

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

Gintaras Valušis

2018 m. vasario mėn. 26 d.

MOKSLO TYRIMŲ PASLAUGŲ VIEŠOJO PIRKIMO-PARDAVIMO SUTARTIES

**APLINKOS BEI ATMOSFEROS UŽTERŠTUMO RADIONUKLIDAIŠ
LIETUVOJE ĮVERTINIMAS**

2017 m. birželio 14 d. sutartis: Nr. 28T-2017-55

ATASKAITA

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

-----Vilnius 2018-----

VYKDYTOJŲ SĄRAŠAS

vyr. m. d. Arūnas Gudelis, darbų vadovas

inž. Vladimir Abdulajev

inž. Paulius Butkus

inž. Lina Gaigalaitė

inž. Inga Gorina

inž. Gintautas Kandrotas

inž. Mindaugas Pranaitis

vyr. laborantė Vida Kandrotienė

sargė-budėtoja Alina Ševelinska

ANOTACIJA

Pagal 2017 m. birželio 14 d. sutartį Nr. 28T-2017-55 atliktas aplinkos bei atmosferos užterštumo radionuklidais įvertinimas Lietuvoje. Radionuklidų atmosferos aerozoliuose tūrinis aktyvumas buvo matuojamas VĮ Ignalinos AE aplinkoje, aerozoliniai filtrai eksponuoti 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 FPP-15 (Petrianovo) tipo filtrus. Vosyliškių stotyje eksponuoti 27 filtrai, apimantys laikotarpį nuo 2016 m. gruodžio 23 d. iki 2018 m. sausio 5 d. Tyrimų metu pažemio atmosferos ore stebėti gamtiniai radionuklidai ^7Be ir ^{210}Pb bei du epizodus – technogeninės kilmės ^{137}Cs , pastarojo radionuklido aktyvumo koncentracija atitiko jo globalųjį pasiskirstymą. Kitų technogeninių radionuklidų Vosyliškių stotyje nenustatyta, stebėtos ^7Be aktyvumo koncentracijų vertės atitiko ilgamečių stebėjimų vertes, o stebėta vidutinė ^{210}Pb tūrinio aktyvumo vertė buvo apie 2 kartus mažesnė už 2012-2016 metais stebėtą vidutinę vertę.

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. 28T-2017-55 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-

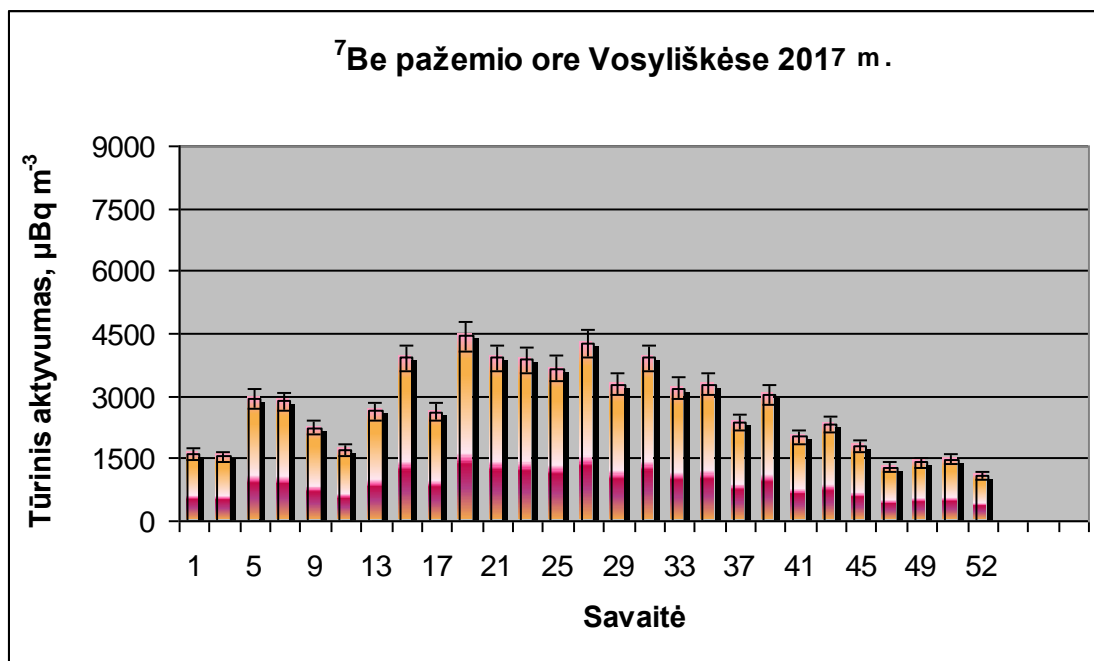
2006-03 teste metu buvo patvirtintas pakankamas matavimų tikslumas (^{137}Cs : $\pm 3\%$, ^{210}Pb : $\pm 6\%$, savitojo aktyvumo matavimai buvo atliekami grunto mėginyje). Po to, 2010-2014 m., matavimų sietis buvo užtikrinta su valstybiniu radionuklidų aktyvumo vieneto etalonu. 2015 m. dalyvauta EK 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 išsami ataskaita [8] gauta 2017 m. vasario mėn., iš joje pateiktos informacijos galima spręsti apie laboratorijos analitinių matavimų kokybę nustatant aukščiau minėtų gama spinduolių aktyvumą oro filtrų mėginiuose: Cs-137 ir Cs-134 aktyvumo matavimo rezultatai yra priimtini, poslinkis nuo pamatinės vertės sudarė, atitinkamai, 5% ir 8%, o I-131 atveju laboratorijos gauto rezultato poslinkis nuo pamatinės vertės siekė 20%, ir tokiam rezultatui pagerinti laboratorija privalėjo daryti korekciją dėl radionuklido skilimo santykinai ilgalaiko matavimo metu.

