

## RADIONUKLIDŲ PASISKIRSTYMAS IGNALINOS AE STABATIŠKĖS AIKŠTELĖS DIRVOŽEMYJE

Jevgenij Aliončik<sup>1</sup>, Ingrida Pliopaitė Bataitienė<sup>2</sup>, Donatas Butkus<sup>3</sup>

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

*El. paštas: <sup>2</sup>ingrida.pliopaitė@vgtu.lt; <sup>3</sup>donatas.butkus@vgtu.lt*

**Santrauka.** Ignalinos atominės elektrinės(AE) eksploatavimo ir jo nutraukimo metu susidariusioms radioaktyviosioms atliekoms, taip pat Ignalinos AE saugyklose esančioms atliekoms saugoti šalia AE esančioje Stabatiškės aikštelėje statoma trumpaamžių mažo ir vidutinio aktyvumo paviršinė radioaktyviųjų atliekų talpykla. Radioaktyviųjų atliekų talpykloje naudojami inžineriniai ir gamtiniai apsaugos barjerai, tačiau radionuklidai dėl natūralios ar priešlaikinės talpyklos inžinerinių barjerų degradacijos gali patekti į aplinką, pasklisti biosferoje ir lemti išorinę aplinkos objektų apšvitą. Siekiant įvertinti galimą radionuklidų migraciją ir sklaidą, eksploatuojant paviršinę radioaktyviųjų atliekų talpyklą, šiame darbe nagrinėjamos Stabatiškės aikštelės dirvožemio savybės (rūgštingumas, organinių medžiagų kiekis, drėgnis) ir nustatomas radionuklidų aktyvumas dirvožemyje prieš talpyklos įrengimą. Dirvožemio užtaršą sudaro gamtinės ir dirbtinės kilmės radionuklidai, todėl darbe nagrinėjamas dirbtinės kilmės (<sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co) ir gamtinės kilmės (<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K) radionuklidų kaupimasis ir vertikalus pasiskirstymas Stabatiškės aikštelės dirvožemyje.

**Reikšminiai žodžiai:** gamtinės ir dirbtinės kilmės radionuklidai, radionuklidų sklaida, radionuklidų savitasis aktyvumas, Stabatiškės aikštelė.

### Įvadas

Radioaktyviosios atliekos skleidžia jonizuojančiąją spinduliuotę, todėl jos turi būti tvarkomos taip, kad nekeltų grėsmės aplinkai ir žmonėms (Nedveckaitė 2004).

Šiuo metu Lietuvoje dviejose vietose numatytas radioaktyviųjų atliekų ilgalaikis saugojimas. Tai saugyklų kompleksas Ignalinos atominės elektrinės (IAE) teritorijoje ir mažo aktyvumo atliekų (MAA) saugykla Maišiagalėje.

Radioaktyviųjų atliekų saugyklos IAE teritorijoje – tai antžeminiai betoniniai pastatai. Keturi pastatai yra skirti kietosioms radioaktyviosioms atliekoms ir vienas – bitumizuotoms (sukietintoms) skystosioms atliekoms saugoti (Poškas 2000). Radiacinės saugos analizė parodė, kad radioaktyviosios atliekos joje negali būti ilgai laikomos, nes saugyklų konstrukcija nepakankamai patikima ir atliekos saugyklose nerūšiuotos (Sprendimas... 2010). 2002 m. Lietuvos Respublikos Vyriausybės patvirtintoje Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo strategijoje numatyta radioaktyviasias atliekas išimti iš esamų saugyklų, apdroti ir visam laikui laikyti naujai įrengtose požeminėse ir paviršinėse radioaktyviųjų atliekų talpyklose (Radioaktyviosios atliekos... 2006).

Trumpaamžių mažo ir vidutinio aktyvumo radioaktyviųjų atliekų laikymas paviršinėse talpyklose yra vienintelis aplinkosaugos požiūriu tinkamas jų tvarkymo būdas. Šitai sutvarkytos radioaktyviosios atliekos bus apsaugotos ne tik nuo neigiamo gamtinių veiksnių poveikio, bet ir nuo

neteisėto jų naudojimo, galimos terorizmo grėsmės (Radioaktyviosios atliekos 2006; Goldammer 2005).

Paviršinės radioaktyviųjų atliekų talpyklos daugelyje šalių naudojamos kietoms ir sukietintoms trumpaamžėms mažo ir vidutinio aktyvumo radioaktyviosioms atliekoms saugoti (Zuloga 2005).

Ignalinos atominės elektrinės eksploatavimo ir jo nutraukimo metu susidariusioms mažo ir vidutinio aktyvumo radioaktyviosioms atliekoms, taip pat IAE saugyklose esančioms radioaktyviosioms atliekoms laidoti numatoma pastatyti paviršinę talpyklą.

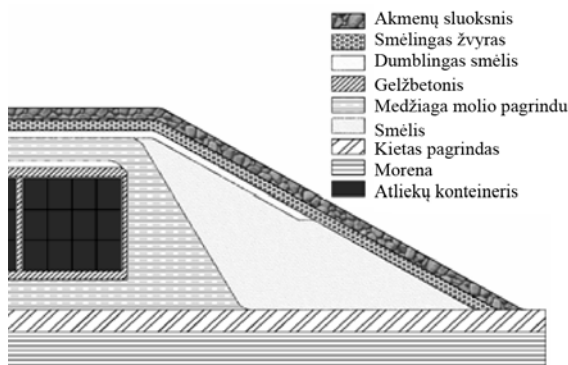
Saugyklos aikštelės parinkimo metu, atlikus geologinius inžinerinius tyrimus, buvo nustatyta, kad Šiaurės rytų Lietuvos teritorija, ypač Ignalinos AE apylinkės, yra tinkamiausias paviršinei talpyklai statyti. Buvo išskirti tokie palankūs veiksniai, kaip netolimas atstumas iki Ignalinos AE, palyginti palankios socialinės ir ekonominės sąlygos (mažas gyventojų tankumas, nedidelis žemės naudojimo ekonominis potencialas), paviršinei talpyklai tinkamos žemės paviršiaus ir geologinės sandaros ypatybės (Kilda *et al.* 2007; Paviršinio... 2007).

