

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Ingrida PLIOPAITĖ BATAITIENĖ

INVESTIGATION AND EVALUATION  
OF  $^{137}\text{Cs}$  AND  $^{90}\text{Sr}$  MIGRATION  
FROM SOIL TO CONIFER TREES

SUMMARY OF DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING (04T)



VILNIUS LEIDYKLA  
TECHNIKA 2011

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2006–2011.

Scientific Supervisor

**Prof Dr Habil Donatas BUTKUS** (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T).

Consultant

**Dr Rima LADYGIENĖ** (Radiation Protection Centre, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T).

**The dissertation is being defended at the Council of Scientific Field of Environmental Engineering at Vilnius Gediminas Technical University:**

Chairman

**Prof Dr Habil Pranas BALTRĖNAS** (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T).

Members:

**Assoc Prof Dr Edita BALTRĖNAITĖ** (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T),

**Prof Dr Jonas KLEIZA** (Vilnius Gediminas Technical University, Physical Sciences, Mathematics – 01P),

**Dr Habil Elena Danutė MARČIULIONIENĖ** (Nature Research Centre, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T),

**Prof Dr Habil Jonas MAŽEIKA** (Nature Research Centre, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T).

Opponents:

**Prof Dr Aloyzas GIRGŽDYS** (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T),

**Dr Benedikta LUKŠIENĖ** (State Scientific Research Institute Center for Physical Sciences and Technology, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Council of Scientific Field of Environmental Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at 1 p. m. on 27 May 2011.

Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.

Tel.: +370 5 274 4952, +370 5 274 4956; fax +370 5 270 0112;

e-mail: doktor@vgtu.lt

The summary of the doctoral dissertation was distributed on 26 April 2011.

A copy of the doctoral dissertation is available for review at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Ingrida PLIOPAITĖ BATAITIENĖ

$^{137}\text{Cs}$  IR  $^{90}\text{Sr}$  PERNAŠOS  
IŠ DIRVOŽEMIO  
Į SPYGLIUOČIUS MEDŽIUS  
TYRIMAS IR ĮVERTINIMAS

DAKTARO DISERTACIJOS SANTRAUKA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,  
APLINKOS INŽINERIJA IR KRAŠTOTVARKA (04T)



VILNIUS LEIDYKLA  
TECHNIKA 2011

Disertacija rengta 2006–2011 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.  
Mokslinis vadovas

**prof. habil. dr. Donatas BUTKUS** (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka – 04T).

Konsultantas

**dr. Rima LADYGIENĖ** (Radiacinės saugos centras, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka – 04T).

**Disertacija ginama Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos inžinerijos ir kraštotvarkos mokslo krypties taryboje:**

Pirmininkas

**prof. habil. dr. Pranas BALTRĖNAS** (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka – 04T).

Nariai:

**doc. dr. Edita BALTRĖNAITĖ** (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka – 04T),

**prof. dr. Jonas KLEIZA** (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, fiziniai mokslai, matematika – 01P),

**habil. dr. Elena Danutė MARČIULIONIENĖ** (Gamtos tyrimų centras, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka – 04T),

**prof. habil. dr. Jonas MAŽEIKA** (Gamtos tyrimų centras, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka – 04T).

Oponentai:

**prof. dr. Aloyzas GIRGŽDYS** (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka – 04T),

**dr. Benedikta LUKŠIENĖ** (Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Fizinių ir technologijos mokslų centras, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka – 04T).

Disertacija bus ginama viešame Aplinkos inžinerijos ir kraštotvarkos mokslo krypties tarybos posėdyje 2011 m. gegužės 27 d. 13 val. Vilniaus Gedimino technikos universiteto senato posėdžių salėje.

Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.

Tel.: (8 5) 274 4952, (8 5) 274 4956; faksas (8 5) 270 0112;

el. paštas doktor@vgtu.lt

Disertacijos santrauka išsiuntinėta 2011 m. balandžio 26 d.

Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva).

VGTU leidyklos „Technika“ 1871-M mokslo literatūros knyga.

## **Introduction**

### ***Formulation of the problem***

One of the major sources of ionizing radiation of artificial origin – the fallout of radioactive substances after the experimentation of nuclear weapon, accidents of nuclear objects, plants for processing nuclear fuel and operating nuclear power – stations. Some of radionuclides fall directly into the plants, the other part – into the soil and its water. Radionuclides get into the plants together with the atmospheric fallout over the superstructure and with soil solution along the root system, and get distributed there. Distribution nature of radionuclide depends on: the contamination level, type of prevailing soil, chemical and physical properties of radionuclide, chemical form of radionuclide, plant species and climatic conditions. Once the radionuclides get into the plant, they distribute within it, but their impact on the plants is not sufficiently known. Ionizing radiation can cause functional and morphological changes, radiation effects of cells, tissues, organs and whole body (biological effects, synergetic and antagonistic effects, genomic instability, and phenomenon of adaptation and ecotoxicologic effects).

$^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  are attributed to the radionuclides of artificial origin, which emerged in the environment due to the human activity. These radionuclides are characterized by a negative impact on the environment and its components.  $^{90}\text{Sr}$  is the  $\beta$  emitter;  $^{137}\text{Cs}$  is also  $\beta$  emitter, which is determined depending on the emitter  $\gamma$  beamed by the dissociation product  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ . Main threat to living bodies is associated with ionizing radiation of radionuclides which entered the body, its distribution within the body, and radiation doses which it causes.

Exploratory problem of this thesis is long term prognosis concerning the radioactive contamination of tree components of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  with regard to radioactive contamination of soil, soil structure and development characteristics of the tree.

### ***Topicality of the thesis***

During the assessment of former radioactive contamination of environment under distinctive activity of  $^{137}\text{Cs}$  accumulated in the annual flutes of the trees, the following radionuclide mobility between annual flutes was ignored; therefore some assessment inaccuracies of contamination for particular year may be present. These inaccuracies can be reduced through the assessment of former radioactive contamination of environment according to the results of accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  within the pine. The scholars who deal with distribution of radionuclides in dendrochronologic sequence: L. Richvanov, A. Ščeglov, J. Mažeika, D. Butkus, M. Buziny, M. Chigira, A. Kahawa, Y. Katayama, A. Kudo, M. Malek, N. Momoshima.

The literature contains some data on the distribution of ionizing radiation in plants. However, there is a lack of data on the effects of radionuclides on trees, impact on their resistance and potential diseases.  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  are long lived radionuclides of artificial origin ( $T_{1/2}(^{137}\text{Cs}) = 30$  yrs.,  $T_{1/2}(^{90}\text{Sr}) = 29$  yrs). The ionizing radiation spread by them determines irradiance of trees. Radiometric and dissymmetric studies on plants are carried out by E. D. Marčiulionienė, S. Geras'kin, T. G. Sazykina and others. There is a lack of models which would help to restore formed environmental contamination in accordance with the accumulation of radionuclides in the annual flutes of trees. To assess the change of irradiance of plants, it is necessary to determine the peculiarities of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  distribution in plants.

