

ELABORAT

**INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE "VINČA"
INSTITUT OD NACIONALNOG ZNAČAJA ZA REPUBLIKU SRBIJU
UNIVERZITET U BEOGRADU
LABORATORIJA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA I ZAŠTITU ŽIVOTNE
SREDINE "ZAŠTITA"**

MERENJE RADIOAKTIVNOSTI U RADNOJ I ŽIVOTNOJ SREDINI TE "KOSTOLAC" U 2022. god.



BEOGRAD, 2023.



Institut za nuklearne nauke "Vinča",
Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju
Univerzitet u Beogradu
Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine "Zaštita"
Laboratorija za radijaciona merenja
Mike Petrovića Alasa 12-14, 11001 Beograd
Tel: 011/630-84-37, Faks: 011-630-84-37



ЛАБОРАТОРИЈА
ЗА ИСПИТИВАЊЕ
ISO/IEC 17025

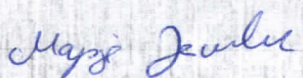
Broj: 1-0086

Datum: 03.02.2023. godine

Elaborat je urađen u Laboratoriji za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine "Zaštita", Instituta za nuklearne nauke "Vinča", u Sektoru za ispitivanje aktivnosti radionuklida, pod rukovodstvom dr Marije Janković. Analize su uradili:

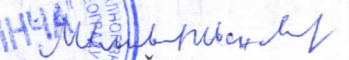
- spektrometrija gama emitera:
 - dr Dragana Todorović
 - dr Jelena Krneta Nikolić
 - dr Milica Rajačić
 - dr Ivana Vukanac
- merenje ukupne alfa i beta aktivnosti:
 - dr Nataša Sarap
- merenje jačine ambijentalne doze gama zračenja:
 - Goran Paunović
 - Dušan Kovačević
 - Miloš Jovanović
- merenje ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja
 - dr Jelena Stanković Petrović
 - dr Dušan Topalović

Tehnički rukovodilac Sektora
za ispitivanje aktivnosti radionuklida


dr Marija Janković

Rukovodilac Organizacione
jedinice "Zaštita"




dr Marija Šljivić Ivanović

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. PROGRAM ISPITIVANJA	2
3. METODE MERENJA.....	8
3.1. SPEKTROMETRIJA GAMA EMITERA	8
3.1.1. Priprema uzorka	8
3.1.2. Merenja.....	8
3.2. MERENJE UKUPNE ALFA I UKUPNE BETA AKTIVNOSTI	9
3.2.1. Priprema uzoraka	9
3.2.2. Merenja.....	9
3.3. DOZIMETRIJSKA MERENJA	9
3.3.1. Merenje jačine ambijentalne doze gama zračenja	9
3.3.2. Merenje ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja.....	9
4. REZULTATI MERENJA.....	10
4.1 REZULTATI GAMA SPEKTROMETRIJSKIH MERENJA	10
4.1.1. Ugalj, šljaka, pepeo, zemljište	10
4.1.2. Biljne kulture	20
4.2. REZULTATI MERENJA UKUPNE ALFA I UKUPNE BETA AKTIVNOSTI.	25
4.3. REZULTATI DOZIMETRIJSKIH MERENJA.....	26
5. ZAKLJUČAK.....	29
6. REFERENCE	30

1. UVOD

Tehnološki povišena prirodna radioaktivnost označava prirodne radioaktivne izotope koji se koncentrišu u nekom tehnološkom procesu koji nema za cilj proizvodnju izvora jonizujućih zračenja. Jedan od najznačajnijih izvora tehnološki povišene prirodne radioaktivnosti su termoelektrane na uglj. Sagorevanjem uglja u termoelektranama dolazi do oslobađanja i preraspodele niza zagađivača: sumpordioksida, azotnih oksida, ugljenmonoksida, toksičnih i teških metala, organskih čestica kao i radionuklida uranijumovog, torijumovog niza i kalijuma - 40.

Sve vrste uglja sadrže određeni procenat uranijuma i torijuma, kao i potomke proizvedenih njihovim radioaktivnim raspadom. U procesu sagorevanja uglja u termoelektranama dolazi do koncentrisanja prirodnih radionuklida, tako da je faktor obogaćenja za pepeo i šljaku veoma veliki.

Prirodni radionuklidi u procesu sagorevanja uglja, mogu da se ponašaju na različite načine u zavisnosti od niza faktora, kao što su vrsta i karakteristike uglja, procenat pepela u uglju, kalorična vrednost uglja, temperatura sagorevanja, hemijski i fizički oblik u kojem se radionuklidi nalaze u uglju, i drugih faktora.

U procesu sagorevanja uglja, najveći deo mineralnih materija iz uglja ostaje u pepelu dok njegov teži deo pada na dno kotla kao šljaka. Lebdeći deo se prenosi duž kotla do elektrostatičkog precipitatora, a zatim odlazi u dimnjak. Jedan deo lebdećeg pepela se zadržava na filtrima, dok drugi odlazi u atmosferu.

Na ovaj način dolazi do značajnog zagađenja životne sredine prirodnim radionuklidima, odnosno do tehnološki uslovljenog povećanja prirodne radioaktivnosti (1).

Ako posmatramo lanac ishrane, zemljište – biljka – životinja – čovek, promena prirodne radioaktivnosti kao posledica rada termoelektrana, može da utiče na ovaj povezani niz. Tip zemljišta kao i hemijski oblik radionuklida koji se nalazi u njoj, utiču na vezivanje radionuklida od strane biljaka.

Sistematsko praćenje povećanja prirodne radioaktivnosti, odnosno kontrola radioaktivnosti radne i životne sredine termoelektrana, neophodna je kako bi se pružila mogućnost da se proceni uticaj termoelektrane na povećanje nivoa osnovnog zračenja u okolini.

2. PROGRAM ISPITIVANJA

Program kontrole radioaktivnosti u radnoj i životnoj sredini obuhvatao je merenje jačine ambijentalne doze gama zračenja, spektrometriju gama emitera i merenje ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti prema tehničkoj specifikaciji datoj u tenderskoj dokumentaciji.

PROGRAM MERENJA RADIOAKTIVNOSTI U RADNOJ I ŽIVOTNOJ SREDINI

Merenje radioaktivnosti na lokaciji Ogranka TEKO Kostolca obuhvata:

1. Merenje apsorbirane doze gama zračenja u vazduhu na lokacijama sa koje se vrši uzorkovanje
2. Merenje ukupne alfa aktivnosti i ukupne beta aktivnosti
3. Gama spektrometrijska analiza uzoraka
 - prirodni radionuklidi uranovog i torijumovog niza, kalijum
 - radionuklidi veštačkog porekla
 - radionuklidi kosmogenog porekla
4. Postavljanje i očitavanje termoluminescentnih dozimetara
5. Uzorkovanje izvršiti jednom godišnje. U toku godine postaviti TL dozimetre

Red.broj	Aktivnost	Broj uzoraka
Gama spektrometrijska analiza		
1	Analiza uglja	2
2	Analiza šljake	2
3	Analiza elektrofilterskog pepela	2
4	Analiza pepela sa deponije pepela i šljake	2
5	Analiza zemlje	6
6	Analiza biljne kulture sa deponije pepela i šljake	2
Jačina ambijentalne doze gama zračenja		
1	Analize vode	5
2	Analize zemlje	5
3	Analize pepela i šljake	2
4	Analiza biljne kulture	2
5	Analiza na deponiji pepela-hidrociklon	2
Ukupna alfa i beta aktivnost		
1	Analiza voda	4
Postavljanje i analiza TLD dozimetra		
1	Analiza TLD dozimetra	6

Prikupljanje uzoraka za kontrolu radioaktivnosti u radnoj i životnoj sredini TE “Kostolac” vršeno je na mernim mestima prikazanim u sledećoj tabeli. Lokacije na kojima je izvršeno uzorkovanje prikazane su na mapi 1.

	TE “Kostolac” Merno mesto	GPS koordinate	Br. uzoraka
Gama spektrometrijske analize	Ugalj sa deponije TE Kostolac A TE Kostolac B	Uzorci su dostavljeni od strane TE "Kostolac"	1 1
	Šljaka ispod kracera TE Kostolac A TE Kostolac B		1 1
	Elektrofilterski pepeo TE Kostolac A TE Kostolac B		1 1
	Pepelo sa deponije pepela i šljake Aktivna kaseta C Pasivna kaseta A	N 44°44'35.20", E 21°11'15.60" N 44°44'22.30", E 21°10'46.50"	1 1
	Biljne kulture sa deponije pepela i šljake: Nasip aktivne kasete C Nasip pasivne kasete A	N 44°44'38.26", E 21°10'21.41" N 44°44'23.60", E 21°10'45.15"	1 1
	Zemlja: u okolini deponije pepela i šljake Aktivna kaseta C Pasivna kaseta A	N 44°44'43.67", E 21°10'3.02" N 44°44'21.75", E 21°10'43.99"	1 1
	u okolini površinskog kopa Drmno kod pomoćne mehanizacije br.1 kod glavne kapije br.2	N 44°43'3.81", E 21°15'35,75" N 44°44'21.82", E 21°10'42,65"	1 1
	u okolini površinskog kopa Čirikovac kod portirnice kod oboda pepelišta	N 44°40'38.45", E 21°11'11.78" N 44°41'19.01", E 21°11'11.57"	1 1
	Ukupan broj uzoraka		16
Jačina ambijentalne doze gama zračenja	Drenažna voda sa površinskog kopa Drmno Podzemna drenaža površinskog kopa Čirkovac Prelivna voda sa aktivne kasete C (deponija pepela i šljake) Drenažne vode sa aktivne kasete C (deponija pepela i šljake) Zemlja u okolini deponije pepela i šljake Zemlja u okolini površinskog kopa Drmno Zemlja u okolini površinskog kopa Čirikovac Pepeo i šljaka aktivne kasete C Pepeo i šljaka pasivne kasete A Biljne kulture sa nasipa pasivne kasete A (deponija pepela) Biljne kulture sa nasipa aktivne kasete C (deponija pepela) Deponija pepela srednje kostolačko ostrvo (bivši hidrociklon 3) Deponija pepela srednje kostolačko ostrvo (bivši hidrociklon 1)		1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	Ukupan broj uzoraka		16

Ukupna α i β aktivnost	Drenažne vode sa površinskog kopa Drmno	N 44°42'26.95", E 21°12'35.6"	1
	Prelivna voda sa aktivne kasete C (deponija pepela i šljake)	N 44°44'50.1", E 21°10'55.81"	1
	Drenažne vode sa aktivne kasete C (deponija pepela i šljake)	N 44°44'36.85", E 21°11'23.65"	1
	Podzemna drenaža površinskog kopa Ćirikovac	N 44°41'29.15", E 21°11'37.26"	1
	Ukupan broj uzoraka		4

Izvršeno je postavljanje 6 TLD dozimetara na sledećim lokacijama (mapa 2):

