

Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

**Монографија**  
**ЧЕРНОБИЉ**  
**30 година после**

Уредник  
**др Гордана Пантелић**

**Београд**  
**2016**

Монографија: **ЧЕРНОБИЉ 30 година после**

Издавач: Институт за нуклеарне науке „Винча“, Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту животне средине „Заштита“  
Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За издавача: др Борислав Грубор

Рецензенти: др Оливера Цирај Бјелац  
др Иштван Бикит  
др Владимир Удовичић  
др Невенка Антовић  
др Ивана Вуканац  
др Драгослав Никезић  
др Душан Мрђа  
др Марија Јанковић  
др Јелена Крнета Николић

Уредник: др Гордана Пантелић

Лектор/коректор: Мариола Пантелић, MSc

Објављивање монографије помогли:  
Министарство просвете, науке и технолошког развоја

ISBN 978-86-7306-138-2

Штампа: Штампарија Института за нуклеарне науке „Винча“, 522,  
11001 Београд, Тел. 011-8066-746

Тираж: 150 примерака

## **$^{137}\text{Cs}$ U ŽIVOTNOJ SREDINI CRNE GORE (OD 1999. GODINE)**

**Tomislav ANĐELIĆ<sup>1</sup>, Ranka ŽIŽIĆ<sup>1</sup>, Nikola SVRKOTA<sup>1</sup>, Ranko ZEKIĆ<sup>1</sup>,  
Nataša BJELICA<sup>2</sup>, Perko VUKOTIĆ<sup>3</sup>**

- 1) Centar za Ekotoksikološka ispitivanja Podgorica D.O.O., Podgorica, Crna Gora, [tomo.a@t-com.me](mailto:tomo.a@t-com.me)
- 2) Agencija za zaštitu životne sredine Crne Gore
- 3) Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, Podgorica, Crna Gora

### **Rezime**

*Kvar u nuklearnoj elektrani u Černobilju 1986. godine proizveo je nuklearnu katastrofu ogromnih razmjera, sa tragičnim posljedicama za ljude i živi svijet u široj okolini elektrane i radioaktivnom kontaminacijom životne sredine na ogromnim prostorima naše planete, koja još uvijek nije iščezla. Stoga je ova katastrofa u javnosti izazvala strah od nuklearne tehnologije, pa je javnost i koristi kao simbol opasnosti koja svijetu prijete od nuklearki. Prva brojna mjerenja nivoa radioaktivne kontaminacije životne sredine u Crnoj Gori počela su neposredno poslije akcidenta. Međutim, tek od 1999. godine u Crnoj Gori se, kroz Program monitoringa radioaktivnosti u životnoj sredini, realizuje sistematsko i redovno ispitivanje sadržaja radionuklida u vazduhu, padavinama, površinskim vodama, morskoj vodi, zemljištu, hrani i vodi za piće. U radu je dat presjek stanja sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  u većini segmenata životne sredine Crne Gore, a takođe i prikaz trendova, kao i nekih specifičnih slučajeva i pojava. Indikativno je da se u manjem broju slučajeva, čak i 30 godina nakon černobiljskog akcidenta, pojavljuje relativno visok sadržaj  $^{137}\text{Cs}$  u mesu, niži ali ipak izražen u mlijeku, dok je sadržaj u zemljištu mjestimično na nivou neznatno nižem od prvobitno utvrđenog krajem 90-ih godina. Sve ovo upućuje na opravdanost dalje realizacije Programa monitoringa radioaktivnosti u sistematskom praćenju stanja životne sredine.*

### **1. UVOD**

Kvar u nuklearnoj elektrani u Černobilju 1986. godine proizveo je nuklearnu katastrofu ogromnih razmjera, sa tragičnim posljedicama za ljude i živi svijet u široj okolini elektrane i sa radioaktivnom kontaminacijom životne sredine na ogromnim prostorima naše planete, koja još uvijek nije iščezla.

Na teritoriji Crne Gore posljedice černobiljske katastrofe se osjećaju i danas, 30 godina kasnije. One se ogledaju prije svega u povećanom sadržaju radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  u svim segmentima životne sredine.

Redovno praćenje sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  radi se kroz realizaciju Programa sistematskog ispitivanja sadržaja radionuklida u životnoj sredini Crne Gore (u daljem tekstu Program monitoringa). Program monitoringa životne sredine Crne Gore se realizuje počev od 1999. godine i obuhvata sve bitne segmente životne sredine.

U ovom radu je dat presjek stanja sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  u većini segmenata životne

sredine Crne Gore, a takođe i prikaz trendova, kao i nekih specifičnih slučajeva i pojava.

## 2. NUKLEARNA KATASTROFA U ČERNOBILJU

Nuklearna katastrofa u Černobilju je izazvala veliko oslobađanje radionuklida u atmosferu i radioaktivnu kontaminaciju životne sredine. Mnoge evropske zemlje su bile pogođene radioaktivnom kontaminacijom. Među najviše pogođenim su bile tri bivše republike Sovjetskog Saveza, sada Bjelorusija, Ruska Federacija i Ukrajina. Deponovani radionuklidi postepeno su se raspadali i kretali unutar i između pojedinih segmenata životne sredine - atmosfere, voda, zemaljskih i urbanih sredina.

Nuklearna katastrofa u Černobilju je započela 26. aprila 1986. godine. Glavno ispuštanje iz jedinice 4 nuklearne elektrane u Černobilju nastavilo se tokom deset dana, a obuhvatalo je ispuštanje radioaktivnih gasova, kondenzovanih aerosola i veliku količinu čestica goriva. Ukupna oslobođena količina radioaktivnih materija je bila oko 14 EBq ( $1 \text{ EBq} = 10^{18} \text{ Bq}$ ), koja je obuhvatala 1,8 EBq  $^{131}\text{I}$ , 0,085 EBq  $^{137}\text{Cs}$  i drugih radioizotopa cezijuma, 0,01 EBq  $^{90}\text{Sr}$  i 0,003 EBq izotopa plutonijuma. Plemeniti gasovi učestvovali su sa oko 50% u ukupnoj količini ispuštene radioaktivnosti [1].

