KUMANE	241,0	15.11.2010.
27.	L.VZ1027	BEGEJCI	226,4	15.11.2010.
28.	B.VZ1028	ZRENJANIN	227,4	15.11.2010.
29.	B.VZ1029	BOKA (SOKOLAC)	223,8	12.11.2010.
30.	B.VZ1030	ORLOVAT	217,3	12.11.2010.
31.	L.VZ1031	VRŠAČKI RITVI	233,3	12.11.2010.
32.	M.VZ1032	KOZJAK	260,2	12.11.2010.
33.	K.VZ1033	ILANDŽA	231,9	12.11.2010.
34.	B.VZ1034	IDVOR	233,4	12.11.2010.
35.	K.VZ1035	PADINA	245,7	12.11.2010.
36.	L.VZ1036	VRŠAC	231,0	12.11.2010.
37.	M.VZ1037	CREPAJA	229,7	12.11.2010.
38.	B.VZ1038	DELIBLATO- ČARDAK	286,1	12.11.2010.
39.	B.VZ1039	BAVANIŠTE	232,9	12.11.2010.
40.	L.VZ1040	PETROV.- TRANDŽAMENT	258,2	24.11.2010.
41.	K.VZ1041	ŠID	241,1	22.11.2010.
42.	M.VZ1042	RIVICA	265,3	24.11.2010.
43.	L.VZ1043	RUMA- IRIG	255,7	22.11.2010.
44.	K.VZ1044	INĐIJA	255,9	24.11.2010.
45.	M.VZ1045	MOROVIĆ	237,3	22.11.2010.
46.	K.VZ1046	VIŠNJICEVO	203,1	22.11.2010.
47.	M.VZ1047	SREMSKA MITROVICA	284,8	22.11.2010.
48.	B.VZ1048	PEĆINCI- POPINCI	254,5	24.11.2010.
49.	M.VZ1049	DONJI TOVARNIK	248,9	24.11.2010.
50.	L.VZ1050	OBEDSKA BARA	232,0	24.11.2010.

Rezultati izvršenih gamaspektrometrijskih merenja uzoraka zemljišta u cilindričnoj geometriji dati su u Tabeli 9. Osim  $^{137}\text{Cs}$  u merenim uzorcima nije primećeno prisustvo ni jednog veštačkog radionuklida. Predstavljene su samo koncentracije dugoživećih prirodnih radionuklida izmerene u uzorcima zemljišta. Ukoliko je aktivnost nekog od radionuklida bila ispod granice detekcije spektrometrijskog sistema, u tabeli je navedena samo gornja granica.

Tabela 9. Izmerene koncentracije aktivnosti radionuklida u uzorcima zemljišta

R. Br.	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI RADIONUKLIDA						
	[Bq/kg]						
	ŠIFRA	LOKACIJA	K <sup>40</sup>	Cs <sup>137</sup>	Ra <sup>226</sup>	Th <sup>232</sup>	U <sup>238</sup>
1.	M.VZ1001	HORGOŠ	249±21	5,6±0,4	12,4±0,8	14,6±1,2	24±5
2.	B.VZ1002	PALIĆ	238±10	6,3±0,4	9,7±1,3	11,7±0,5	9,4±1,7
3.	K.VZ1003	ŽEDNIK	392±21	5,5±0,4	36,6±1,9	35,9±2,3	< 20
4.	K.VZ1004	ALEKSA ŠANTIĆ	380±21	4,4±0,4	39±4	37±3	< 21
5.	M.VZ1005	TORNJOŠ	560±50	3,8±0,5	41,9±2,3	45±5	78±11
6.	L.VZ1006	GAKOVO	497±18	15,7±0,7	38,6±1,1	44,2±1,1	47±3
7.	B.VZ1007	KULA- LIPAR	552±15	6,9±0,3	38,5±2,4	45,8±2,9	28,3±2,6
8.	B.VZ1008	BEČEJ	794±26	9,2±0,6	26,7±1,7	47,4±2,5	40±4
9.	L.VZ1009	SRBOBRAN	697±23	6,2±0,5	46,8±2,2	56,0±2,2	66±4
10.	K.VZ1010	SRPSKI MILETIĆ	452±24	3,6±0,3	40,5±2,1	39,2±2,7	38±4
11.	B.VZ1011	BOGOJEVO	428±12	4,49±0,23	23,5±1,8	24,1±2,7	17,2±1,6
12.	B.VZ1012	NADALJ	556±19	7,7±0,5	33,8±2,5	41,5±2,6	36±4
13.	B.VZ1013	RUSKI KRSTUR	581±16	5,60±0,27	35,6±1,4	41,5±2,8	26,0±2,3
14.	L.VZ1014	PARAGE	588±21	5,6±0,5	39,3±1,3	45,1±1,2	38,5±2,9
15.	M.VZ1015	RIMSKI ŠANČEVI	560±50	5,1±0,5	39,9±2,5	43±4	73±10

R. Br.	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI RADIONUKLIDA [Bq/kg]						
	ŠIFRA	LOKACIJA	K <sup>40</sup>	Cs <sup>137</sup>	Ra <sup>226</sup>	Th <sup>232</sup>	U <sup>238</sup>
16.	B.VZ1016	ŽABALJ	658±22	9,0±0,6	36,7±2,5	47,7±2,0	52,5±5
17.	K.VZ1017	MAGLIĆ	465±25	3,04±0,29	36,4±2,0	38±5	< 19
18.	L.VZ1018	KACĆ	530±20	8,0±0,6	28,7±2,6	32±4	35±3
19.	B.VZ1019	BAČKO NOVO SELO	554±15	4,45±0,23	29,4±1,3	30,9±2,9	25,3±2,0
20.	M.VZ1020	BAN. ARANĐELOVO	590±50	6,5±0,6	30,0±1,8	41±5	70±10
21.	L.VZ1021	SANAD	1000±30	4,4±0,5	35±4	61,1±1,4	54±4
22.	B.VZ1022	CRNA BARA- ČOKA	684±18	9,1±0,4	29,4±1,6	41±3	22,0±2,1
23.	K.VZ1023	KIKINDA	542±28	5,1±0,4	30,0±1,7	35±5	32,9±2,9
24.	B.VZ1024	RUSKO SELO	621±20	11,9±0,7	25,1±2,3	35,4±1,8	30±3
25.	K.VZ1025	TORDA	590±30	10,1±0,6	37±3	46±3	<22
26.	M.VZ1026	KUMANE	640±50	7,8±0,6	31,1±1,7	45±4	59±9
27.	L.VZ1027	BEGEJCI	786±26	6,7±0,6	45,1±2,6	57,9±1,4	61±4
28.	B.VZ1028	ZRENJANIN	677±18	5,6±0,3	37,0±1,6	48±3	25,3±2,5
29.	B.VZ1029	BOKA (SOKOLAC)	633±21	10,3±0,6	34,1±1,7	43,4±2,7	44±4
30.	B.VZ1030	ORLOVAT	594±16	6,7±0,3	37,3±2,3	43,7±1,6	36±3

R. Br.	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI RADIONUKLIDA [Bq/kg]						
	ŠIFRA	LOKACIJA	K <sup>40</sup>	Cs <sup>137</sup>	Ra <sup>226</sup>	Th <sup>232</sup>	U <sup>238</sup>
31.	L.VZ1031	VRŠAČKI RITVI	745±25	25,8±1,0	33,1±2,9	56,7±2,6	53±4
32.	M.VZ1032	KOZJAK	480±40	11,0±0,6	41±3	38,7±2,9	43±7
33.	K.VZ1033	ILANDŽA	521±28	12,4±0,7	42,3±2,3	44±3	44±4
34.	B.VZ1034	IDVOR	703±22	10,2±0,6	34,0±2,8	47,2±2,3	49,1±1,7
35.	K.VZ1035	PADINA	492±26	6,7±0,5	41±3	41±5	< 21
36.	L.VZ1036	VRŠAC	701±24	5,0±0,6	49,1±2,6	70,5±2,3	74±3
37.	M.VZ1037	CREPAJA	500±40	9,9±0,7	43,1±2,2	42±5	67±10
38.	B.VZ1038	DELIBLATO- ČARDAK	399±11	20,4±0,5	20,7±1,2	24,3±2,7	16,9±1,6
39.	B.VZ1039	BAVANIŠTE	623±20	42,6±1,2	37,3±2,7	45,5±2,1	37±3
40.	L.VZ1040	TRANDŽAMENT	705±23	6,7±0,5	47,9±2,5	64,4±2,5	66±4
41.	K.VZ1041	ŠID	521±27	3,3±0,3	40,2±2,1	44±5	41±4
42.	M.VZ1042	RIVICA	520±40	5,5±0,5	43,4±2,8	48±5	80±10
43.	L.VZ1043	RUMA- IRIG	758±24	7,9±0,6	47,0±2,1	64,8±2,0	66,5±2,0
44.	K.VZ1044	INĐIJA	488±26	4,5±0,4	38,6±2,0	35±2,2	< 5
45.	M.VZ1045	MOROVIĆ	520±40	12,1±0,8	36,2±2,8	48±6	72±10

R. Br.	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI RADIONUKLIDA [Bq/kg]						
	ŠIFRA	LOKACIJA	K <sup>40</sup>	Cs <sup>137</sup>	Ra <sup>226</sup>	Th <sup>232</sup>	U <sup>238</sup>
46.	K.VZ1046	VIŠNJIĆEVO	507±27	12,2±0,7	34,3±1,9	35±19	< 22
47.	M.VZ1047	SREMSKA MITROVICA	530±40	5,0±0,5	35,3±2,1	42,3±2,9	73±9
48.	B.VZ1048	PEĆINCI- POPINCI	569±19	9,9±0,6	34,1±1,6	47±3	38±4
49.	M.VZ1049	DONJI TOVARNIK	610±50	7,4±0,6	41,7±2,1	50±10	76±10
50.	L.VZ1050	OBEDSKA BARA	479±19	18,4±0,9	24,9±2,7	34,8±1,0	31,1±2,8

