

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

Gintaras Valušis

2017 m. vasario mėn. 27 d.

**MOKSLO TYRIMŲ PASLAUGŲ VIEŠOJO PIRKIMO-PARDAVIMO SUTARTIES**

**APLINKOS BEI ATMOSFEROS UŽTERŠTUMO RADIONUKLIDAIŠ  
LIETUVOJE ĮVERTINIMAS**

2016 m. liepos 5 d. sutartis: Nr. 28TP-2016-53

**ATASKAITA**

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

----Vilnius 2017----

## 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 2016 m. gegužės 5 d. sutartį Nr. 28TP-2016-53 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 24 filtrai, apimantys laikotarpį nuo 2015 m. gruodžio 30 d. iki 2017 m. sausio 11 d. Tyrimų metu pažemio atmosferos ore stebėti gamtiniai radionuklidai  $^7\text{Be}$  ir  $^{210}\text{Pb}$  bei penkis epizodus – technogeninės kilmės  $^{137}\text{Cs}$ , šio radionuklido aktyvumo koncentracija atitiko globalųjį pasiskirstymą. Kitų technogeninių radionuklidų nenustatyta, o stebėtos  $^7\text{Be}$  ir  $^{210}\text{Pb}$  aktyvumo koncentracijų vertės atitiko ilgamečių stebėjimų vertes.

## I. Radiologinės aplinkos įvertinimas VĮ Ignalinos AE aplinkoje

Vosyliškių stotyje buvo naudota didelio našumo orapūtė, užtikrinanti apie 1900 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> 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-2016-53 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 <sup>-1</sup>		Fizikos instituto duomenys, Bq kg <sup>-1</sup>		Santykinis poslinkis, %
	Vertė	Neapibrėžtis	Vertė	Neapibrėžtis	
<sup>54</sup> Mn	36,5	0,92	35,1	1,7	-3,8
<sup>57</sup> Co	33,9	0,87	32,0	2,2	-5,7
<sup>60</sup> Co	145	3,6	143,5	6,9	-0,8
<sup>65</sup> Zn	23,0	0,71	23,4	1,4	1,9
<sup>88</sup> Y	34,9	0,93	33,4	2,0	-4,2
<sup>134</sup> Cs	76	1,9	73,7	4,7	-2,6
<sup>137</sup> 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 (<sup>54</sup>Mn, <sup>60</sup>Co ir <sup>137</sup>Cs) – užtikrinant neapibrėžtį, ne didesnę kaip 5%. 2006-2011 m. dalyvauta kituose TATENA organizuotuose profesiniuose testuose. Pavyzdžiui, dalyvavimo IAEA-CU-