Velike površine u Evropi bile su zahvaćene radioaktivnošću iz Černobilja. Područje veće od 200000 km<sup>2</sup> u Evropi bilo je zagađeno cezijumom (iznad 0,04 MBq  $^{137}\text{Cs}/\text{m}^2$ ), od kojih je 71% bilo u tri najviše pogođene zemlje (Bjelorusija, Ruska Federacija i Ukrajina) [1]. Depozicija je bila vrlo heterogena i uglavnom je zavisila od količine padavina na datoj lokaciji. Za mapiranje depozicije izabran je  $^{137}\text{Cs}$ , zato što ga je lako izmjeriti i što ima veliki radiološki značaj. Većina radioizotopa stroncijuma i plutonijuma je bila deponovana u blizini reaktora (do udaljenosti od 100 km), zbog toga što su bili sadržani u većim česticama.

U ranoj fazi, dominira direktno taloženje različitih radionuklida na površinama, čime se stvara kontaminacija poljoprivrednog bilja i životinja koje se hrane njime. Oslobađanje i taloženje izotopa joda izazvalo je najveću zabrinutost, ali problem je vremenski ograničen na prva dva mjeseca, zbog kratkog vremena poluraspada (osam dana)  $^{131}\text{I}$ .

Nakon rane faze neposredne kontaminacije, unos radionuklida iz zemljišta kroz korijen biljaka postaje sve važniji i pokazuje jaku vremensku zavisnost. Radioizotopi cezijuma ( $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$ ) su imali najveći značaj, a nakon raspada  $^{134}\text{Cs}$ , ostaje  $^{137}\text{Cs}$  da i dalje stvara probleme.

U vremenu proteklom od černobiljske katastrofe došlo je do značajnog smanjenja u transferu radionuklida iz zemljišta u vegetaciju i životinje, zbog vremenskih uslova, fizičkog raspadanja i migracija radionuklida po dubini zemljišta i smanjenja biološke raspoloživosti radionuklida iz tla. Posebno u prvih nekoliko godina, došlo je do značajnog smanjenja u transferu  $^{137}\text{Cs}$  u biljke i životinje. Međutim kasnije, u protekle dvije decenije, dalje njegovo smanjenje je bilo slabije i dugoročna efektivna vremena poluraspada  $^{137}\text{Cs}$  je teško precizno odrediti.

Koncentracije aktivnosti cezijuma u namirnicama nakon rane faze zavisile su od nivoa depozicije, ali i od vrste ekosistema i od tipova zemljišta i načina njegovog

korišćenja. Dugoročno,  $^{137}\text{Cs}$  u mesu i mlijeku, i u manjoj mjeri u povrću, ostaje kao najvažniji uzrok povećanja humane interne doze. Kako se njegova koncentracija aktivnosti u namirnicama biljnog i životinjskog porijekla tokom protekle dvije decenije smanjivala veoma sporo, na nivou 3-7% godišnje, doprinos  $^{137}\text{Cs}$  internoj dozi će nastaviti da dominira i u decenijama koje dolaze. Doprinos humanoj dozi ostalih dugoživećih radionuklida, kao što su  $^{90}\text{Sr}$ , plutonijumovi izotopi i  $^{241}\text{Am}$ , biće beznačajan [1].

### 3. MJERENJA $^{137}\text{CS}$ U ŽIVOTNOJ SREDINI CRNE GORE

Mjerenja  $^{137}\text{Cs}$  u životnoj sredini Crne Gore rade se u kontinuitetu od prvih dana po objavljivanju černobiljske katastrofe. Radi se o značajnim i brojnim aktivnostima, koje se mogu podijeliti na tri faze:

- Mjerenja  $^{137}\text{Cs}$  odmah nakon černobiljskog akcidenta;
- Projekat MENEKO – mjerenje sadržaja prirodnih radionuklida i  $^{137}\text{Cs}$  u zemljištu u Crnoj Gori;
- Program sistematskog ispitivanja sadržaja radionuklida u životnoj sredini Crne Gore.

#### 3.1. Mjerenja $^{137}\text{Cs}$ odmah nakon akcidenta u Černobilju

Prva mjerenja sadržaja radionuklida černobiljskog porijekla u pojedinim segmentima životne sredine Crne Gore, započela su neposredno po akcidentu, u maju 1986. godine. Mjerenja su realizovana na Prirodno matematičkom fakultetu Univerziteta Crne Gore u Podgorici, na poluprovodničkom gama spektrometru. Urađena su tada zaista mnogobrojna mjerenja  $^{131}\text{I}$  i  $^{137}\text{Cs}$ , ali su ona bila uglavnom neplanska, stihijna, uzrokovana hitnim potrebama radijacione kontrole kvaliteta voda za piće i ljudske i životinjske hrane, koje su dolazile od pojedinih proizvođača hrane i sa prodajnih mjesta, a naročito od mnogobrojnih zainteresovanih i od mogućeg ozračavanja uplašanih pojedinaca.

#### 3.2. Projekat MENEKO – mjerenje sadržaja prirodnih radionuklida i $^{137}\text{Cs}$ u zemljištu u Crnoj Gori

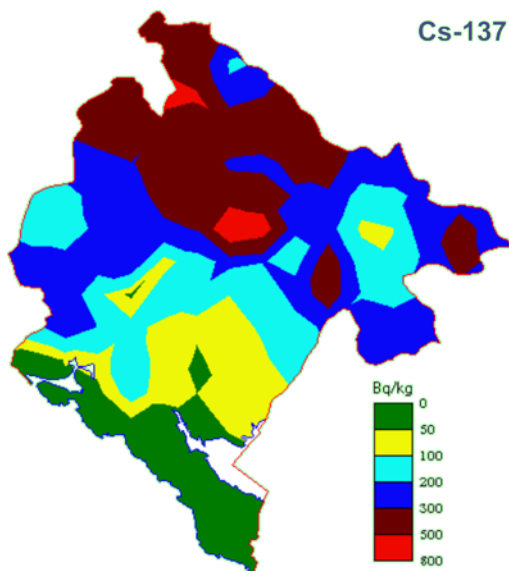
Sistematsko mjerenje fona gama zračenja terestrijalnog porijekla u Crnoj Gori je urađeno krajem 1994. godine, u okviru projekta privatne firme MENEKO u Podgorici [2]. Na projektu su saradivali istraživači sa:

1. Prirodno matematičkog fakulteta Univerziteta Crne Gore,
2. Ruskog istraživačkog centra "Kurčatovski Institut", Moskva,
3. Instituta za geološka istraživanja, Podgorica,
4. Poljoprivrednog instituta Univerziteta Crne Gore.