Stabatiškės aikštelėje statomos talpyklos koncepcija pasirinkta išanalizavus ir apibendrinus geriausią užsienio šalių praktiką – analogiškos talpyklos sėkmingai eksploatuojamos Prancūzijoje, Ispanijoje, Japonijoje, Slovakijoje (Goldammer 2005).

Įvertinus saugyklos privalumus ir trūkumus, Lietuvos gamtinių sąlygų ypatumus, atlikus poveikio aplinkai

vertinimą, pasirinktos pilkapijo tipo daugiabarjerės konstrukcijos (1 pav.) (Sprendimas... 2010).

Pagal numatytą koncepciją talpyklą sudarys betono sekcijos, įrengtos virš gruntinio vandens slūgsojimo lygio. Sukietintų radioaktyviųjų atliekų pakuotės bus kraunamos į šias sekcijas. Pakuotes saugos betono sluoksnis, virš kurio bus suformuota daugiasluoksnė, nelaidi vandeniui ir atspari atmosferos poveikiui danga. Betoninės sekcijos iš visų pusių sups vandeniui nelaidus sutankintas molis. Šio „pilkapijo“ paviršius bus apželdintas – augmenija saugos nuo erozijos ir kitų nepalankių veiksnių. Radionuklidams migruoti į aplinką neleis keli vienas kitą papildantys dirbtiniai ir gamtiniai barjerai: atliekų pakuočių medžiaga (betonas), tarpų tarp pakuočių užpildas, betoninės sekcijų sienos ir grindys, vandeniui nelaidaus molio sluoksnis bei natūralus gruntas (1 pav.). Taip įrengta saugykla bent 300 metų patikimai apsaugotų aplinką nuo galimos taršos. Per šį laikotarpį radioaktyviųjų atliekų aktyvumas natūraliai sumažėtų iki nepavojingo lygio. (Radioaktyviosios atliekos 2006).



**1 pav.** Pilkapijo tipo paviršinės radioaktyviųjų atliekų saugyklos konceptuali konstrukcija (Urbanavičienė 2007)

**Fig. 1.** Tumulus-type surface radioactive waste repository conceptual design

Nors radioaktyviųjų atliekų talpykloje naudojami inžineriniai ir gamtiniai barjerai yra patikimi, bet radionuklidai dėl natūralios ar priešlaikinės talpyklos inžinerinių barjerų degradacijos gali patekti į aplinką ir pasklisti aplinkoje, biosferoje ir sąlygoti išorinę aplinkos objektų apšvitą.

Įvairiose šalyse atlikta nemažai tyrimų, susijusių su radionuklidų aktyvumo koncentracijomis dirvožemiuose (Lubytė *et al.* 2007). Dirvožemis – vienas iš svarbiausių dalių radionuklidų migracijos grandinėje (Ренях *et al.* 2000). Galima vertikalią ir horizontalią radionuklidų pernašą. Svarbiausi vertikaliosios radionuklidų migracijos procesai yra difuzija, konvekcinė pernaša ir migracija augalų šaknų sistemomis (Butkus *et al.* 2004).

Dirbtinės kilmės radionuklidų aktyvumą Stabatiškės aikštelės dirvožemyje lemia branduolinio ginklo bandy-

mų ir Černobylio AE katastrofos metu likusi užtarša bei radionuklidų patekimas į aplinką iš Ignalinos AE.

Po Černobylio AE katastrofos Lietuva atsідūrė tiesioginiame oro masių kelyje iš Černobylio AE, todėl pirmiausia buvo užteršti pasienio su Baltarusija plotai, o balandžio 28–30 dienomis – Lietuvos vakarinė dalis (Butkus 2006).

1987 m. spektrometriniais matavimais iš lėktuvo nustatyta, kad  $^{137}\text{Cs}$  paviršinis aktyvumo tankis, susidaręs dėl sausųjų iškritų, kito nuo  $7,4 \cdot 10^2$  iki  $3,0 \cdot 10^4 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ . Nustatytos įvairaus dydžio užtaršos vietos – nuo kelių kvadratinų metrų iki kelių kvadratinų kilometrų (2 pav.) (Butkus 2006). Kai kuriose Lietuvos vietose  $^{137}\text{Cs}$  aktyvumo tankis dirvožemyje siekė  $20 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-2}$  (Šidiškienė 2001).

Remiantis 2 pav. matyti, kad pietinėje Lietuvos dalyje (Stabatiškės gyvenvietės teritorijoje)  $^{137}\text{Cs}$  paviršinis aktyvumas kinta nuo 1 iki  $4 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-2}$ .



**2 pav.**  $^{137}\text{Cs}$  paviršinio aktyvumo tankio ( $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ ) pasiskirstymas, nustatytas spektrometru iš lėktuvo 1987 m. (Butkus 2006)

**Fig. 2.**  $^{137}\text{Cs}$  surface activity density ( $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ ) distribution, the spectrometer from the plane (1987)

Nustatyta, kad Lietuvos dirvožemiuose 0–5 cm sluoksnyje 1991–1992 metais  $^{137}\text{Cs}$  kiekis vidutiniškai sudarė  $85 \pm 7 \%$  visų radionuklidų kiekio (Butkus, Konstantinova 2005).