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 [9] 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 dar 1992 metais, kai buvo naudojami Ge(Li) detektoriai [10]. Šių procedūrų pagrindas – nuolatinis parametrų stebėjimas ir dalyvavimas tarptautiniuose bei kompetentingų Lietuvos institucijų organizuojamuose palyginamuosiuose matavimuose [11, 12]. Laboratorijos matavimo galimybių, panaudojant gama spektrometrus, įvertinimas aprašytas darbe [13].

Atlikus tyrimus 2017 m. Vosyliškėse nustatytas gamtinių gama spinduolių – kosmogeninio ^7Be ir terigeninio ^{210}Pb (atitinkamai, 1 Pav. ir 2 Pav.), o taip pat – dviejuose mėginiuose – globaliai pasiskirsčiusio technogeninio dalijimosi produkto ^{137}Cs tūrinis aktyvumas atmosferos aerozoliuose.



1 Pav. ⁷Be tūrinis aktyvumas pažemio ore Vosyliškėse 2017 m.

1-2 Pav. pateikti duomenys rodo, kad stebėtų gamtinių radionuklidų (⁷Be ir ²¹⁰Pb) aktyvumo koncentracijos atitinka jų globalųjį pasiskirstymą. Turėdami nuolatinių tyrimų rezultatus šiame taške pradedant 2012 m., galime palyginti 2017 m. išmatuotas radionuklidų tūrinio aktyvumo vidutines vertes su nustatytomis 2012-2016 m. laikotarpiu (2 lentelė).