Mrežom uzorkovanja, sa ćelijama površine 15 x 20 km, pokrivena je čitava teritorija Crne Gore. Jedna mjerna lokacija, po svojim geološkim i pedološkim karakteristikama tipična za područje unutar ćelije mreže, birana je u svakoj od 42 ćelije mreže. Ovim osnovnim mjernim mjestima dodato je i 28 specifičnih mjernih mjesta (more, plaže, rudni izdanci, plantaže, turistička odmarališta).

Korišćen je metod *in situ* gama spektrometrije, sa prenosnim spektrometrom koji

se sastoji od HPGe detektora (N-tip, berilijumski prozor,  $100 \text{ cm}^3$ ,  $1,95 \text{ keV}$  FWHM na  $1332 \text{ keV}$ ), 4k - višekanalnog analizatora i lap-top računara. Dobijene su koncentracije aktivnosti  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  i  $^{137}\text{Cs}$  na 42 mjerna mjesta iz osnovne mreže u Crnoj Gori. Na Slici 1 dat je prikaz distribucije  $^{137}\text{Cs}$ :



Slika 1. Sadržaj  $^{137}\text{Cs}$  u zemljištu u Crnoj Gori

Region Crne Gore, kao i veći dio Evrope, kontaminiran je cezijumom černobiljskog porijekla. Ova mjerenja su pokazala da  $^{137}\text{Cs}$  kontaminacija, u prvoj aproksimaciji, slijedi topografske karte Crne Gore, tj. njena vrijednost se povećava sa nadmorskom visinom regiona. Najveća kontaminacija je u planinskom području, a na Crnogorskom primorju je zanemarljiva. Na nekultivisanim zemljištima u Crnoj Gori, cezijum je tada još uvijek bio uglavnom zadržan u površinskom sloju, na dubini do 5 cm. Maksimalni sadržaj  $^{137}\text{Cs}$  u tlu, od  $(740 \pm 74) \text{ Bq/kg}$ , registrovan je na lokaciji Bunar Smrdan, na planini Sinjavini u blizini Kolašina. Visoke vrijednosti su registrovane i u regionu Bare Kraljske, takođe u blizini Kolašina,  $(481 \pm 37) \text{ Bq/kg}$ , ali i na području Pljevalja, na lokaciji Jakupov Grob,  $(359 \pm 37) \text{ Bq/kg}$ .

Projekat je pokazao da je prirodni fon terestrijalnog gama zračenja u Crnoj Gori, zbog kontaminacije zemljišta černobiljskim cezijumom porastao u prosjeku za oko 50%, ali i da je on i dalje na nivou koji odgovara svetskom prosjeku prije černobiljske katastrofe.

### 3.3. Program sistematskog ispitivanja sadržaja radionuklida u životnoj sredini Crne Gore

Program sistematskog ispitivanja sadržaja radionuklida u životnoj sredini Crne Gore se realizuje počev od 1999. godine, a realizuje ga Odsjek za zaštitu od zračenja, organizaciona jedinica D.O.O. Centra za ekotoksikološka ispitivanja Podgorica (CETI). Osnov za realizaciju Programa monitoringa je u važećoj

zakonskoj regulativi [3], ali je on prilagođen specifičnostima i potrebama životne sredine Crne Gore. Program monitoringa se radi u skladu sa Planom koji je ranije donosilo Ministarstvo zaštite životne sredine, a od osnivanja Agencije za zaštitu životne sredine ona donosi taj plan.

## **4. OPREMA I PROGRAM ISPITIVANJA**

### **4.1. Oprema**

Laboratorija CETI je solidno opremljena. Posjeduje veoma dobru savremenu opremu za mjerenja i analizu radioaktivnosti u različitim vrstama uzoraka:

1. Ortec HPGe detektor efikasnosti 41%.
2. Ortec HPGe detektor efikasnosti 31%.
3. Canberra HPGe detektor efikasnosti 58%.
4. Genitron AlphaGUARD sistem za mjerenje radona.
5. Thompson and Nielsen sistem za mjerenje potomaka radona.
6. DurrIDGE RAD 7 sistem za mjerenje radona i torona.
7. Eberline FHT 770 -  $\alpha, \beta$  brojač.
8. Beckman & Coulter LS 6500 tečni scintilacioni brojač.
9. PCRM – monitor zračenja na bazi personalnog računara.
10. Kalibracioni izvori - standardi različitih tipova i vrsta za sve mjerne sisteme.

S obzirom na navedenu opremu, CETI je jedina kompletno opremljena i funkcionalna laboratorija u Crnoj Gori u oblasti mjerenja radioaktivnosti.

### **4.2. Program ispitivanja sadržaja radionuklida u životnoj sredini Crne Gore**

Program sistematskog ispitivanja sadržaja radionuklida u životnoj sredini Crne Gore se sastoji od 10 cjelina [4]:

#### **1. Ispitivanje nivoa spoljašnjeg zračenja**

Ono se obavlja na dva načina:

- Mjerenje jačine apsorbovane doze gama zračenja sistemom PCRM, koji mjeri dozu zračenja neprekidno 24 časa dnevno, 365 dana u godini.
- Mjerenje apsorbovane doze gama zračenja TL dozimetrima u Podgorici, Baru, Pljevljima, Herceg Novom i Žabljaku, sa periodom zamjene na 6 mjeseci.

#### **2. Ispitivanja sadržaja radionuklida u vazduhu**

Ova ispitivanja se rade prisavanjem vazduha kroz fiberglasni filter papir, pri čemu se bilježi količina prisisanog vazduha. Koristi se specijalna F&J pumpa, a protok vazduha kroz filter papir je 10000 m<sup>3</sup> mjesečno. Pumpa radi neprekidno 24 h, a njen usisnik je postavljen kod zgrade CETI, na 1 m visine iznad nekultivisane travnate površine. Uzorkovanje se vrši svakodnevno i formiraju se zbirni mjesečni uzorci.

#### **3. Ispitivanje sadržaja radionuklida u padavinama**

Ispitivanje sadržaja radionuklida u padavinama obavlja se na zbirnim mjesečnim

uzorcima. Za uzorkovanje padavina koristi se kolektor konstruisan u skladu sa preporukama IAEA No. 295. Kolektor je postavljen na prostoru u blizini zgrade CETI. Uzorkovanje se vrši svakodnevno i prilikom sakupljanja se registruje količina padavina.