Having assessed former radioactive contamination of environment, its potential impact on human using elements of the environment, it is important to establish a link between the impulsive and inhibitory factors of distribution of radionuclides in soil and plants, and their migration from the soil into plants. During the analysis of radioactive contamination of plants, it is important to predicting long term redistribution of radionuclides in the system “soil–plant”, while evaluating the plant risk arising from the irradiation experienced due to ionizing radiation of radionuclides.

***The object of research is***  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{S}$  transfer of from the soil to the coniferous trees (*Pinus sylvestris* L., *Picea abies*, and *Picea omorica*).

***The aim of the work*** – to establish the specific activities of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in coniferous trees selected for the study and to assess the peculiarities of carry of these radionuclides within the system “soil–tree” and their distribution in the trees.

***The tasks of the work***

1. To carry out radiometric and radiochemical studies of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the components of trees.
2. To evaluate specific activities of exploratory radionuclides and their chemical analogues and concentrations in samples.
3. To evaluate the peculiarities of carry of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  from soil to trees and the distribution in them, according to the peculiarities of radioactive contamination of soil and plant development.
4. To model the migration of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the system “soil–tree”, amount of radionuclides accumulated in the plant, internal irradiation experienced by the plant.

### ***Methodology of research***

<sup>90</sup>Sr radiometric and radiochemical and <sup>137</sup>Cs radiometric determination methods in samples have been applied in the thesis, diffusion – based modelling techniques have been invoked to support the assessment of dissemination of these radionuclides, the internal irradiance has been measured by the accumulation method of radionuclides and software ERICA (Environmental Risk from Ionising Contaminants – Assessment and Management).

### ***Scientific novelty of research***

Scientific novelty of the thesis is described by an integrated approach to the redistribution of radioactive contamination in the environment and possible impact on the trees: it includes an experimental evaluation of specific activities, and the ratios for carry from the soil to the tree, simulation of specific activity of wood is carried out according to the FORM (Forest model) model, and irradiance experienced by the plants has been assessed under the program ERICA. Novelty of the thesis is shown by the assessment of accumulation and distribution features of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr within the trees according to the ratios of the discrimination of these radionuclides. The methodology for the assessment of specific activity of <sup>137</sup>Cs for distribution in pine wood has been developed depending on its specific activity in vertical layer of the soil under the tree crown.

### ***Practical value***

According to studies carried out, it would be better to assess the former radioactive contamination and its sources more precisely, influence of ionizing radiation radiated by radionuclides on the growth of tree. The possibility to assess the influence of ionizing radiation of radionuclides on human who uses the production of different types of trees would become available. Evaluation data on specific activity of radionuclides in pines damaged by some diseases and their comparison with the accumulation data within healthy pines may be an indicator in monitoring the state of pines.

### ***Thesis propositions***

1. Character of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr transfer from soil to tree is fated by amount of these radionuclides chemical analogs in soil. Peculiarities of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr radial mobility between annual rings of pines may be assessed by change of discrimination ratios in annual rings.
2. Average annual internal irradiation due to ionizing radiation of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr in investigated pines which grew in sandy loam soils is lower than average annual internal irradiation because of the ionizing radiation of natural radionuclide <sup>40</sup>K.

3. Regularities of  $^{137}\text{Cs}$  distribution in the pine wood may be assessed by the ratio of specific activities of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  within vertical layers of the soil.

***The scope of the scientific work.*** The scientific work consists of introduction of the dissertation, five chapters, conclusions, list of literature, list of author publications. The total scope of the dissertation – 137 pages, 63 pictures, 61 formulas, 6 tables.

### **1. $^{137}\text{Cs}$ and $^{90}\text{Sr}$ migration in system “soil–tree”**

Lithuanian soils were contaminated with  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  due to the nuclear explosions carried out and after TChNPS (Tchernobyl Nuclear Power Station) accident. After the accident at ChNPS,  $^{137}\text{Cs}$  contamination increased by 4.5 times on an average, while  $^{90}\text{Sr}$  contamination changed slightly – i. e. 1.1 times on an average.  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  contamination of soils in Lithuania is spotty in nature; most specific activities of these radionuclides are determined within 5–10 cm in soil layer. To model the dispersion of radionuclides in the soil, the equation solution of their diffusion in the soil has been used. For the assessment of the carries of radionuclides in the system “soil–tree”, the carry ratio is often used, the modelling of back – flow of radionuclides from the tree to the soil is also possible; the most appropriate model to assess the carry of  $^{137}\text{Cs}$  from soil to the conifer is the FORM.

Conifers are not only exposed to the contamination and climatic factors, but also to biological disturbances. The pine suffers most from the rots and fungal diseases. Synergy is characteristic of radiation effects, but there is little data on the impact of radionuclides and diseases of trees together.

Radionuclides get into the trees with fallout from the atmosphere on their superstructure and over the root system, together with nutrients.  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  distribution in the flutes of coniferous trees is different –  $^{137}\text{Cs}$  accumulate in growing tissues, and in addition to that, they migrate towards the core;  $^{90}\text{Sr}$  accumulate in aging tissues, and are stable in the flutes of trees. Ionizing radiation can cause radiation effects on plants which are not linearly proportional to the irradiation experienced. The ionizing irradiation disseminated by radionuclides having entered into a tree leads to the inner irradiance of the trees. There is a lack of data on complex accumulation of exploratory radionuclides in trees, assessment of their caused irradiance, and impact of other environmental components (soil properties, climatic conditions, biological touch of trees) and possibility to assess former contamination of the soil. There is a vast lack of data on the distribution of radionuclides in the annual flutes of the trees.



## **2. Methods of investigation $^{137}\text{Cs}$ , $^{90}\text{Sr}$ specific activity in tree elements, soil and migration in system “soil–tree”**

For study of specific activities of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the trees, were selected four pines (*Pinus sylvestris* L.) and two spruces (*Picea abies*, *Picea omorica*). Their choice was made taking into account the areas of pollution by artificial radionuclides  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$ , and an additional factor when choosing the pines – features of outside biological touch.

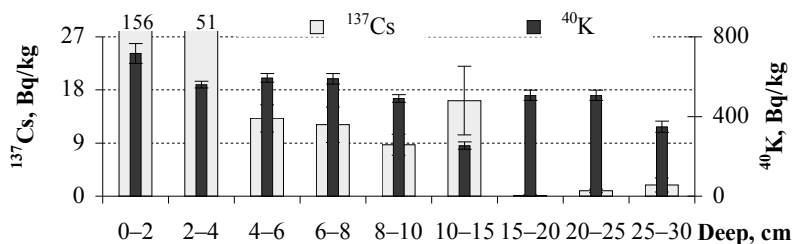
For the study of specific activity of  $^{137}\text{Cs}$ , the methodology which is governed by standard act LAND 36-2000 “Measurements of contamination of environmental elements with radionuclides – spectral gamma analysis of the samples with spectrometer containing a semiconductor detector” has been selected. The methodology of radiometric study for the determination of the specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  in the samples has been selected in accordance with standard act “LAND 64-2005, Determination of radioactive strontium-90 in the samples of environmental elements”. Efficiency of measurement devices for the specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  has been determined using standard sources.