	Merno mesto	GPS koordinate
TLD 1	Trafo polje TEKO B	N 44°43'49.69", E 21°12'33.01"
TLD 2	Selo Stari Kostolac, porodica Milošević Dejana	N 44°43'48.98", E 21°11'44.88"
TLD 3	Selo Klenovnik, porodica Grujić Slaviše	N 44°41'33.02", E 21°10'58.45"
TLD 4	PK Ćirikovac, portirnica	N 44°40'37.50", E 21°11'12.25"
TLD 5	Trafo polje TEKO A	N 44°43'21.51", E 21°10'12.17"
TLD 6	Preduzeće Georad	N 44°42'59.97", E 21°13'18.33"



Mapa 1. Lokacije na kojima je izvršeno uzorkovanje

Legenda:

- P1 – pepeo sa deponije pepela i šljake sa aktivne kasete C
- P2 – pepeo sa deponije pepela i šljake sa pasivne kasete A
- B1 – biljna kultura sa deponije pepela i šljake sa nasipa aktivne kasete C
- B2 – biljna kultura sa deponije pepela i šljake sa nasipa pasivne kasete A
- Z1 – zemlja u okolini deponije pepela i šljake
- Z2 – zemljau okolini deponije pepela i šljake
- Z3 –zemlja u okolini površinskog kopa Drmno
- Z4 –zemljau okolini površinskog kopa Drmno
- Z5 –zemlja u okolini površinskog kopa Ćirikovac
- Z6 –zemljau okolini površinskog kopa Ćirikovac
- V1 –drenažne vode sa površinskog kopa Drmno
- V2 – prelivna voda sa aktivne kasete C (deponija pepela i šljake)
- V3 – drenažna voda sa aktivne kasete C (deponija pepela i šljake)
- V4 – podzemna drenaža površinskog kopa Ćirikovac



Mapa 2. Lokacije na kojima su postavljeni TLD dozimetri

3. METODE MERENJA

3.1. SPEKTROMETRIJA GAMA EMITERA

3.1.1. Priprema uzorka

Analiza uzoraka obuhvata dve vrste merenja. Prvo merenje po programu je spektrometrija gama emitera. Priprema uzorka je različita u zavisnosti od vrste uzorka.

Ugalj, šljaka, pepeo i zemlja se suše na 105°C, prosejavaju, odmeravaju i zatapaju pčelinjim voskom u odgovarajuću geometriju merenja. Radi uspostavljanja radioaktivne ravnoteže pripremljeni uzorci se nalaze u laboratoriji 30 dana, pre nego što se uradi spektrometrija gama emitera. Geometrija merenja je Marineli posuda od 450 ml.

Priprema uzoraka biljne kulture sastoji se u sušenju na sobnoj temperaturi, koncentrisanju, tj. mineralizaciji na temperaturi od 450°C, i zatapanju pčelinjim voskom radi uspostavljanje radioaktivne ravnoteže. Biljne kulture su pripremane kao celina, odnosno nisu odvajani delovi bilja kao koren, stablo, list, s obzirom na veliku različitost biljaka koje su se mogle naći na lokacijama na kojima je vršeno uzorkovanje i nemogućnosti pravljenja pojedinačnih uzoraka. Geometrija merenja je plastična kutija od 120 cm³.

Biljne kulture se mineralizacijom koncentrišu kako bi se smanjila ukupna merna nesigurnost merenja i minimalna detektabilna koncentracija. Procedura pripreme uzoraka rađena na je na osnovu preporuka IAEA (2).

3.1.2. Merenja

Spektrometrija gama emitera urađena je na HPGe detektorima relativnih efikasnosti 18 %, 20% i 50 %, firme CANBERRA. Rezolucija svih detektora je 1.8 keV na energiji 1332 keV.

Kalibracija detektora za merenje uzoraka zemlje, pepela, uglja i šljake, urađena je radioaktivnim standardom u matriksu silikonske smole, Czech Metrology Institute, Praha, 1035-SE-40508-22, ukupne aktivnosti 80.34 kBq na 19.08.2022. godine (²⁴¹Am, ¹⁰⁹Cd, ¹³⁹Ce, ⁵⁷Co, ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, ¹³³Ba, ⁸⁵Sr, ⁸⁸Y, ⁵¹Cr, ²¹⁰Pb).

Kod ispitivanja uzoraka biljnih kultura za kalibracije detektora korišćen je referentni radioaktivni materijal u geometriji plastične kutije od 120 cm³ koji je dobijen od sertifikovanog radioaktivnog rastvora, Czech Metrology Institute, Praha, 1035-SE-40507-22, Type: ER X, ukupne aktivnosti 87.01 kBq na 19.08.2022. godine (²⁴¹Am, ¹⁰⁹Cd, ¹³⁹Ce, ⁵⁷Co, ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, ¹³³Ba, ⁸⁵Sr, ⁸⁸Y, ⁵¹Cr, ²¹⁰Pb).

Vreme merenja uzoraka je 60000 s. Rezultati merenja dati su sa mernom nesigurnošću koja je izražena kao proširena merna nesigurnost za faktor k = 2 koji za normalnu raspodelu odgovara nivou poverenja od 95 %.

3.2. MERENJE UKUPNE ALFA I UKUPNE BETA AKTIVNOSTI

3.2.1. Priprema uzoraka

Priprema uzoraka za merenje ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti sastoji se od uparavanja određene količine uzorka (3l) do suvog ostatka i mineralizacije na temperaturi od 450°C.

3.2.2. Merenja

Odredjivanje ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti urađeno je na niskofonskom proporcionalnom α/β brojaču Thermo Eberline ESM, efikasnosti 28,3 % za alfa emitere i 32,4 % za beta emitere. Rezultati merenja dati su sa mernom nesigurnošću koja je izražena kao proširena merna nesigurnost za faktor $k=2$ koji za normalnu raspodelu odgovara nivou poverenja od 95 %.

3.3. DOZIMETRIJSKA MERENJA

3.3.1. Merenje jačine ambijentalne doze gama zračenja

Merenje jačine ambijentalne doze gama zračenja urađena su na mestima predviđenim programom merenja radioaktivnosti sa Automess AD6 sa scintilacionom sondom AD-b, rezolucije 1 nSv/h na 1m iznad tla.

3.3.2. Merenje ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja

Za ispitivanje nivoa ambijentanog ekvivalenta doze gama zračenja koriste se termoluminiscentni dozimetri (TLD) za okolinu (LiF: Mg, Cu, P), komercijalno poznati kao TLD-700H. Očitavanje TLD kartica za okolinu vrši se na termoluminiscentnom čitaču Harshaw TLD reader 6600 PLUS.

Merna nesigurnost merenja ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja, iznosi 24 % i izražena je kao proširena merna nesigurnost za faktor $k = 2$ koji za normalnu raspodelu odgovara nivou poverenja od 95 %.

4. REZULTATI MERENJA

4.1. REZULTATI GAMA SPEKTROMETRIJSKIH MERENJA

4.1.1. Ugalj, šljaka, pepeo, zemljište

Rezultati spektrometrije gama emitera prikazani su tabelarno. U tabeli 1, prikazani su rezultati merenja uglja, šljake, pepela i zemljišta.

U merenim uzorcima detektovani su prirodni radionuklidi (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{235}U , ^{238}U). Najniže vrednosti koncentracije prirodnih radionuklida dobijene su u uzorcima uglja. Veće vrednosti koncentracije prirodnih radionuklida u odnosu na ugalj dobijene su u uzorcima šljake i pepela.

Vrednosti koncentracije prirodnih radionuklida u uglju niže su u odnosu na sadržaj u pepelu, što je poznat efekat koncentrisanja pri sagorevanju uglja. Sadržaj prirodnih radionuklida zavisi od geološkog porekla i vrste uglja, tako da se vrednosti mogu razlikovati za npr. mrki i kameni ugalj. Poznato je da u procesu sagorevanja uglja, najveći deo mineralnih materija iz uglja ostaje u pepelu dok njegov teži deo pada na dno kotla kao šljaka. Lebdeći deo se prenosi duž kotla do elektrostatičkog precipitatora, a zatim odlazi u dimnjak. Veći deo lebdećeg pepela može da se zadrži na filtrima, ali jedan deo ipak odlazi u atmosferu. Iz tog razloga je očekivano da koncentracija prirodnih radionuklida u elektrofilterskom pepelu i pepelu sa kaseta bude veća nego u uglju.

Razlike u vrednostima koncentracija detektovanih prirodnih radionuklida u uzorcima uglja, šljake i elektrofilterskog pepela između termoelektrane TE Kostolac A i B nisu značajne, osim za radionuklid ^{226}Ra čija je koncentracija u elektrofilterskom pepelu TE Kostolac A značajno niža u poredjenju sa elektrofilterskim pepelom iz TE Kostolac B. Proizvedeni radionuklid ^{137}Cs nije detektovan u uzorcima uglja, šljake i pepela, odnosno koncentracije ovog radionuklida su ispod granice detekcije koje su navedene u tabeli 1.

Takođe treba napomenuti, da se namena kaseta razlikuje od godine do godine, odnosno kaseta koja je jedne godine bila aktivna sledeće godine može biti pasivna.

Odnos aktivnosti $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$, u analiziranim uzorcima uglja, pepela i šljake odgovara prirodnom uranijumu u okviru mernih nesigurnosti rezultata merenja.

Izmerene vrednosti koncentracija prirodnih radionuklida u uzorcima zemljišta karakteristične su za ovu vrstu uzoraka sa naših prostora i bile su u intervalima (30-51) Bq/kg za ^{226}Ra , (39-48) Bq/kg za ^{232}Th , (370-490) Bq/kg za ^{40}K , (32-58) Bq/kg za ^{238}U i (1,5-3,4) Bq/kg za ^{235}U .

U zemljištu je, pored prirodnih radionuklida, prisutan i proizvedeni radionuklid ^{137}Cs . U četiri uzorka zemljišta izmerena vrednost koncentracija ovog radionuklida je u intervalu vrednosti koje se očekivano nalaze u zemljištu. U ostalim uzorcima koncentracija ^{137}Cs je ispod minimalne granice detekcije. Prisustvo ^{137}Cs u uzorcima iz životne sredine, pa i u zemljištu, posledica je akcidenta na nuklearnom postrojenju u Černobilju. Izmerene vrednosti koncentracije ^{137}Cs su u intervalu (1,8-22) Bq/kg, sa maksimalno izmerenom vrednošću u uzorku sa lokacije Zemljište u okolini PK Ćirikovac (kod portirnice).

U tabeli 1, pored dobijenih vrednosti koncentracije za prirodne i proizvedene radionuklide, date su i vrednosti jačine apsorbovane doze gama zračenja i godišnja efektivna doza izračunate na osnovu rezultata merenja aktivnosti radionuklida u zemljištu.