#### 4. Ispitivanje sadržaja radionuklida u vodi jezera, rijeka i mora

Ova ispitivanja se obavljaju na zbirnim uzorcima vode koja se uzorkuje sa stalnih mjesta na Skadarskom jezeru, na rijekama Piva, Tara, Zeta i Morača, i morske vode kod Bara i Herceg Novog.

Na mjestima na kojima se obavlja uzorkovanje morske vode, jednom u šest mjeseci uzimaju se i uzorci indikatorskih organizama (sipe i dagnje).

#### 5. Ispitivanje sadržaja radionuklida u zemljištu

Uzorci zemljišta sa nekultivisanih travnatih površina i obradivog zemljišta uzimani su dva puta godišnje sa ukupno 6 lokacija – po dvije lokacije na jugu, u centralnom dijelu i na sjeveru Crne Gore.

#### 6. Ispitivanje sadržaja radionuklida u vodi za piće

Ispitivanje sadržaja radionuklida u vodi za piće se obavlja na uzorcima koji se uzimaju iz gradskih vodovoda u Podgorici, Bijelom Polju, Baru i Nikšiću.

#### 7. Ispitivanje sadržaja radionuklida u ljudskoj hrani

Ispitivanja sadržaja radionuklida u ljudskoj hrani vrše se na uzorcima koji se uzimaju direktno od proizvođača. Uzorkovanje i ispitivanja se rade po vrstama i dinamikom datom u Programu, tako da rezultati daju sliku stanja radiološke ispravnosti ljudske hrane. U skladu sa Programom ispituju se goveđe, jagnjeće, svinjsko i pileće meso, meso slatkovodnih riba, mlijeko iz mljekara na teritoriji Crne Gore, sir, jaja, kukuruzni i pšenični hleb iz pekara na teritoriji države, voće i povrće, dječija hrana iz vrtića, đачkih i studentskih domova u Podgorici.

#### 8. Ispitivanje sadržaja radionuklida u stočnoj hrani

Ispitivanje sadržaja radionuklida u stočnoj hrani radi se na uzorcima koji se nabavljaju direktno od individualnih proizvođača. Analiziraju se sledeći uzorci: livadska trava, sijeno, krmna smješa, hrana za kokoške, kukuruzno stočno brašno, hrana za svinje i prasiće.

#### 9. Ispitivanje nivoa izlaganja jonizujućem zračenju u boravišnim prostorijama

Ova ispitivanja se vrše mjerenjem koncentracija radona i torona u zatvorenim boravišnim i nekim specifičnim radnim prostorima, zatim jačine apsorbovane doze gama zračenja i mjerenjem nivoa kontaminacije prostorija.

#### 10. Ispitivanje sadržaja radionuklida u građevinskom materijalu

Ispitivanje sadržaja radionuklida u građevinskom materijalu radi se na uzorcima materijala koji se proizvodi na teritoriji Crne Gore. Analizirani su cement, pijesak, opeka, gips, mermer, granit i keramičke pločice.

Svi podaci iz svih godina i za sve analizirane radionuklide su statistički obrađeni. Statistička obrada obuhvata određivanje opsega rezultata mjerenja, aritmetičke



sredine i medijane. Ovakav način obrade i prikaza rezultata omogućava sagledavanje trendova promjena sadržaja radionuklida u pojedinim segmentima životne sredine. Kako se Program monitoringa realizuje već skoro 18 godina, to rezultatima mjerenja i analizama daje dobru statističku validnost.

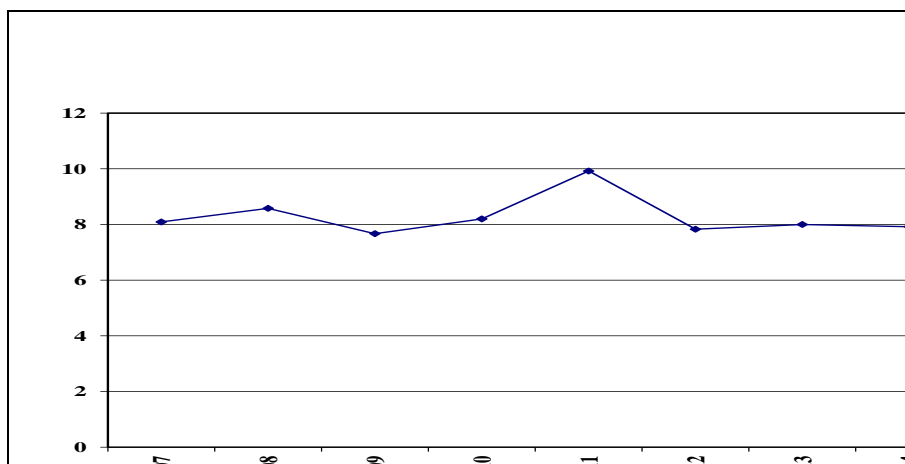
Takođe, valja naglasiti i određenu fleksibilnost Programa monitoringa. Periodično, sastavni dio ovog Programa su i posebna poglavlja, koja se bave analizama ekoloških crnih tačaka u Crnoj Gori. Na ovaj način smo do sada obradili sve industrijske deponije u Crnoj Gori, a periodično se rade i analize stanja životne sredine na rtu Arza, koji je uspješno dekontaminiran od osiromašenog uranijuma tokom 2000. i 2001. godine.

## 5. REZULTATI MJERENJA SADRŽAJA $^{137}\text{Cs}$ U ŽIVOTNOJ SREDINI CRNE GORE

Radionuklid  $^{137}\text{Cs}$  je prisutan u gotovo svim segmentima životne sredine. Sadržaj varira u zavisnosti od tipa i vrste uzorka – segmenta životne sredine. U nekim slučajevima sadržaj  $^{137}\text{Cs}$  je prilično konstantan, bez značajnijih varijacija, dok je u nekim evidentno smanjenje njegovog sadržaja [4]. Ove varijacije će biti prikazane u sljedećem tekstu, u skladu sa strukturom Programa monitoringa.

### 5.1. Ispitivanja sadržaja radionuklida u vazduhu

Na Slici 2 je dat grafikon promjena srednjih godišnjih koncentracija  $^{137}\text{Cs}$  u vazduhu.