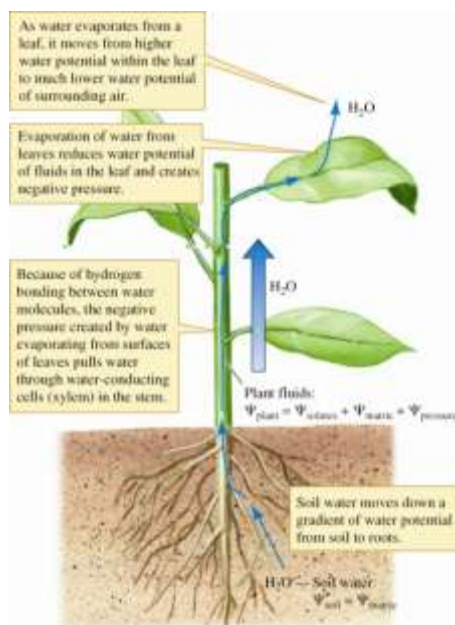
#### 4.1.1 Transfer faktor radionuklida iz zemljišta u biljke

Da bi se procenila ingestiona doza koju čovek primi od radionuklida koji se nalaze iz okoline koristi se lanac ishrane. Svi modeli pri tome koriste transfer faktore kao kvantitativnu meru prelaska radionuklida iz jedne karike lanca u drugu. Transfer radionuklida kroz lance ishrane se intenzivno proučava u poslednjih 50 godina usled testiranja nuklearnog oružja i ispuštanja radionuklida u životnu sredinu zbog povećane upotrebe nuklearne energije. Međunarodna Agencija za atomsku energiju IAEA je na osnovu velikog broja istraživanja napravila široku bazu podataka za vrednosti transfer faktora radionuklida iz zemljišta u biljke [9].

Transfer faktor ( $F_v$ ) za unos bilo kog radionuklida iz zemljišta u biljne kulture koje se na tom zemljištu uzgajaju se definiše kao odnos koncentracije aktivnosti datog radionuklida u biljci (Bq/kg) i koncentracije aktivnosti u zemljištu (Bq/kg), pri čemu se podrazumevaju vrednosti dobijene za sušene uzorke zemljišta i biljaka:

$$F_v = \frac{\text{aktivnost radionuklida u suvoj biljci } \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \right]}{\text{aktivnost radionuklida u suvom zemljištu } \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \right]}$$

Transfer faktor radionuklida iz zemljišta u biljke zavisi od više faktora: fizičko-hemijskih karakteristika radionuklida, oblika nataložene padavine ili otpada, vremena koje je proteklo od zagađenja, karakteristika zemljišta, tipa biljne kulture i načina obrade zemljišta.



Slika 8. Način usvajanja materija iz zemljišta preko vode

Transfer faktori dati u tabelama priručnika IAEA su vrednosti koje se odnose na rastvorljiva jedinjenja koja imaju veću pokretljivost u sistemima zemljište – biljka. Akumulacija radionuklida u biljnim kulturama koje se najčešće uzgajaju zavisi i od tipova zemljišta. Razlike u transfer faktorima za različite vrste zemljišta može da varira i do dva reda veličine. Karakteristike zemljišta koje utiču na ove vrednosti su: mineraloški i granulometrijski sastav zemljišta, organski sadržaj u zemljištu, pH i plodnost zemljišta. Razlika u biološkim karakteristikama pojedinih biljnih vrsta takođe može biti uzrok u velikim razlikama u transfer faktorima. Razlog tome su varijacije u metaboličkim i biohemijskim mehanizmima usvajanja radionuklida od strane biljaka, hemijska priroda radionuklida, mehanizmi detoksikacije, hidrološki uslovi u zemljištu, biljkama dostupne koncentracije u rizosferi u zemljištu. Plodnost zemljišta, trajanje vegetativnog perioda i karakter distribucije korenog sistema u zemljištu takođe utiču na transfer faktor. Razlika u akumulaciji preko korenog sistema među različitim biljnim vrstama može biti i za faktor 100. Radionuklidi se najčešće akumuliraju u lišću i stablu, dok se mnogo manje koncentrišu u plodu.

Tabela 10. Podaci za transfer faktore za Cs, Ra, K, Th i U iz zemljišta u biljku [9]

radionuklid	Biljna kultura	Deo biljke	Transfer faktor $F_v$
<b>Cs</b>	žitarice	zrna	$2.9 \times 10^{-2}$
		stablo i izdanci	$1.5 \times 10^{-1}$
	kukuruz	zrna	$3.3 \times 10^{-2}$
		stablo i izdanci	$7.3 \times 10^{-2}$
	lisnato povrće	lišće	$6.0 \times 10^{-2}$
	nelisnato povrće	plodovi	$2.1 \times 10^{-2}$
	mahunarke	zrna i mahune	$4.0 \times 10^{-2}$
	korenasto povrće	koren	$4.2 \times 10^{-2}$
		lišće	$3.5 \times 10^{-2}$
	luk	lukovica	$5.6 \times 10^{-2}$
<b>K</b>	žitarice	zrna	$7.4 \times 10^{-1}$
		stablo i izdanci	1.1
	lisnato povrće	lišće	1.3
	ispaša	stablo i izdanci	$7.3 \times 10^{-1}$
<b>Ra</b>	žitarice	zrna	$1.7 \times 10^{-2}$
		stablo i izdanci	$3.6 \times 10^{-2}$
	kukuruz	zrna	$2.4 \times 10^{-3}$
		stablo i izdanci	$1.8 \times 10^{-2}$
	lisnato povrće	lišće	$9.1 \times 10^{-2}$
	nelisnato povrće	plodovi	$1.7 \times 10^{-2}$
	mahunarke	zrna i mahune	$1.4 \times 10^{-2}$
	korenasto povrće	koren	$7 \times 10^{-2}$
		lišće	$7.1 \times 10^{-2}$
	luk	lukovica	$1.1 \times 10^{-2}$
		izdanci	$1.6 \times 10^{-1}$
	trava	stablo i izdanci	$1.3 \times 10^{-1}$
	ispaša	stablo i izdanci	$7.1 \times 10^{-2}$
	krmno bilje	stablo i izdanci	$1.7 \times 10^{-1}$
	ostalo	suncokret	$4.2 \times 10^{-1}$
		lišće čaja	$3.3 \times 10^{-2}$



<b>radionuklid</b>	<b>Biljna kultura</b>	<b>Deo biljke</b>	<b>Transfer faktor <math>F_v</math></b>
<b>Th</b>	žitarice	zrna	$2.1 \times 10^{-3}$
		stablo i izdanci	$6.1 \times 10^{-3}$
	kukuruz	zrna	$6.4 \times 10^{-5}$
		stablo i izdanci	$1.8 \times 10^{-3}$
	lisnato povrće	lišće	$1.2 \times 10^{-3}$
	nelisnato povrće	plodovi	$7.8 \times 10^{-4}$
	mahunarke	zrna i mahune	$5.3 \times 10^{-4}$
	korenasto povrće	koren	$8.0 \times 10^{-4}$
		lišće	$8.7 \times 10^{-3}$
	luk	lukovica	$2 \times 10^{-4}$
ispaša	stablo i izdanci	$9.9 \times 10^{-2}$	
<b>U</b>	žitarice	zrna	$6.2 \times 10^{-3}$
		stablo i izdanci	$2.7 \times 10^{-2}$
	kukuruz	zrna	$1.5 \times 10^{-2}$
		stablo i izdanci	$7.8 \times 10^{-3}$
	lisnato povrće	lišće	$2.0 \times 10^{-2}$
	nelisnato povrće	plodovi	$1.5 \times 10^{-2}$
	mahunarke	zrna i mahune	$2.2 \times 10^{-3}$
	korenasto povrće	koren	$8.4 \times 10^{-3}$
		lišće	$2.8 \times 10^{-2}$
	luk	lukovica	$5.0 \times 10^{-3}$
ispaša	stablo i izdanci	$4.6 \times 10^{-2}$	

## 5. Analiza dobijenih rezultata

Zemljište regiona Vojvodine podložno je radioaktivnoj kontaminaciji iz više izvora. Pre svega to su reaktori nuklearnih elektrana u okolini koji svojom emisijom u vodu i vazduh mogu zagađiti širu okolinu. Zatim upotreba fosfatnih đubriva sa velikim koncentracijama urana može uzrokovati postepeno povećanje koncentracije aktivnosti uranovog niza u zemljištu. Prošireno ubeđenje javnosti da je tokom bombardovanja i Vojvodina zagađena osiromašenim uranom čini sagledavanje stanja radioaktivnosti poljoprivrednog zemljišta veoma aktuelnim.

U zavisnosti od bioloških karakteristika, biljke mogu da apsorbuju neke radionuklide iz zemljišta. Zbog ove karakteristike, potrebno je odrediti koncentraciju aktivnosti radionuklida u uzorcima poljoprivrednog zemljišta. Niskofonska gama spektrometrija, kao najpouzdanija metoda za određivanje koncentracije aktivnosti radionuklida je primenjena u ovom ispitivanju radioaktivnosti poljoprivrednog zemljišta na području AP Vojvodine u 2010 godini. Rezultati merenja koncentracije aktivnosti radionuklida u zemljištu prikazani su u Tabeli 9.

Izmerene vrednosti koncentracije aktivnosti radionuklida u ovom zemljištu ne odstupaju od uobičajenih vrednosti za poljoprivredno zemljište u Vojvodini. Dobra korelacija između prirodnih radioaktivnih elemenata se može objasniti kako geološkom prošlošću zemljišta, tako i činjenicom da ljudskim aktivnostima nije došlo do povećanja koncentracije jednog od njih na bilo kojoj od lokacija na kojima je zemljište uzorkovano.

