

**ИЗВЕШТАЈ О РЕАЛИЗАЦИЈИ
СИСТЕМАТСКОГ ИСПИТИВАЊА САДРЖАЈА
РАДИОНУКЛИДА У ЗЕМЉИШТУ**



Београд, 2016. године

ИЗВЕШТАЈ О СИСТЕМАТСКОМ ИСПИТИВАЊУ САДРЖАЈА РАДИОНУКЛИДА У ЗЕМЉИШТУ

Овај документ о извршењу задатка је у складу са:

- Законом о заштити од јонизујућег зрачења и нуклеарној сигурности, („Службени гласник РС“ број 36/09 и 93/12),
- Правилником о утврђивању програма систематског испитивања садржаја радионуклида у животној средини („Службени гласник РС“, број 100/2010),
- Правилником о мониторингу радиоактивности („Службени гласник РС“, бр. 97/2011) и на основу Уговора број 404-02-10/2015-04 од 27.11.2015.године који је склопљен између Агенције за заштиту од јонизујућих зрачења и нуклеарну сигурност Србије, и Института за нуклеарне науке Винча, као представника групе понуђача (Институт за нуклеарне науке Винча, Природно математички факултет у Новом Саду и Института за медицину рада Србије „др Драгомир Карајовић“).

У овом извештају су дати резултати испитивања садржаја радионуклида у земљишту на територији Републике Србије.

Координатор активности у име
Института за нуклеарне науке Винча

др Драгана Тодоровић

Директор
Института за нуклеарне науке Винча

др Борислав Грубор

Координатор активности у име
ПМФ у Новом Саду

проф.др Душан Мрђа

Декан
Природно-математичког факултета
у Новом Саду

проф.др Милица Павков-Хрвојевић

Координатор активности у име
Института за медицину рада Србије
Др Драгомир Карајовић

др Сузана Богојевић

Директор
Института за медицину рада Србије
Др Драгомир Карајовић

проф. др Александар Миловановић

САРАДНИЦИ НА ПОСЛОВИМА

1. Институт за нуклеарне науке Винча,
 - a. Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту животне средине – 100
 - b. Лабораторија за нуклеарну и плазма физику - 011
 - c. Лабораторија за хемијску динамику – 060
2. Институт за медицину рада „др Драгомир Карајовић“
3. ПМФ Нови Сад, Департман за физику
Лабораторија за испитивање радиоактивности узорака и дозе јонизујућег и нејонизујућег зрачења

САДРЖАЈ

1. УВОД	5
2. ПРОГРАМ ИСПИТИВАЊА	5
3. МЕТОДЕ МЕРЕЊА	16
3.1. Спектрометрија гама емитера	16
3.1.1. Припрема узорака	16
3.1.2. Гамаспектрометријска мерења	16
4. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА	18
4.1. ИСПИТИВАЊЕ САДРЖАЈА РАДИОНУКЛИДА – ГАМА ЕМИТЕРА У УЗОРЦИМА ЗЕМЉИШТА	18
4.2. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА	35
4.2.1. ОБРАДИВО ЗЕМЉИШТЕ	35
4.2.2. НЕОБРАДИВО ЗЕМЉИШТЕ	36
5. ЗАКЉУЧАК	40
6. ЛИТЕРАТУРА	41

1. УВОД

На основу Правилника о утврђивању Програма систематског испитивања садржаја радионуклида у животној средини („Службени гласник РС“, бр. 100/2010) и Правилника о мониторингу радиоактивности („Службени гласник РС“, бр. 97/2011) у 2015. години, вршено је испитивање садржаја радионуклида у земљишту. Испитивање је обухватило две методе, спектрометрију гама емитера на 24 локације и у две врсте земљишта (обрадиво и необрадиво) и мерење јачине амбијенталног еквивалента дозе на 1m изнад тла.

2. ПРОГРАМ ИСПИТИВАЊА

Програм испитивања земљишта обухвата гамаспектрометријско одређивање садржаја радионуклида у обрадивом и необрадивом земљишту и мерење јачине амбијенталног еквивалента дозе на основу програма који је дат у Табели 1.

У Табели 2. приказане су GPS координате локација на којима је извршено мерење јачине амбијенталног еквивалента дозе и са којих је извршено узорковање земљишта.

Мерење јачине амбијенталног еквивалента дозе вршено је помоћу:

1. HAND-HELD RADIATION MONITOR "MKS-A03", ASPECT, DUBNA , RUSSIA, са уграђеним сцинтилационим NaI (40 mm x 40 mm) детектором и GM бројачем. Опсег мерења амбијенталног дозног еквивалента 0,08 $\mu\text{Sv/h}$ – 100 mSv/h. Мерна несигурност је $\pm 20 \%$.
2. Automess AD6 са сцинтилационом сондом ADb, s/b 109282, резолуције 1 nSv/h. Опсег мерења амбијенталног дозног еквивалента ($H^*(10)$) 10 nSv/h – 100 $\mu\text{Sv/h}$. Мерна несигурност је $\pm 7 \%$.
3. Radiation Alert Inspector, произвођач S.E.INTERNATIONAL, INC,USA, са уграђеним GM бројачем. Опсег мерења амбијенталног дозног еквивалента 0.01 $\mu\text{Sv/h}$ - 1 mSv/h. Комбинована мерна несигурност је $\pm 20 \%$.
4. RADIATION MONITOR ATOMTEX AT6130, са уграђеним GM бројачем. Опсег мерења амбијенталног дозног еквивалента 0,05 $\mu\text{Sv/h}$ - 10 mSv/h. Мерна несигурност је $\pm 10 \%$.

Табела 1. Програм испитивања земљишта

Врста узорака	Врста испитивања	Мерно место	Број узорака по мерном месту	Укупан број испитиваних узорака
Обрадиво земљиште дубине 0-20cm	Гамаспектрометријско одређивање садржаја радионуклида.	- Београд - Суботица - Нови Сад - Ниш	1	24
Необрадиво земљиште дубина 1. 0-5cm и 2. 5-15cm		- Златибор - Зајечар - Кладово - Врање - Обреновац - Сомбор - Зрењанин - Вршац - Ваљево - Крушевац - Пријепоље - Нови Пазар - Пирот - Смедерево - Крагујевац - Шабац - Копаоник - Шид - Кална - Прахово	2	48
Обрадиво земљиште дубине 0-20cm	Мерење јачине амбијенталног еквивалента дозе.	- Београд - Суботица - Нови Сад - Ниш - Златибор	1	24
Необрадиво земљиште дубина 1. 0-5cm и 2. 5-15cm		- Зајечар - Кладово - Врање - Обреновац - Сомбор - Зрењанин - Вршац - Ваљево - Крушевац - Пријепоље - Нови Пазар - Пирот - Смедерево - Крагујевац - Шабац - Копаоник - Шид - Кална - Прахово	1	24

Табела 2. Координате локација са којих је извршено узорковање земљишта са измереним јачинама амбијенталног еквивалента дозе на 1 м изнад тла ($\dot{D}_E$)

Локација	Врста земљишта	$\dot{D}_E$ [nSv/h]	GPS координате		Датум узорковања
Београд	обрадиво	124	N 44° 45' 18,3"	E 20° 34' 49,5"	20.11.2015.
	необрадиво	118	N 44° 45' 25,6"	E 20° 34' 45,3"	
Суботица	обрадиво	107	N 46° 04' 50,16"	E 19° 46' 8,76"	26.11.2015.
	необрадиво	119	N 46° 04' 46,63"	E 19° 46' 12,4"	
Нови Сад	обрадиво	140	N 45° 19' 27,3"	E 19° 50' 48,9"	17.11.2015.
	необрадиво	122	N 45° 19' 19,9"	E 19° 50' 13,8"	
Ниш	обрадиво	96	N 43° 18' 18,2"	E 21° 58' 13,2"	24.11.2015.
	необрадиво	82	N 43° 20' 51,5"	E 21° 52' 04,3"	
Златибор	обрадиво	150	N 43° 44' 13"	E 19° 42' 40"	03.12.2015.
	необрадиво	160	N 43° 44' 14"	E 19° 42' 39"	
Зајечар	обрадиво	92	N 43° 52' 46,1"	E 22° 17' 20,5"	24.11.2015.
	необрадиво	86	N 43° 54' 05,7"	E 22° 17' 33,6"	
Кладово	обрадиво	86	N 44° 36' 04,0"	E 22° 36' 46,6"	24.11.2015.
	необрадиво	79	N 44° 36' 09,7"	E 22° 36' 35,5"	
Врање	обрадиво	150	N 42° 32' 30,27"	E 21° 54' 20,17"	16.11.2015.
	необрадиво	100	N 42° 32' 32,81"	E 21° 54' 17,25"	
Обреновац	обрадиво	140	N 44° 39' 50,6"	E 20° 12' 15,8"	22.11.2015.
	необрадиво	112	N 44° 39' 39,0"	E 20° 12' 14,7"	
Сомбор	обрадиво	123	N 45° 47' 15,7"	E 19° 21' 24,6"	23.11.2015.
	необрадиво	94	N 45° 47' 15,1"	E 19° 22' 03,2"	
Зрењанин	обрадиво	144	N 45° 23' 34,2"	E 20° 17' 50,7"	17.11.2015.
	необрадиво	112	N 45° 22' 47,2"	E 20° 21' 02,1"	
Вршац	обрадиво	130	N 45° 06' 01,9"	E 21° 18' 01,2"	20.11.2015.
	необрадиво	110	N 45° 07' 24,9"	E 21° 18' 36,5"	25.11.2015.
Ваљево	обрадиво	100	N 44° 12' 20"	E 19° 55' 22"	03.12.2015.
	необрадиво	110	N 44° 12' 19"	E 19° 55' 22"	
Крушевац	обрадиво	70	N 43° 35' 21,3"	E 21° 15' 20,3"	17.11.2015.
	необрадиво	70	N 43° 35' 19,4"	E 21° 15' 19,2"	
Пријеполје	обрадиво	110	N 43° 22' 57"	E 19° 41' 19"	03.12.2015.
	необрадиво	100	N 43° 22' 53"	E 19° 41' 15"	
Нови Пазар	обрадиво	150	N 43° 9,5' 55,7"	E 20° 32' 18,2"	21.11.2015.
	необрадиво	180	N 43° 9,5' 26,5"	E 20° 31,8' 5,5"	
Пирот	обрадиво	86	N 43° 10' 15,7"	E 22° 35' 0,4"	24.11.2015.
	необрадиво	80	N 43° 10' 09,2"	E 22° 35' 11,0"	