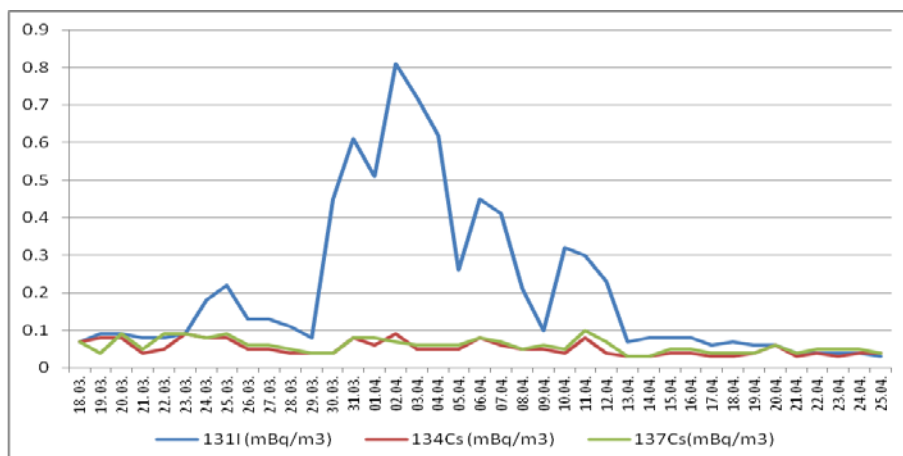


Slika 2. Promjena srednjih godišnjih koncentracija  $^{137}\text{Cs}$  u vazduhu

**Tabela 1. Maksimalne vrijednosti koncentracija aktivnosti radionuklida u vazduhu u Podgorici tokom praćenja akcidenta u Fukušimi.**

Datum	$^{131}\text{I}$ (mBq/m <sup>3</sup> )	$^{134}\text{Cs}$ (mBq/m <sup>3</sup> )	$^{137}\text{Cs}$ (mBq/m <sup>3</sup> )
02.04.2011.	0,81 ± 0,05	0,09 ± 0,02	0,07 ± 0,01
11.04.2011.	0,30 ± 0,04	0,08 ± 0,02	0,10 ± 0,03

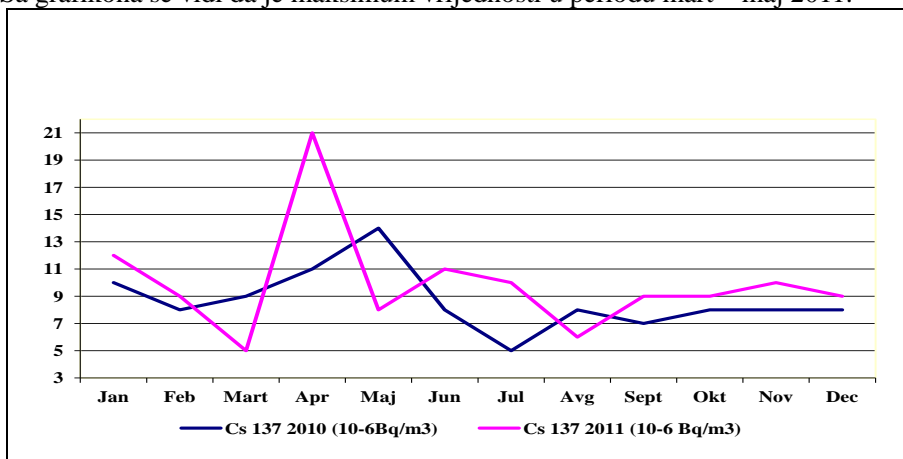
Interesantno je da se dnevni maksimumi sadržaja radionuklida  $^{134}\text{Cs}$  i  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{131}\text{I}$  vremenski poklapaju, što se može i vidjeti na sljedećem grafiku.



**Slika 3. Grafički prikaz promjena dnevnih vrijednosti sadržaja radionuklida u vazduhu u Podgorici tokom praćenja Fukušima akcidenta**

I na grafiku na kom su prikazane mjesečne vrijednosti sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  tokom 2011. godine porast je takođe vidljiv (Slika 4). U cilju boljeg uočavanja tog porasta, na grafiku je uporedo dat i prikaz mjesečnih promjena tokom 2010. godine.

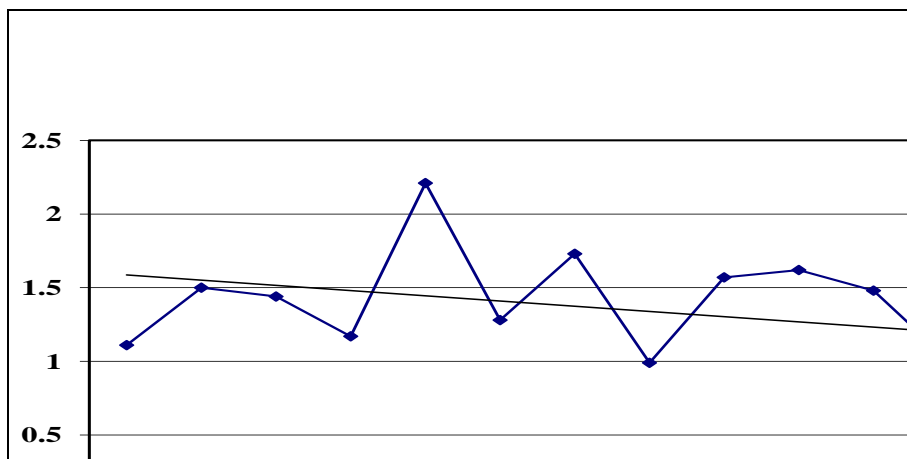
Sa grafikona se vidi da je maksimum vrijednosti u periodu mart – maj 2011.