Radionuklid  $^{137}\text{Cs}$  je prisutan u svim uzorcima zemljišta. Ovaj radionuklid potiče iz havarije nuklearne elektrane "Lenjin" u Černobilu 1986. godine. Obzirom da je period poluraspada ovog radionuklida 30 godina procesima relokacija i ispiranja će se preraspoređivati, ali i biti prisutan još dugo vremena u ekosistemu Vojvodine. Velika standardna devijacija i velika razlika između minimalne i maksimalne koncentracije aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  pokazuju tipične osobine za zagađivač veštačkog porekla.

Odnos  $^{238}\text{U}$  i  $^{226}\text{Ra}$  se ne menja bitno u uzorcima. Obzirom da je koncentracija  $^{238}\text{U}$  u svim uzorcima na uobičajenom nivou može se zaključiti da u izmerenim uzorcima nema indikacije za prisustvo osiromašenog urana.

Koncentracija aktivnosti prirodnog radioaktivnog niza  $^{232}\text{Th}$  kao i  $^{40}\text{K}$  se u svim uzorcima kreću u uobičajenim granicama.

U tabeli br.11 su prikazane srednje vrednosti kao i standardne devijacije za radionuklide čije je prisustvo detektovano u svim uzorcima poljoprivrednog zemljišta. U poslednjoj koloni tabele prikazan je opseg u kome se nalaze izmerene vrednosti koncentracija aktivnosti za pojedine radioizotope.

Tabela 11. Srednje vrednosti, standardne devijacije, minimalne i maksimalne koncentracije aktivnosti radionuklida u merenim uzorcima zemljišta

radionuklid	$A_{sr}$ [Bq/kg]	$\sigma(A_{sr})$ [Bq/kg]	Opseg [Bq/kg]
$^{40}\text{K}$	569	134	238-1000
$^{226}\text{Ra}$	35.4	8.1	9.7 - 49.1
$^{232}\text{Th}$	43	11	11.7-70.5
$^{238}\text{U}$	42	20	5-80
$^{137}\text{Cs}$	8.8	6.7	3.04-42.6

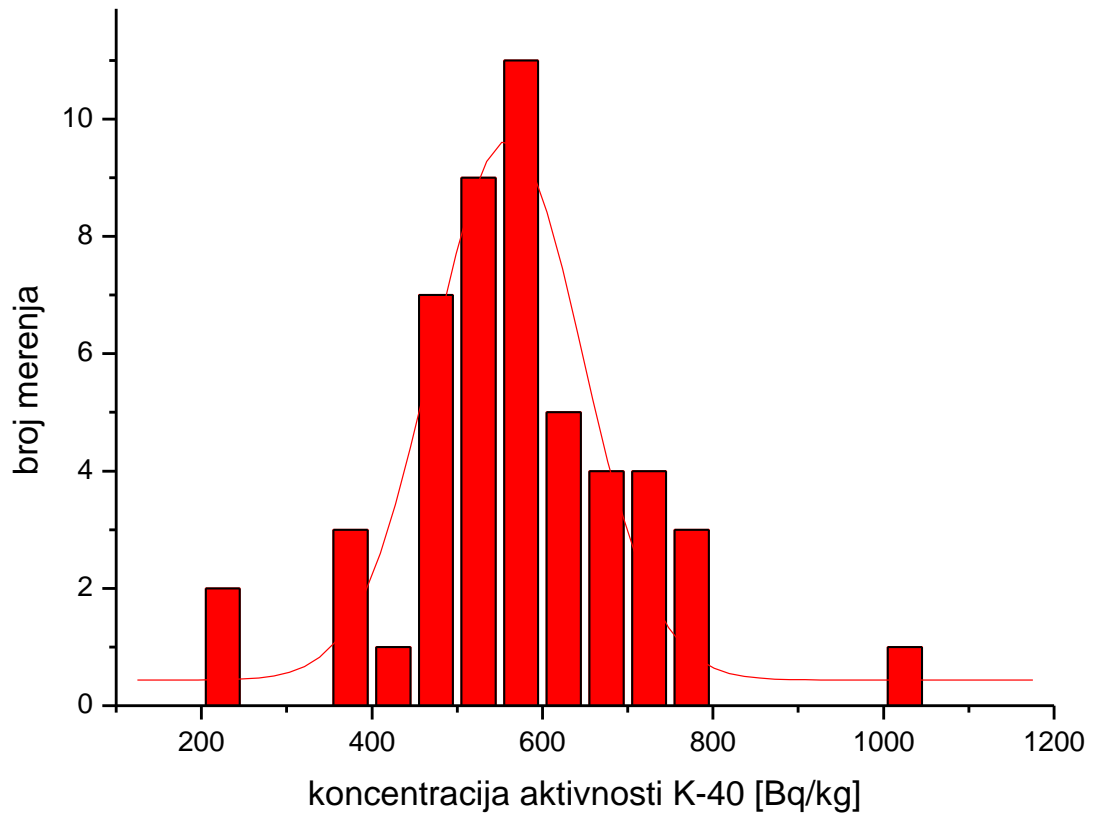
Generalno se može zaključiti da uzorci zemljišta sa svih lokacija ne ukazuju na povećanje radioaktivnosti koje bi ugrozilo proizvodnju hrane. Izmerene koncentracije aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$ , uzimajući u obzir transfer faktore ovog izotopa u biljke, ne bi trebalo da ugroze zdravstvenu bezbednost proizvedene hrane. Vrednosti koncentracija aktivnosti prirodnih radioizotopa u zemljištu prevashodno zavise od količine tih radioizotopa prisutnih u stenama od kojih je zemljište nastalo. Radi poređenja, u tabeli 12. su navedene srednje vrednosti, standardne devijacije kao i opseg veličina koncentracija aktivnosti izmerenih u uzorcima zemljišta iz Vojvodine, s obzirom da za ovaj region postoji bogata sistematika sličnih rezultata.

Tabela 12. Srednje vrednosti, standardne devijacije, minimalne i maksimalne koncentracije aktivnosti radionuklida merene u uzorcima obradivog zemljišta na teritoriji Vojvodine

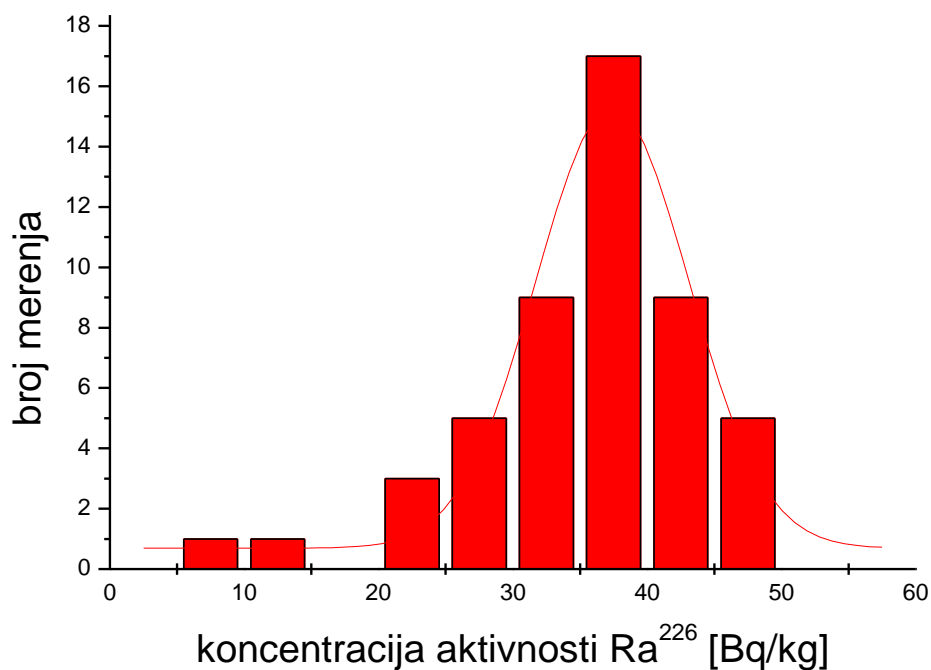
radionuklid	$A_{sr}$ [Bq/kg]	$\sigma(A_{sr})$ [Bq/kg]	Opseg [Bq/kg]
$^{40}\text{K}$	554	92	238 – 730
$^{232}\text{Th}$	53.2	8.3	22 – 64
$^{238}\text{U}$	51.4	9.3	24 – 69
$^{137}\text{Cs}$	11.8	9.2	1.1 - 55

Na slikama (Slika br.9 do Slika br.13) prikazane su raspodele izmerenih koncentracija aktivnosti radionuklida u uzorcima poljoprivrednog zemljišta. Prirodni radionuklidi (članovi prirodnih radioaktivnih nizova i  $^{40}\text{K}$ ) pokazuju normalnu raspodelu u uzorcima zemljišta što je i očekivano, dok

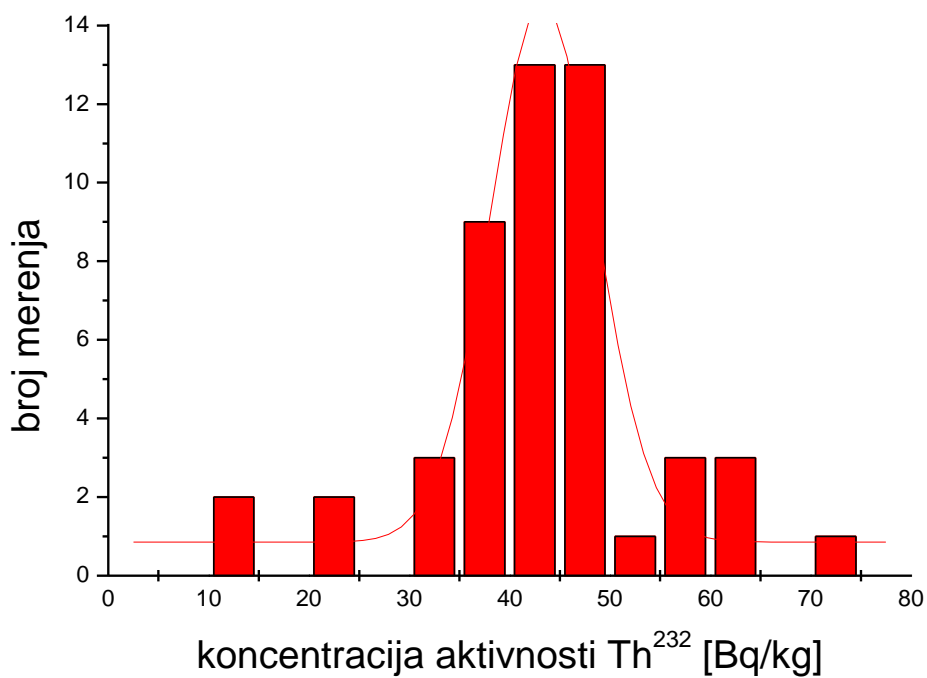
radionuklidi veštačkog porekla ili proizvedeni ne pokazuju pravilnost u raspodeli što je takođe očekivano i karakteristično za ovaj tip radionuklida. Koncentracije aktivnosti  $^{238}\text{U}$  su pomerene ka nižim vrednostima. Za jedan uzorak izmerene su blago povišene koncentracije  $^{238}\text{U}$ , verovatno usled korišćenja fosfatnih đubriva.