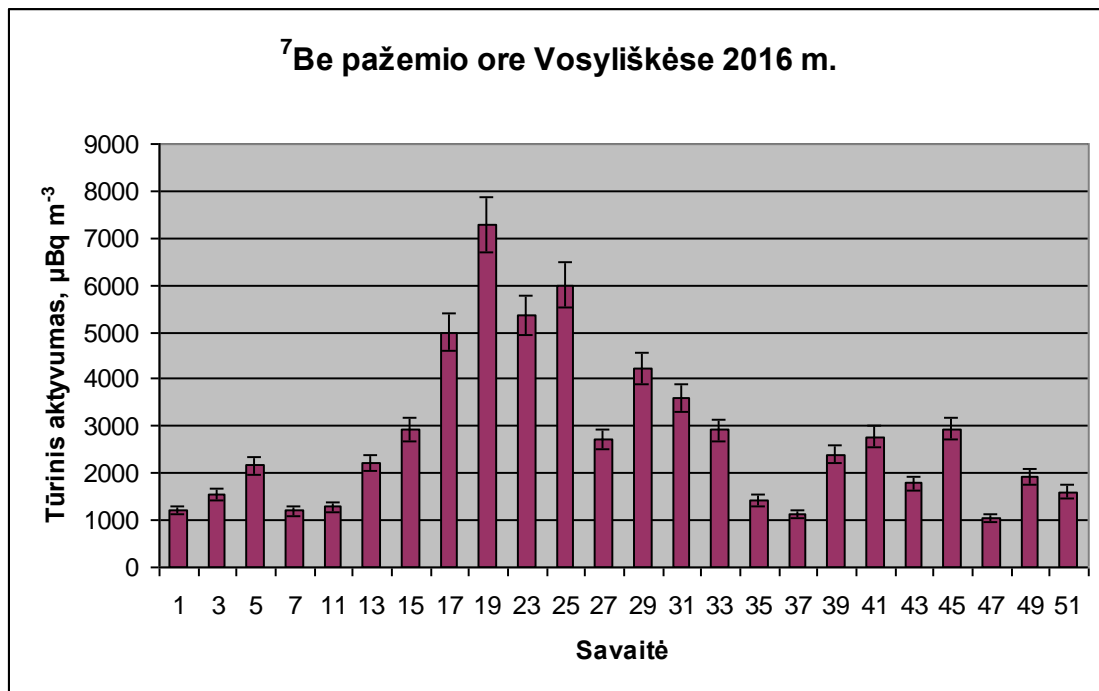
2006-03 teste metu buvo patvirtintas pakankamas matavimų tikslumas ( $^{137}\text{Cs}$ :  $\pm 3\%$ ,  $^{210}\text{Pb}$ :  $\pm 6\%$ , savitojo aktyvumo matavimai buvo atliekami grunto mėginyje). Po to, 2010-2014 m., matavimų sietis buvo užtikrinta su valstybiniu radionuklidų aktyvumo vieneto etalonu. 2015 m. dalyvauta EK instituto IRMM organizuotame tarplaboratoriniame palyginime „Cs-137 aktyvumo matavimas oro filtruose“. Laboratorijos rezultatas šiame palyginime yra labai geras, kadangi rezultato vertės poslinkis nuo pamatinės vertės neviršija 2,5%, esant standartinės neapibrėžties vertei 3,5% ( $k=1$ ).

2016 m. dalyvauta EK instituto IRMM organizuotame tarplaboratoriniame palyginime 2016 EMRP ENV/57MetroERM „Cs-137, Cs-134 ir I-131 aktyvumo matavimas oro filtruose“. Šio palyginimo galutinė ataskaita dar negauta, bet sprendžiant iš preliminariosios ataskaitos, Cs-137 ir Cs-134 aktyvumo matavimo rezultatai yra geri, o I-131 atveju gauto rezultato poslinkis nuo pamatinės vertės siekė 20%.

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  $4\pi$ , užtikrina maksimalią matavimo efektyvumo vertę. Darbe [8] nustatyta  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{60}\text{Co}$  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 dar 1992 metais, kai buvo naudojami Ge(Li) detektoriai [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 2016 m. Vosyliškėse nustatytas gamtinių gama spindulių – kosmogeninio  $^7\text{Be}$  ir terigeninio  $^{210}\text{Pb}$  (atitinkamai, 1 Pav. ir 2 Pav.), o taip pat – penkiuose mėginiuose – globaliai pasiskirsčiusio technogeninio dalijimosi produkto  $^{137}\text{Cs}$  tūrinis aktyvumas atmosferos aerozoliuose.