Табела 2. Наставак

Локација	Врста земљишта	$\dot{D}_E$ [nSv/h]	GPS координате		Датум узорковања
Смедерево	обрадиво	105	N 44° 40' 53,86"	E 20° 57' 1,47"	16.11.2015.
	необрадиво	98	N 44° 39' 54,99"	E 20° 55' 4,40"	
Крагујевац	обрадиво	80	N 43° 56' 45,7"	E 20° 52' 22,6"	17.11.2015.
	необрадиво	80	N 43° 55' 45,1"	E 20° 52' 51,3"	
Шабац	обрадиво	80	N 44° 46' 28"	E 19° 40' 14"	05.12.2015.
	необрадиво	80	N 44° 46' 26"	E 19° 40' 12"	
Копаоник	обрадиво	90	N 43° 24' 10,6"	E 20° 43' 06,2"	17.11.2015.
	необрадиво	80	N 43° 24' 08,6"	E 20° 43' 08,9"	
Шид	обрадиво	130	N 45° 08' 3,72"	E 19° 12' 48,81"	19.11.2015.
	необрадиво	90	N 45° 08' 1,11"	E 19° 13' 06,4"	
Кална	обрадиво	86	N 43° 24' 38,5"	E 22° 25' 31,5"	23.11.2015.
	необрадиво	104	N 43° 24' 12,3"	E 22° 25' 24,1"	
Прахово	обрадиво	90	N 44° 17' 14,4"	E 22° 34' 45,9"	24.11.2015.
	необрадиво	103	N 44° 17' 18,2"	E 22° 35' 10,5"	

СЛИКЕ НЕКИХ ЛОКАЦИЈА СА КОЈИХ ЈЕ ИЗВРШЕНО УЗОРКОВАЊЕ:



Слика 1. Локација Кална – необрадиво лево и обрадиво десно



Слика 2. Локација Кладово – необрадиво лево и обрадиво десно



Слика 3. Локације Ниш – необрадиво лево и обрадиво десно



Слика 4. Локација Нови Пазар – необрадиво лево и обрадиво десно



Слика 5. Локације Обреновац – необрадиво лево и обрадиво десно



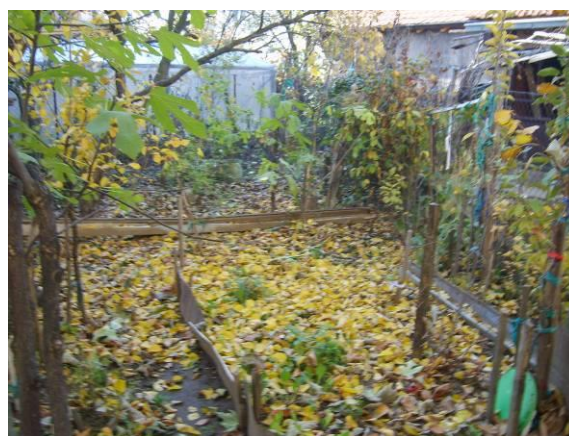
Слика 6. Локације Пирот – необрадиво лево и обрадиво десно



Слика 7. Локације Прахово – необрадиво лево и обрадиво десно



Слика 8. Локације Смедерево – необрадиво лево и обрадиво десно



Слика 9. Локације Врање – необрадиво лево и обрадиво десно



Слика 10. Локације Вршац – необрадиво лево и обрадиво десно



Слика 11. Локације Зајечар – необрадиво лево и обрадиво десно



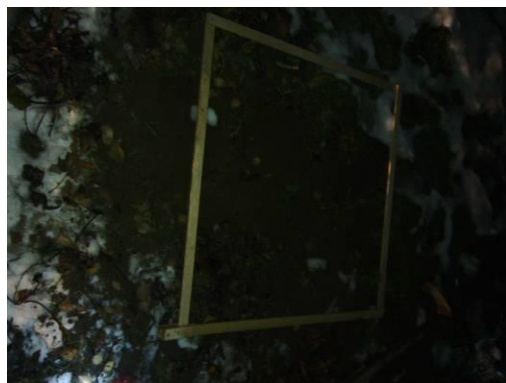
Слика 12. Локације Пријеполје – необрадиво лево и обрадиво десно



Слика 13. Локације Шабац – необрадиво лево и обрадиво десно



Слика 14. Локације Ваљево – необрадиво лево и обрадиво десно



Слика 15. Локације Златибор – необрадиво лево и обрадиво десно



Слика 16. Локације Шид – необрадиво лево и обрадиво десно



Слика 17. Локације Нови Сад – необрадиво лево и обрадиво десно



Слика 18. Локације Суботица – необрадиво лево и обрадиво десно



Слика 19. Локације Зрењанин – необрадиво лево и обрадиво десно



Слика 20. Локације Сомбор – необрадиво лево и обрадиво десно

3. МЕТОДЕ МЕРЕЊА

3.1. Спектрометрија гама емитера

3.1.1. Припрема узорака

Поступак припреме узорака земљишта састојао се од сушења на 105°C, просејавања и одмеравања у геометрију мерења - маринели посуде од 0.5 l и цилиндричне PVC посуде од 200 cm³, а у складу са методом 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) [1]. Узорци су мерени након успостављања радиоактивне равнотеже.

3.1.2. Гамаспектрометријска мерења

Спектрометрија гама емитера узорака земљишта урађена је помоћу:

1. HPGe детектора релативне ефикасности 18 %, 20 %, фирме Canberra. Резолуција детектора је 1.8 keV на енергији од 1332 keV. Калибрација детектора урађена је примарним референтним радиоактивним материјалом у маринели геометрији, Czech Metrological Institute Praha, Cert. No.9031-OL-420/12, укупне активности 41.48 kBq на 31.08.2012. године (²⁴¹Am, ¹⁰⁹Cd, ¹³⁹Ce, ⁵⁷Co, ⁶⁰Co, ⁸⁸Y, ¹¹³Sn, ⁸⁵Sr, ¹³⁷Cs, ²⁰³Hg). За обраду спектра коришћена је верзија програма GENIE која осим идентификованих гама-енергије увек исказује спектралне интензитете и за више од 30 изабраних изотопа.
2. Ултра ниско-фонског германијумског детектора типа GMX (са проширеним енергетским опсегом од 10 keV до 3 MeV-a) произвођача ORTEC, номиналне ефикасности 32 % у пасивној и активној заштити (слика 12). Калибрација детектора извршена је сертификованим референтним материјалом – смешом радионуклида гама емитера у матриксу смоле цилиндричне геометрије CZECH METROLOGY INSTITUTE Cert. No: 9031-OL-540/13. Гама спектри узорака земљишта су прикупљани и анализирани помоћу програма GENIE 2000 Spectroscopy System Software, произвођача Canberra USA.
3. Полупроводничког HPGe детектора (ORTEC GEM-30) са стандардном електроником, релативне ефикасности 37 % и резолуцијом од 1.8 keV на енергији ⁶⁰Co од 1332 keV. Спектрометар је калибрисан помоћу стандарда у маринели геометрији, CMI Institute Praha, Cert. No.9031-OL-420/12, укупне активности 41.48 kBq на 31.08.2012. године са уобичајеном мешавином радионуклида гама емитера (²⁴¹Am, ¹⁰⁹Cd, ¹³⁹Ce, ⁵⁷Co, ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, ²⁰³Hg, ¹¹³Sn, ⁸⁵Sr, ⁸⁸Y, ²¹⁰Pb). Спектри узорака снимани су и анализирани помоћу програмског пакета Genie2000 (Canberra).
4. Полупроводничког HPGe детектора (ORTEC АМЕТЕК, HPGe-GEM25), релативне ефикасности 29,4 %. Спектрометар је калибрисан помоћу сертификованог референтног материјала RADEK Ug052/03 КО m=340g у цилиндричној посуди запремине 250ml са ²²⁶Ra 1230Bq/kg, ²³²Th 2000Bq/kg, ⁴⁰K 3000Bq/kg и ¹³⁷Cs 2000 Bq/kg као и са узорком земљишта са IAEA PT шеме за 2015. годину.
5. Полупроводничког HPGe детектора (EG&G ORTEC, USA GEM-25185s), релативне ефикасности 25 %, и HPGe детектора (ORTEC АМЕТЕК-АМТ, USA GEM40) релативне ефикасности 40 %, оба са опсегом мерења 50 – 3000 keV и резолуцијом

1.85 keV на енергији 1332 keV. Калибрација детектора урађена је примарним референтним радиоактивним материјалом у маринели геометрији, Czech Metrological Institute Praha, Cert. No.9031-OL-420/12, укупне активности 41.48 kBq на 31.08.2012. године (^{241}Am , ^{109}Cd , ^{139}Ce , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{88}Y , ^{113}Sn , ^{85}Sr , ^{137}Cs , ^{203}Hg).

Времена мерења узорака била су од 60 ks до 255 ks. Мерна несигурност резултата мерења изражена је као проширена мерна несигурност за фактор $k=2$, који за нормалну расподелу одговара нивоу поверења од 95%.



Слика 21. а) HPGe детектор GMX проширеног мерног опсега у пасивној и активној заштити, Нови Сад



Слика 21. б) HPGe детектори у Лабораторији Заштита, Институт Винча

4. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА

4.1. ИСПИТИВАЊЕ САДРЖАЈА РАДИОНУКЛИДА – ГАМА ЕМИТЕРА У УЗОРЦИМА ЗЕМЉИШТА

Резултати мерења гама емитера у узорцима обрадивог и необрадивог земљишта, дати су у табелама 3 - 26. Детектовани су природни радионуклиди ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{235}U , ^{238}U , и произведени радионуклид ^{137}Cs . У наведеним табелама дат је и однос активности радионуклида $^{235}\text{U} / ^{238}\text{U}$.

На основу резултата мерења активности радионуклида у земљишту коришћењем једначине (1):

$$\dot{D}(\text{nGy h}^{-1}) = 0.462 \times C_{\text{Ra}} + 0.604 \times C_{\text{Th}} + 0.0417 \times C_{\text{K}} \quad (1)$$

одређена је јачина апсорбоване дозе гама зрачења која потиче од активности радионуклида у земљишту, а на основу једначине (2), одређена је годишња ефективна доза, где су C_{Ra} , C_{Th} и C_{K} концентрације радионуклида у земљишту.

$$D_E(\text{mSv}) = 0.7 \text{Sv Gy}^{-1} \times 0.2 \times 365 \times 24 \times \dot{D} \quad (2)$$

Израчунате вредности апсорбоване дозе зрачења и годишње ефективне дозе дате су у табелама 3 – 26 заједно са резултатима мерења.

