

# BALTIJOS JŪROS LIETUVOS PRIEKRANTĖS VANDENS TARŠA $^{137}\text{Cs}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{40}\text{K}$ IR JŲ SĄLYGOJAMOS APŠVITOS DOZĖS

**ASTA DAUNARAVIČIENĖ, DMITRIJUS STYRA, RASA MORKŪNIENĖ**  
*Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

**Raktažodžiai:** *Baltijos jūra, vanduo,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  
tūrinis aktyvumas, apšvita.*

## **Santrauka**

*Straipsnyje nagrinėjama natūraliosios kilmės  $^{40}\text{K}$  bei dirbtinės kilmės  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  radionuklidų tūrinių aktyvumų (TA) verčių kaita Baltijos jūros priekrantės vandenyje 2004–2009 m. laikotarpiu. Pagal radionuklidų TA tyrimų duomenis įvertinta vandenyje esančių  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  sąlygojama efektinė išorinės apšvitos dozė jūroje besimaudančiam žmogui. Gautos vertės yra gerokai mažesnės nei leistinos.*

## **ĮVADAS**

Visus gyvuosius žemės organizmus, taip pat ir žmogų, nuolat veikia natūraliosios kilmės jonizuojančioji spinduliuotė – spinduliuotė iš kosmoso, žemės plutos, vandens ir atmosferos. Vidutinė pasaulinė žmonių metinė efektinė gamtinės apšvitos dozė yra 2,4 mSv. Ji pasiskirsto priklausomai nuo geografinės padėties Žemėje. Apie 65% žmonių gauna nuo 1 iki 3 mSv, 25% – mažiau už 1 mSv ir 15% daugiau už 3 mSv per metus [11].

Greta natūraliosios kilmės jonizuojančiosios spinduliuotės žmones veikia ir dirbtinės kilmės jonizuojančiosios spinduliuotės apšvita, kurią sukelia radioaktyviosios medžiagos, patekusios į aplinką po branduolinio ginklo bandymų, dėl avarijų branduolinės pramonės objektuose ir kt.

Dėl branduolinio ginklo bandymų (1945–1963 m.) iškritų buvo stebimas radionuklidų koncentracijos didėjimas sausumos ir vandens ekosistemose. Atmosferiniai branduolinio ginklo bandymai Šiauriniame Žemės pusrutulyje sukėlė radioaktyviųjų izotopų TA padidėjimą ir Baltijos jūroje. 1963 m. nutraukus branduolinio ginklo bandymus atmosferoje, dirbtinių radionuklidų kiekis Baltijos jūros vandenyje mažėjo. Šis procesas vyko iki Černobylio AE avarijos, įvykusios 1986 metais. Po avarijos radioaktyvioji tarša buvo užfiksuota beveik visame Šiauriniame Žemės pusrutulyje, taip pat ir Baltijos jūroje.

Vieni svarbiausių dirbtinės kilmės radionuklidų,

patekusių į Baltijos jūrą, yra  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$ . Bendrasis įvertintas  $^{137}\text{Cs}$  iškritų kiekis jūroje dėl branduolinio ginklo bandymų yra 800 TBq,  $^{90}\text{Sr}$  – 500 TBq [3]. Iki 1986 m. balandžio 26 d.  $^{137}\text{Cs}$  vidutinis TA Baltijos jūros paviršiniame vandenyje buvo 12 Bq/m<sup>3</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  – 24 Bq/m<sup>3</sup> [2]. Po Černobylio AE avarijos su atmosferinėmis iškritomis į jūrą pateko nuo 4100 TBq iki 5100 TBq  $^{137}\text{Cs}$  ir 80 TBq  $^{90}\text{Sr}$  [3]. Remiantis literatūros duomenimis [4], su Černobylio AE avarijos iškritomis į Baltijos jūrą patekusių  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  kiekis sudarė atitinkamai 82% ir 13% visų patekusių radionuklidų. Pirmaisiais metais po avarijos Baltijos jūros vandens  $^{137}\text{Cs}$  buvo užteršti gana netolygiai. Didžiausias TA buvo stebimas šiaurinėje jūros dalyje, o mažiausias – pietinėje [2]. Realus Baltijos jūros vandens savivalos procesas prasidėjo 1989 m., kai  $^{137}\text{Cs}$  TA visoje jūros akvatorijoje tapo apytikriai lygus 150 Bq/m<sup>3</sup> [2, 8]. Apskaičiuota, kad  $^{137}\text{Cs}$  TA Baltijos jūros vandenyje sumažės iki Černobylio AE avarijos matuotų verčių tik 2020–2022 metais [8]. Ilgalaičių matavimų rezultatai rodo, kad vandens savivalos nuo  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  eiga Baltijos jūroje yra skirtinga [9].

