

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

APLINKOS APSAUGOS KATEDRA

Juta Ibianskaitė

**AB „LIETUVOS ELEKTRINĖ“ MAZUTO DEGIMO PROCESO
ATLIEKŲ UŽTERŠTUMO TYRIMAS IR VERTINIMAS**

**INVESTIGATION AND EVALUATION OF FUEL OIL BURNING
PROCESS WASTE CONTAMINATION AT SC “LIETUVOS
ELEKTRINĖ“**

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H17004

Atliekų tvarkymo technologijų specializacija

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2013

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
APLINKOS APSAUGOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Juta Ibianskaitė

**AB „LIETUVOS ELEKTRINĖ“ MAZUTO DEGIMO PROCESO ATLIEKŲ
UŽTERŠTUMO TYRIMAS IR VERTINIMAS**
**INVESTIGATION AND EVALUATION OF FUEL OIL BURNING PROCESS
WASTE CONTAMINATION AT SC “LIETUVOS ELEKTRINĖ”**

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H17004

Atliekų tvarkymo technologijų specializacija

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2013

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Juta Ibianskaitė, 20074293

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Aplinkos inžinerija, ATTmf-11

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽINGUMO DEKLARACIJA**

2013 m. birželio 11 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „AB „Lietuvos elektrinė“ mazuto degimo proceso atliekų užterštumo tyrimas ir vertinimas“ patvirtintas 2011 m. lapkričio 30 d. dekanų potvarkiu Nr. 417ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: lekt. Regina Žukienė, prof. habil dr. Petras Vaitiekūnas, doc. dr. Dainius Paliulis. Mano darbo vadovas prof. habil. dr. Donatas Butkus.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

(Parašas)

Juta Ibianskaitė

(Vardas ir pavardė)

(the document of Declaration of Authorship in the Final Degree Paper)

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Juta Ibienskaitė, 20074293

(Student's given name, family name, certificate number)

Faculty of Environmental Engineering

(Faculty)

Environmental Engineering, ATTmf-11

(Study programme, academic group no.)

DECLARATION OF AUTHORSHIP IN THE FINAL DEGREE PAPER

June 11, 2013

I declare that my Final Degree Paper entitled „Investigation and Evaluation of Fuel Oil Burning Process Waste Contamination at SC Lietuvos elektrinė“ is entirely my own work. The title was confirmed on November 30, 2011 by Faculty Dean's order No. 417ap. I have clearly signalled the presence of quoted or paraphrased material and referenced all sources.

I have acknowledged appropriately any assistance I have received by the following professionals/advisers: lect. Regina Žukienė, Prof Dr Habil Petras Vaitiekūnas, Dr Dainius Paliulis.

The academic supervisor of my Final Degree Paper is Prof Dr Habil Donatas Butkus.

No contribution of any other person was obtained, nor did I buy my Final Degree Paper.

(Signature)

Juta Ibienskaitė

(Given name, family name)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Aplinkos apsaugos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Aplinkos inžinerijos** programos baigiamasis darbas 4 (atliekų tvarkymo technologija)

Pavadinimas **AB „Lietuvos elektrinė“ mazuto degimo proceso atliekų užterštumo tyrimas ir vertinimas**

Autorius **Juta Ibienskaitė**

Vadovas **prof. habil. dr. Donatas Butkus**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjama dirbtinės (^{137}Cs) ir gamtinės (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) kilmės radionuklidų ir sunkiųjų metalų (Ni , Cu , Cr , Cd , Pb , Zn) kaupimasis AB „Lietuvos elektrinė“ mazute ir jo degimo proceso atliekose bei šių teršalų sklaida elektrinės įtakos zonoje. Eksperimente naudojamas mazutas, mazuto pelenai, elektrostatinio filtro pelenai, gipsas ir dirvožemis, surinktas elektrinės įtakos zonoje. Visuose bandiniuose gama spektrometrijos būdu išmatuoti radionuklidų savitieji aktyvumai ir atominės absorbcijos būdu išmatuotos sunkiųjų metalų koncentracijos. Gauti rezultatai lyginami skaičiuojant teršalų kiekių santykius tarp mazuto, jo degimo proceso atliekų ir dirvožemio. Vertinami teršalų kiekiai elektrinės atliekų kaube. Remiantis eksperimentinių tyrimų duomenimis sudarytas radionuklidų ir sunkiųjų metalų sklaidos iš elektrinės kamino modelis.

Darbą sudaro septynios dalys: įvadas, tyrimo objekto ir problemos aptarimas, eksperimentinių tyrimų metodika, rezultatų analizė, modeliavimas, bendrosios išvados ir rekomendacijos, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 87 p. be priedų, 19 lentelių, 33 paveikslai. Atskirai pridėti priedai ir moksliniai straipsniai.

Prasminiai žodžiai: Mazutas, mazuto atliekos, dirvožemis, ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , Ni , Cu , Cr , Cd , Pb , Zn , savitasis aktyvumas, nereguliuojami lygiai

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Environmental Protection

ISBN ISSN
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Environmental Engineering** study programme Final work 4 (Waste Treatment Technology)

Title **Investigation and Evaluation of Fuel Oil Burning Process Waste Contamination at SC Lietuvos elektrinė**

Author **Juta Ibianskaitė**

Academic supervisor **Prof Dr Habil Donatas Butkus**

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

In the final thesis is analysed fuel oil burning process waste contamination of artificial (^{137}Cs), naturally occurring (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) radionuclides and heavy metals (Ni, Cu, Cr, Cd, Pb, Zn) at SC „Lietuvos elektrinė“.

In the experiment were used samples of fuel oil, fuel oil ash, electrostatic precipitator ash, gypsum and soil. Specific activity of radionuclides was measured using gamma spectrometer and using atomic absorption method were measured concentrations of heavy metals. The results are compared calculating the quantity of pollution between oil, the combustion of waste and soil. Contaminants concentrations valued in power plant's wastes. Based on experimental data was used power plant stack dispersion model.

The thesis consists of seven parts: introduction, discussion of the problem, experimental research methodology, analysis of results, modeling, conclusions, recommendations and list of references.

The thesis has 87 pages of text excluding appendixes, 19 tables, 33 figures. Appendixes and scientific articles are added separately.

Keywords: Fuel oil, oil wastes, soil, ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , Ni, Cu, Cr, Cd, Pb, Zn, specific activity, unregulated levels

TURINYS

IVADAS	12
1. DEGIMO PROCESO ATLIEKŲ UŽTERŠTUMAS IR TERŠALŲ PASISKIRSTYMAS ŠILUMINĖSE ELEKTRINĖSE.....	14
1. 1. Radioaktyvumas ir radioaktyvioji spinduliuotė	14
1. 1. 1. Radioaktyviųjų medžiagų šaltiniai	15
1. 1. 2. Radioaktyviųjų medžiagų savitojo aktyvumo nustatymas	19
1. 1. 3. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymas.....	20
1. 1. 4. Jonizuojančiosios spinduliuotės apšvita.....	21
1. 2. Sunkieji metalai ir jų sklaida	25
1. 2. 1. Gamtiniai sunkiųjų metalų šaltiniai.....	25
1. 2. 2. Antropogeniniai sunkiųjų metalų šaltiniai	25
1. 2. 3. Sunkiųjų metalų sklaida įvairių tipų dirvožemiuose	27
1. 3. Šiluminės elektrinės	29
1. 3. 1. AB „Lietuvos elektrinė“	31
1. 3. 2. Mazutas – šiluminių elektrinių kuras	34
1. 4. 3. Elektrinėje susidaranti atliekos	39
1. 4. Teršalų sklaida ir migracija aplinkoje.....	40
1. 5. Skyriaus išvados	46
2. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ METODIKA, PRIETAISAI IR MEDŽIAGOS.....	47
2. 1. Ėminių paėmimo vietos apibūdinimas.....	47
2. 2. Ėminių rūšys ir parinkimas tyrimams	47
2. 3. Ėminių paruošimas radionuklidų savitųjų aktyvumų nustatymo tyrimui	50
2. 4. Radionuklidų savitųjų aktyvumų tyrimo metodika ir naudojama įranga.....	51
2. 5. Ėminių paruošimas sunkiųjų metalų koncentracijų nustatymo tyrimui.....	52
2. 6. Skyriaus išvados	53
3. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI IR ANALIZĖ	55
3. 1. Gamtinės ir dirbtinės kilmės radionuklidų savitieji aktyvumai mazute ir jo degimo proceso atliekose	55
3. 2. Gamtinių ir dirbtinių radionuklidų savitieji aktyvumai dirvožemyje	57
3. 2. 1. ¹³⁷ Cs savitieji aktyvumai	58
3. 2. 2. ⁴⁰ K savitieji aktyvumai.....	60
3. 2. 3. ²²⁶ Ra savitieji aktyvumai	61
3. 2. 4. ²³² Th savitieji aktyvumai	62
3. 3. Sunkiųjų metalų koncentracijos mazute ir jo degimo proceso atliekose	63

3. 4. Sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemyje.....	65
3. 5. Rezultatų santykinis palyginimas	70
3. 6. Šiluminėje elektrinėje susidarantys atliekų kiekiai.....	73
3. 5 Skyriaus išvados	75
4. MODELIAVIMO REZULTATAI, ANALIZĖ IR VERTINIMAS	77
4. 1. Teršalų sklaidos modelio sudarymas	77
4. 2. Rezultatų grafinis vaizdavimas ir analizė	78
4. 3. Skyriaus išvados	83
BENDROSIOS IŠVADOS.....	84
REKOMENDACIJOS	85
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	86
PRIEDAI	91

Lentelių sąrašas

1. 1 lentelė. Gamtinės kilmės radionuklido ^{238}U eilė
1. 2 lentelė. Gamtinio radionuklido ^{232}Th eilė
1. 3 lentelė. Gamtinio radionuklido ^{235}U eilė
1. 4 lentelė. Dirbtinės kilmės jonizuojančios spinduliuotės šaltiniai
1. 5 lentelė. Vidutinė matinė žmogaus gaunama efektyvi radioaktyvaus spinduliavimo dozė
1. 6 lentelė. Sunkiųjų metalų šaltiniai dirvožemyje
1. 7 lentelė. Kuro ir energijos vartojimas per 2009 metus
1. 8 lentelė. Duomenys apie naudojamą žaliavą, chemines medžiagas ar preparatus 2009 metais
1. 9 lentelė. Žaliavų ir papildomų cheminių medžiagų ar preparatų saugojimas
1. 10 lentelė. Apibendrintosios energetinio kuro charakteristikos
1. 11 lentelė. Kūrenamojo mazuto kokybės rodikliai
1. 12 lentelė. Lietuvos elektrinių teršalų struktūra.
1. 13 lentelė. Šiuo metu susidaranti atlieka, jų tvarkymas
3. 1 lentelė. Radionuklidų savitųjų aktyvumų santykių atliekose dirvožemyje vidutinės vertės
3. 2 lentelė. Radionuklidų savitųjų aktyvumų santykių atliekose dirvožemyje vidutinės vertės
3. 3 lentelė. Radionuklidų aktyvumai elektrinėje susidarančiose atliekose
3. 4 lentelė. Radionuklidų savitojo aktyvumo ir radionuklidų aktyvumo nereguliuojamojo veikmens lygiai
4. 1 lentelė. ^{137}Cs koncentracijos tolstant nuo taršos šaltinio.
4. 2 lentelė. Ni koncentracijos tolstant nuo taršos šaltinio.

Paveikslų sąrašas

1. 1 pav. Natūralų jonizuojančios spinduliuotės foną sudarančių šaltinių pasiskirstymas
1. 2 pav. Jonizuojančios spinduliuotės lygiavertės dozės galios (LDG) pokyčiai virš vandens paviršiaus ir krante.
1. 3 pav. Gamtinės kilmės radionuklidų lygiavertės dozės pokyčiai pastate
1. 4 pav. 150 MW blokas su katilu Nr.2
1. 5 pav. Pagrindiniai dirbtinės kilmės radionuklidų patekimo į organizmą būdai
1. 6 pav. Žmonių apšvitos dozių vertinimo sausumos ekosistemoje modelio kameros ir pernašos parametrai
1. 7 pav. „Phoenix“ modelio schema
2. 1 pav. Teorinė dirvožemio ėminių pagal pasaulio šalis schema.
2. 2 pav. Dirvožemio ėmimo pavyzdys
2. 3 pav. Situacinis dirvožemio ėminių planas.
2. 4 pav. Užpildyta kiuvetė
2. 5 pav. Dirvožemio ėminys
2. 6 pav. Milestone mineralizatorius
2. 7 pav. Mineralizuoti bandiniai
3. 1 pav. ^{137}Cs savitieji aktyvumai mazute ir jo degimo proceso atliekose
3. 2 pav. ^{40}K savitieji aktyvumai mazute ir jo degimo proceso atliekose
3. 3 pav. ^{226}Ra savitieji aktyvumai mazute ir jo degimo proceso atliekose
3. 4 pav. ^{232}Th savitieji aktyvumai mazute ir jo degimo proceso atliekose

3. 5 pav. Vietovės vyraujančių vėjų rožė

3. 6 pav. ¹³⁷Cs savitieji aktyvumai dirvožemyje: ėminių ėmimo vietos tolstant kas 150 m nuo kamino šiaurės (š1 – š9), vakarų (v1 – v8), rytų (r1, r2) ir pietų (p1 – p2) kryptimis

3. 7 pav. ⁴⁰K savitieji aktyvumai dirvožemyje: ėminių ėmimo vietos tolstant kas 150 m nuo kamino šiaurės (š1 – š9), vakarų (v1 – v8), rytų (r1, r2) ir pietų (p1 – p2) kryptimis

3. 8 pav. ²²⁶Ra savitieji aktyvumai dirvožemyje: ėminių ėmimo vietos tolstant kas 150 m nuo kamino šiaurės (š1 – š9), vakarų (v1 – v8), rytų (r1, r2) ir pietų (p1 – p2) kryptimis

3. 9 pav. ²³²Th savitieji aktyvumai dirvožemyje: ėminių ėmimo vietos tolstant kas 150 m nuo kamino šiaurės (š1 – š9), vakarų (v1 – v8), rytų (r1, r2) ir pietų (p1 – p2) kryptimis

3. 10 pav. Sunkiųjų metalų (chromo, nikelio, cinko, vario, švino, kadmio) koncentracijos mazuto degimo proceso atliekose

3. 11 pav. Sunkiųjų metalų (chromo, nikelio, cinko, vario, švino, kadmio) koncentracijos mazute

3. 12 pav. Sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio bandiniuose, tolstant nuo taršos šaltinio šiaurės kryptimi

3. 13 pav. Sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio bandiniuose, tolstant nuo taršos šaltinio vakarų kryptimi

3. 14 pav. Sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio bandiniuose, tolstant nuo taršos šaltinio pietų kryptimi

3. 15 pav. Sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio bandiniuose, tolstant nuo taršos šaltinio rytų kryptimi

4. 1 pav. ¹³⁷Cs sklaida nuo taršos šaltinio: a) 2 km atstumas, b) 7 km atstumas, c) 100 km atstumu

4. 2 pav. ¹³⁷Cs sklaidos nuo taršos šaltinio pjūvis

4. 3 pav. ¹³⁷Cs sklaida nuo taršos šaltinio: a) 2 km atstumas, b) 7 km atstumas, c) 100 km atstumu

4. 4 pav. Ni sklaidos nuo taršos šaltinio pjūvis

IVADAS

Problema

Lietuvai pastaruoju metu aktualios šios oro kokybei įtaką darančios problemos: vietinių oro taršos šaltinių – transporto, pramonės ir energetikos objektų – išmetami teršalai miestuose, galimas taršos iš šiluminių elektrinių padidėjimas nutraukus valstybės įmonės Ignalinos atominės elektrinės eksploatavimą, Lietuvos oro baseino tarša iš kitų regionų atnešamais teršalais. Lietuvos atmosfera, dirvožemis bei vanduo iš įvairių objektų yra teršiami radionuklidais ir sunkiaisiais metalais.

Radiacinė situacija viename ar kitame regione priklauso nuo taršos atitinkamais radionuklidais. Pavyzdžiui, dirvožemio paviršiuje susikaupę γ spinduliai radionuklidai padidina γ foną ir gyventojų apšvitą. Žemės ūkio naudmenų tarša radionuklidais padidina auginamos žemės ūkio produkcijos taršą, dėl to neišvengiamai didėja tuos produktus vartojančių žmonių apšvita.

Radionuklidų sukelta jonizuojančioji spinduliuotė veikia visą gyvąją ir negyvąją aplinką. Nagrinėjant radionuklidų sklaidą aplinkoje ir jų patekimą į organizmą yra svarbūs teršalų sklaidimo keliai. Radionuklidai, esantys atmosferos ore, nusėda ant paviršių, dalis tiesiogiai patenka į augalus, į dirvožemį ir jo vandenį. Vandenyje esantys radionuklidai iš dirvos per šaknis migruoja į augalus su maistinėmis medžiagomis.

Sunkieji metalai yra gamtinė žemės plutos sudedamoji dalis, tačiau žmogaus veikla drastiškai keičia jų geocheminį ir biocheminį balansą. Intensyvus miestų augimas, pramonės plėtra, transporto intensyvumo didėjimas ir žemės ūkio vystymasis kelia dirvožemio užtaršos sunkiaisiais metalais problemas. Aplinkos tarša sunkiaisiais metalais pasaulyje yra svarbi problema, nes pagal suminį Korte indeksą, kuris rodo pavojingumą gyvybei, sveikatai ir paveldimumui, sunkieji metalai užima vieną iš pirmųjų vietų tarp tokių ekologinių problemų, kaip pesticidai, rūgštūs lietūs, naftos išsiliesimo pasekmės, cheminių trąšų ar triukšmo poveikis.

Iš lokalių ir tolimesnių taršos šaltinių sausomis iškritomis ir su krituliais radionuklidai bei sunkieji metalai patenka ant dirvožemio, nusėda ant augalų. Dideli žemės plotai yra užteršti sunkiaisiais metalais, susidariusiais nuotekose, atliekų deginimo įrenginiuose, žemės ūkyje naudojant trąšas, pesticidus, pramonėje – apdirbant metalus, odą.

Temos aktualumas

Plačiai paplitę jonizuojančios spinduliuotės bei sunkiųjų metalų šaltiniai – atominės bei šiluminės elektrinės. Deginant šiluminėse elektrinėse kurą, jame esantys radionuklidai ir sunkieji metalai lieka pelenuose arba su dūmais patenka į atmosferą.

Radioaktyviosios atliekos – tai nenumatomas tolimesniam naudojimui panaudotas branduolinis kuras ir kitos medžiagos, užterštos radionuklidais arba turinčios jų savo sudėtyje, kai radionuklidų koncentracijos arba jų aktyvumas viršija nebekontroliuojamus (švarumo) lygius. Radioaktyviosios atliekos skleidžia jonizuojančiąją spinduliuotę, todėl turi būti tvarkomos taip, kad nekeltų grėsmės aplinkai ir žmonėms viso branduolinės energetikos ciklo metu.

Dalis radioaktyviųjų atliekų gali būti išmetamos į aplinką (skystos, dujinės) arba laidojamos kaip neradioaktyvios, jei neviršija teisės aktais ir tarptautiniais susitarimais nustatytų nebekontroliuojamų lygių.

Radionuklidų sklaida aplinkoje yra sudėtingas procesas. Net trijų šimtų metrų aukščio šiluminės elektrinės kaminas apsaugo tik šalia esančią aplinką. Teršiantys aplinką dūmai kartais pasklinda už šimtų kilometrų ir nusėda ant žemės paviršiaus.

Darbo tikslas

Nustatyti radionuklidų ir sunkiųjų metalų kaupimąsi AB „Lietuvos elektrinė“ mazuto degimo proceso atliekose ir įvertinti jų sklaidą aplinkoje.

Darbo uždaviniai:

1. Nustatyti radionuklidų savitąjį aktyvumą ir sunkiųjų metalų koncentracijas mazute;
2. Nustatyti radionuklidų savitąjį aktyvumą ir sunkiųjų metalų koncentracijas mazuto pelenuose;
3. Nustatyti radionuklidų savitąjį aktyvumą ir sunkiųjų metalų koncentracijas elektrostatiame filtre susidarančiose atliekose;
4. Nustatyti radionuklidų savitąjį aktyvumą ir sunkiųjų metalų koncentracijas išmetamųjų dujų nusierinimo atliekose bei sub-produktuose (gipse);
5. Įvertinti dirvožemio užtaršą radionuklidais ir sunkiausiais metalais AB „Lietuvos elektrinė“ įtakos zonoje;
6. Modeliuoti radionuklidų ir sunkiųjų metalų išsiskyrimą, kaupimąsi ir sklaidą aplinkoje.

Darbo naujumas

Darbo naujumą sudaro kompleksiniai tyrimai, apjungiantys radionuklidų ir sunkiųjų metalų išsiskyrimą, kaupimąsi bei sklaidos įvertinimą ir pasiskirstymo balanso skaičiavimą šiluminėse elektrinėse kuru naudojant mazutą.

1. DEGIMO PROCESO ATLIEKŲ UŽTERŠTUMAS IR TERŠALŲ PASISKIRSTYMAS ŠILUMINĖSE ELEKTRINĖSE

Deginant kurą – teršiama aplinka. Teršalai, generuojami šiluminėse elektrinėse, daugiausiai priklauso nuo deginamo kuro charakteristikų (vandenilio – H, anglies – C, sieros – S). Sieringojo kuro degimo produktams valyti naudojami specialūs įrenginiai bei sistemos (Kugelevičius ir kt. 2005):

- elektrostatiniai filtrai dulkėms valyti;
- išmetamų dūmų nusierinimo įrenginiai SO₂ kontrolei;
- selektyviosios katalizės redukcijos (deoksidacijos) įrenginiai bei modifikuotieji kuro degikliai NO_x kontrolei;
- šlapiojo nuosėdų valymo įrenginiai dūmų nusierinimo sistemos struktūroje SO₃ kontrolei.

Radioaktyviosios atliekos susidaro, užsiimant veikla su jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniais.

Pastaruoju metu didėja sunkiųjų metalų kiekiai dirvožemyje, tokių, kaip švinas, arsenas, kadmis, varis, cinkas, nikelis ir gyvsidabris, dėl įvairių priežasčių, pavyzdžiui, žemės ūkyje naudojamų cheminių priemonių, pramonės veiklos, atliekų tvarkymo, atliekų deginimo, taip pat antropogeninių šaltinių taršos (Khan 2005). Pastovus sunkiųjų metalų kaupimasis priklauso nuo teršalų kiekio, transporto bei pramonės išmetimų (Pereira *et al.* 2006).

1. 1. Radioaktyvumas ir radioaktyvioji spinduliuotė

Visa mūsų aplinka sudaryta iš atomų – mažiausių nedalomų dalelių, turinčių visas medžiagos fizines-chemines savybes. Atomus savo ruožtu sudaro branduoliai ir elektronų apvalkalai. Branduoliai sudaryti iš protonų ir neutronų. Kai branduolyje esančių protonų ir neutronų skaičiai skiriasi, branduoliai būna radioaktyvūs ir skyla. Jų skilimo metu išsiskiria energija ir išspinduliuojama jonizuojančioji spinduliuotė.

Jonizuojančioji spinduliuotė – spinduliuotė, kuri geba jonizuoti aplinką, o jos poveikis gali sukelti pokyčius gyvuosiuose organizmuose. Esant didelei apšvitai, ląstelės žūva arba yra pažeidžiamos. Žuvusios ląstelės neatsistato, o pažeistos gali atsistatyti. Tačiau tuo atveju, jei pažeista ląstelė nesugeba tinkamai atsistatyti, iškyla ląstelės išsigimimo pavojus, galintis nulemti vėžinius ir genetinius susirgimus. Todėl jonizuojančioji spinduliuotė yra pavojinga sveikatai.

Jonizuojančioji spinduliuotė yra kelių rūšių. Jonizaciją sukelia dalelės arba fotonai. Dalelės – tai helio atomai (vadinami alfa dalelėmis) arba elektronai (beta dalelės),

taip pat krūvio neturinčios dalelės – neutronai. Rentgeno ir gama fotonai – tai labai trumpos elektromagnetinės bangos, kurios aplinkoje sklinda šimtus metrų, lengvai prasiskverbia pro gyvųjų organizmų audinius, o juos susilpninti gali tik storas betono ar švino sluoksnis (Radiacinės saugos...2012).

1. 1. 1. Radioaktyviųjų medžiagų šaltiniai

Radioaktyvumas Žemėje egzistavo nuo pat planetos atsiradimo. Gamtoje galima rasti apie 60 radioaktyviųjų nuklidų, kuriuos galima suskirstyti į 2 pagrindines klases:

1. Gamtinės kilmės radionuklidai;
2. Dirbtinės kilmės radionuklidai.

Ilgą žmonijos gyvavimo laikotarpį ją supo tik gamtinės kilmės jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai: radionuklidai Žemės gelmėse ir spinduliuotė, pasiekianti mus iš kosmoso. Šiuos šaltinius sukūrė gamta, o žmogus jais susidomėjo ir pradėjo tyrinėti tik XIX a. pabaigoje. Dabartiniame technikos ir pažangos amžiuje nė vienoje žmogaus veiklos srityje neišsiverčiama be jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinių.

Dirbtinės kilmės jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinius sukūrė žmogus, siekdamas naudoti, ir panaudodamas juos medicinoje, pramonėje, moksle, branduolinėje energetikoje ir kitur. Šiuos šaltinius galima būtų suskirstyti į jonizuojančiosios spinduliuotės generatorius ir radionuklidinius šaltinius.

Jonizuojančiosios spinduliuotės generatoriai tai yra prietaisai, kuriuose jų veikimo metu sukurta jonizuojančioji spinduliuotė panaudojama tiksliai. Prietaisą išjungus spinduliuotės nelieta. Tuo generatoriai skiriasi nuo šaltinių, kurių jonizuojančiosios savybės išlieka visą jų naudojimo laiką. Dažniausiai sutinkamas generatoriaus pavyzdys – rentgeno aparatai, medicinoje naudojami ligų ir traumų diagnostikai.

Radioaktyvieji šaltiniai – tai šaltiniai, kurie savyje turi radioaktyviųjų medžiagų. Jie skirstomi į dvi dideles grupes: uždaruosius ir atviruosius jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinius. Uždarieji šaltiniai dažniausiai naudojami pramonėje įvairiems technologiniams procesams valdyti ir kontroliuoti, pvz.: storio, tankio ar drėgmės matavimo prietaisai. Atvirieji jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai naudojami branduolinėje medicinoje ligoms diagnozuoti ir gydyti bei moksliniuose tyrimuose tam tikriems procesams stebėti (Radiacinės saugos... 2012).

Gamtinės kilmės radionuklidai

Gamtinės kilmės radionuklidų galima rasti visur: vandenyje, dirvožemyje, ore, taip pat žmoguje. Taip yra dėl to, kad radioaktyvūs elementai yra sudedamoji Žemės uolienų

ir dirvožemių dalis; tarp tų uolienų dabar mes gyvename, iš jų statome namus ir gaminame visus daiktus, iš tų pačių planetos medžiagų esame kilę ir patys. (Kanapickas 2008).

Žemės plutoje šiuo metu yra išlikę 23 ilgaamžiai radionuklidai ir ^{238}U , ^{232}Th ir ^{235}Ac radioaktyviose eilėse dėl radioaktyvaus skilimo susidaro dar apie 40 radioaktyviųjų izotopų. Suminė vidutinė Žemės kilmės radionuklidų efektinė dozė yra 0,46 mSv/metams.

Žmogaus organizme egzistuoja Žemės kilmės radionuklidai, patenkantys per kvėpavimo takus ar maistą. Svarbiausias apšvitos šaltinis yra radonas, tai yra dujos, esančios aplinkoje, patalpų ore, gamtinėse dujose, geriamajame vandenyje, maiste, statybinėse medžiagose ir kt. (Remeikis 2007)

Pagrindinių priešistorinių ilgaamžių radionuklidų eilės ir jų produktai kartu su pusėjimo trukmėmis ir skilimo rūšimi pateiktos žemiau. α skilimas reiškia, kad branduolys išmeta α dalelę, branduolio eilės numeris sumažėja dviem, o atominė masė – 4 vienetais. Kai kurie radionuklidai gali skilti dviem būdais: pavyzdžiui, 99,98 % polonio branduolių suirdami išspinduliuoja α daleles (1. 1 lentelė), o likę 0,02 % pasižymi β skilimu.

1. 1 lentelė. Gamtinės kilmės radionuklido ^{238}U eilė (Mickevičius 2004)

Elementas, ^{238}U eilė		Skilimo pusėjimo trukmė	Skilimo būdas, tikimybė
Uranas	$^{238}\text{U}_{92}$	$4,47 \cdot 10^{11}$ m.	α -1
Toris	$^{234}\text{Th}_{90}$	24,10 d.	β -1
Protaktinis	$^{238\text{m}}\text{Pa}_{91}$	1,17 min.	β -1
Uranas	$^{234}\text{U}_{92}$	$2,45 \cdot 10^{11}$ m.	α -1
Toris	$^{230}\text{Th}_{90}$	$7,54 \cdot 10^{11}$ m.	α -1
Radis	$^{226}\text{Ra}_{88}$	1600 m.	α -1
Radonas	$^{222}\text{Rn}_{86}$	3,824 d.	α -1
Polonis	$^{218}\text{Po}_{84}$	3,05 min.	α -0,9998, β
Švinas	$^{214}\text{Pb}_{82}$	26,8 min.	β -1
Bismutas	$^{214}\text{Bi}_{83}$	19,9 min.	β -0,9998, α
Polonis	$^{214}\text{Po}_{84}$	164 μs	α -1
Švinas	$^{210}\text{Pb}_{82}$	22,3 m.	β -1
Bismutas	$^{210}\text{Bi}_{83}$	5,013 d.	β -1
Polonis	$^{210}\text{Po}_{84}$	138,4 d.	α -1

1. 2 lentelė. Gamtinio radionuklido ^{232}Th eilė (Mickevičius 2004)

Elementas, ^{232}Th eilė		Skilimo pusėjimo trukmė	Skilimo būdas, tikimybė
Toris	$^{322}\text{Th}_{90}$	$1,405 \cdot 10^{11}$ m.	α -1
Radis	$^{228}\text{Ra}_{91}$	5,75 m.	β -1
Actinis	$^{234}\text{Ac}_{92}$	6,15 h	β -1
Toris	$^{230}\text{Th}_{90}$	1,912 m.	α -1
Radis	$^{226}\text{Ra}_{88}$	3,66 d.	α -1
Radonas	$^{222}\text{Rn}_{86}$	55,6 m.	α -1
Polonis	$^{218}\text{Po}_{84}$	0,145 s	α -1
Švinas	$^{214}\text{Pb}_{82}$	10,64 h	β -1
Bismutas	$^{214}\text{Bi}_{83}$	60,55 min.	α -0,36, β
Polonis	$^{214}\text{Po}_{84}$	0,299 μs	α -1
Talis	$^{208}\text{Tl}_{81}$	3,053 min.	β -1
Švinas	$^{208}\text{Pb}_{82}$	patvarusis	

1. 3 lentelė. Gamtinio radionuklido ^{235}U eilė (Mickevičius 2004)

Elementas, ^{235}U eilė		Skilimo pusėjimo trukmė	Skilimo būdas, tikimybė
Uranas	$^{235}\text{U}_{92}$	$7,038 \cdot 10^8$ m.	α -1
Toris	$^{234}\text{Th}_{90}$	25,52 h	β -1
Protaktinis	$^{238}\text{Pa}_{91}$	32760 m.	α -1
Aktinis	$^{234}\text{Ac}_{92}$	21,77 m.	β -0,986, α
Toris	$^{230}\text{Th}_{90}$	18,72 d.	α -1
Francis	$^{223}\text{Fr}_{87}$	21,8 min.	β -1
Radis	$^{222}\text{Ra}_{88}$	11,44 d.	α -1
Radonas	$^{219}\text{Rn}_{86}$	3,96 s	α -1
Polonis	$^{218}\text{Po}_{84}$	1,781 ms	α -1
Švinas	$^{214}\text{Pb}_{82}$	36,1 min.	β -1
Bismutas	$^{214}\text{Bi}_{83}$	2,14 min.	α -0,997, β
Talis	$^{207}\text{Tl}_{81}$	4,77 min.	β -1
Švinas	$^{210}\text{Pb}_{82}$	patvarusis	

Radionuklidų koncentracijos priklauso nuo uolienų tipo konkrečioje vietovėje. Norint įvertinti radionuklidų koncentraciją pakanka išmatuoti spinduliuotės intensyvumą ore γ spektrometru (Mickevičius 2004).