1999–2000 metais buvo nustatyta, kad  $^{137}\text{Cs}$  paviršinis aktyvumo tankis, lyginant su 1992 m., vidutiniškai sumažėjo 23 % (Lujanienė 2006).

Radionuklidų aktyvumo koncentracija dirvožemyje priklauso nuo vietinės ir regioninės antropogeninės apkrovos (Lubytė *et al.* 2007). Norint įvertinti galimą radionuklidų migraciją ir sklaidą eksploatuojant paviršinę radioaktyviųjų atliekų talpyklą, svarbu žinoti foninį radionuklidų aktyvumą, esantį Stabatiškės aikštelės dirvožemyje, prieš talpyklos įrengimą.

Darbo tikslas – įvertinti radionuklidų savitąjį aktyvumą ir pasiskirstymą Stabatiškės aikštelės dirvožemyje.

### Metodika

Stabatiškės aikštelė yra prie Ignalinos atominės elektrinės, apie 1 km į vakarus nuo antrojo elektrinės reaktoriaus. Teritorija priklauso Visagino savivaldybei, o žemę naudoja Ignalinos atominė elektrinė. Didžiojoje buvusio Stabatiškės kaimo teritorijos dalyje dabar auga miškas ir krūmai. Vietovę labai paveikė žmonių veikla: statant ir eksploatuojant elektrinę, statybinėmis atliekomis užterštas miškas, sutrikdytas natūralus vandens nuotėkis, todėl kai kur susiformavo užpelkėję krūmynai ir telkšo vanduo (Radioaktyviosios atliekos 2006).

Aikštelėje yra nedidelės 5–7 m aukščio priesmėlio ir priemolio kalvos, apaugusios krūmais ir mišku. Centrinėje aikštelės dalyje yra dvi pailgos kalvos ir užpelkėję pažemėjimai aplink jas. Šiaurinėje aikštelės dalyje susiformavo du vandens telkiniai ir užpelkėjusi teritorija. Vakarinėje dalyje yra automobilinis kelias Ignalinos AE–Visaginas (3 pav.).

Radiometriniam tyrimui dirvožemio bandiniai buvo paimti iš vakarinės Stabatiškės aikštelės dalies. 3 pav. pažymėta vieta, kurioje buvo paimti dirvožemio mėginiai.

Dirvožemio ėminiams parinktas plokščios teritorijos nesuardyto dirvožemio plotas, kuriame nėra medžių, krūmų ar kitų objektų. Nuėmus žolinę dangą pasirinktoje vietoje buvo padaryta iškasa (4 pav.) ir paimti dirvožemio ėminiai.



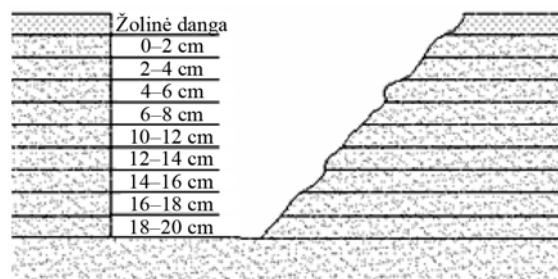
**3 pav.** Stabatiškės aikštelė: 1, 2 – vandens telkiniai (kūdra); 3 – užpelkėjusi teritorija; ■ – dirvožemio ėminių ėmimo vieta; – Stabatiškės aikštelės teritorija; — kelias Visaginas–IAE

**Fig. 3.** Stabatiškė site: ■ – soil sampling point; – Stabatiškės site area; — road Visaginas–IAE; 1, 2 – bodies of water (pond); 3 – wetland



**4 pav.** Dirvožemio ėminių ėmimo iškasa

**Fig. 4.** Soil sampling pit



**5 pav.** Dirvožemio ėminių ėmimo schema iškasoje

**Fig. 5.** Soil sampling scheme

Dirvožemio mėginiai buvo imami kastuvu 0–20 cm gylyje kas 2 cm. 5 pav. pateikiama dirvožemio ėminių ėmimo pagal dirvožemio gylius schema.

Surinkti ėminiai į laboratoriją buvo vežami polietilenuose maišeliuose ir ruošiami tyrimams: išrenkami akmenys ir augalų šaknys, džiovinami esant kambario temperatūrai (17–22 °C), sijojami atskiriant stambias organines priemaišas, sveriami prieš ir po džiovinimo.

Persijotas ir išdžiovintas dirvožemis supilamas į kiuvetes ir radionuklidų savitasis aktyvumas jose nustatomas gama spektrometru su puslaidininkiniu detektoriumi.

Dirvožemio mėginių radiometrinių tyrimų metodų apžvalga pateikta L. Svirplytės ir R. Ladygienės darbe (2008).

Radionuklidų savitasis aktyvumas nustatomas pagal formulę (LAND 36–2000):

$$A_a = \frac{S - S_f}{t - t_f} \cdot \frac{1}{\eta \cdot \varepsilon \cdot m}, \quad (1)$$

čia  $A_a$  – tiriamojo radionuklido savitasis aktyvumas bandinyje, Bq/kg;  $S$  – radionuklido smailės plotas, gautas matuojant radionuklidų aktyvumą bandinyje, imp;  $t$  – bandinio matavimo trukmė, s;  $S_f$  – smailės plotas, gautas matuojant foninę spinduliuotę, imp;  $t_f$  – foninės spinduliuotės matavimo trukmė, s;  $\eta$  – radionuklido skilimo energijos kvantinė išeiga;  $\varepsilon$  – spektrometrinės sistemos efektyvumas;  $m$  – mėginio masė, kg.

