



EEE PARAMA LIETUVAI:
partnerystė vertybėms
kurti ir išsaugoti

Tvirtinu:
Valstybinio mokslinių tyrimų instituto Fizinių ir technologijos mokslų centro
direktorius

Gintaras Valušis

2016 m. vasario mėn. 29 d.

MOKSLO TYRIMŲ PASLAUGŲ VIEŠOJO PIRKIMO-PARDAVIMO SUTARTIES

**APLINKOS BEI ATMOSFEROS UŽTERŠTUMO RADIONUKLIDAIŠ
LIETUVOJE ĮVERTINIMAS**

2015 m. gegužės 27 d. sutartis: Nr. 28TP-2015-36

(5100-S373)

ATASKAITA

Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Fizinių ir technologijos mokslų centras
Fizikos institutas
Savanorių pr. 231, LT-02300, Vilnius

---Vilnius 2016---

VYKDYTOJŲ SĄRAŠAS

vyr. m. d. Arūnas Gudelis, darbų vadovas

inž. Paulius Butkus

inž. Lina Gaigalaitė

inž. Inga Gorina

inž. Gintautas Kandrotas

inž. Vida Kandrotienė

inž. Mindaugas Pranaitis

sargė-budėtoja Alina Ševelinska

ANOTACIJA

Pagal 2015 m. gegužės 27 d. sutartį Nr. 28TP-2015-36 atliktas aplinkos bei atmosferos užterštumo radionuklidais įvertinimas Lietuvoje. Radionuklidų atmosferos aerozoliuose tūrinis aktyvumas buvo matuojamas VĮ Ignalinos AE aplinkoje, mėginiai imti stacionarioje Vosyliškių stotyje, esančioje 3,5 km atstumu nuo VĮ Ignalinos AE. Ėminių paėmimo tikslu buvo atliekamas nepertraukiamas pažemio atmosferos oro rinkimas, filtruojant orą per aerosolinius FPP-15 (Petrianovo) tipo filtrus. Vosyliškių stotyje eksponuoti 27 filtrai, apimantys laikotarpį nuo 2014 m. gruodžio 26 d. iki 2016 m. sausio 15 d. Tyrimų metu pažemio atmosferos ore stebėti gamtiniai radionuklidai ^7Be ir ^{210}Pb bei tris epizodus – technogeninės kilmės ^{137}Cs , kurio aktyvumo koncentracija atitiko globalųjį pasiskirstymą. Kitų technogeninių radionuklidų nenustatyta, stebėtos vidutinės ^7Be ir ^{210}Pb aktyvumo koncentracijų vertės buvo apie 30% mažesnės už vidutines 2012-2014 m. tyrimų laikotarpiu registruotas vertes.

I. Radiologinės aplinkos įvertinimas VĮ Ignalinos AE aplinkoje

Vosyliškių stotyje buvo naudota didelio našumo orapūtė, užtikrinanti apie 1900 m³ h⁻¹ oro srautą, mėginiai buvo imami 2 m aukštyje virš žemės paviršiaus, panaudojant aerolinius FPP-15 tipo filtrus, šių filtrų efektyvumas sulaikant ore esančias dulkeles ir smulkias skendos daleles, prie kurių prikimba ir yra pernešami radionuklidai, yra labai aukštas – siekia 99 % [1]. Mėginių paėmimo dažnis buvo ne rečiau kaip vieną kartą per 2 savaites, siekiant padidinti matavimų jautrį atskirais atvejais buvo matuojami integruoti mėginiai. Sutarties Nr. 28TP-2015-36 techninės specifikacijos priede nurodyti parametrai buvo užtikrinami laikantis dokumento [2] reikalavimų, matavimus atliekant stacionariuoju gama spektrometru su puslaidininkiniais gryno germanio detektoriais: vienas detektorius yra su šuliniu, o kitas – 30 % santykinio efektyvumo koaksialinis detektorius. Gama spektrometras buvo kalibruotas, panaudojant Amersham paliudytąją pamatinę medžiagą [3], kalibravimas atliktas remiantis metodologija, išdėstyta [4-6], kalibravimo patikra pirmą kartą atlikta 2002 m. vykusio TATENA profesinio testo metu [7]. Kalibravimo ir patikros rezultatai rodė, kad stacionariojo gama spektrometro pagalba (122-1461) keV energijos ruože radionuklidų absoliutinį aktyvumą galima nustatyti su ne blogesniu kaip 6 % santykinu poslinkiu nuo pamatinės vertės (1 lentelė).