Be dirbtinės kilmės radionuklidų jūros vandenyje yra ir natūraliosios kilmės izotopų, iš kurių pagrindinis, formuojantis hidrosferos radioaktyvųjį foną, yra  $^{40}\text{K}$ . Jo TA Baltijos jūros vandens stovime kinta nuo 500 iki 6000 Bq/m<sup>3</sup> [5]. Šio radionuklido vidutinis TA paviršiniame jūros vandenyje yra 1850–2400 Bq/m<sup>3</sup> [12].

**Darbo tikslas:** remiantis  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  ir  $^{40}\text{K}$  tūrinių aktyvumų 2004–2009 m. Baltijos jūros vandenyje tyrimų duomenimis, įvertinti Lietuvos priekrantėje besimaudančio žmogaus apšvitą, sąlygojamą šių radionuklidų.

## **MATAVIMŲ METODIKA**

Baltijos jūros vandens ėminiai (50 l) buvo imami priekrantėje 0,5 m gylyje. 10 l jūros vandens alikvota išgarinta iki sausos liekanos  $^{40}\text{K}$  nustatymui.  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  TA jūros vandenyje nustatytas juos koncentruojant likusiame 40 l vandens ėminio tūryje karbonatiniu–ferocianidiniu metodu. Cezio išeiga įvertinta gravimetriškai, jį nusodinus Cs<sub>3</sub>Sb<sub>2</sub>I<sub>9</sub> druskos pavidalu.  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{40}\text{K}$

aktyvumas bandiniuose matuotas gama spektrometrine sistema (Canberra Industries, JAV) su puslaidininkiniu grynojo germanio (HPGe) jutikliu (skiriamoji geba 2keV, efektyvumas 15%).  $^{137}\text{Cs}$  nustatytas pagal 661,6 keV, o  $^{40}\text{K}$  pagal 1460,8 keV energijos gama spinduliuotės smailę.  $^{90}\text{Sr}$  aktyvumas įvertintas pagal  $^{90}\text{Y}$  spinduliuotę, naudojant žemo fono radiometrinį įrenginį УМФ-1500М. Stabilaus stroncio išėiga nustatyta atominės absorbcinės spektroskopijos pagalba; itrio – gravimetriškai. Metodo paklaida  $^{137}\text{Cs}$  radionuklidui lygi 10%, o  $^{90}\text{Sr}$  – 15%.  $^{40}\text{K}$  matavimo paklaida neviršijo 1%.

Išorinės apšvitos dozė, kurią suaugęs žmogus gauna besimaudydamas jūros vandenyje, apskaičiuota pagal lygtį [7]:

$$E_{im} = f_0 DF_{im} C_V, \quad (1)$$

čia  $E_{im}$  – efektinė išorinės apšvitos dozė dėl apsupties (vandens) radionuklidų, Sv/h  $f_0$  – apsuptyje (vandenyje) praleista laiko dalis;  $DF_{im}$  – dozės koeficientas dėl vandenyje esančių apsupties radionuklidų, Sv/metus/(Bq/m<sup>3</sup>) (paimtas iš [1] ir [6] literatūros šaltinių);  $C_V$  – radionuklidų (vandenyje) tūrinis aktyvumas, Bq/m<sup>3</sup>.

#### REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

2004–2009 m. birželio–rugpjūčio mėn. buvo tiriami  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  TA Baltijos jūros priekrantės vandenyje ties Juodkrante.  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  ekstremalios TA vertės pateiktos 1 lentelėje.

Didžiausias skirtumas tarp ekstremalių radiocezio TA verčių gautas 2004 m., t. y. šios reikšmės tarpusavyje skyrėsi du kartus. Nuo 2005 m. šis skirtumas mažėjo.  $^{137}\text{Cs}$  TA vidutinė vertė per šešerių metų tyrimų laikotarpį sumažėjo nuo 66 iki 40 Bq/m<sup>3</sup> (2 lentelė).

2004–2009 m.  $^{90}\text{Sr}$  TA vertės Baltijos jūros priekrantėje iš esmės kito analizės metodo paklaidų ribose (1 lentelė). Išimtis stebima 2004 metais, kai ekstremalios vertės tarpusavyje skyrėsi apie 2 kartus. Vidutinės TA vertės taip pat iš esmės nekito ir buvo lygios 12–13 Bq/m<sup>3</sup> (2 lentelė).

1 lentelė.  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  ekstremalios TA reikšmės Baltijos jūros priekrantės vandenyje ties Juodkrante 2004–2009 m. birželio–rugpjūčio mėn.

Metai	$^{137}\text{Cs}$ TA, Bq/m <sup>3</sup>		$^{90}\text{Sr}$ TA, Bq/m <sup>3</sup>	
	Min	Max	Min	Max
2004	48±5	94±9	7±1	17±3
2005	45±5	57±6	10±2	14±2
2006	32±3	54±5	–	–
2007	39±4	47±5	10±2	14±2
2008	35±4	46±5	11±2	14±2
2009	37±4	43±4	12±2	14±2

Gamtinės kilmės  $^{40}\text{K}$  TA 2009 metais priekrantės vandenyje kito nuo 1473 iki 1581 Bq/m<sup>3</sup>, jo vidutinė vertė buvo lygi 1527 Bq/m<sup>3</sup>.

Pasinaudojus vidutinėmis radionuklidų TA vertėmis, įvertinta efektinė išorinės apšvitos dozė. Skaičiavimų rezultatai pateikti 2 lentelėje.

Šiame darbe išorinės apšvitos dozės apskaičiuotos vidutinio ūgio žmogui. Skaičiavimuose buvo daroma prielaida, kad radionuklidai vandenyje pasiskirstę tolygiai.

Iš 2 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad 2004–2009 m. vasaros laikotarpiu vandens apsuptyje buvęs žmogus dėl  $^{137}\text{Cs}$  γ spinduliuotės galėjo gauti nuo 3,97×10<sup>-6</sup> iki 6,55×10<sup>-6</sup> mSv/val. apšvitos dozę. Suprantama, kad didžiausia vidutinė apšvitos dozė buvo nustatyta 2004 m. vasarą, nes šiuo laikotarpiu jūros vandenyje buvo stebimos didžiausios  $^{137}\text{Cs}$  TA reikšmės.

Lyginant vandens apsuptyje esančio žmogaus gaunamas apšvitos dozės dėl dirbtinės kilmės  $^{137}\text{Cs}$  ir gamtinės kilmės  $^{40}\text{K}$  γ spinduliuotės nustatyta, kad  $^{137}\text{Cs}$  spinduliuotė yra keturiomis eilėmis mažesnė už  $^{40}\text{K}$  spinduliuotę. Dėl  $^{40}\text{K}$  γ spinduliuotės žmogus galėjo gauti apie 0,96×10<sup>-4</sup> mSv/val. apšvitos dozę. Vadinasi, žmogaus apšvitą didžiąja dalimi lemia gamtinės kilmės radionuklidai.