Radionuklidų migracija dirvožemyje priklauso nuo dirvodarinių uolienu tipo ir genetinių ypatybių, granulometrinės sudėties, organinės medžiagos kiekio, dirvožemio rūgštingumo (pH), antropogeninės apkrovos (vietinės ir regioninės) ir kitų dirvožemio cheminių bei fizikinių savybių (Lubytė *et al.* 2007). Todėl prieš atliekant radiometrinis tyrimus buvo nustatytas paimto dirvožemio tipas, rūgštingumas (pH), drėgnis ir jame esančių organinių medžiagų kiekis.

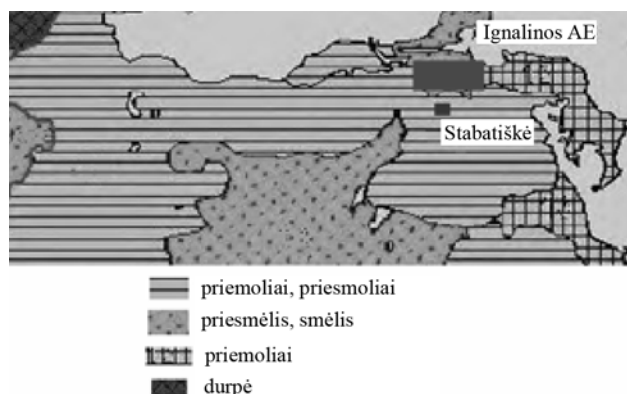
Dirvožemio drėgnis buvo nustatytas naudojant VISOCOLOR reagentų rinkinį, kurį sudaro: svarstyklės, plastikinis indelis, semtuvas.

Dirvožemio drėgmės kiekis  $A$  (%) nustatomas pagal formulę:

$$A = \frac{B - C}{B} \cdot 100, \quad (2)$$

čia  $B$  – drėgno dirvožemio mėginio masė, g;  $C$  – sauso dirvožemio mėginio masė, g.

Remiantis Lietuvos dirvožemių žemėlapiu nustatytas Stabatiškės aikštelėje vyraujantis dirvožemio tipas (6 pav.).



6 pav. Ignalinos AE rajono dirvožemių žemėlapis

Fig. 6. Ignalina NPP region soil map

Organinių medžiagų kiekis nustatomas kaitinant dirvožemį mufelinėje krosnyje 550 °C temperatūroje iki pastovios masės.

Dirvožemio išdeginatą masę ( $\Delta m$ , g) galima apskaičiuoti pagal formulę (Buivydaite, Motuzas 2000):

$$\Delta m = m_s - m_c. \quad (3)$$

Išdeginamos masės kiekis atitinka dirvožemio organinę masę ( $OM$ ) ir nustatomas pagal šią formulę (Buivydaite ir Motuzas 2000):

$$OM(\%) = \frac{\Delta m}{m_s} \cdot 100, \quad (4)$$

čia  $\Delta m$  – masės netekimas dirvožemį deginant, g;  $m_s$  – dirvožemio, išdžiovinto 105 °C temperatūroje, masė, g;  $m_c$  – dirvožemio, išdeginamo 550 °C temperatūroje, masė, g.

Stabatiškės aikštelės dirvožemio rūgštingumas (pH) nustatytas pH-metru (7 pav.).



7 pav. Rūgštingumo nustatymo prietaisas (MTW pH 538)

Fig. 7. Acidity determination device (MTW pH 538)

50 ml sijoto tiriamojo dirvožemio reaguoja su 125 ml 1 N KCl tirpalu. Plakant paruoštą bandinį vyksta mainų reakcija, kurios metu iš dirvožemio sorbuojamo komplekso išstumiamas  $H^+$  ir jo vietą užima  $K^+$  jonas. Kai ištrauka praskaidrėja, į ją įmerkiama pH-metro elektrodas ir matuojamas tirpalo pH (Motuzas, Buivydaite 2004).

### Rezultatai ir jų analizė

Naudojant VISOCOLOR reagentų rinkinį, svėrimo metodu nustatytas dirvožemyje esantis drėgmės kiekis (1 lentelė)

Dirvožemio drėgnis kinta nuo 3,2 % iki 12,7 %. Didžiausias drėgnis nustatytas paviršiniame dirvožemio sluoksnyje. Dirvožemio drėgnis sparčiau mažėja pagal dirvožemio gylį, vidutinis drėgnis 0–20 cm sluoksnyje sudaro 7,6 %. Reikšmingos įtakos drėgmės kiekiui dirvožemyje turėjo meteorologinės sąlygos, nes bandiniai paimti rudenį, kai buvo gausu kritulių.

D. Marčiulionienės (2005) darbe nustatyta, kad radionuklidų kaupimasis dirvožemyje priklauso nuo jų paskirstymo tarp dviejų pagrindinių dirvožemio fazių, t. y. kietosios ir skystosios fazės (dirvožemio tirpalo), kuriose vyksta adsorbcijos ir desorbcijos procesai.

Organinių medžiagų kiekis dirvožemyje kinta nuo 0,4 % iki 1,1 %. Didžiausias organinės medžiagos kiekis nustatytas paviršiniame dirvožemio sluoksnyje, o vidutinis drėgnis 0–20 cm sluoksnyje sudarė 0,7 %. Organinių medžiagų kiekiui dirvožemyje įtakos turi augalų ir žolių šaknys, todėl 0–14 cm gylyje organinių medžiagų kiekis yra didesnis nei viršutiniuose dirvožemio sluoksniuose.

Stabatiškės aikštelės dirvožemio rūgštingumas nustatytas potenciometrinio metodu naudojant pH-metrą (7 pav.). Išmatavus dirvožemio ištrauką nustatyta, kad

dirvožemio pH = 7,4, todėl jis priskiriamas silpnai šarminiai rūgštingumo grupei (pH = 7,1–8,0).