1 lentelė. Profesinio testo metu Fizikos instituto gautų verčių palyginimas su TATENA laboratorijos vertėmis.

Analitė	TATENA duomenys, Bq kg ⁻¹		Fizikos instituto duomenys, Bq kg ⁻¹		Santykinis poslinkis, %
	Vertė	Neapibrėžtis	Vertė	Neapibrėžtis	
⁵⁴ Mn	36,5	0,92	35,1	1,7	-3,8
⁵⁷ Co	33,9	0,87	32,0	2,2	-5,7
⁶⁰ Co	145	3,6	143,5	6,9	-0,8
⁶⁵ Zn	23,0	0,71	23,4	1,4	1,9
⁸⁸ Y	34,9	0,93	33,4	2,0	-4,2
¹³⁴ Cs	76	1,9	73,7	4,7	-2,6
¹³⁷ Cs	160	4,6	164,7	7,6	3,0

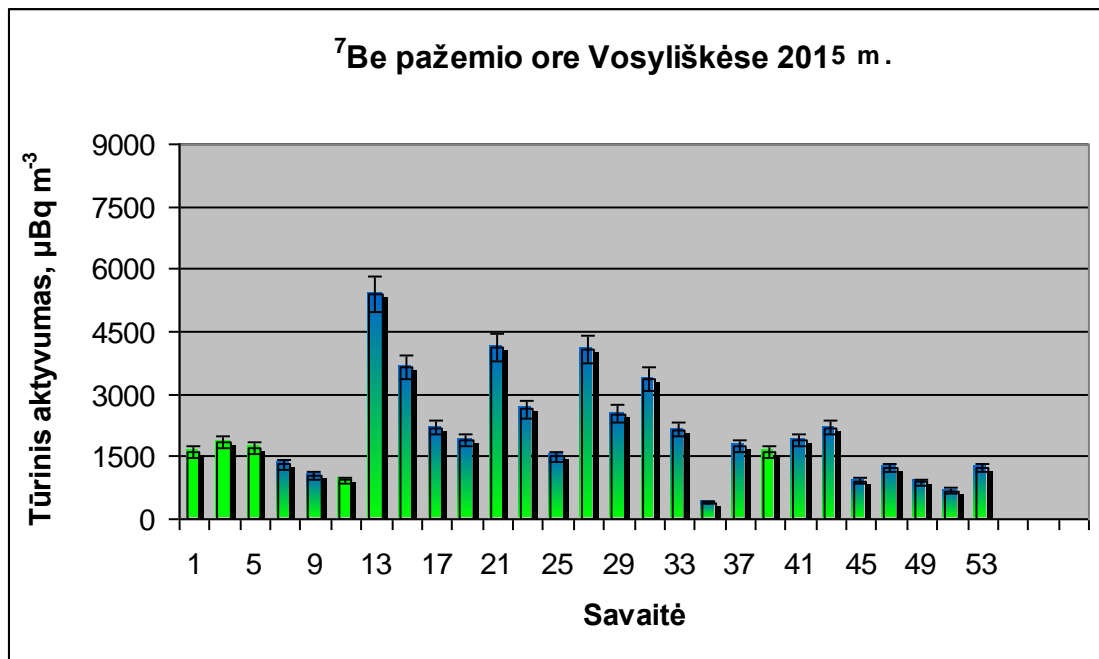
Kaip matyti iš 1 lentelės, panaudojant aukščiau minėtą įrangą, tipiški radionuklidai – gama spinduliai – gali būti nustatyti užtikrinant rezultato neapibrėžtį, neviršijančią 7%, o kai kurie technogeniniai radionuklidai (⁵⁴Mn, ⁶⁰Co ir ¹³⁷Cs) – užtikrinant neapibrėžtį, ne didesnę kaip 5%. 2006-2011 m. dalyvauta kituose TATENA organizuotuose profesiniuose testuose. Pavyzdžiui, dalyvavimo IAEA-CU-