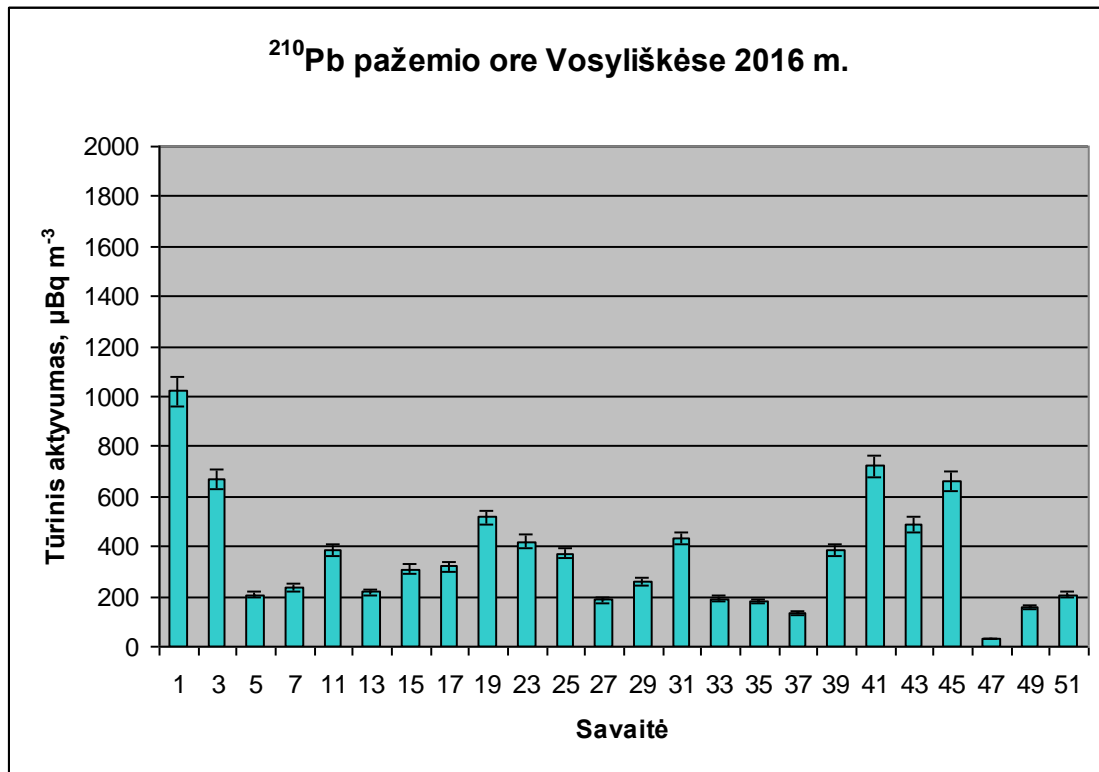
1 Pav. <sup>7</sup>Be tūrinis aktyvumas pažemio ore Vosyliškėse 2016 m.

1-2 Pav. pateikti duomenys rodo, kad stebėtų gamtinių radionuklidų (<sup>7</sup>Be ir <sup>210</sup>Pb) aktyvumo koncentracijos atitinka jų globalųjį pasiskirstymą. Lygindami 2016 m. išmatuotas radionuklidų tūrinio aktyvumo vidutines vertes su anksčiau nustatytomis (2012-2015 m. laikotarpiu) gausime tokius rezultatus: vidutinis metinis <sup>7</sup>Be tūrinis aktyvumas 2016 m. buvo  $2780 \mu\text{Bq m}^{-3}$  (standartinis nuokrypis  $1683 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ), o vidutinis metinis <sup>210</sup>Pb tūrinis aktyvumas buvo  $363 \mu\text{Bq m}^{-3}$  (standartinis nuokrypis  $228 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ), tuo tarpu 2012, 2013, 2014 ir 2015 metais <sup>7</sup>Be vidutinės tūrinio aktyvumo vertės buvo, atitinkamai,  $2617 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ,  $2508 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ,  $2730 \mu\text{Bq m}^{-3}$  ir  $2026 \mu\text{Bq m}^{-3}$ , o <sup>210</sup>Pb atveju – atitinkamai,  $507 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ,  $438 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ,  $495 \mu\text{Bq m}^{-3}$  ir  $361 \mu\text{Bq m}^{-3}$ .

<sup>7</sup>Be tūrinio aktyvumo VĮ Ignalinos AE aplinkoje kaitai 2016 m. yra būdingas aktyvumo koncentracijos pavasarinis maksimumas. Didžiausia <sup>7</sup>Be tūrinio aktyvumo vertė ( $7290 \pm 410$ )  $\mu\text{Bq m}^{-3}$  2016 m. buvo išmatuota metų 17-19 savaitėmis, laikotarpiu tarp balandžio 23 d. ir gegužės 13 d. Dar keturios vertės viršijo  $4000 \mu\text{Bq m}^{-3}$ , ir 6 atvejais iš 24 (25% visų atvejų) jos buvo mažesnės negu  $1500 \mu\text{Bq m}^{-3}$ . Palyginimui, galima pastebėti, kad 2015 m. Be-7 tūrinio aktyvumo vertės buvo mažesnės už  $1500 \mu\text{Bq m}^{-3}$  8 atvejais iš 27 (29,6% visų atvejų), 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).