Korišćenjem jednačinine 1:

$$\dot{D}(\text{nGyh}^{-1}) = 0,462 \times C_{Ra} + 0,604 \times C_{Th} + 0,0417 \times C_K \quad (1)$$

određena je jačina apsorbovane doze gama zračenja, a na osnovu jednačine 2:

$$D_E(\text{mSv}) = 0,7 \text{SvGy}^{-1} \times 0,2 \times 365 \times 24 \times \dot{D} \quad (2)$$

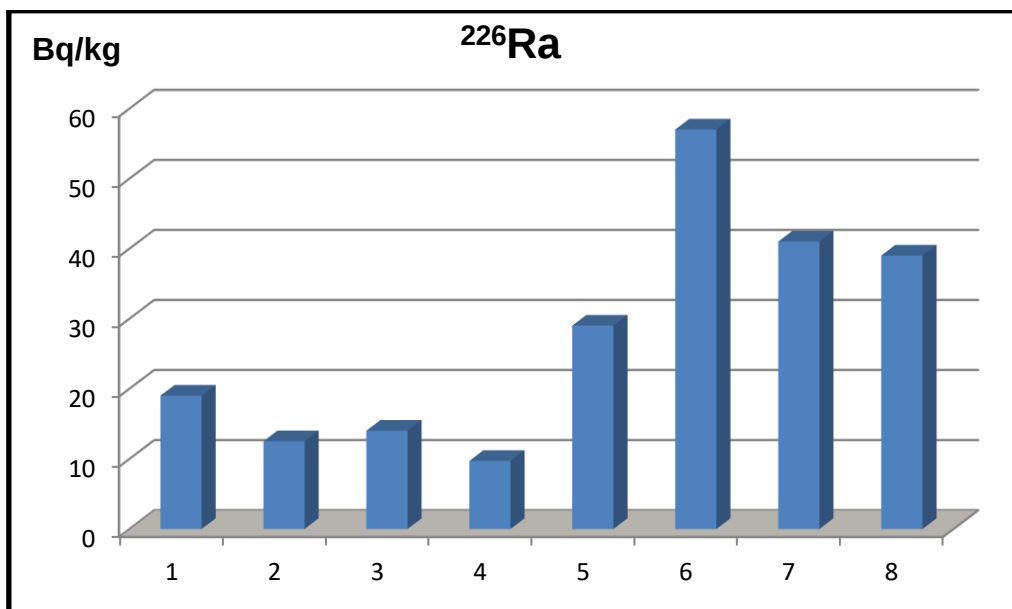
određena je godišnja efektivna doza, gde su C_{Ra} , C_{Th} i C_K koncentracije radionuklida u zemljištu.

Jačina apsorbovane doze gama zračenja je u intervalu od 56 nGy/h do 69 nGy/h, a godišnja efektivna doza je u intervalu od 0,068 mSv do 0,084 mSv.

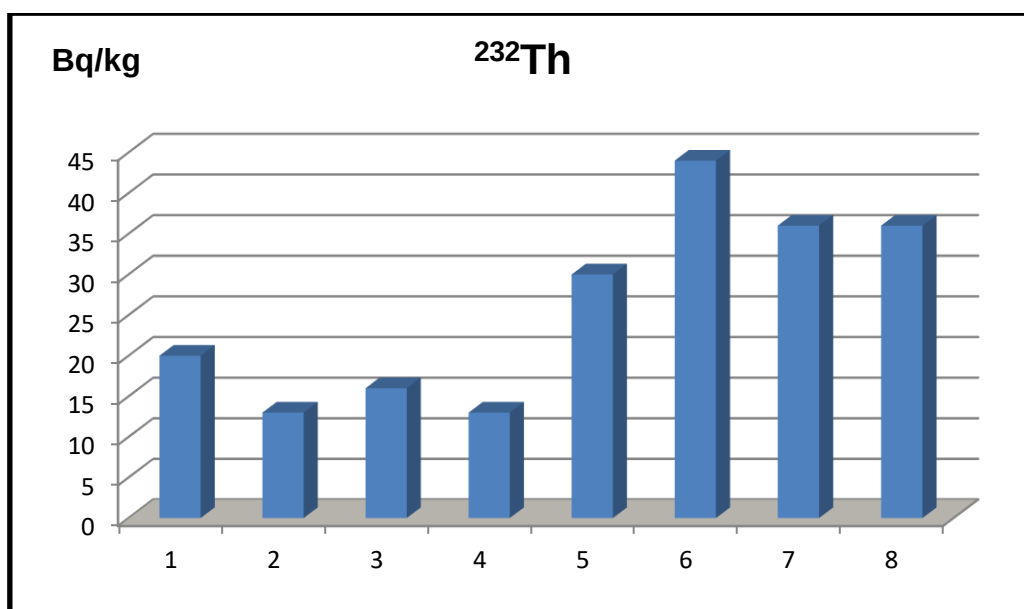
Tabela 1. Koncentracije prirodnih i proizvedenih radionuklida (Bq/kg) u uglju, šljaci, pepelu i zemljištu

Merno mesto	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	²³⁸ U	²³⁵ U	¹³⁷ Cs	$\dot{D}$ (nGy/h)	D_E (mSv)
	Bq/kg							
Ugalj sa deponije TE Kostolac A	19 ± 1	20 ± 2	280 ± 20	21 ± 3	0,9 ± 0,1	< 0,06		
Ugalj sa deponije TE Kostolac B	12,5 ± 0,8	13 ± 1	100 ± 8	16 ± 3	0,8 ± 0,1	< 0,06		
Šljaka ispod kracera TE Kostolac A	14,0 ± 0,8	16 ± 2	210 ± 10	33 ± 7	1,4 ± 0,1	< 0,1		
Šljaka ispod kracera TE Kostolac B	9,7 ± 0,6	13 ± 1	94 ± 8	17 ± 5	1,3 ± 0,2	< 0,1		
Elektrofilterski pepeo TE Kostolac A	29 ± 1	30 ± 2	300 ± 20	41 ± 8	2,2 ± 0,2	< 0,1		
Elektrofilterski pepeo TE Kostolac B	57 ± 3	44 ± 3	290 ± 20	52 ± 5	2,1 ± 0,2	< 0,06		
Pepeo sa deponije pepela i šljake: aktivna kaseta C	41 ± 3	36 ± 3	240 ± 20	35 ± 5	2,0 ± 0,2	< 0,06		
Pepeo sa deponije pepela i šljake: pasivna kaseta A	39 ± 2	36 ± 3	300 ± 20	33 ± 5	1,7 ± 0,2	< 0,06		
Zemljište u okolini deponije pepela i šljake br. 1, aktivna kaseta C	41 ± 2	35 ± 3	370 ± 20	41 ± 51	1,8 ± 0,2	< 0,06	56	0,068
Zemljište u okolini deponije pepela i šljake br. 2, pasivna kaseta A	51 ± 2	48 ± 4	390 ± 30	58 ± 8	3,4 ± 0,3	3,0 ± 0,4	69	0,084
Zemljište u okolini površinskog kopa Drmno br. 1, kod pomoćne mehanizacije	30 ± 2	44 ± 3	490 ± 30	38 ± 5	2,2 ± 0,2	2,2 ± 0,3	61	0,075
Zemljište u okolini površinskog kopa Drmno br. 2, kod glavne kapije	31 ± 2	40 ± 3	450 ± 30	32 ± 5	1,8 ± 0,2	1,8 ± 0,3	57	0,070
Zemljište u okolini površinskog kopa Ćirikovac br. 1, kod portirnice	36 ± 2	39 ± 3	460 ± 30	37 ± 4	2,0 ± 0,2	22 ± 2	59	0,073
Zemljište u okolini površinskog kopa Ćirikovac br. 2, kod pepelišta	31 ± 2	45 ± 3	470 ± 30	35 ± 4	1,5 ± 0,2	< 0,04	61	0,075

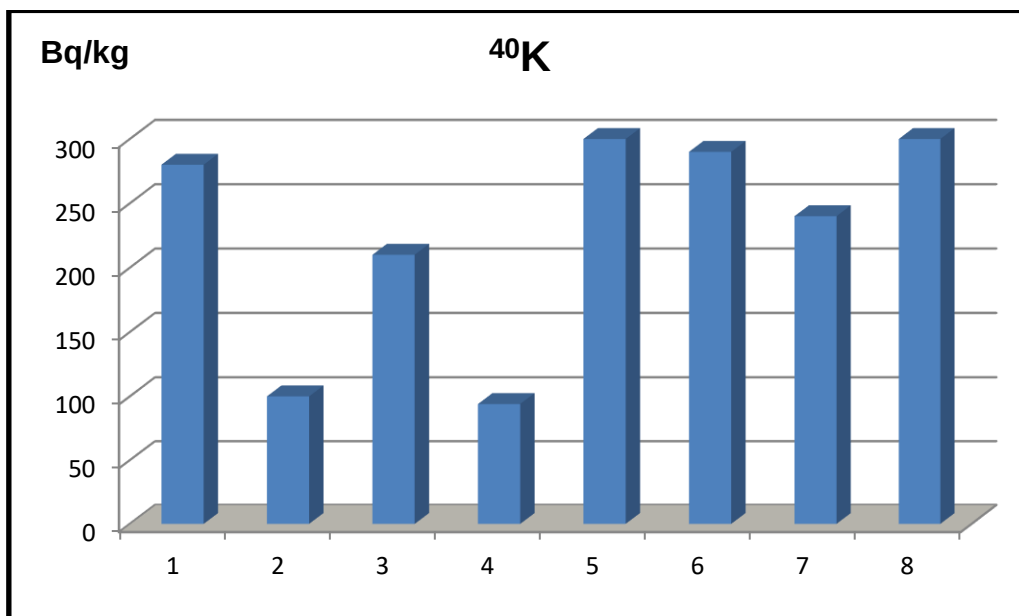
Grafički prikazi izmerenih koncentracija prirodnih radionuklida, u uzorcima uglja, šljake i pepela, dati su na slikama 1, 2, 3, 4 i 5.