For modelling of migration of radionuclides  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  of artificial origin from the soil to the wood, FORM model proposed by the International Agency of Atomic Energy has been selected which is most suitable for the distribution of radionuclides in coniferous trees, and using the software ERICA, the risks of tree irradiance by ionizing radiation has been assessed. Formulas to determine the internal irradiance of trees throughout the growing period have been selected and adapted.

Formulas for evaluation of accumulative  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  activity and its change within the pine wood have been composed and applied practically, depending on the growth rate of biomass and radioactive fragmentation of radionuclides.

## **3. Research results of $^{137}\text{Cs}$ and $^{90}\text{Sr}$ distribution in conifer trees**

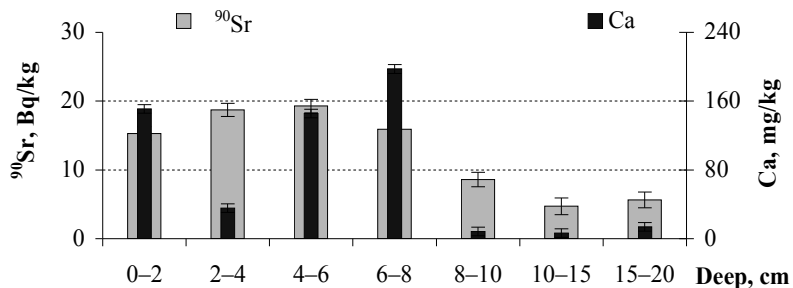
**Specific activities of  $^{137}\text{Cs}$  in soil** according to different depths decrease exponentially, but in depth of 10–15 cm, increase of specific activity of radionuclides has been determined, which is related to radioactive contamination of soil and influence of tree roots. The specific activity of  $^{40}\text{K}$  varies uniformly in the soil, i.e. specific activities determined are close to average ones, except for the depth of 10–15 cm where the specific activity of radionuclide decreases due to the potential impact of tree roots and the competitiveness of  $^{137}\text{Cs}$ . Figure 1 shows the change of specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  in the one of investigated growing place (Paaliosë) soil.



**Fig. 1.**  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  specific activity in Paaliosè growing place soil

Specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in the habitat of Paaliosè soil in the depth of 0–30 cm varies exponentially from  $155.6 \pm 20.3$  Bq/kg to  $0.9 \pm 1.2$  Bq/kg. Upper soil layers are contaminated most. Their pollution is due to fallout from atmosphere and the secondary pollution – after the fall of foliage and self – cleaning branches. Pollution of deeper layers is induced by vertical migration of radionuclides and mobility of radionuclides between the soil and root system. Change of specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  chemical analogue ( $^{40}\text{K}$ ) in soil samples according to sampling depth is more gradual than those of  $^{137}\text{Cs}$ . However, higher specific activity of this radionuclide has been determined within the upper layers of soil as well. Maybe this is related to the influence of tree root system on the nature of distribution of  $^{40}\text{K}$  in the soil as potassium is one of the major nutrient elements of the plant. Striking reduction of the specific activity of the following radionuclide in soil is observed at the depth of 10–15 cm. According to literature, a significant part of the roots of pine tree is located at this depth – about 22 %. Average specific activity of  $^{40}\text{K}$  in the soil depth of 0–30 cm is  $456 \pm 26$  Bq/kg.

Figure 2 shows the change of specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  and Ca in the one of investigated growing place (Paaliosè) soil.

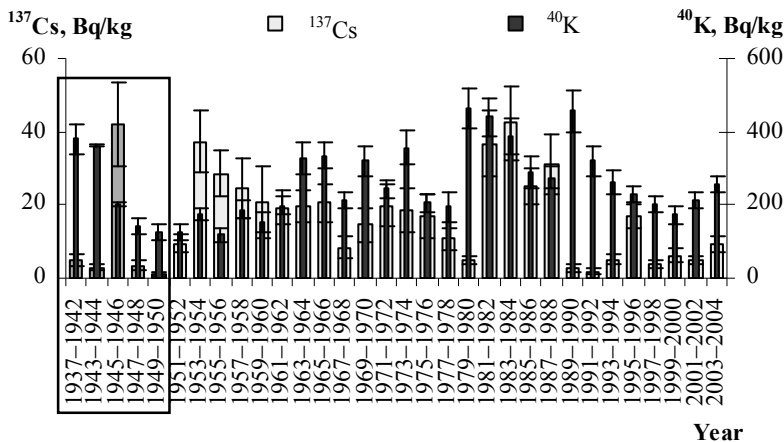


**Fig. 2.**  $^{90}\text{Sr}$  specific activity and total Ca concentration in Paaliosè growing place soil

Maximum specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  has been found in the depth of 2–8 cm, in deeper soil layers, specific activity of this radionuclide decreases exponentially – the results are reflected in the vertical migration processes of the following radionuclide. Maximum concentration of  $^{90}\text{Sr}$  chemical analogue Ca has been determined in the soil depth of up to 8 cm, the concentration of the element in other layers is on average five times less – the amount of the roots of herbaceous plants which are a source of calcium in this layer is the highest.

In Scientific literature is new that the main ways of radionuclides intake to trees are by the atmosphere fallout and with nutrients from soil. Also the radionuclides can migrate between the annuals rings – i. e. from external to central annual rings. These radionuclides peculiarity can be the cause of artificial radionuclides specific activity results then is determinate the specific activity in annual rings, which is formed before the nuclear tests (1945 y.).

**The change of specific activity of radionuclides ( $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$ ) of artificial origin in the annual rings** reflects the former radioactive contamination of habitats – during nuclear bomb periods, ChNPS accident (only  $^{137}\text{Cs}$ ), and access of secondary radionuclides through the root system. The change of chemical analogues of specific activity ( $^{40}\text{K}$ ) and concentration (Ca) in the flutes of trees are more sustainable than of their radioactive analogues; possibly, it was due to the peculiarities of biological development of the tree. Figure 3 shows the change of specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  and the amount of their chemical analogues in the one of investigated pine wood (Paaliosè habitat).



a)

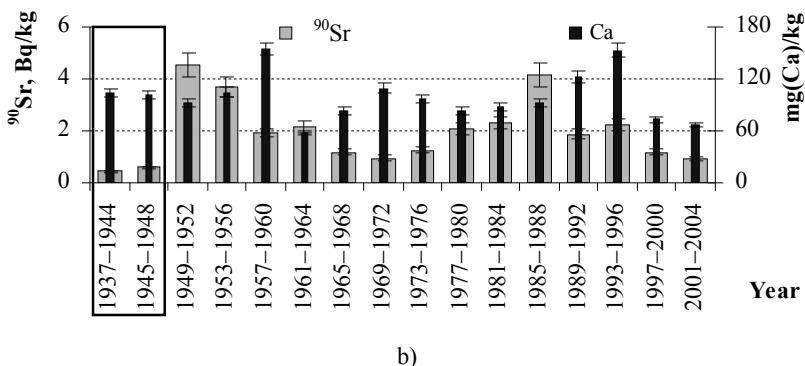


Fig. 3. <sup>137</sup>Cs, <sup>40</sup>K (a) and <sup>90</sup>Sr (b) specific activity and total Ca (b) in pinewood, □ – results of radionuclide radial migration

The changes of <sup>40</sup>K, Ca content in the wood are more sustainable than of their radioactive analogues. This division is determined by the fact that radionuclides of artificial origin appear in the environment as a consequence of human activities (pollution), and stable analogues exist in the natural environment, and thus their access into the plant is more uniform, but depends on the accumulation of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr in the tree.