2006-03 teste metu buvo patvirtintas pakankamas matavimų tikslumas (^{137}Cs : $\pm 3\%$, ^{210}Pb : $\pm 6\%$, savitojo aktyvumo matavimai buvo atliekami grunto mėginyje). Po to, 2010-2014 m., matavimų sietis buvo užtikrinta su valstybiniu radionuklidų aktyvumo vieneto etalonu. 2015 m. pradžioje dalyvauta EK instituto IRMM organizuotame tarplaboratoriniame palyginime „Cs-137 aktyvumo matavimas oro filtruose“. Šio palyginimo galutinė ataskaita dar negauta, tačiau 2015 m. liepą laboratoriją pasiekė palyginimo organizatorių laiškas, kuriame grafiniu būdu pateikti apibendrinti visų 76 dalyvių rezultatai. Iš minėto laiško matyti, kad laboratorijos rezultatas šiame palyginime yra labai geras, kadangi rezultato vertės poslinkis nuo pamatinės vertės neviršija 2,5%, esant standartinės neapibrėžties vertei 3,5% ($k=1$).

Stacionarusis gama spektrometras įrengtas laboratorijoje, kurioje palaikoma pastovi temperatūra ir santykinė oro drėgmė. Tyrimas „šulinio“ geometrijoje, kai erdvinis kampas, kuriuo jutiklis „mato“ mėginį, yra artimas 4π , užtikrina maksimalią matavimo efektyvumo vertę. Darbe [8] nustatyta ^{137}Cs ir ^{60}Co aptikimo riba, esant 100000 s matavimo trukmei, yra, atitinkamai, 0,012 Bq ir 0,020 Bq detektoriumi su šuliniu bei 0,13 Bq ir 0,15 Bq – koaksialiniam detektoriumi.

Gama spektrometrus su Ge detektoriais taikomos kokybės laidavimo procedūros, pradėtos daugiau kaip prieš 25 metus, kai buvo naudojami Ge(Li) detektorius [9]. Šių procedūrų pagrindas – nuolatinis parametrų stebėjimas ir dalyvavimas tarptautiniuose bei kompetentingų Lietuvos institucijų organizuojamuose palyginamuosiuose matavimuose [10, 11]. Laboratorijos matavimo galimybių, panaudojant gama spektrometrus, įvertinimas aprašytas darbe [12].

Atlikus tyrimus 2015 m. Vosyliškėse nustatytas gamtinių gama spindulių – kosmogeninio ^7Be ir terigeninio ^{210}Pb (atitinkamai, 1 Pav. ir 2 Pav.), o taip pat – trijuose mėginiuose – globaliai pasiskirsčiusio technogeninio dalijimosi produkto ^{137}Cs tūrinis aktyvumas atmosferos aerozoliuose.