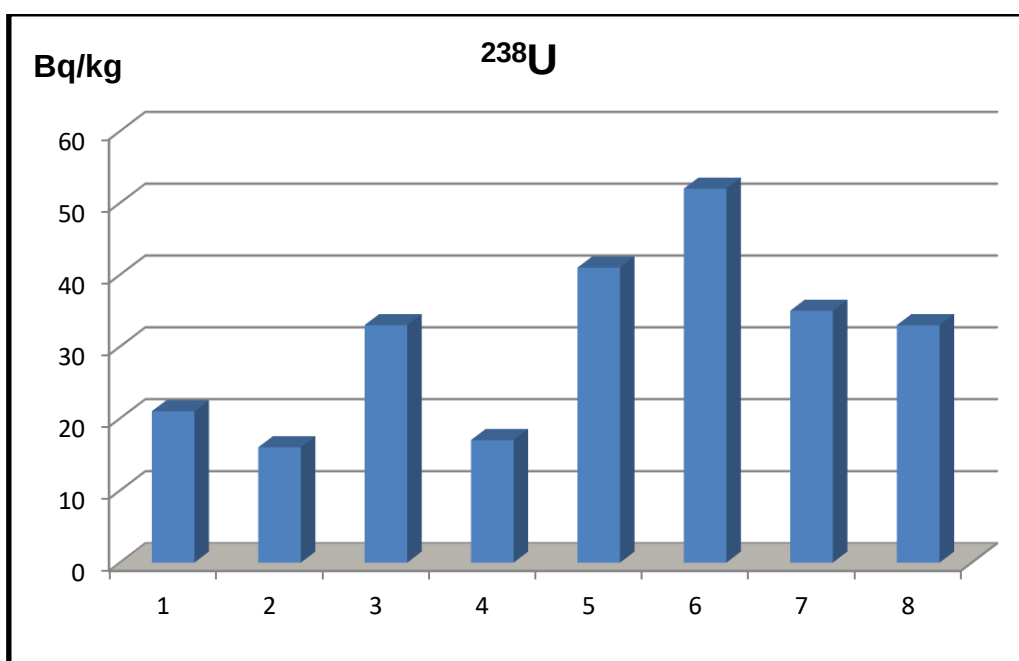
Sl.1. Izmerene koncentracije ^{226}Ra (Bq/kg) u uzorcima uglja, šljake i pepela



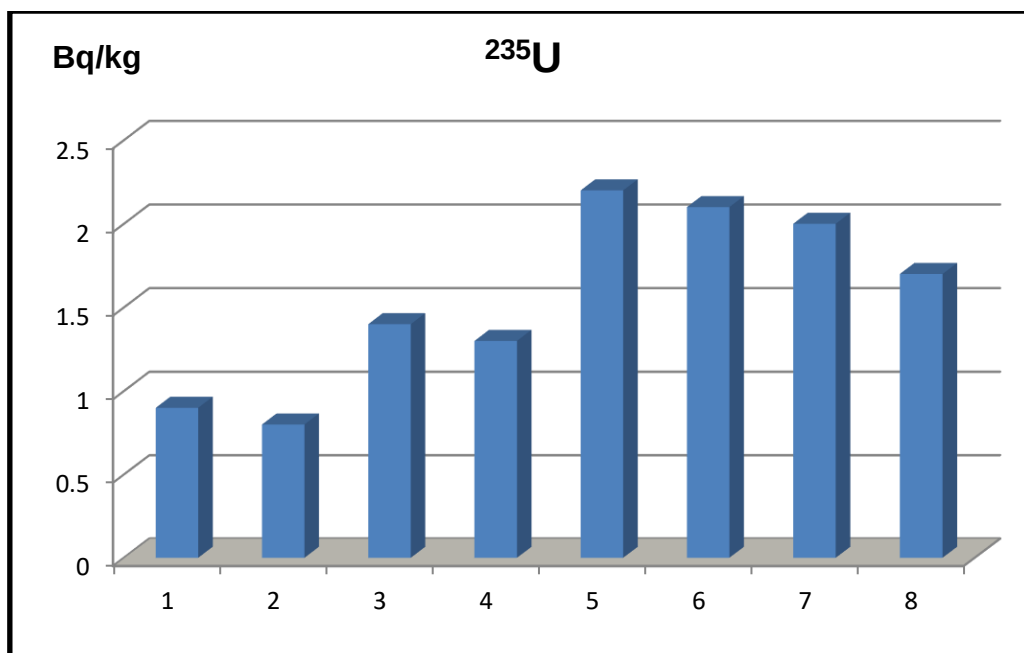
Sl. 2. Izmerene koncentracije ^{232}Th (Bq/kg) u uzorcima uglja, šljake i pepela



Sl. 3. Izmerene koncentracije ⁴⁰K (Bq/kg) u uzorcima, uglja, šljake i pepela



Sl. 4. Izmerene koncentracije ²³⁸U (Bq/kg) u uzorcima uglja, šljake i pepela

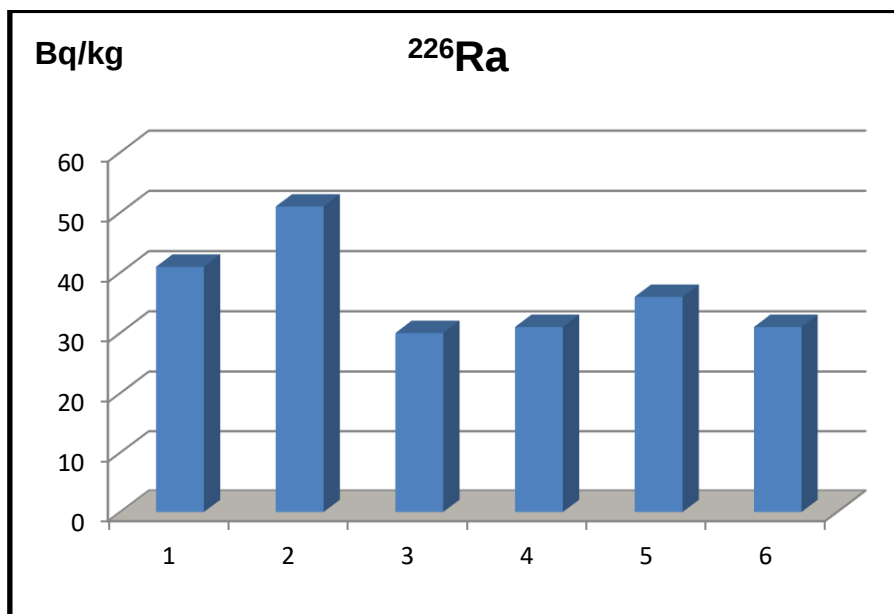


Sl. 5. Izmerene koncentracije ^{235}U (Bq/kg) u uzorcima uglja, šljake i pepela

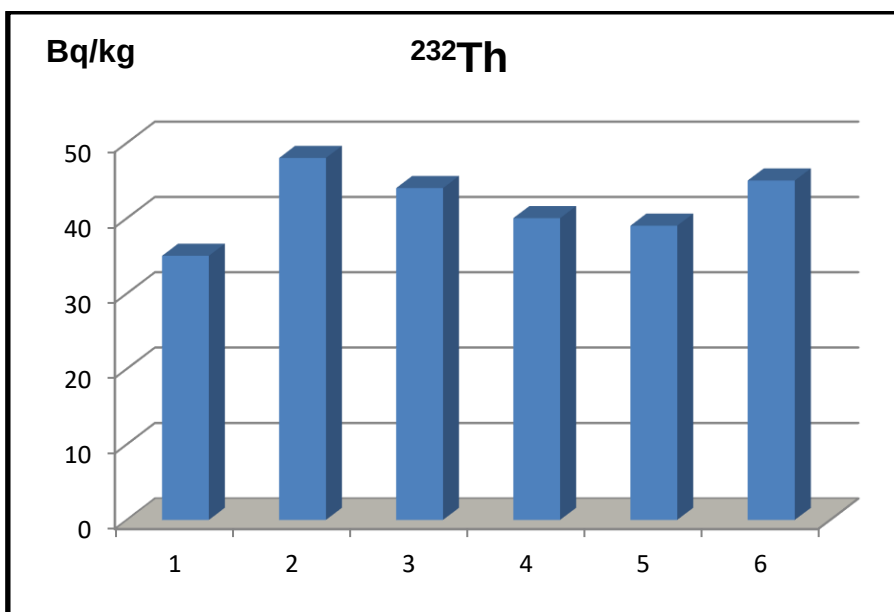
Legenda za slike 1-5:

1. ugalj sa deponije TE Kostolac A
2. ugalj sa deponije TE Kostolac B
3. šljaka ispod kracera TE Kostolac A
4. šljaka ispod kracera TE Kostolac B
5. elektrofilterski pepeo TE Kostolac A
6. elektrofilterski pepeo TE Kostolac B
7. pepeo sa deponije pepela i šljake: aktivna kaseta C
8. pepeo sa deponije pepela i šljake: pasivna kaseta A

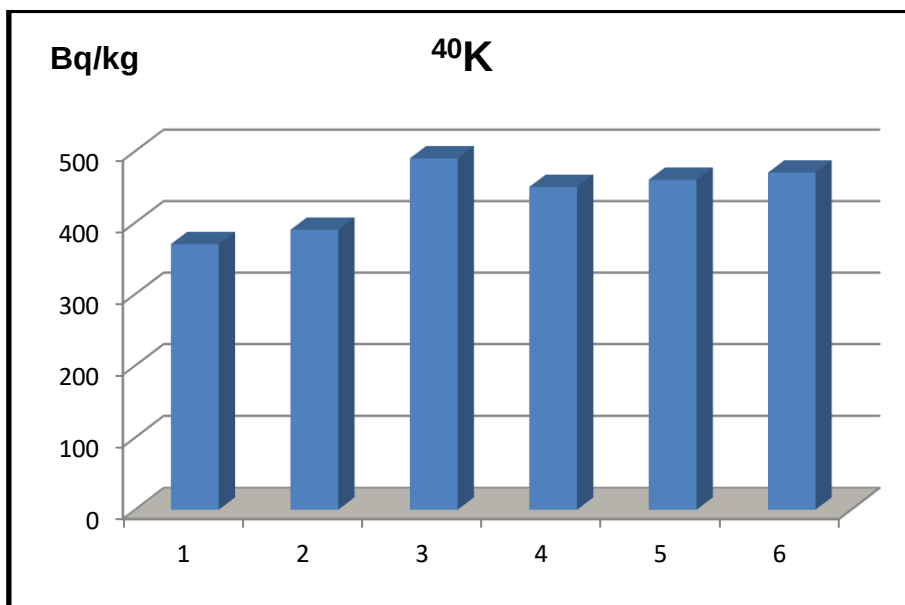
Na slikama 6, 7, 8, 9, 10 i 11 dati su grafički prikazi izmerenih koncentracija detektovanih radionuklida u uzorcima zemljišta.