Minimum specific activities have been determined in the Paaliosë growing place: wood ( $1.5 \pm 0.2$ ) Bq/kg, needles ( $2.2 \pm 0.5$ ) Bq/kg, branches ( $2.5 \pm 0.4$ ) Bq/kg. Ca concentrations in components of pine are similar ( $111.3 \pm 7.1$ ) mg (Ca)/kg, except for branches ( $49.1 \pm 2.3$ ) mg (Ca)/kg.

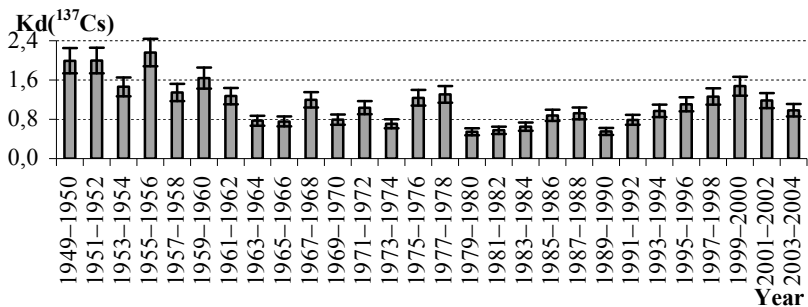
Having studied 33 wood samples (in 3 repetitions), **fungi colonies** grew in 27 specimens. According to the micro – morphologic signs of mycelium, it is likely that the mycelium agent of wood rot – *Heterobasidion annosum* – has been abstracted from only one sample – in 59–60 years old flute. The augment change of pine wood touched by fungus diseases and rots is non – linear, especially in years when specific activity of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr determined in flutes are close to or higher than average.

Was investigated the radionuclides specific activity **in other trees elements**. The highest amount of carry of radionuclides (<sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr) of artificial origin from the soil to bark and roots of pine has been determined, while the lowest – into the wood. Maximum carry rates from the soil to the pine wood are a <sup>40</sup>K ( $0.017 \text{ m}^2/\text{kg}$ ), while the lowest – <sup>90</sup>Sr ( $0.006 \text{ m}^2/\text{kg}$ ).

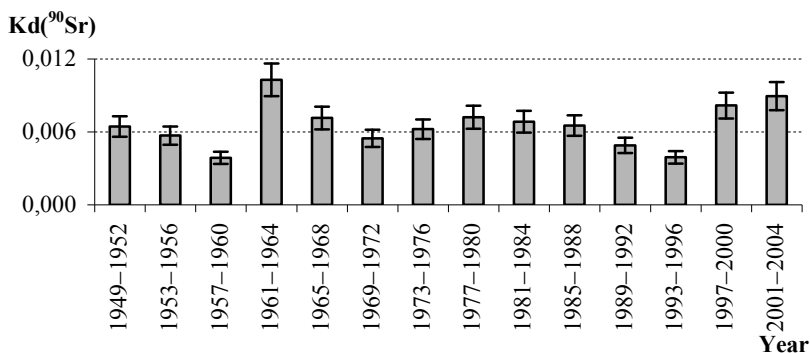
The biggest difference between the **discrimination ratios** describing the competitiveness of radionuclides (<sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr) and chemical analogues (<sup>40</sup>K and

Ca respectively) has been determined through the evaluation of carry from the soil to pine bark.

Figure 4 shows the results of multi-year change of discrimination ratios of investigated radionuclides in pine annual rings.



a)



b)

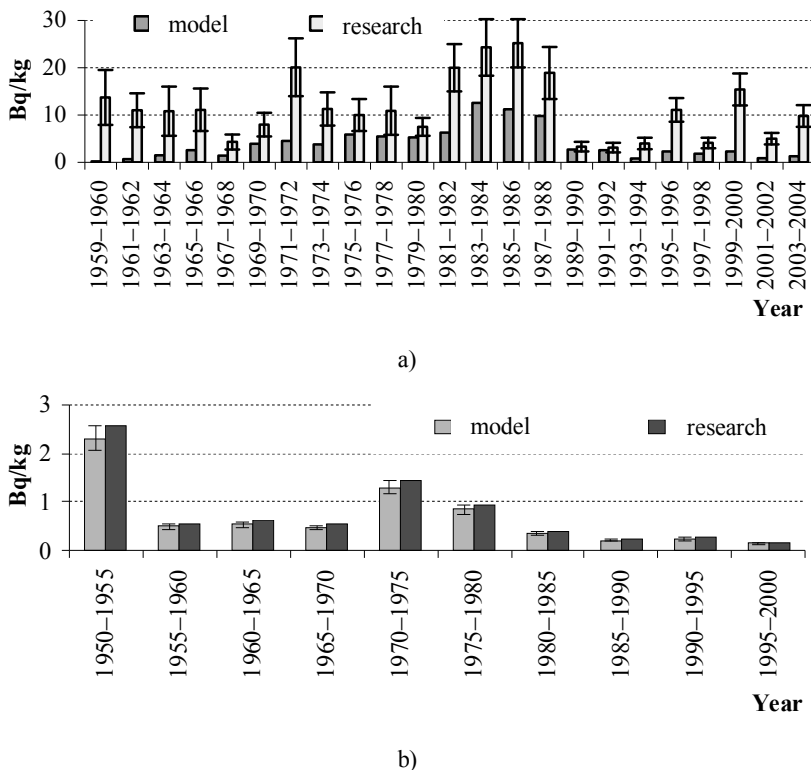
**Fig. 4.** Perennial fluctuation of <sup>137</sup>Cs (a), <sup>90</sup>Sr (b) discrimination coefficients in Scots pine wood from Paaliosè growing place

The change of discrimination factor of <sup>137</sup>Cs in the annual rings reflects the feature of radionuclide to migrate toward the heart radially. <sup>90</sup>Sr discrimination ratios are in three sets lower than the ratios of <sup>137</sup>Cs discrimination. Differences in the distribution of discrimination ratios in annual flutes located closer to the core have been observed. <sup>137</sup>Cs discrimination ratios toward the heart are increasing; and they are from 1.2 to 1.9 times higher than the average (1.1); and of <sup>90</sup>Sr – remain

close to the average (0.006). Such distribution of discrimination ratios in the rings located closer to the heart supports the idea that  $^{137}\text{Cs}$  are radially mobile in gymnospermous ones which conifers are attributed to, and  $^{90}\text{Sr}$  mobility is so low that it can be considered to be stable in the conifers.