Kosmogeniniai radionuklidai

Žemė yra nuolatos bombarduojama iš Kosmoso atsklindančiomis dalelėmis, kurių energija labai didelė. Šie kosminiai spinduliai sąveikauja su atmosferoje esančių atomų branduoliais ir sukuria kaskadus antrinių branduolinių reakcijų, kurių pasėkoje susidaro kosmogeniniai radionuklidai (Kanapickas 2008). Kosminė spinduliuotė – elektronų, protonų ir kitų dalelių srautas iš Visatos ir Saulės. Šių dalelių srautas vadinamas pirmine kosmine spinduliuote, kurios sudėtį už Žemės atmosferos ribų lemia cheminių elementų paplitimas Visatoje ir dalelių sąveika jų migracijos metu. Virš 88 % pirminių kosminių spindulių sudaro vandenilio branduoliai – protonai, apie 11 % – helio branduoliai – alfa dalelės ir sunkesnių cheminių elementų branduoliai (Remeikis 2007).

Plačiausiai žinomi kosmogeniniai radionuklidai yra tritis ^3H ir radioanglis ^{14}C . Kosminių spindulių intensyvumas praėjus atmosferą žemės paviršiuje beveik lygus nuliui, tačiau aviacijos naudojamuose aukščiuose, o juo labiau dirbtinių žemės palydovų skridimo aukščiuose, kosminė spinduliuotė bei jos sukurti antriniai produktai atmosferoje kuria palyginti didelę žmonių apšvitą (Kanapickas 2008).

Dirbtinės kilmės radionuklidai

Intensyvėjant gamybai, iš Žemės gelmių į mus supančią aplinką patenka vis didesni dirbtinės kilmės radionuklidų kiekiai. Žmonės sukūrė tūkstančius naujų radionuklidų, kuriuos taiko moksliniuose tyrimuose, technikoje, medicinoje, karo pramonėje. Daugeliu atveju dirbtiniai jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai tūkstančius kartų intensyvesni nei natūralūs. Branduolinio ginklo bandymai, urano gavyba, branduolinė energetika bei radioaktyviosios atliekos priskiriami dirbtinių radionuklidų skleidžiamai spinduliuotei (Remeikis 2007). Dirbtinės kilmės radionuklidų pagrindiniai šaltiniai yra trys: branduolinio ginklo gamyba ir bandymai, branduolinės energijos gamyba ir branduolinė medicina.

1. 4 lentelė. Dirbtinės kilmės jonizuojančios spinduliuotės šaltiniai (Kėdainių... 2010)

Technogeniniai šaltiniai	Ekvivalentinė dozė, mSv/metams
Rentgeno diagnostika	1,5
Televizija (4 valandos kasdien)	0,01
Sprogimų iškritos po branduolinio ginklo bandymų	0,088
Skridimas 10 km aukštyje	0,05
Atominė elektrinė (normalus darbo režimas)	0,00017
Šiluminė elektrinė (20 kilometrų spinduliu)	0,06
Kiti	0,002

Branduolinis ginklas fizikiniu požiūriu buvo kuriamas dviejų rūšių: naudojant sunkių branduolių, tokių kaip uranas ar plutonis, skilimo energiją (atominė bomba) ir lengvų branduolių (tritis, deuteris) sintezės metu susidariusią energiją (termobranduolinė bomba). Branduolinio ginklo gamyba labai panaši į branduolinės elektros energijos gamybos ciklą: urano rūdos kasimas, sodrinimas, kuro gamyba, panaudojimas branduoliniame reaktoriuje, perdirbimas – plutonio atskyrimas. Aplinkos tarša galima bet kurioje ginklo ruošimo stadijoje, tačiau ji bus lokali. Daug pavojingesni taršos požiūriu buvo branduolinio ginklo bandymai, kuriuos vykdė branduolinės valstybės siekdamos įvairių tikslų (Kanapickas 2008).

Veikiant branduoliniam reaktoriui radionuklidai į aplinką patenka per orą ir per vandenį. Į orą išmetamos inertinės dujos (argonas, ksenonas, kriptonas), tritis, jodas, radioanglis. Į vandenį patenka tritis ir nedideli kiekiai keleto kitų radionuklidų.

1. 1. 2. Radioaktyviųjų medžiagų savitojo aktyvumo nustatymas

Radionuklidų savitieji aktyvumai tiriamuose mėginiuose nustatomi gama spektrometru. Prieš matuojant mėginiai pasveriami ir supilami į matavimo kiuvetes. Mėginių matavimo trukmė yra 1–3 paros. Pagal išmatuotą radionuklido aktyvumą ir mėginio masę matavimo kiuvetėje apskaičiuojamas radionuklido savitasis aktyvumas mėginyje (Bq/kg).

Radionuklidų savitasis aktyvumas apskaičiuojamas pagal formulę (LAND 36-2000):

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

čia A – tiriamojo radionuklido savitasis aktyvumas mėginyje, Bq/kg; S – radionuklido smailės plotas, gautas matuojant radionuklidų aktyvumą mėginyje, imp; t – mėginio matavimo trukmė, s; S_f – smailės plotas, gautas matuojant foninę spinduliuotę, imp; t_f – fono matavimo trukmė, s; η – radionuklido skilimo energijos kvantinė išeiga; ε – spektrometrinės sistemos efektyvumas; m – mėginio masė, kg.

Savitojo aktyvumo absoliučioji maksimali paklaida apskaičiuojama pagal formulę (Mikalauskienė ir kt. 2010):

$$\Delta A = A \left(\frac{p}{100} + \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta m}{m} \right), \quad (1. 2)$$

čia A – pagal 1. 1 formulę apskaičiuotas radionuklido savitasis aktyvumas mėginyje, Bq/kg; p – spektrometru nustatyta matavimo santykinė paklaida, %; Δt – matavimo laiko paklaida, s; Δm – bandinio masės nustatymo paklaida, kg.

1. 1. 3. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymas

Radioaktyviosios atliekos susidaro, užsiimant veikla su jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniais:

- pramonėje (krūvio neutralizatoriai, didelio aktyvumo gama šaltiniai, dūmų jutikliai, lygio matuokliai ir k.t.)
- asmens sveikatos priežiūros įstaigose (klinikiniais tyrimams, ligų gydymui naudojami radiofarmakologiniai preparatai, brachiterapijos šaltiniai, spindulinės terapijos šaltiniai ir k.t.)
- mokslo ir mokymo institucijose (kalibravimo šaltiniai, atvirieji šaltiniai ir kt.)
- branduolinės energetikos objektuose (įvairios eksploatacijos ir eksploatacijos nutraukimo metu susidaranti radioaktyviosios atliekos)

Kadangi daugiausia radioaktyviųjų atliekų susidaro branduolinės energetikos objektuose, visi radioaktyviųjų atliekų gamintojai, išskyrus branduolinės energetikos objektus, vadinami „smulkiąisiais atliekų gamintojais“.

Siekiant užtikrinti darbuotojų, gyventojų ir aplinkos radiacinę saugą, radioaktyviosios atliekos turi būti tvarkomos taip, kad visuomenė ir aplinka būtų apsaugota nuo neigiamo jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio dabar ir ateityje (Radiacinės saugos... 2012).

Atliekų tvarkymo būdai skirstomi į 3 grupes:

1. Atliekų šalinimo būdai – tvarkymas, kurio metu nėra sukuriama galimybė resursų atnaujinimui, perdirbimui, pataisymui, tiesioginiam pakartotinam naudojimui ar panaudojimui kitam tikslui;

2. Atliekų naudojimo būdai – tvarkymas, kurio metu sudaromos galimybės resursų atnaujinimui, pataisymui, perdirbimui, pakartotinam naudojimui ar panaudojimui kitiems tikslams;

3. Atliekų surinkimo, vežimo, apdorojimo būdai – tvarkymas, kai atliekos surenkamos, pervežamos, importuojamos ar eksportuojamos, įskaitant netinkamų naudojimui gaminių išardymą, smulkinimą ir pan., atskiriant potencialiai teršiančią aplinką jų sudedamąsias dalis.

Pastarasis būdas nurodytas Lietuvos atliekų tvarkymo taisyklėse, tačiau ES dokumentuose, reglamentuojančiuose atliekų tvarkymą, naudojami tik du pirmieji (Pavojingų atliekų... 2007).

Lietuvos higienos norma HN 89:2001 „Radioaktyviųjų atliekų tvarkymas“ (Žin., 2001, Nr. 18-565) nustato pas smulkiuosius atliekų gamintojus susidariusių radioaktyviųjų atliekų tvarkymo reikalavimus.

Smulkieji atliekų gamintojai privalo:

- siekti, kad radioaktyviųjų atliekų susidarytų kiek įmanoma mažiau;
- taikyti reguliuojančiajai institucijai priimtinus radioaktyviųjų atliekų tvarkymo metodus bei būdus.

Bendruosius darbuotojų ir gyventojų radiacinės saugos reikalavimus nustato Lietuvos Respublikos radiacinės saugos įstatymas (Žin., 1999, Nr. 11-239) ir Lietuvos higienos norma HN 73:2001 „Pagrindinės radiacinės saugos normos“ (Žin., 2002, Nr. 11-388).

Kietosios radioaktyviosios atliekos tvarkomos šiais būdais:

- šalinamos kaip neradioaktyviosios, jei neviršijami nebekontroliuojamieji lygiai;
- trumpaamžiais radionuklidais (pusėjimo trukmė - ne didesnė kaip 100 dienų) užterštos kietosios atliekos saugomos tol, kol bus pasiekti nebekontroliuojamieji lygiai;
- jeigu neatitinka 1 ir 2 punktų reikalavimų, kietosios radioaktyviosios atliekos perduodamos saugoti į radioaktyviųjų atliekų saugyklą teisės aktų nustatyta tvarka.

Panaudoti uždarieji jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai tvarkomi laikantis šių reikalavimų:

- iki galutinio sutvarkymo saugomi apsauginiuose konteineriuose laikinosiose saugyklose, atskirai nuo kitų radioaktyviųjų atliekų;
- gražinami gamintojui arba perduodami radioaktyviųjų atliekų tvarkytojui teisės aktų nustatyta tvarka.

Paliktieji jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai ir radionuklidais užteršti objektai, kaip radioaktyviosios atliekos, tvarkomi valstybės ir savivaldybių institucijų lėšomis. Ekstremaliųjų įvykių ar ypatingos aplinkos radiologinės taršos atvejais – tvarkymo darbai finansuojami iš valstybės biudžeto. Nustačius asmenis, kaltus dėl paliktųjų jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinių ar radionuklidais užterštų objektų įsigijimo, laikymo, vežimo ar gamybos, tvarkymo išlaidos išieškomos iš kaltininkų (Radiacinės saugos... 2012).

Siekiant sumažinti pavojingų atliekų generavimą, reikia skatinti įmones diegti prevencines švaresnės gamybos inovacijas. Norint sumažinti gaminių poveikį aplinkai, reikia skatinti ekologinį gaminių projektavimą įmonėse arba subalansuotą vartojimą.

1. 1. 4. Jonizuojančiosios spinduliuotės apšvita

Jonizacijos procesas gyvoje terpėje pakeičia atomus ir molekules ir dėl to gali pažeisti ląsteles. Jeigu vidinis ląstelės mechanizmas pažeidimo nepataiso, tai ląstelė:

- 1) gali žūti,
- 2) prarasti sugebėjimą daugintis,
- 3) nebeatlikti savo funkcijos.

Apšvitinimas jonizuojančia spinduliuote gali būti dvejopas:

- išorinis, kai radiacijos šaltinis į organizmo vidų nepatenka ir radiacija veikia žmogų iš išorės;
- vidinis, kai radioaktyviosios medžiagos patenka į žmogaus organizmą su maistu, kvėpuojant arba tiesiog per kūno odą.

Išorinį apšvitinimą galima nutraukti, pavyzdžiui, perkėlus žmones į kitą vietą, panaudojus apsauginį ekraną, tuo tarpu vidinis apšvitinimas vyksta tol, kol radioaktyviosios medžiagos yra žmogaus organizme. Jei apšvitinimas išorinis, žmogaus organizmas yra pasyvus, o jei vidinis - aktyvus, nes dėl medžiagų apykaitos radioaktyviosios medžiagos gali kauptis ir būti šalinamos (Kanapickas 2008).

Norint įvertinti žmogaus sugertąją jonizuojančiosios spinduliuotės dozę, reikia apskaičiuoti vidinės apšvitos dozę, kurią sukelia įkvėptų ar su maistu į organizmą patekusių radioaktyviųjų medžiagų jonizuojančioji spinduliuotė, ir išorinės apšvitos sugertąją dozę, sukeltą ore esančių ir nusėdusių ant įvairių paviršių radionuklidų jonizuojančiąją spinduliuotę (Nedveckaitė 1998).

Alfa ir beta dalelės, kurios nėra labai kenksmingos, jei apšvitinimas išorinis, yra ypač pavojingos jei jis vidinis. Išorinio apšvitinimo metu ypač pavojingi gama ir rentgeno spinduliai. Išorinė apšvita dar skirstoma į apšvitą ne patalpose ir patalpose (Mickevičius 2004).

Jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos dozės

Visa per metus žmogaus gaunama efektyvi spinduliavimo dozė yra lygi 3,6 mSv. Kaip ši dozė priklauso nuo spinduliavimo šaltinių, galima matyti iš pateiktos 1. 5 lentelės ir 1. 1 paveikslo. Šie duomenys įvairiose šalyse šiek tiek skiriasi, nes skiriasi radioaktyviosios spinduliuotės aktyvumas. Pasaulyje yra didelio radioaktyvumo rajonų (Indijoje, Pakistane, Gabone), srityse su išvystyta pramone, daugiau naujų pastatų su didesniais kiekiais radioaktyvių elementų. Kosminio spinduliavimo sukeltas švitinimas yra mažesnis pusiaujo rajonuose, nes elektringos dalelės dėl Žemės magnetinio lauko poveikio šiek tiek nukrypsta link polių ten sukeldamos didesnes greitų dalelių "liūtis".

1. 5 lentelė. Vidutinė matinė žmogaus gaunama efektyvi radioaktyvaus spinduliavimo dozė (Mickevičius 2004)

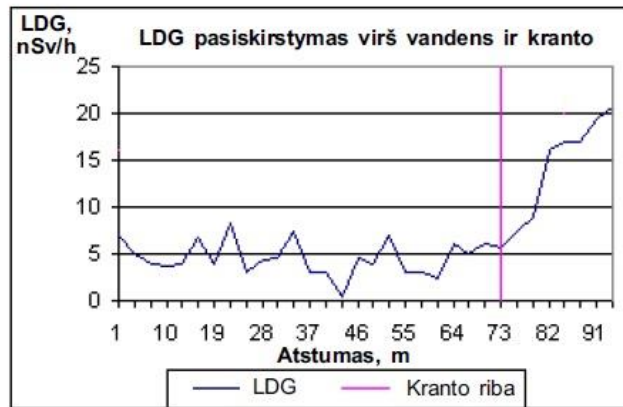
Šaltinis	Vidutinė metinė efektyvioji dozė, mSv
Ikvėptas iš oro (radonas ir jo skilimo produktai)	2,0
Kiti į organizmą patekę radionuklidai	0,39
Žemės radiacija	0,28
Kosminė radiacija	0,27
Kosmogeninis radioaktyvumas	0,01
Suma iš visų natūralių šaltinių	3,0
Suma iš visų dirbtinių šaltinių	0,6
Visa gauta dozė	3,6



1. 1 pav. Natūralų jonizuojančios spinduliuotės foną sudarančių šaltinių pasiskirstymas (Kanapickas 2008)

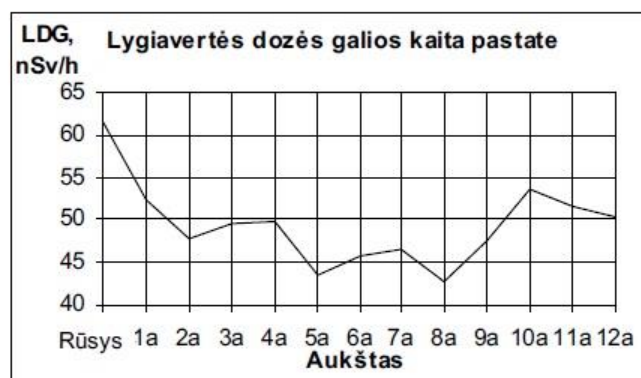
Iš pateiktų duomenų matyti, kad žmogaus efektyvi dozė, gauta iš natūralių šaltinių, yra lygi 82 %, didžiausią dalį sudaro raudono skilimo produktai, kurie yra ore. Likusi dozės dalis 18 % susidaro dėl dirbtinių šaltinių, daugiausia gaunama medicininių tyrimų tikslais ir tik nedidelė dalis (< 1 %) iš branduolinės energetikos.

Gamtinės kilmės radionuklidų jonizuojančiosios spinduliuotės lygiavertės dozės galios vertės pažemio ore krante yra didesnės negu virš vandens paviršiaus (1. 2 pav.), nes dirvožemyje yra žymiai didesnis radionuklidų kiekis nei vandenyje. Vandens sudėtyje žymiai mažesnis (100 ir daugiau kartų) radionuklidų kiekis, todėl virš vandens, kai gylis yra 3 m ir daugiau, lygiavertės dozės galią lemia kosminė spinduliuotė ir oras (Chadyšienė ir kt. 2004).



1. 2 pav. Jonizuojančiosios spinduliuotės lygiavertės dozės galios (LDG) pokyčiai virš vandens paviršiaus ir krante.

Gamtinės kilmės radionuklidų lygiavertės dozės galios vertės pastate pateiktos 1.3 pav. Atsižvelgiant į statinio aukštį, jonizuojančiosios spinduliuotės lygiavertės dozės galia kinta nuo 43 iki 62 nSv/h. Didžiausia gamtinės kilmės radionuklidų lygiavertės dozės galia yra rūsyje, tai lemia raudono skilimo produktų gama spinduliuotė (Chadyšienė ir kt. 2004).



1. 3 pav. Gamtinės kilmės radionuklidų lygiavertės dozės pokyčiai pastate

Visi gyvi organizmai nuolatos yra apšvitinami jonizuojančiąja spinduliuote, kuri natūraliai visada egzistavo. Daugelio radionuklidų sąlygojama apšvita yra vienoda visur, pavyzdžiui, apšvita kaliumi ^{40}K , kuris į organizmą patenka kartu su maistu. Kai kurių spinduliuočių intensyvumas labai stipriai priklauso nuo vietovės. Apšvita taip pat stipriai priklauso nuo žmogaus veiklos ir gyvenimo pobūdžio. Pavyzdžiui, nuo pastato ventiliacijos sistemos konstrukcijos priklauso radono dujų ir jo skilimo produktų koncentracija pastatuose, todėl gali stipriai padidėti pastate gyvenančių žmonių apšvita įkvepiant (Kanapickas 2008).

Lygiavertė dozės galia, sukurta radionuklidų jonizuojančiosios spinduliuotės, priklauso nuo radionuklidų, pasiskirsčiusių dirvožemyje, absorbuotų augaluose bei esančių ore, spinduliuotės. Visų minėtų veiksnių įvertinimas sunkina radionuklido spinduliuote sukeltos apšvitos dozės įvertinimą (Arapis 1999).

Lygiavertės dozės galios prie žemės paviršiaus formavimasis susijęs su spinduliuotės pokyčiu, kuris vyksta radionuklidui persiskirstant pagal grunto gylį. Lygiavertės dozės galia smarkiai sumažėja dirbamuose dirvožemiuose – ariant dirva tolygiai maišosi iki 20 cm gylio (Pečiulienė 2006).

1. 2. Sunkieji metalai ir jų sklaida

Sunkiesiems metalams priskiriami tie cheminiai elementai, kurių atominė masė didesnė nei 40, o tankis didesnis nei $5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Dažniausiai tiriami yra šie sunkieji metalai: Pb, Cd, Cu, Zn, Cr, Ni, Mn, Fe, As, Hg, V. Bendriau klasifikuojant, sunkiaisiais metalais vadinami metalai ir metaloidai, kurie periodinėje lentelėje išsidėstę nuo IIA grupės, per IVA grupę ir apima tokius pusmetalius, kaip boras, arsenas, selenas ir telūras (Stravinskienė 2005).

Sunkieji metalai gali būti elementų pavidalo, jonų forma ištirpę vandenyje, garų pavidalo, druskų ar mineralų pavidalo uolienų sudėtyje, smėlyje, dulkėse ir sudarydami įvairius organinius ir neorganinius junginius (EA 1999).

1. 2. 1. Gamtiniai sunkiųjų metalų šaltiniai

Sunkieji metalai yra gamtiniai Žemės plutos sudėtiniai elementai. Jie yra grupė metalų, kurie gali susidaryti gamtoje ir dažniausiai randami uolienų ir dirvožemio sudėtyje. Dėl gamtinio uolienų ir dirvožemio dūlėjimo, išlaisvinti sunkieji metalai patenka į upes ar ežerus (Contaminants Division 2004).

Gamtiniai sunkieji metalai, esantys atmosferos oru pernešamų dalelių sudėtyje, yra vėjo nešamos dulkės, jūros pūslai, vulkanų išsiveržimai, biogeninės medžiagos ir pelenai po miškų gaisrų. Nors sunkiųjų metalų kiekiai iš paminėtų šaltinių yra palyginti maži, tačiau, manoma, kad jie sudaro vieną svarbiausių globalinės gamtinės sunkiųjų metalų pernašos į atmosferą dalių (Rasmussen 1996).

1. 2. 2. Antropogeniniai sunkiųjų metalų šaltiniai

Didžioji dalis sunkiųjų metalų į aplinką patenka iš antropogeninių taršos šaltinių. Pagrindiniai taršos sunkiaisiais metalais šaltiniai yra pramonė (metalų apdirbimo, elektrotechnikos, transporto, termoizoliacinių medžiagų, odos apdirbimo įmonės, chemijos, trąšų pramonė ir kt.), buitinės nuotekos, nuotekų dumblas ir kt. (1. 6 lentelė).

1. 6 lentelė. Sunkiųjų metalų šaltiniai dirvožemyje (HN 60:2004)

Taršos šaltiniai	Aptinkami ir rekomenduojami tirti SM
Antrinis spalvotų metalų apdirbimas	Zn, Cr, Cd
Elektros, radiotechnikos ir elektronikos prietaisų gamyba	Ni, Cr, Mn, Pb, Cu
Ketaus, legiruotų specialių plienų gamyba ir apdorojimas, staklių gamyba, terminis metalų apdorojimas	Co, Zn, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni
Autoremonta, transporto įmonės, švininių akumuliatorių gamyba, spaustuvės (tipografija, šrifto liejimas)	Pb, Ni, Cd, Zn, Cu, Co, Cr
Šiluminės katilinės, elektrocentralės	Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, Cr, Mn
Chemijos pramonė, plastmasių gamyba	Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, Cr
Fosfatinių ir kitų trąšų gamyba	Zn, Cu, Cr, Cd
Odos apdirbimo ir avalynės gamyba, lengvoji pramonė	Pb, Cu, Cd, Ni, Cr
Termoizoliacinių medžiagų, cemento, betoninių konstrukcijų, stiklo gamyba	Zn, Cr, Ni, Mn, Pb, Cu, Cd
Miestų buitinės nuotekos, naudojamos kaip trąšos	Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Cr
Nuotekų dumblas, užterštas laistomasis vanduo	Pb, Ni, Cr, Cu, Zn

Atsižvelgiant į lokalių antropogeninės taršos šaltinių pobūdį, toliau apibūdinami pagrindiniai SM ir jų patekimo iš technogeninių taršos šaltinių pobūdis.

Švinas. Natūraliai dirvožemyje randamas PbS, PbCO₃, PbSO₄, PbCrO₄ pavidale (Ghazi and Millette 2005). Didesniais kiekiais Pb randamas dirvožemio paviršiuje arba organinėse medžiagose. Dirvožemyje Pb koncentracija yra apie 6 mg/l. Anksčiau Pb koncentracija buvo daug didesnė, ji siekė net 200 mg/kg (Thompson 2007). Pb patenka i maisto produktus iš užterštos aplinkos, dažniausia kaip pramonės teršalas. Į dirvožemį Pb patenka iš pramoninių procesų, kuriuose gaminami akumuliatoriai, keramika, dažai, elektros kabeliai, plastikai bei metalai.

Chromas. Cr daugiausiai naudojamas lydinuose, tokiose kaip nerūdijantis plienas, chromavimui ir metalų keramikoje. Cr plačiai taikomas, kaip apsauga nuo korozijos, taip pat – metalo ir odos apdorojimo, įrankių gamybos, energetikos ir kt. įmonėse (Taraškevičius 1998). Žmonės gali būti paveikti Cr bei Cr junginių kvėpuojant, valgant ar geriant bei per oda. Paprastai chromo lygis ore bei vandenyje yra mažas, maži šio elemento kiekiai yra vaisiuose ir daržovėse.

Nikelis. Ni pagrindinis šaltinis yra alyvos ir anglies deginimas, o lokali Ni tarša pasižymi plieno apdirbimo pramonės įmonėse ir metalų lydyklose. Kaip sudėtinė dalis Ni naudojamas metalų lydinuose ir metalų padengimui. Šis elementas yra svarbus kai kuriems organizmams, o didelės jo koncentracijos yra pavojingos augalams ir grybams. Nustatytas ir kancerogeniškas Ni poveikis žmonėms (Mažvila 2001). Gamtoje Ni dažniausiai randamas junginiuose su arsenu bei siera (Nikelis 2006).

Varis. Cu sudaro $4,7 \cdot 10^{-3}$ % Žemės plutos masės. Gamtoje randamas grynuolių ir junginių pavidalo. (Varis 2007). Gamtoje yra priskiriamas judriesiems elementams. Ypač didelių judrių Cu pasižymi rūgščioje ir oksidacinėje terpėje. Cu kiekį Lietuvos dirvožemyje

lemia – dirvožemio molingumas (Kadunas ir kt. 1999). Vidutinis Cu kiekis žemės ūkiui skirtose dirvožemiuose yra 2 - 100 mg/kg.

Cinkas. Dirvožemio sandara, pH, uolienu kilmė ir organinių medžiagų kiekis įtakoja natūralų Zn kiekį dirvožemyje. Esant rūgščioms sąlygoms, Zn būna divalentis ir gana mobilus dirvoje. Cinkas yra būtinas mikroelementas augalams, tačiau didelės koncentracijos jis gali būti toksiškas. Augalų biomasėje cinko koncentracija yra nuo 10 iki 150 mg/kg (Fischerova *et al.* 2006). Cinkas sunkiai įsisavinamas, kai dirvožemyje daug geležies, vario ir fosforo (Petrauskas 2006).

1. 2. 3. Sunkiųjų metalų sklaida įvairių tipų dirvožemiuose

Kalnakasybos, energetikos pramonės, taip pat žemės ūkio veikloje padidėja sunkiųjų metalų kiekiai. Chromo, vario, cinko tokiose pramonėse pasiekia toksiškas koncentracijas (Gardea-Torresdey *et al.* 2005). Sunkieji metalai gali migruoti dirvožemyje, kai kurie iš jų kaupiasi, neretai sutrikdo dirvožemyje vykstančius procesus, o kartais gali sukelti dirvožemio degradaciją (Idzelis *et al.* 2004). Būtent dėl šių priežasčių sunkiųjų metalų kiekiai dirvožemyje yra nuolat matuojami ir bandoma ieškoti būdų, kaip kuo efektyviau sumažinti jų kiekius dirvožemyje ne tik Lietuvoje, bet ir visame pasaulyje (Jankaitė ir Vasarevičius 2003).

Sunkiųjų metalų kaupimuisi ir migracijai nemažos įtakos turi dirvožemių fizikinės ir cheminės savybės, kaip dirvožemio rūgštingumas, humuso kiekis, dirvožemio kilmė, sorbciniai ypatumai ir dirvožemio granulimetrinė sudėtis, o ypač jo smulkioji frakcija (Jankauskas 1996). Paprastai priesmėlio dirvožemiuose vyrauja kvarcas ir stambios grunto dalelės (1–0,01mm), mažai turintys sunkiųjų metalų, o priemoliuose ir moliuose, kurių daugumos dalelių dydis mažesnis už 0,01 mm, yra įvairių mineralų. Juose sunkiųjų metalų būna daugiau.

Pagrindinės dirvožemio sudėtinės dalys apima kietąją dalį (apie 5 % organinės ir apie 95 % mineralinės medžiagos), skystąją dalį (dirvožemio tirpalas), dujinę dalį (oro) ir dirvožemyje gyvenančius mikroorganizmus. Mineralinę dirvožemio medžiagą sudaro trys pagrindinės frakcijos (smėlis, aleuritas ir molis), iš kurių didžiausią vaidmenį medžiagų pernašai turi molio dalelės. Dėl oksidų, hidrokaidų ir oksihidrokaidų, molio dalelės turi neigiamą krūvį, todėl reaguoja su katijonais ir tuo apsprendžia dirvožemio katijonų mainų gebą.

