

J. Bikit
 J. Slička
 M. Vesković
 Lj. Čonkić
 Lj. Marinkov

Institut za fiziku PMF, Novi Sad
 ulica Ilije Djuričića broj 4

MERENJE NIVOA RADIOAKTIVNOSTI
 KANALA DTD PRE ČERNOBILA

MEASUREMENT OF THE RADIOACTIVITY
 OF THE CHANNEL DTD BEFORE CHERNOBYL

APSTRAKT: Određena je koncentracija aktivnosti dugoživudih fisionih i korozionih produkata i prirodnih radionuklida u delu kanala DTD u koji ne dospevaaju tekući efluenti nuklearnih elektrana. Nisu registrovane statistički značajne razlike u odnosu na vode Dunava. Dobijeni podaci predstavljaju referentni nivo radioaktivnosti za proračun uticaja černobilskog akcidenta na kontaminaciju ovog sistema.

ABSTRACT: The activity concentration of long lived fission and corrosion products and natural radionuclides has been measured in a selected part of the Danube-Tisa-Danube channel system which is not receiving liquid effluents from nuclear power plants. The comparisons with the activities measured in the river Danube did not show statistically significant differences. The results obtained describe the reference level of radioactivity for the evaluation of the contamination of the system caused by the Chernobyl accident.

Razvojem nuklearnih nauka i tehnologija i njihovom sve masovnijom primenom za proizvodnju energije, unapredjenje industrijskih procesa i medicinske svrhe, raste i potencijalna opasnost zagađjenja prirode izvorima jonizujućeg zračenja. Rečni tokovi kao tradicionalni odvođi industrijskog otpada i potencijalni hladioći nuklearnih reaktora, spadaju u delove prirode u kojima se najpre mogu očekivati negativni efekti radioaktivnog zagađjenja. Ovaj problem u Vojvodini dobija posebno na težini, ako se ima na umu da se vode velikih rečnih tokova istovremeno koriste za piće i intenzivno navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta, preko razgranate mreže kanala Dunav-Tisa-Dunav (DTD). Nedavni akcident nuklearne elektrane u Černobilu je posebno ukazao na to da je radioaktivna kontaminacija neželjeni, ali moguć pratioć rada nuklearnih energetskih postrojenja.

U okviru ovog rada su izloženi rezultati merenja radioaktivnosti dela kanala DTD, do koje ne dolaze vode Dunava, kojima se hladi nekoliko nuklearnih reaktora. Merenja su izvršena početkom 1986. godine, pre akcidenta u Černobilu i dobijeni rezultati registruju "nulto" stanje u odnosu na koje će se moći proceniti doprinos černobilskog udesa dugoročnoj kontaminaciji ovog sistema. Jasno je da se na bazi jednog skupa merenja ne može precizno utvrditi referentni nivo radioaktivnosti, međjutim sistematski gamma-spektrometrijski podaci o sadržaju radionuklida u ovom kanalu ne postoje.

Radi dobijanja što potpunijeg uvida u radioaktivnost ekosistema kanala DTD izvršena su istraživanja na svim medijima koji učestvuju u lancu prostiranja radionuklida, a dostupni su sistematskom uzorkovanju. Ispitivani su uzorci vode, mulja i algi. Obzirom na veoma neravnomeran raspored radioaktivnosti u prirodi posle černobilskog akcidenta i na intenzivan transport radionuklida koji je u toku još se ne može govoriti o stacionarnom stanju zagadjenosti kanala DTD, niti se na bazi tekućih merenja može izvršiti procena dugoročnih odstupanja od "nultog" nivoa opisanog u ovom radu.

UZORKOVANJE I MERENJE

Uzorkovanje je izvršeno 13.02.1986. godine na lokaciji sela Kleka na mestu račvanja kanala prema Lazarevu. Uzeto je oko 100 l vode sa površine kanala, četiri uzorka mulja, mase oko 500 g i uzorak alge sa obale kanala, mase oko 200 g.