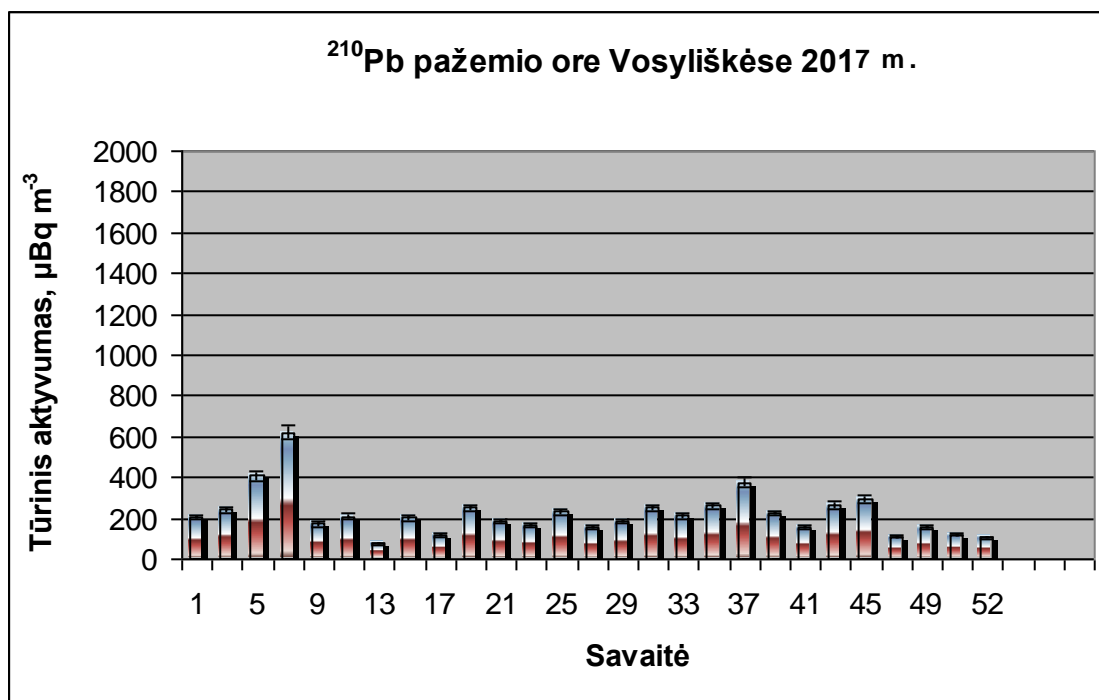
2 lentelė. Radionuklidų tūrinis aktyvumas 2012-2017 metais.

Metai	Vidutinis metinis tūrinis aktyvumas, μBq m ⁻³			
	⁷ Be		²¹⁰ Pb	
	Tūrinis aktyvumas	Standartinis nuokrypis	Tūrinis aktyvumas	Standartinis nuokrypis
2012	2617	930	507	373
2013	2508	1643	438	345
2014	2730	833	495	294
2015	2026	1191	361	278
2016	2780	1683	363	228
2017	2690	1007	221	110

Kasmet radionuklidų tūrinis aktyvumas kinta plačiame verčių ruože, maksimalios vertės gali būti net iki eilės didesnės už minimalias vertes. Tą parodo santykinai didelis standartinis nuokrypis nuo vidurkio, tiek ^7Be (nuo 31% 2014 m. iki 66% 2013 m.), tiek ir ^{210}Pb atveju (nuo 50% 2017 m. iki 79% 2013 m.). Lygindami vidutines vertes pastebime, kad ^7Be aktyvumo koncentracija pasižymi didesniu stabilumu (kinta nuo $2026 \mu\text{Bq m}^{-3}$ iki $2780 \mu\text{Bq m}^{-3}$), tuo tarpu ^{210}Pb vidutinės aktyvumo koncentracijos ekstremumai skiriasi 2,3 karto. Galima pastebėti, kad per paskutinius penkerius metus ^{210}Pb tūrinis aktyvumas pastebimai sumažėjo. Tai yra svarbus rezultatas radiologinio poveikio mažėjimo gyventojams požiūriu, kadangi būtent šis izotopas sukelia didžiausią apšvitą patekęs į žmogaus organizmą per kvėpavimo traktą.