Didžioji dalis organinės medžiagos yra susikaupusi viršutiniame dirvožemio sluoksnyje. Smulkiadispersinės (mažesnės kaip 0,001 mm) organinės dalelės (humuso) dėl neigiamo krūvio sorbuoja mikroelementus ir tokiu būdu turi nemažą įtaką foniniams

mikroelementų kiekiams dirvožemyje. Dirvožemio tirpalas yra svarbus dėl jame vykstančių mikroelementų judriųjų formų kaitos, o jo terpė (pH) svarbus veiksnys, lemiantis mikroelementų judėjimą (Maier *et al.* 2000).

Neigiamai įelektrintas molio mineralų ir organinių medžiagų paviršius iš dirvožemio tirpalo gali absorbuoti ekvivalentinius jonų, ypač katijonų, kiekius, o jau absorbuotus pakeisti naujais. Tokiu būdu jonai apsaugomi nuo išplovimo, o kaip maisto medžiagos lengviau patenka į augalų šaknis

Dėl gebėjimo susijungti su mineralinėmis dirvožemio dalelėmis ir humusu, sunkiųjų metalų būna judrių ir nejudrių formų. Sunkiųjų metalų tirpumas ir judris priklauso nuo adsorbcijos, desorbcijos ir junginių susidarymo procesų, kuriems turi įtakos dirvožemio tipas (Schützendübel and Polle 2002).

Išskiriamos šios pagrindinės sunkiųjų metalų cheminės formos (Hozhina *et.al.* 2000):

- a) vandenyje tirpūs;
- b) mainų;
- c) absorbuoti ir susijungę su karbonatais;
- d) įsiterpę daugiausiai į Fe-Mn oksidus;
- e) stipriai susijungę su organine medžiaga;
- f) liekaninė.

Pirmosios dvi priskiriamos judrioms sunkiųjų metalų formoms, c), d) ir e) – potencialiai judrioms, o liekaninė – nejudriai sunkiųjų metalų formai (Schützendübel and Polle 2002).

Ypatingas susidomėjimas sunkiaisiais metalais atsirado todėl, kad metalai gamtoje turi savybę kauptis, migruodami iš vienos gamtinės sistemos į kitą. Metalų migraciją gamtoje užtikrina vandens terpė, nes dauguma metalų junginių yra tirpūs. Dėl sunkiųjų metalų kancerogeninių savybių net ir labai mažos jų koncentracijos gali sukelti nepageidaujamų ar net nepataisomų pokyčių gamtoje. Visos išvardintos priežastys lemia tai, kad metalų tyrimai įgavo labai platų mastą pasaulyje (Sunkiųjų metalų... 2007).

Daugiausiai Cr dirvožemyje yra Vidurio Lietuvoje ir Vakarų Lietuvoje, o mažiausiai Rytų Lietuvoje (7,8 mg/kg). Daugiausiai Zn yra Vakarų Lietuvos dirvožemiuose, o mažiausiai Rytų Lietuvos dirvožemiuose. Didžiausios Cd koncentracijos dirvožemyje yra Vidurio Lietuvoje (apie 0,6 mg/kg), o mažiausios Cd koncentracijos yra Vakarų Lietuvoje, tačiau mažai kuo skiriasi nuo Rytų Lietuvos. Minėtų metalų kiekiai gilesniuose dirvožemio sluoksniuose, t.y. 20 – 40, 40 – 60 cm gylyje, mažai skiriasi nuo jų kiekio paviršiniame dirvožemio sluoksnyje. Bet Lietuvoje kasmet vis didėja sunaudotų trąšų kiekis, o

mineralinėse trąšose yra daug sunkiųjų metalų. Pavyzdžiui, Kėdainių chemijos gamyklos gaminamame superfosfate kadmio yra 2,75; švino – 14,5; chromo – 7,5; nikelio – 12,5; vario – 26,2; cinko – 18,2; mangano – 130 mg/kg. Laikantis vidutinių trešimo normų, kasmet 1 kg dirvožemio papildomai užteršiam 1,8 g kadmio, iki 3,2 g chromo, 10,3 g švino, 8,5 g nikelio, 8,7 g vario, 10,2 g cinko, iki 42,3 g mangano. Nors tai nėra dideli kiekiai, tačiau dirvožemyje jie kaupiasi, todėl jie yra pavojingi ir gyvėjai gamtai, ir žmogui (Sunkiųjų metalų... 2008). Dirvožemio valymas nuo sunkiųjų metalų vis dar yra nemaža problema (Fitoremediacija 2008). Pb didžiausios koncentracijos dirvožemyje yra Vakarų Lietuvoje, o mažiausios Rytų Lietuvoje. Didžiausios koncentracijos Cu dirvožemyje yra randamos Vidurio Lietuvoje, tai 7 mg/kg. Mažiausios Cu koncentracijos yra Rytų Lietuvoje.

1. 3. Šiluminės elektrinės

Šiluminėse ir kitose jėgainėse darbo sistema parenkama remiantis apkrova, prieinamu kuru ir elektros energijos paklausa. Toliau pateikta keletas galimų jėgainių tipų.

Tipinė garo turbininė jėgainė. Elektros gamybos sistema, kai panaudojamas garas, susideda iš keturių dalių: šildymo sistema (kuras garo gamybai), garo sistema (katilas ir garo tiekimo sistema), garo turbina ir kondensatorius (atidirbusio garo kondensacija).

Dažniausiai šiluma gaunama deginant anglį, gamtines dujas ar mazutą. Kuras paduodamas į katilo kūryklą. Paprastai naudojami trijų tipų katilai: natūralios cirkuliacijos, priverstinės cirkuliacijos ir tiesiasroviai katilai. Katilą arba garo generatorių dažniausiai sudaro ekonomaizeris, garintuvas, perkaitintuvas ir ekonomaizeris, kurie padidina katilo efektyvumą.

Verdančio sluoksnio degimas (VSD) naudojamas tuomet, kai deginamas įvairių rūšių kietas kuras, pvz., anglis, lignitas, durpės ar biokuras. Egzistuoja dviejų tipų VSD katilai – intensyviai verdančio sluoksnio ir cirkuliuojančio verdančio sluoksnio.

Intensyvaus verdančio sluoksnio degimas (IVSD) – tai moderni degimo technologija, kuri ypač tinka deginant nehomogenišką biokurą.

Cirkuliuojančio verdančio sluoksnio degimo (CVSD) katilai dažniausiai naudojami didelėse jėgainėse, kur deginama anglis.

Pasirinkimas tarp degimo ant ardyno ir verdančio sluoksnio degimo priklauso nuo pelenų kokybės ir kure esančių priemaišų kiekio. Kuras, kurio pelenų lydymosi temperatūra yra žema, negali būti deginamas verdančiame sluoksnyje, kadangi virimas bus pastoviai trikdomas.

Verdančio sluoksnio degimas taip pat netinka buitinių atliekų deginimui, nes jose esančios sunkios priemaišos – metalinės dalelės – nusėda ant paskirstymo plokštės, trukdo burbuliavimui ir jas sunku pašalinti nuo kūryklos.

Dujų turbinos sistemos veikimo principas yra labai panašus į garo turbinos sistemą, tik turbinos mentėms sukuti naudojamos išmetamosios dujos, o ne garas. Be to, turbina suka ne tik generatorių, bet ir rotacinį kompresorių, kuriame suslegiamas oras. Degiklyje šis suslėgtas oras yra sumaišomas su dujomis ar skystu kuru. Kuo didesnis suslėgimas, tuo aukštesnė temperatūra ir efektyvumas yra pasiekiami dujų turbinoje. Dujų turbinos sistemoje nenaudojami katilai, kondensatoriai, garo tiekimo ir atliekinės šilumos šalinimo sistemos, dėl to ši energijos gamybos sistema tampa pigesne už garo turbinos sistemą. Praktikoje, dujų turbinos naudojamos elektros gamybai tokiomis sąlygomis, kai reikia greitai ir nedaug energijos.

Kombinuoto ciklo įrenginiuose naudojamos dujų turbinos ir garo generatoriai. Kombinuoto ciklo dujų turbinoje (KCDT) karštos dujos iš dujų turbinos yra pagrindinis (arba tik dalis) šilumos šaltinis katilui, kuriame gaminamas garas garo generatoriaus turbina. Tokia kombinacija padidina anglimi ar mazutu varomo garo generatoriaus šiluminį efektyvumą.

Galimos keturios konfigūracijos:

1. Dujų turbina ir šilumą utilizuojantis garo generatorius;
2. Dujų turbina ir papildomo degimo garo generatorius;
3. Dujų turbina ir degimo kūrykloje garo generatorius;
4. Dujų turbina ir degimo esant slėgiui kūrykloje garo generatorius;

Kogeneracija – tai sistema apjungianti elektros energijos bei pramoninės šilumos ir garo gamybą. Tokioje sistemoje kuras yra efektyviau panaudojamas, o šiluminė energija, kuri kitu atveju būtų išmetama į aplinką, yra panaudojama pramoniniuose procesuose. Kogeneracinės technologijos yra skirstomos į „viršutinio ciklo“ ir „apatinio ciklo“ sistemas, priklausomai nuo to, kuri energijos rūšis yra gaminama pirmiau: elektros (viršutinis ciklas) ar šilumos (apatinis ciklas) (Anotacija apie... 2007).

Šiluminių elektrinių pasirenkamas kūrenti kuras priklauso nuo rinkos situacijos, kainų. Elektrinės, deginančios iškastinį kurą, yra pagrindinis blogėjančios pasaulio požeminių vandenų kokybės, susidarančių rūgščių lietų poveikio miškams ir ežerams dėl išmetamo į aplinką gyvsidabrio ir dioksinų veiksnys. Iškastinio kuro elektrinės pritaikytos kūrenti anglį mazutą ir gamtines dujas, priklausomai nuo rinkos sąlygų, keičia kuro rūšį (Sierra Club 2007).

1. 3. 1. AB „Lietuvos elektrinė“

Lietuvos elektrinė – šiluminė elektrinė, kurioje kuro šilumos energija paverčiama elektros energija. Degant kurui išsiskiria didelis šilumos kiekis – kuro cheminė energija paverčiama šilumos energija. Katile kuro šilumos energija perduodama vandeniui, vanduo išgarinamas, gautas garas tiekiamas į turbiną. Garas eidamas per turbiną, suka jos veleną – garo šilumos energija verčiama į mechaninę energiją. Besisukdamas turbinos velenas, suka generatoriaus rotorį. Generatoriuje gaminama elektra – mechaninė energija paverčiama elektros energija (Lietuvos elektrinė... 2012)

AB Lietuvos elektrinė gamina elektros ir šiluminę energiją. Objekto veiklos sritys:

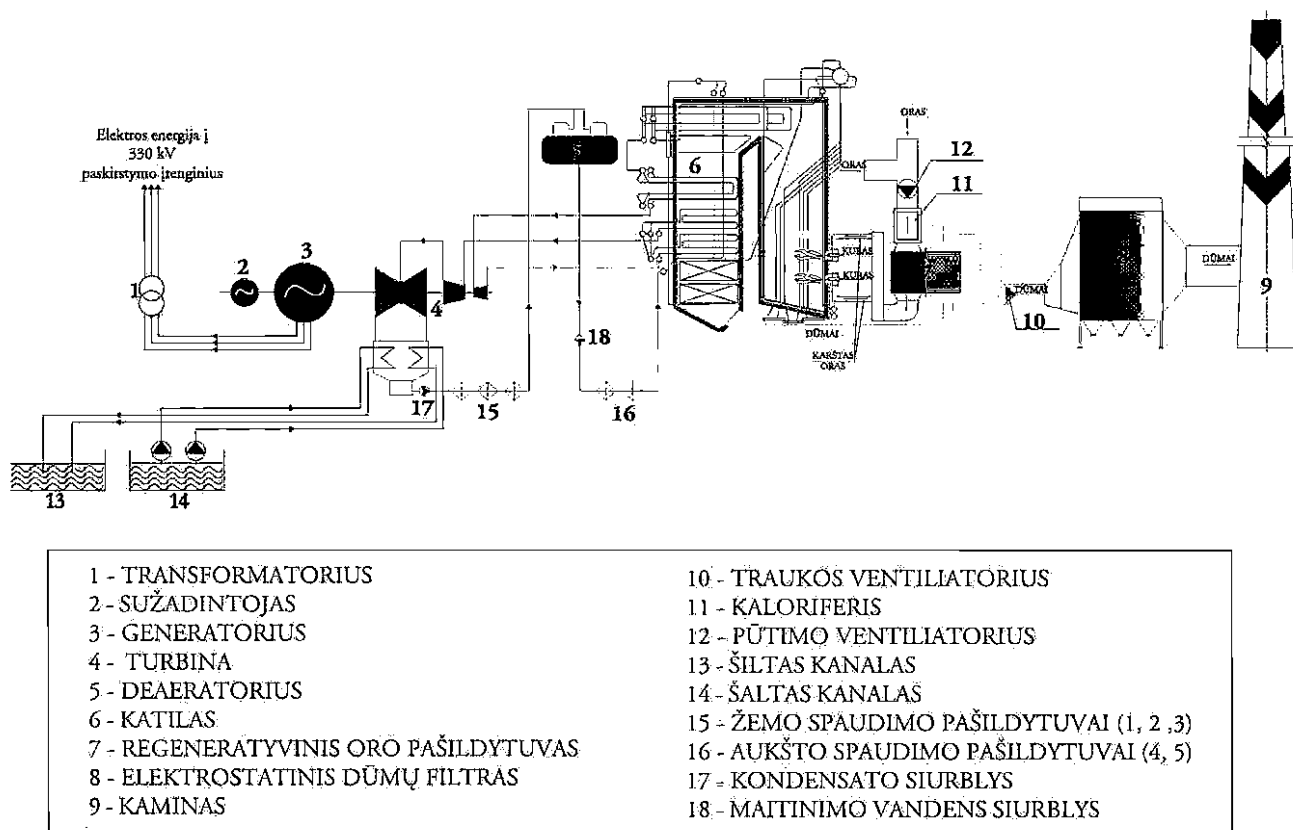
- šilumos ir energijos gamyba deginant gamtines dujas ir skystąjį kurą;
- mazuto laikymas (saugojimas) rezervuaruose;
- mazuto pakrovimo ir iškrovimo darbai (estakada);
- atliekų surinkimas, saugojimas, šalinimas (Lietuvos energetikos... 2008).

Lietuvos elektrinė pastatyta blokiniu principu. Kiekvienas blokas – garo katilas, turbina, generatorius ir transformatorius sudaro autonominę sistemą. Elektrinėje veikia keturi 150 tūkst. kW galios (Nr. 1-4) ir keturi 300 tūkst. kW galios (Nr. 5-8) energetiniai blokai.

Pagrindinis korpusas 420 m ilgio, kuriame sumontuoti garo katilai, turbinos, generatoriai ir jų pagalbiniai įrengimai. Trijuose pagalbinuose korpusuose yra vandens cheminė valykla, mechaninės dirbtuvės, laboratorijos, administracinės ir buitinės patalpos. Elektrinė naudoja organinį kurą. Pagrindinis kuras-gamtinės dujos, rezervinis-mazutas.

Lietuvos elektrinėje yra dviejų tipų blokai: 150 MW ir 300 MW. 150 MW blokų katilai yra natūralios cirkuliacijos. Garinamo vandens daugkartinė cirkuliacija vyksta katilo garinimo elementuose dėl vandens svorių skirtumo vandens nuleidimo (nešildomuose) ir kūrykloje esančiuose ekranuose (šildomuose) pakilimo vamzdžiuose. Tam, kad vyktų daugkartinė (4-10 kartų) cirkuliacija, vandens nuleidimo ir pakilimo vamzdžiai viršuje sujungti su būgnu, į kurį paduodamas iš anksto pašildytas maitinimo vanduo. Sotus garas, atskirtas nuo verdančio vandens, iš būgno nukreipiamas į garo perkaitintuvą. Natūralios cirkuliacijos katiluose būgnas yra svarbus įrengimas, kur garas atskiriamas nuo vandens iš garo-vandens mišinio, kuris susidaro kaitinimo vamzdžiuose, vanduo paskirstomas į nuleidimo vamzdžius o sotus garas nukreipiamas į garo perkaitintuvą. Tokie katilai vadinami būgniniais. 300MW blokų katiluose nėra būgno. Garo gamyba juose vyksta vandens-garo trakto eigoje. Tokie katilai vadinami tiesiasroviais (Lietuvos elektrinė... 2012).

Elektrinės darbo procesas aprašomas imant pavyzdžiu bloko Nr.2 (1. 4 pav.) darbą.



1. 4 pav. 150 MW blokas su katilu Nr.2 (Lietuvos energetikos... 2008)

Garo gamybai reikalingas vanduo imamas iš ežero patenka į vandens cheminę valyklą, kur nuskaidrinamas, nudruskinamas ir paduodamas į turbinos kondensatorių. Iš kondensatoriaus vanduo (jau vadinamas kondensatu) kondensato siurbliais paduodamas į žemo spaudimo šildytuvus, kur pašildomas iki 130-150°C garais. Po žemo spaudimo šildytuvų kondensatas patenka į deaeratorių. Čia iš kondensato pašalinamas deguonis ir kondensatas dar pašyla maždaug iki 168°C. Iš deaeratoriaus deaeruotas vanduo (maitinimo vanduo) maitinimo siurbliais paduodamas į aukšto spaudimo šildytuvus kur pašildomas iki 250°C garais iš turbinos tarpinių garo nuėmimų. Po to maitinimo vanduo patenka į katilo konvektyvinėje šachtoje esantį ekonomizerį, pašildomas ir paduodamas į katilo būgną. Iš ten nuleidžiamaisiais vamzdžiais į ekranus, kuriais padengtos kūryklos sienos.

Mazutas kuro ūkyje paruošiamas deginimui, per šildytuvus tiekiamas į katilo degiklius, ir susimaišęs su pūtimo ventiliatoriaus paduodamu regeneratyviniame oro šildytuve pašildytu oru, dega katilo kūrykloje. Degantis kuro-oro mišinys sudaro galingą liepsnos srautą, fakelą, kurio branduolyje temperatūra siekia 1300-1400°C. Jeigu kūrenama dujomis, dujos į katilo degiklius tiekiamos iš dujų magistralių, o mazutas, kad nesustingtų, paprastai cirkuliuoja žiedu kuro ūkis-katilinė.

Degančio kuro šiluma perduodama ekranuose esančiam vandeniui. Vyksta cirkuliuojančio ekranuose vandens garinimas. Išgarintas vanduo virsta 155 kgf/cm² slėgio ir

343°C temperatūros sočiu garu ir toliau nukreipiamas į konvektyvinėje šachtoje esantį garo perkaitintuvą. Įkaitintas iki 540°C 140 kgf/cm² pirminis garas paduodamas į turbinos aukšto spaudimo cilindą. Po aukšto spaudimo cilindro garas (P=32,5 kgf/cm², t=355 °C) grąžinamas į katilo tarpinį garo perkaitintuvą, o iš jo pakartotinai perkaitintas garas (P=30,5 kgf/cm², t=540°C) paduodamas į turbinos vidutinio spaudimo cilindą (VSC) po to į žemo spaudimo cilindą (ŽSC) toliau į kondensatorių. Kondensatoriuje garas, apiplaudamas vamzdelius, kuriais cirkuliuoja ežero vanduo, virsta kondensatu, surenkamas kondensato surinkėjuje iš kur jį siurbia kondensato siurbiai nepertraukiamam garo gamybos ciklui.

Garas nukreiptas kreipračiais praeina pro ant turbinos veleno esančius darbo ratus ir suka turbinos veleną. Turbinos velenas mova sujungtas su generatoriaus rotoriumi, kuris sukasi kartu. Į generatoriaus rotoriaus apvijas per šepečių sistemą ir ant rotoriaus galo esantį kolektorių paduodama žadinimo srovė.

Žadinimo srovė tekėdama rotoriaus apvijomis sukuria magnetinį srautą, kuris indukuoja statoriaus apvijose elektros srovę. Generatoriaus įtampa – 18 kV, aušinimas vandeniliu, kuris aušinamas vandeniu, sužadinimas – aukšto dažnumo su lygintuvais.

Elektros energija iš generatoriaus per transformatorių, kur įtampa pakeliama iki 330 kV, tiekama į 330 kV paskirstymo įrenginius. 300 MW blokų darbo principas yra analogiškas (Lietuvos elektrinė... 2012).

AB Lietuvos elektrinė gaminamos produkcijos (elektros ir šiluminė energija) kiekis ir kuro suvartojimas 2007 m. pateikti 1. 7 – 1. 9 lentelėse.

1. 7 lentelė. Kuro ir energijos vartojimas per 2009 metus (Lietuvos energetikos... 2010)

Energetiniai ir technologiniai ištekliai	Matavimo vnt., t, m ³ , kWh ir kt.	Sunaudojamas kiekis per metus	Išteklių gavimo šaltiniai
a) elektros energija	MWh	90376	AB Lietuvos elektrinė
b) šiluminė energija	MWh	4807	AB Lietuvos elektrinė
c) gamtinės dujos	mln. m ³	271,34	AB „Lietuvos dujos“
d) suskystintos dujos	-	-	-
e) mazutas	t	2660	AB „Mažeikių nafta“
f) krosninis kuras	-	-	-
g) dyzelinas	t	35,43	Autotransportas
h) akmens anglis	-	-	-
i) benzinai	t	10,94	Autotransportas
j) biokuras:	-	-	-

1. 8 lentelė. Duomenys apie naudojamas žaliavas, chemines medžiagas ar preparatus 2009 metais (Lietuvos energetikos... 2010)

Žaliavos, cheminės medžiagos ar preparato pavadinimas	Kiekis per 2009 metus	Cheminės medžiagos ar preparato klasifikavimas ir ženklavimas		
		kategorija	pavojaus nuoroda	rizikos frazės
Mazutas, tūkst. t/m	2,66		T	R45 R66 R52/53
Gamtinės dujos, mln. m ³ /m	271,34			

1. 9 lentelė. Žaliavų ir papildomų cheminių medžiagų ar preparatų saugojimas (Lietuvos energetikos... 2010)

Eil. Nr.	Žaliavos, cheminės medžiagos ar preparato pavadinimas	Transportavimo būdas	Kiekis, saugomas vietoje, t	Saugojimo būdas
1	Mazutas	geležinkelis	150000	Antžeminė talpa apipilta gruntu
3	Gamtinės dujos	vamzdynai	-	-

Tirpiklių turinčios cheminės medžiagos ir preparatai nenaudojami ir nesaugomi (Lietuvos energetikos... 2010).

1. 3. 2. Mazutas – šiluminių elektrinių kuras

Elektros jėgainėse deginamas skirtingos cheminės sudėties kuras: naftos produktai – sieringasis bei mažai sieringas mazutas, orimulsija, asfaltenas; gamtinės bei suskystintos naftos dujos; kietasis kuras – akmenis anglys, durpės, malkos (Kugelevičius ir kt. 2005). Kai kurie iškastinių kurų deginančių elektrinių išmetami teršalai visuomenei jau yra žinomi, tačiau kai kurie vis dar yra neištirti (Sierra Club 2007).

1. 10 lentelė. Apibendrintosios energetinio kuro charakteristikos (Kugelevičius ir kt. 2005)

Kuras	Degioji kuro masė, %			Darbinė kuro masė		
	H	C	S	W, %	KD, %	Q, kcal/kg
Gamtinės dujos*	24	74	0	0	0	8000
Sieringasis mazutas	11	86	2,5	2	0,1	9600
Mažai sieringas mazutas	11	87	iki 1,0	0	0,1	10350
Gazolis	13	86	0	0	0	10350
Orimulsija	8	60	2,7–2,9	30	0,2	6595
Asfaltenas	11	85	2	0	0,13	9500
Akmenis anglys	5	80–90	1–4	5–10	10–15	5000–6000
Malkos, durpės	7	51	0	40	0,6	2500–3000

* – gamtinės dujos – kcal/nm³

Lietuvoje energetinėms reikmėms daugiausia suvartojama gamtinių dujų. Dujos Lietuvoje labiausiai konkurentabilus, ekologiškai švariausias – prioritetinis kuras, ypač naudojant kombinuotojo ciklo elektrinėse. Sieringojo mazuto ir kitų naftos produktų naudojimą šiuo metu riboja sugriežtinti ekologiniai reikalavimai, papildomos transportavimo bei saugojimo išlaidos. Energetinėms reikmėms naudojamo kuro apibendrintosios charakteristikos pateiktos 1. 10 lentelėje (Kugelevičius ir kt. 2005).

Nafta ir jos produktai yra labiausiai paplitę teršalai, į aplinką patenkantys gabenimo metu arba su nepakankamai apvalytais nutekamaisiais pramonės vandenimis. Šiems teršalams patekus į aplinką, sukeliamas ilgalaikis neigiamas ekologinis efektas, pažeidžiamas biocenozės stabilumas, jos nuskurdimos (Repečkienė ir kt. 2002). Iškastiniame kure yra radioaktyvių elementų tokių, kaip uranas ir toris, kurie yra išmetami į aplinką kartu su pelenais ir dūmais per kaminą (Sierra Club 2007).

Vienas iš sunkiausiai suvartojamų naftos produktų yra mazutas - tiesioginės naftos distiliacijos likutis. Mazuto sudėtyje yra šių medžiagų: parafinų-naftenų angliavandenilių – 15 %; alkenų ir ciklodialkenų - 5 %, alkil-mono- ir alkil-di-aromatinių angliavandenilių - 5 %; poliaromatinių angliavandenilių - 20 %; benzeninių dervų - 30 %; alkoholbenzeninių dervų - 30 %. Didelis dervų kiekis rodo, kad vyrauja sunkiai skaidomos frakcijos.

Angliavandeniliai gali būti kai kuriems mikroorganizmams anglies ir energijos šaltinis, tačiau dideli jų kiekiai yra nuodingi. Mikroorganizmai – vienas iš svarbiausių biocenozės komponentų, todėl jų reakcija į technogeninį poveikį yra svarbus ekosistemos būklės rodiklis. Dirvožemio užteršimas naftos produktais veikia mikroorganizmų kiekį ir keičia jų rūšių grupes. Tokiuose dirvožemiuose padaugėja įprastai rečiau aptinkamų mikroorganizmų rūšių, sumažėja vyraujančių, bet atsiranda nebūdingų tam dirvožemio tipui rūšių. Neigiamas angliavandenilių poveikis dirvožemiui pasireiškia kokybiniais ir kiekybiniais mikroorganizmų pokyčiais, atskirų jų grupių aktyvumu. Naftos produktais užterštuose dirvožemiuose susidaro nepastovios mikroorganizmų bendrijos, kurioms būdinga sukcesija. Šiose bendrijose, be didelių vyraujančių bakterijų populiacijų, nedaug, bet nuolat randama mielių ir grybų (Repečkienė ir kt. 2002).

Mazutas – naftos perdirbimo liekana, susidaranti atskyrus benzina, žibala ir dyzelinius distiliatus. Tai tamsus klampus skystis, kurio tankis 890–1000 kg/m³. Apatinis naudojamosios masės šilumingumas apie 40 MJ/kg. Mazuto markė priklauso nuo jo klamos, pliūpsnio ir stingimo temperatūrų. Gaminant naftos produktus mazutas sudaro apie 50 % pradinės naftos masės.

Mazuto skiriamos kelios formos:

- atmosferinis mazutas (angl. *topped crude*) - nafta, iš kurios išskirtos dujos, benzinai, žibalas ir dyzelinis distiliatas (vadinamosios „šviesiosios frakcijos“, išgaruojančios iki 350 – 360°C).
- kūrenamasis mazutas (angl. *(heavy) fuel-oil*) - sunkusis naftos distiliatas, likutinis produktas arba jų abiejų mišinys, naudojamas kaip kuras šilumos arba energijos gamybai

Mazutas yra angliavandenilių (molekulinė masė 400 iki 1000 g/mol), naftos dervų (molekulinė masė 500—3000 ir daugiau g/mol), asfaltų, karbenų, karboidų ir organinių junginių, turinčių V, Ni, Fe, Mg, Na, Ca mišinys. Fizikocheminės mazuto savybės priklauso nuo žalios naftos, iš kurios gautas, cheminės sudėties bei lengvesniųjų frakcijų nudistiliavimo laipsnio:

- klampis 8—80 mm²/s (kai 100 °C),
- tankis 0,89—1 g/cm³ (kai 20 °C),
- stingimo temperatūra 10—40°C,
- sieringumas 0,5—3,5 %,
- peleningumas iki 0,3 %,
- mažiausias šilumingumas - 39,4—40,7 MJ/mol.

Mazutai naudojami:

- kaip kuras garo katilams, katilinėms ir pramoninėms krosnims, laivų varikliams;
- kaip tolesnio perdirbimo žaliava, iš kurios galima išgauti dar skystųjų frakcijų, tinkamų distiliacijai vakuume (temperatūros 360 – 420 °C, 350 – 460, 350 – 500 ir 420 – 500 °C). Vakuuminiai distiliatai naudojami kaip žaliava motoriniams degalams (naudojant katalizinį krekingą ar hidrokrekingą) ir distiliatinėms alyvoms gaminti. Vakuuminio garinimo likučiai perdirbami terminiu krekingu ir kokuojami, taip gaunant likutines alyvas ir gudroną, kuris vėliau perdirbamas į bitumus.

Mazutą kaip kurą daugiausia naudoja pramonė, energetika ir komunalinis ūkis (Vikipedija... 2011).

AB „Lietuvos elektrinė“ naudojamo kūrenamojo mazuto (markė M – 110 – 2,5) kokybės rodikliai pateikti 1. 11 lentelėje. Mazutui sandėliuoti yra keliolika 5000-9300 m³ talpos metalinių ir gelžbetoninių rezervuarų; jam išpilti iš geležinkelio cisternų veikia 3 estakados, kurios leidžia vienu metu iškrauti per 150 cisternų. Mazuto ūkiui priklauso mazuto šildytuvai, dvi siurblynės, daug kitų įrenginių.

1. 11 lentelė. Kūrenamojo mazuto kokybės rodikliai

Kokybės rodiklis	Norma	Faktiškai
Pliūpsnio temperatūra atvirame tiglyje, °C, ne mažesnė kaip	110	145
Sieros kiekis, % mas., ne didesnis kaip	2,5	2,1
Kinematinė klampa esant 100°C, mm ² /s, ne didesnė kaip	50,0	48,9
Kinematinė klampa esant 50°C, mm ² /s	nustatoma	770
Peleningumas, % mas., ne didesnis kaip	0,14	0,06
Nuosėdų kiekis, % mas., ne didesnis kaip	1,0	0,1
Vandens kiekis, % mas., ne didesnis kaip	1,0	0,1
Takumo temperatūra, °C, ne didesnė kaip	25	minus 1
Šilumingumas (sudegimo šiluma), MJ/kg, ne mažesnis kaip	39,5	40,1
Tankis, esant 20°C, kg/m ³	nustatomas	1000
Tankis, esant 15°C, kg/m ³	nustatomas	1003

Kūrenamasis mazutas, M – 110 – 2,5 markės atitinka LST 1956:2004 reikalavimus.