Iz filtriranog uzorka vode radioizotopi su izdvojeni koprecipitacijom sa MnO_2 , a posebno je izvršeno selektivno izdvajanje radioizotopa ^{137}Cs propuštanjem uzorka vode kroz kolonu ZrFC [1,2].

Uzorci mulja i algi sušeni su do konstantne težine na temperaturi 373 K, usitnjeni i homogenizovani pre merenja.

Sva gamma-spektroskopska merenja su izvršena pomoću apsolutno kalibrisanog "Closed and Coaxial" poluprovodničkog Ge(Li) spektrometra osetljive zapremine oko 80 cm³ smeštenog u

niskošumnu dvozdenu zaštitu u kojoj je integralni fon u energetskom opsegu od 20 keV do 3 MeV manji od jednog impulsa u sekundi, što omogućuje merenje veoma niskih aktivnosti. Registracija i numerička obrada spektra je izvršena u 4096 kanalom analizatoru "NUCLEAR DATA" ND-2400. Za konačne geometrije uzoraka određena je efikasnost [3] detektora za razne [4] debljine uzoraka pomoću prirodne radioaktivnosti magnetsno-separisanog peska monacita. Tipična greška krive efikasnosti bila je oko 5%. Kod uzoraka mulja koji su dostupni u većoj količini određena je optimalna debljina uzoraka za merenje specifične radioaktivnosti.

Specifična aktivnost radionuklida u uzorcima je određena apsolutnim merenjem na poluprovodničkom Ge(Li) gamma-spektrometru. Vreme merenja jednog uzorka je iznosilo 80 ksLT, dok je zračenje pozadine (back ground) mereno 100 ksLT. Površine karakterističnih spektralnih linija su određene iz sledećih formula:

$$A = N_D - nN_{fs} \quad ; \quad \sigma(A) = \pm \sqrt{A + n[1+n(1+n/m)]N_{fs}}$$

- A - površina spektralne linije
- $\sigma(A)$ - statistička greška spektralne linije
- N_D - integral odbroja pod fotovrhom spektralne linije
- N_{fs} - srednja vrednost spektralne raspodele pod fotovrhom
- n - broj kanala pod fotovrhom
- m - broj kanala iz kojih je računato N_{fs}

Od površine spektralnih linija uzoraka oduzete su odgovarajuće površine zračenja pozadine. Iz izmerenih površina spektralnih linija, specifične aktivnosti izotopa su dobijene kao

$$A_S = \frac{A [100 \text{ ks}]}{m [\text{kg}] \cdot \epsilon \cdot I_a} \times 10^{-2} \frac{[\text{mBq}]}{[\text{kg}]}$$

gde je

- m - masa uzorka
- ϵ - efikasnost detektora za datu energiju i geometriju
- I_a - apsolutni intenzitet spektralne linije

Statističke greške specifičnih aktivnosti su iskazane sa 95% "confidence level", tj.

$$\Delta A_S = 1.65\sigma(A_S)$$

U slučajevima kod kojih je greška merenja ΔA_S bila veća od A_S , izračunate su samo gornje granice specifičnih aktivnosti izotopa. U uzorcima su određene specifične aktivnosti većtačkih radionuklida ^{144}Ce , ^{75}Se , ^{103}Ru , ^{134}Cs , ^{106}Ru , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{58}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{60}Co , ^{125}Sb i ^{137}Cs . Sem ovih nuklida u uzorcima je praćena i specifična aktivnost prirodnih radioizotopa ^{214}Pb , ^{214}Bi (iz uran-radijumovog niza), ^{228}Ac (iz torijumovog niza), ^7Be (kosmičkog porekla) i ^{40}K .

Rezultati merenja specifičnih aktivnosti su dati u tabelama 1 i 2 uz podatke za specifičnu aktivnost odgovarajućih radionuklida u ekosistemu Dunav u toku 1985. godine.