Табела 3. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Београд

Београд	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Газдинство пољопривредног факултета Радмиловац		
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
^{137}Cs	16 ± 1	15 ± 1	23 ± 2
^{226}Ra	44 ± 3	39 ± 3	51 ± 4
^{232}Th	55 ± 4	50 ± 3	54 ± 4
^{40}K	630 ± 40	600 ± 40	630 ± 40
^{238}U	48 ± 5	45 ± 5	50 ± 5
^{235}U	$2,2 \pm 0,2$	$2,1 \pm 0,2$	$2,4 \pm 0,2$
$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	0,047	0,048	0,048
$\dot{D}$ [nGy/h]	79,96	73,96	82,45
D_E [mSv/god]	0,098	0,090	0,101

Табела 4. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Суботица

Суботица	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Необрадива површина поред Новосадског пута – Палић		Њива поред Новосадског пута –Палић
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
^{137}Cs	$8,5 \pm 0,4$	$5,2 \pm 0,3$	$5,6 \pm 0,3$
^{226}Ra	30 ± 1	31 ± 1	32 ± 1
^{232}Th	31 ± 1	32 ± 1	32 ± 1
^{40}K	440 ± 10	440 ± 10	380 ± 10
^{238}U	27 ± 5	19 ± 4	24 ± 4
^{235}U	$1,6 \pm 0,5$	$1,1 \pm 0,5$	$1,5 \pm 0,6$
$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	0,059	0,058	0,062
$\dot{D}$ [nGy/h]	50,93	52,00	49,96
D_E [mSv/god]	0,062	0,064	0,061

Табела 5. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Нови Сад

Нови Сад	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Травната површина у индустријској зони Римски Шанчеви		Њива на Римским Шанчевима
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
^{137}Cs	$4,6 \pm 0,3$	$4,9 \pm 0,3$	$3,1 \pm 0,3$
^{226}Ra	31 ± 1	31 ± 1	27 ± 1
^{232}Th	31 ± 2	29 ± 1	27 ± 1
^{40}K	490 ± 10	510 ± 10	500 ± 10
^{238}U	$26,5 \pm 2,4$	25 ± 5	19 ± 4
^{235}U	$1,6 \pm 0,4$	$1,9 \pm 0,3$	$1,0 \pm 0,3$
$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	0,060	0,076	0,053
$\dot{D}$ [nGy/h]	53,48	53,11	49,63
D_E [mSv/god]	0,066	0,065	0,061

Табела 6. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Ниш

Ниш	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Метеоролошка станица		Кукурузно поље на путу према Алексинцу
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
¹³⁷ Cs	2,0 ± 0,3	4,9 ± 0,4	6,0 ± 0,5
²²⁶ Ra	28 ± 2	38 ± 3	37 ± 3
²³² Th	39 ± 3	41 ± 3	42 ± 3
⁴⁰ K	510 ± 30	460 ± 30	620 ± 40
²³⁸ U	38 ± 9	40 ± 9	42 ± 8
²³⁵ U	1,7 ± 0,2	1,8 ± 0,2	1,8 ± 0,2
²³⁵ U/ ²³⁸ U	0,046	0,045	0,043
$\dot{D}$ [nGy/h]	57,76	61,50	68,32
D_E [mSv/god]	0,071	0,075	0,084

Табела 7. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Златибор

Златибор	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Травњак у дворишту домаћинства Саше Ћирковића		Домаћинство Саше Ћирковића, башта (гајена цвекла и кромпир)
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
¹³⁷ Cs	171 ± 2	116 ± 1	127 ± 1
²²⁶ Ra	11 ± 1	10 ± 1	26 ± 1
²³² Th	13 ± 1	10 ± 1	22 ± 1
⁴⁰ K	147 ± 4	139 ± 4	257 ± 5
²³⁸ U	17,6 ± 2,4	13,6 ± 2,1	26 ± 4
²³⁵ U	< 0,9	< 0,8	1,1 ± 0,2
²³⁵ U/ ²³⁸ U	-	-	0,042
$\dot{D}$ [nGy/h]	19,06	16,46	36,02
D_E [mSv/god]	0,023	0,020	0,044

Табела 8. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Зајечар

Зајечар	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Код игралишта, ул. Милоша Обилића бр. 12		Њива поред пута Зајечар - Књажевац
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
¹³⁷ Cs	4,0 ± 0,2	7,2 ± 0,4	15 ± 1
²²⁶ Ra	33 ± 4	37 ± 2	30 ± 4
²³² Th	41 ± 2	41 ± 2	34 ± 2
⁴⁰ K	550 ± 30	530 ± 30	550 ± 30
²³⁸ U	30 ± 8	36 ± 8	33 ± 6
²³⁵ U	2,0 ± 0,2	2,1 ± 0,2	1,3 ± 0,1
²³⁵ U/ ²³⁸ U	0.069	0.058	0.039
$\dot{D}$ [nGy/h]	62,95	63,96	57,31
D_E [mSv/god]	0,077	0,078	0,070

Табела 9. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Кладово

Кладово	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Вашариште		Двориште-башта, ул. Сутјеска бр.3
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
¹³⁷ Cs	35 ± 2	27 ± 2	46 ± 2
²²⁶ Ra	28 ± 4	27 ± 3	23 ± 3
²³² Th	33 ± 2	32 ± 2	28 ± 3
⁴⁰ K	380 ± 20	340 ± 20	330 ± 20
²³⁸ U	32 ± 10	28 ± 6	29 ± 7
²³⁵ U	1,3 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,9 ± 0,1
²³⁵ U/ ²³⁸ U	0,041	0,043	0,031
$\dot{D}$ [nGy/h]	48,71	45,98	41,30
D_E [mSv/god]	0,060	0,056	0,051

Табела 10. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Врање

Врање	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Двориште, травњак ОШ Радоје Домановић, Филипа Филиповића		Башта домаћинства Рајковић Томислава Шуматовачка 18
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
^{137}Cs	24 ± 1	11 ± 1	$9,0 \pm 0,5$
^{226}Ra	44 ± 5	50 ± 4	53 ± 6
^{232}Th	48 ± 5	48 ± 3	59 ± 3
^{40}K	620 ± 30	640 ± 30	680 ± 30
^{238}U	42 ± 10	54 ± 12	55 ± 14
^{235}U	$2,3 \pm 0,4$	$3,2 \pm 0,4$	$2,8 \pm 0,3$
$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	0,055	0,059	0,051
$\dot{D}$ [nGy/h]	75,17	78,78	88,48
D_E [mSv/god]	0,092	0,097	0,109

Табела 11. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Обреновац

Обреновац	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Поред продавнице МАХИ, ул. Александра Аце Симовића 2-4		Двориште, башта, вл. Јелена Ђурић, ул. Алексе Шантића 4
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
^{137}Cs	14 ± 1	22 ± 1	23 ± 1
^{226}Ra	32 ± 5	29 ± 5	34 ± 6
^{232}Th	44 ± 4	40 ± 4	43 ± 4
^{40}K	620 ± 30	590 ± 20	670 ± 30
^{238}U	38 ± 6	42 ± 6	40 ± 6
^{235}U	$1,7 \pm 0,3$	$1,8 \pm 0,4$	$1,8 \pm 0,4$
$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	0,045	0,043	0,045
$\dot{D}$ [nGy/h]	67,21	62,16	69,62
D_E [mSv/god]	0,082	0,076	0,085

Табела 12. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Сомбор

Сомбор	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Необрадива површина поред пута – село Телечка		Њива поред пута – село Телечка
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
¹³⁷ Cs	0,4 ± 0,2	5,0 ± 0,2	3,7 ± 0,3
²²⁶ Ra	25 ± 1	29 ± 1	37 ± 1
²³² Th	24 ± 1	29 ± 1	37 ± 1
⁴⁰ K	180 ± 10	350 ± 10	520 ± 10
²³⁸ U	24 ± 4	30 ± 5	29 ± 4
²³⁵ U	1,2 ± 0,4	1,5 ± 0,5	1,3 ± 0,5
²³⁵ U/ ²³⁸ U	0,050	0,050	0,045
$\dot{D}$ [nGy/h]	33,55	45,51	61,13
D_E [mSv/god]	0,041	0,056	0,075

Табела 13. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Зрењанин

Зрењанин	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Травната површина поред кружног тока-индустријска зона		Њива – близу пута на уласку у Зрењанин
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
¹³⁷ Cs	1,1 ± 0,2	1,5 ± 0,1	7,3 ± 0,3
²²⁶ Ra	26 ± 1	27,0 ± 0,4	31 ± 1
²³² Th	32 ± 1	34 ± 1	33 ± 1
⁴⁰ K	600 ± 10	630 ± 10	710 ± 20
²³⁸ U	21 ± 3	21 ± 3	30 ± 4
²³⁵ U	1,1 ± 0,4	1,6 ± 0,5	1,8 ± 0,4
²³⁵ U/ ²³⁸ U	0,052	0,076	0,060
$\dot{D}$ [nGy/h]	56,36	59,28	63,86
D_E [mSv/god]	0,069	0,073	0,078

Табела 14. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Вршац

Вршац	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Породично домаћинство Мохара Тијана, Подвршанска 11a		Пут према Б. Цркви, бивша земљ. задруга
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
^{137}Cs	$2,6 \pm 0,3$	$1,1 \pm 0,2$	$7,0 \pm 0,5$
^{226}Ra	21 ± 2	16 ± 2	32 ± 2
^{232}Th	23 ± 2	19 ± 2	41 ± 3
^{40}K	440 ± 30	410 ± 30	500 ± 30
^{238}U	22 ± 4	16 ± 3	38 ± 9
^{235}U	$1,0 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,1$	$1,9 \pm 0,2$
$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	0,046	0,047	0,049
$\dot{D}$ [nGy/h]	41,94	35,97	60,40
D_E [mSv/god]	0,051	0,044	0,074

Табела 15. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Ваљево

Ваљево	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Травњак у дворишту домаћинства Обрада Јовановића		Воћњак- купина у дома- ћинству О.Јовановић
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
^{137}Cs	$21,0 \pm 0,5$	$16,2 \pm 0,4$	$10,7 \pm 0,2$
^{226}Ra	59 ± 2	56 ± 2	57 ± 1
^{232}Th	64 ± 2	66 ± 2	67 ± 1
^{40}K	530 ± 10	510 ± 10	530 ± 10
^{238}U	70 ± 8	67 ± 9	70 ± 4
^{235}U	$2,9 \pm 0,3$	$2,6 \pm 0,3$	$3,1 \pm 0,2$
$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	0,041	0,039	0,044
$\dot{D}$ [nGy/h]	88,02	87,00	88,90
D_E [mSv/god]	0,108	0,107	0,109

Табела 16. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Крушевац

Крушевац	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Земља близу раскрснице магистралног пута, поред напуштеног објекта.		
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
^{137}Cs	$10,8 \pm 0,6$	$6,6 \pm 0,4$	$6,8 \pm 0,4$
^{226}Ra	42 ± 7	40 ± 6	37 ± 6
^{232}Th	58 ± 5	53 ± 5	52 ± 5
^{40}K	840 ± 30	740 ± 30	710 ± 30
^{238}U	60 ± 9	53 ± 8	56 ± 8
^{235}U	$2,2 \pm 0,4$	$1,8 \pm 0,4$	$2,2 \pm 0,4$
$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	0,037	0,034	0,039
$\dot{D}$ [nGy/h]	89,46	81,35	78,11
D_E [mSv/god]	0,110	0,100	0,096