Dėl  $^{90}\text{Sr}$  β spinduliuotės vandens apsuptyje esančio žmogaus apšvita apytikriai lygi 4,24×10<sup>-9</sup> mSv/val. Per visą šešerių metų tyrimo laikotarpį  $^{90}\text{Sr}$  TA vertės praktiškai nekito, todėl šio radionuklido sąlygojama apšvita taip pat iš esmės nekito. Skaičiavimų rezultatai rodo, kad žmogaus išorinė apšvita dėl  $^{90}\text{Sr}$  β spinduliuotės vandenyje apie tūkstantį kartų mažesnė, lyginant su  $^{137}\text{Cs}$  γ spinduliuote. Žmogaus išorinės apšvitos dėl β spinduliuotės šaltinių vandenyje galima nepaisyti, kadangi 2,5–3,0 MeV energijos β dalelių laisvojo kelio ilgis yra tik apie 1,1–1,4 cm. [10]. Tokiu būdu, esant 18 Bq/m<sup>3</sup>  $^{90}\text{Sr}$  TA, žmogų veikiantis vandens aktyvaus sluoksnio storis būtų apie 1 cm, o visas žmogų supantis vandens tūris būtų 0,03 m<sup>3</sup>, t. y. daugiau nei 40 kartų mažesnis už vandens tūrį  $^{137}\text{Cs}$  atveju [10].

2 lentelė.  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  vidutinės TA reikšmės Baltijos jūros priekrantės vandenyje ties Juodkrante ir jų sąlygojama apšvita 2004–2009 m. birželio–rugpjūčio mėn.

Metai	Radionuklido vidutinis TA, Bq/m <sup>3</sup>		Išorinės apšvitos dozė, mSv/h	
	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
2004	66±7	12±2	6,55×10 <sup>-6</sup>	4,24×10 <sup>-9</sup>
2005	52±5	12±2	5,16×10 <sup>-6</sup>	4,24×10 <sup>-9</sup>
2006	44±4	12±2	4,36×10 <sup>-6</sup>	4,24×10 <sup>-9</sup>
2007	43±4	12±2	4,26×10 <sup>-6</sup>	4,24×10 <sup>-9</sup>
2008	42±4	13±2	4,17×10 <sup>-6</sup>	4,59×10 <sup>-9</sup>
2009	40±4	13±2	3,97×10 <sup>-6</sup>	4,59×10 <sup>-9</sup>

Žmogus, besimaudantis jūros vandenyje, jame vidutiniškai praleidžia nuo keleto iki keliasdešimt valandų per metus. Maudymosi sezonas Baltijos jūroje trunka nuo birželio iki rugsėjo. Jei žmogus per visą maudymosi sezoną kasdien praleistų po dvi valandas jūros vandenyje, jo išorinė apšvita nuo  $^{137}\text{Cs}$  būtų apytikriai lygi 0,001 mSv/metus, o nuo  $^{90}\text{Sr}$  – tūkstantį kartų mažesnė. Leistina ribinė metinė efektinė dozė sąlygota antropogeninių taršos šaltinių yra 1 mSv [7]. Norint pasiekti leistiną ribinę dozę nuo  $^{137}\text{Cs}$  spinduliuotės, žmogus turėtų praleisti besimaudydamas Baltijos jūros vandenyje vidutiniškai apie 23 metus, o nuo  $^{90}\text{Sr}$  – apie 144 metus išbūdamas jame 24 valandas per parą.

### IŠVADOS

1. 2004–2009 m. Baltijos jūros priekrantėje ties Juodkrante  $^{137}\text{Cs}$  TA kito nuo 32 iki 94 Bq/m<sup>3</sup>, vidutinis šio radionuklido TA per pastaruosius šešerius metus sumažėjo nuo 66 iki 40 Bq/m<sup>3</sup>. Nepastebėta žymesnių  $^{90}\text{Sr}$  TA pokyčių, jo vidutinė TA vertė tiriamuoju laikotarpiu – 12–13 Bq/m<sup>3</sup>. Gamtinės kilmės  $^{40}\text{K}$  TA 2009 metais priekrantės vandenyje kito nuo 1473 iki 1581 Bq/m<sup>3</sup>, jo vidutinė vertė buvo lygi 1527 Bq/m<sup>3</sup>.