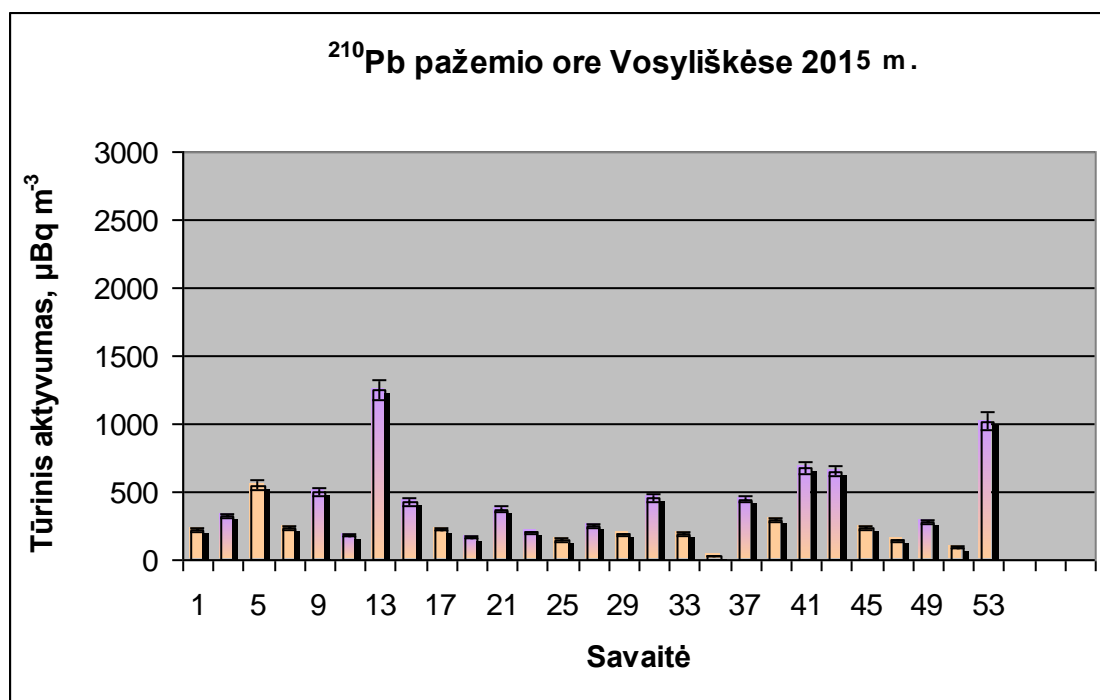


1 Pav. ⁷Be tūrinis aktyvumas pažemio ore Vosyliškėse 2015 m.

1-2 Pav. pateikti duomenys rodo, kad stebėtų gamtinių radionuklidų (⁷Be ir ²¹⁰Pb) aktyvumo koncentracijos atitinka jų globalųjį pasiskirstymą, tačiau reikia pastebėti, kad vidutinės 2015 m. gautos vertės yra apie 30% mažesnės už vidutines vertes, gautas 2012-2014 m. tyrimų laikotarpiu. Palyginimui, vidutinis metinis ⁷Be tūrinis aktyvumas 2015 m. buvo $2026 \mu\text{Bq m}^{-3}$ (standartinis nuokrypis $1191 \mu\text{Bq m}^{-3}$), o ²¹⁰Pb metinis vidurkis buvo $361 \mu\text{Bq m}^{-3}$ (standartinis nuokrypis $278 \mu\text{Bq m}^{-3}$), tuo tarpu 2012, 2013 ir 2014 metais ⁷Be vidutinės tūrinio aktyvumo vertės buvo, atitinkamai, $2617 \mu\text{Bq m}^{-3}$, $2508 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ir $2730 \mu\text{Bq m}^{-3}$, o ²¹⁰Pb atveju – atitinkamai, $507 \mu\text{Bq m}^{-3}$, $438 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ir $495 \mu\text{Bq m}^{-3}$.

⁷Be tūrinio aktyvumo VĮ Ignalinos AE aplinkoje kaitai 2015 m. yra būdingos aktyvumo koncentracijos be itin ryškių maksimumų. Didžiausia ⁷Be tūrinio aktyvumo vertė (5390 ± 430) $\mu\text{Bq m}^{-3}$ 2015 m. buvo išmatuota 13-tąją metų savaitę, laikotarpiu tarp kovo 26 d. ir balandžio 6 d. Dar dvi vertės viršijo $4000 \mu\text{Bq m}^{-3}$, tačiau net 8 atvejais iš 27 (29,6% visų atvejų) jos buvo mažesnės negu $1500 \mu\text{Bq m}^{-3}$. Palyginimui, galima pastebėti, kad 2014 m. jos nė karto nebuvo mažesnės už $1500 \mu\text{Bq m}^{-3}$, tuo tarpu kai 2013 m. tokių atvejų užfiksuota 6 iš 25 (24% visų atvejų). Tad matome, kad ⁷Be vidutinės tūrinio aktyvumo vertės mažėja, kadangi daugėja atvejų, kai išmatuojamas santykinai nedidelis ⁷Be tūrinis aktyvumas.