$^{210}\text{Pb}$  tūrinis aktyvumas 2016 m. vieną kartą viršijo  $1000 \mu\text{Bq m}^{-3}$ , o maksimali vertė ( $1020 \pm 92$ )  $\mu\text{Bq m}^{-3}$  buvo išmatuota 1-ąją metų savaitę.  $^{210}\text{Pb}$  tūrinio aktyvumo vertės 2016 m. kito gana plačiame ruože – nuo ( $31 \pm 3$ )  $\mu\text{Bq m}^{-3}$  iki maksimalios vertės, tad metinio vidurkio vertei būdingas santykinai didelis standartinis nuokrypis 63%. Vertinant radiologinę padėtį galima laikyti, kad šie verčių svyravimai didelės įtakos nedaro, kadangi jie nerodo esminių kaitos tendencijų. Vidutinė  $^{210}\text{Pb}$  tūrinio aktyvumo vertė  $363 \mu\text{Bq m}^{-3}$  2016 m. buvo labai artima vidutinei vertei  $361 \mu\text{Bq m}^{-3}$ , nustatytai 2015 m. Verta pastebėti, kad  $^{210}\text{Pb}$  tūrinio aktyvumo mažėjimas lemia mažesnes gyventojų patiriamas dozes dėl vidinės apšvitos per kvėpavimo traktą.



2 Pav.  $^{210}\text{Pb}$  tūrinis aktyvumas pažemio ore Vosyliškėse 2016 m.

$^{137}\text{Cs}$  tūrinis aktyvumas buvo artimas aptikimo ribai (ji Vosyliškių stotyje šiam nuklidui yra  $1,5 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ), išskyrus penkis epizodus: 2016 m. sausio 29 d. – vasario 13 d., gegužės 13 – 27 d., gegužės 27 d. – birželio 10 d., spalio 21 d. – lapkričio 1 d. ir lapkričio 1 – 12 d. (3 lentelė). Šių epizodų metu išmatuoto  $^{137}\text{Cs}$  tūrinio aktyvumo vidutinė vertė yra  $2,62 \mu\text{Bq m}^{-3}$ , ji yra apie 40% mažesnė už 2015 m. išmatuotą

vidutinę vertę  $4,63 \mu\text{Bq m}^{-3}$ , kai buvo stebimi trys epizodai. Kiti technogeninės kilmės gama spinduliai 2016 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  $^{210}\text{Pb}$  spinduliuotė. Pastarąją aplinkybę galima paaiškinti papildomu dukterinių švino-210 skilimo produktų ( $^{210}\text{Bi}$  ir  $^{210}\text{Po}$ ) poveikiu.

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

2 lentelė. Stebėtų radionuklidų efektinės dozės koeficientai.

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

Atlikus jonizuojančiosios spinduliuotės dozės skaičiavimus nustatyta, kad vidutinis gyventojas VĮ Ignalinos AE regione 2016 m. patyrė tokias metines vidinės apšvitos dozes dėl įkvėptų radionuklidų:  $0,0013 \mu\text{Sv}$  dėl  $^7\text{Be}$ ,  $0,00088 \mu\text{Sv}$  dėl  $^{137}\text{Cs}$  ir  $17,9 \mu\text{Sv}$  dėl  $^{210}\text{Pb}$ . Palyginimui, 2013 m. vidutinio gyventojų patirtos dozės VĮ Ignalinos AE aplinkoje  $^7\text{Be}$  ir  $^{210}\text{Pb}$  atveju buvo, atitinkamai,  $0,0012 \mu\text{Sv}$  ir  $22 \mu\text{Sv}$ , 2014 m., atitinkamai,  $0,0013 \mu\text{Sv}$  ir  $24,4 \mu\text{Sv}$ , o 2015 m., atitinkamai,  $0,0010 \mu\text{Sv}$  ir  $17,8 \mu\text{Sv}$ , tuo tarpu  $^{137}\text{Cs}$  poveikis išliko nežymus. Panašios dozės, kurias sukėlė tie patys išmatuoti radionuklidai, buvo nustatytos ir 2012 metais. Tad galima teigti, kad dozės, kurios yra nulemtos  $^7\text{Be}$  ir  $^{137}\text{Cs}$  jonizuojančiosios spinduliuotės, išlieka daug mažesnės už apšvitą, sukliamą radioaktyviojo švino izotopo  $^{210}\text{Pb}$  spinduliuotės – vertinimai rodo, kad šio radionuklido indėlis gali sudaryti apie 2% gyventojams leistinos metinės efektinės dozės, kuri yra lygi  $1 \text{ mSv}$ .