Табела 17. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Пријепоље

Пријепоље	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Травњак у дворишту домаћинства Вараклић Милана		Воћњак-засад купине у домаћинству Вараклића
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
^{137}Cs	$46,9 \pm 0,7$	$30,7 \pm 0,6$	$38,2 \pm 0,4$
^{226}Ra	16 ± 1	18 ± 1	$12,9 \pm 0,5$
^{232}Th	33 ± 2	32 ± 1	$13,8 \pm 0,6$
^{40}K	580 ± 10	580 ± 10	400 ± 10
^{238}U	34 ± 4	26 ± 3	$16,3 \pm 1,1$
^{235}U	$1,7 \pm 0,3$	$1,0 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,2$
$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	0,050	0,038	0,049
$\dot{D}$ [nGy/h]	51,51	51,83	30,98
D_E [mSv/god]	0,063	0,064	0,038

Табела 18. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Нови Пазар

Нови Пазар	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Михајла Пупина бб		Бања насеље, породично имање Шакоњац Исмете
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
^{137}Cs	$2,1 \pm 0,3$	$2,0 \pm 0,2$	$7,2 \pm 0,5$
^{226}Ra	21 ± 2	22 ± 2	15 ± 1
^{232}Th	43 ± 3	34 ± 3	19 ± 2
^{40}K	500 ± 30	410 ± 30	280 ± 20
^{238}U	31 ± 4	25 ± 6	20 ± 6
^{235}U	$1,6 \pm 0,2$	$1,2 \pm 0,1$	$0,90 \pm 0,10$
$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	0,051	0,047	0,047
$\dot{D}$ [nGy/h]	56,52	47,80	30,08
D_E [mSv/god]	0,069	0,059	0,037

Табела 19. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Пирот

Пирот	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Поред железничке станице Пирот		Преко пута Царинске зоне ул.Николе Пашића
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
^{137}Cs	$0,4 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,2$	$2,1 \pm 0,3$
^{226}Ra	28 ± 2	30 ± 3	26 ± 2
^{232}Th	28 ± 2	31 ± 3	27 ± 2
^{40}K	470 ± 30	550 ± 30	460 ± 30
^{238}U	33 ± 9	31 ± 4	30 ± 4
^{235}U	$1,4 \pm 0,1$	$1,5 \pm 0,2$	$1,5 \pm 0,2$
$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	0,044	0,048	0,050
$\dot{D}$ [nGy/h]	49,45	55,52	47,50
D_E [mSv/god]	0,061	0,068	0,058

Табела 20. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Смедерево

Смедерево	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Дунавски парк; Дунавски кеј		Шалиначка бб, преко пута НИС складишта
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
^{137}Cs	$6,4 \pm 0,4$	12 ± 1	15 ± 1
^{226}Ra	44 ± 5	36 ± 4	45 ± 5
^{232}Th	55 ± 6	47 ± 3	51 ± 3
^{40}K	600 ± 30	520 ± 30	620 ± 30
^{238}U	43 ± 9	30 ± 5	37 ± 11
^{235}U	$2,1 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,2$	$1,7 \pm 0,2$
$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	0.049	0.053	0.046
$\dot{D}$ [nGy/h]	78,57	66,70	77,45
D_E [mSv/god]	0,096	0,082	0,095

Табела 21. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Крагујевац

Крагујевац	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Земља близу дрвореда, у брду, непосредно крај локалног пута		
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
^{137}Cs	16 ± 1	$15,5 \pm 0,9$	$10,2 \pm 0,6$
^{226}Ra	32 ± 5	29 ± 5	34 ± 5
^{232}Th	46 ± 4	42 ± 4	47 ± 4
^{40}K	530 ± 20	500 ± 20	530 ± 20
^{238}U	43 ± 7	50 ± 8	49 ± 7
^{235}U	$2,0 \pm 0,4$	$1,4 \pm 0,3$	$1,5 \pm 0,3$
$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	0,047	0,028	0,031
$\dot{D}$ [nGy/h]	64,67	59,62	66,20
D_E [mSv/god]	0,079	0,073	0,081

Табела 22. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Шабаци

Шабаци	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Травњак у дворишту домаћинства Теодосић Драгана		Башта - гајено поврће у домаћ. Теодосић
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
^{137}Cs	$2,7 \pm 0,4$	$6,9 \pm 0,3$	$7,9 \pm 0,3$
^{226}Ra	37 ± 2	45 ± 2	39 ± 2
^{232}Th	60 ± 2	46 ± 2	55 ± 2
^{40}K	710 ± 10	570 ± 10	640 ± 10
^{238}U	40 ± 6	37 ± 5	51 ± 5
^{235}U	$1,7 \pm 0,2$	$1,4 \pm 0,2$	$2,5 \pm 0,8$
$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	0,043	0,038	0,049
$\dot{D}$ [nGy/h]	82,94	72,34	77,93
D_E [mSv/god]	0,102	0,089	0,096

Табела 23. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Копаоник

Копаоник	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Земља одмах поред пута		Неколико метара испод нивоа пута
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
^{137}Cs	$8,4 \pm 0,5$	$7,9 \pm 0,5$	$23,5 \pm 1,4$
^{226}Ra	43 ± 7	43 ± 7	36 ± 6
^{232}Th	56 ± 5	59 ± 5	50 ± 5
^{40}K	540 ± 20	530 ± 20	560 ± 20
^{238}U	56 ± 8	60 ± 16	49 ± 14
^{235}U	$2,0 \pm 0,4$	$2,0 \pm 0,4$	$1,8 \pm 0,4$
$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	0,036	0,033	0,037
$\dot{D}$ [nGy/h]	76,21	77,60	70,18
D_E [mSv/god]	0,093	0,095	0,086

Табела 24. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Шид

Шид	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Травната површина у близини железничке станице Шид		Њива на уласку у Шид поред пута
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
¹³⁷ Cs	3,0 ± 0,3	3,9 ± 0,3	3,5 ± 0,3
²²⁶ Ra	33 ± 1	35 ± 1	38 ± 1
²³² Th	34 ± 1	37 ± 1	40 ± 1
⁴⁰ K	500 ± 10	540 ± 10	560 ± 10
²³⁸ U	23 ± 4	28 ± 4	25 ± 4
²³⁵ U	1,6 ± 0,9	1,7 ± 0,5	1,5 ± 0,4
²³⁵ U/ ²³⁸ U	0,070	0,061	0,060
$\dot{D}$ [nGy/h]	56,63	61,04	65,07
D_E [mSv/god]	0,069	0,075	0,080

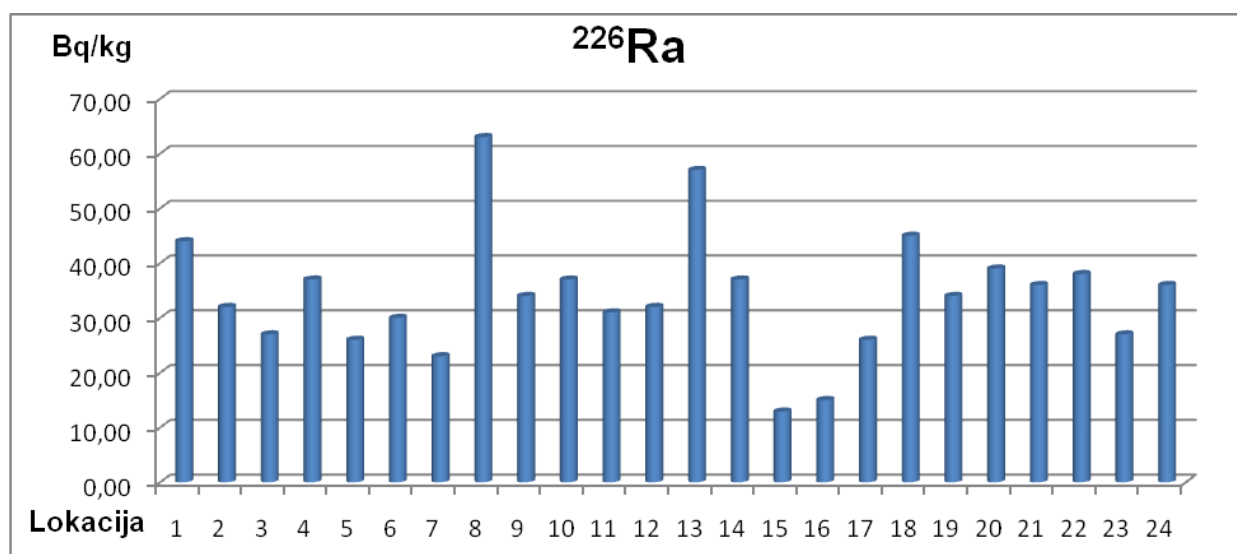
Табела 25. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Кална

Кална	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Поред пута Кална - Пирот		Пољана поред изворске реке
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
¹³⁷ Cs	18 ± 1	19 ± 1	17 ± 1
²²⁶ Ra	32 ± 5	33 ± 5	27 ± 4
²³² Th	47 ± 4	47 ± 4	34 ± 3
⁴⁰ K	560 ± 20	570 ± 20	500 ± 20
²³⁸ U	45 ± 7	53 ± 8	37 ± 16
²³⁵ U	2,0 ± 0,4	2,6 ± 0,5	1,5 ± 0,3
²³⁵ U/ ²³⁸ U	0,044	0,049	0,041
$\dot{D}$ [nGy/h]	66,52	67,40	53,86
D_E [mSv/god]	0,082	0,083	0,066