Kaip ir anksčiau, ^7Be tūrinio aktyvumo VI Ignalinos AE aplinkoje kaitai 2017 m. yra būdingas aktyvumo koncentracijos pavasarinis maksimumas, tačiau jis nebuvo aštrus. Didžiausia ^7Be tūrinio aktyvumo vertė (4440 ± 230) $\mu\text{Bq m}^{-3}$ 2017 m. buvo išmatuota metų 18-19 savaitėmis, laikotarpiu tarp gegužės 1 d. ir gegužės 15 d. Tik du kartus per metus vertės viršijo $4000 \mu\text{Bq m}^{-3}$, tačiau, antra vertus, tik 4 atvejais iš 27 (15% visų atvejų) jos buvo mažesnės negu $1500 \mu\text{Bq m}^{-3}$ (plg. su 2016 m., kai tokių būta 6 kartus iš 24 (25% visų atvejų)). Tai rodo, kad 2017 m. ^7Be tūrinis aktyvumas nepasižymėjo ryškesniais ekstremumais, ką ir patvirtina santykinai nedidelė standartinio nuokrypio vertė 37%. Palyginimui, galima pastebėti, kad 2015 m. ^7Be 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}Pb tūrinis aktyvumas 2017 m. nesiekė $700 \mu\text{Bq m}^{-3}$, maksimali vertė (621 ± 56) $\mu\text{Bq m}^{-3}$ buvo išmatuota 6-ąją metų savaitę. ^{210}Pb tūrinio aktyvumo vertės 2017 m. kito ne tokia plačiame ruože kaip, pvz., 2016 m. – nuo (78 ± 8) $\mu\text{Bq m}^{-3}$ iki jau nurodytos maksimalios vertės, tad metinio vidurkio vertei būdingas rekordiška mažas standartinis nuokrypis 50%. Vidutinė ^{210}Pb tūrinio aktyvumo vertė $221 \mu\text{Bq m}^{-3}$ 2017 m. yra gerokai mažesnė už vidutines pastarųjų metų vertes, pasižymėjusias stabilumu: plg. su $363 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ir $361 \mu\text{Bq m}^{-3}$, nustatytas, atitinkamai, 2016 m. ir 2015 m. Tokio sumažėjimo priežastis galėtų būti gyventojų naudojamų kūrenimui energijos šaltinių kokybinės sudėties skirtumai arba kūrenimo bendrojo intensyvumo sumažėjimas. Kaip jau minėta, ^{210}Pb tūrinio aktyvumo mažėjimas lemia mažesnes gyventojų patiriamas dozes dėl vidinės apšvitos, todėl šie tyrimai yra aktualūs vertinant aplinkos kokybę.



2 Pav. ^{210}Pb tūrinis aktyvumas pažemio ore Vosyliškėse 2017 m.

^{137}Cs tūrinis aktyvumas buvo artimas aptikimo ribai arba žemiau jos (2017 m. aptikimo riba Vosyliškių stotyje šiam nuklidui buvo $1,1 \mu\text{Bq m}^{-3}$). Du kartus ^{137}Cs buvo nustatytas: 2017 m. sausio 22 d. – vasario 5 d. ir gegužės 26 – birželio 10 d. 2017 m. išmatuoto ^{137}Cs tūrinio aktyvumo vidutinė vertė yra $1,35 \mu\text{Bq m}^{-3}$, ji yra beveik du kartus mažesnė už 2016 m. išmatuotą vidutinę vertę $2,62 \mu\text{Bq m}^{-3}$, apskaičiuotą iš penkių stebėtų epizodų, ir 3,4 karto mažesnė už 2015 m. išmatuotą vidutinę ^{137}Cs tūrinio aktyvumo vertę $4,63 \mu\text{Bq m}^{-3}$, kai per metus buvo stebimi trys epizodai. Matome, kad 2015-2017 m. laikotarpiu stebėtas palaipsnis ^{137}Cs tūrinio aktyvumo mažėjimas, vedantis prie $1 \mu\text{Bq m}^{-3}$ eilės verčių, kurios nuo 2012 m., praėjus maždaug vieneriems metams po Fukušimos AE avarijos pasekmių Lietuvoje, stebimos ir kitose Europos šalyse, pvz., Danijoje [14]. Kiti technogeninės kilmės gama spinduliai tirtos vietovės pažemio atmosferoje 2017 m. nebuvo nustatyti.

Poveikis VI Ignalinos AE regiono gyventojams dėl radionuklidų, įkvepiamų į plaučius, buvo vertinamas pagal LUDEP modelį [15, 16]. 3 lentelėje pateiktos skaičiavimuose naudotos efektinės dozės koeficientų vertės. Kaip matyti iš 3 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 $1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

3 lentelė. Stebėtų radionuklidų efektinės dozės koeficientai.