Nebuvimas mėginiuose kitų technogeninių radionuklidų ( $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ) leidžia teigti, kad: 1) VĮ Ignalinos AE eksploatacijos nutraukimo metu radioaktyviosios aerzolinės priemaišos 2016 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  $^{134}\text{Cs}$  ir  $^{137}\text{Cs}$  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 2016 m. stebėjimų duomenys, gauti Vosyliškių stotyje, apima laikotarpį nuo 2015 m. gruodžio 30 d. iki 2017 m. sausio 11 d., jie pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Gama spinduolių tūrinis aktyvumas pažemio ore Vosyliškėse.

Eil. Nr.	Mėginio Nr.	Ekspozicijos laikotarpis	Radionuklidų tūrinis aktyvumas, $\mu\text{Bq m}^{-3}$ ( $1\sigma$ )		
			$^7\text{Be}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{137}\text{Cs}$
1	93301*	20151230-0115	1210±100	1020±92	<1,5
2	93302	20160115-0129	1550±86	667±61	<1,5
3	93303*	0129-0213	2160±119	208±19	2,7±0,3
4	93304	0213-0226	1200±66	234±22	<1,5
5	93305	0226-0310	1280±71	389±35	<1,5
6	93306*	0310-0326	2220±123	217±20	<1,5
7	93307	0326-0408	2930±162	309±28	<1,5
8	93308*	0408-0423	5000±275	322±29	<1,5
9	93309*	0423-0513	7290±410	516±47	<1,5
10	93310	0513-0527	5360±295	420±38	1,8±0,2
11	93311	0527-0610	5990±330	374±34	3,0±0,3
12	93312*	0610-0627	2720±150	187±17	<1,5
13	93313*	0627-0716	4210±232	262±24	<1,5
14	93314	0716-0730	3610±199	433±39	<1,5
15	93315*	0730-0825	2920±161	191±18	<1,5
16	93316*	0825-1003	1430±79	181±17	<1,5
17	93317	1003-1008	1140±63	130±12	<1,5
18	93318	1008-1021	2400±132	386±35	<1,5
19	93319	1021-1101	2780±153	722±65	3,5±0,3
20	93320	1101-1112	1790±99	490±45	2,1±0,2
21	93321	1112-1126	2940±162	664±60	<1,5
22	93322*	1126-1211	1050±58	31±3	<1,5
23	93323	1211-1223	1930±107	155±14	<1,5
24	93324*	1223-20170111	1610±89	206±19	<1,5

Pastaba: žvaigždute (\*) pažymėti integruoti mėginiai.

## IŠVADOS

1. Nuo 2015 m. gruodžio 30 d. iki 2017 m. sausio 11 d. Vosyliškių stotyje prie VĮ Ignalinos AE buvo atliekamas 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 – kosmogeninis  $^7\text{Be}$  ir terigeninis  $^{210}\text{Pb}$  bei penkis epizodus – technogeninės kilmės  $^{137}\text{Cs}$ . Vidutinės  $^7\text{Be}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{210}\text{Pb}$  tūrinio aktyvumo vertės buvo, atitinkamai:  $2780 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ,  $2,6 \mu\text{Bq m}^{-3}$  ir  $363 \mu\text{Bq m}^{-3}$ . Stebėtos radionuklidų koncentracijos atitinka jų globalųjį pasiskirstymą.
3. Vidutinis gyventojas VĮ Ignalinos AE aplinkoje 2016 m. patyrė šias metines apšvitosis dozes dėl įkvepiamų su oru į plaučius radionuklidų:  $0,0013 \mu\text{Sv}$  dėl  $^7\text{Be}$ ,  $0,00088 \mu\text{Sv}$  dėl  $^{137}\text{Cs}$  ir  $17,9 \mu\text{Sv}$  dėl  $^{210}\text{Pb}$ . Pastarojo radionuklido indėlis gali sudaryti apie 2% gyventojams leistinos metinės efektinės dozės, kuri yra lygi 1 mSv.
4. VĮ Ignalinos AE eksploatacijos nutraukimo metu 2016 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 2012-2016 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)  $\gamma$ - 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  $\gamma$ -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.