Be 1. 12 lentelėje nurodytų kenksmingųjų išlakų ingredientų, mazutas turi ir kancerogeninių – nikelio, vanadžio. Mazuto pelenuose esti iki 80 mg/kg vanadžio. Priklausomai nuo kuro cheminės sudėties, valymo įrenginių efektyvumo elektrinėse kuro degimo produktuose kenksmingųjų išlakų ingredientai labai varijuoja (Kugelevičius ir kt. 2005).

1. 12 lentelė. Lietuvos elektrinių teršalų struktūra.

Elektrinės tipas	Efektyvumas	Kuras	Teršalų emisijos, gne/kWh				
			SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	KD
Kondensacinė	0,38	mazutas	11,8	1,45	0,09	733	0,38
TE	0,62		7,2	0,89	0,06	449	0,24
Kondensacinė	0,38	orimulsija	18,6	1,45	0,09	764	0,86
TE	0,62		11,4	0,89	0,06	468	0,53
TE	0,62	gamtinės dujos	0	0,33	0,15	326	0
Modulinė TE	0,85		0	0,24	0,11	237	0
Dujų turbina	0,35		0	0,59	0,27	577	0
Kondensacinė	0,38		0	0,54	0,25	531	0
Kondensacinė	0,38	asfaltėnas	10,9	1,45	0,09	733	0,57

Kūrenamasis mazutas yra degus skystis, bet aplinkos temperatūroje priskiriamas mažai pavojingiems produktams. Kontaktas su karštu kūrenamuoju mazutu, kai produktas pašildomas, jį sandėliuojant ar su juo dirbant, gali būti terminių nudegimų priežastimi. Kūrenamajame mazute gali būti didelis policiklinių aromatinių angliavandenilių, kurie klasifikuojami kaip kancerogenai, kiekis.

Vandenilio sulfidas (sieros vandenilis) gali susikaupti viršutinėje rezervuarų, kuriuose laikomas kūrenamasis mazutas, dalyje. Tokiu būdu vandenilio sulfido koncentracijos gali tapti labai pavojingos. Užpildant rezervuarus ar cisternas vandenilio sulfidas kartu su išsiskyrusiais iš karšto kūrenamojo mazuto garais gali patekti į aplinką. Kontaktas su išsiskyrusiais iš karšto mazuto garais ir dujomis gali pakenkti kvėpavimo organams, todėl būtina naudoti tinkamas asmenines apsaugos priemonės.

Aplinkos temperatūroje kūrenamasis mazutas neturi savybių sudaryti toksiškų junginių su kitomis medžiagomis vandenyje ir ore. Kūrenamojo mazuto angliavandeniliai kenksmingi vandens ir sausumos organizmams, gali turėti ilgalaikį nepageidaujamą poveikį vandens aplinkai bei dirvožemiui.

Nevisiško sudegimo metu ore gali susidaryti kietųjų ir skystųjų dalelių mišiniai ir išsiskirti dujos, įskaitant anglies monoksidą, vandenilio sulfidą (H_2S), sieros oksidus (SO_x), ar sieros rūgštis bei kiti nenustatyti organiniai ir neorganiniai junginiai.

Sandėliavimo teritorija, rezervuarų konstrukcija, įranga ir darbo tvarka turi atitikti galiojančius Europos, šalies ar vietos įstatymus. Produktui sandėliuoti naudojami rezervuarai ar saugyklos, tinkami būtent degiems skysčiams. Sandėliavimo įranga turi būti įrengta su atitinkamomis dambomis, kad nuotėkio ar išsiliejimo atveju produktas neužterštų dirvožemio ar vandens.

Rezervuarų vidaus įrangos valymo, apžiūros ir remonto darbus gali atlikti tik kvalifikuotas ir tinkama įrangą turintis personalas. Prieš patenkant į rezervuarus ir pradedant bet kokius darbus uždaroje erdmėje, patikrinti deguonies koncentraciją aplinkos ore, vandenilio sulfido (H_2S) koncentraciją ir degumo lygį.

Tinkamos sandėliavimo įrangai medžiagos: konteineriai (talpyklos) arba jų vidinė dalis turi būti pagaminta iš minkšto mažaanglio plieno, nerūdijančio plieno. Netinkamos sandėliavimo įrangai medžiagos: kai kurios sintetinės medžiagos, priklausomai nuo medžiagos savybių ar naudojimo paskirties, gali būti netinkamos konteinerių (talpyklų) ar jų vidinės dalies gamybai.

Kūrenamojo mazuto angliavandeniliams būdingas bioskaidumas. Produkto angliavandeniliai gali kauptis vandens telkinių organinėse nuosėdose. Išsiliejęs produktas priklausomai nuo aplinkos temperatūros gali nežymiai garuoti nuo žemės ir vandens

paviršiaus. Produktas gali įsiskverbti į dirvožemį ir užteršti gruntinius vandenius (Saugos duomenų... 2011).

1. 4. 3. Elektrinėje susidarančios atliekos

Kuro deginimo procese priklausomai nuo kuro cheminės sudėties išmetami skirtingi teršalai – anglies, sieros, azoto junginių, sunkiųjų kancerogeninių metalų – kiekiai. Teršalai kenkia biosferai, visuomenės sveikatai. Todėl kenksmingųjų kuro deginimo išlakų kiekiai ribojami – tarša apmokestinama (Kugelevičius ir kt. 2005). Šiuo metu elektrinėje susidarančių atliekų kiekiai ir jų tvarkymo būdai pateikti 1. 13 lentelėje.

1. 13 lentelė. Šiuo metu susidarančios atliekos, jų tvarkymas (Lietuvos energetikos... 2010)

Technologinis procesas	Atliekos						Atliekų tvarkymo būdai
	pavadinimas	kiekis		agregatinis būvis	kodas pagal Atliekų sąrašą	pavojin-gumas	
		t/dieną	t/metus				
1	2	3	4	5	6	7	8
KTB baro pašildytuvų plovimas	Lakieji naftos pelenai ir katilo dulkės		2	kietas	10 01 04	pavojinga	D5
Chemijos baras	Vandens skaidrinimo dumblas		350	Pasta	19 09 02	nepavojinga	D5
KTB sugaudyti ESF (mazuto)	Skysto kuro pelenai (ESF sugaudyti mazuto pelenai)		200	Kietas	10 01 14	pavojinga	“-“
KRB dūmų nusierinimo produktas (CaSO ₃)	Sieros išmetamųjų šalinimo kalcio junginiais reakcijos kietos atliekos		18 000	kietas	10 01 05	nepavojinga	D5

Lentelėje nurodytas atliekų tvarkymo būdas D5 reiškia, kad atliekos šalinamos specialiai įrengtuose sąvartynuose (pvz., dėjimas į atskiras sekcijas, kurios uždengiamos ir izoliuojamos viena nuo kitos ir nuo aplinkos, ir t. t.) (Atliekų tvarkymo... 2003).

Deginant kurą – teršiama aplinka. Teršalai, generuojami šiluminėse elektrinėse, daugiausiai priklauso nuo deginamo kuro charakteristikų (vandenilio – H, anglies – C, sieros – S). Deginant mazutą (priklausomai nuo drėgmės – W) išsiskiria anglies, azoto bei sieros oksidai (CO_x, NO_x, ir SO_x), pelenai – kietosios dalelės (KD). Šių teršalų kiekiai degimo produktuose yra deginimo būdo, degimo valdymo kokybės ir kuro sudėties išdava. Deginant sieringąjį mazutą su dūmais išmetamos kietosios dalelės turi kancerogeninių sunkiųjų metalų ir organinių junginių priemaišų (Kugelevičius ir kt. 2005).

Taikant šlapio valymo technologiją kaip galutinis produktas gaunamas gipsas, kurį galima vadinti jėgainės komerciniu produktu. Dažniausiai, didžioji dalis jėgainėse

pagaminto gipso yra parduodama ir panaudojama vietoj gamtinio gipso tinko plokščių pramonėje. Ribojantis kalkakmenio (klinčių) panaudojimo faktorius yra gipso švarumas.

Pusiau sauso nusierinimo galutinis produktas taip pat gali pakeisti tam tikras gamtines naudingąsias iškasenas ir būti naudojamas įvairiems statybos tikslams, pvz. kelių statybai, kompostavimo ir saugojimo laukų pylimams, kasyklų šachtų užpildymui, iškastinių tvenkinių vandeniui atsparioms konstrukcijoms ir kt (Anotacija... 2006).

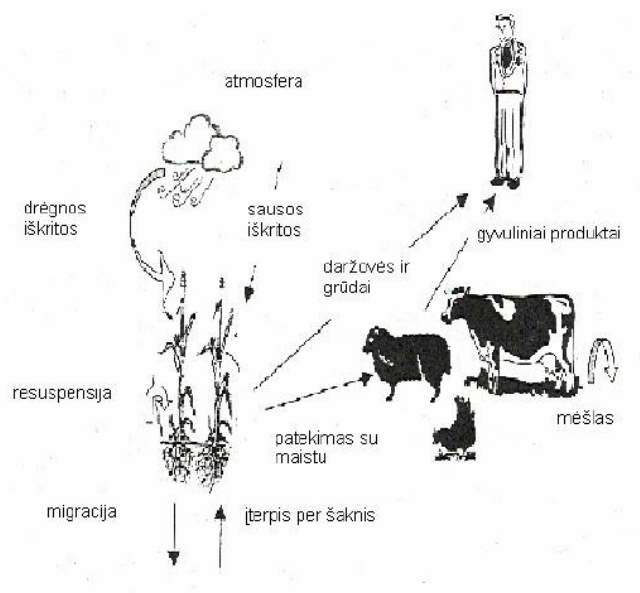
1. 4. Teršalų sklaida ir migracija aplinkoje

Teršalui patekus į dirvožemį, paprastai anksčiau ar vėliau jis yra išplaunamas lietaus ir gali neturėti neigiamo poveikio būtent išsipylimo vietoje, tačiau jis susikaups kitoje vietoje (tvenkinyje, dirvožemyje, ežere ir pan.). Jei teršalas yra lakus, jis garuos ir taip užterš orą. Teršalas palaipsniui skverbiasi į dirvožemį, kol pasiekia gruntinį vandenį ir jį užteršia, patvarūs teršalai gali būti vėjo, vandens pernešami. Kitos medžiagos yra linkusios kauptis gyvuose organizmuose (dirvožemio organizmuose, žuvyse ir pan.) bei augaluose.

Nedideli kiekiai sunkiųjų metalų yra reikalingi organizmams, jie šiuos kiekius gauna su maistu, geriamuoju vandeniu, bei oru. Nors nemaža dalis sunkiųjų metalų (varis, cinkas, manganas ir kt.) yra būtini augalų augimui ir vystymuisi mikroelementai, tačiau jų perteklius sukelia toksinius simptomus: slopina fotosintezę, keičia žiotelių veikimą, vandens balansą, slopina fermentų aktyvumą, pažeidžia protoplazmą bei membranas, sukelia oksidacinį stresą, slopina medžiagų apykaitą, sutrikdo augalų augimą bei vystymąsi. Augalų reakcija į metalus lemia metalų specifinis poveikis, koncentracija, augalų rūšis bei veislė. Šaknys jautresnės sunkiųjų metalų poveikiui negu antžeminė dalis (Blažytė ir kt. 2005). Sunkieji metalai yra pavojingi, nes jie turi tendenciją bioakumuliuoti.

Ne tik avarijų metu, bet ir normaliai veikiant šiluminėms elektrinėms, tvarkant radioaktyvias atliekas, į aplinką patenka dujiniai ir skysti radionuklidai, dėl kurių atsiranda papildoma žmonių bei kitų gyvųjų organizmų apšvita.

Radionuklidų migracija aplinkoje svarbi ne tiek aplinkosauginiu, kiek taršos judėjimu mitybos grandinėmis požiūriu. Sausumos augalai yra svarbus taršos patekimo su maistu šaltinis, nes radioaktyviosios medžiagos dulkių pavidalu pernešamos oro srautų ir iškritų pavidale nusėda ant žemės paviršiaus (1. 5 pav.)

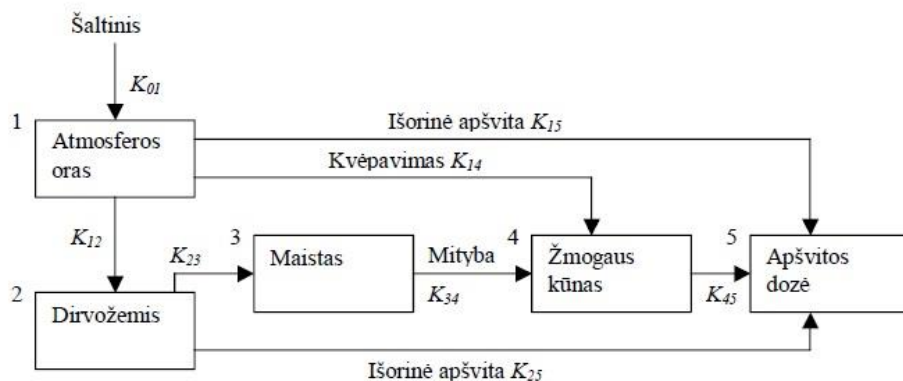


1. 5 pav. Pagrindiniai dirbtinės kilmės radionuklidų patekimo į organizmą būdai
(Howard 2002)

Vandens telkinių tarša yra taršos patekimo su maistu šaltinis per žuvis, kurios yra paskutinė vandens ekosistemų grandis. Vandens telkiniai yra veikiami ne tik tiesioginių iškritų, bet ir taršos, kurią upių vanduo suneša iš tam tikro regiono (Ladygienė 2006).

Daugiausia darbų atlikta modeliuojant radionuklidų sklaidą sausumos ir vandenų ekosistemose. Tokie modeliai dažniausiai skirti vertinti radioaktyviųjų medžiagų poveikį žmogui ir aplinkai normaliomis pusiausvyros sąlygomis, kai dažniausiai taikomas koncentravimo koeficientų metodas, arba avarinėmis sąlygomis, kai taikomi nestacionarūs dinaminiai metodai. Dažniausiai radionuklidų sklaida sausumos ir vandenų ekosistemose nagrinėjama atskirai.

UNSCEAR nuo 1962 m. žmonių apšvitai vertinti rekomenduoja taikyti kamerinį matematinį modelį ir vidutines pernašos parametrų K_{ij} vertes, nurodančias pernašos iš kameros i į kamerą j dydį (1. 6 pav.) (Pečiulienė 2006).



1. 6 pav. Žmonių apšvitos dozių vertinimo sausumos ekosistemoje modelio kameros ir pernašos parametrai (Nedveckaitė 2004)

Šis modelis taikytinas, kai pasiekama radionuklido aktyvumo pasiskirstymo visose nurodytos sistemos grandyse pusiausvyra (stacionariomis sąlygomis) arba taikant radionuklidų aktyvumų laiko integralų (*time-integrated*) santykius. Kalbant apie gamtinės spinduliuotės pokyčių dėl antropogeninės veiklos modeliavimą, UNSCEAR siūlomas metodas netinka, nes neįskaitoma apšvita dėl gamtinės kilmės radionuklidų, esančių statiniuose, spinduliuotės (Pečiulienė 2006).

Lietuvos sąlygas atitinkantis LIETDOS matematinis modelis ir algoritminių programų kompleksas, leidžiantis prognozuoti radionuklidų sklidimą aplinkoje biologinėmis grandimis, maisto produktų taršą bei gyventojų apšvitos dozes, buvo sukurtas Fizikos institute (Nedveckaitė 2000).

Radionuklidų sklidimui aplinkoje aprašyti taikomas sisteminės analizės metodas, o lygčių sistemai spręsti – skaitmeninis diferencijavimo metodas. LIETDOS modelis buvo testuotas pagal tarptautinę programą BIOMASS (TATENA), remiantis eksperimentine medžiaga, surinkta po Černobylio AE avarijos (Nedveckaitė 2004).

Šis modelis taikytinas vertinti aplinkos radioaktyviosios taršos lygius, tačiau visiškai nenagrinėja antropogeninės veiklos įtakos gamtinei spinduliuotei. Pagal LIETDOS modelį galima įvertinti ir prognozuoti biologiniu požiūriu svarbiausiųjų radionuklidų (radioaktyviųjų jodo, cezio, stroncio, kobalto, mangano) sklidimo atmosferoje, dirvožemyje biologinėmis grandimis dėsningumus, maisto produktų taršą, įvairaus amžiaus žmonių išorinę (nuo atmosferos iki žemės paviršiaus) bei vidinę (dėl įkvėptųjų ir maisto produktų bei geriamojo vandens taršos) apšvitą.

Pastaruoju metu daugelyje pasaulio valstybių yra sudaryti modeliai su atitinkamomis kompiuterinėmis programomis radionuklidų sklaidai biosferoje ir žmonių apšvitai vertinti, branduoliniams objektams veikiant normaliuoju režimu arba avarinėmis sąlygomis (Whicker 1990). Skirtingose institucijose atliktų skaičiavimų rezultatai labai skiriasi. Dažniausiai šie modeliai aprašo dirbtinės kilmės radionuklidų sklaidą, o apie gamtinę spinduliuotę net neužsimenama.

Daug darbų atlikta modeliuojant radionuklidų vertikaliąją migraciją dirvožemyje (Kirchner 1998). Ilgalaikei migracijai vertinti, taikomi skirtingi matematiniai modeliai:

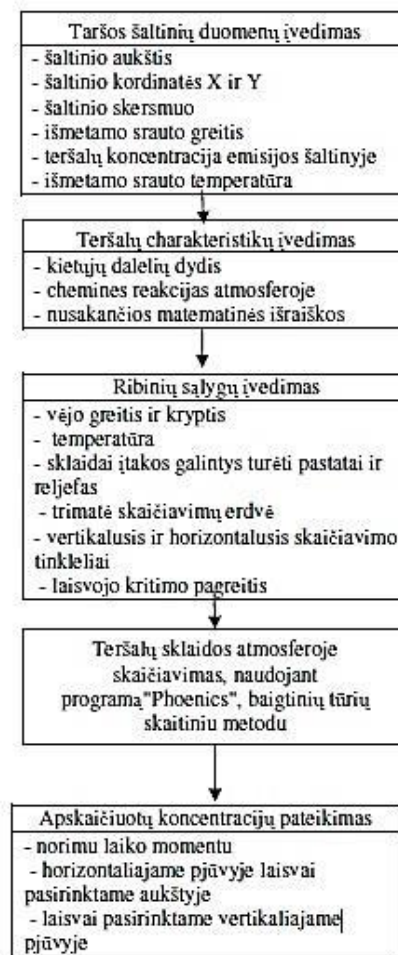
- konvekcijos dispersijos;
- kamerų;
- atgalinio srauto.

Pasaulyje plačiai taikomi modeliai, aprašantys radionuklidų sklaidą maisto grandinėmis, vienas iš tokių – PATHWAY (Whicker 1987). Ši programa skaičiuoja pernašos koeficientus tarp skirtingų maisto grandinių grandžių, naudoja tiesines lygtis. Ji įskaito

radionuklidų migraciją dirvožemyje, skirtingus perėjimo kelius iš dirvos į augalą, perėjimą iš pašarų į gyvūnus. Vėliau pradedama naudoti programa COMIDA (Abbott 1994), didelis maisto grandinių modelis. Ši programa įskaito įvairių radionuklidų perėjimą į skirtingus žemės ūkio produktus. COMIDA rezultatai gerai koreliuoja su kitų programų, taip pat ir PATHWAY, rezultatais, tačiau ji daug dėmesio skiria skirtingiems radionuklido patekimo į augalą keliams (Pečiulienė 2006).

Vienas iš galimų pritaikyti darbo temai yra PHOENICS 3.5 VR matematinis modelis. PHOENICS'e naudojamas pernašos lygčių diskretizavimo metodas yra baigtinių tūrių metodas (Patankar 1980). PHOENICS 3.5.0 programinės įrangos matematinio modeliavimo galimybės yra plačios, t. y. pernašos procesų modeliavimas atmosferoje, hidrosferoje ir geosferoje (Vaitiekūnas 2008). (1.14 pav):

- koncentracijos, šilumos ir masės mainai,
- šilumos mainai laidumu, konvekcija, spinduliavimu,
- sudėtingų šilumos mainų procesai,
- turbulencijos skaitinis modeliavimas,
- SEM, IPSA, HOL, ASM, GENTRA – dvifazių srautų skaitiniai metodai, kietų dalelių pernaša,
- CHEMKIN – pernašos procesai su cheminėmis reakcijomis, cheminės kinetikos uždaviniai,
- COFFUS – 2-fazis degimo modelis. Jis naudoja 2-fazį Eulerio-Eulerio aprašymą (description) dujų ir kietoms fazėms, kurios remiasi IPSA sprendimo procedūra,
- COSP – (Constant Optimising Software Package),
- FLAIR – pernašos procesai oro sraute,
- MFM – Multi Fluid Model of turbulence,
- MIGAL – daugiatainklis sprendimas – the multi-grid solver.



1. 7 pav. „Phoenics“ modelio schema (Vaitiekūnas 2008)

Aplinkos inžinerijos procesų matematinį modeliavimą sudaro mažiausiai keturi žingsniai:

1. Fizikinių, cheminių ir biologinių procesų nagrinėjimas, identifikavimas būtinų ir vyraujančių mechanizmų, pavyzdžiui, bakterijų populiacijos priklausomybė nuo pirminės populiacijos bei augimo tempo.
2. Matematinės sistemos išraiškos vystymasis. Paprastai tai gali būti kaip viena algebrinė ar diferencialinė lygtis ar kaip sudėtinis diferencijuotų lygčių rinkinys.
3. Analitiškas lygčių sprendimas, jeigu taip įmanoma. Jeigu ne, spręsti lygtis skaičiais.
4. Patikrinti, ar sprendimo modelis atitinka turimus duomenis. Jeigu ne, pradėti procesą iš naujo ir kartoti, kol modelio sprendimas yra priimtinas.

Išsamiam oro kokybės vertinimui dažniausiai naudojami Gauso pasiskirstymo modeliai pritaikyti ir teršalų išmetimo pramoninių procesų metu modeliavimui, ir oro kokybės vertinimui miestuose. Gauso debesies modeliai modeliuoja nuolatinį teršalų išmetimą, o jų išeiga (rezultatas) pagrįstas normalios teršalų sklaidos (Gauso pasiskirstymo) principu.

Tolstant nuo taršos šaltinio, vidutinė teršalų koncentracija mažėja, o teršalų sklaidą lemia atmosferos pažemio sluoksnio stabilumas.

Analizuojant kiekvieną taršos scenarijų, reikalingi tokie duomenys:

- Vietovės planas, kur pažymėtas vietinis tinklulis, įskaitant teritorijoje esančių pastatų tikslią vietą bei dydį ir taršos šaltinius, kurių išmetimai yra modeliuojami;
- Taršos šaltinio parametrai, įskaitant jo vietą, kamino aukštį, vidinį diametrą teršalų išmetimo vietoje, bei bet kokią kitą aktualią informaciją, susijusią su teršalų išmetimu (vertikalus ar horizontalus išmetimas, lietaus buvimas ir t.t.);
- Kiekvieno šaltinio darbo laikas arba išmetamų teršalų parametrų pokyčiai per metus;
- Teršalų išmetimo duomenys kiekvienam šaltiniui įskaitant:
 - Teršalų išmetimo dažnis (trumpalaikių ir ilgalaikių koncentracijų modeliavimui atitinkamai gali reikėti duomenų apie tipinį ir maksimalų išmetamų teršalų kiekį);
 - Išmetamų teršalų temperatūra;
 - Teršalų išmetimo greitis arba srauto greitis, įskaitant sąlygas, kuriomis šie parametrai buvo įvertinti, t.y. temperatūra, deguonies kiekis ir vandens kiekis.

Konkrečiam tyrimui gali būti reikalingi kiti papildomi duomenys:

- Išmesto NO_x tūrio kiekis;
- Duomenys apie vietos reljefą;
- Duomenys apie sausų ir šlapių nuosėdų greičius;
- Vandens kiekį dūmų debesyje, kuris yra reikalingas pasiskirstymo matomumui įvertinti

Teršalų koncentracija, patekusi į dujas ar skystį, laikui bėgant pasiskirsto tolygiai. Fizikinė šio proceso priežastis – susidūrimai tarp atomų ir molekulių. Jei teršalų ir oro (arba skysčio) molekulių dydžiai panašūs, procesas vadinamas molekuline difuzija. Jei teršalų molekulės žymiai didesnės už aplinkines, tada bus stebimas Brauno judėjimas.

Tačiau teršalų pasiskirstyme molekulinė difuzija didelio vaidmens nevaidina. Daug svarbesni yra dujų arba skysčių srautai ir su jais susijusi turbulencija.

1. 5. Skyriaus išvados

1. Lietuvos gyventojų vidutinė metinė apšvitos dozė yra 3,6 mSv, iš kurių daugiausia lemia radonas ir jo skilimo produktų jonizuojančioji spinduliuotė. Gyventojams tenkančią apšvitą sudaro gamtinės bei dirbtinės kilmės radionuklidai.
2. Pastebėta, kad didesni gamtinės kilmės radionuklidų savitieji aktyvumai yra statybinėse medžiagose, pagamintose arba iš žaliavos, iškastos radiologiškai aktyviuosiuose regionuose, arba iš šalutinių fosfatinės ar kitos pramonės produktų.
3. Didžioji dalis sunkiųjų metalų į aplinką patenka iš antropogeninių taršos šaltinių. Pagrindiniai taršos sunkiaisiais metalais šaltiniai yra pramonė. Energetikos pramonės veikloje padidėja sunkiųjų metalų kiekiai, gali pasiekti ir toksiškas koncentracijas.
4. Sunkiųjų metalų kaupimuisi ir migracijai nemažos įtakos turi dirvožemių fizikinės ir cheminės savybės, kaip dirvožemio rūgštingumas, humuso kiekis, dirvožemio kilmė, sorbciniai ypatumai ir dirvožemio granulimetrinė sudėtis, o ypač jo smulkioji frakcija.
5. AB „Lietuvos elektrinė“ degimo proceso metu deginant kurą susidaro tokios atliekos: mazuto pelenai ir katilo dulkės, dulkės, sugaudytos elektrostatiame filtre, ir dūmų nusierinimo produktas (gipsas).
6. Yra daug matematinių modelių, leidžiančių įvertinti radionuklidų ir sunkiųjų metalų migraciją, sklaidą aplinkoje, jų patekimo į žmogaus organizmo būdus ir pan. Vienas iš daugelio yra Lietuvos sąlygas atitinkantis modelis LIETDOS, leidžiantis prognozuoti radionuklidų sklaidimą biologinėmis grandinėmis. Taip pat naudojami PATHWAYS, COMIDA, PHOENICS ir kt.
7. Mokslinėje literatūroje mažai darbų rasta apie jonizuojančiąją spinduliuotę šiluminėse elektrinėse kuru naudojant mazutą. Dėl to reikia atlikti tyrimus šiluminės elektrinės teritorijoje ir už jos ribų.

2. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ METODIKA, PRIETAISAI IR MEDŽIAGOS

Šiame skyriuje pateikiamos atliktų eksperimentinių tyrimų metodikos. Tiriamajame darbe nagrinėjami radionuklidai ir sunkieji metalai, susidarantys šiluminėje elektrinėje deginant iškastinį kurą, bei dirvožemio užtarša radionuklidais ir sunkiaisiais metalais elektrinės įtakos zonoje. Atliekami radionuklidų savitųjų aktyvumų ir sunkiųjų metalų koncentracijų tyrimai mazute, mazuto degimo proceso atliekose bei dirvožemyje. Visi eksperimentiniai tyrimai atliekami Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos apsaugos ir darbo sąlygų laboratorijoje.

2. 1. Ėminių paėmimo vietos apibūdinimas

AB „Lietuvos elektrinė“ yra įsikūrusi apie 2 km nuo šiaurės rytuose esančio Elektrėnų miesto. Šiuo metu elektrinė užima 144,68 ha plotą. Didžiojoje teritorijos aplink elektrinę dalyje yra dirbami žemės plotai, gyvenamieji namai bei auga miškas ir krūmai, rytinėje teritorijos dalyje didelį plotą užima Elektrėnų marios.

Vietovė yra paveikta antropogeninės veiklos statant šiluminę elektrinę ir jos pagalbinius pastatus bei dirbant laukuose, tręšiant žemę cheminėmis medžiagomis. Norint įvertinti gamtinės ir dirbtinės kilmės radionuklidų bei sunkiųjų metalų patekimą į tiriamos teritorijos dirvožemį dėl AB „Lietuvos elektrinė“ vykdomos veiklos, reikia nustatyti teršalų sklaidą elektrinės įtakos zonoje. Tam, kad galima būtų įvertinti teršalų patekimą į dirvožemį, radionuklidų savitieji aktyvumai ir sunkiųjų metalų koncentracijos buvo matuojamos elektrinėje naudojamame kure – mazute bei susidarančiose mazuto degimo proceso atliekose.

Teritorija visomis kryptimis aplink šiluminę elektrinę yra labai įvairi. Rytinėje dalyje yra dirbtinės kilmės vandens telkinys – Elektrėnų marios, sukurtas elektrinės aušinimui užtvėnkus upę. Pietinėje tiriamos teritorijos dalyje išdėstyti elektrinės pagalbiniai pastatai, sandėliai, nutiesti geležinkelio bėgiai, kuriais buvo vežamas kietasis kuras. Į vakarus nuo elektrinės yra dideli dirbamos žemės plotai, o šiaurėje už nedidelio miško prasideda Elektrėnų miesto teritorija. Situacinis teritorijos planas pateiktas 2. 3 pav.

2. 2. Ėminių rūšys ir parinkimas tyrimams

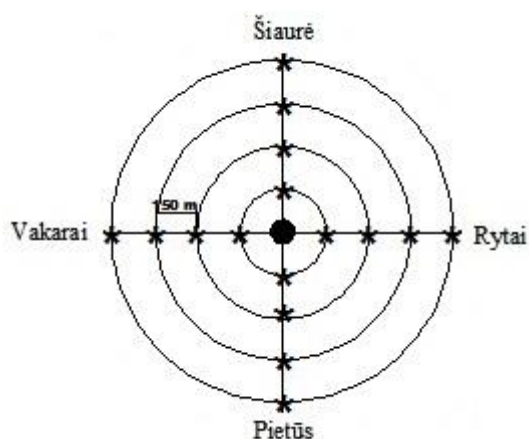
Eksperimentiniams tyrimams parenkamos dvi ėminių rūšys. Pirmoji yra elektrinėje naudojamo mazuto ir jo degimo proceso metu susidarančių atliekų bandiniai. Iš AB „Lietuvos elektrinė“ teritorijos buvo paimtos tokios medžiagos:

- mazutas, M – 110 – 2,5 markės,;

- mazuto pelenai (katilo dulkės);
- dulkės, sugautos elektrostatiname filtre;
- dūmų nusierinimo produktas (gipsas).