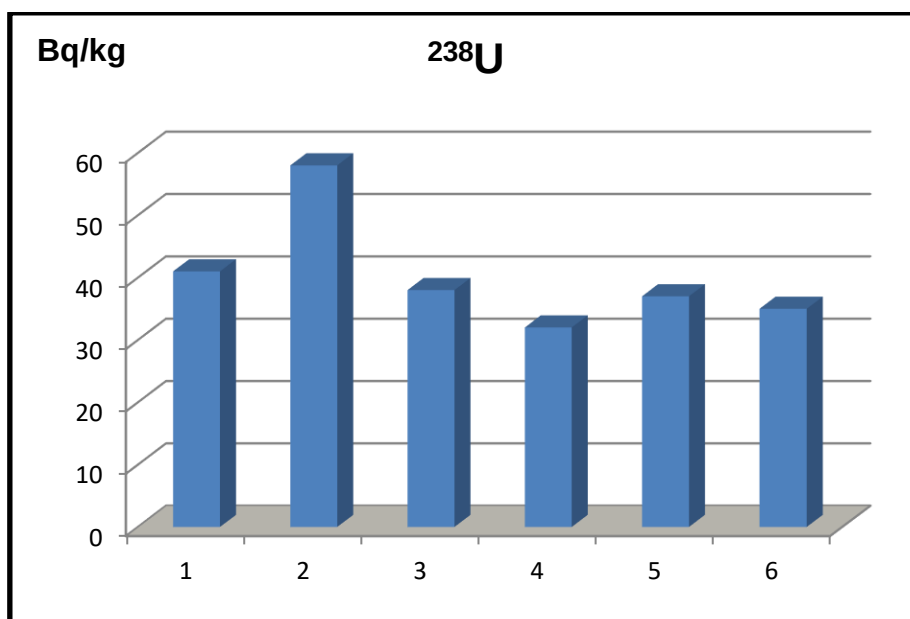
Sl. 6. Izmerene koncentracije ^{226}Ra (Bq/kg) u uzorcima zemljišta



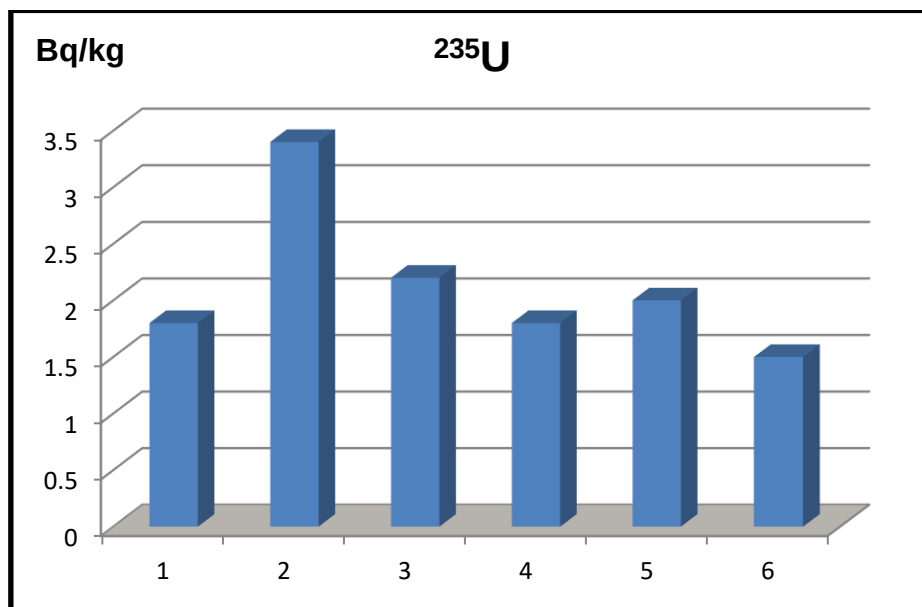
Sl. 7. Izmerene koncentracije ^{232}Th (Bq/kg) u uzorcima zemljišta



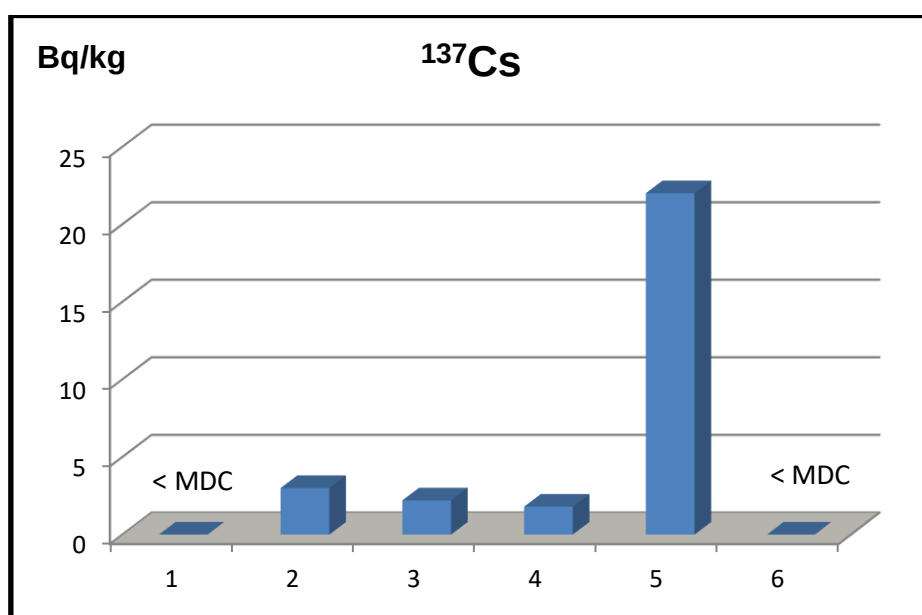
Sl. 8. Izmerene koncentracije ^{40}K (Bq/kg) u uzorcima zemljišta



Sl. 9. Izmerene koncentracije ^{238}U (Bq/kg) u uzorcima zemljišta



Sl. 10. Izmerene koncentracije ^{235}U (Bq/kg) u uzorcima zemljišta



Sl. 11. Izmerene koncentracije ^{137}Cs (Bq/kg) u uzorcima zemljišta

Legenda za slike 6-11:

1. Zemljište u okolini deponije pepela i šljake br. 1, aktivna kaseta C
2. Zemljište u okolini deponije pepela i šljake br. 2, pasivna kaseta A
3. Zemljište u okolini površinskog kopa Drmno br. 1, kod pomoćne mehanizacije
4. Zemljište u okolini površinskog kopa Drmno br. 2, kod glavne kapije
5. Zemljište u okolini površinskog kopa Ćirikovac br. 1, kod portirnice
6. Zemljište u okolini površinskog kopa Ćirikovac br. 2, kod pepelišta

Komentar rezultata

Ukoliko se uporede podaci iz literature, dobijene vrednosti koncentracije detektovanih radionuklida se ne razlikuju bitno, odnosno sadržaj prirodnih radionuklida u uzorcima uglja, šljake i pepela je blizak rezultatima dobijenim u drugim zemljama (5, 6, 7, 8, 9, 10).

Interval vrednosti koncentracije prirodnih radionuklida u periodu od 2005 – 2009, 2013, 2018, 2020 i 2022 god., u uzorcima uglja, šljake, elektrofilterskog pepela i pepela sa aktivne i pasivne kasete, dat je u tabeli 2. Najveće vrednosti koncentracije ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K i ^{235}U u ovom periodu, dobijene su u elektrofileterskom pepelu, a ^{238}U u pepelu sa pasivne kasete.

Tabela 2. Vrednosti koncentracije prirodnih radionuklida u uglju, šljaci i pepelu u periodu 2005-2009, 2013, 2018, 2020. i 2022.godine

Radionuklid/ Bq/kg	Vrsta materijala				
	Ugalj	Šljaka	Elektrofilterski pepeo	Pepeo aktivna kasete	Pepeo pasivna kasete
^{226}Ra	8 - 30	17 - 50	13 - 81	36 - 62	39-72
^{232}Th	11 - 30	13 - 32	12 - 49	29-41	29-43
^{40}K	80 - 280	94 - 218	90 - 653	193-252	188-350
^{238}U	14 - 50	mdc - 66	15 - 88	35-79	32-100
^{235}U	0,6 – 2,3	mdc- 3,8	1,4 - 6,1	0,9-4,2	1,3-4,2

mdc- minimalna detektabilna koncentracija

Dobijene vrednosti koncentracije prirodnih radionuklida u uzorcima uglja, šljake i pepela u 2022. godini, se ne razlikuju značajno u odnosu na raniji period ispitivanja. Za isti posmatrani period, u tabeli 3, dat je interval vrednosti koncentracije detektovanih radionuklida u zemljištu.

Tabela 3. Vrednosti koncentracije prirodnih radionuklida u zemljištu u periodu 2005-2009, 2013, 2018, 2020. i 2022.godine

Radionuklid	U blizini deponije pepela i šljake	Dalje od deponije pepela i šljake
	Bq/kg	
^{226}Ra	22 - 51	24 - 51
^{232}Th	22 - 48	23,7 - 53
^{40}K	260 - 626	370 - 689
^{238}U	27 – 59	27 – 84
^{235}U	1,1 – 3,4	1,2 – 4,2
^{137}Cs	mdc - 36	mdc - 30

Dobijene vrednosti koncentracije prirodnih radionuklida u zemljištu ne razlikuju se od godine do godine, a takođe se ne razlikuju od podataka iz literature koji se odnose na prosečne svetske vrednosti (3).

4.1.2. Biljne kulture

U okviru kontrole radioaktivnosti termoelektrane Kostolac, prikupljena su i analizirana dva uzorka biljnih kultura, na osnovu programa kontrole. Zbog velike različitosti biljnih kultura na terenu (pored raznih vrsta trava ima i raznih vrsta lekovitog bilja npr. kantarion, nana, kamilica) uzorci su uzeti metodom slučajnog uzorka, jer nema mogućnosti za uzimanje pojedinih vrsta (mala količina biljaka).

U merenim uzorcima detektovani su prirodni radionuklidi (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{235}U , ^{238}U , ^{210}Pb) i kosmogeni ^7Be , a rezultati gama spektrometrijskih merenja uzoraka biljnih kultura su dati u tabeli 4 i odnose se na suvu materiju - seno.

Tabela 4. Koncentracije prirodnih i proizvedenih radionuklida (Bq/kg suve materije – seno) u biljnim kulturama

Radionuklid	Nasip aktivne kasete C	Nasip pasivne kasete A
	Bq/kg	
^{226}Ra	$5,6 \pm 0,5$	$2,4 \pm 0,3$
^{232}Th	$3,4 \pm 0,7$	$2,2 \pm 0,6$
^{40}K	126 ± 9	360 ± 20
^{238}U	< 3	< 3
^{235}U	$< 0,2$	$< 0,2$
^{137}Cs	$< 0,05$	$< 0,06$
^7Be	250 ± 20	211 ± 14
^{210}Pb	45 ± 7	36 ± 6

U merenim uzorcima biljne kulture detektovani su prirodni radionuklidi u uobičajenim koncentracijama. Izmerena koncentracija prirodnog radionuklida ^{210}Pb je nešto veća, što se može očekivati obzirom na to da ga biljka može apsorbovati iz zemljišta, ali se ovaj radionuklid može i taložiti na nadzemnim delovima biljke iz vazduha.

Na osnovu dobijenih rezultata izračunati su transfer faktori, koji predstavljaju odnos aktivnosti u biljkama i zemljištu. Transfer faktori zavise od niza faktora, kao što su pH vrednosti zemljišta, spiranje, fizičko hemijski sastav zemljišta, godišnje doba i drugi, tako da njihove vrednosti mogu značajno da variraju. Ovaj faktor je veoma bitan jer on ukazuje na apsorpciju radionuklida iz zemljišta u biljke.