2.  $^{137}\text{Cs}$  sąlygojamos išorinės apšvitos dozės vidutinės vertės kito nuo  $3,97 \times 10^{-6}$  iki  $6,55 \times 10^{-6}$  mSv/val.,  $^{90}\text{Sr}$  – nuo  $4,24 \times 10^{-9}$  iki  $4,59 \times 10^{-9}$  mSv/val., o  $^{40}\text{K}$  –  $0,96 \times 10^{-4}$  mSv/val. Galima teigti, kad jūros vandens apsuptyje žmogaus apšvitą didžiąja dalimi lemia  $^{40}\text{K}$  spinduliuotė.

3. Gautos metinės efektinės apšvitos dozės vertės nuo  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  spinduliuotės, net jei žmogus praleistų ir visą maudymosi sezoną (birželio–rugsėjo mėn.) po dvi valandas per dieną besimaudydamas jūros vandenyje, yra atitinkamai trimis ir šešiomis eilėmis mažesnės nei leistina ribinė vertė (1 mSv/metus).

### Literatūra

1. Eckerman K. F., Ryman J. C. External exposure to radionuclides in air, water and soil. Washington: US Environmental Protection Agency, 1993; 12: 238.
2. HELCOM. Radioactivity in the Baltic Sea 1984–1991. Environment Proceedings. 1995; 61: 182.

3. HELCOM. Radioactivity in the Baltic Sea 1999–2006. Environment Proceedings. 2009; 117: 64.

4. Ikaheimonen T. K., Outola I., Vartti V., Kotilainen P. Radioactivity in the Baltic Sea: inventories and temporal trends of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in water and sediments. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2009; 282: 419–425.

5. Illus E., Illus T. Sources of radioactivity in Baltic Sea. Finland: STUK Radiation and Nuclear Safety Authority, 1998.

6. International Atomic Energy Agency. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. 2001; 19: 216.

7. Nedveckaitė T. Radiacinė sauga Lietuvoje. Vilnius: Kriventa, 2004; 240.

8. Styra D., Bumelienė Ž., Kleiza J., Lukinskienė M., Morkūnienė R. Prognosis of the Baltic Sea self-cleaning from the „Chernobyl“ radionuclide  $^{137}\text{Cs}$ . Aplinkos inžinerija, Vilnius: Technika, 2000; 8 (4): 198–202.

9. Styra D., Morkūnienė R. Baltijos jūros savivalos nuo dirbtinės kilmės radionuklidų eksperimentinių ir teorinių rezultatų palyginimas. Sveikatos mokslai, 2003; 13 (3): 23–28.

10. Styra D., Morkūnienė R., Vdovinskienė S. Baltijos jūros priekrantės vandens radioaktyvioji tarša ir papildoma žmogaus apšvita. Sveikatos mokslai, 2004; 14 (3): 28–31.

11. UNSCEAR 2000 Report to General Assembly with Scientific Annexes. Sources and Effects of Ionizing Radiation. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2000; 1: 245. Prieiga per internetą: [http://www.unscear.org/docs/reports/2008/09-86753\\_Report\\_2008\\_Annex\\_B.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2008/09-86753_Report_2008_Annex_B.pdf)

12. Перцов Л.А. Природная радиоактивность биосферы. Москва: Атомиздат, 1994; 316.

### CONTAMINATION OF THE LITHUANIAN COASTAL WATERS OF THE BALTIC SEA WITH $^{137}\text{Cs}$ , $^{90}\text{Sr}$ AND $^{40}\text{K}$ AND DOSES DUE TO THIS CONTAMINATION

Asta Daunaravičienė, Dmitrijus Styra, Rasa Morkūnienė

#### Summary

Key words: Baltic Sea, water,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{40}\text{K}$ , volumetric activity, exposure.

The variations of volumetric activity of artificial radionuclides  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  and natural radionuclide  $^{40}\text{K}$  in the near-shore waters of the Baltic Sea in 2004–2009 are analyzed.

The dose rate from  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{40}\text{K}$  for person being in water immersion on the basis of real measurements were made. The level of dose rate is considerably lower than limit and does not make any risk for human health.

Correspondence to: AstaDaunaraviciene@ml.lt

Gauta 2011-07-15