TABELA 1: Specifična aktivnost radioizotopa u uzorcima vode i alge iz kanala DTD (podaci su dati upoređo sa srednjim godišnjim aktivnostima radioizotopa u uzorcima ekosistema Dunava za 1985. godinu).

br.	izotop	voda (mBq/l)		alge (Bq/kg)	
		DTD	Dunav	DTD	Dunav
1.	Ce-144	<1.1	2 ± 1	4.6 ± 4.3	<28
2.	Se-75	<0.3	<0.5	<2	<5,5
3.	Pb-214	<1.4	2.7 ± 1.3	7 ± 4	43 ± 35
4.	Sb-125	<1.1	<1.6	<6	<18
5.	Be-7	5 ± 4	4.6 ± 0.9	<7	76 ± 49
6.	Ru-103	<0.4	<0.6	<2	<6.6
7.	Bi-214	<1.5	2.9 ± 1.8	<10	42 ± 31
8.	Ru-106	<4	<5.2	<19	<57
9.	Cs-137	0.09±0.06	0.6 ± 0.4	<4	8.5±6.0
10.	Zr-95	<0.6	<1.0	<3	<12
11.	Nb-95	<0.5	0.3 ± 0.2	<2	<7
12.	Cs-134	<0.1	<2.5	<3	20 ± 10
13.	Co-58	<0.6	<0.6	<2	<7
14.	Ag-110m	<0.6	<0.8	<4	<9
15.	Ac-228	4 ± 2	3.9 ± 0.9	20 ± 8	47 ± 23
16.	Co-60	<0.4	0.6 ± 0.5	<2	16 ± 10
17.	K-40	-	-	970±170	1327±792
18.	Sb-124	<1.0	<1.6	<6	<17

TABELA 2: Specifične aktivnosti radioizotopa u uzorcima mulja iz kanala DTD (podaci su dati uporedo sa srednjim godišnjim aktivnostima radioizotopa u uzorcima iz ekosistema Dunava za 1985. godinu).

br.	izotop	mulj I	mulj II	mulj III	mulj IV	mulj Dunava
1.	Ce-144	2.9±1.4	2.3±1.6	<3	3.3±1.6	4.2±2.3
2.	Se-75	<0.4	<0.5	<0.6	<0.5	<0.6
3.	Pb-214	31±5	28±6	31±6	30±5	30±7
4.	Sb-125	<1.2	<1.5	<1.8	<1.5	0.7±0.5
5.	Be-7	<6	45±9	<10	13±5	20±14
6.	Ru-103	<0.4	<0.6	<0.7	<0.5	0.7±0.6
7.	Bi-214	31±5	28±5	33±6	28±5	27±8
8.	Ru-106	<6	<5	<9	<8	3±1
9.	Cs-137	4.8±1.0	8.3±1.6	6.8±1.4	6.8±1.3	8±5
10.	Zr-95	1.4±0.7	<0.8	1.4±1.0	1.3±0.8	1.4±0.5
11.	Nb-95	1.2±0.5	<0.6	1.5±0.8	0.8±0.6	1.1±0.6
12.	Cs-134	2.4±0.7	3.6±0.9	2.4±0.9	3.1±0.8	1.7±1.3
13.	Co-58	<0.4	<0.6	<0.8	<0.5	0.8±0.6
14.	Ag-110m	<0.8	<0.8	<1.0	<0.7	1.3±1.1
15.	Ac-228	52±8	63±9	65±9	55±8	32±9
16.	Co-60	<0.6	0.6±0.5	<1.0	<0.5	0.9±0.5
17.	K-40	560±110	590±100	730±120	740±120	492±109
18.	Sb-124	<0.7	<1.3	<1.5	<1.5	<1.2

ANALIZA REZULTATA

Na osnovu iznetih rezultata može se zaključiti da je koncentracija radionuklida u vodi veoma mala, tako da se njihove aktivnosti često nalaze ispod granice detekcije gamma-spektroskopskih metoda osim u slučaju prirodnog ^{228}Ac . Uzorak vode iz kanala DTD ne pokazuje odstupanja u specifičnoj aktivnosti radionuklida u odnosu na vodu Dunava, sem što su pri merenju aktivnosti vode iz kanala u nekim slučajevima postavljene niže gornje granice specifične aktivnosti zbog poboljšanja uslova merenja.