#### 4. Modelling of radionuclides migration in system “soil–conifer tree”

Dispersion of radionuclides **in the soil** has been evaluated using the solution of equation of the directional carry and diffusion. For the modelling of the carry of radionuclides from the soil to pine wood, the model FORM has been chosen. Figure 5 shows the results on simulation and studies of the dispersion of  $^{137}\text{Cs}$  (a) and  $^{90}\text{Sr}$  (b) in the wood.



**Fig. 5.** Fluctuation of  $^{137}\text{Cs}$  activity (Bq/kg) in soil different depth (a) and specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  (b) and  $^{90}\text{Sr}$  (c) in pinewood

Vertical dispersion of  $^{137}\text{Cs}$  in the soil has been evaluated according to the solution of equation of the diffusion of radionuclides in the soil. The modelling results obtained have the average difference of 35.6 % from the study results.

After the addition of the FORM model for the modelling of dispersion of  $^{137}\text{Cs}$  in the “soil–conifer” system,  $^{90}\text{Sr}$  can be used for the evaluation of  $^{90}\text{Sr}$  carry from the soil to the conifer, the average difference between modelling and test results is 13 %.

Accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  is in accordance with exponential law, and accumulation of  $^{90}\text{Sr}$  is exponential only up to 1985, in a subsequent period, reduction of accumulation has been observed, which could be determined by the peculiarities of Lithuanian radioactive contamination of  $^{90}\text{Sr}$  after the accident at ChNPS.

Higher average annual **internal irradiance** of pines in firm habitats is determined by natural radionuclide –  $^{40}\text{K}$  ( $2.3 \cdot 10^{-3}$  Gy in Paaliosè habitat,  $0.9 \cdot 10^{-3}$  Gy in Alytus habitat). It is likely that determined highest average annual internal value to the pine will not cause any radiation effects that may occur at an average annual internal irradiance from 1.8 to 3.6 Gy. Ionizing radiation disseminated by radionuclides  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  of artificial origin studied does not cause the irradiance which could lead to the emergence of radiation effects (threshold value – 1.8–3.6 Gy per year).

## 5. Technological engineering solution of $^{137}\text{Cs}$ accumulation in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) analysis

The method suggested for the study of distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in annual flutes of pine tree when radioactive contamination of trees is measured according to the radioactive contamination of the soil located under the tree. Difference of specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  determined within the last formed flute between the suggested method and the results of the experiment varies from 4 % to 17 %. When assessing the distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in annual flutes, the difference between the suggested method and the results of the experiment varies from 2 % to 38 %, and on the average – 27 %.

### General conclusions

1. The formulas for the assessment of accumulative activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  and its change in the pine wood have been composed and applied practically, taking into account the growth rate of biomass and radioactive fragmentation of radionuclide.
2. The changes of specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  in the soil under the tree crown reflects the influence of tree roots which is particularly clear at the depth of

10–15 cm, where a large part of biomass of pine root (about 22 %) is located, and the contamination of nuclear explosions (only for artificial radionuclides).

3. Ability of tree to absorb radionuclides is affected by many factors: contamination of the soil by radionuclides (only radionuclides of artificial origin), climatic conditions of habitats and biological touch of the plant by diseases. Influence of these factors is complex.

4. The change of  $^{137}\text{Cs}$  discrimination ratio in annual flutes reflects the feature migrate toward the heart radially, this ratio can be used for radionuclides radial migration between the tree rings.

5. The change of specific activities of radionuclides ( $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$ ) of artificial origin in the tree reflects the radioactive contamination of former habitats – during nuclear tests periods, Chernobyl Nuclear Power Station accident (only  $^{137}\text{Cs}$ ), and the access of secondary radionuclides through the root system and feature migrate radially.

6. Ionizing radiation disseminated by both artificial origin ( $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$ ) and natural origin ( $^{40}\text{K}$ ) radionuclides does not because the irradiance in the habitats studied which could lead to the biological effects the threshold value of which is 1.8–3.6 Gy per year.

7.  $^{137}\text{Cs}$  transfer from soil to Scots pine wood is 2 time greater than  $^{90}\text{Sr}$  transfer from soil to wood.

## **Recommendations**

1. The assessment method developed for the distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in the wood should be used for multi-year dispersion of this radionuclide in the flutes of tree; the mean difference of specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  is 27 %. This assessment method is suitable for multi-year dispersion of this radionuclide in the flutes of tree. Their using keeps the tree and reduces the time of research.

2. FORM model for the modelling of dispersion of  $^{137}\text{Cs}$  in the system “soil–conifer”, can be used for the assessment of carry of  $^{90}\text{Sr}$  from the soil to the conifer, the average difference between the modelling and study results is 13 %.

## **List of published works on the topic of the dissertation In the reviewed scientific periodical journals**

Pliopaitė Bataitienė, I.; Butkus, D. 2010. Investigation of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  transfer from sandy soil to scots pine (*Pinus sylvestris* L.) rings. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 18(4): 281–287. ISSN 1648-6897 print/ISSN 1822-4199 online (Thomson ISI Web of Science). IF = 1.508 (2009).



Butkus, D.; Pliopaitė Bataitienė, I. 2010. Evaluation of internal exposure caused by ionizing radiation of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in pine (*Pinus sylvestris* L.) timber. *Проблемы биогеохимии и геохимической экологии* 2(13): 150–156. УДК 539.16:582.475.4.

Aliončik, J.; Pliopaitė Bataitienė, I.; Butkus, D. 2010. Radionuklidų pasiskirstymas Ignalinos AE Stabatiškės aikštelės dirvožemyje, [Distribution of radionuclides in soil of Ignalina NPP site of Stabatiškės]. *Mokslas – Lietuvos ateitis. Aplinkos apsaugos inžinerija* Vilnius: Technika, 2: 9–16. ISSN 2029-2341 print/2029-2252 online (Index Copernicus).

Pliopaitė Bataitienė, I.; Butkus, D. 2009.  $^{90}\text{Sr}$  ir  $^{137}\text{Cs}$  savitojo aktyvumo paprastosios pušies (*Pinus sylvestris* L.) medienoje vertinimas, [Investigation of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  specific activity in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood]. *Visuomenės sveikata* Priedas Nr. 1: 67–72. ISSN 1392-2696 (Index Copernicus).

Butkus, D.; Pliopaitė Bataitienė, I.; Bataitis, T. 2008.  $^{90}\text{Sr}$  kaupimosi paprastosios pušies medienoje tyrimas (*Pinus sylvestris* L.), [Investigation of  $^{90}\text{Sr}$  accumulation in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood]. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 16(3): 121–127. ISSN 1648-6897 print/ISSN 1822-4199 online (Thomson ISI Web of Science).