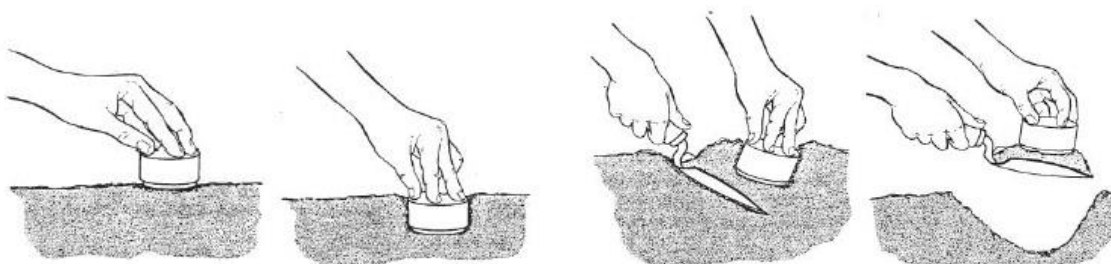
Mazutas buvo paimtas iš kuro rezervuarų pripilant 1 l talpos sandarų indą. Mazuto pelenai, elektrostatinio filtro dulkės ir gipsas kastuvu paimti iš atskirų sandėlių ir patalpinti į sandarius indus, ant jų užrašius medžiagos pavadinimą. Mazutas ir kitos reikalingos medžiagos buvo gautos padedant AB „Lietuvos elektrinė“ darbuotojams.

Antroji ėminių rūšis yra dirvožemis, surinktas šiluminės elektrinės įtakos zonoje. Tyrimui dirvožemio ėminiai buvo imti koncentrinčių apskritimų aplink taršos šaltinį – elektrinės kaminą ir pasaulio šalių krypčių susikirtimo taškuose. 2. 1 paveiksle pateikiama dirvožemio ėminių teorinė schema.



2. 1 pav. Teorinė dirvožemio ėminių pagal pasaulio šalis schema. ● – kaminas; ○ - koncentriniai ratai, tolstantys nuo kamino kas 150 m; * - dirvožemio ėminys

Ėminiai susikirtimo taškuose imami plastmasiniu žiedu, kurio skersmuo 15 cm, o aukštis – 5 cm. Žiedas įkalamas koncentrinio apskritimo ir pasaulio šalies krypties susikirtimo taške, parinkus nesuardyto dirvožemio plotą, kuriame nėra medžių, krūmų ar kitų objektų.

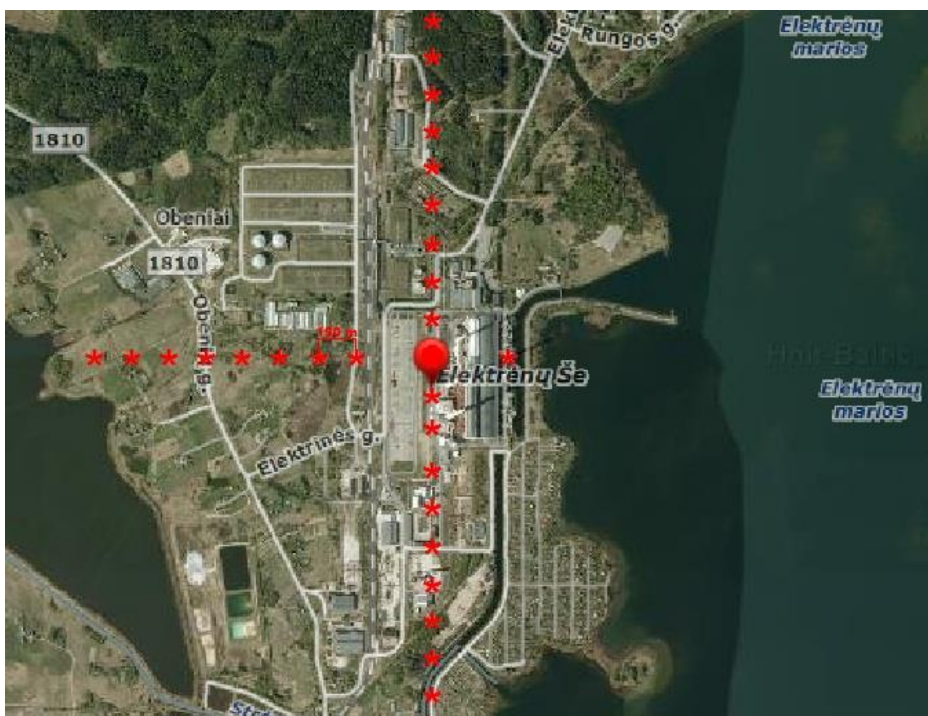


2. 2 pav. Dirvožemio ėmimo pavyzdys

Nuėmus žolinę dangą, įkalamas žiedas į dirvožemį, įrankiu iškeliamas dirvožemio ėminys (pavyzdys 2. 2 pav.). Kiekvienas toks ėminys dedamas į atskirą polietileninį maišelį, ant jo užrašomas ėminio vietos žymėjimas, pvz. V1 – vakarų pusė, 1 koncentrinis apskritimas.

Koncentriniai apskritimai brėžiami kas 150 m, pagal elektrinės kamino aukštį. Paskutinis apskritimas buvo nutolus 1500 m nuo kamino, t.y. 10 koncentrinųjų apskritimų.

Situacinis tiriamojo objekto planas pateiktas 2. 3 pav. Iš šio paveikslo matyti, kad AB „Lietuvos elektrinė“ įtakos zonoje gausu įvairių objektų. Teritorijos rytinėje pusėje didelį plotą užima Elektrėnų marios, kurios apribojo dirvožemio ėminių ėmimą rytų kryptimi. Teritorijos pietinėje pusėje išdėstyti įvairūs pramoninės paskirties pastatai, sandėliai bei nutiesti geležinkelio bėgiai. Vakarų kryptimi didelį plotą užima dirbamos žemės laukai. Šiaurinėje dalyje, nutolus nuo taršos šaltinio apie 500 m, yra miškas, o dar už 200 m prasideda Elektrėnų miesto namai.



2. 3 pav. Situacinis dirvožemio ėminių planas. ● – kaminas, * - dirvožemio ėmimo vieta, tolstanti nuo kamino kas 150 m

Dėl nepalankių gamtinių sąlygų bei tankaus teritorijos apstatymo pastatais nusistatytoje ėminių ėmimo teritorijoje, buvo gautas mažesnis ėminių skaičius (28 vnt.) nei apskaičiuotas teoriškai (40 vnt.).

2. 3. Ėminių paruošimas radionuklidų savitųjų aktyvumų nustatymo tyrimui

Mazutas ir jo degimo proceso atliekos

Ėminiai, gauti iš AB „Lietuvos elektrinė“ (mazutas, mazuto pelenai, elektrostatinio filtro pelenai ir gipsas), buvo patalpinti standartinėse 52 ml talpos kiuvetėse, pilnai užpildant jų tūrį.



2. 4 pav. Užpildyta kiuvetė

Pasveriami tuščia ir užpildyta mėginio medžiaga kiuvetė. Iš mėginio medžiaga pripildyto matavimo indo masės atėmus tuščio indo (su dangčiu) masę, gaunamas tikrasis mėginio svoris, kuris toliau naudojamas tyrimuose.

Dirvožemis

Tiriamoje teritorijoje surinkti dirvožemio ėminiai laboratorijoje buvo ruošiami tyrimams: išrinkti akmenys bei augalų šaknys, dirvožemis džiovinamas esant kambario temperatūrai (17 – 22 °C), sijojamas atskiriant stambias organines priemaišas, sveriamas prieš ir po džiovinimo.



2. 5 pav. Dirvožemio ėminys

Persijotas ir išdžiovintas dirvožemis pilamas į standartines 52 ml talpos kiuvetes ir gama spektrometru nustatomas radionuklidų savitasis aktyvumas kiekviename mėginyje atskirai.

2. 4. Radionuklidų savitųjų aktyvumų tyrimo metodika ir naudojama įranga

Radionuklidų savitųjų aktyvumų nustatymui visuose tiriamuose mėginiuose naudojama ši įranga:

1. Elektroninės svarstyklės (tikslumas 0,001 g);
2. Vientisa gama kvantų registravimo ir signalų apdorojimo sistema – gama spektrometras su HPGe detektoriumi;
3. Matavimo indas – 52 ml talpos „burk“ kiuvetė.

Gama spektrometrinę sistemą sudaro:

1. HPGe – gryno germanio detektorius sujungtas su kriostatu;
2. Diuaro indas skystam azotui laikyti;
3. Švino apsauga, skirta sumažinti foninių impulsų registravimą detektoriuje;
4. Daugiakanalis analizatorius, skirtas apdoroti ir skaitmenizuoti detektoriaus signalus, paskirstyti juos pagal dydį kanaluose ir gauti bandinio energetinį gamą spektrą;
5. Kompiuteris su programine įranga (GammaVision[®]-32), skirta analizuoti energetinius gama spektrus.

Gama spektrometrai pasižymi labai gera skiriamąja geba. Naudojant gryno germanio (HPGe) detektorius, galima atskirti gama kvantus, kurių energijos skiriasi ne mažiau kaip 1,5 keV. Germanio detektoriai veikia tik esant žemai temperatūrai, todėl jie šaldomi skystu azotu, kuris patalpinamas į jam skirtą Diuaro indą. Detektoriuje susidarę srovės impulsai formuojami, stiprinami, o vėliau analizuojami ir saugomi kompiuterio atmintyje. Speciali gama spektrų apdorojimo programinė įranga *GammaVision[®]-32* identifikuoja mėginyje esančius radionuklidus bei apskaičiuoja jų savituosius aktyvumus.

Spektrometrinės analizės metodo esmė: branduolinis virsmas gali būti susijęs su vieno ar keleto gama kvantų emisija, o skirtingų radionuklidų gama kvantų energijos yra skirtingos. Gama kvantai, praeidami pro užtvarinį puslaidininkinio kristalo sluoksnį, jame sukuria krūvininkus – laisvuosius elektronus bei skyles ir kristalu prateka elektros srovės impulsas. Jo stiprumas yra proporcingas kvanto energijai. Sustiprinti elektriniai impulsai analizuojami ir sumuojami daugiakanaliu impulsų analizatoriumi. Pagal radionuklidų spinduliuojamų gama kvantų energiją atitinkančių impulsų skaičių įvertinamas mėginio aktyvumas (LAND 36 – 2000).

Paruošti mėginiai (mazutas, mazuto pelenai, elektrostatinio filtro pelenai ir gipsas bei dirvožemis) gama spektrometru tirti 1 – 2 paras. Daugelyje bandinių buvo nustatyti šie radionuklidai: ^{40}K , ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Pb , ^{226}Ra , ^{228}Ac . Radionuklidai yra identifikuojami pagal kiekvienam radionuklidui būdingą spinduliuotės energiją: ^{214}Pb – 295 keV, 352 keV, ^{208}Tl – 583 keV, ^{214}Bi – 609 keV, ^{137}Cs – 662 keV, ^{227}Ac – 911 keV, 969 keV, ^{40}K – 1460 keV.

Radionuklidų savitųjų aktyvumų skaičiavimus bandinyje (Bq/kg) galima atlikti pagal 1. 1 formulę. Savitojo aktyvumo maksimali absoliučioji paklaida apskaičiuojama pagal 1. 2 formulę.

2. 5. Ėminių paruošimas sunkiųjų metalų koncentracijų nustatymo tyrimui

Dirvožemio ėminiai paruošiami analogiškai radionuklidų savitųjų aktyvumų tyrimo ruošimui: išrinkti akmenys bei augalų šaknys, dirvožemis džiovinamas esant kambario temperatūrai (17 – 22 °C), sijojamas atskiriant stambias organines priemaišas, sveriamas prieš ir po džiovinimo. Mazuto degimo proceso atliekų papildomai ruošti nereikia.

Sunkiųjų metalų koncentracijos mazuto degimo proceso atliekose ir dirvožemio ėminiuose buvo nustatomos Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos apsaugos instituto Aplinkos apsaugos ir darbo sąlygų laboratorijoje. Bandiniuose tirta šešių sunkiųjų metalų koncentracijos – Cr, Ni, Zn, Cu, Pb ir Cd.

Sunkiųjų metalų koncentracijos nustatymos mineralizacijos būdu, tam panaudojant Milestone firmos mineralizatorių ETHOS.



2. 6 pav. Milestone mineralizatorius

Kiekvieno ėminio, sausos medžiagos (mazuto pelenų, elektrostatinio filtro pelenų, gipso ir dirvožemio) pasveriamas iki 0,5 g ir suberiamas į mineralizavimo indus. Į kiekvieną indą įlašinama po 10 ml HNO_3 ir 2 ml H_2O_2 tirpalų mišinio. Vienas indas paruošiamas be sausos medžiagos, įlašinamas tik tirpalų mišinys, tai kontrolinis mėginys.

Paruošti keturi mėginiai mineralizuojami 49 min., temperatūrą pakeliant iki 190 °C, ir vėliau 1 val. vėsunami. Po mineralizacijos gauti tirpalai buvo supilti į atskiras 50 ml talpos kolbas ir atskiedžiami dejonizuotu vandeniu iki 50 ml žymės. Praskiesti tirpalai filtruojami į sandarius mėginių buteliukus.



2. 7 pav. Mineralizuoti bandiniai

Sunkiųjų metalų koncentracijos bandiniuose nustatomos atominės absorbcijos spektrofotometru „Buck Scientific“ 210 VGP Vilniaus Gedimino technikos universiteto cheminių metodų laboratorijoje. Metodas remiasi elemento koncentracijos matavimais mėginyje naudojant liepsnos atominę absorbcinę spektrometriją.

Tiriamo elemento koncentracija apskaičiuojama pagal formulę:

$$W_{Me} = \frac{C_{Me} \cdot f \cdot V}{W}, \quad (2.1)$$

čia: W_{Me} – metalo koncentracija mėginyje, mg/kg; C_{Me} – metalo koncentracija tirpale, mg/l; f – skiedimo faktorius; V – tūris, l, paimtas analizei; 0,05 l; W – mėginio masė, kg, perskaičiuota į sauso mėginio masę.

Visų tiriamų sunkiųjų metalų (Cu, Cr, Ni, Cd, Zn, Pb) koncentracijos dirvožemyje apskaičiuojamos pagal 2.1 formulę.

2. 6. Skyriaus išvados

1. Atliekami radionuklidų savitųjų aktyvumų ir sunkiųjų metalų koncentracijų nustatymo tyrimai AB „Lietuvos elektrinė“ naudojamame mazute bei jo degimo proceso atliekose (mazuto pelenai, dulkės, susidaranti elektrostatiname filtre, gipsas) ir dirvožemyje, surinkame 1500 m spinduliu aplink elektrinę.
2. Radionuklidų savituosius aktyvumus efektyviausiai galima tirti puslaidininkiniu gama spektrometru su gryno germanio (HPGe) detektoriumi. Juo nustatyti šių radionuklidų savitieji aktyvumai: ^{40}K , ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Pb , ^{226}Ra , ^{228}Ac .

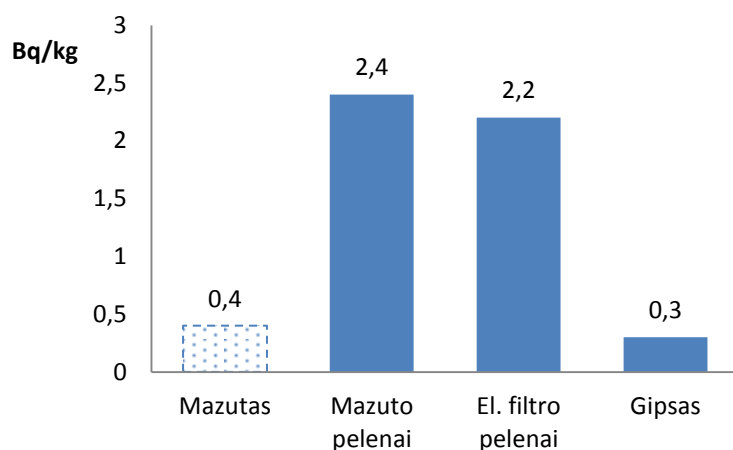
3. Sunkiųjų metalų koncentracijoms nustatyti pasirinktas mineralizavimo būdas. Visi bandiniai paruošiami tirpalo pavidalo įlašinus po 10 ml HNO_3 ir 2 ml H_2O_2 mišinio. Sumineralizavus tirpalai tiriama naudojant liepsnos atominę absorbcinę spektrometriją. Šiuo būdu nustatomos šešių sunkiųjų metalų (Cr, Ni, Zn, Cu, Pb ir Cd) koncentracijos.
4. Dirvožemio ėminiai imami AB „Lietuvos elektrinė“ teritorijoje ir už jos ribų koncentrinų ratų aplink taršos šaltinį (kaminą) ir pasaulio šalių susikirtimo vietose tolstant nuo kamino (taršos šaltinio) kas 150 m. Dirvožemis imtas paviršiniame 5 cm sluoksnyje 15 cm skersmens žiedu fiziškai prieinamose vietose.

3. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI IR ANALIZĖ

Eksperimentinių tyrimų rezultatų aptarimo skyriuje pateikti radionuklidų savitųjų aktyvumų ir sunkiųjų metalų koncentracijų mazute, jo degimo proceso atliekose bei dirvožemyje, surinkto šiluminės elektrinės įtakos zonoje, tyrimų rezultatai. Gauti rezultatai vertinami pagal vietai būdingus vėjus bei lyginami su kituose moksliniuose darbuose aprašomais gautais rezultatais.

3. 1. Gamtinės ir dirbtinės kilmės radionuklidų savitieji aktyvumai mazute ir jo degimo proceso atliekose

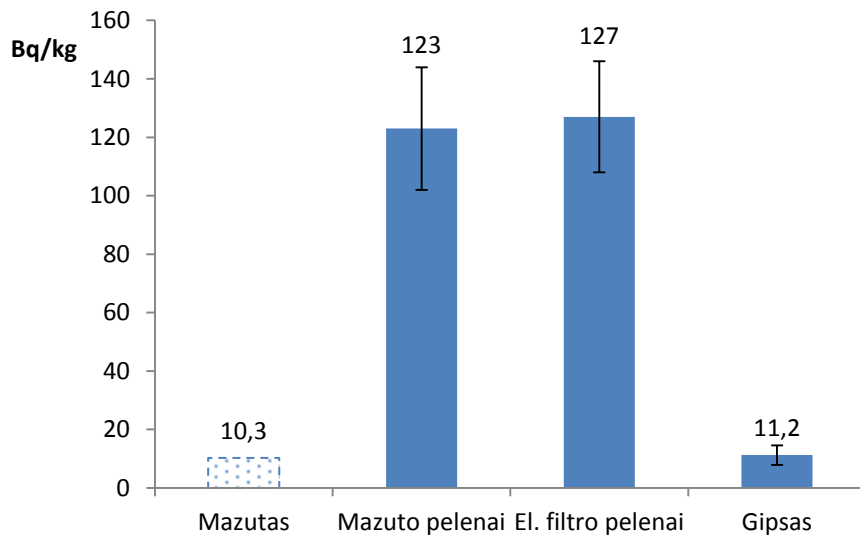
Pagal aprašytą metodiką, gama spektrometrijos būdu nustatyti gamtinės (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) ir dirbtinės kilmės (^{137}Cs) radionuklidų savitieji aktyvumai mazute ir mazuto degimo proceso atliekose. Dirbtinės kilmės radionuklido ^{137}Cs savitieji aktyvumai pateikti 3. 1 pav.



3. 1 pav. ^{137}Cs savitieji aktyvumai mazute ir jo degimo proceso atliekose

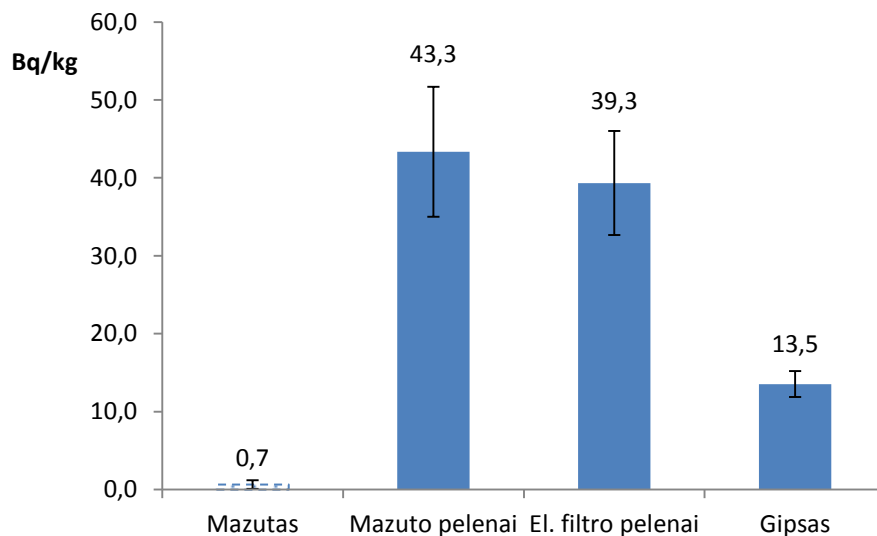
Pagal 3. 1 pav. pateiktus duomenis ^{137}Cs savitasis aktyvumas mazuto degimo proceso atliekose kinta nuo 0,3 Bq/kg iki 2,4 Bq/kg. Didžiausias (2,4 Bq/kg) ^{137}Cs savitasis aktyvumas susikaupęs sudegusio mazuto pelenuose. Elektrostatinio filtro pelenuose ^{137}Cs savitasis aktyvumas yra 2,2 Bq/kg, gipse – 0,3 Bq/kg. Visuose tirtuose bandiniuose dirbtinio radionuklido ^{137}Cs savitieji aktyvumai gauti itin maži. Gautuose rezultatuose buvo nurodyta mažiausia gama spektrometro detektoriaus galima išmatuoti vertė, mažiausias aptinkamas radionuklido aktyvumas, todėl gauti rezultatai nėra labai tikslūs.

3. 2 – 3. 4 pav. pateikti gamtinės kilmės radionuklidų ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th savitieji aktyvumai mazute bei mazuto degimo proceso atliekose.



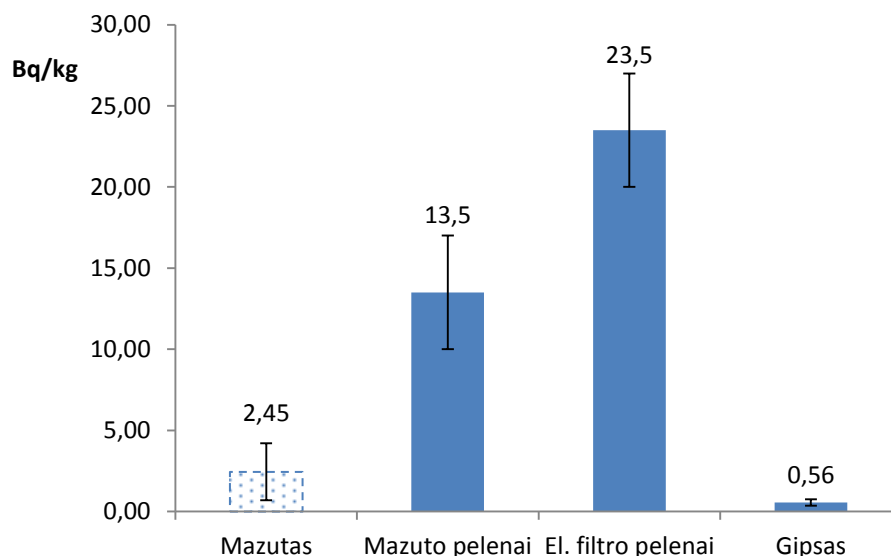
3. 2 pav. ^{40}K savitieji aktyvumai mazute ir jo degimo proceso atliekose

Didžiausi ^{40}K savitieji aktyvumai išmatuoti elektrostatinio filtro pelenuose (127 ± 19 Bq/kg), tačiau labai panašus rezultatas gautas ir mazuto pelenuose (123 ± 21 Bq/kg). Mažiausi ^{40}K savitieji aktyvumai nustatyti mazute (mažiau nei 10,3 Bq/kg) ir gipse ($11,2 \pm 33$ Bq/kg).



3. 3 pav. ^{226}Ra savitieji aktyvumai mazute ir jo degimo proceso atliekose

^{226}Ra savitasis aktyvumas nustatomas apskaičiuojant ^{210}Pb ir ^{214}Bi savitųjų aktyvumų vidurkį. Pagal 3.3 pav. duomenis gamtinio radionuklido ^{226}Ra savitasis aktyvumas kinta nuo $0,7 \pm 0,5$ Bq/kg iki $43,3 \pm 8,3$ Bq/kg. Didžiausias savitasis aktyvumas ($43,3 \pm 8,3$ Bq/kg) išmatuotas mazuto pelenų bandinyje, tačiau nedaug nuo jo skiriasi elektrostatinio filtro pelenų bandinio rezultatas ($39,3 \pm 6,7$ Bq/kg), gipse ^{226}Ra savitasis aktyvumas gautas $13,5 \pm 9,8$ Bq/kg. ^{226}Ra savitųjų aktyvumų rezultatai atitinka ^{40}K savitųjų aktyvumų rezultatų tendencijas.



3. 4 pav. ^{232}Th savitieji aktyvumai mazute ir jo degimo proceso atliekose

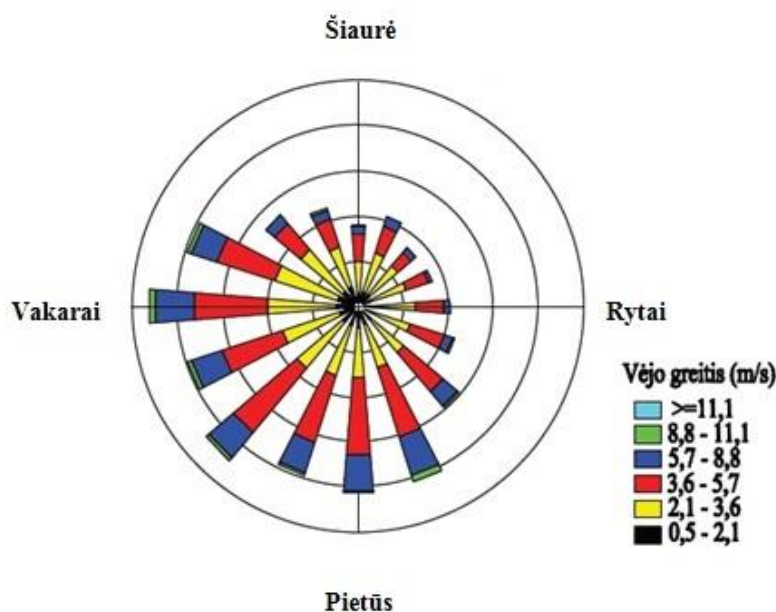
^{232}Th savitasis aktyvumas nustatomas pagal ^{228}Ac ir ^{208}Tl savituosius aktyvumus, apskaičiuojant jų vidurkį. ^{232}Th savitieji aktyvumai kinta nuo $0,56 \pm 0,2$ Bq/kg iki $23,5 \pm 3,5$ Bq/kg. Pagal 3.4 pav. matyti, kad didžiausias ($23,5 \pm 3,5$ Bq/kg) ^{232}Th savitasis aktyvumas, skirtingai nei ^{40}K ir ^{226}Ra gautuose rezultatuose, nustatytas elektrostatinio filtro pelenų bandinyje, artimiausias rezultatas gautas mazuto pelenų bandinyje ($13,5 \pm 3,5$ Bq/kg), gipse gautas mažiausias rezultatas – $0,56 \pm 0,2$ Bq/kg.

Pagal pateiktus paveikslus pastebima, kad visų keturių matuotų, dirbtinio (^{137}Cs) ir gamtinių (^{40}K , ^{226}Ra ir ^{232}Th), radionuklidų didžiausi savitieji aktyvumai gauti mazuto pelenų bei elektrostatinio filtro pelenų bandiniuose. Literatūroje minima, kad dėl geocheminių aplinkybių yra neįmanoma tiksliai nustatyti urano grupės radionuklidų dujose ar mazute (Betti 2000), todėl mazutas yra sulyginamas su anglimi kaip iškastinis kuras ir pateikiami anglies mėginių tyrimų rezultatai.

3. 2. Gamtinių ir dirbtinių radionuklidų savitieji aktyvumai dirvožemyje

Gama spektrometrijos būdu nustatyti gamtinės (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) ir dirbtinės kilmės (^{137}Cs) radionuklidų savitieji aktyvumai dirvožemyje keturių pasaulio šalių kryptimis tolstant nuo taršos šaltinio (kamino) vienodais atstumais (2. 1 ir 2. 3 pav.). Dirbtinės ir gamtinės kilmės radionuklidų savitųjų aktyvumų tyrimų dirvožemyje rezultatai pateikti 3.6 – 3.9 pav. Analizuojant gautus tyrimų rezultatus buvo atsižvelgta į vietovės vėjų kryptis (3. 5 pav.) bei bandinių ėmimo teritorijoje esančius objektus. Gauti rezultatai lyginami su R. Mikalauskienės baigiamajame magistro darbe aprašytais atliktais dirvožemio tyrimais

skirtinguose Lietuvos rajonuose (Mikalauskiene 2012). 3. 5 pav. pateikta vietovės vyraujančių vėjų rožė pagal LHMT informaciją.



3. 5 pav. Vietovės vyraujančių vėjų rožė

AB „Lietuvos elektrinė“ yra įsikūrusi apie 2 km nuo šiaurės rytuose esančio Elektrėnų miesto. Šiuo metu elektrinė užima 144,68 ha plotą. Didžiojoje teritorijos aplink elektrinę dalyje yra dirbami žemės plotai, gyvenamieji namai bei auga miškas ir krūmai, rytinėje teritorijos dalyje didelį plotą užima Elektrėnų marios.