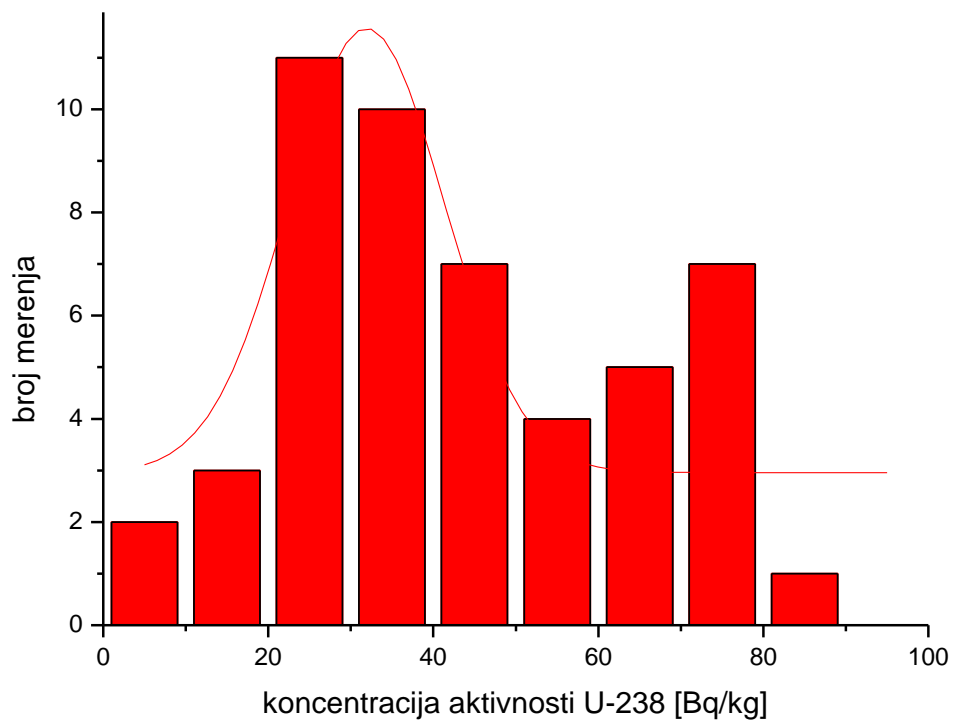
Slika 9. Normalna raspodela koncentracija aktivnosti  $^{40}\text{K}$  u uzorcima poljoprivrednog zemljišta



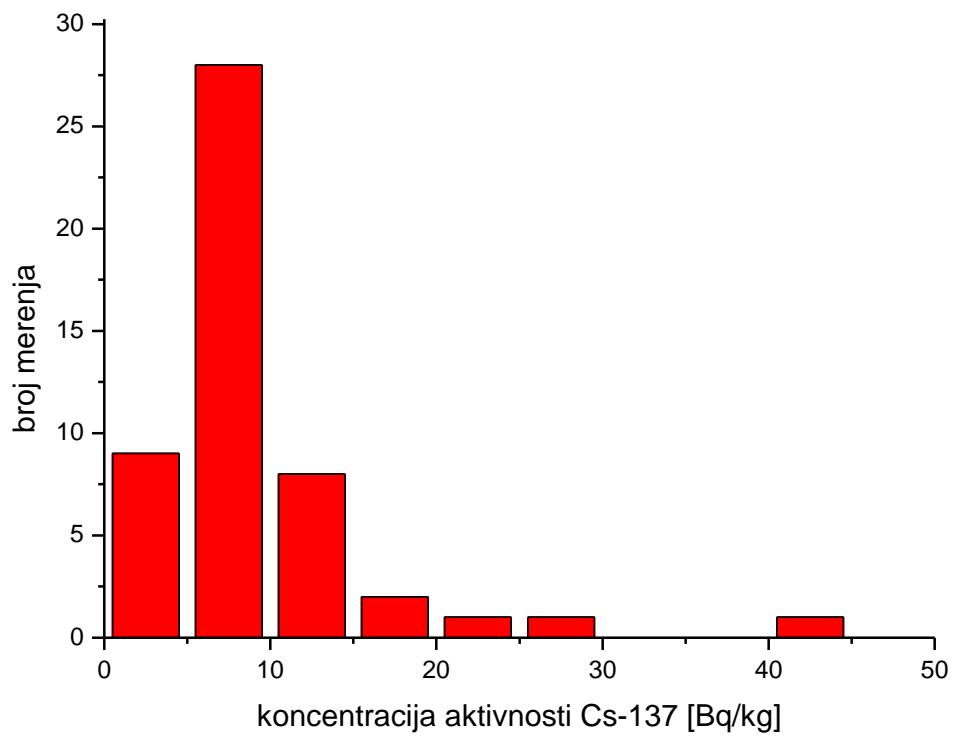
Slika 10. Normalna raspodela koncentracija aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u uzorcima poljoprivrednog zemljišta



Slika 11. Normalna raspodela koncentracija aktivnosti  $^{232}\text{Th}$  u uzorcima poljoprivrednog zemljišta



Slika 12. Normalna raspodela koncentracija aktivnosti  $^{238}\text{U}$  u uzorcima poljoprivrednog zemljišta



Slika 13. Raspodela koncentracija aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  u uzorcima poljoprivrednog zemljišta

Ove vrednosti mogu se uporediti sa vrednostima izmerenim u drugim državama u regionu i šire (Tabela 13.). Može se uočiti da se radioaktivnost zemljišta kreće u približno istim opsezima dok na odstupanja utiče tip i vrsta zemljišta. Koncentracija aktivnosti torijuma  $^{232}\text{Th}$  je nešto viša za indijsko zemljište, dok je koncentracija aktivnosti uranijuma  $^{238}\text{U}$  na Siciliji (Stromboli) povišena u odnosu na vojvođansko zemljište (moguće objašnjenje je postojanje vulkana i vulkanskih stena na Stromboliju). Odnos uranijum/ torijum  $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$  je približno jednak jednici za ostala zemljišta (Turska, Irska i Japan) što je slučaj i sa vojvođanskim zemljištem i ukazuje na odsustvo kontaminacije uranijumom. Međutim ukoliko se intenzivira korišćenje fosfatnih đubriva sa povišenim sadržajem uranijuma može doći do narušavanja ove ravnoteže.

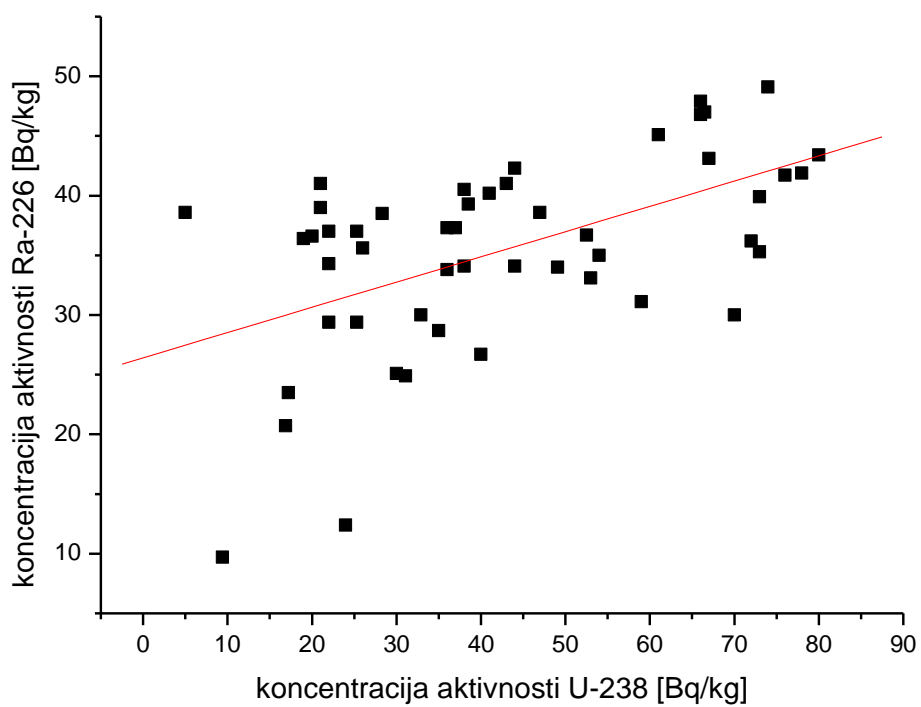
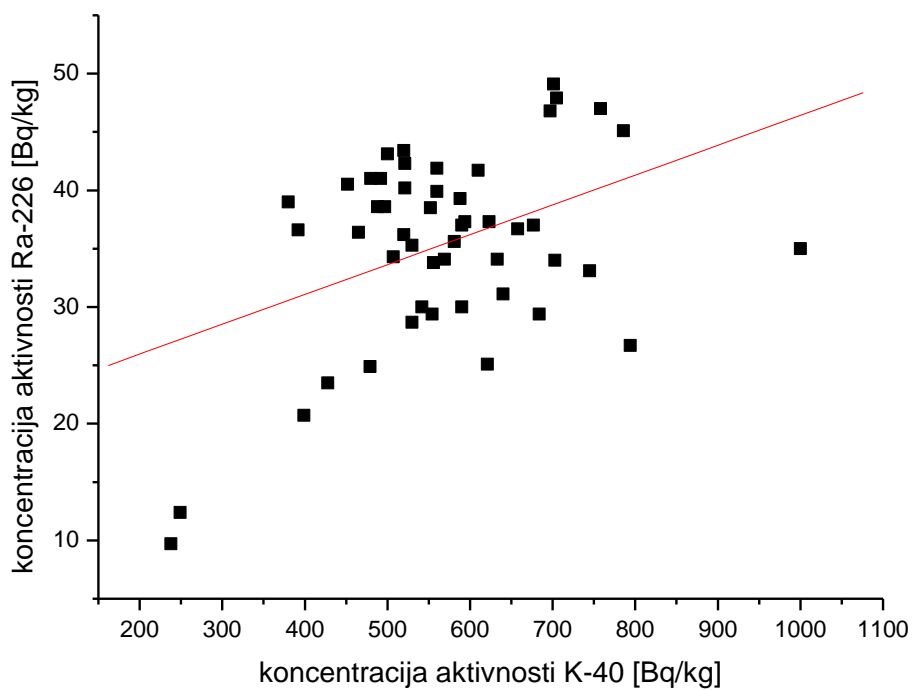
Tabela 13. Poređenje sadržaja radionuklida u vojvođanskom zemljištu i zemljištu drugih država