**Slika 4. Grafički prikaz promjena mjesečnih sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  u vazduhu**

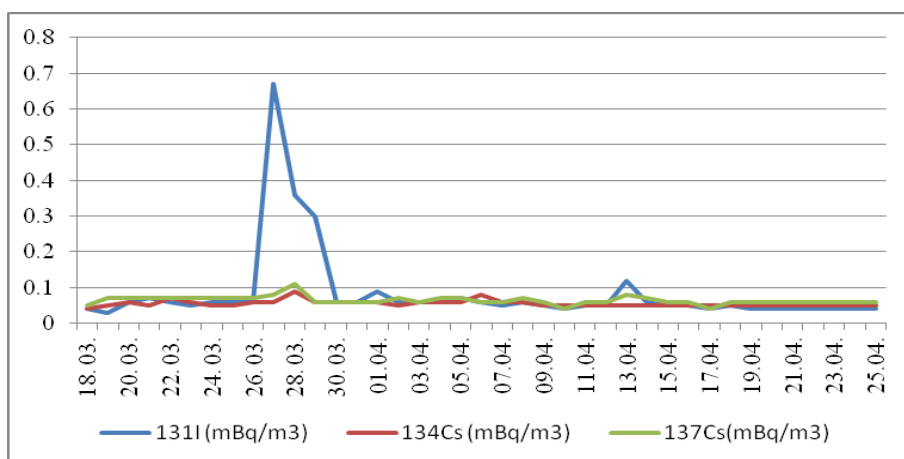
### 5.2. Ispitivanje sadržaja radionuklida u padavinama

Na Slici 5 dat je prikaz srednjih godišnjih vrijednosti sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  u padavinama, sa koje se vidi njegovo lagano smanjenje sa protokom vremena, koje je još očiglednije ako se serija prikazanih vrijednosti fituje linearno, kako je i prikazano na grafiku.



Slika 5. Grafički prikaz promjena sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  u padavinama

Ako se posebno posmatra period od 2006. do kraja 2015. godine, primjećuje se porast sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  registrovan tokom 2011. godine što je, slično kao i kod analiza vazduha, direktna posljedica akcidenta u Fukušimi. U vrijeme ovog akcidenta praćeni su radionuklidi  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  i  $^{137}\text{Cs}$ , a grafički prikaz promjena dnevnih vrijednosti njihovog sadržaja u padavinama prikazan je na Slici 6.



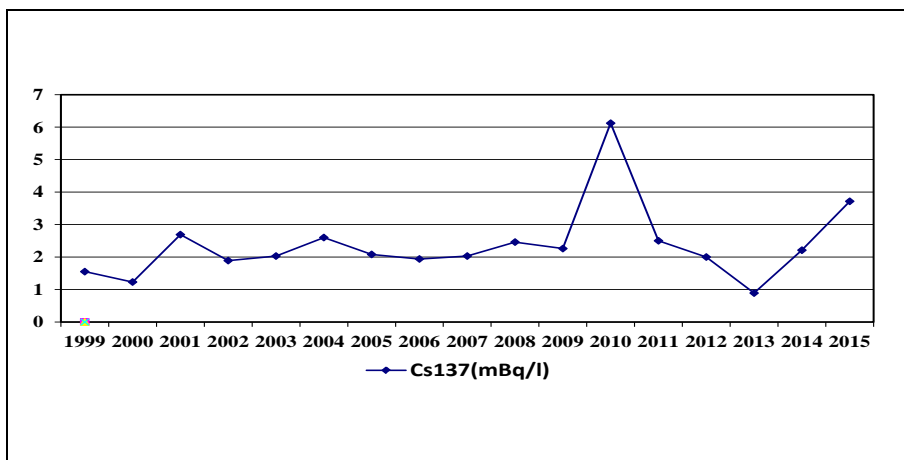
Slika 6. Grafički prikaz promjena dnevnih vrijednosti sadržaja radionuklida u padavinama u Podgorici tokom praćenja Fukušima akcidenta

Primjetno je da je maksimalni sadržaj  $^{131}\text{I}$  registrovan 27. marta i da se poklapa sa maksimumima sadržaja  $^{134}\text{Cs}$  i  $^{137}\text{Cs}$ . Kod analize ovog grafika treba imati u vidu da serija rezultata mjerenja nije normalizovana u odnosu na količinu uzorka, za razliku od vazduha gdje je količina uzorka u cijelom periodu bila ista. Tokom posmatranog perioda količina padavina je bila veoma različita i bilo je dosta dana bez padavina, kada se samo spirao uzorkivač. No, bez obzira na to, prisustvo radionuklida čije je porijeklo iz Fukušime jasno je dokazano.

### 5.3. Ispitivanje sadržaja radionuklida u vodi jezera, rijeka i mora

Prikaz godišnjih promjena sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  u vodi Skadarskoj jezera dat je na Slici 7.

Jedino odstupanje koje se primjećuje je maksimum registrovan tokom 2010. godine. On je posljedica toga da je tokom novembra i decembra te godine područje Crne Gore bilo pod uticajem vrlo specifičnih i ekstremnih meteoroloških uslova. Nepovoljna kombinacija meteoroloških uslova, tj. obilne padavine, izuzetno visoke temperature vazduha za to doba godine i jak južni vjetar, usloveli su naglo pogoršanje hidroloških prilika. To je uslovalo veliki dotok voda i naglo topljene sniježnog pokrivača, a time i održavanje visokog nivoa vodostaja na Skadarskom jezeru, što je trajalo do kraja decembra [5]. Radilo se o rekordnim poplavama na teritoriji Crne Gore, a vodostaj Skadarskog jezera dostigao je svoj istorijski maksimum. Pretpostavljamo da se tada dešavalo i spiranje velikih količina površinskih slojeva zemljišta, zbog čega je došlo i do povećanja sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  u vodi Skadarskog jezera.



Slika 7. Grafički prikaz promjena sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  u vodi Skadarskog jezera

### 5.4. Ispitivanje sadržaja radionuklida u zemljištu

Sastavni dio Programa monitoringa su i analize zemljišta na teritoriji Crne Gore. Polazni osnov za izbor lokacija na kojima će se mjeriti  $^{137}\text{Cs}$  u zemljištu bili su rezultati već pomenutog MENEKO projekta.

Dio rezultata praćenja  $^{137}\text{Cs}$  u okviru Programa monitoringa prikazan je u Tabeli 2.