J. Lubytės ir kt. darbe (2007) nurodyta, kad neutraliuose dirvožemiuose radionuklidai migruoja lėčiau, tačiau, didėjant dirvožemio rūgštingumui, jų migracija spartėja. Kadangi dirvožemio pH = 7,4, galima teigti, kad dirvožemio rūgštingumas esminės įtakos radionuklidų migracijai neturi.

**1 lentelė.** Dirvožemio drėgnis ir organinių medžiagų kiekis

**Table 1.** Quantity of organic substances, humidity

Gylis, cm	Dirvožemyje esantis drėgmės kiekis <i>A</i> , %	Dirvožemyje esantis organinių medžiagų kiekis <i>OM</i> , %
0–2	12,7	1,1
2–4	10,1	1,0
4–6	8,2	0,7
6–8	11,5	1,0
8–10	7,2	1,0
10–12	8,3	0,9
12–14	4,2	0,9
14–16	6,3	0,4
16–18	3,2	0,5
18–20	4,4	0,5

Remiantis Lietuvos dirvožemių žemėlapiu nustatyta, kad Stabatiškės aikštelėje vyrauja priemolio ir priemolio dirvožemis (6 pav.). Smėlio kiekis dirvožemyje sudaro 55–70 %.

Pagal ankstesniame skyriuje aprašytą metodiką radiometriniais tyrimais nustatyti dirbtinės kilmės (<sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co) ir gamtinės kilmės (<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K) radionuklidų savitieji aktyvumai Stabatiškės aikštelės dirvožemio bandiniuose.

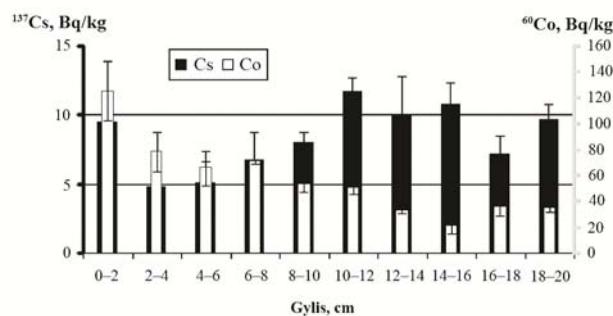
Dirbtinės kilmės radionuklidų <sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co savitieji aktyvumai dirvožemio 0–20 cm sluoksnyje pateikti 8 pav.

<sup>137</sup>Cs globaliai pateko į aplinką įvykus avarijai Černobylio AE, taip pat lokaliai – iš Ignalinos AE reaktoriaus.

Pagal 8 pav. pateiktus duomenis <sup>137</sup>Cs savitasis aktyvumas 0–20 cm dirvožemyje kinta nuo 4,8±0,5 Bq/kg iki 11,7±1,1 Bq/kg. Didžiausias <sup>137</sup>Cs savitasis aktyvumas nustatytas 10–12 cm dirvožemio sluoksniuose.

8 pav. pateiktas <sup>137</sup>Cs vertikalus pasiskirstymas dirvožemyje nėra eksponentiškai mažėjantis, kaip nurodoma kituose darbuose (Narayana *et al.* 1995). Galbūt tokį radionuklido pasiskirstymą lėmė vertikali radionuklidų migracija dirvožemyje po branduolinio ginklo bandymų, taip pat vietinio šaltinio – Ignalinos AE įtaka.

J. Lubytės ir kt. (2007) darbe nustatyta, kad <sup>137</sup>Cs surišimas dirvožemyje didžia dalimi priklauso nuo mineralinių ir organinių medžiagų kiekio santykio. Todėl paviršiniame dirvožemio sluoksnyje <sup>137</sup>Cs savitasis aktyvumas yra didesnis nei gilesniuose sluoksniuose.



**8 pav.** <sup>137</sup>Cs ir <sup>60</sup>Co savitieji aktyvumai 0–20 cm dirvožemio sluoksnyje

**Fig. 8.** <sup>137</sup>Cs and <sup>60</sup>Co specific activity of 0–20 cm soil layer

<sup>137</sup>Cs migracijos greitis smėlingame dirvožemyje yra didesnis nei priemolio ir priemolio dirvožemyje (Butkus ir Konstantinova 2005). Kadangi Stabatiškės aikštelės dirvožemyje vyrauja priemolio ir priemolio dirvožemis (6 pav.), <sup>137</sup>Cs sąveikauja su molio mineralais, fiksuojamas ir tampa neprieinamas biotai.

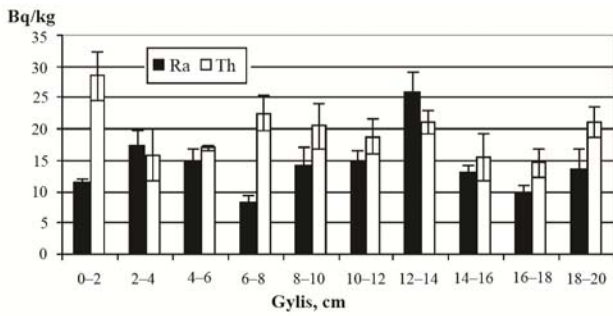
Didžiausias <sup>60</sup>Co savitasis aktyvumas nustatytas paviršiniame 0–2 cm dirvožemio sluoksniuose mėginyje (125,1±23,2 Bq/kg). Tikėtina, kad tokį <sup>60</sup>Co savitąjį aktyvumą nulėmė buvusi Ignalinos AE ūkinės buitinės kanalizacijos (ŪBK) avarija ir lokalus dirbtinės kilmės radionuklidų šaltinis – Ignalinos AE.