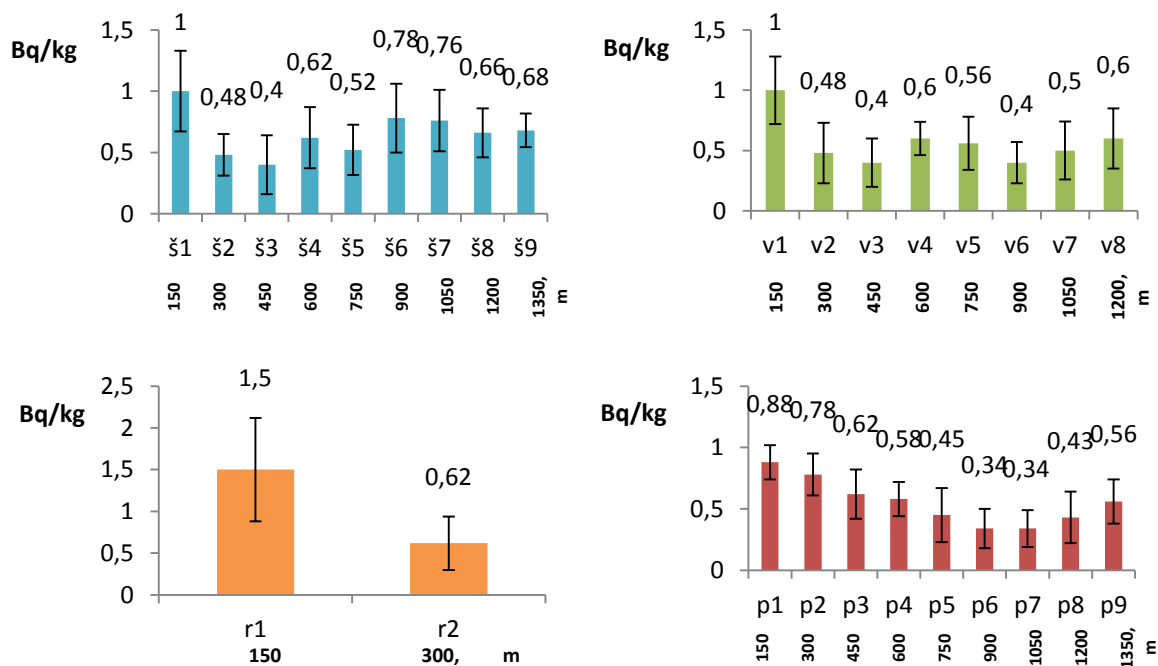
Situacinis tiriamojo objekto planas pateiktas 2. 3 pav. Iš 2. 3 pav. matyti, kad AB „Lietuvos elektrinė“ įtakos zonoje gausu įvairių objektų. Teritorijos rytinėje pusėje didelį plotą užima Elektrėnų marios, kurios apribojo dirvožemio ėminių ėmimą rytų kryptimi. Teritorijos pietinėje pusėje išdėstyti įvairūs pramoninės paskirties pastatai, sandėliai bei likę geležinkelio bėgiai, kuriais anksčiau buvo atvežamas kietasis kuras. Vakarų kryptimi didelį plotą užima dirbamos žemės laukai. Šiaurinėje dalyje, nutolus nuo taršos šaltinio apie 500 m, yra miškas, o dar už 200 m prasideda Elektrėnų miesto namai. Vietovė yra paveikta antropogeninės veiklos statant šiluminę elektrinę ir jos pagalbinius pastatus bei dirbant laukuose, tręšiant žemę cheminėmis medžiagomis.

3. 2. 1. ^{137}Cs savitieji aktyvumai

Dirbtinės kilmės radionuklido ^{137}Cs savitųjų aktyvumų dirvožemyje rezultatai pateikti 3. 6 pav.

Iš 3. 6 pav. matyti, kad dirbtinės kilmės radionuklido ^{137}Cs savitieji aktyvumai visomis kryptimis aplink taršos šaltinį pasiskirsto skirtingai, nėra vienodos tendencijos,

išskyrus tai, kad visomis kryptimis didžiausias radionuklido savitasis aktyvumas yra arčiausiai taršos šaltinio, pirmame taške, kuris yra elektrinės teritorijoje ir nuo taršos šaltinio nutolęs 150 m. Tokį rezultatą galėjo lemti tiesioginė šiluminės elektrinės teritorijos užtarša radionuklidų turinčiomis medžiagomis. Radionuklidų savitųjų aktyvumų padidėjimą galėjo nulemti įvairaus elektrinės kuro (anglis, mazutas ir kt.) transportavimas bei sandėliavimas.



3. 6 pav. ^{137}Cs savitieji aktyvumai dirvožemyje: ėminių ėmimo vietos tolstant kas 150 m nuo kamino šiaurės (š1 – š9), vakarų (v1 – v8), rytų (r1, r2) ir pietų (p1 – p2) kryptimis

Šiaurės kryptimi radionuklido ^{137}Cs savitieji aktyvumai kinta nuo $0,4 \pm 0,24$ Bq/kg iki $1 \pm 0,33$ Bq/kg, vakarų kryptimi kinta nuo $0,4 \pm 0,17$ Bq/kg iki $1 \pm 0,28$ Bq/kg, rytų kryptimi gauti rezultatai $0,62 \pm 0,32$ Bq/kg ir $1,5 \pm 0,62$ Bq/kg, pietų kryptimi – nuo $0,34 \pm 0,15$ Bq/kg iki $0,88 \pm 0,14$ Bq/kg.

Galima teigti, jog šiaurės kryptimi iš kamino pakilusio fakelo nusileidimo vieta yra nutolusi nuo kamino apie 1 km, tai matosi iš pirmojo grafiko, vietose, nutolusiose 900 m (š6) ir 1050 m (š7), savitieji aktyvumai padidėja.

Vakarų kryptimi, atsižvelgiant į vyraujančius pietvakarių vėjus, išryškėja priešvėjinis dalelių išbarstymas, todėl ir rezultatai diagramoje pasiskirstę chaotiškai.

Pietų kryptimi dėl ten esančių gamybinių patalpų, spėjama, kad yra galima lokalioji užtarša radionuklidais. Šiose patalpose galėjo būti sandėliuojamos medžiagos, turinčios radionuklidų. Šia kryptimi taip pat nusitęsia geležinkelio bėgiai, kuriais buvo

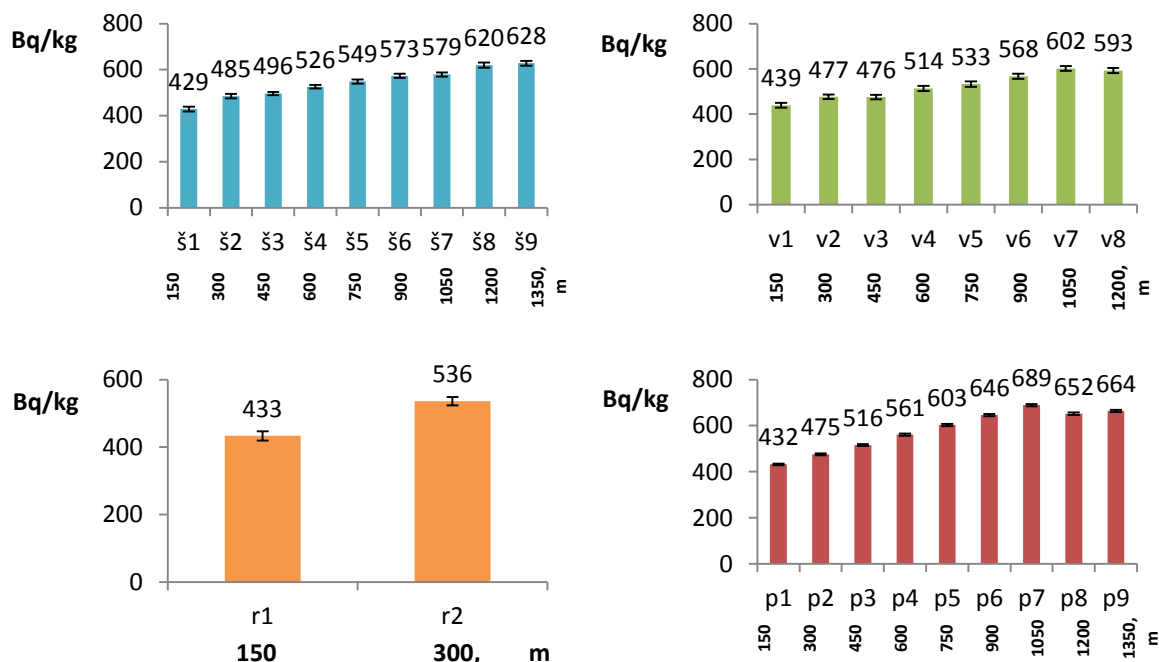
vežamas kuras elektrinei ir kurie įtakoja vietinės užtaršos radionuklidais padidėjimą. Dėl šių priežasčių lokalią užtaršą šioje vietoje, pietų kryptyje galėjo būti matoma jau daugelį metų.

^{137}Cs yra globaliai patekęs į aplinką visoje Lietuvoje įvykus avarijai Černobylio atominėje elektrinėje, tačiau iš tyrimų rezultatų matoma didelė lokals užtaršos įtaka teritorijoje dėl anksčiau ir šiuo metu naudojamų įvairaus kuro rūšių (anglis, orimulsija, mazutas, gamtinės dujos).

Rezultatai buvo lyginami su R. Mikalauskienės baigiamajame magistro darbe (Mikalauskienė 2012) aprašytais atliktais dirvožemio tyrimų rezultatais, kurie svyruoja nuo $1,7 \pm 1,4$ iki $14,2 \pm 0,9$ Bq/kg, didžiausi rezultatai gauti Kretingos rajone. Mažiausi rezultatai ir artimiausi šiame tyrime gautiems rezultatams yra Vilniaus ($1,7 \pm 1,4$ Bq/kg) bei Šiaulių (2,1 Bq/kg) regionuose. Palyginus šiuos rezultatus su gautais rezultatais tiriant dirvožemį šiluminės elektrinės aplinkoje, galima teigti, kad elektrinės išmetami per kaminą dūmai neturi didelio poveikio vietovės atmosferos užterštumui. Gauti rezultatai yra panašūs arba mažesni nei kituose rajonuose.

3. 2. 2. ^{40}K savitieji aktyvumai

Gamtinės kilmės radionuklido ^{40}K savitųjų aktyvumų dirvožemyje rezultatai pateikti 3. 7 pav.



3. 7 pav. ^{40}K savitieji aktyvumai dirvožemyje: ėminių ėmimo vietos tolstant kas 150 m nuo kamino šiaurės (š1 – š9), vakarų (v1 – v8), rytų (r1, r2) ir pietų (p1 – p9) kryptimis

Pagal 3. 7 pav. duomenis, gamtinio radionuklido ^{40}K savitieji aktyvumai tendencingai didėja tolstant nuo taršos šaltinio.

Šiaurės kryptimi radionuklido savitieji aktyvumai kinta nuo $429 \pm 10,5$ Bq/kg iki $628 \pm 10,4$ Bq/kg, vakarų kryptimi kinta nuo $439 \pm 10,7$ Bq/kg iki 602 ± 11 Bq/kg, rytų kryptimi du rezultatai $433 \pm 13,8$ Bq/kg ir $536 \pm 12,6$ Bq/kg, pietų kryptimi kinta nuo $432 \pm 3,7$ Bq/kg iki $689 \pm 4,6$ Bq/kg.

Radionuklido ^{40}K savitieji aktyvumai dirvožemyje priklauso nuo įvairių geologinių veiksnių, antropogeninės veiklos. Visomis kryptimis savitųjų aktyvumų gauti rezultatai priklauso nuo žemės darbuose naudojamų kalio trąšų. Šiluminės elektrinės apylinkėse visomis kryptimis yra nemažai dirbamos žemės plotų, o pietų kryptimi yra pramoninės paskirties pastatų, sandėlių, kuriuose galėjo būti laikomos medžiagos, turinčios gamtinių radionuklidų.

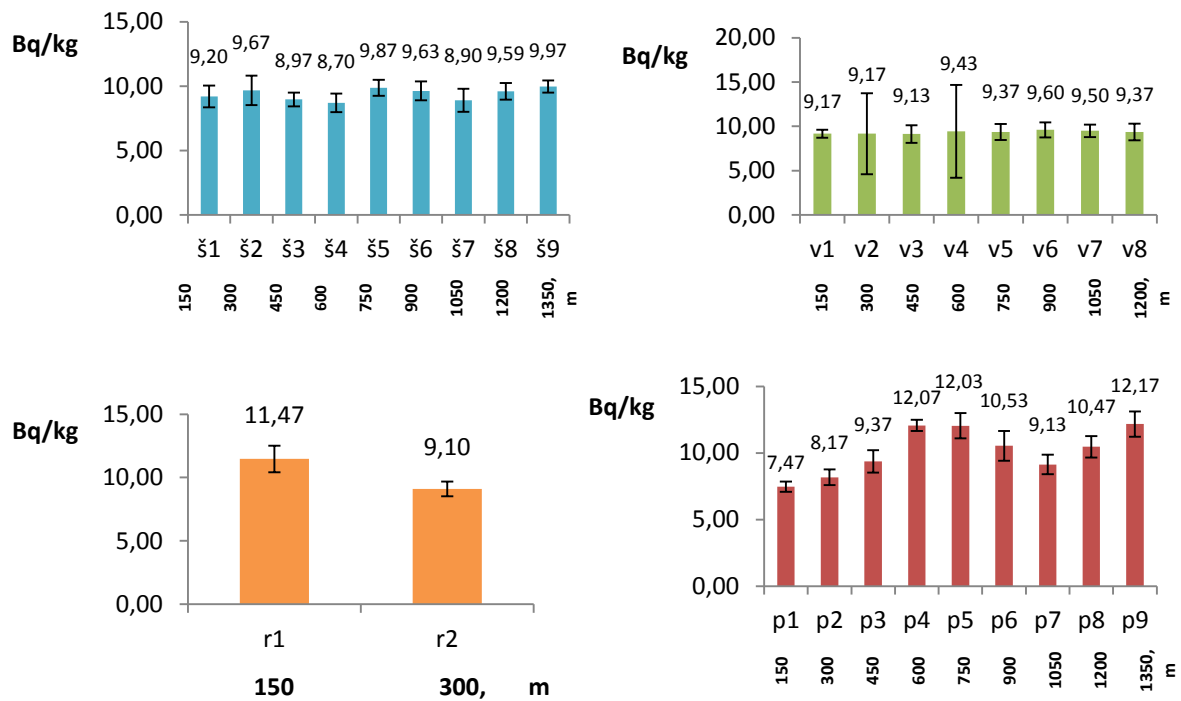
Radionuklido ^{40}K savitųjų aktyvumų gauti rezultatai rodo ir lokalią užtaršą dėl elektrinėje naudojamų medžiagų (kalkės, gipsas), nors artimiausi taršos šaltiniui rezultatai nėra didžiausi.

Lyginamuosiuose R. Mikalauskienės (Mikalauskienė 2012) tyrimų rezultatuose ^{40}K savitieji aktyvumai įvairiose Lietuvos vietovėse yra labai skirtingi ir svyruoja nuo $352 \pm 2,9$ Bq/kg iki 740 ± 15 Bq/kg. Šiame darbe gauti rezultatai yra labai panašūs į juos, svyruoja nuo $429 \pm 10,5$ Bq/kg iki $689 \pm 4,6$ Bq/kg, todėl galima teigti, kad elektrinės išmetami teršalai nedaro įtakos aplinkinės teritorijos atmosferos užterštumui, o radionuklido ^{40}K savitieji aktyvumai dirvožemyje gali svyruoti dėl dirbamose žemėse naudojamų cheminių priemonių.

3. 2. 3. ^{226}Ra savitieji aktyvumai

Gamtinės kilmės radionuklido ^{226}Ra savitųjų aktyvumų dirvožemyje rezultatai pateikti 3. 8 pav.

Gamtinio radionuklido ^{226}Ra savitieji aktyvumai visomis kryptimis pasiskirsto pakankamai tolygiai. Iš 3. 8 pav. matyti, kad gauti rezultatai visomis kryptimis yra panašūs apie 9 Bq/kg, tik pietų kryptimi išryškėja didėjimas.



3. 8 pav. ^{226}Ra savitieji aktyvumai dirvožemyje: ėminių ėmimo vietos tolstant kas 150 m nuo kamino šiaurės (š1 – š9), vakarų (v1 – v8), rytų (r1, r2) ir pietų (p1 – p2) kryptimis

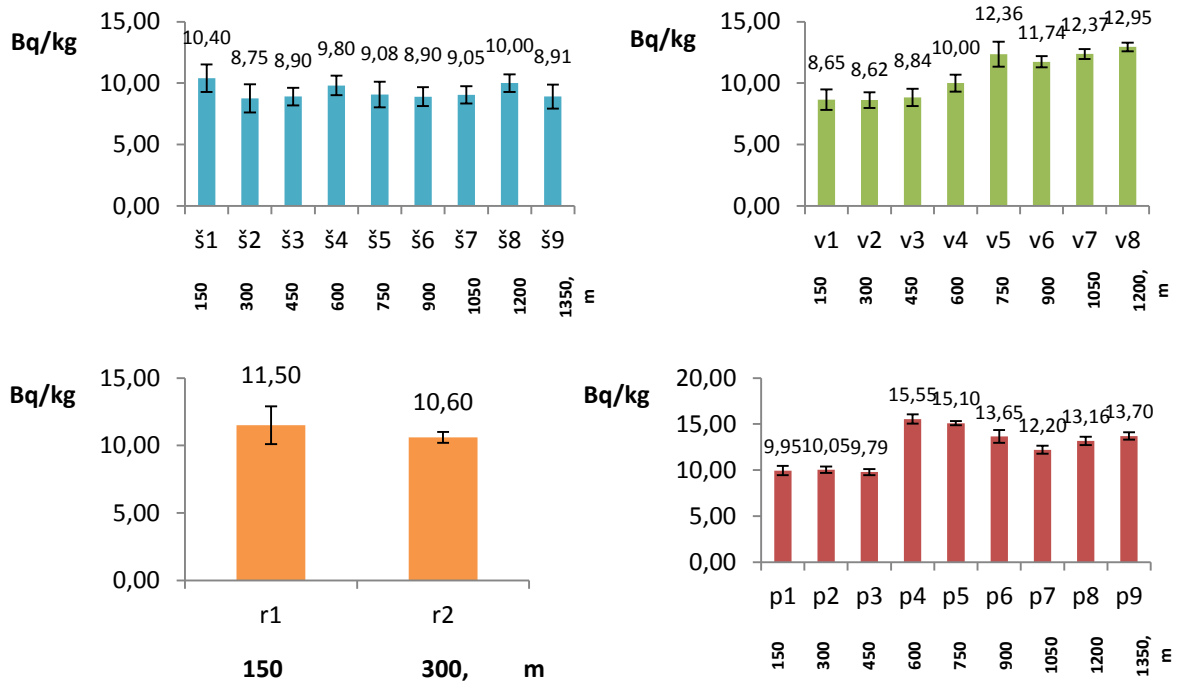
Radionuklido ^{226}Ra savitieji aktyvumai visomis kryptimis kinta nuo $7,47 \pm 0,39$ Bq/kg iki $12,17 \pm 0,95$ Bq/kg. Didžiausios reikšmės nustatytos pietų kryptimi, labiausiai nutolusiame nuo taršos šaltinio taške.

Šiame darbe ir anksčiau atliktuose tyrimuose gauti rezultatai yra panašūs. R. Mikalauskienės gautų gamtinio radionuklido ^{226}Ra savitųjų aktyvumų vidutinė reikšmė yra $15,9 \pm 2,6$ Bq/kg.

3. 2. 4. ^{232}Th savitieji aktyvumai

Gamtinės kilmės radionuklido ^{232}Th savitųjų aktyvumų dirvožemyje rezultatai pateikti 3. 9 pav.

Pagal 3. 9 pav. duomenis gamtinio radionuklido ^{232}Th savitieji aktyvumai pasiskirsto panašiai, kaip ir ^{226}Ra savitieji aktyvumai, tolygiai, gauti rezultatai yra apie 9 – 10 Bq/kg. Vakarų kryptimi matyti savitųjų aktyvumų didėjimas tolstant nuo taršos šaltinio. Visomis kryptimis rezultatai kinta nuo $8,62 \pm 0,64$ Bq/kg iki $15,55 \pm 0,52$ Bq/kg. Didžiausi savitieji aktyvumai gauti pietų krypties tirtuose bandiniuose.



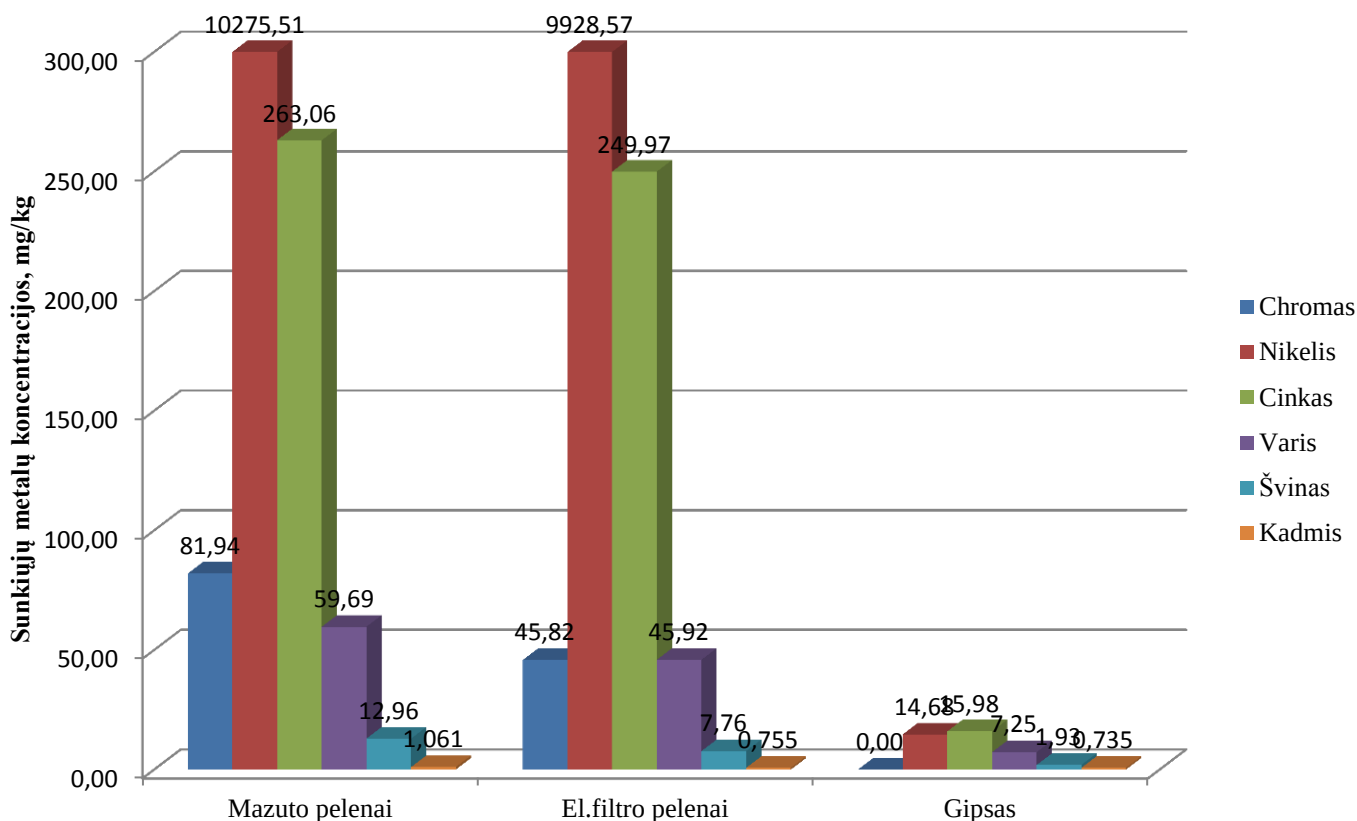
3. 9 pav. ^{232}Th savitieji aktyvumai dirvožemyje: ėminių ėmimo vietos tolstant kas 150 m nuo kamino šiaurės (š1 – š9), vakarų (v1 – v8), rytų (r1, r2) ir pietų (p1 – p2) kryptimis

Rezultatai yra labai panašūs ir artimi R. Mikalauskienės gautiems rezultatams. Jos nustatyti gamtinio radionuklido ^{232}Th savitieji aktyvumai svyruoja nuo $12,2 \pm 0,7$ Bq/kg iki $20,6 \pm 0,9$ Bq/kg.

3. 3. Sunkiųjų metalų koncentracijos mazute ir jo degimo proceso atliekose

Pagal 2. 5. dalyje aprašytą metodiką, mineralizacijos ir spektrofotometrijos būdu nustatytos sunkiųjų metalų (chromo, nikelio, cinko, vario, švino, kadmio) koncentracijos mazuto degimo proceso atliekose. Sunkiųjų metalų koncentracijos bandiniuose pateiktos 3. 10 pav.

Iš 3. 10 pav. matyti, kad didesnės sunkiųjų metalų koncentracijos gautos mazuto pelenų ir elektrostatinio filtro pelenų bandiniuose, gipse gauti rezultatai ne tokie dideli. Pagal pateiktus rezultatus, eksperimento metu gautos itin didelės nikelio koncentracijos mazuto pelenuose (10276 mg/kg) ir elektrostatinio filtro pelenuose (9929 mg/kg). Taip pat pakankamai didelė cinko koncentracija mazuto pelenų (263 mg/kg) ir elektrostatinio filtro pelenų (250 mg/kg) bandiniuose. Chromo koncentracija mazuto pelenuose nustatyta 82 mg/kg, elektrostatinio filtro pelenuose 46 mg/kg. Vario koncentracijos gautos 60 mg/kg (mazuto pelenuose) ir 46 mg/kg (elektrostatinio filtro pelenuose). Diagramoje matyti, kad sunkiųjų metalų švino (13 mg/kg ir 8 mg/kg) bei kadmio (1 mg/kg ir $0,8$ mg/kg) rezultatai gauti itin maži mazuto pelenuose ir elektrostatinio filtro pelenuose.



3. 10 pav. Sunkiųjų metalų (chromo, nikelio, cinko, vario, švino, kadmio) koncentracijos mazuto degimo proceso atliekose

Gipso bandiniuose gautuose rezultatuose nėra tokio dviejų sunkiųjų metalų koncentracijų išryškėjimo. Nikelio koncentracija gipse gauta 15 mg/kg, cinko – 16 mg/kg, chromo 0 mg/kg, vario – 7 mg/kg. Švino bei kadmio koncentracijos taip pat kaip ir kituose bandiniuose gautos labai mažos (2 mg/kg ir 0,7 mg/kg).

Mazuto bandiniai eksperimentiškai nebuvo matuojami, todėl sunkiųjų metalų koncentracijos jame apskaičiuotos pagal eksperimentiškai išmatuotų bandinių rezultatus ir kitus turimus duomenis. Yra žinomi mazuto peleningumas (0,06 %) bei elektrostatinio filtro pelenų ir gipso elektrinėje susidarantys kiekiai.

Sudeginus 1 t mazuto, katilė lieka apie 0,6 kg pelenų. Pagal proporciją apskaičiuojama, kiek reikia sudeginti mazuto, kad būtų gauta 0,5 g pelenų (tiek buvo naudota sunkiųjų metalų tyrimui):

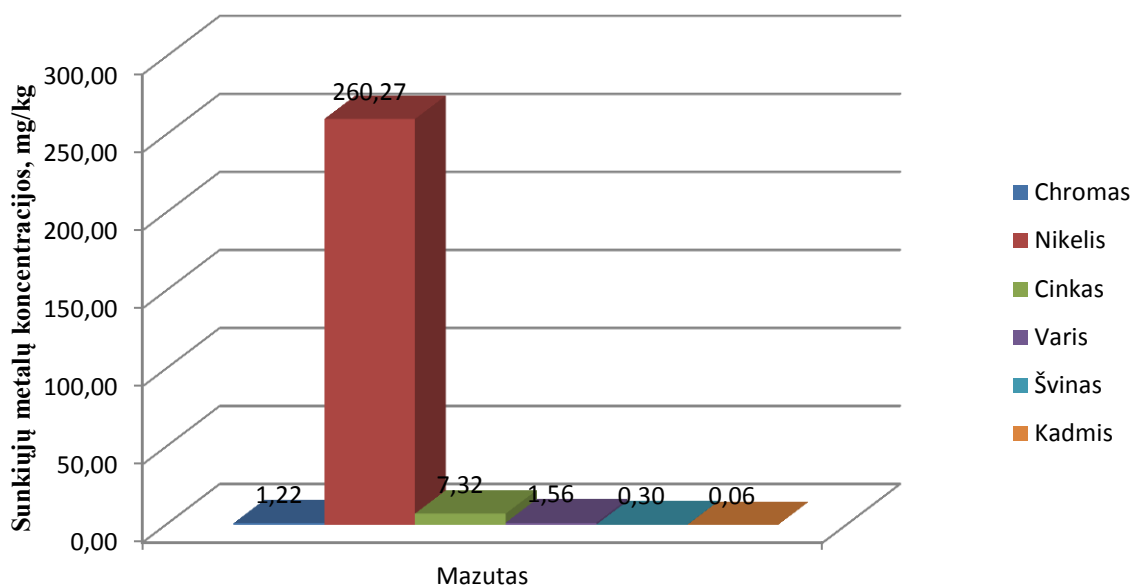
$$1000 \text{ kg} \cdot 0,49 \cdot 10^{-3} \text{ kg} / 0,6 \text{ kg} = 0,82 \text{ kg}$$

Gautas kiekis prilyginamas pelenuose eksperimentiškai gautam sunkiųjų metalų tyrimo rezultatui kiekvieno sunkiojo metalo atskirai (pavyzdyje nikelio koncentracija

pelenuose – 10276 mg/kg). Kadangi eksperimentui buvo naudojama kiekvienos medžiagos iki 0,5 g, pagal proporciją gaunama tam tikro sunkiojo metalo (šiuo atveju nikelio) koncentracija mazute:

$$0,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 10276 \text{ mg/kg} / 0,82 \text{ kg} = 6,29 \text{ mg/kg}$$

Kadangi deginamas mazutas išsiskaido ir kelias sudėtines dalis (pelenai, elektrostatinio filtro pelenai, gipsas), analogiškai skaičiavimai atlikti su visomis medžiagomis ir susumuoti. Apskaičiuotos sunkiųjų metalų koncentracijos mazute pavaizduotos 3. 11 pav.