^{210}Pb tūrinis aktyvumas 2015 m. du kartus viršijo $1000 \mu\text{Bq m}^{-3}$, o maksimali vertė (1250 ± 115) $\mu\text{Bq m}^{-3}$, kaip ir ^7Be atveju, buvo išmatuota 13-tąją metų savaitę. Pažymėtina, kad ^{210}Pb tūrinio aktyvumo vertės 2015 m. kito gana plačiame ruože – nuo $(28 \pm 3) \mu\text{Bq m}^{-3}$ iki maksimalios vertės, tuo būdu metinio vidurkio vertei būdingas santykinai didelis standartinis nuokrypis 77%. Vertinant bendrąją radiologinę padėtį šie skirtumai didelės įtakos nedaro, kadangi jie nerodo esminių kaitos tendencijų. Tuo pačiu verta pastebėti, kad ^{210}Pb tūrinio aktyvumo mažėjimas lemia mažesnes gyventojų patiriamas dozes dėl vidinės apšvitės per kvėpavimo traktą.



2 Pav. ^{210}Pb tūrinis aktyvumas pažemio ore Vosyliškėse 2015 m.

^{137}Cs tūrinis aktyvumas buvo artimas aptikimo ribai (ji Vosyliškių stotyje šiam nuklidui yra $1,5 \mu\text{Bq m}^{-3}$), išskyrus tris epizodus: 2015 m. sausio 25 d. – vasario 7 d., kovo 26 d. – balandžio 6 d. ir liepos 28 – rugpjūčio 13 d. (3 lentelė). Kaip matome, šių epizodų metu išmatuoto ^{137}Cs tūrinio aktyvumo vidutinė vertė yra $4,63 \mu\text{Bq m}^{-3}$, ji yra beveik identiška 2014 m. išmatuotai vidutinei vertei $4,65 \mu\text{Bq m}^{-3}$, kai buvo stebimi du epizodai. Kiti technogeninės kilmės gama spinduliai 2015 m. nenustatyti.

Poveikis VĮ Ignalinos AE regiono gyventojams dėl radionuklidų, įkvepiamų į plaučius, buvo vertinamas pagal LUDEP modelį [13, 14]. 2 lentelėje pateiktos skaičiavimuose naudotos efektinės dozės koeficientų vertės. Kaip matyti iš 2 lentelės,

patekę su įkvepiamu oru į plaučius radionuklidai lemia kur kas didesnę dozę negu tie patys radionuklidai, patekę su maistu į virškinimo traktą, be to, didžiausią įnašą, esant vienodam aktyvumui, sudaro ^{210}Pb spinduliuotė. Pastarąją aplinkybę galima paaiškinti papildomu dukterinių švino-210 skilimo produktų (^{210}Bi ir ^{210}Po) poveikiu.

Skaičiuojant laikyta, kad vidutinio gyventojų kvėpavimo sparta yra $1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

2 lentelė. Stebėtų radionuklidų efektinės dozės koeficientai.

Radionuklidai	Efektinės dozės koeficientas, Sv Bq^{-1}	
	Patekus į plaučius	Patekus su maistu
^7Be	$5,5 \cdot 10^{-11}$	$2,8 \cdot 10^{-11}$
^{137}Cs	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$
^{210}Pb	$5,6 \cdot 10^{-6}$	$6,9 \cdot 10^{-7}$