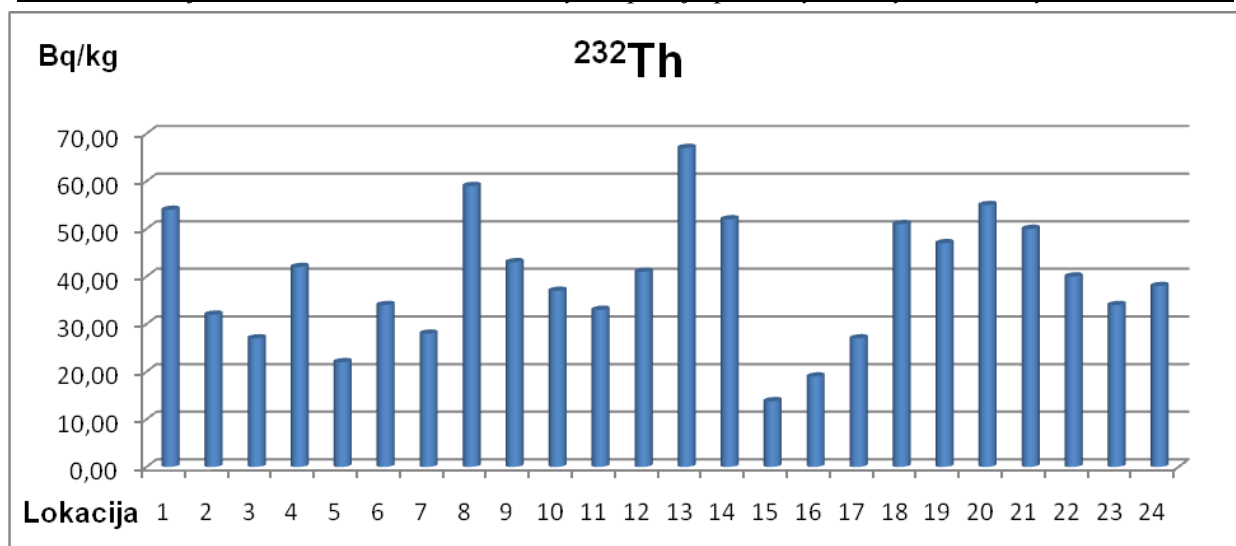
Табела 26. Концентрација природних и произведених радионуклида (Bq/kg) у узорцима земљишта – локација Прахово

Прахово	необрадиво 0-5 cm	необрадиво 5-15 cm	обрадиво 0-20 cm
Опис локације	Ливада поред фудбалског игралишта		Њива на раскрсници путева
радионуклид	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]	концентрација радионуклида [Bq/kg]
^{137}Cs	39 ± 2	33 ± 2	$3,5 \pm 0,2$
^{226}Ra	47 ± 4	39 ± 5	36 ± 4
^{232}Th	47 ± 3	49 ± 5	38 ± 4
^{40}K	500 ± 30	510 ± 30	550 ± 30
^{238}U	37 ± 6	39 ± 12	26 ± 8
^{235}U	$1,9 \pm 0,2$	$2,0 \pm 0,2$	$1,4 \pm 0,2$
$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	0,051	0,051	0,054
$\dot{D}$ [nGy/h]	70,95	68,88	62,52
D_E [mSv/god]	0,087	0,084	0,077

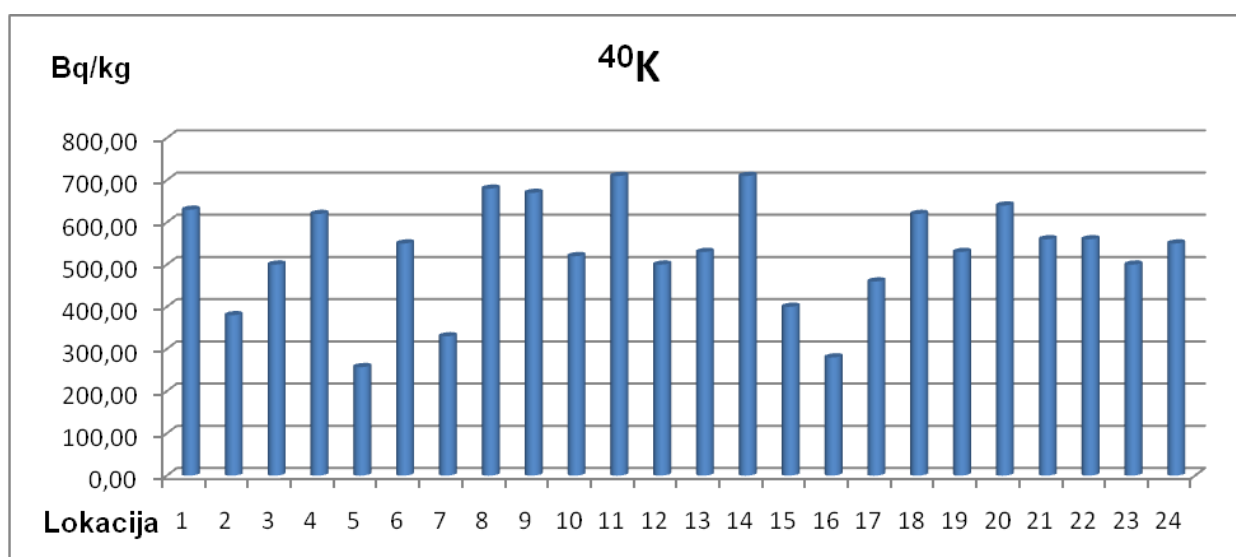
Графички прикази промене вредности концентрације детектованих радионуклида приказани су хистограмски на сликама 22 - 27 за обрадиво земљиште и на сликама 28 - 33 за необрадиво земљиште.



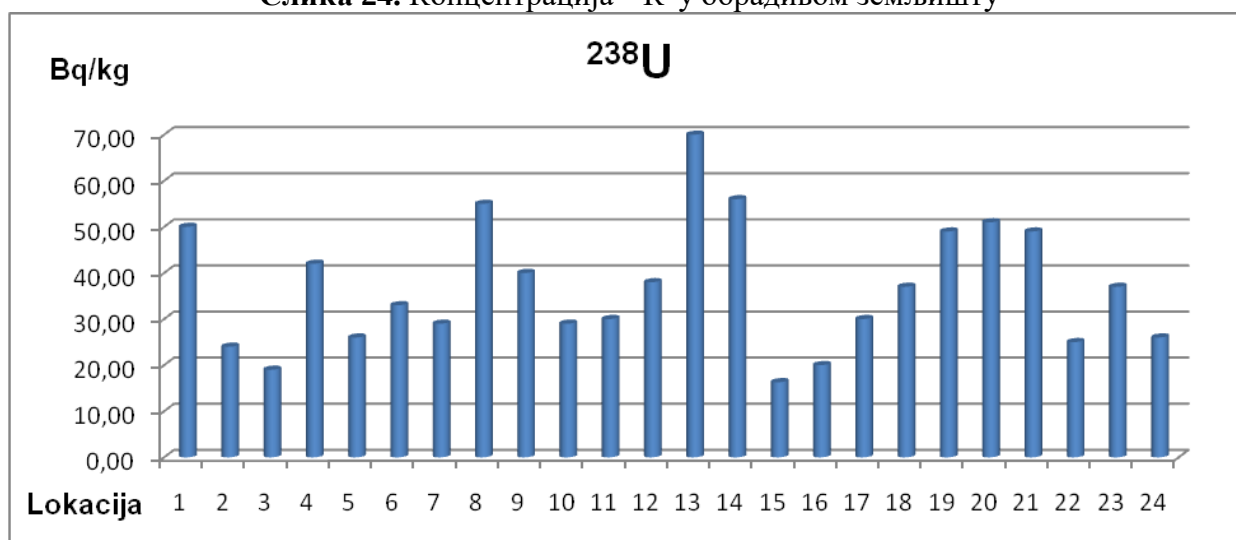
Слика 22. Концентрација ^{226}Ra у обрадивом земљишту



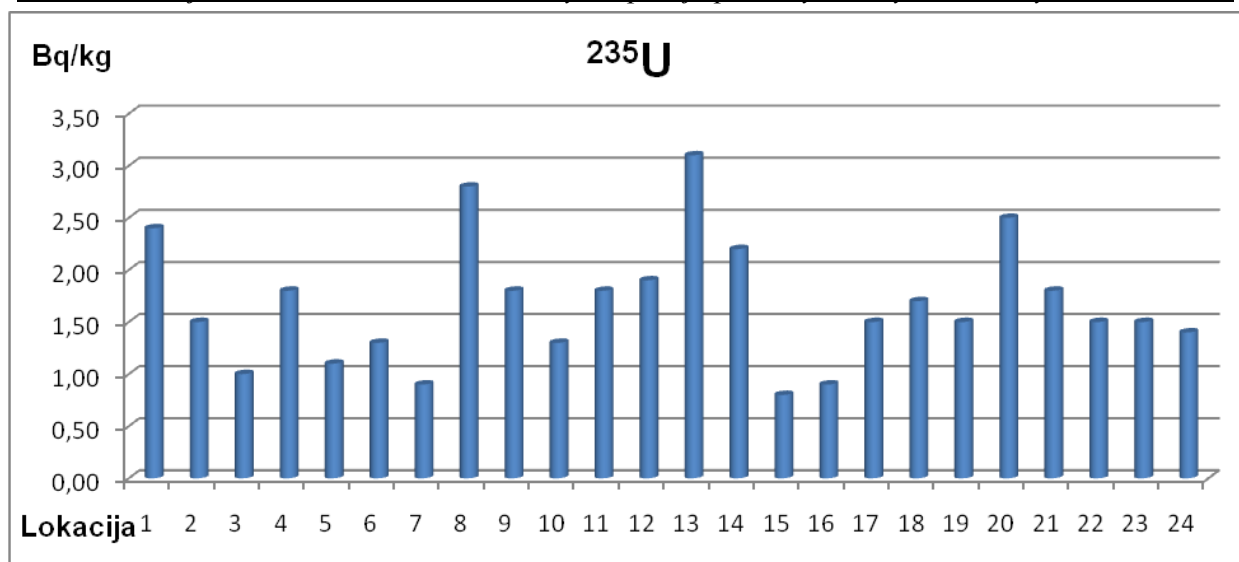
Слика 23. Концентрација ^{232}Th у обрадивом земљишту



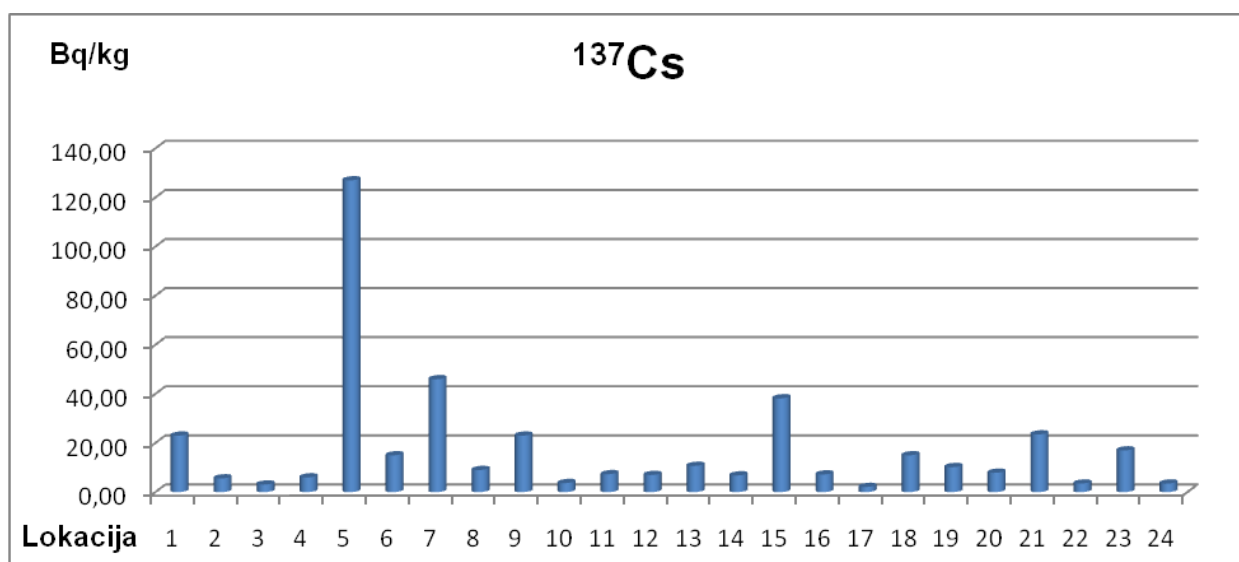
Слика 24. Концентрација ^{40}K у обрадивом земљишту