Radionuklidas	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 2017 m. patyrė tokias metines vidinės apšvitos dozes dėl įkvėptų radionuklidų: $0,0013 \mu\text{Sv}$ dėl ^7Be , $0,00045 \mu\text{Sv}$ dėl ^{137}Cs ir $10,9 \mu\text{Sv}$ 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 $22 \mu\text{Sv}$, 2014 m., atitinkamai, $0,0013 \mu\text{Sv}$ ir $24,4 \mu\text{Sv}$, 2015 m., atitinkamai, $0,0010 \mu\text{Sv}$ ir $17,8 \mu\text{Sv}$, o 2016 m., atitinkamai, $0,0013 \mu\text{Sv}$ ir $17,9 \mu\text{Sv}$, tuo tarpu ^{137}Cs poveikis išliko nežymus. Dėl ryškaus ^{210}Pb tūrinio aktyvumo sumažėjimo 2017 m. reikšmingai sumažėjo ir gyventojų patiriama vidinės apšvitos efektinė dozė (plg. $10,9 \mu\text{Sv}$ 2017 m., $17,9 \mu\text{Sv}$ 2016 m. ir $24,4 \mu\text{Sv}$ 2014 m.). Tad galima teigti, kad dozės, kurios yra nulemtos ^7Be ir ^{137}Cs jonizuojančiosios spinduliuotės, išlieka daug mažesnės už apšvitą, sukeltą radioaktyviojo švino izotopo ^{210}Pb spinduliuotės – vertinimai rodo, kad šio radionuklido indėlis, apskaičiuotas vadovaujantis 2017 m. duomenimis, sumažėjo nuo 2% iki 1,1% gyventojams leistinos metinės efektinės dozės, kuri yra lygi 1 mSv .

Nebuvimas oro filtrų mėginiuose kitų technogeninių radionuklidų (^{54}Mn , ^{60}Co , ^{131}I , ^{134}Cs) leidžia teigti, kad: 1) VĮ Ignalinos AE eksploatacijos nutraukimo metu radioaktyviosios aerolinės priemaišos 2017 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 [17-19]. 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 $400 \mu\text{Bq m}^{-3}$ [20].

II. Pirminiai stebėjimų duomenys Vosyliškių stotyje

Pirminiai 2017 m. stebėjimų duomenys, gauti Vosyliškių stotyje, apima laikotarpį nuo 2016 m. gruodžio 23 d. iki 2018 m. sausio 5 d., jie pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. Gama spinduolių tūrinis aktyvumas pažemio ore Vosyliškėse.

Eil. Nr.	Mėginio Nr.	Ekspozicijos laikotarpis	Radionuklidų tūrinis aktyvumas, $\mu\text{Bq m}^{-3}$ ($k = 1$)		
			^7Be	^{210}Pb	^{137}Cs
1	93324*	20161223-0111	1610±89	206±19	<1,5
2	93325	20170111-0122	1540±80	241±22	<1,1
3	93326	0122-0205	2920±150	408±37	1,4±0,2
4	93327	0205-0219	2870±150	621±56	<1,1
5	93328	0219-0305	2250±120	172±16	<1,1
6	93329	0305-0318	1700±90	209±19	<1,1
7	93330	0318-0331	2640±140	78±8	<1,1
8	93331*	0331-0420	3910±200	201±19	<1,1
9	93332	0420-0501	2610±140	118±11	<1,1
10	93333	0501-0515	4440±230	252±23	<1,1
11	93334	0515-0526	3920±200	185±17	<1,1
12	93335*	0526-0610	3880±200	164±15	1,3±0,2
13	93336	0610-0624	3670±190	231±21	<1,1
14	93337	0624-0708	4250±220	156±15	<1,1
15	93338	0708-0721	3280±170	183±17	<1,1
16	93339*	0721-0806	3910±200	254±23	<1,1
17	93340	0806-0819	3180±160	211±19	<1,1
18	93341*	0819-0903	3280±170	260±24	<1,1
19	93342*	0903-0918	2350±120	376±34	<1,1
20	93343	0918-0929	3030±160	225±21	<1,1
21	93344*	0929-1014	2030±110	161±15	<1,1
22	93345	1014-1028	2330±120	265±24	<1,1
23	93346	1028-1111	1780±90	292±27	<1,1
24	93347	1111-1125	1300±70	112±11	<1,1
25	93348	1125-1209	1400±70	161±15	<1,1
26	93349	1209-1223	1470±80	122±11	<1,1
27	93350	1223-20180105	1080±60	106±10	<1,1

Pastaba: žvaigždute (*) pažymėti integruoti mėginiai.