Įvykus Ignalinos AE ŪBK avarijai su išsiliejusiomis nuotekomis radionuklidais buvo užterštas dirvožemis. J. Mažeikos ir kt. (1996) duomenimis, užterštoje vietoje didžiausias <sup>60</sup>Co savitasis aktyvumas sudarė 1880 Bq/kg. D. Kipono darbe (2006) 1998 metais atlikti tyrimai parodė, kad dėl vertikalios ir horizontalios sklaidos šio radionuklido aktyvumas yra gerokai sumažėjęs – nustatytos 801±16 Bq/kg.

S. Stankus ir kt. (2006) atliko tyrimus Stabatiškės aikštelės dirvožemyje ir pateikė duomenis apie radionuklidų savituosius aktyvumus. Vidutinė <sup>60</sup>Co vertė, imant dirvožemį pagal gylį, sudarė 9,6±1,3 Bq/kg, o kanalizacijos trasos žemės paviršiaus įduboje – iki 152,6±5,0 Bq/kg.

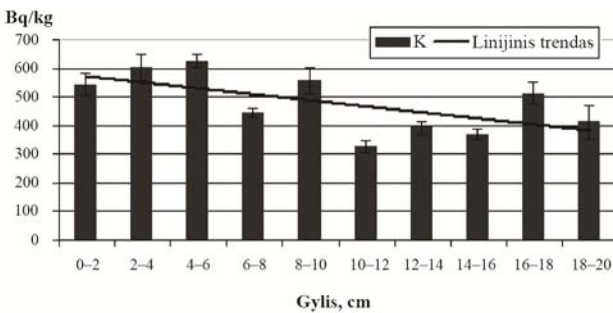
Pagal 8 pav. pateiktus duomenis <sup>60</sup>Co savitasis aktyvumas mažėja didėjant iškasos gyliui, o 14–16 cm gylyje nustatytas mažiausias radionuklido savitasis aktyvumas (20,7±5,9 Bq/kg). Tokį <sup>60</sup>Co savitojo aktyvumo pasiskirstymą nusako vertikali buvusios paviršinės užtaršos po Ignalinos AE ŪBK avarijos migracija ir galima lokalią užtaršą.

9,10 pav. pateikti gamtinės kilmės radionuklidų <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K savitieji aktyvumai dirvožemio 0–20 cm sluoksnyje.



9 pav.  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  savitieji aktyvumai 0–20 cm dirvožemio sluoksnyje

Fig. 9.  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$  specific activity of 0–20 cm soil layer



10 pav.  $^{40}\text{K}$  savitasis aktyvumas 0–20 cm dirvožemio sluoksnyje

Fig. 10.  $^{40}\text{K}$  specific activity of 0–20 cm soil layer

$^{226}\text{Ra}$  savitasis aktyvumas nustatomas apskaičiuojant  $^{214}\text{Pb}$  (295 keV ir 352 keV) ir  $^{214}\text{Bi}$  (609 keV) vidurkį.

Pagal 9 pav. duomenis matyti, kad  $^{226}\text{Ra}$  savitieji aktyvumai 0–20 cm dirvožemio sluoksnyje kinta nuo  $9,8 \pm 1,3$  iki  $25,9 \pm 3,1$  Bq/kg. Didžiausias radionuklido savitasis aktyvumas nustatytas 12–14 cm dirvožemio sluoksniu bandinyje. Tikėtina, kad tokį  $^{226}\text{Ra}$  savitojo aktyvumo pasiskirstymą lemia Stabatiškės aikštelės teritorijoje buvusios gyvenvietės likvidavimas, kai buvo sumaišyti dirvožemio paviršiniai sluoksniai, dėl kurio galėjo atsirasti dirvodarinių uolienų tipų iškasoje nevie nodumas.

$^{232}\text{Th}$  savitasis aktyvumas nustatomas apskaičiuojant  $^{228}\text{Ac}$  (911 keV) ir  $^{208}\text{Tl}$  (583 keV) vidurkį.

$^{232}\text{Th}$  savitasis aktyvumas 0–20 cm dirvožemyje kinta nuo  $14,6 \pm 2,2$  iki  $28,5 \pm 3,8$  Bq/kg. Nepaisant didžiausio radionuklido savitojo aktyvumo, kuris nustatytas 0–2 cm dirvožemio sluoksniu bandinyje, šio radionuklido savitieji aktyvumai 0–20 cm dirvožemio gylyje atitinka paklaidas.

Didžiausi  $^{40}\text{K}$  savitieji aktyvumai nustatyti dirvožemio bandiniuose, kurie buvo paimti iš 0–10 cm dirvožemio sluoksniu. Pagal 10 pav. pateiktus duomenis  $^{40}\text{K}$  savitieji aktyvumai 0–20 cm dirvožemio sluoksnyje kinta nuo  $328,5 \pm 20,7$  iki  $625,7 \pm 22$  Bq/kg, tačiau ryškėja savitojo aktyvumo mažėjimo pagal dirvožemio gylį tendencija, tai gali lemti skirtinga dirvožemio sudėtis iškasoje, nes daugiausia  $^{40}\text{K}$  yra granitinėse uolienose, o mažesni kiekiai – kalkinguose ir smėlinguose gruntuose (Narayana *et al.* 1995).

Gauti matavimo rezultatai lyginami su radionuklidų savitųjų aktyvumų vertėmis, nustatytomis VGTU Aplinkos apsaugos instituto (AAI), atliekant radiometrinius tyrimus Stabatiškės aikštelės dirvožemyje 2006 metais (Stankus *et al.* 2006) (2 lentelė).