**Tabela 2. Maksimalne registrovane vrijednosti sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  u površinskom sloju zemljišta (0 – 5) cm**

Lokacija	Bunar Smrdan 1	Bunar Smrdan 2	Bare Kraljske	Bare Kraljske 2
Sadržaj $^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg)	1710 ± 85	2011 ± 45	589 ± 12	495 ± 12
Referentne vr. Meneko	740 ± 74		481 ± 37	

Lokacija	Jakupov grob 1	Jakupov grob 2	Šule
Sadržaj $^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg)	391 ± 8	701 ± 16	990 ± 22
Referentne vr. Meneko	359 ± 37		/

### 5.5. Ispitivanje sadržaja radionuklida u ljudskoj hrani

Ispitivanje sadržaja radionuklida u ljudskoj hrani, u okviru Programa monitoringa, obuhvata ispitivanja velikog broja različitih tipova uzoraka: govede, jagnjeće, svinjsko i pileće meso, meso slatkovodnih riba, mlijeko iz mljekara na teritoriji Crne Gore, sir, jaja, kukuruzni i pšenični hleb iz pekara u Crnoj Gori, voće i povrće, dječiju hranu iz vrtića, đačkih i studentskih domova u Podgorici. Ovo je najobimniji dio Programa monitoringa i od posebnog je značaja. Veoma je teško u jednom preglednom radu dati makar i ograničeni prikaz svih urađenih analiza, zbog čega će ovdje biti navedeni samo rezultati dijela analiza govedeg i jagnječeg mesa, mlijeka, sira i pšeničnog hljeba - namirnica koje su veoma zastupljene u ishrani te su stoga i od posebnog značaja, a proizvedene su u Crnoj Gori.

Značajno je da sva ova četiri tipa namirnica karakteriše postepeni pad sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  tokom perioda praćenja (Slike 8 do 11). To je još očiglednije ako se u cilju sagledavanja trenda promjena srednjih godišnjih koncentracija sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  serija prikazanih vrijednosti fituje linearno, kao što je i prikazano na graficima.

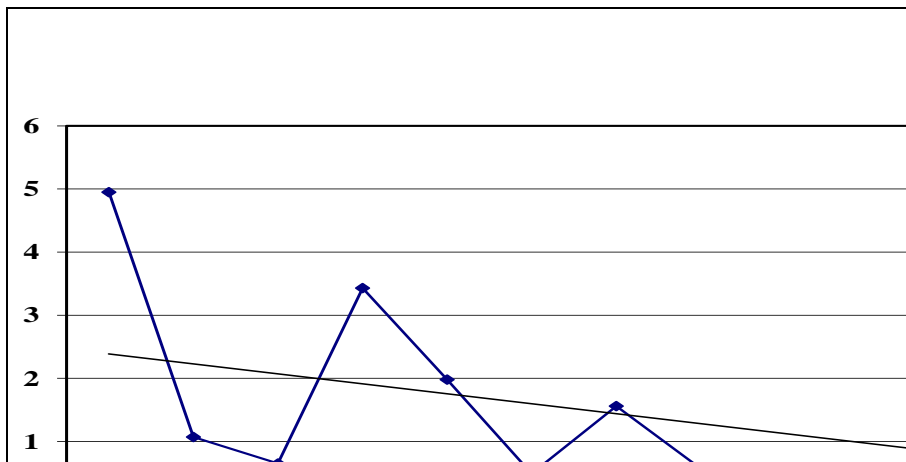
Smanjenje sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  u mesu, mlijeku i siru je direktna posljedica smanjenja sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  u površinskom sloju zemljišta, jer se u Crnoj Gori stoka još uvijek pretežno gaji na klasičan način, ispašom na otvorenim pašnjacima.

## 6. ZAKLJUČAK

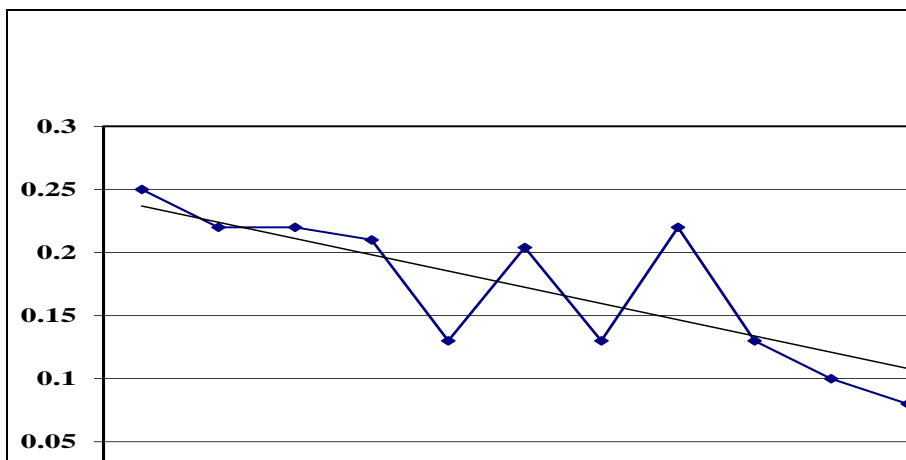
$^{137}\text{Cs}$  černobiljskog porijekla još uvijek je prisutan u životnoj sredini u Crnoj Gori.

Njegov sadržaj je različit u različitim segmentima životne sredine i varira u zavisnosti od tipa i vrste uzoraka. U nekim slučajevima je bez značajnijih varijacija tokom višegodišnjeg perioda njegovog praćenja u okviru Programa monitoringa i gotovo konstantan, kao kod površinskih voda, voda za piće, voća i povrća. U vazduhu, padavinama, govedem i jagnječem mesu, mlijeku, siru i

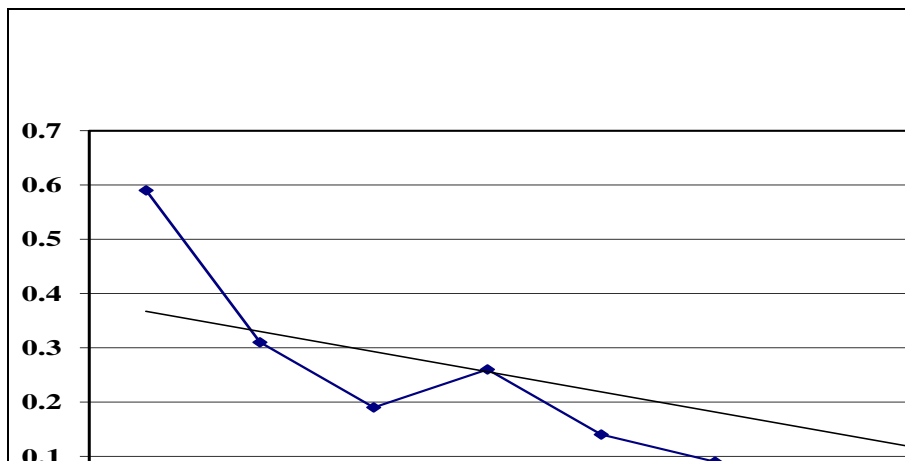
pšeničnom hljebu evidentno je kontinuirano smanjenje sadržaja ovog radionuklida. Ova činjenica ima i dodatni značaj u tome što su te ispitivane namirnice proizvedene na teritoriji Crne Gore.