Butkus, D.; Matelis, A.; Pliopaitė Bataitienė, I. 2007. Accumulation of radioisotopes associated with the presence of wood-inhabiting fungi in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. *Ekologija* 53(3): 22–29. ISSN: 0235-7224/ISSN: 2029-0586 (online) (Thomson ISI Master Journal List).

Butkus, D.; Pliopaitė Bataitienė, I. 2006. Pušies (*Pinus sylvestris* L.) biomasės ir  $^{137}\text{Cs}$  savitojo aktyvumo medienoje sąsajos tyrimas, [Investigation relation between biomass of pine (*Pinus sylvestris* L.) wood and  $^{137}\text{Cs}$  specific activity]. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 14(3): 135–140. ISSN 1648-6897 print/ISSN 1822-4199 online (Thomson ISI Master Journal List).

## **In the other editions**

Butkus, D.; Pliopaitė Bataitienė, I.; D. Brogaitė. 2010.  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{40}\text{K}$  vertikalūs ir horizontalūs pasiskirstymas dirvožemyje po obelimi, [Vertical and horizontal distribution of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  in soil by apple tree], iš *Aplinkos apsaugos inžinerija: 13-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusios Vilniuje 2010 m. kovo 25 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 158–163. ISSN 2029-5456 (Index Copernicus).

Butkus, D.; Pliopaitė Bataitienė, I. 2010. Evaluation of internal exposure caused by ionizing radiation of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in pine (*Pinus sylvestris* L.) timber,

iš VI tarptautinės mokslinės – praktinės konferencijos “Heavy Metals and Radionuclides in the Environment”: įvykusios 2010 m. vasario 4–7 d., pranešimų medžiaga. Semey – Kazakstan: Тенгри, 141–145. ISBN 978-601-7044-48-0.

Butkus, D.; Pliopaitė Bataitienė, I. 2009. Pine (*Pinus sylvestris* L.) as tool for ecological monitoring of natural ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) and artificial radioisotopes ( $^{137}\text{Cs}$ ) in soil. *Phytoremediation: The Green Salvation of the World*. Editor: J. P. Navarro – Aviñó. p. 47–84. ISBN 928-81-308-0269-5.

Butkus, D.; Pliopaitė Bataitienė, I. 2009. Radionuklidų koncentravimo bandiniuose įtakos tyrimo rezultatams įvertinimas, [Investigation of sample concentration influence to research results], iš *Aplinkos apsaugos inžinerija*: 12-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2009 m. balandžio 2 d., pranešimų medžiaga. CD, 1–4.

Butkus, D.; Pliopaitė Bataitienė, I. 2008. Evaluation of internal exposure caused by ionizing radiation of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in pine (*Pinus sylvestris* L.) timber, in *Proceedings of the 7-th International Conference Environmental Engineering*. Selected papers. Vilnius: Technika, 93–99. ISBN 978-9955-28-263-1 (Thomson ISI Proceedings).

Butkus, D.; Pliopaitė Bataitienė, I.; Rimeika, R. 2008. Ilgalaikio  $^{137}\text{Cs}$  kaupimosi ligų pažeistoje pušyje eksperimentiniai tyrimai, [Experimental research of  $^{137}\text{Cs}$  accumulation in diseased pine], iš 11-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios 2008 m. kovo 29 d., pranešimų medžiaga: 643–650. ISBN 978-9955-28-385-0.

Pliopaitė Bataitienė, I.; Bataitis, T.; Butkus, D. 2007.  $^{90}\text{Sr}$  savitojo aktyvumo paprastosios pušies (*Pinus sylvestris* L.) medienoje kaitos tyrimas, [Investigation of  $^{90}\text{Sr}$  specific activity fluctuation in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood], iš *Aplinkos apsaugos inžinerija*: 10-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2007 m. kovo 29 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 339–347. ISBN 978-9955-28-162-7.

Butkus, D.; Pliopaitė Bataitienė, I. 2006. Radionuklidų pernašos iš dirvožemio į pušį (*Pinus sylvestris* L.) koeficientų tyrimas, [Investigation of radionuclides transfer from soil to pine (*Pinus sylvestris* L.) coefficients], iš *Aplinkos apsaugos inžinerija*: 9-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2006 m. kovo 30 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 155–161. ISBN 9955-28-037-9.

## Prepared application of patent

Butkus, D.; Pliopaitė Bataitienė, I. <sup>137</sup>Cs radioaktyviosios užtaršos paprastosios pušies rievėse nustatymo būdas, [Investigation method of <sup>137</sup>Cs radioactive pollution in tree rings], Nr. 2011 006.

## About the author

Ingrida Pliopaitė Bataitienė was born in Vilnius, on 25 of August 1978.

First degree in Environmental Engineering, Faculty of Environmental Engineering, Vilnius Gediminas Technical University, 2004. Master of Science in Environmental Engineering, Faculty of Environmental Engineering, Vilnius Gediminas Technical University, 2006. In 2006–2011 – PhD student of Vilnius Gediminas Technical University. At present – Assistant in Environmental Protection Department of Vilnius Gediminas Technical University.

## <sup>137</sup>Cs IR <sup>90</sup>Sr PERNAŠOS IŠ DIRVOŽEMIO Į SPYGLIUOČIUS MEDŽIUS TYRIMAS IR ĮVERTINIMAS

### *Tiriamoji problema*

Vieni iš pagrindinių dirbtinės kilmės jonizuojančiosios spinduliuotės taršos šaltinių – radioaktyviųjų medžiagų iškritus po branduolinio ginklo bandymų, branduolinių objektų avarijų, branduolinio kuro perdurbimo įmonių ir veikiančių atominių elektrinių. Dalis radionuklidų tiesiogiai patenka į augalus, kita dalis – į dirvožemį ir jo vandenį. Radionuklidai su atmosferos iškritomis per antžeminę dalį ir su dirvožemio tirpalu šaknų sistema patenka į augalus ir juose – pasiskirsto. Radionuklido pasiskirstymo pobūdis priklauso nuo: užtaršos dydžio, vyraujančio dirvožemių tipo, radionuklido cheminių ir fizinių savybių, radionuklido cheminės formos, augalo rūšies, klimatinė sąlygų. Patekę į augalą radionuklidai pasiskirsto jame, tačiau poveikis jiems nėra pakankamai žinomas. Jonizuojančioji spinduliuotė gali sukelti ląstelių, audinių, organų ir viso organizmo funkcinius ir morfologinius pakitimus, radiacinius efektus (biologiniai efektai, sinergetiniai ir antagonistiniai efektai, genomis nestabilumas, prisitaikymo fenomenas, ekotoksikologiniai efektai).

<sup>137</sup>Cs ir <sup>90</sup>Sr yra priskiriami prie dirbtinės kilmės radionuklidų, kurie aplinkoje atsirado dėl žmogaus veiklos. Šie radionuklidai pasižymi neigiamu poveikiu aplinkai ir jos komponentams. <sup>90</sup>Sr yra β spinduliuotės, <sup>137</sup>Cs taip pat β spinduliuotės, kuris nustatomas pagal skilimo produkto <sup>137m</sup>Ba skleidžiamą γ spinduliuotę. Pagrindinis pavojus gyviesiems organizmams yra susijęs su radionuklidų, patekusių

į organizmą, jonizuojančiąja spinduliuote, jos pasiskirstymu organizme bei jos sukeltomis apšvitos dozėmis.