-----  
Comparison of the natural radioactivity of soil samples from different countries

Radionuclide	Vojvodina <sup>a</sup>	India (Selvasekarapandian et al., 2000)	Egypt (Sroor et al., 2001)	Istanbul (Karahan and Bayulken, 2000)	Stromboli (Brai et al., 2002)	Ireland (McAuley and Moran, 1983)	Japan (Chen et al., 1993)
	$\bar{A}$ [Bq/kg]						
$^{232}\text{Th}$	$53 \pm 8$	$104 \pm 77$	$6 \pm 3$	$35 \pm 7$	$68 \pm 1$	26	54
$^{238}\text{U}$	$51 \pm 9$	$34 \pm 11$	$13 \pm 9$	$27 \pm 11$	$100 \pm 11$	37	32.4
$^{40}\text{K}$	$554 \pm 92$	$217 \pm 145$	$433 \pm 130$	$322 \pm 87$	$754 \pm 9$	350	794

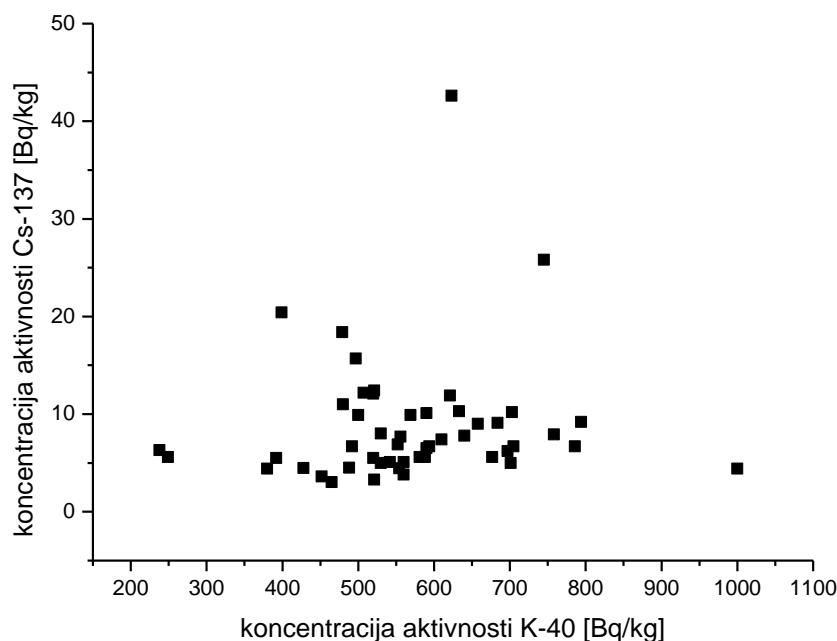
<sup>a</sup> Present work.

Ispitivanje prisustva korelacije sadržaja prirodnih radionuklida u zemljištu može se pokazati na Slici 14. gde su date zavisnosti koncentracije aktivnosti za prirodne radionuklide ( radijum Ra-226, uranijum U-238 i kalijum K-40). Takođe se može pokazati da takve zavisnosti nema ukoliko se posmatra radionuklid veštačkog porekla – cezijum Cs-137 (Slika 15).



Slika 14. Korelacije prirodnih radionuklida u zemljištu





Slika 15. Nepostojanje korelacije između sadržaja veštačkog radionuklida Cs-137 i prirodnog K-40

Na osnovu međunarodnih podataka [9] za transfer faktore radionuklida iz zemljišta u biljke datih u Tabeli 14. moguće je proceniti na osnovu vrednosti koncentracija aktivnosti radionuklida u zemljištu za date lokacije kolika bi bila maksimalna koncentracija aktivnosti radionuklida u biljnim kulturama koje bi se uzgajale na datom zemljištu. Ova procena je bitna sa aspekta proizvodnje zdravstveno bezbedne hrane sa niskim sadržajem radioaktivnosti. Treba napomenuti da na taj način procenjene vrednosti u stvari predstavljaju sadržaj radionuklida u sušenom biljnom materijalu i da su koncentracije aktivnosti radionuklida u svežim biljkama u proseku 5 do 10 puta manje vrednosti zbog sadržaja vode.

Tabela 14. Transfer faktor radionuklida  $K^{40}$  iz zemljišta u biljke

			Biljna kultura				
			žitarice		lisnato povrće	ispaša	
			Deo biljke	zrna	stablo i izdanci	lišće	stablo i izdanci
			Transfer faktor $F_v$	$7,4 \times 10^{-1}$	1,1	1,3	$7,3 \times 10^{-1}$
Lokacija	Koncentracija aktivnosti u zemljištu [Bq/kg]	Koncentracija aktivnosti u biljci [Bq/kg]					
HORGOS	249		184,26	273.9	323,7	181,77	
PALIĆ	238		176,12	261,8	309.4	173.74	
ŽEDNIK	392		290,08	431.2	509.6	286,16	
ALEKSA ŠANTIĆ	380		281,2	418	494	277.4	
TORNJOŠ	560		414,4	616	728	408.8	
GAKOVO	497		367,78	546.7	646.1	362.81	
KULA- LIPAR	552		408,48	607.2	717.6	402.96	
BEČEJ	794		587,56	873.4	1032.2	579.62	
SRBOBRAN	697		515,78	766.7	906.1	508.81	
SRPSKI MILETIĆ	452		334,48	497.2	587.6	329.96	
BOGOJEVO	428		316,71	470.8	556.4	312.44	
NADALJ	556		411,44	611.6	722.8	405.88	
RUSKI KRSTUR	581		429,94	639.1	755.3	424.13	
PARAGE	588		435,12	646.8	764.4	429.24	
RIMSKI ŠANČEVI	560		414,4	616	728	408.8	
ŽABALJ	658		486,92	723.8	855.4	480.34	
MAGLIĆ	465		344,1	511.5	604.5	339.45	
KAĆ	530		392,2	583	689	386.9	
BAČKO NOVO SELO	554		409,96	609.4	720.2	404.42	
BAN. ARANĐELOVO	590		436,6	649	767	430.7	
SANAD	1000		740	1100	1300	730	
CRNA BARA-ČOKA	684		506,16	752.4	889.2	499.32	
KIKINDA	542		401,08	596.2	704.6	395.66	
RUSKO SELO	621		459,54	683.1	807.3	453.33	
TORDA	590		436,6	649	767	430.7	
KUMANE	640		473,6	704	832	467.2	
BEGEJCI	786		581,4	864.6	1021.8	573.78	
ZRENJANIN	677		500,98	744.7	880.1	494.21	
BOKA (SOKOLAC)	633		468,42	696.3	822.9	462.09	

ORLOVAT	594		439,56	653.4	772.2	433.62
VRŠAČKI RITVI	745		551,3	819.5	968.5	543.85
KOZJAK	480		355,2	528	624	350.4
ILANDŽA	521		385,54	573.1	677.3	380.33
IDVOR	703		520,22	773.3	913.9	513.19
PADINA	492		364,08	541.2	639.6	359.16
VRŠAC	701		518,74	771.1	911.3	511.73
CREPAJA	500		370	550	650	365
DELIBLATO- ČARDAK	399		295,26	438.9	518.7	291.27
BAVANIŠTE	623		461,02	685.3	809.9	454.79
TRANDŽAMENT	705		521,7	775.5	916.5	514.65
ŠID	521		385,54	573.1	677.3	380.33
RIVICA	520		384,8	572	676	379.6
RUMA- IRIG	758		560,92	833.8	985.4	553.34
INĐIJA	488		361,12	536.8	634.4	356.24
MOROVIĆ	520		384,8	572	676	379.6
VIŠNJIĆEVO	507		375,18	557.7	659.1	370.11
SREMSKA MITROVICA	530		392,2	583	689	386.9
PEĆINCI- POPINCI	569		421,06	625.9	739.7	415.37
DONJI TOVARNIK	610		451,4	671	793	445.3
OBEDSKA BARA	479		354,46	526.9	622.7	349.67
<b>Srednja vrednost</b>	<b>569,18</b>		<b>421,19</b>	<b>626,01</b>	<b>739,93</b>	<b>415,50</b>