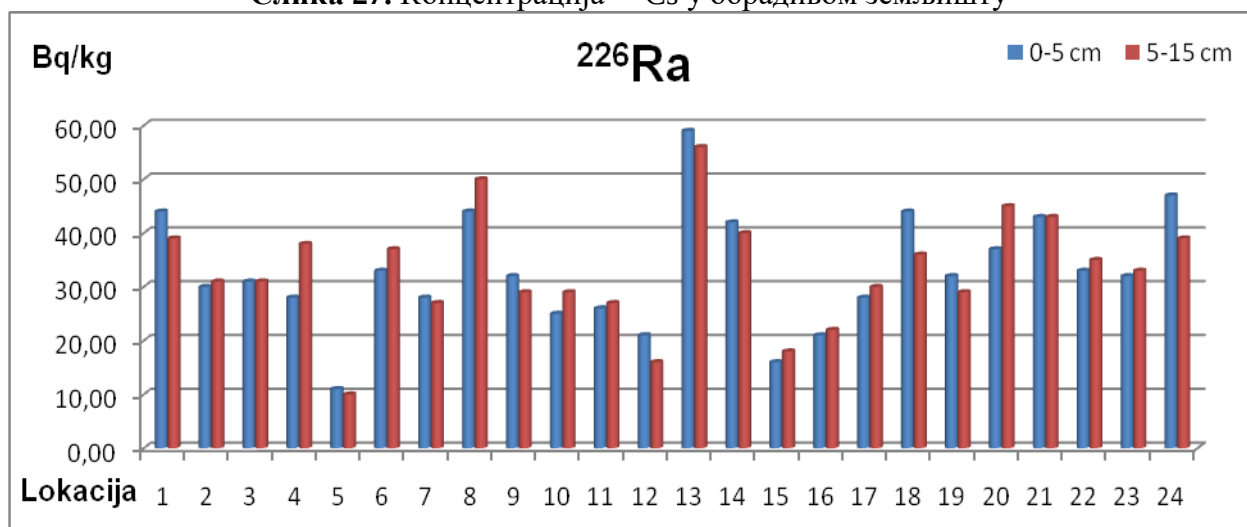
Слика 25. Концентрација ^{238}U у обрадивом земљишту



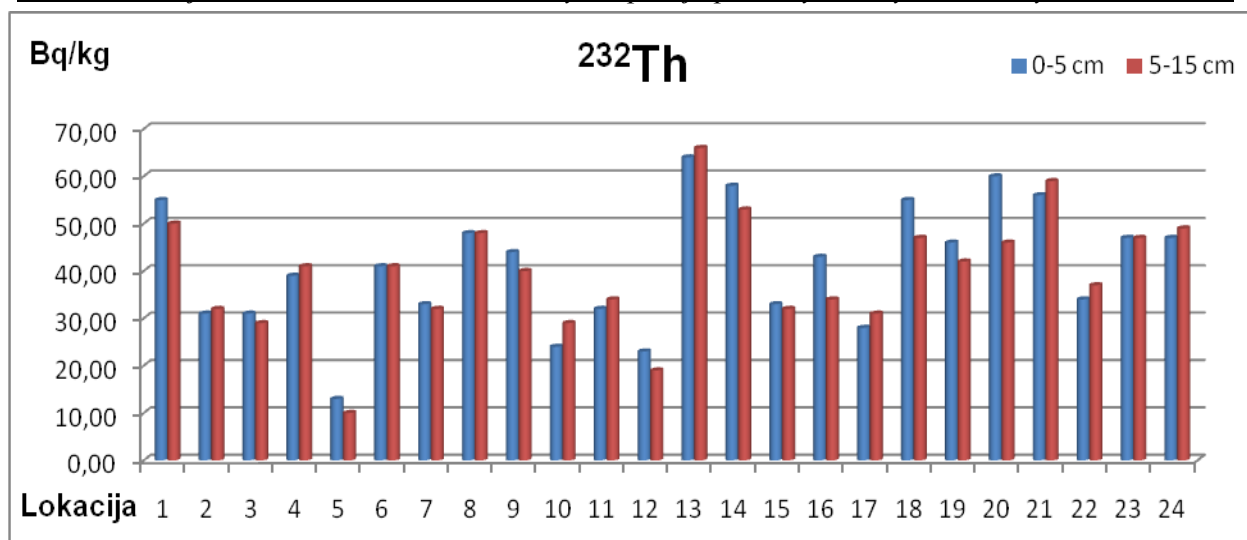
Слика 26. Концентрација ^{235}U у обрадивом земљишту



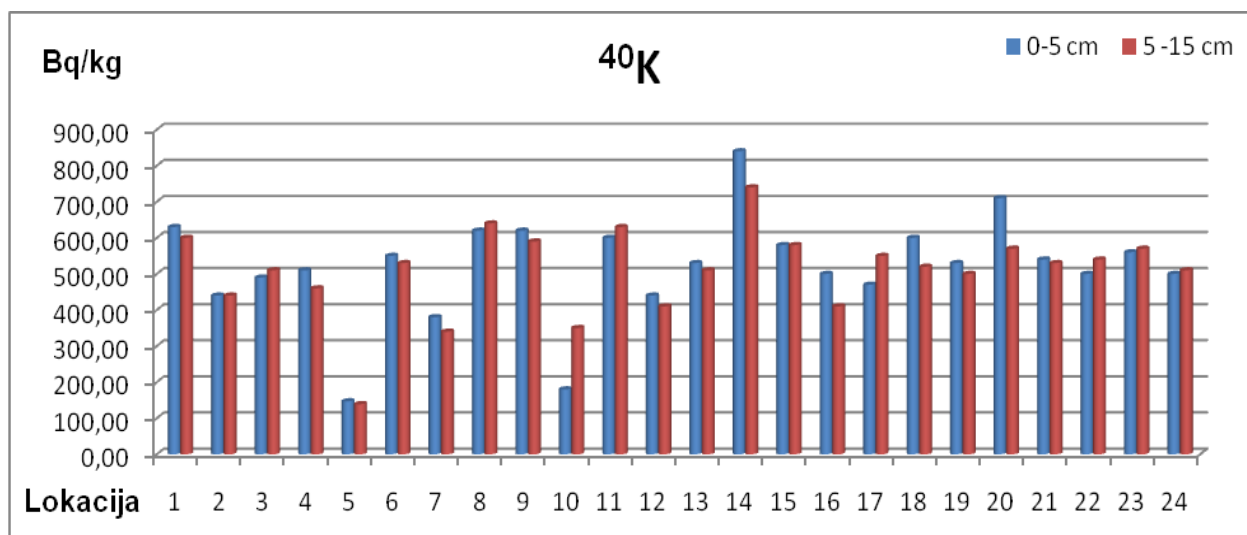
Слика 27. Концентрација ^{137}Cs у обрадивом земљишту



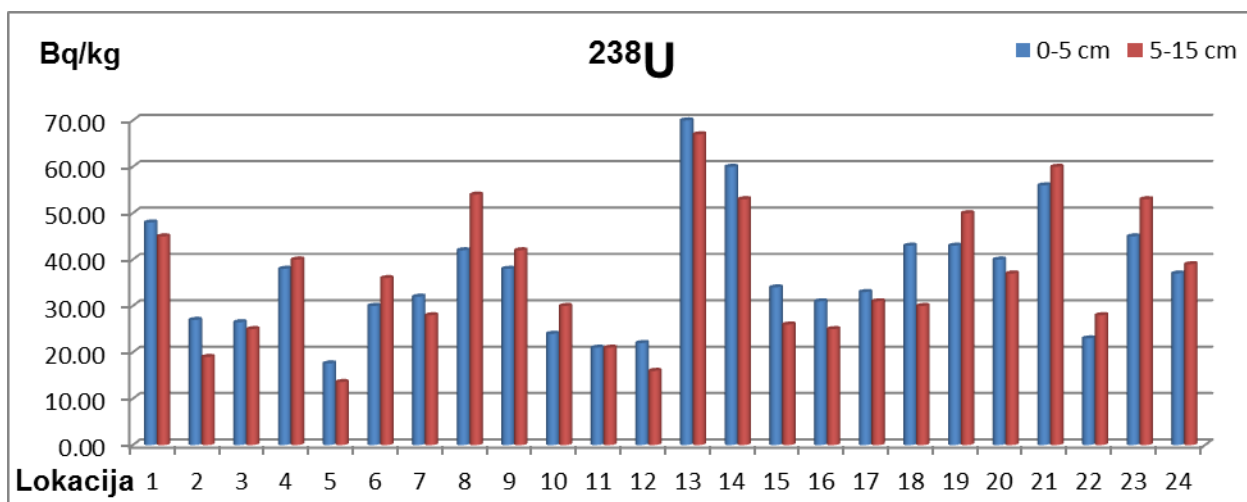
Слика 28. Концентрација ^{226}Ra у необрадивом земљишту



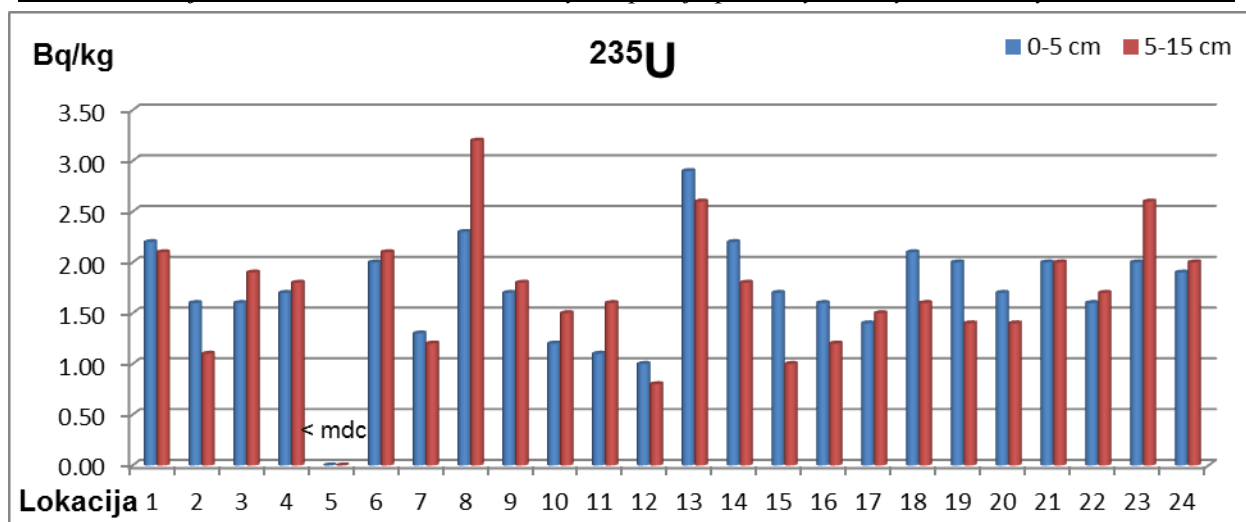
Слика 29. Концентрација ^{232}Th у необрадивом земљишту