Transfer faktor podloga-biljka, izračunat je kao odnos izmerenih koncentracija pojedinačnih radionuklida u pepelu sa aktivne kasete C, odnosno pasivne kasete A i izmerene koncentracije u biljkama uzorkovanih na tim lokacijama. U slučaju ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K , transfer faktori iznose 0,14, 0,09 i 0,53 za uzorke sa nasipa aktivne kasete C i 0,06, 0,06 i 1,2 za

uzorke sa nasipa pasivne kasete A. U slučaju ^{238}U i ^{235}U , nije određena vrednost transfer faktora, jer su dobijene vrednosti koncentracije ispod minimalne detektabilne koncentracije u uzorcima biljne kulture.

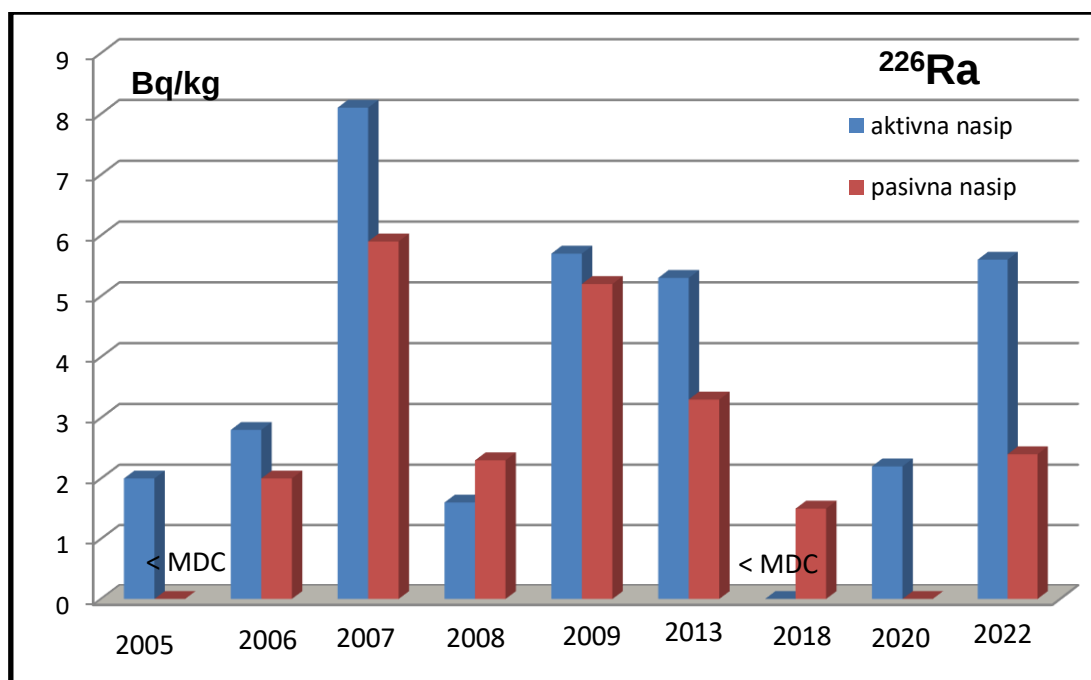
Transfer faktor za ^{210}Pb nije određen zbog mogućeg različitog porekla ovog radionuklida u biljkama, odnosno činjenice da se osim apsorpcijom iz podloge ovaj radionuklid može taložiti na biljkama jer je prisutan u aerosolima iz prizemnog sloja atmosfere.

Vrednosti koncentracije ^{40}K u merenim uzorcima biljnih kultura su uobičajene za ovaj period uzorkovanja i ovu vrstu uzoraka.

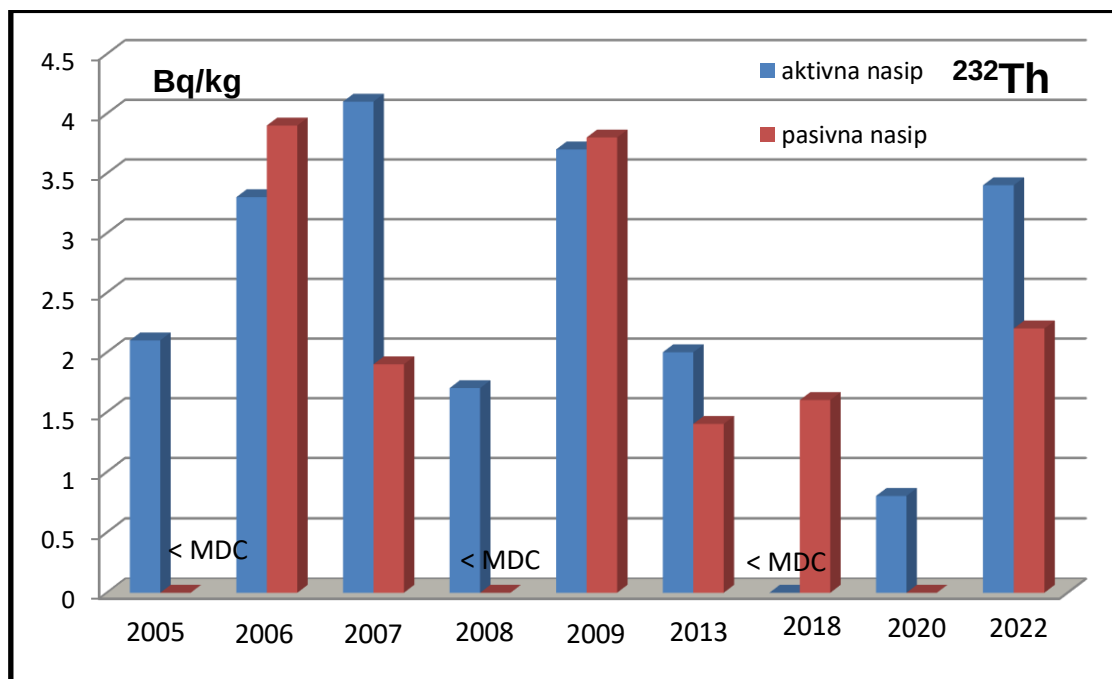
Proizvedeni radionuklid ^{137}Cs (posledica Černobilja) nije detektovan, tj. dobijene vrednosti su ispod minimalne detektabilne koncentracije, koje su navedene u tabeli 4.

Pored prirodnih radionuklida, u uzorcima biljnih kultura detektovan je i kosmogeni radionuklid ^7Be , nastao interakcijom kosmičkog zračenja sa elementima iz atmosfere. U tabeli 4, date su vrednosti koncentracije ovog radionuklida na dan uzorkovanja (26.10.2022. godine). Kod kratkoživećih radionuklida (vreme poluraspada ^7Be iznosi 53,22 dana) da bi se uporedile vrednosti, navodi se datum na koji je određena aktivnost. Koncentracija ^7Be u prizemnom sloju atmosfere varira, odnosno izražene su sezonske varijacije, a na našim prostorima su maksimalne vrednosti ^7Be u letnjem periodu.

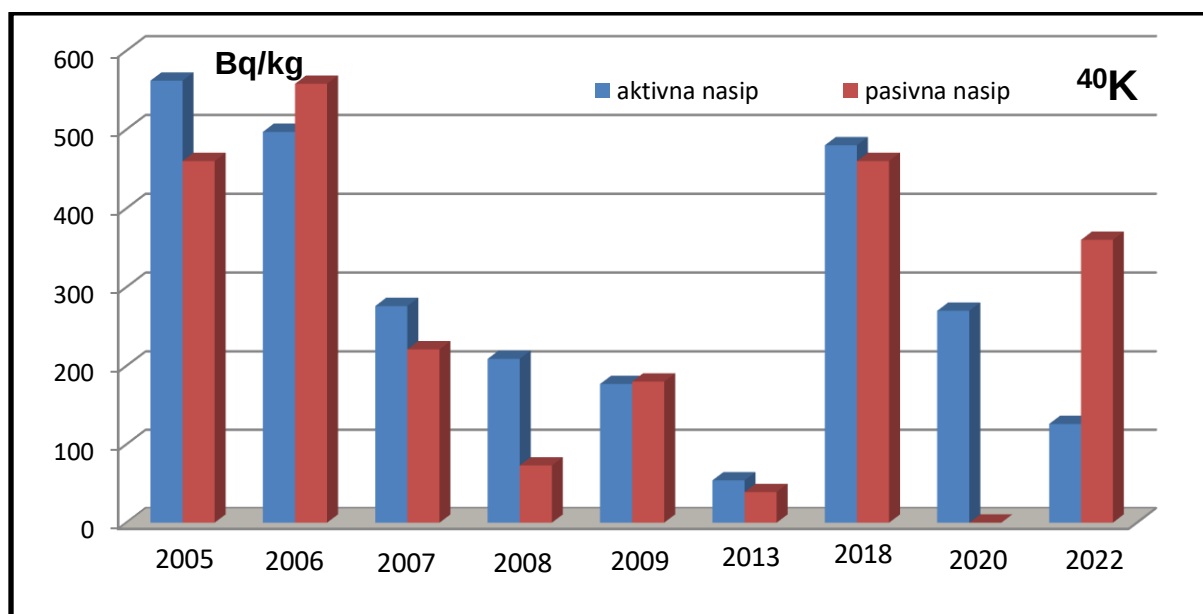
Grafički prikaz koncentracija ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{210}Pb , ^7Be , za sve periode ispitivanja od 2005. do 2009, 2013, 2018, 2020 i 2022. godine na lokacijama nasip aktivne i nasip pasivne kasete, dat je na slikama 12, 13, 14, 15 i 16. Rezultati koji se odnose na biljnu kulturu sa pasivne kasete A u 2020. godini, nisu prikazani na datom grafiku (15).