2006 m. matuotų dirbtinės kilmės ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ) ir gamtinės kilmės ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) radionuklidų savitieji aktyvumai buvo palyginti 0–5 cm dirvožemio gylyje.

Darbe nagrinėjama matavimo vieta yra nutolusi į vakarus nuo VGTU AAI padarytos iškasos apie 40 m.

Nagrinėjant 2 lentelės duomenis galima pastebėti, kad lyginami gana artimų verčių rezultatai, o absoliutinės matavimo paklaidos daugeliu atvejų neviršija 20 %. Didžiausias matavimo rezultatų nesutapimas gautas matuojant  $^{226}\text{Ra}$  (50 %) ir  $^{40}\text{K}$  – iki 25 %. Kitų radionuklidų matavimo rezultatai skiriasi mažiau:  $^{232}\text{Th}$  – 14 %,  $^{137}\text{Cs}$  – 7 % ir  $^{60}\text{Co}$  – 18 %.

Vertinant tirtų radionuklidų savituosius aktyvumus dirvožemio iškasos bandiniuose matyti, kad didžiausia aktyvumo koncentracija yra paviršiniame (0–2 cm) ir 10–16 cm dirvožemio sluoksniuose.

2 lentelė. Radionuklidų savitųjų aktyvumų matavimų rezultatų palyginimas

Table 2. Specific type of radionuclide activity measurements comparison

Gylis, cm	Vidutinis savitasis aktyvumas, Bq/kg									
	$^{226}\text{Ra}$		$^{232}\text{Th}$		$^{40}\text{K}$		$^{137}\text{Cs}$		$^{60}\text{Co}$ (didžiausias)	
	Matavimo vieta	VGTU AAI	Matavimo vieta	VGTU AAI	Matavimo vieta	VGTU AAI	Matavimo vieta	VGTU AAI	Matavimo vieta	VGTU AAI
0–6	14,5±1,8	28,2±2,6	20,4±2,8	23,6±3,3	587±35	777±22	6,6±1,0	7,1±1,0	125,1±23	152,6±50



## Išvados

1. Nustatyta, kad Stabatiškės aikštelės drėgnis kinta nuo 3,2 iki 12,7 %. Didžiausias drėgnis nustatytas paviršiniame dirvožemio sluoksnyje, o vidutinis 0–20 cm sluoksnyje – 7,6 %.
2. Organinių medžiagų kiekis tirtame dirvožemyje kinta nuo 0,4 iki 1,1 %. Didžiausias organinės medžiagos kiekis buvo paviršiniame dirvožemio sluoksnyje, o vidutinis kiekis 0–20 cm sluoksnyje nustatytas 0,7 %.
3. Stabatiškės aikštelės dirvožemio rūgštingumas pH = 7,4, todėl dirvožemis priskiriamas silpnai šarminiai rūgštingumo grupei.
4.  $^{137}\text{Cs}$  savitasis aktyvumas 0–20 cm dirvožemyje kinta nuo  $4,8 \pm 0,5$  Bq/kg iki  $11,7 \pm 1,1$  Bq/kg. Didžiausias  $^{137}\text{Cs}$  savitasis aktyvumas nustatytas 10–12 cm dirvožemio sluoksniu bandinyje.
5.  $^{60}\text{Co}$  savitasis aktyvumas mažėja didėjant iškasos gyliui ir 14–16 cm gylyje nustatytas mažiausias radionuklido savitasis aktyvumas ( $20,7 \pm 5,9$  Bq/kg). Tikėtina, kad tokį  $^{60}\text{Co}$  savitąjį aktyvumą lemia Ignalinos AE ūkinės buitinės kanalizacijos avarija, kurios metu tiriamojame vietoje buvo užterštas dirvožemio paviršius.
6.  $^{226}\text{Ra}$  savitieji aktyvumai 0–20 cm dirvožemio sluoksnyje kinta nuo  $9,8 \pm 1,3$  iki  $25,9 \pm 3,1$  Bq/kg. Didžiausias radionuklido savitasis aktyvumas nustatytas 12–14 cm dirvožemio sluoksniu bandinyje.  $^{226}\text{Ra}$  savitojo aktyvumo pasiskirstymą lemia dirvodarinių uolienu tipų iškasoje nevienodumas.
7.  $^{232}\text{Th}$  savitasis aktyvumas 0–20 cm dirvožemyje kinta nuo  $14,6 \pm 2,2$  iki  $28,5 \pm 3,8$  Bq/kg. Neįvertinant didžiausio radionuklido savitojo aktyvumo, kuris nustatytas 0–2 cm dirvožemio sluoksniu bandinyje, šio radionuklido savitieji aktyvumai visame 0–20 cm dirvožemio gylyje atitinka paklaidas.
8.  $^{40}\text{K}$  savitieji aktyvumai 0–20 cm dirvožemio sluoksnyje kinta nuo  $328,5 \pm 20,7$  iki  $625,7 \pm 22$  Bq/kg, tačiau ryškėja savitojo aktyvumo mažėjimo pagal dirvožemio gylį tendencija.

## Literatūra

Buivydaite, V.; Motuzas, A. 2000. *Dirvožemio organinė medžiaga ir humusas. Geologijos pagrindų ir dirvotyros laboratoriniai darbai*.

Butkus, D. 2006. *Jonizuojančioji spinduliuotė aplinkoje*. Vilnius: Technika. 292 p.

Butkus, D.; Konstantinova, M. 2005. Studies of  $^{137}\text{Cs}$  transfer in soil – fern system, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 13(3): 97–102.

Butkus, D.; Beinaravičius, R.; Konstantinova, M. 2004. Radionuklidų kaupimosi medžiuose įvertinimas, *Sveikatos mokslai* 2: 12–15.