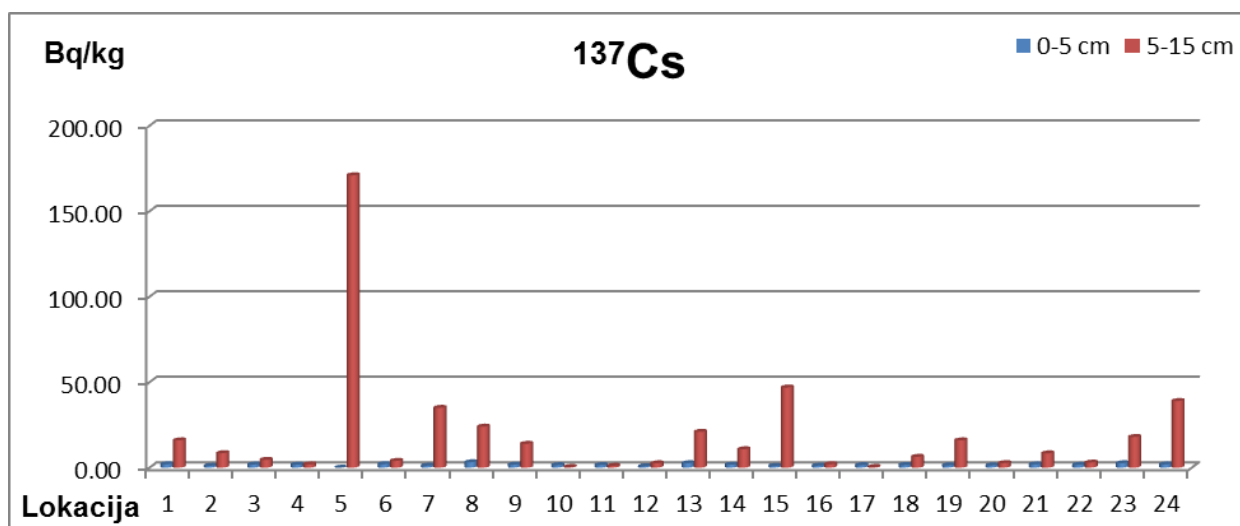
Слика 30. Концентрација ^{40}K у необрадивом земљишту



Слика 31. Концентрација ^{238}U у необрадивом земљишту



Слика 32. Концентрација ^{235}U у необрадивом земљишту



Слика 33. Концентрација ^{137}Cs у необрадивом земљишту

Легенда за Слике 22 – 37:

1) Београд; 2) Суботица; 3) Нови Сад; 4) Ниш; 5) Златибор; 6) Зајечар; 7) Кладово; 8) Врање; 9) Обреновац; 10) Сомбор; 11) Зрењанин; 12) Вршац; 13) Ваљево; 14) Крушевац; 15) Пријеполје; 16) Нови Пазар; 17) Пирот; 18) Смедерево; 19) Крагујевац; 20) Шабац; 21) Копаоник; 22) Шид; 23) Кална; 24) Прахово,

4.2. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

4.2.1. ОБРАДИВО ЗЕМЉИШТЕ

Обрадиво земљиште на основу програма узорковања узимано је са дубине 0 - 20 см. У Табели 27. дати су опсези концентрација природних радионуклида и детектованог произведеног ^{137}Cs , њихове средње вредности са стандардном девијацијом, као и локације на којима су детектоване минималне и максималне концентрације мерених радионуклида.

Табела 27. Мерење концентрације радионуклида у узорцима обрадивог земљишта – сумарно

	Опсег измерених активности [Bq/kg]	Средња вредност са стандардном девијацијом [Bq/kg]	Локација	
			min	max
^{226}Ra	12,9 – 63	$34,1 \pm 11,1$	Пријепоље	Врање
^{232}Th	13,8 – 67	$39,4 \pm 13,3$	Пријепоље	Ваљево
^{40}K	257 – 710	$528,6 \pm 127,2$	Златибор	Крушевац Зрењанин
^{238}U	16,3 – 70	$36,7 \pm 13,7$	Пријепоље	Ваљево
^{235}U	0,8 – 3,1	$1,67 \pm 0,60$	Пријепоље	Ваљево
^{137}Cs	2,1 – 127	$17,5 \pm 25,8$	Пирот	Златибор

Измерене вредности природних радионуклида у земљишту на локацијама обухваћеним програмом испитивања не показују значајна одступања у односу на вредности добијене у претходној години, као и у односу на податке из литературе за наше подручје.

Однос активности $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ је у интервалу од 0,031 до 0,062 што одговара односу уранијума природног порекла. На слици 34. графички су приказани измерени односи уранијумових изотопа.



Слика 34. Однос $^{235}\text{U} / ^{238}\text{U}$ у узорцима обрадивог земљишта

Максимална вредност концентрације произведеног радионуклида ^{137}Cs детектована је, као и у 2014. години, на локацији Златибор, а минимална вредност на локацији Пирот. Присуство цезијума у животној средини последица је углавном чернобиљског акцидента 1986. године. С обзиром на то да је период полураспада овог радионуклида око 30 година процесима релокација и испирања ће се прераспоређивати, али и бити присутан још дуго времена у траговима у екосистему Србије. Велике варијације у измереним концентрацијама активности овог радионуклида у површинским слојевима земљишта су типичне особине за загађиваче вештачког порекла.

4.2.2. НЕОБРАДИВО ЗЕМЉИШТЕ

Узорци необрадивог земљишта су узети са две дубине 0 - 5 cm и 5 - 15 cm. У Табели 28. дати су опсези концентрација природних радионуклида и детектованог произведеног ^{137}Cs , њихове средње вредности са стандардном девијацијом, као и локације на којима су детектоване минималне и максималне концентрације мерених радионуклида.

Минималне вредности концентрација већине природних радионуклида детектоване су у земљишту на локацији Златибор, док су максималне вредности концентрације природних радионуклида детектоване на више локација на две испитиване дубине.

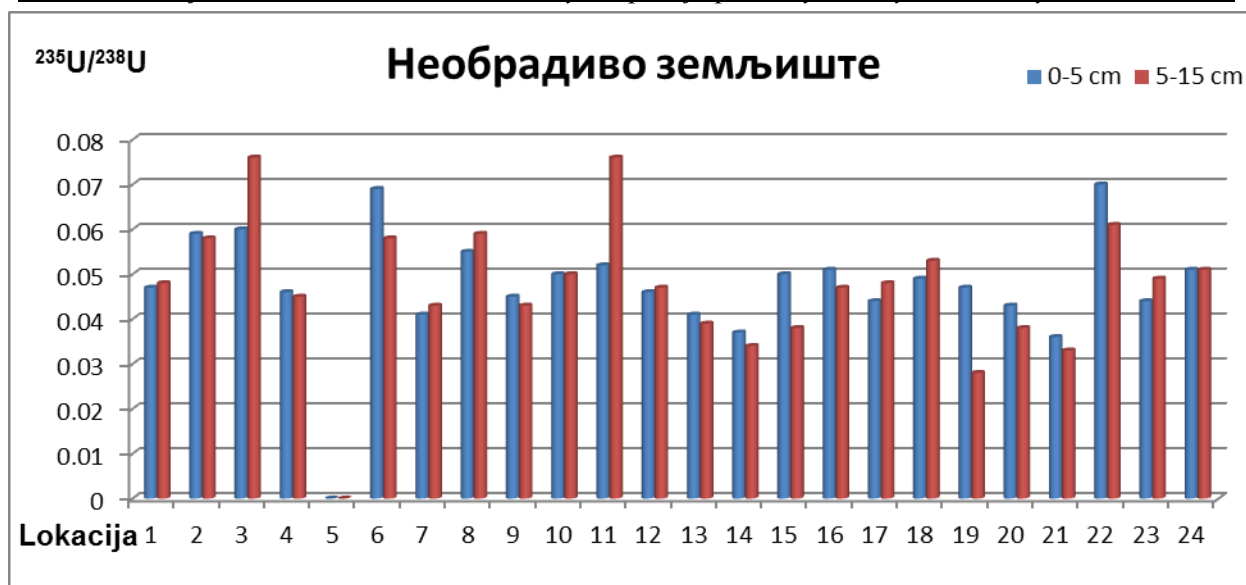
Као што се може видети са Слика 28. – 32. концентрације ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{238}U и ^{235}U не разликују се на већини локација за две дубине узорковања. Статистички значајна одступања могу се уочити за концентрацију ^{226}Ra на локацијама 18 (Смедерево), 20 (Шабац) и 24 (Прахово), што може бити последица различитог физичко – хемијског састава узорковане земље. Такође, на локацијама 8 (Врање) и 23 (Кална) примећена је статистички значајна разлика концентрације ^{235}U по два профила земљишта, за шта објашњење захтева поновне анализе првенствено због постизања боље статистике имајући у виду веома ниске концентрације овог радионуклида.