Tabela 15. Transfer faktor radionuklida Cs<sup>137</sup> iz zemljišta u biljke

			Biljna kultura						
			žitarice		kukuruz		lisnato povrće	mahunarke	
			Deo biljke	zrna	stablo i izdanci	zrna	stablo i izdanci	lišće	zrna i mahune
			Transfer faktor F <sub>v</sub>	2,9x10 <sup>-2</sup>	1,5x10 <sup>-1</sup>	3,3x10 <sup>-2</sup>	7,3x10 <sup>-2</sup>	6,0x10 <sup>-1</sup>	4,0x10 <sup>-2</sup>
Lokacija	Koncentracija aktivnosti u zemljištu [Bq/kg]	Koncentracija aktivnosti u biljci [Bq/kg]							
HORGOS	5.60		0.16	0.84	1.85	0.41	3.36	0.22	
PALIĆ	6.30		0.18	0.95	2.08	0.46	3.78	0.25	
ŽEDNIK	5.50		0.16	0.83	1.82	0.40	3.30	0.22	
ALEKSA ŠANTIĆ	4.40		0.13	0.66	1.45	0.32	2.64	0.18	
TORNJOŠ	3.80		0.11	0.57	1.25	0.28	2.28	0.15	
GAKOVO	15.70		0.46	2.36	5.18	1.15	9.42	0.63	
KULA- LIPAR	6.90		0.20	1.04	2.28	0.50	4.14	0.28	
BEČEJ	9.20		0.27	1.38	3.04	0.67	5.52	0.37	
SRBOBRAN	6.20		0.18	0.93	2.05	0.45	3.72	0.25	
SRPSKI MILETIĆ	3.60		0.10	0.54	1.19	0.26	2.16	0.14	
BOGOJEVO	4.49		0.13	0.67	1.48	0.33	2.69	0.18	
NADALJ	7.70		0.22	1.16	2.54	0.56	4.62	0.31	
RUSKI KRSTUR	5.60		0.16	0.84	1.85	0.41	3.36	0.22	
PARAGE	5.60		0.16	0.84	1.85	0.41	3.36	0.22	
RIMSKI ŠANČEVI	5.10		0.15	0.77	1.68	0.37	3.06	0.20	
ŽABALJ	9.00		0.26	1.35	2.97	0.66	5.40	0.36	
MAGLIĆ	3.04		0.09	0.46	1.00	0.22	1.82	0.12	
KAĆ	8.00		0.23	1.20	2.64	0.58	4.80	0.32	
BAČKO NOVO SELO	4.45		0.13	0.67	1.47	0.32	2.67	0.18	
BAN. ARANDELOVO	6.50		0.19	0.98	2.15	0.47	3.90	0.26	
SANAD	4.40		0.13	0.66	1.45	0.32	2.64	0.18	
CRNA BARA-ČOKA	9.10		0.26	1.37	3.00	0.66	5.46	0.36	
KIKINDA	5.10		0.15	0.77	1.68	0.37	3.06	0.20	
RUSKO SELO	11.90		0.35	1.79	3.93	0.87	7.14	0.48	
TORDA	10.10		0.29	1.52	3.33	0.74	6.06	0.40	
KUMANE	7.80		0.23	1.17	2.57	0.57	4.68	0.31	
BEGEJCI	6.70		0.19	1.01	2.21	0.49	4.02	0.27	
ZRENJANIN	5.60		0.16	0.84	1.85	0.41	3.36	0.22	
BOKA (SOKOLAC)	10.30		0.30	1.55	3.40	0.75	6.18	0.41	

ORLOVAT	6.70		0.19	1.01	2.21	0.49	4.02	0.27
VRŠAČKI RITIVI	25.80		0.75	3.87	8.51	1.88	15.48	1.03
KOZJAK	11.00		0.32	1.65	3.63	0.80	6.60	0.44
ILANDŽA	12.40		0.36	1.86	4.09	0.91	7.44	0.50
IDVOR	10.20		0.30	1.53	3.37	0.74	6.12	0.41
PADINA	6.70		0.19	1.01	2.21	0.49	4.02	0.27
VRŠAC	5.00		0.15	0.75	1.65	0.37	3.00	0.20
CREPAJA	9.90		0.29	1.49	3.27	0.72	5.94	0.40
DELIBLATO- ČARDAK	20.40		0.59	3.06	6.73	1.49	12.24	0.82
BAVANIŠTE	42.60		1.24	6.39	14.06	3.11	25.56	1.70
TRANDŽAMENT	6.70		0.19	1.01	2.21	0.49	4.02	0.27
ŠID	3.30		0.10	0.50	1.09	0.24	1.98	0.13
RIVICA	5.50		0.16	0.83	1.82	0.40	3.30	0.22
RUMA- IRIG	7.90		0.23	1.19	2.61	0.58	4.74	0.32
INĐIJA	4.50		0.13	0.68	1.49	0.33	2.70	0.18
MOROVIĆ	12.10		0.35	1.82	3.99	0.88	7.26	0.48
VIŠNJIĆEVO	12.20		0.35	1.83	4.03	0.89	7.32	0.49
SREMSKA MITROVICA	5.00		0.15	0.75	1.65	0.37	3.00	0.20
PEĆINCI- POPINCI	9.90		0.29	1.49	3.27	0.72	5.94	0.40
DONJI TOVARNIK	7.40		0.21	1.11	2.44	0.54	4.44	0.30
OBEDSKA BARA	18.40		0.53	2.76	6.07	1.34	11.04	0.74
<b>Srednja vrednost</b>	<b>8,83</b>		<b>0,26</b>	<b>1,32</b>	<b>2,91</b>	<b>0,64</b>	<b>5,30</b>	<b>0,35</b>

Tabela 16. Transfer faktor radionuklida Ra<sup>226</sup> iz zemljišta u biljke

			Biljna kultura					
			žitarice		kukuruz		lisnato povrće	mahunarke
			Deo biljke	zrna	stablo i izdanci	zrna	stablo i izdanci	lišće
Transfer faktor F <sub>v</sub>	1,7x10 <sup>-2</sup>	3,6x10 <sup>-2</sup>	2,4x10 <sup>-3</sup>	1,8x10 <sup>-2</sup>	9,1x10 <sup>-2</sup>	1,4x10 <sup>-2</sup>		
Lokacija	Koncentracija aktivnosti u zemljištu [Bq/kg]	Koncentracija aktivnosti u biljci [Bq/kg]						
HORGOŠ	12.4		0.21	0.45	0.03	0.22	1.13	0.17
PALIĆ	9.7		0.16	0.35	0.02	0.17	0.88	0.14
ŽEDNIK	36.6		0.62	1.32	0.09	0.66	3.33	0.51
ALEKSA ŠANTIĆ	39		0.66	1.40	0.09	0.70	3.55	0.55
TORNJOŠ	41.9		0.71	1.51	0.10	0.75	3.81	0.59
GAKOVO	38.6		0.66	1.39	0.09	0.69	3.51	0.54
KULA- LIPAR	38.5		0.65	1.39	0.09	0.69	3.50	0.54
BEČEJ	26.7		0.45	0.96	0.06	0.48	2.43	0.37
SRBOBRAN	46.8		0.80	1.68	0.11	0.84	4.26	0.66
SRPSKI MILETIĆ	40.5		0.69	1.46	0.10	0.73	3.69	0.57
BOGOJEVO	23.5		0.40	0.85	0.06	0.42	2.14	0.33
NADALJ	33.8		0.57	1.22	0.08	0.61	3.08	0.47
RUSKI KRSTUR	35.6		0.61	1.28	0.09	0.64	3.24	0.50
PARAGE	39.3		0.67	1.41	0.09	0.71	3.58	0.55
RIMSKI ŠANČEVI	39.9		0.68	1.44	0.10	0.72	3.63	0.56
ŽABALJ	36.7		0.62	1.32	0.09	0.66	3.34	0.51
MAGLIĆ	36.4		0.62	1.31	0.09	0.66	3.31	0.51
KAČ	28.7		0.49	1.03	0.07	0.52	2.61	0.40
BAČKO NOVO SELO	29.4		0.50	1.06	0.07	0.53	2.68	0.41
BAN. ARANĐELOVO	30.0		0.51	1.08	0.07	0.54	2.73	0.42
SANAD	35		0.60	1.26	0.08	0.63	3.19	0.49
CRNA BARA-ČOKA	29.4		0.50	1.06	0.07	0.53	2.68	0.41
KIKINDA	30.0		0.51	1.08	0.07	0.54	2.73	0.42
RUSKO SELO	25.1		0.43	0.90	0.06	0.45	2.28	0.35
TORDA	37		0.63	1.33	0.09	0.67	3.37	0.52
KUMANE	31.1		0.53	1.12	0.07	0.56	2.83	0.44
BEGEJCI	45.1		0.77	1.62	0.11	0.81	4.10	0.63
ZRENJANIN	37.0		0.63	1.33	0.09	0.67	3.37	0.52
BOKA (SOKOLAC)	34.1		0.58	1.23	0.08	0.61	3.10	0.48
ORLOVAT	37.3		0.63	1.34	0.09	0.67	3.39	0.52