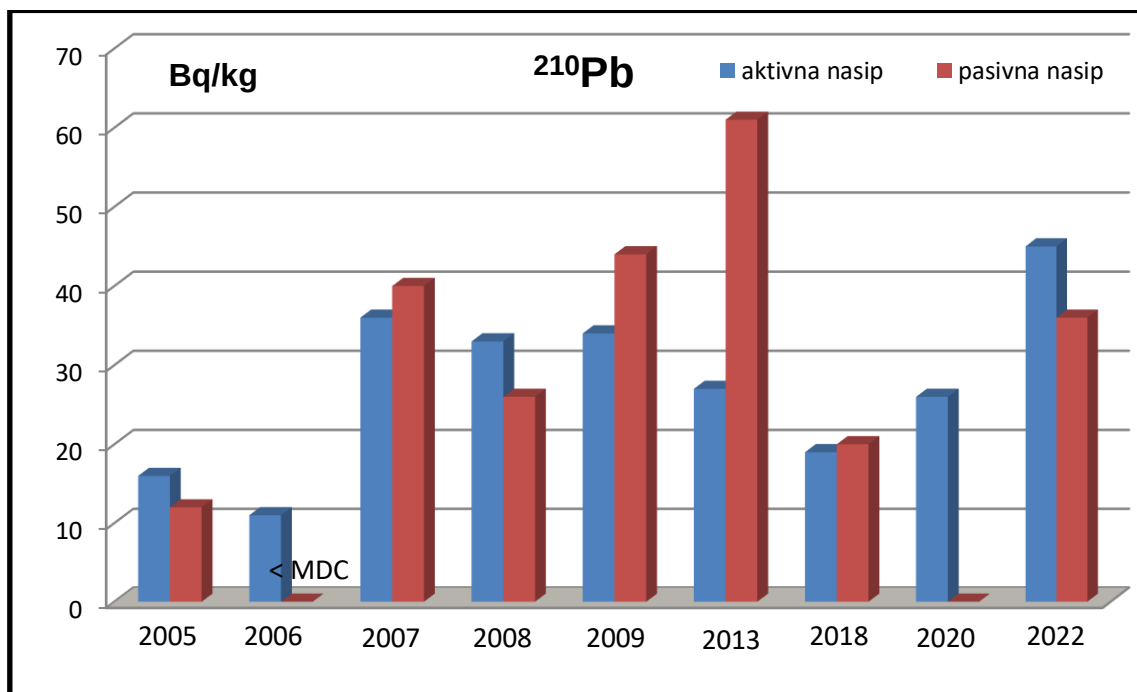
Sl. 12. Promena koncentracije ^{226}Ra (Bq/kg) u biljnim kulturama



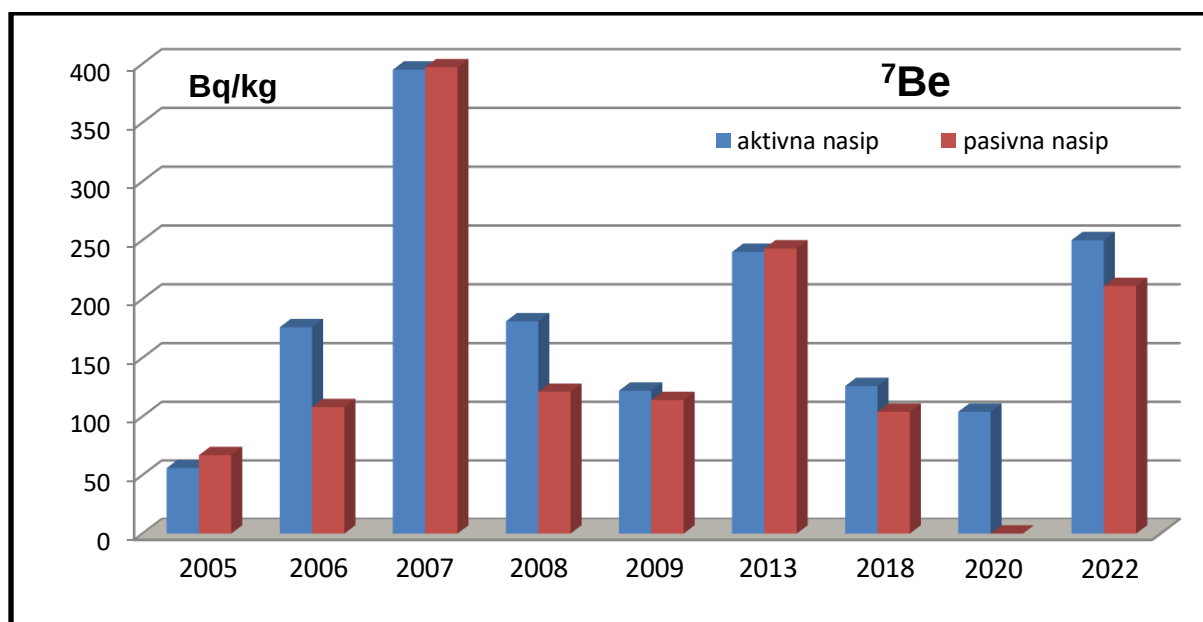
Sl.13. Promena koncentracije ^{232}Th (Bq/kg) u biljnim kulturama



Sl. 14. Promena koncentracije ^{40}K (Bq/kg) u biljnim kulturama



Sl. 15. Promena koncentracije ^{210}Pb (Bq/kg) u biljnim kulturama



Sl. 16. Promena koncentracije ^7Be (Bq/kg) u biljnim kulturama, rezultati se odnose na dan uzorkovanja

Komentar rezultata

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 4, može se zaključiti da su u biljnim kulturama koncentracije prirodnih radionuklida, kao i vrednosti transfer faktora, slične su kao i u biljnim kulturama na drugim prostorima naše zemlje (4, 11, 12) i u svetu.

U odnosu na 2020. godinu, u 2022. godini dobijene su veće vrednosti koncentracija detektovanih prirodnih radionuklida na obe lokacije sa kojih su uzorkovane biljne kulture.

Navedeno upoređivanje vrednosti i određivanje odnosa dobijenih koncentracija, nije potpuno adekvatno, s obzirom na način uzimanja uzoraka biljnih kultura. Tokom sezone, uzorkovanje se vrši na istim lokacijama i u istom periodu godine, ali se ne može na datim lokacijama naći ista vrsta biljnih kultura.

Varijacije kosmogenog radionuklida ^7Be nisu značajne sa aspekta praćenja uticaja termoelektrane na životnu sredinu s obzirom na to da je njegovo poreklo kosmogeno, a ne posledica rada termoelektrane. U zakonskoj regulativi ne postoji poseban pravilnik koji se odnosi na dozvoljene koncentracije prirodnih radionuklida u biljnim kulturama.

4.2. REZULTATI MERENJA UKUPNE ALFA I UKUPNE BETA AKTIVNOSTI

U tabeli 5 date su vrednosti za ukupnu alfa i ukupnu beta aktivnost u merenim uzorcima voda.

Tabela 5. Ukupna alfa i ukupna beta aktivnost (Bq/l) u vodama

Merno mesto	Ukupna alfa aktivnost [Bq/l]	Ukupna beta aktivnost [Bq/l]
Drenažna voda sa PK Drmno	$0,049 \pm 0,014$	$0,101 \pm 0,021$
Prelivna voda sa aktivne kasete C (deponija pepela i šljake)	$0,054 \pm 0,015$	$0,142 \pm 0,017$
Drenažna voda sa aktivne kasete C (deponija pepela i šljake)	$0,063 \pm 0,015$	$0,121 \pm 0,016$
Podzemna drenaža PK Ćirikovac	$< 0,27$	$< 0,27$

Pravilnikom o granicama sadržaja radionuklida u vodi za piće, životnim namirnicama, stočnoj hrani, lekovima, predmetima opšte upotrebe, građevinskom materijalu i drugoj robi koja se stavlja u promet (Sl.gl. RS 36/18), definisane su propisane vrednosti za ukupnu alfa i ukupnu beta aktivnost, tj.

ukupna alfa aktivnost: $< 0,1$ Bq/l

ukupna beta aktivnost: < 1 Bq/l.

S obzirom na to da u našoj zakonskoj regulativi ne postoji Pravilnik koji definiše maksimalno dozvoljene vrednosti ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti u otpadnim i rečnim vodama, jedino kvantitativno upoređivanje je moguće sa gore navedenim Pravilnikom, koji definiše maksimalno dozvoljene vrednosti za ukupnu alfa i ukupnu beta aktivnost u pijaćim vodama. Za sve analizirane vode može se reći da zadovoljavaju Pravilnikom propisane vrednosti, osim za uzorak vode Podzemna drenaža PK Ćirikovac. Kod ovog uzorka, nakon mineralizacije dobijena je velika količina mineralnog ostatka i granicu detekcije nije bilo moguće sniziti. Naknadno, ovaj uzorak je izmeren na HPGe spektrometru i na osnovu rezultata gama spektrometrijske analize može se zaključiti da i uzorak vode Podzemna drenaža PK Ćirikovac zadovoljava vrednosti propisane Pravilnikom za vodu za piće.

4.3. REZULTATI DOZIMETRIJSKIH MERENJA

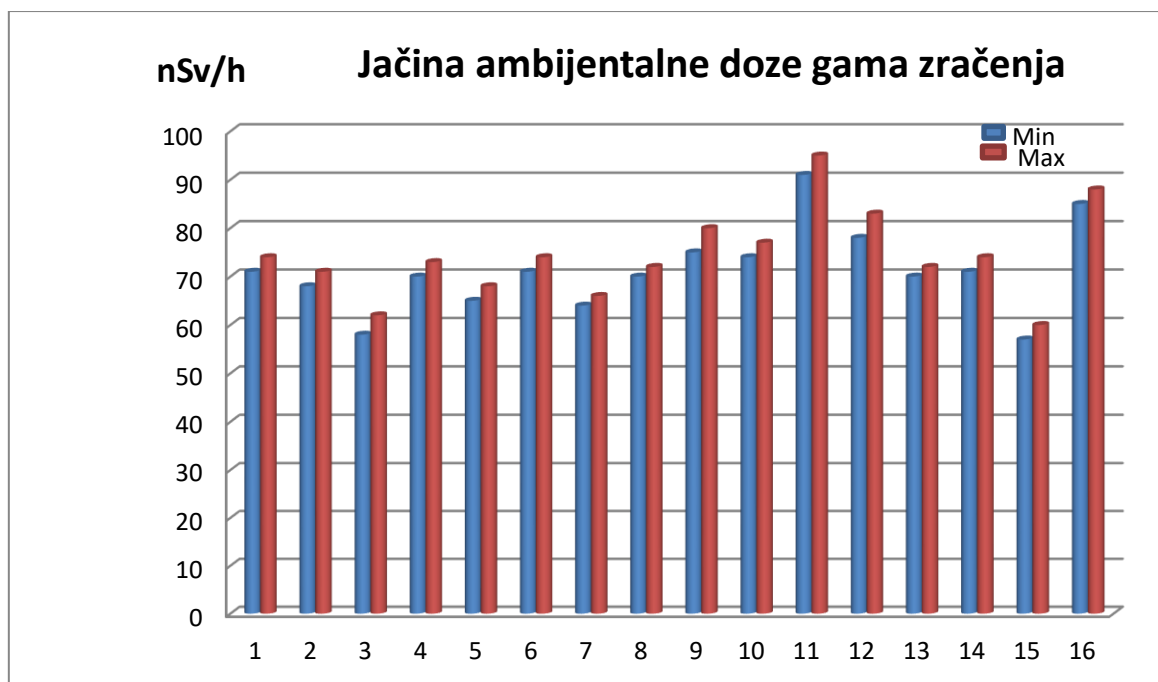
Prilikom uzorkovanja izvršeno je merenje jačine ambijentalne doze gama zračenja u prizemnom sloju atmosfere na 1m iznad tla. Dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 6.