Šio darbo tiriamoji problema yra medžio sandų radioaktyviosios taršos  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  ilgalaikė prognozė, atsižvelgiant į dirvožemio radioaktyviąją užtaršą, dirvožemio sudėtį bei medžio vystymosi ypatumus.

### **Darbo aktualumas**

Vertinant buvusią aplinkos radioaktyviąją užtaršą pagal medžių metinėse rievėse sukauptą  $^{137}\text{Cs}$  savitąjį aktyvumą neatsižvelgiama į šio radionuklido jūdrį tarp metinių rievėlių, todėl atsiranda vertinimo netikslumai. Šiuos netikslumus galima sumažinti buvusią aplinkos radioaktyviąją užtaršą vertinant pagal  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  kaupimosi pušyje rezultatus. Radionuklidų pasiskirstymą dendrochronologinėje sekoje nagrinėjo: L. Richvanov, A. Ščeglov, J. Mažeika, D. Butkus, M. Buziny, M. Chigira, A. Kahawa, Y. Katayama, A. Kudo, M. Malek, N. Momoshima.

Literatūroje pateikiama nemažai duomenų apie jonizuojančiosios spinduliuotės pasiskirstymą augaluose. Tačiau stinga duomenų apie radionuklidų poveikį medžiams, įtaką jų atsparumui bei galimam ligų atsiradimui.  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  yra ilgaamžiai dirbtinės kilmės radionuklidai ( $T_{1/2}(^{137}\text{Cs}) = 30 \text{ m.}$ ,  $T_{1/2}(^{90}\text{Sr}) = 29 \text{ m.}$ ). Jų skleidžiama jonizuojančioji spinduliuotė lemia medžių apšvitą. Augalų radiometrijos ir dozimetrinius tyrimus vykdo: E. D. Marčiulionienė, S. Geras'kin, T. G. Sazykina ir kt. Trūksta modelių, kuriais būtų atkurama buvusi aplinkos užtarša pagal radionuklidų sankaupą metinėse medžių rievėse. Norint įvertinti augalų apšvitos kaitą, būtina nustatyti  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  pasiskirstymo augaluose ypatumus.

Vertinant buvusią radioaktyviąją aplinkos užtaršą, galimą įtaką žmogui, naudojančiam aplinkos elementus, svarbu nustatyti ryšį tarp radionuklidų sklaidos dirvožemyje ir augaluose, jų migracijos iš dirvožemio į augalus skatinančius ir slopinančius veiksnius.

Analizuojant augalų radioaktyviąją užtaršą yra svarbu prognozuoti ilgalaikį radionuklidų persiskirstymą sistemoje „dirvožemis–augalas“, tuo pačiu įvertinant augalo riziką, atsirandančią dėl patiriamos apšvitos, kurią lemia radionuklidų skleidžiama jonizuojančioji spinduliuotė.

**Tyrimų objektas** –  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  pernaša iš dirvožemio į spygliuočius medžius (*Pinus sylvestris* L., *Picea abies*, *Picea omorica*).

### **Darbo tikslas**

Šio darbo pagrindinis tikslas yra nustatyti  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  savituosius aktyvumus tyrimui parinktuose spygliuočiuose medžiuose ir įvertinti šių radionuklidų pernašos sistemoje dirvožemis–medis bei pasiskirstymo medžiuose ypatumus.

### ***Darbo uždaviniai***

Darbo tikslui pasiekti reikia spręsti šiuos uždavinius:

1. Atlikti  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  radiometrinius, radiocheminius tyrimus medžių sanduose.
2. Įvertinti tiriamųjų radionuklidų ir jų cheminių analogų savituosius aktyvumus bei koncentracijas bandiniuose.
3. Įvertinti  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  pernašos iš dirvožemio į medžius ir pasiskirstymo juose ypatumus, atsižvelgiant į dirvožemio radioaktyviąją užtaršą ir augalo vystymosi ypatumus.
4. Modeliuoti  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  migraciją sistemoje „dirvožemis–medis“, radionuklidų sukauptą augale kiekį, augalo patiriamą vidinę apšvitą.

### ***Tyrimų metodika***

Darbe taikomi radiometriniai ir radiocheminiai  $^{90}\text{Sr}$  ir radiometriniai  $^{137}\text{Cs}$  nustatymo bandiniuose metodai, šių radionuklidų sklaidai vertinti pasitelkiami difuzine sklaida paremti modeliavimo būdai, vidinė apšvita vertinama pagal radionuklidų kaupimosi metodą bei programinę įrangą ERICA.

### ***Darbo mokslinis naujumas***

Darbo mokslinį naujumą apibūdina kompleksinis požiūris į radioaktyviosios aplinkos užtaršos persiskirstymą ir galimą poveikį medžiams: eksperimentiškai įvertinami savitieji aktyvumai ir pernašos iš dirvožemio į medį koeficientai, pagal FORM modelį atliekamas savitojo aktyvumo medienoje modeliavimas, o pagal ERICA programą vertinama augalo patiriama apšvita. Darbo naujumas pasireiškia  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  kaupimosi ir persiskirstymo medžiuose ypatumų vertinimu pagal šių radionuklidų diskriminacijos koeficientus. Sukurta metodika  $^{137}\text{Cs}$  savitojo aktyvumo pasiskirstymui paprastosios pušies medienoje vertinti pagal jo savitąjį aktyvumą vertikaliajame dirvožemio sluoksnyje po medžio laja.

### ***Darbo rezultatų praktinė reikšmė***

Remiantis atliktų tyrimų rezultatais galima tiksliau įvertinti buvusią radioaktyviąją užtaršą ir jos šaltinius, radionuklidų skleidžiamos jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos įtaką medžio augimui. Stebint pušų būklę radionuklidų savitojo aktyvumo ligų pažeistose pušyse nustatymo duomenys ir jų analizė gali būti naudojami kaip indikatorius.

### ***Ginamieji teiginiai***

1.  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  pernašos iš dirvožemio į medį pobūdį lemia šių radionuklidų analogų ( $^{40}\text{K}$  ir  $\text{Ca}$ ) kiekiai dirvožemyje.  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  judrio tarp paprastosios pušies metinių rėvių ypatumus galima įvertinti pagal daugiametę radionuklidų diskriminacijos koeficientų kaitą rėvėse.
2. Tirtų paprastųjų pušų, augusių priesmėlio dirvožemiuose, vidutinė metinė vidinė apšvita dėl  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  skleidžiamos jonizuojančiosios spinduliuotės yra mažesnė nei vidutinė metinė vidinė apšvita dėl gamtinės kilmės radionuklido  $^{40}\text{K}$  skleidžiamos jonizuojančiosios spinduliuotės.
3.  $^{137}\text{Cs}$  pasiskirstymo dėsningumus paprastosios pušies medienoje galima įvertinti pagal  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{40}\text{K}$  savitųjų aktyvumų santykį vertikaliuose dirvožemio sluoksniuose.