Табела 28. Мерење концентрације радионуклида у узорцима необрадивог земљишта на дубинама 0-5 cm и 5-15 cm – сумарно

	Дубина [cm]	Опсег измерених активности [Bq/kg]	Средња вредност са стандардном девијацијом [Bq/kg]	Локација	
				min	max
²²⁶ Ra	0 – 5	11 – 59	32,7 ± 10,8	Златибор	Ваљево
	5 – 15	10 – 56	32,9 ± 10,5	Златибор	Ваљево
²³² Th	0 – 5	13 – 64	41,0 ± 13,2	Златибор	Ваљево
	5 – 15	10 – 66	39,5 ± 12,4	Златибор	Ваљево
⁴⁰ K	0 – 5	147 – 840	519,5 ± 144,8	Златибор	Крушевац
	5 – 15	139 – 740	507,0 ± 120,4	Златибор	Крушевац
²³⁸ U	0 – 5	17,6 – 70	36,7 ± 12,9	Златибор	Ваљево
	5 – 15	13,6 – 67	36,2 ± 14,4	Златибор	Ваљево
²³⁵ U	0 – 5	MDC* – 2,9	1,77 ± 0,43	Златибор	Ваљево
	5 – 15	MDC* – 3,2	1,73 ± 0,56	Златибор	Врање
¹³⁷ Cs	0 – 5	0,4 – 171	19,1 ± 34,8	Сомбор Пирот	Златибор
	5 – 15	0,7 – 116	15,6 ± 23,3	Пирот	Златибор

*Минимална детектабилна концентрација

Однос активности ²³⁵U/²³⁸U је у интервалу од 0,036 до 0,070 за 0 – 5 cm, док је за дубину узорковања 5 – 15 cm овај однос у интервалу 0,028 до 0,076 што одговара односу уранијума природног порекла. На слици 35. графички су приказани измерени односи уранових изотопа. На локацији 5 (Златибор) концентрација ²³⁵U била је испод минималне детектабилне, те однос није приказан.



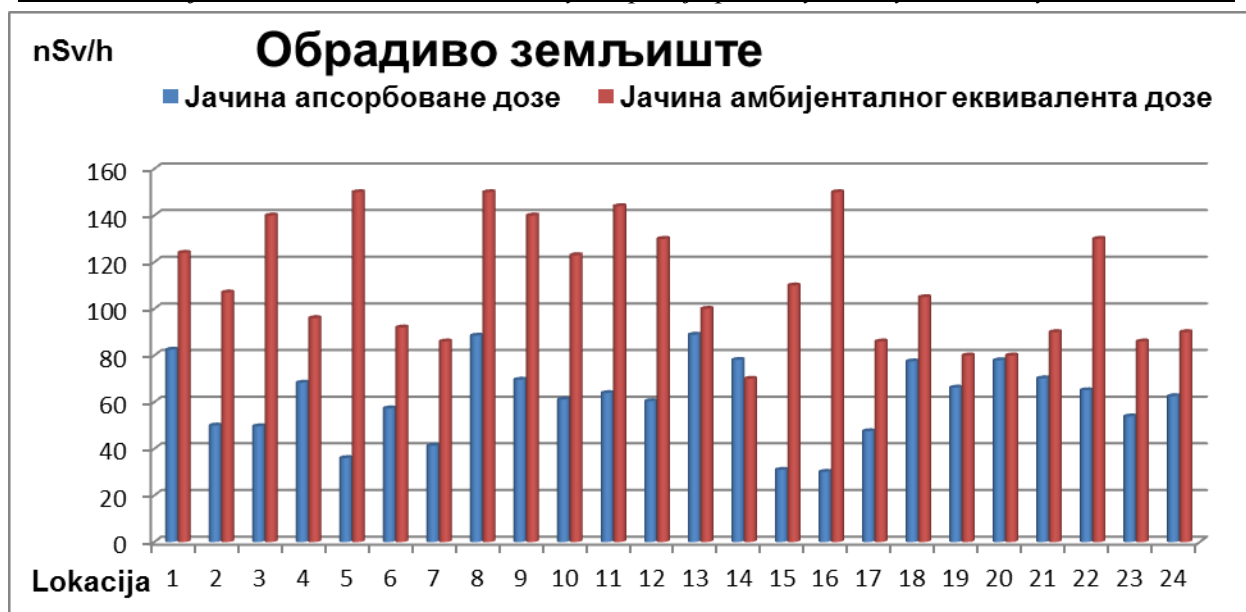
Слика 35. Однос $^{235}\text{U} / ^{238}\text{U}$ у узорцима необрадивог земљишта на две дубине узорковања

Максимална вредност концентрације произведеног радионуклида ^{137}Cs на дубини од 0 – 5 cm и дубини 5 – 15 cm детектована је на локацији Златибор, а минимална вредност на локацијама Сомбори Пирот за дубину узорковања 0 – 5 cm и Пирот на 5 – 15 cm. Варијација вредности произведеног радионуклида ^{137}Cs се очекује, с обзиром на порекло датог радионуклида.

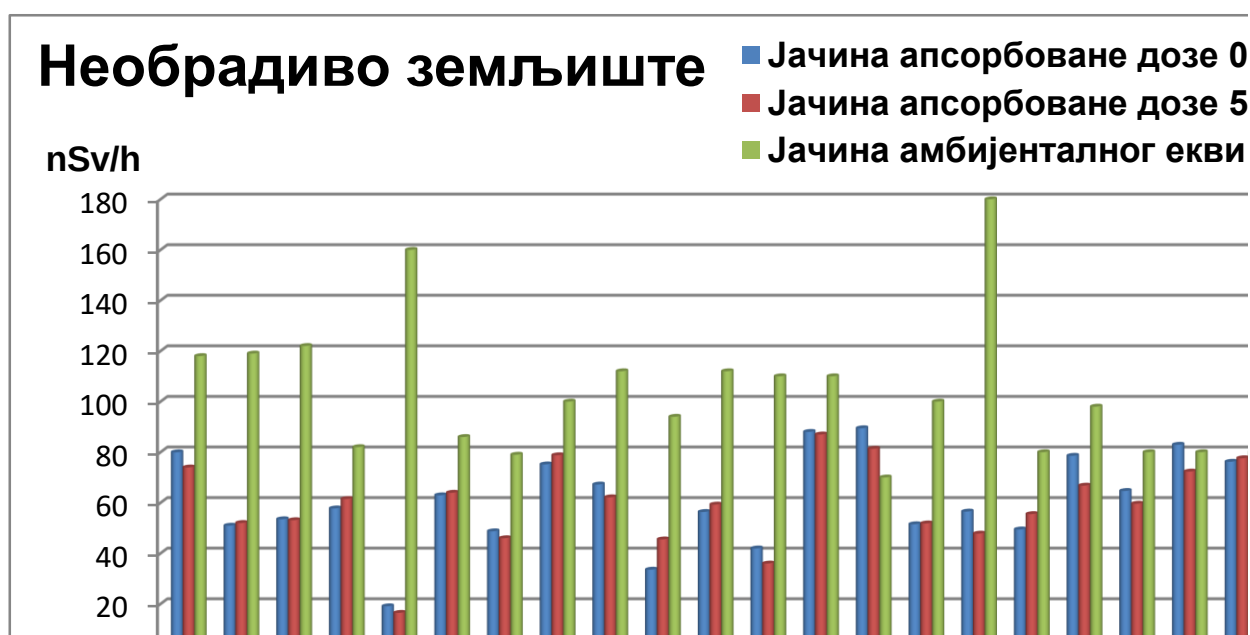
Процењене/израчунате вредности (минималне и максималне) јачине апсорбоване дозе гама зрачења ($\dot{D}$) и годишње ефективне дозе D_E (минималне и максималне вредности) од спољашњег излагања гама зрачењу из обрадивог и необрадивог земљишта дате су табеларно.

Необрадиво	$\dot{D}$ [nGy/h]	D_E [mSv/god]
0 – 5 cm	19,06 – 89,46	0,023 – 0,110
5 – 15 cm	16,46 – 87,00	0,020 – 0,107
Обрадиво 0 - 20 cm	30,08 – 88,48	0,037 – 0,109

Поређење измерених вредности јачина амбијенталног еквивалента дозе на 1 м изнад тла и израчунатих јачина апсорбоване дозе гама зрачења од спољашњег излагања гама зрачењу из обрадивог и необрадивог земљишта приказано је на сликама 36. и 37. Приликом поређења коришћен је радијациони тежински фактор који је једнак јединици.



Слика 36. Поређење измерених вредности јачина амбијенталног еквивалента дозе на 1 м изнад тла и израчунатих јачина апсорбоване дозе гама зрачења од спољашњег излагања гама зрачењу из обрадивог земљишта



Слика 37. Поређење измерених вредности јачина амбијенталног еквивалента дозе на 1 м изнад тла и израчунатих јачина апсорбоване дозе гама зрачења од спољашњег излагања гама зрачењу из необрадивог земљишта

5. ЗАКЉУЧАК

Детектоване концентрације активности природних радионуклида у обрадивом и необрадивом земљишту на свих 24 локација на територији Републике Србије у току 2015. године се налазе у оквиру уобичајених вредности за земљиште нашег региона без значајних варијација [2, 3, 4, 5, 7].

Такође, у табелама 27. и 28. дате су средње вредности концентрације детектованих радионуклида и минималне и максималне вредности за све локације које су испитиване и за оба типа земљишта, односно обрадиво и необрадиво. Из наведених табела може се уочити да нису присутне варијације у вредностима концентрације детектованих природних радионуклида између обрадивог и необрадивог земљишта.

На основу добијених резултата, може се закључити да узорци земљишта са свих локација не указују на повећање радиоактивности које би угрозило производњу здравствено безбедне хране или довело до значајног спољашњег озрачивања становништва.

Ни у једном узорку није примећена повишена активност уранијума ^{238}U , ^{235}U . Уочене су значајне варијације у садржају радионуклида ^{137}Cs у земљишту, што се и очекује.

Израчунате вредности јачине апсорбоване дозе гама зрачења ($\dot{D}$) и годишње ефективне дозе D_E од спољашњег излагања гама зрачењу из обрадивог и необрадивог земљишта одговарају вредностима са других локација са простора бивше Југославије, а такође и светским вредностима [6].

6. ЛИТЕРАТУРА

1. IAEA Technical Reports Series No.295 – Measurement of Radionuclides in Food and the Environment - Section 5. - Collection and Preparation of Samples.
2. I. Bikit, et al.: Radioactivity of the soil in Vojvodina (northern province of Serbia and Montenegro), Journal of Environmental Radioactivity 78 (2005) 11-19
3. I. Vukasinović. A. Djordjevic. D. Todorovic. M. B. Rajkovic. V. Pavlovic, Distribution of natural radionuclides in rigosol type soil, Turkish journal of agriculture and forestry. 34. (2010). 539-546
4. Pantelić G. Eremić-Savković M. Vuletić V, Испитивање земљишта у оквиру програма мониторинга радиоактивности животне средине у Србији, Контаминација земљишта Србије радионуклидима и могућност њихове реедације, Монографија уредник/едитор др Мирјана Стојановић, ИТНМС, Београд, 2006, 141-164.
5. Извештај о нивоу излагања становништва јонизујућим зрачењима из животне средине у Републици Србији у 2010. години, Агенција за заштиту од јонизујућих зрачења и нуклеарну сигурност Србије, јуни 2011.године.
6. UNSCEAR 2000, REPORT Vol. I SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly,with scientific annexes.
7. Извештај о реализацији систематског испитивања садржаја радионуклида у земљишту у Републици Србији у 2014. години, предато Агенцији за заштиту од јонизујућих зрачења и нуклеарну сигурност Србије.