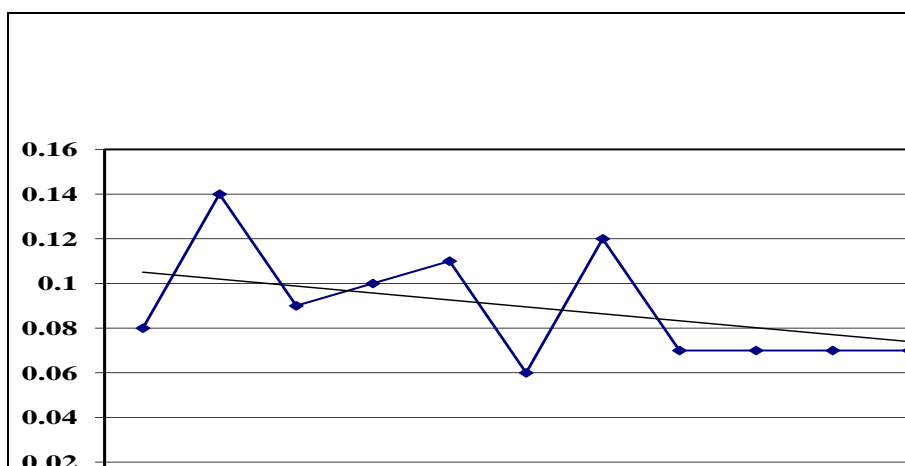
Slika 8. Grafički prikaz promjena srednjih godišnjih sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  u govedem i jagnjećem mesu



Slika 9. Grafički prikaz promjena srednjih godišnjih sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  u mlijeku



Slika 10. Grafički prikaz promjena srednjih godišnjih sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  u siru



Slika 11. Grafički prikaz promjena srednjih godišnjih sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  u pšeničnom hljebu

Svi prikazani rezultati nose osnovnu poruku, a to je opravdanost i neophodnost kontinuirane realizacije državnog Programa monitoringa radioaktivnosti u životnoj sredini.

## 7. LITERATURA

- [1] Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: Twenty years of experience / Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment'. — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2006.
- [2] P. Vukotic, G.I. Borisov, V.V. Kuzmich, V.M. Kulakov, N. Antovic, S. Dapchevic, M. Mirkovic, M. Pajovic, R. Svrkota, B. Fustic, G. Djuretic, "Background gamma-radiation in Montenegro", Proceedings of The IRPA Regional Symposium on Radiation Protection in Neighboring Countries of

- Central Europe, Prague, Czech Republic, September 8-12, 1997, pp. 477-479.
- [3] Odluka o sistematskom ispitivanju sadržaja radionuklida u životnoj sredini ("Sl. list SRJ", br. 45/97 i "Sl. list SCG", br. 1/2003 - Ustavna povelja)
- [4] Izvještaj o ispitivanju sadržaja radionuklida u životnoj sredini Crne Gore za 2015. godinu, D.O.O. Centar za ekotoksikološka ispitivanja Podgorica, februar 2016. glavni autor T. Anđelić.
- [5] Informacija o otpisu sredstava i opreme koja je kao pomoć podijeljena stanovništvu tokom poplava u Crnoj Gori 2010. godine, Ministarstvo unutrašnjih poslova, Sektor za vanredne situacije i civilnu bezbjednost, Podgorica, februara 2013. godine

### **<sup>137</sup>CS IN ENVIRONMENT OF MONTENEGRO (SINCE 1999)**

**Tomislav ANĐELIĆ<sup>1</sup>, Ranka ŽIŽIĆ<sup>1</sup>, Nikola SVRKOTA<sup>1</sup>, Ranko ZEKIĆ<sup>1</sup>,  
Nataša BJELICA<sup>2</sup>, Perko VUKOTIĆ<sup>3</sup>**

1) LLC Center for Ecotoxicological Research Podgorica, Montenegro,  
*tomo.a@t-com.me*

2) Agency for Environmental Protection, Podgorica, Montenegro

3) Montenegrin Academy of sciences and Arts, Podgorica, Montenegro

Malfunction in Chernobyl nuclear power plant in 1986 produced a nuclear disaster of major proportions, with tragic consequences for the people and wildlife in wider area of power plant and radioactive contamination of the environment in the vast spaces of our planet, which has not yet disappeared. Therefore, this catastrophe has caused public fear from nuclear technology, and the public use it as a symbol of danger that threatens the world from nuclear power plants.

The first numerous measurements of the level of radioactive contamination of the environment in Montenegro began immediately after the accident. However, only since 1999 in Montenegro, through the program of monitoring radioactivity in the environment, is being implemented a systematic and regular monitoring of the content of radionuclide's in the air, precipitation, surface water, sea water, soil, food and drinking water.

The paper gives cross-section of <sup>137</sup>Cs content in most segments of the environment of Montenegro, and also presentation of trends, as well as some specific cases. It is indicative that in a minority of cases, even 30 years after the Chernobyl fallout, appears relatively high content of <sup>137</sup>Cs in meat, lower but still expressed in milk, while the content in the soil in some places on level slightly lower than the originally established at the end of the 90s. All this justifies the further realization of the Program of radioactivity monitoring in the systematic monitoring of the environment.



CIP - Каталогизација у публикацији –  
Народна библиотека Србије, Београд

614.876(082)

621.311.25(477.41)(082)

504.5:539.16(497.11)(082)

ЧЕРНОБИЉ : 30 година после : монографија / уредник  
Гордана Пантелић. - Београд : Институт за нуклеарне науке  
"Винча", Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту  
животне средине "Заштита" : Друштво за заштиту од зрачења  
Србије и Црне Горе, 2016 (Београд : Институт за нуклеарне  
науке "Винча"). - 286 стр. : илустр. ; 25 cm

Тираж 150. - Библиографија уз сваки рад. - Summaries.

ISBN 978-86-7306-138-2 ("Винча")

1. Пантелић, Гордана [уредник]

а) Нуклеарна електрана "Чернобил" - Хаварија - Зборници

б) Животна средина - Загађење радиоактивним материјама

- Србија - Зборници с) Несреће у нуклеарним електранама

- Последице - Зборници d) Јонизујуће зрачење - Штетно

дејство - Србија - Зборници

COBISS.SR-ID 226685452