### ***Darbo apimtis***

Disertaciją sudaro įvadas, penki skyriai ir rezultatų apibendrinimas. Darbo apimtis yra 137 puslapiai, tekste panaudota 61 numeruota formulė, 63 paveikslai, 6 lentelės. Rašant disertaciją buvo panaudota 128 literatūros šaltiniai.

Įvadiniame skyriuje aprašoma tiriamoji problema, darbo aktualumas, tyrimų tikslas ir uždaviniai, tyrimų metodika, darbo mokslinis naujumas, darbo rezultatų praktinė reikšmė, ginamieji teiginiai, darbo rezultatų aprobavimas, disertacijos struktūra.

Pirmasis disertacijos skyrius skirtas literatūros apžvalgai. Jame analizuojama  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  apykaita sistemoje „dirvožemis–medis“: analizuojamųjų radionuklidų savybės bei jų šaltiniai, jų sklaida aplinkoje, aplinkos užtarša jais, šių radionuklidų pasiskirstymo medžiuose ypatumai, biologinių, klimatinių veiksnių įtaka medžio vystymuisi, galima vidinė medžių apšvita dėl radionuklidų skleidžiamos jonizuojančiosios spinduliuotės, analizuojamų radionuklidų migracijos aplinkoje modeliavimo galimybės.

Antrame disertacijos skyriuje pateikti  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$ , o taip pat ir jų cheminių analogų, nustatymo spygliuočių medžių sanduose bei dirvožemyje, sklaidos vertinimo sistemoje „dirvožemis–medis“ metodai.

Trečiajame skyriuje aptariami  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  savitųjų aktyvumų tiriamųjų medžių sanduose bei jų augimviečių dirvožemyje rezultatai, o taip pat ir jų cheminių analogų minėtuose mėginiuose, tyrimų rezultatai. Analizuojami radionuklido cheminio analogo diskriminacijos įtakos jų pernašai iš dirvožemio į medį tyrimo rezultatai, vertinami pušų biologinio pažeistumo, klimatinių augimvietės sąlygų ir radionuklidų savitojo aktyvumo jų medienoje rezultatai.

Ketvirtajame skyriuje pateikiami radionuklidų sklaidos sistemoje „dirvožemis–medis“, radionuklidų sukaupito augale kiekio, augalo patiriamos vidinės apšvitos modeliavimo rezultatai.

Penktajame skyriuje pristatomas  $^{137}\text{Cs}$  kaupimosi paprastajoje pušyje (*Pinus sylvestris* L.) analizės inžinerinis technologinis sprendimas – radioaktyviosios užtaršos retrospektyvinės analizės metodas bei pritaikymo pavyzdys.

### ***Bendrosios išvados***

1. Sudarytos ir pritaikytos formulės, pagal kurias įvertinamas sukauptas  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  aktyvumas bei jo kaita paprastųjų pušų medienoje, atsižvelgiant į biomasės prieaugį ir nustatytą radionuklido savitąjį aktyvumą.

2.  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{40}\text{K}$  savitųjų aktyvumų dirvožemyje po spygliuočio medžio laja kaita priklauso nuo medžio šaknyno, ypač 10–15 cm gylyje, kur yra didelė paprastosios pušies šaknų biomasės dalis (apie 22 %), ir branduolinių sprogdinimų užtarša (tik dirbtinės kilmės radionuklidams).

3. Radionuklidų akumuliaciją medyje gali įtakoti šie veiksniai: dirvožemio užtarša radionuklidais (tik dirbtinės kilmės radionuklidams), augimvietės klimatinės sąlygos ir augalo pažeistumas ligomis. Šių veiksnių įtaka yra kompleksinė.

4.  $^{137}\text{Cs}$  diskriminacijos koeficiento kaita metinėse rievėse atspindi šio radionuklido savybę radialiai migruoti link šerdies, todėl šie koeficientai gali būti naudojami radionuklidų pernašos tarp metinių rievių vertinimui.

5. Dirbtinės kilmės radionuklidų ( $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$ ) savitųjų aktyvumų kaita spygliuočių medienoje atspindi augaviečių praeities radioaktyviąją užtaršą – branduolinių sprogdinimų laikotarpių, Černobylio atominės elektrinės katastrofos metu (tik  $^{137}\text{Cs}$ ), antrinio radionuklidų patekimo per šaknų sistemą bei radionuklidų savybę migruoti link šerdies.

6. Tirtose augimvietėse nei dirbtinės kilmės ( $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$ ), nei gamtinės kilmės ( $^{40}\text{K}$ ) radionuklidų skleidžiama jonizuojančioji spinduliuotė nesukelia tokios vidinės apšvitos spygliuočiui medžiui, kuri galėtų sukelti biologinius efektus (jų slenkstinė vertė paprastajai pušiai – 1,8–3,6 Gy per metus).

7.  $^{137}\text{Cs}$  pernaša iš dirvožemio į paprastosios pušies medieną yra 2 kartus didesnė nei  $^{90}\text{Sr}$  pernaša iš dirvožemio į paprastosios pušies medieną.

### ***Rekomendacijos***

1. Sukurta  $^{137}\text{Cs}$  pasiskirstymo spygliuočių rievėse vertinimo metodika, pritaikius ją, gaunamas vidutinis skirtumas tarp siūlomo metodo ir eksperimento rezultatų yra 27 %. Ji skirta nustatyti spygliuočių medžių radioaktyviąją užtaršą šiuo radionuklidu pagal dirvožemio, esančio po medžiu, užterštumą, tinka naudoti daugiametės  $^{137}\text{Cs}$  sklaidos medžio rievėse tyrimams,

o jos pritaikymas leidžia išsaugoti medį eksperimento metu ir sumažinti darbo laiko sąnaudas.

2. FORM modelį, skirtą  $^{137}\text{Cs}$  sklaidai sistemoje „dirvožemis–spygliuotis medis“ modeliuoti, rekomenduojama taikyti  $^{90}\text{Sr}$  pernašos iš dirvožemio į spygliuotį vertinimui. Vidutinis skirtumas tarp  $^{90}\text{Sr}$  pernašos iš dirvožemio į spygliuotį modeliavimo ir eksperimentinių rezultatų yra 13 %.

### **Trumpos žinios apie autorių**

Ingrida Pliopaitė Bataitienė gimė 1978 m. rugpjūčio 25 d. Vilniuje.

2004 m. įgijo aplinkos inžinerijos bakalauro laipsnį Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos inžinerijos fakultete. 2006 m. įgijo aplinkos inžinerijos mokslo magistro laipsnį Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos inžinerijos fakultete. 2006–2011 m. – Vilniaus Gedimino technikos universiteto doktorantė. Šiuo metu dirba asistente Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos apsaugos katedroje.