Atlikus jonizuojančiosios spinduliuotės dozės skaičiavimus nustatyta, kad vidutinis gyventojas VĮ Ignalinos AE regione 2015 m. patyrė tokias metines vidinės apšvitos dozes dėl įkvėptų radionuklidų: $0,0010 \mu\text{Sv}$ dėl ^7Be , $0,00155 \mu\text{Sv}$ dėl ^{137}Cs ir $17,8 \mu\text{Sv}$ dėl ^{210}Pb . Palyginimui, 2013 m. vidutinio gyventojų patirtos dozės VĮ Ignalinos AE aplinkoje ^7Be ir ^{210}Pb atveju buvo, atitinkamai, $0,0012 \mu\text{Sv}$ ir $22 \mu\text{Sv}$, o 2014 m., atitinkamai, $0,0013 \mu\text{Sv}$ ir $24,4 \mu\text{Sv}$, tuo tarpu ^{137}Cs poveikis išlieka nežymus. Panašios dozės, kurias sukėlė tie patys išmatuoti radionuklidai, buvo nustatytos ir 2012 metais. Tad galima teigti, kad dozės, kurios yra nulemtos ^7Be ir ^{137}Cs jonizuojančiosios spinduliuotės, išlieka daug mažesnės už apšvitą, sukliamą radioaktyviojo švino izotopo ^{210}Pb spinduliuotės – vertinimai rodo, kad šio radionuklido indėlis gali sudaryti apie 2% gyventojams leistinos metinės efektinės dozės, kuri yra lygi 1 mSv .

Nebuvimas mėginiuose kitų technogeninių radionuklidų (^{54}Mn , ^{60}Co , ^{131}I , ^{134}Cs) leidžia teigti, kad: 1) VĮ Ignalinos AE eksploatacijos nutraukimo metu radioaktyviosios aerosolinės priemaišos 2015 m. į aplinką nepateko; 2) radionuklidų srautai po galimų branduolinių incidentų pasaulyje į šiaurės rytų Lietuvą nebuvo pernešami. Vertinant globaliąją technogeninių radionuklidų pernašą galima prisiminti, kad po 2011 m. kovo mėn. įvykusios avarijos Fukušimos AE, Europa bei kiti žemynai patyrė poveikį, kuris buvo juntamas apie porą mėnesių [15-17]. Dėl šio poveikio Vilniuje ^{134}Cs ir ^{137}Cs tūrinis aktyvumas 2011 m. balandžio pradžioje siekė apie $900 \mu\text{Bq m}^{-3}$, o Vosyliškių stotyje kiekvieno šių nuklidų maksimali aktyvumo koncentracija buvo apie $400 \mu\text{Bq m}^{-3}$ [18].

II. Pirminiai stebėjimų duomenys Vosyliškių stotyje

Pirminiai stebėjimų duomenys, gauti Vosyliškių stotyje, apima laikotarpį nuo 2014 m. gruodžio 26 d. iki 2016 m. sausio 15 d., jie pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Gama spinduolių tūrinis aktyvumas pažemio ore Vosyliškėse.

Eil. Nr.	Mėginio Nr.	Ekspozicijos laikotarpis	Radionuklidų tūrinis aktyvumas, $\mu\text{Bq m}^{-3}$ (1σ)		
			^7Be	^{210}Pb	^{137}Cs
1	93275*	1226-20150111	1610±130	223±20	<1,5
2	93276	20150111-0125	1830±150	323±30	<1,5
3	93277	0125-0207	1700±140	551±50	2,3±0,2
4	93278	0207-0221	1310±105	235±22	<1,5
5	93279	0221-0307	1040±90	499±45	<1,5
6	93280*	0307-0326	925±74	180±17	<1,5
7	93281	0326-0406	5390±430	1250±115	7,1±0,6
8	93282	0406-0420	3640±290	425±39	<1,5
9	93283*	0420-0506	2190±175	227±21	<1,5
10	93284*	0506-0522	1880±150	166±15	<1,5
11	93285	0522-0605	4130±330	368±34	<1,5
12	93286	0605-0616	2640±210	200±18	<1,5
13	93287	0616-0627	1500±120	147±14	<1,5
14	93288*	0627-0712	4080±325	248±23	<1,5
15	93289*	0712-0728	2530±200	184±17	<1,5
16	93290*	0728-0813	3360±270	461±42	4,5±0,4
17	93291*	0813-0831	2140±170	190±18	<1,5
18	93292	0831-0914	399±32	28±3	<1,5
19	93293	0914-0925	1750±140	448±41	<1,5
20	93294	0925-1009	1620±130	297±27	<1,5
21	93295	1009-1023	1900±150	680±62	<1,5
22	93296	1023-1106	2200±175	652±59	<1,5
23	93297	1106-1119	908±73	235±22	<1,5
24	93298*	1119-1204	1250±100	141±13	<1,5
25	93299	1204-1218	892±72	284±26	<1,5
26	93300	1218-1230	683±55	91±9	<1,5
27	93301*	1230-20160115	1210±100	1020±92	<1,5

Pastaba: žvaigždute (*) pažymėti integruoti mėginiai.