VRŠAČKI RITOVI	33.1		0.56	1.19	0.08	0.60	3.01	0.46
KOZJAK	41		0.70	1.48	0.10	0.74	3.73	0.57
ILANDŽA	42.3		0.72	1.52	0.10	0.76	3.85	0.59
IDVOR	34.0		0.58	1.22	0.08	0.61	3.09	0.48
PADINA	41		0.70	1.48	0.10	0.74	3.73	0.57
VRŠAC	49.1		0.83	1.77	0.12	0.88	4.47	0.69
CREPAJA	43.1		0.73	1.55	0.10	0.78	3.92	0.60
DELIBLATO- ČARDAK	20.7		0.35	0.75	0.05	0.37	1.88	0.29
BAVANIŠTE	37.3		0.63	1.34	0.09	0.67	3.39	0.52
PETROV.- TRANŽAMENT	47.9		0.81	1.72	0.11	0.86	4.36	0.67
ŠID	40.2		0.68	1.45	0.10	0.72	3.66	0.56
RIVICA	43.4		0.74	1.56	0.10	0.78	3.95	0.61
RUMA- IRIG	47.0		0.80	1.69	0.11	0.85	4.28	0.66
INĐIJA	38.6		0.66	1.39	0.09	0.69	3.51	0.54
MOROVIĆ	36.2		0.62	1.30	0.09	0.65	3.29	0.51
VIŠNJIĆEVO	34.3		0.58	1.23	0.08	0.62	3.12	0.48
SREMSKA MITROVICA	35.3		0.60	1.27	0.08	0.64	3.21	0.49
PEĆINCI- POPINCI	34.1		0.58	1.23	0.08	0.61	3.10	0.48
DONJI TOVARNIK	41.7		0.71	1.50	0.10	0.75	3.79	0.58
OBEDSKA BARA	24.9		0.42	0.90	0.06	0.45	2.27	0.35
<b>Srednja vrednost</b>	<b>35.41</b>		<b>0.60</b>	<b>1.27</b>	<b>0.08</b>	<b>0.64</b>	<b>3.22</b>	<b>0.50</b>

Tabela 17. Transfer faktor radionuklida  $\text{Th}^{232}$  iz zemljišta u biljke

			Biljna kultura					
			žitarice		kukuruz		lisnato povrće	mahunarke
			Deo biljke	zrna	stablo i izdanci	zrna	stablo i izdanci	lišće
Transfer faktor $F_v$	$2,1 \times 10^{-3}$	$6,1 \times 10^{-3}$	$6,4 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-3}$	$5,3 \times 10^{-3}$		
Lokacija	Koncentracija aktivnosti u zemljištu [Bq/kg]	Koncentracija aktivnosti u biljci [Bq/kg]						
HORGOŠ	14.60		0.03	0.09	0.0009	0.03	0.18	0.008
PALIĆ	11.70		0.02	0.07	0.0007	0.02	0.14	0.006
ŽEDNIK	35.90		0.08	0.22	0.0023	0.06	0.43	0.019
ALEKSA ŠANTIĆ	37.00		0.08	0.23	0.0024	0.07	0.44	0.020
TORNJOŠ	45.00		0.09	0.27	0.0029	0.08	0.54	0.024
GAKOVO	44.20		0.09	0.27	0.0028	0.08	0.53	0.023
KULA- LIPAR	45.80		0.10	0.28	0.0029	0.08	0.55	0.024
BEČEJ	47.40		0.10	0.29	0.0030	0.09	0.57	0.025
SRBOBRAN	56.00		0.12	0.34	0.0036	0.10	0.67	0.030
SRPSKI MILETIĆ	39.20		0.08	0.24	0.0025	0.07	0.47	0.021
BOGOJEVO	24.10		0.05	0.15	0.0015	0.04	0.29	0.013
NADALJ	41.50		0.09	0.25	0.0027	0.07	0.50	0.022
RUSKI KRSTUR	41.50		0.09	0.25	0.0027	0.07	0.50	0.022
PARAGE	45.10		0.09	0.28	0.0029	0.08	0.54	0.024
RIMSKI ŠANČEVI	43.00		0.09	0.26	0.0028	0.08	0.52	0.023
ŽABALJ	47.70		0.10	0.29	0.0031	0.09	0.57	0.025
MAGLIĆ	38.00		0.08	0.23	0.0024	0.07	0.46	0.020
KAČ	32.00		0.07	0.20	0.0020	0.06	0.38	0.017
BAČKO NOVO SELO	30.90		0.06	0.19	0.0020	0.06	0.37	0.016
BAN. ARANĐELOVO	41.00		0.09	0.25	0.0026	0.07	0.49	0.022
SANAD	61.10		0.13	0.37	0.0039	0.11	0.73	0.032
CRNA BARA-ČOKA	41.00		0.09	0.25	0.0026	0.07	0.49	0.022
KIKINDA	35.00		0.07	0.21	0.0022	0.06	0.42	0.019
RUSKO SELO	35.40		0.07	0.22	0.0023	0.06	0.42	0.019
TORDA	46.00		0.10	0.28	0.0029	0.08	0.55	0.024
KUMANE	45.00		0.09	0.27	0.0029	0.08	0.54	0.024
BEGEJCI	57.90		0.12	0.35	0.0037	0.10	0.69	0.031
ZRENJANIN	48.00		0.10	0.29	0.0031	0.09	0.58	0.025
BOKA (SOKOLAC)	43.40		0.09	0.26	0.0028	0.08	0.52	0.023
ORLOVAT	43.70		0.09	0.27	0.0028	0.08	0.52	0.023



VRŠAČKI RITOVI	56.70		0.12	0.35	0.0036	0.10	0.68	0.030
KOZJAK	38.70		0.08	0.24	0.0025	0.07	0.46	0.021
ILANDŽA	44.00		0.09	0.27	0.0028	0.08	0.53	0.023
IDVOR	47.20		0.10	0.29	0.0030	0.08	0.57	0.025
PADINA	41.00		0.09	0.25	0.0026	0.07	0.49	0.022
VRŠAC	70.50		0.15	0.43	0.0045	0.13	0.85	0.037
CREPAJA	42.00		0.09	0.26	0.0027	0.08	0.50	0.022
DELIBLATO- ČARDAK	24.30		0.05	0.15	0.0016	0.04	0.29	0.013
BAVANIŠTE	45.50		0.10	0.28	0.0029	0.08	0.55	0.024
PETROV.- TRANŽAMENT	64.40		0.14	0.39	0.0041	0.12	0.77	0.034
ŠID	44.00		0.09	0.27	0.0028	0.08	0.53	0.023
RIVICA	48.00		0.10	0.29	0.0031	0.09	0.58	0.025
RUMA- IRIG	64.80		0.14	0.40	0.0041	0.12	0.78	0.034
INĐIJA	35.00		0.07	0.21	0.0022	0.06	0.42	0.019
MOROVIĆ	48.00		0.10	0.29	0.0031	0.09	0.58	0.025
VIŠNJIČEVO	35.00		0.07	0.21	0.0022	0.06	0.42	0.019
SREMSKA MITROVICA	42.30		0.09	0.26	0.0027	0.08	0.51	0.022
PEĆINCI- POPINCI	47.00		0.10	0.29	0.0030	0.08	0.56	0.025
DONJI TOVARNIK	50.00		0.11	0.31	0.0032	0.09	0.60	0.027
OBEDSKA BARA	34.80		0.07	0.21	0.0022	0.06	0.42	0.018
<b>Srednja vrednost</b>	<b>42.83</b>		<b>0.09</b>	<b>0.26</b>	<b>0.0027</b>	<b>0.08</b>	<b>0.51</b>	<b>0.0023</b>

Tabela 18. Transfer faktor radionuklida  $U^{238}$  iz zemljišta u biljke

			Biljna kultura						
			žitarice		kukuruz		lisnato povrće	mahunarke	
			Deo biljke	<i>zrna</i>	stablo i izdanci	zrna	stablo i izdanci	lišće	zrna i mahune
			Transfer faktor $F_v$	$6,2 \times 10^{-3}$	$2,7 \times 10^{-2}$	$1,5 \times 10^{-2}$	$7,8 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-3}$
Lokacija	Koncentracija aktivnosti u zemljištu [Bq/kg]	Koncentracija aktivnosti u biljci [Bq/kg]							
HORGOS	24		0.15	0.65	0.36	1.87	0.48	0.053	
PALIC	9.4		0.06	0.25	0.14	0.73	0.19	0.021	
ZEDNIK	< 20								
ALEKSA ŠANTIĆ	< 21								
TORNJOŠ	78		0.48	2.11	1.17	6.08	1.56	0.172	
GAKOVO	47		0.29	1.27	0.71	3.67	0.94	0.103	
KULA- LIPAR	28.3		0.18	0.76	0.42	2.21	0.57	0.062	
BEČEJ	40		0.25	1.08	0.60	3.12	0.80	0.088	
SRBOBRAN	66		0.41	1.78	0.99	5.15	1.32	0.145	
SRPSKI MILETIĆ	38		0.24	1.03	0.57	2.96	0.76	0.084	
BOGOJEVO	17.2		0.11	0.46	0.26	1.34	0.34	0.038	
NADALJ	36		0.22	0.97	0.54	2.81	0.72	0.079	
RUSKI KRSTUR	26.0		0.16	0.70	0.39	2.03	0.52	0.057	
PARAGE	38.5		0.24	1.04	0.58	3.00	0.77	0.085	
RIMSKI ŠANČEVI	73.1		0.45	1.97	1.10	5.70	1.46	0.161	
ŽABALJ	52.5		0.33	1.42	0.79	4.10	1.05	0.116	
MAGLIĆ	< 19								
KAC	35		0.22	0.95	0.53	2.73	0.70	0.077	
BAČKO NOVO SELO	25.3		0.16	0.68	0.38	1.97	0.51	0.056	
BAN. ARANDELOVO	70		0.43	1.89	1.05	5.46	1.40	0.154	
SANAD	54		0.33	1.46	0.81	4.21	1.08	0.119	
CRNA BARAČOKA	22.0		0.14	0.59	0.33	1.72	0.44	0.048	
KIKINDA	32.9		0.20	0.89	0.49	2.57	0.66	0.072	
RUSKO SELO	30		0.19	0.81	0.45	2.34	0.60	0.066	
TORDA	< 22								
KUMANE	59		0.37	1.59	0.89	4.60	1.18	0.130	
BEGEJCI	61		0.38	1.65	0.92	4.76	1.22	0.134	
ZRENJANIN	25.3		0.16	0.68	0.38	1.97	0.51	0.056	
BOKA (SOKOLAC)	44		0.27	1.19	0.66	3.43	0.88	0.097	
ORLOVAT	36		0.22	0.97	0.54	2.81	0.72	0.079	