Goldammer, W. 2005. Demonstrating the safety of disposal facilities for mining and mineral processing waste, in *Proceedings of an International conference*, 271–273. Japan.

Kilda, R.; Poškas, P.; Ragaišis, V. 2007. Radionuklidų sklaidos iš numatomo Lietuvoje paviršinio radioaktyviųjų atliekų kapinyno vertinimas. 1. Galilaukės aikštelė, *Energetika* 2: 1–7.

Kiponas, D. 2006. *Radionuklidų akumuliacijos ekosistemų sanduose tyrimai branduolinės spektroskopijos metodu*: daktaro disertacija. Vilnius. 110 p.

LAND 36–2000. Aplinkos elementų užterštumo radionuklidais matavimas-mėginių gama spektrinė analizė spektrometru, turinčiu puslaidininkinį detektorių, *Valstybės žinios*, 101–3208.

Lubytė, J.; Antanaitis, A.; Staugaitis, G. 2007. Natūralių radionuklidų savitasis aktyvumas augalinėje produkcijoje, dirvožemyje ir trąšose, *Žemdirbystė* 94(2): 36–48.

Lujanienė, G. 2006. Kinetics of Cs sorption to clay minerals, *Lithuanian Journal of Physics* 46(3): 375–382.

Marčiulionienė, D.; Kiponas, D.; Lukšienė, B. 2005. Peculiarities of  $^{137}\text{Cs}$  activity distribution in the aquatic solution – solid phase – plant system, *Ekologija* 4: 20–27.

Mažeika, J. ir kt. 1996. Drūkšių ežero baseino dirvožemių radiogeocheminis kartografavimas, *Mokslinių ataskaitų rinkinys, Atominė energetika ir aplinka* 2: 482–496.

Motuzas, A. J.; Buivydaite, V. 1996. *Dirvotyra*. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidykla. 375 p.

Narayana, Y.; Radhakrishna, A. P.; Somashekarappa, H. M.; Karunakara, N.; Balakrishna, K. M.; Siddappa, K. 1995. Distribution of some Natural and Artificial Radionuclides in the Environment of Coastal Karnataka of South India, *Journal of Environmental Radioactivity* 28(2): 113–139. doi:10.1016/0265-931X(94)00054-Z

Nedveckaitė, T. 2004. *Radiacinė sauga Lietuvoje*. Vilnius: Kriventa. 240 p.

*Paviršinio radioaktyviųjų atliekų kapinyno įrengimo poveikio aplinkai vertinimo ataskaitos santrauka*. 2007. VĮ Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo agentūra (RATA). Vilnius: RATA. 14 p.

Poškas, P. 2000. Nauja mūsų šalies problema, *Mokslas ir gyvenimas* 8: 34–35.

*Radioaktyviosios atliekos. Vietų, tinkamų galutinai saugoti trumpaamžes radioaktyvias atliekas, parinkimas*. 2006. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo agentūra. Vilnius: RATA. 11 p.

*Sprendimas: palaidoti radioaktyvias atliekas*. VĮ Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo agentūra (RATA) [interaktyvus] 2010. [žiūrėta 2010 sausio 20 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.rata.lt/download.php?file>>.

Stankus, S.; Pliopaitė Bataitienė, I.; Bataitis, T.; Butkus, D. 2006. *Stabatiškės aikštelės dirvožemio bandinių radiometriniai tyrimai*. Mokslo darbo ataskaita. 50 p.

Svirplytė, L.; Ladygienė, R. 2008. Dirvožemio mėginių atrinkimo ir radiologinių tyrimų metodų apžvalga, iš *11-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusios Vilniuje 2008 m. balandžio 3 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 402–411.

Šidiškienė, D. 2001. The Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant. Preparedness for nuclear Accident in Lithuania, *Sveikatos aplinka* 2: 1–7.

Urbanavičienė, D. 2007. Radionuklidų pernašos iš cementuotųjų atliekų matricos į kapinyno artimąją zoną, iš *10-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusios Vilniuje 2007 m. kovo 29 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 28–32.

Zuloga, P. 2005. Design and development of near surface disposal facilities for radioactive waste, in *Proceedings of an International Conference*. Japan, 255–269.

Репях, С.; Катанаева, М.; Ковалев, А.; Руденко, Л. 2000. Изучение пространственной неоднородности накопления техногенных радионуклидов в компонентах лесного биогеоценоза Красноярского края, *Сельскохозяйственная радиэкология*: 51–56.

## **RADIONUCLIDE DISTRIBUTION IN THE SOIL ON THE STABATISHKES SITE IN THE VICINITY OF THE IGNALINA NPP**

**J. Aliončik, I. Pliopaitė Bataitienė, D. Butkus**

Abstract

A near surface repository for low and intermediate-level short-lived radioactive waste will be built on the Stabatiškės site in the vicinity of Ignalina NPP during decommissioning works. The reservoir can also be used for the waste stored in the temporary repositories of the Ignalina NPP. Engineering and nature protective barriers are used in the repository for radioactive waste, however, radionuclides can spread into the environment, extend in the biosphere and cause (define) the external power light exposure of the environment due to the natural and premature (prescheduled) degradation of the engineering barriers of the repository. The properties of the soil (acidity, quantity of organic substances, humidity) are being investigated for estimating the possible migration and dispersion of radionuclides. The activity of radionuclides in the soil is also estimated before building the repository.

Natural and artificial radionuclides make the pollution of the soil, and therefore the accumulation and vertical migration of artificial ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ) and natural ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) radionuclides are being researched in the soil on the Stabatiškės site.

**Keywords:** natural and artificial radionuclides, dispersion of radionuclides, original activity of radionuclides, Stabatiškės site.