IŠVADOS

1. Nuo 2014 m. gruodžio 26 d. iki 2016 m. sausio 15 d. Vosyliškių stotyje prie VĮ Ignalinos AE buvo atliekamas nenutrūkstamas oro mėginių rinkimas. Surinkti mėginiai išanalizuoti kalibruotu gama spektrometru su gryno germanio (HPGe) detektoriumi.
2. Per tyrimų laikotarpį pažemio atmosferos ore VĮ Ignalinos AE aplinkoje buvo stebėti gamtiniai radionuklidai ^7Be ir ^{210}Pb bei tris epizodus – technogeninės kilmės ^{137}Cs . Vidutinės ^7Be , ^{137}Cs ir ^{210}Pb tūrinio aktyvumo vertės buvo, atitinkamai: $2026 \mu\text{Bq m}^{-3}$, $4,6 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ir $361 \mu\text{Bq m}^{-3}$. Stebėtos radionuklidų koncentracijos atitinka jų globalųjį pasiskirstymą.
3. Vidutinis gyventojas VĮ Ignalinos AE aplinkoje 2015 m. patyrė šias metines apšvitos dozes dėl įkvepiamų su oru į plaučius radionuklidų: $0,0010 \mu\text{Sv}$ dėl ^7Be , $0,00155 \mu\text{Sv}$ dėl ^{137}Cs ir $17,8 \mu\text{Sv}$ dėl ^{210}Pb . Pastarojo radionuklido indėlis gali sudaryti apie 2% gyventojams leistinos metinės efektinės dozės, kuri yra lygi 1 mSv.
4. VĮ Ignalinos AE eksploatacijos nutraukimo metu 2015 m. radioaktyviosios aerozolinės priemaišos į aplinką nepateko, o radionuklidų srautai po galimų branduolinių incidentų pasaulyje į Lietuvą nebuvo pernešami.
5. Radionuklidų tūrinio aktyvumo pokyčiams VĮ Ignalinos AE aplinkoje 2012-2015 m. laikotarpiu būdingi nereikšmingi skirtumai, nerodantys esminių radionuklidų tūrinio aktyvumo kaitos tendencijų.