VRŠAČKI RITOVI	53		0.33	1.43	0.80	4.13	1.06	0.117
KOZJAK	43		0.27	1.16	0.65	3.35	0.86	0.095
ILANDŽA	< 22							
IDVOR	25		0.16	0.68	0.38	1.95	0.50	0.055
PADINA	< 21							
VRŠAC	74		0.46	2.00	1.11	5.77	1.48	0.163
CREPAJA	67		0.42	1.81	1.01	5.23	1.34	0.147
DELIBLATO- ČARDAK	16.9		0.10	0.46	0.25	1.32	0.34	0.037
BAVANIŠTE	37		0.23	1.00	0.56	2.89	0.74	0.081
PETROV.- TRANŽAMENT	66		0.41	1.78	0.99	5.15	1.32	0.145
ŠID	< 21							
RIVICA	80		0.50	2.16	1.20	6.24	1.60	0.176
RUMA- IRIG	68		0.42	1.84	1.02	5.30	1.36	0.150
INĐIJA	< 20							
MOROVIĆ	72		0.45	1.94	1.08	5.62	1.44	0.158
VIŠNJIČEVO	< 22							
SREMSKA MITROVICA	73		0.45	1.97	1.10	5.69	1.46	0.161
PEĆINCI- POPINCI	38		0.24	1.03	0.57	2.96	0.76	0.084
DONJI TOVARNIK	76		0.47	2.05	1.14	5.93	1.52	0.167
OBEDSKA BARA	31.1		0.19	0.84	0.47	2.43	0.62	0.068
<b>Srednja vrednost</b>	<b>54.53</b>		<b>0.34</b>	<b>1.24</b>	<b>0.69</b>	<b>3.59</b>	<b>0.92</b>	<b>0.101</b>

## 6. Zaključak i predlog mera

U većini uzoraka zemljišta detektovano je prisustvo  $^{137}\text{Cs}$  u tragovima. Koncentracija aktivnosti ovog antropogenog radionuklida su niže u poređenju sa vrednostima izmerenim prošlih godina, što je i očekivano jer ovaj radionuklid dominantno potiče od havarije nuklearne elektrane u Černobilu i ima period polu-raspada od 30,17 godina. Procesi ispiranja i relokacije cezijuma mogu da dovedu do veoma neravnomerne distribucije ovog radionuklida u jednoj oblasti. Najviša aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  od 42,6 Bq/kg zabeležena je na lokaciji Bavanište na samom ulasku u Deliblatsku peščaru. Ovo se može objasniti dejstvom vetra i pojačanim nanosom ovog radionuklida.

Koncentracija aktivnosti prirodnog  $^{238}\text{U}$  se kreće u granicama od 5 do 80 Bq/kg. Nema značajnih odstupanja od vrednosti karakterističnih za vojvođanske zemlje, za koje postoji najbolja sistematika izmerenih vrednosti. Ni u jednom uzorku nije primećena povišena aktivnost kako  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ , tako ni osiromašenog uranijuma. Odnos uranijuma  $^{238}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$  u većini uzoraka zemljišta je približno jednak 1 što potvrđuje odsustvo kontaminacije ovim radionuklidom. U pojedinim uzorcima taj odnos je veći od 1 i poklapa se sa činjenicom da su to bile oranice sveže đubrene veštačkim đubrivima koja u sebi sadrže fosfate sa sadržajem  $^{238}\text{U}$ . Ove koncentracije aktivnosti uranijuma se ne smatraju povišenim i uzimajući u obzir transfer faktor zemljište – biljka ne ugrožavaju proizvodnju zdravstveno bezbedne hrane. Međutim na svetskom tržištu mineralnih đubriva postoje i đubriva sa izuzetno visokim sadržajem  $^{238}\text{U}$  tako da je neophodno sprovoditi kontrolu radioaktivnosti đubriva prilikom uvoza ili puštanja u promet kako se ne bi kontaminiralo naše zemljište, što je regulisano Zakonom i Pravilnicima koji se odnose na jonizujuće zračenje.

Vrednosti koncentracija aktivnosti  $^{232}\text{Th}$  se kreću u opsegu od 11,7 do 70,5 Bq/kg, a za  $^{40}\text{K}$  u opsegu od 238 do 1000 Bq/kg što su uobičajene granice za vojvođansko zemljište. Kalijum je prisutan u zemljištu u većim koncentracijama jer se u većoj meri koriste đubriva koja sadrže kalijum i on se zadržava, akumulira u zemljištu.

Koncentracije aktivnosti prirodnog radionuklida  $^{226}\text{Ra}$  se kreću u granicama od 9,7 Bq/kg do 49,1 Bq/kg i nema znatnih odstupanja u odnosu na dosadašnja merenja. Koncentracija aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$ , koji je član niza  $^{238}\text{U}$ , prirodno prati koncentraciju  $^{238}\text{U}$ , što znači da na ispitivanim lokacijama nisu zabeležena tehnološka povećanja koncentracije ovog radionuklida. Ravnoteža aktivnosti  $^{238}\text{U}$  i  $^{226}\text{Ra}$  potvrđuje naše ranije zaključke o odsustvu zagađenja sa osiromašenim uranom.

Procena transfer faktora za cezijum i radijum iz zemljišta u biljne kulture koje bi se na njemu uzgajale izvršene su na osnovu izmerenih koncentracija datih radionuklida i predstavljaju maksimalne vrednosti koje bi se mogle naći u sušenim biljnim delovima kultura uzgajanih na uzorkovanom poljoprivrednom zemljištu. Koncentracije radionuklida preračunate za sveže biljke (5-10 puta manje vrednosti) su niže od izvedenih koncentracija u važećoj zakonskoj regulativi za vodu koje se konzumira od većim količinama od hrane biljnog porekla i potvrđuju pretpostavku o zdravstvenoj bezbednosti uzgajanja hrane na našem području.

Pošto se radionuklidi u većoj meri akumuliraju u listovima i korenu biljnih kultura neophodno je pratiti radioaktivnost poljoprivrednog zemljišta, naročito ako se uzgajaju povrtarske kulture (lisnato i korenasto povrće). Akumuliranje radionuklida u krmnom bilju i ispaši predstavlja potencijalnu opasnost za povećanje radionuklida u mesu životinja. Za procenu doze koju bi stanovništvo primilo ingestijom proizvedene hrane neophodno je poznavanje prosečnog godišnjeg unosa za svaku vrstu namirnica, a statistički zavod kod nas ne raspolaže ovim podacima.

Da bi se dobila što preciznija i tačnija ocena radioaktivnosti zemljišta u Vojvodini neophodno je nastaviti sa merenjima i uzorkovanjem na što većem broju lokacija. Ujedno se na taj način prati i eliminacija radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  černobilskog porekla iz ekosistema Vojvodine. Savet poljoprivrednicima je da konsultuju stručnjake agronome koji na osnovu plodnosti zemljišta daju procenu na koji način i u kojoj meri đubriti zemljište da se ne bi stvarale akumulacije radionuklida koje prelaze u biljke. Ukoliko je teren gde se nalazi poljoprivredno zemljište pogodan za akumuliranje radioaktivnosti (usled dejstva vetra, plavljenje reka i kanala, površinske i podzemne vode, erozija zemljišta u kotlinama) neophodno je i češće vršiti kontrolu radioaktivnosti.

Izrada karti i atlasa prirodne radioaktivnosti je u skladu sa preporukama međunarodnih organizacija (IAEA, WHO, FAO) koje veliki akcenat stavljaju na prirodnu radioaktivnost i njen veliki doprinos dozi koju primi stanovništvo od radioaktivnog zračenja. Pored radioaktivnosti zemljišta prati se i sadržaj radona u životnim prostorima i u pijaćoj vodi koja sa sobom iz zemlje nosi povećanu koncentraciju radona.

## Literatura:

1. EC, 1997: Radiation Protection 88. Recommendations for implementation of Title VII of the European Basic Safety Standards concerning significant increase in exposure due to natural radiation sources. European Commission. Office for Official Publications of the European Commission. Radiation Protection Series.
2. IAEA Technical Reports Series No.295 – Measurement of Radionuclides in Food and the Environment - Section 5. - Collection and Preparation of Samples.
3. ASTM C 1402 – 04 Standard Guide for High-Resolution gamma-Ray Spectrometry of Soil Samples
4. I.Bikit, J.Slivka, M.Krmar, M.Vesković, Lj.Čonkić, E.Varga, S.Ćurčić, D.Mrđa, Determination of Depleted Uranium at the Novi Sad Low-Level Laboratory, Archive of Oncology 2001 in press
5. National Environment Health Action Plans, Hungary, WHO Regional Office for Europe (www.who.dk)
6. I.Bikit, J. Slivka, D. Mrdja, N. Zikic-Todorovic, S. Curcic, E. Varga, M. Veskovic, Lj. Conkic: Simple Method for Depleted Uranium Determination, *Japanese Journal of Applied Physics (JJAP)*, 5269-5273, Tokyo (2003)
7. I .Bikit, J.Slivka, M.Veskovic, E.Varga, N.Zikic-Todorovic, D.Mrdja, S.Forkapic: *Measurement of Danube Sediment Radioactivity in Serbia and Montenegro Using Gamma Ray Spectrometry*, Radiation Measurements 41 (2006) 477-481
8. I.Bikit, et al. : *Radioactivity of the soil in Vojvodina (northern province of Serbia and Montenegro)*, Journal of Environmental Radioactivity 78 (2005) 11-19
9. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – TRS-DRAFT document 2009