Tabela 6. Jačina ambijentalne doze gama zračenja (nSv/h)

Merno mesto	nSv/h
Drenažne vode sa površinskog kopa Drmno	71-74
Podzemna drenaža površinskog kopa Ćirkovac	68-71
Prelivna voda sa aktivne kasete C (deponija pepela i šljake)	58-62
Drenažne vode sa aktivne kasete C(deponija pepela i šljake)	70-73
Zemljište u okolini deponije pepela i šljake br. 1 (aktivna kasete C)	65-68
Zemljište u okolini deponije pepela i šljake br. 2 (pasivna kasete A)	71-74
Zemljište u okolini površinskog kopa Drmno br. 1 (kod pomoćne mehanizacije)	64-66
Zemljište u okolini površinskog kopa Drmno br. 2 (kod glavne kapije)	70-72
Zemljište u okolini površinskog kopa Ćirkovac br. 1 (kod portirnice)	75-80
Zemljište u okolini površinskog kopa Ćirkovac br. 2 (kod pepelišta)	74-77
Pepeo i šljaka sa aktivne kasete C	91-95
Pepeo i šljaka sa pasivne kasete A	78-83
Biljna kultura sa nasipa pasivne kasete A (deponija pepela)	70-72
Biljna kultura sa nasipa aktivne kasete C (deponija pepela)	71-74
Deponija pepela srednje kostolačko ostrvo (bivši hidrociklon 3)	57-60
Deponija pepela srednje kostolačko ostrvo (bivši hidrociklon 1)	85-88

Jačina ambijentalne doze gama zračenja u prizemnom sloju atmosfere kreće se u intervalu od 58nSv/h na lokaciji prelivna voda sa aktivne kasete C do 95 nSv/h na lokaciji pepeo i šljaka sa aktivne kasete C.

Grafički prikaz promene jačine ambijentalne doze gama zračenja u prizemnom sloju atmosfere, na datim lokacijama, dat je na slici 17.



Sl. 17. Jačina ambijentalne doze gama zračenja u prizemnom sloju atmosfere (nSv/h)

Legenda:

1. Drenažna voda sa površinskog kopa Drmno
2. Podzemna drenaža površinskog kopa Ćirkovac
3. Prelivna voda sa aktivne kasete C (deponija pepela i šljake)
4. Drenažne vode sa aktivne kasete C (deponija pepela i šljake)
5. Zemljište u okolini deponije pepela i šljake br. 1 (aktivna kasete C)
6. Zemljište u okolini deponije pepela i šljake br. 2 (pasivna kasete A)
7. Zemljište u okolini površinskog kopa Drmno br. 1, kod pomoćne mehanizacije
8. Zemljište u okolini površinskog kopa Drmno br. 2, kod glavne kapije
9. Zemljište u okolini površinskog kopa Ćirkovac br. 1, kod portirnice
10. Zemljište u okolini površinskog kopa Ćirkovac br. 2, kod pepelišta
11. Pepeo i šljaka sa aktivne kasete C
12. Pepeo i šljaka sa pasivne kasete A
13. Biljna kultura sa nasipa pasivne kasete A (deponija pepela)
14. Biljna kultura sa nasipa aktivne kasete C (deponija pepela)
15. Deponija pepela srednje kostolačko ostrvo (bivši hidrociklon 3)
16. Deponija pepela srednje kostolačko ostrvo (bivši hidrociklon 1)

Rezultati merenja ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja termoluminiscentnim dozimetrima dati su u tabeli 7. Interval promene ambijentalnog ekvivalenta doze u periodu od 17.08.2022. do 26.10.2022. godine, je od 0,17 mSv do 0,23 mSv, odnosno jačina ambijentalnog ekvivalenta doze je bila između 79 nSv/h do 106 nSv/h. U periodu izlaganja 26.10.2022. - 31.01.2023. godine, ambijentalni ekvivalent doze na mernim mestima bio je u

opsegu od 85 nSv/h do 115 nSv/h, dok je jačina ambijentalnog ekvivalenta doze u ovom periodu bila između 85 nSv/h do 115 nSv/h.

Maksimalne vrednosti ambijentalnog ekvivalenta doze dobijene su na mernom mestu u selu Stari Kostolac. Minimalne vrednosti izmerene su na mernom mestu Trafo polje TEKO A.

Rezultati merenja ambijentalnog ekvivalenta doze pokazuju uobičajene varijacije prirodnog fona.

Tabela 7. Rezultati merenja ambijentalnog ekvivalenta doze
(od 29.07.2022. do 31.01.2023. godine)

Period izlaganja	Lokacija	H*(10) mSv	H*(10) nSv/h
29.07.2022.-26.10.2022.	Trafo polje TEKO B	0,21	97
	Selo Stari Kostolac, porodica Milošević Dejana	0,23	106
	Selo Klenovnik, porodica Grujić Slaviše	0,19	88
	PK Ćirikovac, portirnica	0,19	88
	Trafo polje TEKO A	0,17	79
	Preduzeće Georad	0,21	97
26.10.2022.-31.01.2023.	Trafo polje TEKO B	0,25	106
	Selo Stari Kostolac, porodica Milošević Dejana	0,27	115
	Selo Klenovnik, porodica Grujić Slaviše	0,25	106
	PK Ćirikovac, portirnica	0,22	94
	Trafo polje TEKO A	0,20	85
	Preduzeće Georad	0,22	94

Komentar rezultata

Vrednosti jačine ambijentalne doze gama zračenja su u okviru varijacija osnovnog nivoa zračenja, tj. dobijene vrednosti ne ukazuju na bilo kakvo povećanje osnovnog nivoa zračenja usled rada termoelektrane “Kostolac”.

5. ZAKLJUČAK

Kao i u prethodnom periodu, merenje radioaktivnosti radne i životne sredine u TE "Kostolac" izvršeno je na osnovu programa koji je obuhvatio spektrometriju gama emitera u 16 uzoraka uglja, šljake, pepela, biljnih kultura i zemljišta, merenje ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti u četiri uzorka voda i merenje jačine ambijentalne doze gama zračenja u prizemnom sloju atmosfere na 16 mernih mesta. Osim toga, na šest lokacija, definisanih programom, postavljeni su TLD dozimetri.

Dobijeni rezultati spektrometrije gama emitera uglja, šljake, pepela, istog su reda veličine kao i u drugim zemljama u svetu (5, 6, 7, 8, 9, 10).

Koncentracije prirodnih i proizvedenih radionuklida u biljnim kulturama i zemlji, ne razlikuju se u odnosu na iste uzorke koji se nalaze na drugim teritorijama naše zemlje ili u svetu (4, 11, 12).

Usled nedostatka zakonske regulative o koncentraciji prirodnih i proizvedenih radionuklida u uzorcima iz radne i životne sredine u okolini termoelektrana, upoređivanje dobijenih vrednosti sa literaturnim podacima iz sveta, jedna je od mogućnosti dobijanja kompletne slike o uticaju rada termoelektrane na životnu sredinu.

Jačina ambijentalne doze gama zračenja u prizemnom sloju atmosfere varira u granicama nivoa osnovnog zračenja. Sve analizirane vode odgovaraju važećem Pravilniku o granicama sadržaja radionuklida u vodi za piće, životnim namirnicama, stočnoj hrani, lekovima, predmetima opšte upotrebe, građevinskom materijalu i drugoj robi koja se stavlja u promet (Sl.gl. RS 36/18).

Takođe, dobijene vrednosti jačine apsorbovane doze gama zračenja na 1 m visine iznad tla na svim ispitivanim lokacijama, kao i godišnja efektivna doza na ovim lokacijama, u okvirima su vrednosti koje su i na drugim lokacijama na prostorima naše zemlje u čijoj blizini nema termoelektrana (14).

Dobijeni rezultati merenja, u 2022. godini, ne razlikuju se značajno u odnosu na ranije periode kontrole, počevši od 2005. godine (15).

Generalni zaključak – Rezultati svih urađenih analiza, u okviru rada na projektu "Merenje radioaktivnosti u radnoj i životnoj sredini TE KOSTOLAC", ukazuju na to da nema povećanja radioaktivnost životne sredine, usled rada termoelektrane.

6. REFERENCE

- 1) Ronald L. Kathren, Radioactivity in the environment, Sources, Distribution, and Surveillance, Harwood academic publishers, New York, 1986.
- 2) Technical Report Ser. No. 295, Measurements of Radionuclides in Food and the Environment, IAEA, Vienna, 1989.
- 3) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), 2000 Report to the General Assembly, with annexes, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, United Nations, New York, 2000.
- 4) D. Desideri, M. Assunta Meli, C. Roselli, Natural and artificial radioactivity determination of some medicinal plants, Journal of environmental Radioactivity 101, 2010, 751-756.
- 5) U. C. Mishra, Environmental impact of coal industry and thermal power plants in India, Journal of Environmental Radioactivity 72, 2004, 35-40.
- 6) T. Momdal, D. Sengupta and A. Mandal, Natural radioactivity of ash and coal in major thermal power plants of West Bengal, India, Current Science, Vol.91, No.10, 2006, 1387-1393.
- 7) U. Cevik, N. Damla, S. Nezir, Radiological characterization of Cayirhan coal-fired power plant in Turkey, Fuel 86, 2007, 2509-2513.
- 8) L. Xinwei, J. Xiaodan and W. Fengling, Natural radioactivity of coal and its by-products in the Baoji coal – fired power plant, China, Current science Vol. 91, No.11, 2006, 1508-1511.
- 9) R. Kljajić, V. Šipka, M. Radenković, R. Mitrović, Ugljevi i mineralna đubriva kao izvor tehnološkog povećanja prirodne radioaktivnosti, Ionizujuća zračenja iz prirode, Beograd, 1995, 95-111.
- 10) G. Cilneli, F. Tondeur, B. Dehandschutter, P. Bossew, T. Tollefsen, M. De Cort, Mapping uranium concentration in soil: Belgian experience towards a European map, Journal of Environmental Radioactivity, 166, 2017, 220-234
- 11) D. Todorović, M. Radenković, D. Popović, S. Ivanov, G. Djurić, Contents of radionuclides in the region of Stara planina, IV Yugoslav Symposium, Chemistry and Environment, The Serbian Chemical Society, 23-26 september 2001., Zrenjanin, Srbija i Crna Gora, Proceedings, 431-433.
- 12) I. Bikit, M. Sarić, Lj. Čonkić, J. Slivka, M. Krmar, Transport prirodnih radionuklida iz zemljišta u biljke, Zbornik radova XVIII Jugoslovenski simpozijum za Zaštitu od zračenja, Bečići, 1995, 221- 224.
- 13) Republika Srbija, Agencija za zaštitu od jonizujućih zračenja i nuklearnu sigurnost Srbije, Izveštaj o nivou izlaganja stanovništva jonizujućim zračenjima iz životne sredine u Republici Srbiji u 2010 godini, Beograd, jun 2011.
- 14) S. Dragović, Lj. Janković, A. Onjia, Assessment of gamma dose rates from terrestrial exposure in Serbia and Montenegro, Radiat. Prot. Dosimetry, 121, 2006, 297-302.
- 15) Elaborat: „Kontrola radioaktivnosti u radnoj i životnoj sredini TE „KOSTOLAC”u 2020. godini”, Institut za nuklearne nauke ”Vinča”, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, 2020