LITERATŪRA

1. Arnold D., Jagielak J., Kolb W., Pietruszewski A., Wershofen H., Zarucki R. (1994) Practical experience in and improvements to aerosol sampling for trace analysis of airborne radionuclides in ground level air. PTB-Ra-34, ISBN 3-89429-436-1.
2. LAND 36-2013. Normatyvinis dokumentas "Aplinkos objektų taršos radionuklidais matavimas – gama spektrometriniai mėginių tyrimai spektrometru, turinčiu germanio detektorių", Žin., 2013, Nr. 138-6964.
3. DEUTSCHER KALIBRIERDIENST (DKD), 17 February 1997. Page 2 of calibration certificate for Reference Solution No. FE101.
4. Debertin K., Helmer R. G. (1988) γ - and X-ray spectrometry with semiconductor detectors. North Holland, Amsterdam.
5. Debertin K., Schötzig U. (1979) Coincidence summing corrections in Ge(Li)-spectrometry at low source-to-detector distances. Nuclear Instruments and Methods, 158, 471-477.
6. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (1995). IEC 1452, International Standard, Nuclear Instrumentation – Measurement of gamma-ray emission rates of radionuclides – Calibration and use of germanium spectrometers.
7. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, ANALYTICAL QUALITY CONTROL SERVICES, Seibersdorf, 31 May 2002. Summary Report of the Proficiency Test for the Determination of Anthropogenic γ -emitting Radionuclides in a Mineral Matrix.
8. Gudelis A., Remeikis V., Plukis A., Lukauskas D. (2000) Efficiency calibration of HPGe detectors for measuring environmental samples. Environmental and Chemical Physics, 22, 3-4, 117-125.
9. SWEDISH RADIATION PROTECTION INSTITUTE, Stockholm, 28 July 1992. Results of intercalibration exercise of cesium isotopes in soil.
10. Glavič-Cindro D., Vodenik B., Korun M., Martinčič R. (2000) Quality control of gamma-ray spectrometry measurements. Applied Radiation and Isotopes, 52, 765-770.
11. Nikkinen M. (2001) The use of Synthetic Spectra to Test the Preparedness to Evaluate and Analyze Complex Gamma Spectra. NKS-43.
12. Gudelis A., Gorina I., Butkus P., Nedveckaitė T. (2014) A long-term performance evaluation of the gamma-ray activity measurement laboratory in CPST, Lithuania // Applied Radiation and Isotopes, 87, 439-442.
13. Birchall A., Bailey M. R., James A. C. (1991) LUDEP: a lung dose evaluation program. Radiat. Prot. Dosim., 38, 1, 167-174.
14. Jarvis N. S., Birchall A., James A. C., Bailey M. R., Dorrian M.-D. (1997) LUDEP 2.0: Personal Computer Program for Calculating Internal Doses Using the ICRP Publication 66 Respiratory Tract Model. NRPB-SR287.
15. Masson, O., Baeza, A., Bieringer, J., Brudecki, K., Bucci, S., Cappai, M., Carvalho, F. P., Connan, O., Cosma, C., Dalheimer, A., Didier, D., Depuydt, G., De Geer, L. E., De Vismes, A., Gini, L., Groppi, F., Gudnason, K., Gurriaran, R., Hainz, D., Halldorsson, O., Hammond, D., Hanley, O., Holey, K., Homoki, Zs., Ioannidou, A., Isajenko, K., Jankovic, M., Katzlberger, C., Kettunen, M., Kierepko, R., Kontro, R., Kwakman, P. J. M., Lecomte, M., Leon Vintro, L., Leppanen, A.-P., Lind, B., Lujanienė, G., Mc Ginnity, P., Mc Mahon, C., Mala, H.,

- Manenti, S., Manolopoulou, M., Mattila, A., Mairing, A., Mietelski, J. W., Møller, B., Nielsen, S. P., Nikolic, J., Overwater, R. M. W., Palsson, S. E., Papastefanou, C., Penev, I., Pham, M. K., Povinec, P. P., Ramebäck, H., Reis, M. C., Ringer, W., Rodriguez, A., Rulik, P., Saey, P. R. J., Samsonov, V., Schlosser, C., Sgorbati, G., Silobritiene, B. V., Söderström, C., Sogni, R., Solier, L., Sonck, M., Steinhauser, G., Steinkopff, T., Steinmann, P., Stoulos, S., Sykora, I., Todorovic, D., Tooloutalaie, N., Tositti, L., Tschiersch, J., Ugron, A., Vagena, E., Vargas, A., Wershofen, H., Zhukova, O. (2011) Tracking of airborne radionuclides from the damaged Fukushima Dai-Ichi nuclear reactors by European Networks. *Environ. Sci. Technol.* 45 (18), 7670-7677.
16. Gudelis A., Druteikienė R., Lujanienė G., Maceika E., Plukis A., Remeikis V. (2012) Radionuclides in the ground-level atmosphere in Vilnius, Lithuania, in March 2011, detected by gamma-ray spectrometry. *Journal of Environmental Radioactivity*, 109, 13-18.
 17. Lujanienė, G., Byčenkienė, S., Povinec, P. P., Gera, M. (2012) Radionuclides from the Fukushima accident in the air over Lithuania: measurement and modelling approaches. *Journal of Environmental Radioactivity*, 114, 71–80.
 18. Gudelis A., Gorina I., Nedveckaitė T., Kovař P., Dryak P., Šuran J. (2013) Activity measurement of gamma-ray emitters in aerosol filters exposed in Lithuania in March-April 2011. *Applied Radiation and Isotopes*, 81, 362-365.