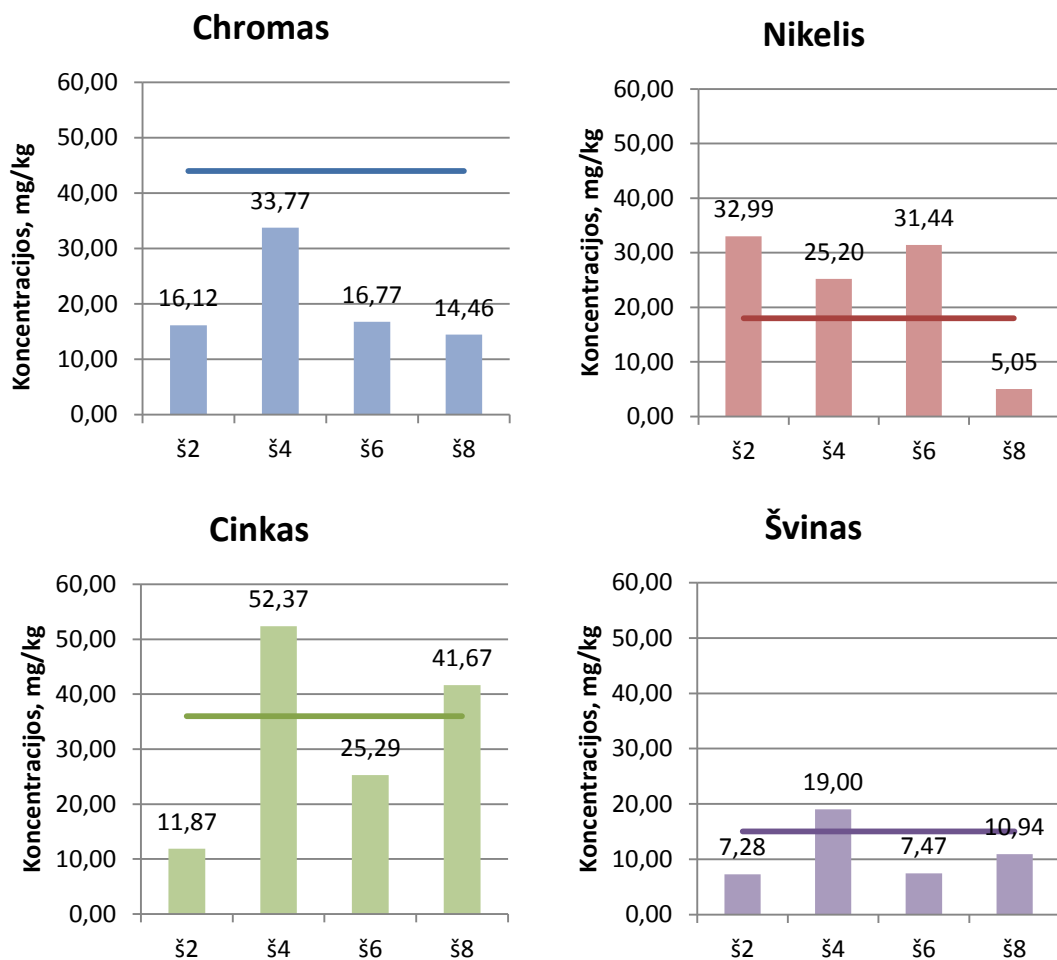


3. 11 pav. Sunkiųjų metalų (chromo, nikelio, cinko, vario, švino, kadmio) koncentracijos mazute

Atitinkamai kadangi mazuto pelenuose ir elektrostatinio filtro pelenuose nikelio koncentracijos gautos didelės, perskaičiavus šį rezultatą pagal peleningumą, mazute nikelio koncentracija taip pat gauta didžiausia (260,27 mg/kg). Cinko koncentracija gauta 7,32 mg/kg, chromo – 1,22 mg/kg, vario – 1,56 mg/kg, švino 0,30 mg/kg, kadmio – 0,06 mg/kg.

3. 4. Sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemyje

Sunkiųjų metalų koncentracijos buvo matuotos dirvožemio bandiniuose. Gauti rezultatai pavaizduoti 3. 12 – 3. 15 pav. Grafikuose pavaizduotų tyrimų duomenų reikšmių dydžiams palyginti pateikiamos foniniai metalų kiekiai priemolio dirvoje, kurios parodo natūraliai dirvoje esančius sunkiųjų metalų kiekius, kai dirva nėra veikiamas vietinių taršos objektų. (Lietuvos Respublikos... 2004).



3. 12 pav. Sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio bandiniuose, tolstant nuo taršos šaltinio šiaurės kryptimi

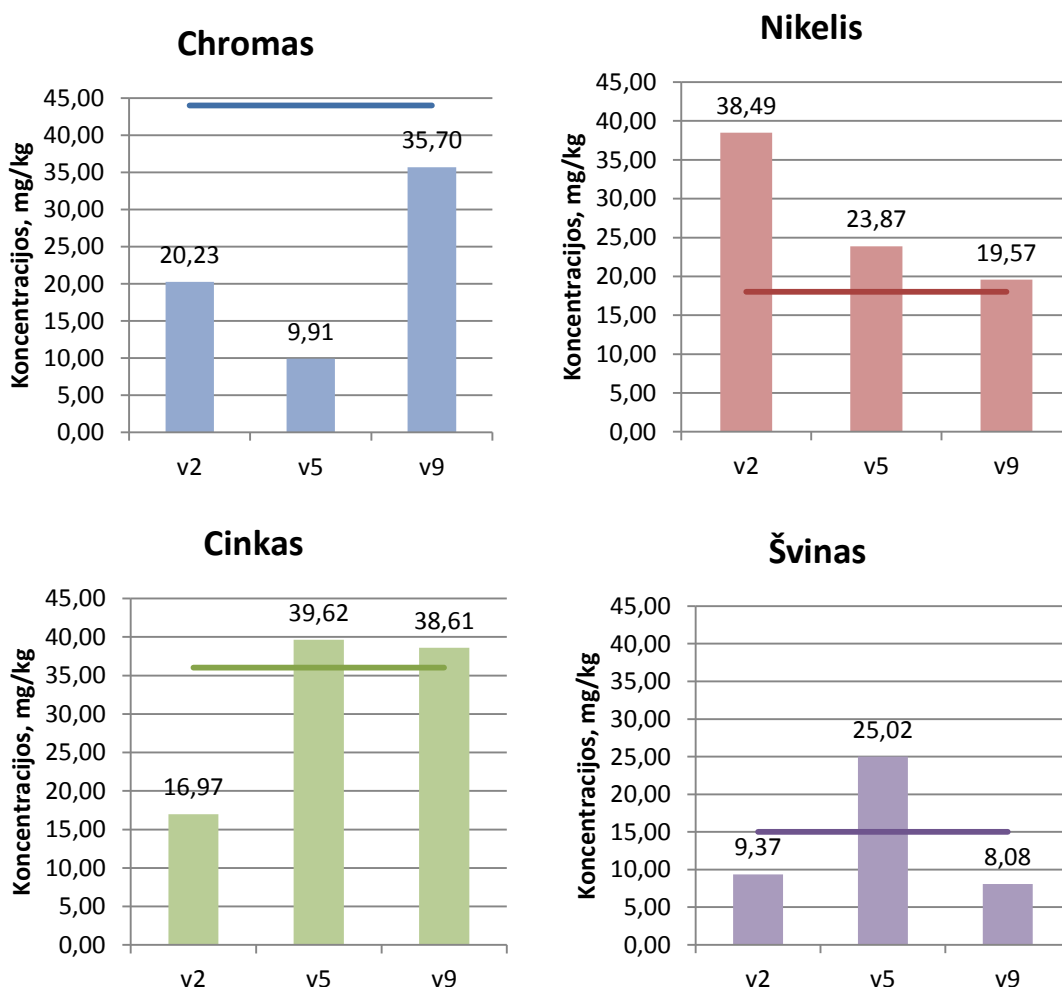
3.12 pav. pavaizduoti sunkiųjų metalų tyrimo dirvožemio bandiniuose, rinktuose tolstant šiaurės kryptimi nuo elektrinės kamino, rezultatai. Ėminių ėmimo vietos nutolusios nuo taršos šaltinio tokiais atstumais: š2 – 300 m, š4 – 600 m, š6 – 900 m, š8 – 1200 m.

Didžiausia chromo koncentracija (33,77 mg/kg) šiaurės kryptimi gauta 600 m atstumu nuo kamino, kituose taškuose gautos reikšmės 16,12 mg/kg (300 m atstumas), 16,77 mg/kg (900 m atstumu), 14,46 mg/kg (1200 m atstumu). Pagal higienos normą HN 60:2004 didžiausia leidžiama koncentracija (DLK) chromo dirvožemyje yra 100 mg/kg, gauti eksperimento rezultatai šio kiekio neviršija. Taip pat neviršija ir foninio chromo kiekio dirvožemyje (44 mg/kg).

Nikelio koncentracija pirmuose trijuose bandiniuose gauta didesnė nei foninis nikelio kiekis dirvožemyje (18 mg/kg): 32,99 mg/kg, 25,20 mg/kg, 31,44 mg/kg. Labiausiai nuo elektrinės nutolusiame ėminio bandinyje (š8, 1200 m) gauta nikelio koncentracija daug mažesnė nei kituose – 5,05 mg/kg. Didžiausia leidžiama nikelio koncentracija dirvožemyje yra 75 mg/kg.

Cinko didžiausia leidžiama koncentracija dirvožemyje yra 300 mg/kg, eksperimento rezultatai šios koncentracijos neviršija. Pirmame ėminyje (š2) gautas rezultatas 11,87 mg/kg, antrame (š4) – 52,37 mg/kg, trečiame (š6) – 25,29 mg/kg, ketvirtame (š8) – 41,67 mg/kg. Foninis cinko kiekis dirvožemyje pagal higienos normą yra 36 mg/kg, šį kiekį viršija š4 ir š8 ėminių bandiniai.

Švino gauti eksperimentiniai rezultatai didžiausios leidžiamos koncentracijos (100 mg/kg) neviršija. Daugiau nei foninis kiekis (15 mg/kg) gautas š4 ėminio bandinyje – 19 mg/kg. Kiti rezultatai gauti 7,28 mg/kg, 7,47 mg/kg, 10,94 mg/kg.



3. 13 pav. Sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio bandiniuose, tolstant nuo taršos šaltinio vakarų kryptimi

3.13 pav. pavaizduoti sunkiųjų metalų tyrimo dirvožemio bandiniuose, rinktuose tolstant vakarų kryptimi nuo elektrinės kamino, rezultatai. Ėminių ėmimo vietos nutolusios nuo taršos šaltinio tokiais atstumais: v2 – 300 m, v5 – 750 m, v9 – 1200 m. kryptimi

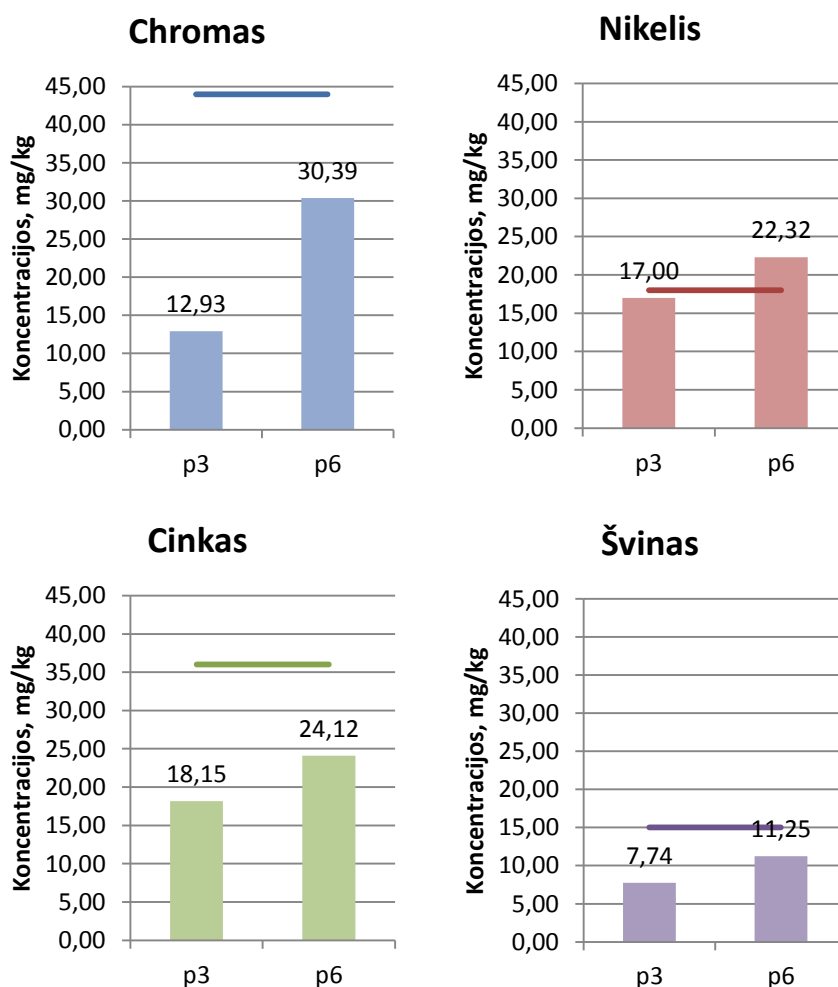
Didžiausia chromo koncentracija (35,70 mg/kg) vakarų kryptimi gauta 1200 m atstumu nuo kamino, kituose taškuose gautos reikšmės 20,23 mg/kg (300 m atstumas), 9,91 mg/kg (750 m atstumu). Pagal higienos normą HN 60:2004 didžiausia leidžiama

koncentracija (DLK) chromo dirvožemyje yra 100 mg/kg, gauti eksperimento rezultatai šio kiekio neviršija. Taip pat neviršija ir foninio chromo kiekio dirvožemyje (44 mg/kg).

Nikelio koncentracija visuose bandiniuose gauta didesnė nei foninis nikelio kiekis dirvožemyje (18 mg/kg): 38,49 mg/kg, 23,87 mg/kg, 19,57 mg/kg. Didžiausia leidžiama nikelio koncentracija dirvožemyje yra 75 mg/kg, eksperimento rezultatai jos neviršija.

Cinko didžiausia leidžiama koncentracija dirvožemyje yra 300 mg/kg, eksperimento rezultatai šios koncentracijos neviršija. Pirmame ėminyje (v2) gautas rezultatas 16,97 mg/kg, antrame (v5) – 39,62 mg/kg, trečiame (v9) – 38,61 mg/kg. Foninis cinko kiekis dirvožemyje pagal higienos normą yra 36 mg/kg, šį kiekį viršija v5 ir v6 ėminių bandinių rezultatai.

Švino gauti eksperimentiniai rezultatai didžiausios leidžiamos koncentracijos (100 mg/kg) neviršija. Daugiau nei foninis kiekis (15 mg/kg) gautas v5 ėminio bandinyje – 25,02 mg/kg. Kiti rezultatai gauti 9,37 mg/kg, 8,08 mg/kg.



3. 14 pav. Sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio bandiniuose, tolstant nuo taršos šaltinio pietų kryptimi

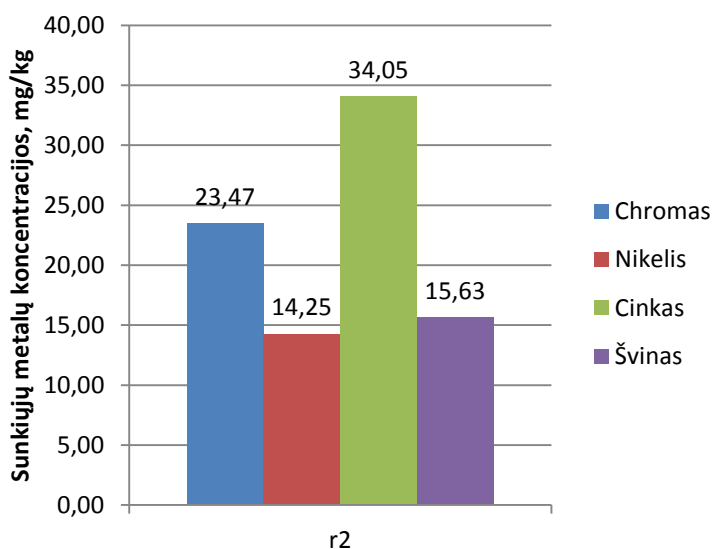
3.14 pav. pavaizduoti sunkiųjų metalų tyrimo dirvožemio bandiniuose, rinktuose tolstant pietų kryptimi nuo elektrinės kamino, rezultatai. Ėminių ėmimo vietos nutolusios nuo taršos šaltinio tokiais atstumais: p3 – 450 m, p6 – 900 m.

Pietų kryptimi imtuose ėminiuose chromo koncentracija gauta 12,93 mg/kg ir 30,39 mg/kg. Higienos normoje HN 60:2004 nustatytų didžiausios leidžiamos koncentracijos (DLK) ir foninio chromo dirvožemyje kiekio gauti rezultatai neviršija.

Nikelio koncentracija gauti tokie rezultatai: 17,0 mg/kg ir 22,32 mg/kg. Foninį nikelio kiekį (18 mg/kg) dirvožemyje viršija antrasis rezultatas. Didžiausios leidžiamos nikelio koncentracijos dirvožemyje rezultatai neviršija.

Cinko didžiausia leidžiama koncentracija dirvožemyje yra 300 mg/kg, eksperimento rezultatai šios koncentracijos neviršija. Taip pat gauti rezultatai neviršija foninio cinko kiekio (36 mg/kg) dirvožemyje. Pirmame ėminyje (p3) gautas rezultatas 18,15 mg/kg, antrame (p6) – 24,12 mg/kg.

Švino gauti eksperimentiniai rezultatai didžiausios leidžiamos koncentracijos (100 mg/kg) neviršija. Daugiau nei foninis kiekis (15 mg/kg) gautas v5 ėminio bandinyje – 25,02 mg/kg. Kiti rezultatai gauti 9,37 mg/kg, 8,08 mg/kg.



3. 15 pav. Sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemio bandiniuose, tolstant nuo taršos šaltinio rytų kryptimi

3.15 pav. pavaizduoti sunkiųjų metalų tyrimo dirvožemio bandiniuose, rinktuose tolstant rytų kryptimi nuo elektrinės kamino, rezultatai. Ėminių ėmimo vieta nutolusi nuo taršos šaltinio 300 m.

Šios vietos dirvožemio bandinyje gauta didžiausia cinko koncentracija (35,05 mg/kg), chromo koncentracija gauta 23,47 mg/kg, švino – 15,63 mg/kg, nikelio –

14,25 mg/kg. Gauti rezultatai neviršija higienos normoje nustatytų didžiausių leistinų koncentracijų bei foninių kiekių dirvožemyje.

Gauti rezultatai visomis kryptimis neviršija higienos normoje nurodytų didžiausių leistinų koncentracijų. Sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemyje nedaug arba visai neviršija foninių koncentracijų dirvožemyje. Dažniausiai foninį kiekį nuo 1,5 iki 2 kartų viršijo nikelio koncentracijos. Apie 1 – 1,5 karto foninį kiekį viršija dalis cinko koncentracijų, taip pat nedaug viršija ir švino koncentracijos. Gautos chromo koncentracijos neviršija nei didžiausių leistinų koncentracijų, nei foninių kiekių dirvožemyje.

Galima teigti, kad kai kuriose dirvožemio vietose galima užtarša teršalais, išmetamais iš elektrinės. Teršalai į aplinką už elektrinės teritorijos ribų gali patekti per kaminą arba pervežant ar kitaip eksploatuojant sunkiųjų metalų turinčias medžiagas, pavyzdžiui, mazuto degimo proceso atliekas išvežant iš elektrinės teritorijos.

3. 5. Rezultatų santykinis palyginimas

Norint įvertinti ir įsitikinti, ar iš taršos šaltinio išsisklandantys atmosferoje teršalai nusėda tiriamoje aplinkoje, skaičiuojami eksperimento metu gautų rezultatų santykiai.

Radionuklidų savitųjų aktyvumų santykiai

Nagrinėjant radionuklidų savitųjų aktyvumų gautus rezultatus skaičiuojami dirbtinės kilmės radionuklido (^{137}Cs) ir gamtinės kilmės radionuklidų (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) savitųjų aktyvumų santykiai mazute, mazuto pelenuose, elektrostatinio filtro pelenuose, gipse, bei dirvožemyje.

Pirmiausia skaičiuojami ^{137}Cs santykiai su ^{40}K , ^{226}Ra ir ^{232}Th mazute bei mazuto degimo proceso atliekose. Iš gautų rezultatų išvedamos vidutinės vertės: $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K} = 0,026$, $^{137}\text{Cs}/^{226}\text{Ra} = 0,176$, $^{137}\text{Cs}/^{232}\text{Th} = 0,243$.

Analogiški skaičiavimai atlikti ir su radionuklidų savitųjų aktyvumų rezultatais dirvožemyje. Gavus rezultatus, lyginami mazuto ir atliekų savitųjų aktyvumų santykiai su dirvožemio savitųjų aktyvumų santykiais.

3. 1 lentelė. Radionuklidų savitųjų aktyvumų santykių atliekose ir dirvožemyje vidutinės vertės

Santykiai	Vidutinės santykių vertės atliekose	Vidutinės santykių vertės dirvožemyje			
		Šiaurė	Vakarai	Pietūs	Rytai
$^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$	0,0256	0,0012	0,0011	0,001	0,0023
$^{137}\text{Cs}/^{226}\text{Ra}$	0,1763	0,07	0,0609	0,0579	0,0995
$^{137}\text{Cs}/^{232}\text{Th}$	0,2426	0,07	0,0553	0,047	0,0945

Pagal 3. 1 lentelės duomenis matyti, kad radionuklidų savitųjų aktyvumų santykiai atliekose ir dirvožemyje visomis kryptimis labai skiriasi. Vidutinės radionuklidų savitųjų aktyvumų santykių vertės dirvožemyje yra daug mažesnės negu atliekose.

^{137}Cs ir ^{40}K santykių vidutinė vertė atliekose yra daugiau negu 20 kartų didesnė už vidutinės santykių vertės dirvožemyje visomis kryptimis. Radionuklidų ^{137}Cs ir ^{226}Ra santykių vidutinės vertės atliekose yra apie 2,5 – 3 kartus didesnės negu vidutinės santykių vertės dirvožemyje šiaurės, vakarų ir pietų kryptimis. Rytų kryptimi šis santykis yra mažesnis apie 1,5 karto negu atliekose. Vidutinė ^{137}Cs ir ^{232}Th santykio vertė atliekose didesnė už vidutinės santykių vertės dirvožemyje apie 3 – 5 kartus.

Nagrinėjant radionuklidų savitųjų aktyvumų santykius dirvožemyje kiekviename taške atskirai taip pat matyti, kad santykiai dirvožemyje yra daug mažesni negu mazute ir jo degimo proceso atliekose. Pastarųjų santykių neviršija nė vienas savitųjų aktyvumų santykis, gautas iš dirvožemio tyrimų rezultatų. Visi gauti rezultatai pateikti 1 priede.

Visomis kryptimis dirvožemio pirmuosiuose taškuose (š1, v1, p1, r1) ^{137}Cs savitųjų aktyvumų santykiai su ^{226}Ra savitaisiais aktyvumais labiausiai artimi gautiems santykiams atliekose: š1 – 0,109, v1 – 0,109, p1 – 0,119, r1 – 0,131. Šiuose taškuose galima vietinė tarša radionuklidais elektrinės teritorijoje.

Eksperimentiškai gavus radionuklidų savituosius aktyvumus, grafikuose (3. 6 – 3. 9 pav.) buvo spėjama dūmų fakelo nusileidimo vieta pavėjine šiaurės kryptimi nutolus nuo kamino maždaug 1 km (š6, š7 taškai). Savitųjų aktyvumų santykiai šiuose taškuose gauti š6 – $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K} = 0,001$, $^{137}\text{Cs}/^{226}\text{Ra} = 0,081$, $^{137}\text{Cs}/^{232}\text{Th} = 0,088$; š7 – $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K} = 0,001$, $^{137}\text{Cs}/^{226}\text{Ra} = 0,085$, $^{137}\text{Cs}/^{232}\text{Th} = 0,084$. Nė vienas iš išvardintų santykių neviršija ir net nesiekia mazuto ir jo degimo proceso atliekų santykių.

Visi likusieji radionuklidų savitųjų aktyvumų santykiai dirvožemyje nesiekia ir neviršija santykių mazute ir jo degimo proceso atliekose, todėl galima sakyti, kad artimoje teritorijoje dirvožemio užtaršos dėl mazuto degimo proceso išmetamų per ventiliacinį kaminą radionuklidų nėra arba ji labai maža.

Sunkiųjų metalų koncentracijų santykiai

Nagrinėjant eksperimento metu gautus sunkiųjų metalų koncentracijų rezultatus skaičiuojamas nikelio (Ni) koncentracijų santykis su chromo (Cr), cinko (Zn) ir švino (Pb) koncentracijomis mazute, mazuto pelenuose, elektrostatinio filtro pelenuose, gipse), bei dirvožemyje.

Pirmiausia skaičiuojami Ni koncentracijų santykiai su Cr, Zn ir Pb mazute bei mazuto degimo proceso atliekose. Iš gautų rezultatų išvedamos vidutinės vertės: $Ni/Cr = 175,56$, $Ni/Zn = 28,81$, $Ni/Pb = 736,86$.

Analogiški skaičiavimai atlikti ir su sunkiųjų metalų koncentracijų rezultatais dirvožemyje. Gavus rezultatus, lyginami mazuto ir atliekų sunkiųjų metalų koncentracijų santykiai su dirvožemio sunkiųjų metalų koncentracijų santykiais.

3. 2 lentelė. Sunkiųjų metalų koncentracijų santykių atliekose ir dirvožemyje vidutinės vertės

Santykiai	Vidutinės santykių vertės atliekose	Vidutinės santykių vertės dirvožemyje			
		Šiaurė	Vakarai	Pietūs	Rytai
Ni/Cr	175,55	1,318	1,62	1,025	0,607
Ni/Zn	28,81	1,156	1,126	0,931	0,419
Ni/Pb	736,86	2,632	2,495	2,09	0,912

Pagal 3. 2 lentelės duomenis matyti, kad sunkiųjų metalų koncentracijų santykiai atliekose ir dirvožemyje visomis kryptimis labai skiriasi ir vidutinės sunkiųjų metalų koncentracijų santykių vertės dirvožemyje yra daug mažesnės palyginus su santykiais atliekose.

Sunkiųjų metalų Ni ir Cr santykių vidutinė vertė atliekose yra daugiau nei 100 kartų didesnė už vidutinės santykių vertes dirvožemyje visomis kryptimis. Ni ir Zn santykių vidutinės vertės atliekose yra apie 25 – 30 kartų didesnės negu vidutinės santykių vertės dirvožemyje šiaurės, vakarų, pietų ir rytų kryptimis. Vidutinė Ni ir Pb santykio vertė atliekose didesnė už vidutinės santykių vertes dirvožemyje apie 300 kartų.

Nagrinėjant sunkiųjų metalų koncentracijų santykius dirvožemyje kiekviename taške atskirai taip pat matyti, kad santykiai dirvožemyje yra daug mažesni negu mazute ir jo degimo proceso atliekose. Pastarųjų santykių neviršija nė vienas koncentracijų santykis, gautas iš dirvožemio tyrimų rezultatų. Visi gauti rezultatai pateikti 2 priede.

Visi gautieji rezultatai dirvožemyje nesiekia ir yra kelis kartus mažesni už sunkiųjų metalų koncentracijų santykius mazute ir jo degimo proceso atliekose, todėl remiantis gautais rezultatais galima sakyti, kad artimoje teritorijoje dirvožemio užtaršos sunkiaisiais metalais deginant mazutą nėra arba ji labai maža.

3. 6. Šiluminėje elektrinėje susidarantys atliekų kiekiai

AB „Lietuvos elektrinė“ per metus sudegina apie 40000 – 50000 t mazuto. Ilgiausiai deginama apie 40 dienų, kurių metu sudeginama apie 30000 t mazuto, t.y. maždaug 1000 t/d. Skaičiavimams per metus buvo imta 45000 t mazuto.

Katile degant mazutui susidaro nemaži atliekų kiekiai. Sudegus 1 t mazuto, katilė lieka mažiau nei 100 g pelenų. Dūmai valomi elektrostatiniam filtru, kuriame susidaro apie 25 kg suodžių sudegus 1 t mazuto. Toliau dūmai valomi nusierinimo įrenginiuose. Kai mazuto sieringumas 3 %, per 100 kg kalkių tirpalą perėjus 1 t mazuto dūmų, prisijungia siera ir susidaro apie 150 kg gipso. 3. 1 lentelėje pateikti radionuklidų aktyvumai tirtame mazute ir jo degimo proceso atliekose.

3. 3 lentelėje nurodyti radionuklidų savitieji aktyvumai, susikaupiantys 1 kg bei kaupe per metus elektrinėje susidarančiose atliekose.

3. 3 lentelė. Radionuklidų aktyvumai elektrinėje susidarančiose atliekose

Mėginio pavadinimas	Radionuklidų savitieji aktyvumai, Bq/kg				Radionuklidų aktyvumai, Bq/m.			
	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th
Mazuto pelenai	$1,23 \cdot 10^2$	2,40	$4,33 \cdot 10^1$	$1,35 \cdot 10^1$	$5,54 \cdot 10^5$	$1,08 \cdot 10^4$	$1,95 \cdot 10^5$	$6,08 \cdot 10^4$
El. filtro pelenai	$1,27 \cdot 10^2$	2,20	$3,94 \cdot 10^1$	$2,35 \cdot 10^1$	$1,43 \cdot 10^8$	$2,48 \cdot 10^6$	$4,43 \cdot 10^7$	$2,64 \cdot 10^7$
Gipsas	$1,12 \cdot 10^1$	$3,00 \cdot 10^{-1}$	$1,36 \cdot 10^1$	$5,56 \cdot 10^{-1}$	$2,52 \cdot 10^7$	$6,75 \cdot 10^5$	$3,05 \cdot 10^7$	$1,25 \cdot 10^6$

Visos susidarančios atliekos yra sandėliuojamos atskiruose sandėliuose ir kraunamos į kaupus. Vėliau parduodamos kitoms pramonės įmonėms (metalurgijos, statybinių medžiagų ir kt.) arba išvežamos į sąvartyną. Kad galima būtų tai daryti, turi būti stebimi radionuklidų savitieji aktyvumai tose atliekose.

Jeigu šiose medžiagose radionuklidų aktyvumai labai maži, jų nebūtina kontroliuoti. Nektontroliuojamieji lygiai – savitojo aktyvumo ir paviršinio aktyvumo vertės, kurių neviršijant atliekas galima šalinti ar kompostuoti. 3. 4 lentelėje pateikti radionuklidų nereguliuojamieji lygiai.