Sem dominantne radioaktivnosti ^{40}K u uzorku algi iz kanala DTD detektovani su članovi prirodnih radioaktivnih nizova (^{214}Pb i ^{228}Ac).

U odnosu na odgovarajuće rezultate specifične aktivnosti radioizotopa algi iz Dunava, dobijene su znatno niže gornje granice specifične aktivnosti, jer je masa uzoraka bila znatno veća.

Mulj pokazuje relativno visoku koncentraciju radionuklida i obično je dostupan za uzorkovanje u dovoljnim količinama, te se pokazao kao najpogodniji deo ekosistema za gamma-spektroskopska merenja. U svim uzorcima mulja određeni su prirodni radionuklidi ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac i ^{40}K . Koncentracija ovih radioizotopa bila je konstantna u okviru standardnih devijacija za sva 4 uzorka mulja. Pored navedenih prirodnih, određena je aktivnost dugoživećih radioizotopa - fisionog produkta ^{137}Cs . Određjena aktivnost je u skladu sa aktivnošću istog izotopa u mulju Dunava. U pojedinim uzorcima blizu granice detekcije registrovani su ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{134}Cs dominantni radioaktivni efluenti iz nuklearne elektrane, ali određene specifične aktivnosti u okviru standardne devijacije odgovaraju dobijenim srednjim specifičnim aktivnostima mulja Dunava za koje je utvrđeno da ne pokazuju [5] promenu zbog puštanja u rad dva bloka nuklearne elektrane Pakš u Madjarskoj.

Kanal na kome su ispitivanja vršena ne napaja se vodom iz Dunava, ali saglasnost rezultata specifičnih aktivnosti pojedinih radioizotopa ukazuju na to da u ovom pogledu ne dolazi do većeg izražaja specifičnosti ekosistema kanala u odnosu na rečne tokove.

Komparacijom rezultata izloženih u ovom radu sa rezultatima sistematskih merenja posle Černobila dobiće se veoma bitni podaci o eventualnom efektu kumulacije dugoživećih radionuklida u kanalu DTD, što je od velikog interesa za procenu radijacionog rizika vezanog za korišćenje nuklearnih elektrana u ovom regionu.

LITERATURA:

- [1] "Reference Methods for Marine Radioactivity Studies", IAEA Technical Report Series, 1975.
- [2] Lj.Čonkić, M.Vesković, L.Marinkov, I.Bikit: "Određjivanje efikasnosti izdvajanja Cs iz vode na koloni ZrFC", Vodoprivreda, 15, 82 - 83, 1982/2-3,
- [3] I.Bikit, M.Vesković, L.Marinkov, J.Slivka: "Simple Method for the Bulk Sources Gamma-Ray Detection Efficiency Determination", VIII jugoslovenski sastanak nuklearnih fizičara i fizičara elementarnih čestica, Zbornik radova

14. I. Bilik, "Vesković: "Determination of the Optimal Length of Cylindrical Sources for Specific Gamma Activity Measurements" , Nuclear Instruments and Methods , A 243 , 227 , 1986.
15. I. Bilik, S. Lulić, F. Dolanszky, J. Simor: "Jugoslovensko-mađarska istraživanja radioaktivnosti na graničnom profilu Dunava od 1978. do 1984." , Izotop tehnika , 29 , 109 , 1986 (na mađarskom jeziku).