IŠVADOS

1. Nuo 2016 m. gruodžio 23 d. iki 2018 m. sausio 5 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 VĮ Ignalinos AE aplinkos pažemio atmosferos ore buvo stebėti gamtiniai radionuklidai – kosmogeninis ^7Be ir terigeninis ^{210}Pb bei du epizodus – technogeninės kilmės dalijimosi produktas ^{137}Cs . Vidutinės ^7Be , ^{137}Cs ir ^{210}Pb tūrinio aktyvumo vertės buvo, atitinkamai: $2690 \mu\text{Bq m}^{-3}$, $1,35 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ir $221 \mu\text{Bq m}^{-3}$. Stebėtos radionuklidų koncentracijos atitinka jų globalųjį pasiskirstymą.
3. Vidutinis gyventojas VĮ Ignalinos AE aplinkoje 2017 m. patyrė šias metines apšvitos efektingas dozes dėl įkvepiamų su oru į plaučius radionuklidų: $0,0013 \mu\text{Sv}$ dėl ^7Be , $0,00045 \mu\text{Sv}$ dėl ^{137}Cs ir $10,9 \mu\text{Sv}$ dėl ^{210}Pb . Pastarojo radionuklido indėlis, gautas vadovaujantis 2017 m. tūrinio aktyvumo matavimo rezultatais, yra reikšmingai sumažėjęs ir gali sudaryti apie 1,1% gyventojams leistinos metinės efektingos dozės, kuri yra lygi 1 mSv.
4. VĮ Ignalinos AE eksploatacijos nutraukimo metu 2017 m. radioaktyviosios aerozolinės priemaišos į aplinką nepateko, o radionuklidų srautai po galimų branduolinių incidentų pasaulyje į šiaurės rytų Lietuvą nebuvo pernešami.
5. Radionuklidų tūrinio aktyvumo pokyčius VĮ Ignalinos AE aplinkoje 2012-2017 m. laikotarpiu nulėmė reikšmingas ^{210}Pb tūrinio aktyvumo sumažėjimas, kurio supratimui ir paaiškinimui būtina tęsti eksperimentinius pažemio atmosferos aerozolinės komponentės sudėties tyrimus.

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. Altitzoglou T., Malo P. (2017) Evaluation of the 2016 ENV57/MetroERM measurement comparison on simulated airborne particulates: ^{137}Cs , ^{134}Cs and ^{131}I in air filters; EUR 28431 EN; doi:10.2760/030337.
9. 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.
10. SWEDISH RADIATION PROTECTION INSTITUTE, Stockholm, 28 July 1992. Results of intercalibration exercise of cesium isotopes in soil.
11. Glavič-Cindro D., Vodenik B., Korun M., Martinčič R. (2000) Quality control of gamma-ray spectrometry measurements. Applied Radiation and Isotopes, 52, 765-770.
12. Nikkinen M. (2001) The use of Synthetic Spectra to Test the Preparedness to Evaluate and Analyze Complex Gamma Spectra. NKS-43.
13. 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.
14. Qiao J. (2017) Environmental radioactivity and tracer studies over the past sixty years in Denmark. In: Proceedings of the 4th International Conference on Environmental Radioactivity ENVIRA 2017, 29 May – 2 June 2017, Vilnius, Lithuania „Radionuclides as Tracers of Environmental Processes“, Eds. G. Lujanienė and P.P.Povinec, 87-88.
15. Birchall A., Bailey M. R., James A. C. (1991) LUDEP: a lung dose evaluation program. Radiat. Prot. Dosim., 38, 1, 167-174.

16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. Lujanienė, G., Byčėnkiėnė, 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.
20. 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.