3. 4 lentelė. Radionuklidų savitojo aktyvumo ir radionuklidų aktyvumo nereguliuojamojo veikmens lygiai (HN 73:2001)

Radionuklidas	Savitasis aktyvumas, Bq/kg	Aktyvumas, Bq
^{137}Cs	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$
^{40}K	$1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$
^{226}Ra	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$
^{232}Th	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^7$

Palyginus 3. 3 ir 3. 4 lentelių duomenis, matyti, kad nė vieno iš radionuklidų savitieji aktyvumai, esantys 1 kg atliekų, neviršija nereguliuojamųjų lygių. ^{137}Cs apskaičiuoti savitieji aktyvumai – 2,4 Bq/kg, 2,2 Bq/kg, $3 \cdot 10^{-1}$ Bq/kg, o nereguliuojamojo veikmens lygis – $1 \cdot 10^4$ Bq/kg. ^{40}K savitieji aktyvumai – $1,23 \cdot 10^2$ Bq/kg, $1,27 \cdot 10^2$ Bq/kg, $1,12 \cdot 10^1$ Bq/kg, nereguliuojamojo veikmens lygis – $1 \cdot 10^5$ Bq/kg. ^{226}Ra savitieji aktyvumai – $4,33 \cdot 10^1$ Bq/kg, $3,94 \cdot 10^1$ Bq/kg, $1,36 \cdot 10^1$ Bq/kg, nereguliuojamojo veikmens lygis – $1 \cdot 10^4$ Bq/kg. ^{232}Th savitieji aktyvumai – $1,35 \cdot 10^1$ Bq/kg, $2,35 \cdot 10^1$ Bq/kg, $5,56 \cdot 10^{-1}$ Bq/kg, nereguliuojamojo veikmens lygis – $1 \cdot 10^6$ Bq/kg. Šios atliekos gali būti vadinamos nereguliuojamojo veikmens atliekomis.

Didžioji dalis visame kaupe susikaupusių radionuklidų savitųjų aktyvumų viršija higienos normoje nurodytus nereguliuojamuosius lygius. ^{137}Cs apskaičiuoti aktyvumai – $1,8 \cdot 10^4$ Bq, $2,48 \cdot 10^6$ Bq, $6,75 \cdot 10^5$ Bq, o nereguliuojamojo veikmens lygis – $1 \cdot 10^4$ Bq. ^{40}K aktyvumai – $5,54 \cdot 10^5$ Bq, $1,43 \cdot 10^8$ Bq, $2,52 \cdot 10^7$ Bq, nereguliuojamojo veikmens lygis – $1 \cdot 10^6$ Bq. ^{226}Ra aktyvumai – $1,95 \cdot 10^5$ Bq, $4,43 \cdot 10^7$ Bq, $3,05 \cdot 10^7$ Bq, nereguliuojamojo veikmens lygis – $1 \cdot 10^4$ Bq. ^{232}Th aktyvumai – $6,08 \cdot 10^4$ Bq, $2,64 \cdot 10^7$ Bq, $1,25 \cdot 10^6$ Bq, nereguliuojamojo veikmens lygis – $1 \cdot 10^7$ Bq.

Atliekų kaupimąsi reikia stebėti ir reguliuoti jų kiekį, siekiant laikytis darbuotojų saugos taisyklių ir norint išvengti jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos. Mazuto pelenų atliekų kaupe nereguliuojamojo veikmens lygį viršija tik ^{226}Ra aktyvumai. Pagal proporciją apskaičiavus didžiausią galimą atliekų kiekį, kuriame ^{226}Ra aktyvumai neviršytų normos, gauta 231 kg pelenų.

Elektrostatinio filtro pelenuose nereguliuojamus lygius viršija visų radionuklidų aktyvumai. Skaičiuojant galimus didžiausius atliekų kiekius sandėliavimui, gauta, kad pagal ^{137}Cs aktyvumus didžiausias galimas atliekų kiekis kaupe gali būti 4540 kg, pagal ^{40}K aktyvumus – 7870 kg, pagal ^{226}Ra aktyvumus – 254 kg, pagal ^{232}Th aktyvumus – $4,26 \cdot 10^5$ kg. Įvertinus visus gautus didžiausius atliekų kiekius pagal kiekvieno radionuklido aktyvumą

jame, mažiausias gautas pagal ^{226}Ra aktyvumus. Todėl rekomenduojama elektrostatinio filtro pelenų kaupą vienu metu laikyti ne didesnę nei 254 kg.

Gipso nereguliuojamus lygius viršija visų radionuklidų aktyvumai. Skaičiuojant galimus didžiausius atliekų kiekius sandėliavimui, gauta, kad pagal ^{137}Cs aktyvumus didžiausias galimas atliekų kiekis kaupė gali būti $3,33 \cdot 10^4$ kg, pagal ^{40}K aktyvumus – $8,93 \cdot 10^4$ kg, pagal ^{226}Ra aktyvumus – 738 kg, pagal ^{232}Th aktyvumus – $1,8 \cdot 10^7$ kg. Įvertinus visus gautus didžiausius atliekų kiekius pagal kiekvieno radionuklido aktyvumą jame, mažiausias gautas pagal ^{226}Ra aktyvumus. Todėl rekomenduojama gipso kaupą vienu metu laikyti ne didesnę nei 738 kg.

3. 5 Skyriaus išvados

1. Eksperimentų metu buvo išmatuoti dirbtinės (^{137}Cs) ir gamtinės (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) kilmės radionuklidai bei sunkieji metalai (Ni, Cr, Zn, Pb, Cu, Cd) mazute ir mazuto degimo proceso atliekose (sudegusio mazuto pelenuose, elektrostatinio filtro pelenai, gipsas).
2. Nustatyta, kad dirbtinės kilmės radionuklido ^{137}Cs savitųjų aktyvumų kaitai įtakos turi jo sklaida nuo šaltinio pagal vyraujančių vėjų kryptį. Apskaičiavus radionuklido savitųjų aktyvumų gautų rezultatų visomis kryptimis vidurkius, gauta, kad didžiausi rezultatai yra šiaurės (0,66 Bq/kg) ir rytų (1,06 Bq/kg) kryptimis (pavėjui), pietų (0,55 Bq/kg) ir vakarų (0,57 Bq/kg) kryptimis (prieš vėją) rezultatai mažesni.
3. Nustatyta, kad gamtinės kilmės radionuklido ^{40}K savitieji aktyvumai visomis kryptimis kinta tendencingai, tostant nuo taršos šaltinio, rezultatai didėja. Apskaičiavus rezultatų vidurkius visomis kryptimis, pietų kryptimi gautas didžiausias rezultatas (582 Bq/kg). Spėjama, kad šia kryptimi radionuklidų savitųjų aktyvumų padidėjimą lemia pagalbiniuose pastatuose, sandėliuose laikomos medžiagos, turinčios ^{40}K . Kitomis kryptimis ^{40}K savitųjų aktyvumų padidėjimą galėjo lemti kalio trąšų naudojimas žemės ūkio ar gėlynų veikloje.
4. Sunkiųjų metalų rezultatai visomis kryptimis neviršija higienos normoje nurodytų didžiausių leistinų koncentracijų. Foninių sunkiųjų metalų kiekių dirvožemyje rezultatai nedaug kartų arba visai neviršija. Dažniausiai foninį kiekį nuo 1,5 iki 2 kartų viršijo nikelio koncentracijos.

5. Įvertinti ir palyginti eksperimento metu gautų rezultatų santykiai rodo, kad tirtoje teritorijoje neišryškėja dirvožemio užtarša dėl per kaminą išmestų teršalų deginant mazutą. Dirvožemyje gauti radionuklidų savitųjų aktyvumų santykiai ir sunkiųjų metalų koncentracijų santykiai mazute ir mazuto degimo proceso atliekose daug kartų didesni negu dirvožemyje. Radionuklidų savitųjų aktyvumų santykiai atliekose 1,5 – 5 kartus didesni negu dirvožemyje, sunkiųjų metalų koncentracijų santykiai didesni netgi nuo 25 iki 300 kartų.
6. Radionuklidų aktyvumai 1 kg susidarančių atliekų neviršija higienos normoje nustatytų nereguliuojamųjų veikmens lygių, tačiau šiuos lygius viršija visame atliekų kaupe esantys radionuklidų aktyvumai. Todėl rekomenduojama reguliuoti susidarančių atliekų kiekius visame kaupe. Rekomenduojama mazuto pelenų kaupti ne daugiau negu 231 kg, elektrostatinio filtro pelenų ne daugiau nei 254 kg, gipso – 738 kg.

4. MODELIAVIMO REZULTATAI, ANALIZĖ IR VERTINIMAS

Šiame skyriuje bus atliktas radionuklidų savitųjų aktyvumų ir sunkiųjų metalų koncentracijų sklaidos nuo taršos šaltinio matematinis modeliavimas. Modeliavimui buvo pasirinktas matematinis teršalų sklaidos dujinėse ir skystose terpėse modelis, kuris remiasi stebėjimo (eksperimentiniais) duomenimis.

4. 1. Teršalų sklaidos modelio sudarymas

Teršalų sklaidos dujinėse ir skystose terpėse matematinis modelis aprašomas matematiniu modeliu:

$$S(x,y,a,b,H,Q,Dy,Dz) = \frac{Q \cdot e^{-\frac{1}{|x|} \left(\frac{y^2}{Dy^2} + \frac{H^2}{Dz^2} \right)}}{|x|}, \quad (4.1)$$

čia: S – teršalų koncentracija (g/m^3) taške su koordinatėmis (x, y) ; x, y – taško koordinatės; a, b – taršos šaltinio koordinatės; H – taršos šaltinio aukštis; Q – taršos šaltinio intensyvumas (ant paviršiaus ploto vieneto nusėdusios taršos kiekis g per laiko vienetą); Dy, Dz – sklaidos (pernešimo) koeficientai.

Atlikti eksperimentiniai matavimai surašomi užduoties eksperimento lentelėje. Kiekvienas matavimas užrašomas taip: taršos reikšmė S_i su koordinatėmis x_i ir y_i . Remiantis eksperimento duomenimis reikia rasti nežinomus parametrus Q, Dy ir Dz .

Yra žinoma, kad taršos šaltinis (kaminas) yra taške su tam tikromis koordinatėmis (a, b) , o taršos aukštis – H (150 m). Kamino koordinatės pasirenkamos koordinatinių sistemos pradžioje $(0, 0)$.

Toliau užrašomas matematinis modelis, kuris aprašo taršos šaltinį. Matematinio modelio algoritmas *MathCad* aplinkoje atrodo taip:

$$S(x,y,a,b,H,Q,Dy,Dz) := \begin{cases} \frac{Q \cdot e^{-\frac{(y-b)^2}{Dy^2 \cdot |x-a|} - \frac{H^2}{Dz^2 \cdot |x-a|}}}{|x-a|} & \text{if } x > a \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.2)$$

Pasirenkamas mažiausių kvadratų metodas, kuris taikomas, kai reikia parinkti modelį su mažiausia paklaida (paklaidos funkcija), kuri lygi:

$$FF(Q,Dy,Dz) := \sum_{i=1}^{15} (S(A_{i,1}, A_{i,2}, a, b, H, Q, Dy, Dz) - A_{i,3})^2 \quad (4.3)$$

Pradinis priartėjimas

Pradinis artinys D randamas atsitiktinės paieškos būdu. Tam reikia sugeneruoti didelį skaičių duomenų, paskaičiuoti funkcijos reikšmę ir išrinkti tą jos reikšmę, kuri yra mažiausia. Generuojamas didelis bandymų skaičius (*for* $i \in 0 \dots 1000$). Atsitiktinės reikšmės generuojamos 1000 kartų. *MathCad* aplinkoje pradinio artinio algoritmas užrašomas taip:

$$\begin{array}{l} D := \left| \begin{array}{l} V_1 \leftarrow 1000000 \\ \text{for } i \in 0 \dots 1000 \\ \quad \left| \begin{array}{l} Q \leftarrow 30 \cdot \text{md}(1) \\ Dy \leftarrow 2 \cdot \text{md}(1) \\ Dz \leftarrow 2 \cdot \text{md}(1) \\ a \leftarrow FF(Q, Dy, Dz) \\ \text{if } a < V_1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} V_1 \leftarrow a \\ V_2 \leftarrow Q \\ V_3 \leftarrow Dy \\ V_4 \leftarrow Dz \end{array} \end{array} \right. \\ \quad V \end{array} \right. \end{array} \quad (4.4)$$

Turint pradinį artinį D taikomas minimizavimas. Mažiausių kvadratų metodo modelio koeficientai nustatomi minimizuojant kvadratinę paklaidą. Atlikus minimizavimą gaunama mažiausia funkcijos paklaidos reikšmė.

Naudojantis šiuo modeliu, modeliuojama parinktų 2 skirtingų teršalų sklaida nuo taršos šaltinio. Kadangi eksperimento metu vieno teršalų kiekiai nustatyti didesni negu kitų ar matosi didesnė jų įtaką aplinkos taršai, pasirenkamas dirbtinės kilmės radionuklidas ^{137}Cs ir sunkusis metalas – nikelis. Teršalų sklaidos modeliavimas pateiktas 3 priede.

4. 2. Rezultatų grafinis vaizdavimas ir analizė

Teršalų sklaida pavaizduojama trimačiu grafiku. Tam tikslui sudaroma funkcija G, kuri priklauso nuo dviejų kintamųjų x ir y. Taigi užterštumas bet kuriame taške aprašomas tokia funkcija:

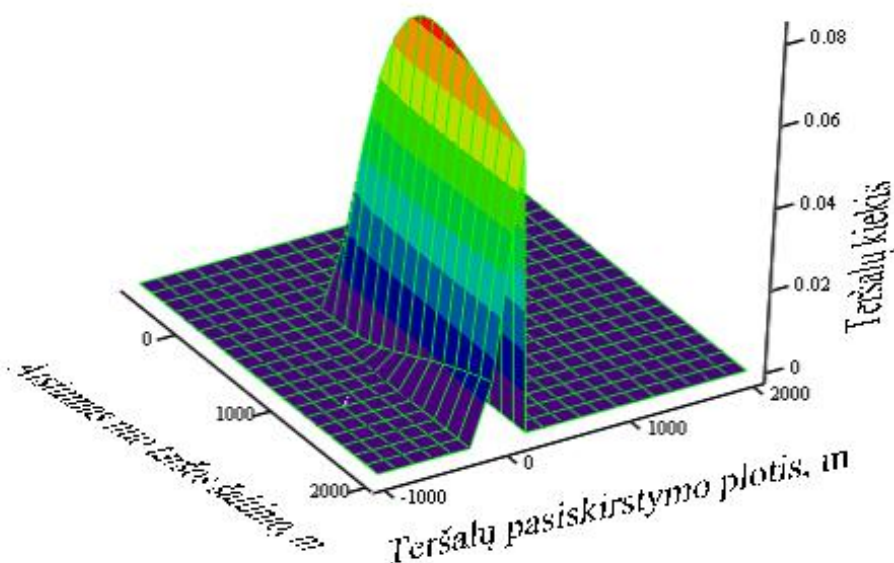
$$G(x, y) := S(x, y, a, b, H, Q, Dy, Dz) \quad (4.5)$$

Prognozuojama teršalų koncentracija pavaizduojama pjūvyje – tiesėje, einančioje per taršos šaltinį. Funkcija, kuri aprašo prognozuojamą teršalų koncentraciją pjūvyje:

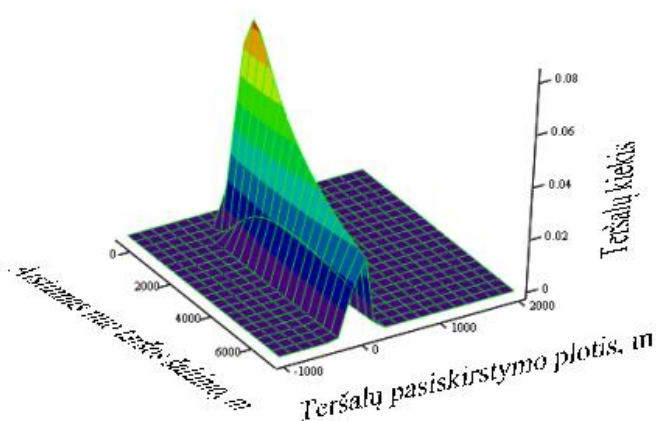
$$G1(x) := S(x, y, a, b, H, Q, Dy, Dz) \quad (4.6)$$

¹³⁷Cs sklaida

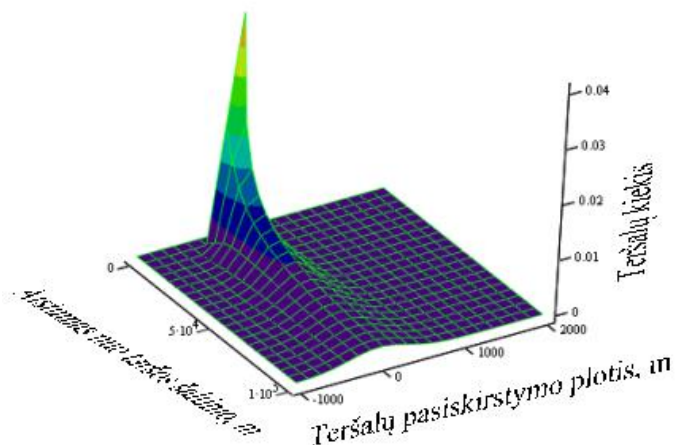
Dirbtinės kilmės radionuklido ¹³⁷Cs sklaida nuo taršos šaltinio pavaizduota trimatčiais grafikais (4. 1. a, b, c pav.):



a)



b)

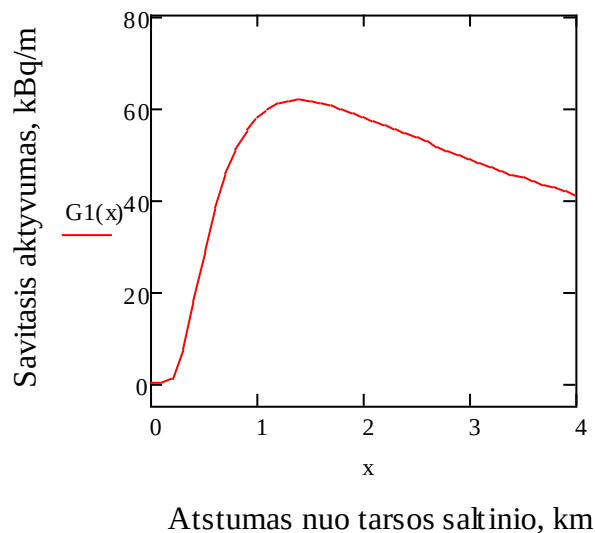


c)

4. 1 pav. ¹³⁷Cs sklaida nuo taršos šaltinio: a) 2 km atstumas, b) 7 km atstumas, c) 100 km atstumu

Iš 4. 1 pav. a grafiko matyti, kad didžiausios teršalų koncentracijos ir dūmų fakelo nusileidimo vieta yra maždaug nuo 900 m iki 1500 m nutolus nuo taršos šaltinio. Šioje vietoje turėtų būti didžiausia užtarša dirbtinės kilmės radionuklidu ¹³⁷Cs. C grafike matyti, kad teršalų debesis yra nunešamas vėjo daugiau nei 100 km.

Norint sužinoti tikslius rezultatus tam tikrame taške, pavaizduojamas teršalų sklaidos pjūvis (4. 2 pav.).



4. 2 pav. ^{137}Cs sklaidos nuo taršos šaltinio pjūvis

Iš 4. 2 pav randama didžiausia reikšmė ir atstumas. Atstumu nuo taršos šaltinio 1,4 km, kuriame gauta didžiausia ^{137}Cs reikšmė – $0,062 \text{ Bq/m}^3$. Kitos reikšmės pateiktos 4. 1 lentelėje.

4. 1 lentelė. ^{137}Cs pažemio koncentracijos tolstant nuo taršos šaltinio.

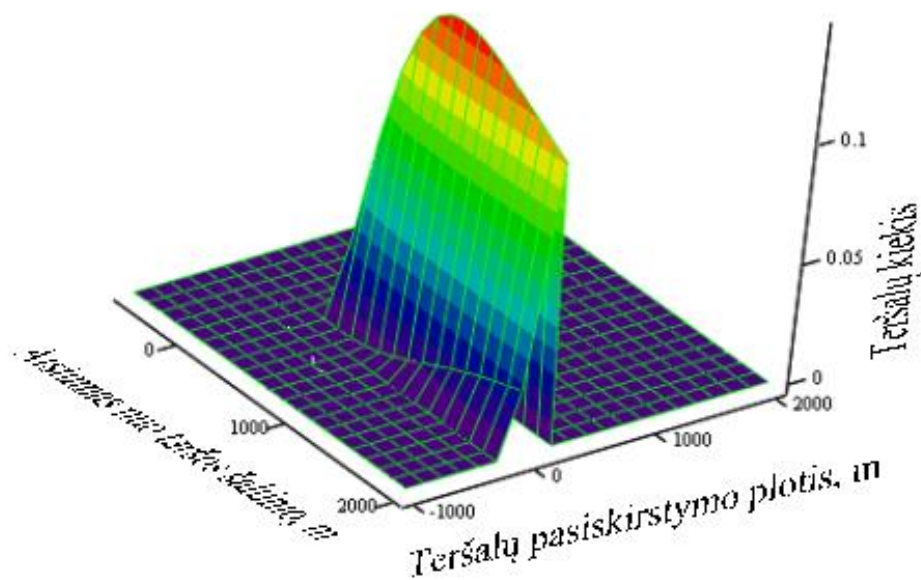
Atstumas nuo taršos šaltinio, km	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
Radionuklido koncentracija, Bq/m^3	0,0075	0,018	0,0288	0,0382	0,0456	0,0512	0,0552	0,0579	0,0599	0,0609	0,615	0,0616	0,0614	0,061	0,0604	0,0597

Pagal 4. 1 lentelės duomenis matosi tikslios teršalų koncentracijos kiekviename taške atskirai. Pirmasis dūmų nusileidimas yra 1,4 km atstumu nuo kamino. Tačiau labai artimos ir didžiausiai koncentracijai yra ir 1,2 km ($0,0609 \text{ Bq/m}^3$), 1,3 km ($0,6150 \text{ Bq/m}^3$), 1,5 km ($0,0614 \text{ Bq/m}^3$), 1,6 km ($0,0610 \text{ Bq/m}^3$) atstumu. Toliau rezultatai tolygiai mažėja.

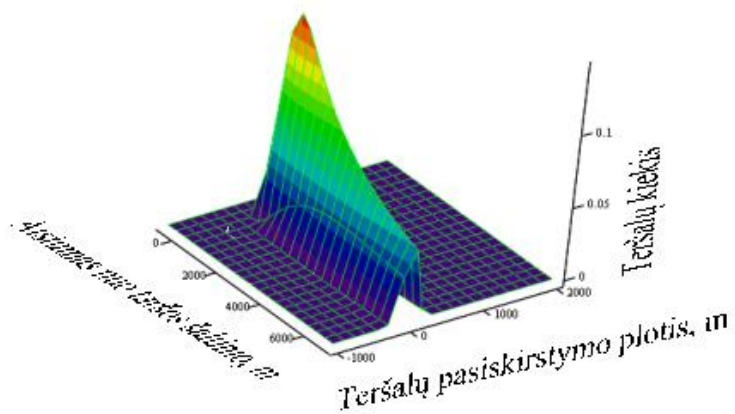
Eksperimento metu buvo gauti radionuklidų savitieji aktyvumai dirvožemyje keturiomis skirtingomis kryptimis tolstant nuo taršos šaltinio. Grafikuose (3. 6 – 3. 9 pav.) buvo spėjama dūmų fakelo nusileidimo vieta pavėjine šiaurės kryptimi ir nustatyta, kad tai gali būti taške, nutolusiame nuo kamino maždaug 1 km (š6, š7). Sumodeliavus didžiausios reikšmės gautos 1,4 km atstumu.

Ni sklaida

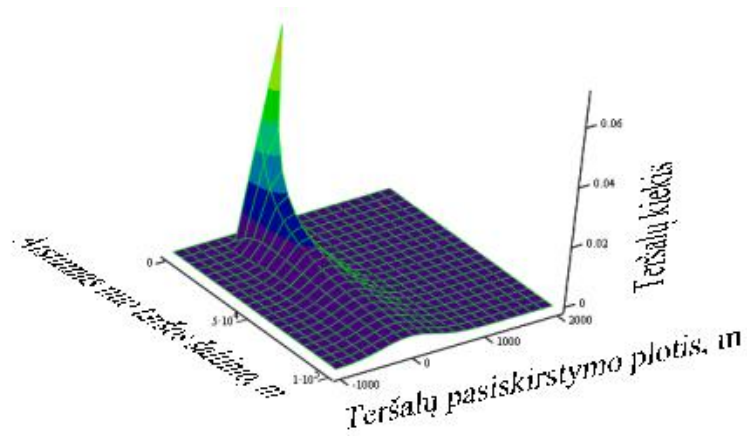
Nikelio sklaida nuo taršos šaltinio pavaizduota trimačiais grafikais (4. 5. a, b, c pav.):



a)



b)

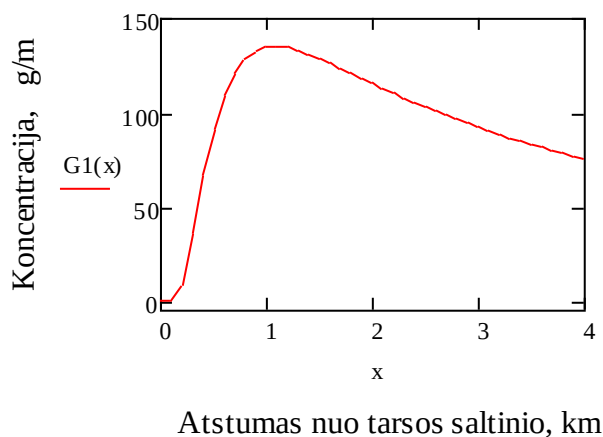


c)

4. 3 pav. Nikelio sklaida nuo taršos šaltinio: a) 2 km atstumas, b) 7 km atstumas, c) 100 km atstumu

Iš 4. 3 pav. a grafiko matyti, kad didžiausios teršalų koncentracijos ir dūmų fakelo nusileidimo vieta yra maždaug nuo 700 m iki 1200 m. Šioje vietoje turėtų būti didžiausia užtarša nikelio koncentracija. C grafike matyti, kad teršalų debesis yra nunešamas vėjo daugiau nei 100 km.

Norint sužinoti tikslūs rezultatus tam tikrame taške, pavaizduojamas teršalų sklaidos pjūvis (4. 4 pav.).



4. 4 pav. Ni sklaidos nuo taršos šaltinio pjūvis

Iš 4. 4 pav randama didžiausia reikšmė ir atstumas. Atstumu nuo taršos šaltinio 1,1 km, kuriame gauta didžiausia Ni reikšmė – 0,133 mg/m³. Kitos reikšmės pateiktos 4. 2 lentelėje.

4. 2 lentelė. Ni koncentracijos tolstant nuo taršos šaltinio.

Atstumas nuo taršos šaltinio, km	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
Sunkiojo metalo koncentracija, mg/m ³	0,035	0,065	0,09	0,107	0,12	0,127	0,131	0,133	0,134	0,133	0,132	0,13	0,128	0,125	0,123	0,12

Pagal 4. 2 lentelės duomenis matosi tikslios teršalų koncentracijos kiekviename taške atskirai. Pirmasis dūmų nusileidimas yra 1,1 km atstumu nuo kamino. Tačiau labai artimos didžiausiai koncentracijai yra ir 0,9 km (0,133 mg/m³), 1 km (0,133 mg/m³), 1,2 km (0,133 mg/m³), 1,3 km (0,132 mg/m³) atstumu. Toliau rezultatai tolygiai mažėja.

Eksperimento metu buvo gautos sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemyje keturiomis skirtingomis kryptimis tolstant nuo taršos šaltinio. 3. 12 pav. pavaizduotos nikelio koncentracijos pavėjine šiaurės kryptimi. Rezultatai pasiskirstę chaotiškai, nėra galimybės nustatyti dūmų fakelo nusileidimo vietos, tačiau didesnės nikelio koncentracijos reikšmės gautos arčiau taršos šaltinių esančiuose taškuose (300 m atstumu).

Sumodeliavus teršalų (^{137}Cs ir Ni) sklaidą pagal eksperimento metu gautus taršos rezultatus dirvožemyje, gautos dūmų fakelo nusileidimo vietos, didžiausios koncentracijos tose vietose, taip pat koncentracijos nustatytos kituose artimiausiuose taškuose.

4. 3. Skyriaus išvados

1. Teršalų sklaida iš taršos šaltinio modeliuojama matematiniu teršalų sklaidos dujinėse ir skystose terpėse modeliu, kuris remiasi stebėjimo (eksperimentiniais) duomenimis. Skaiciavimai ir modeliavimas atliekami *MathCad* aplinkoje.
2. Sumodeliavus dirbtinės kilmės radionuklido ^{137}Cs sklaidą nuo taršos šaltinio gauta maksimali koncentracija $0,0616 \text{ Bq/m}^3$ 1,4 km atstumu nuo elektrinės kamino. Iš eksperimento metu gautų rezultatų grafikų buvo nustatyta galima didžiausia tarša nutolus nuo kamino 1 km atstumu.
3. Sumodeliavus sunkiojo metalo nikelio sklaidą nuo taršos šaltinio gauta maksimali koncentracija $0,134 \text{ mg/m}^3$ 1,1 km atstumu nuo elektrinės kamino. Eksperimento metu didžiausios nikelio koncentracijos buvo gautos 300 m ir 600 m atstumu nuo kamino.
4. Teršalų sklaidos modeliavimo rezultatai labai daug priklauso nuo kamino aukščio, stebėjimo (eksperimentinių) duomenų, vėjo greičio.

BENDROSIOS IŠVADOS

1. Mazuto degimo proceso atliekos kaupiasi mazuto pelenuose, elektrostatinio filtro pelenuose ir gipse. Jose tiriami radioaktyvieji (dirbtinės kilmės ^{137}Cs ir gamtinės kilmės ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th radionuklidai) ir neradioaktyvieji (sunkieji metalai Ni, Cu, Pb, Cd, Zn, Cr) teršalai. Dalis minėtų teršalų per taršos šaltinį – kaminą, patenka ir išsisklaido aplinkoje.
2. Eksperimento metu nustatyta, kad dirbtinės kilmės radionuklido ^{137}Cs savitųjų aktyvumų kaitai įtakos turi jo sklaida nuo šaltinio pagal vyraujančių vėjų kryptį. Didžiausios santykinų aktyvumų vertės yra šiaurės (0,66 Bq/kg) ir rytų (1,06 Bq/kg) kryptimis (pavėjui). Gamtinės kilmės radionuklido ^{40}K savitieji aktyvumai visomis kryptimis tolystant nuo taršos šaltinio didėja. Apskaičiavus rezultatų vidurkius visomis kryptimis, pietų kryptimi (prieš vėją) gautas didžiausias rezultatas (582 Bq/kg), tai galėjo įtakoti vietinė teritorijos užtarša.
3. Eksperimento metu gauti sunkiųjų metalų rezultatai visomis kryptimis neviršija higienos normoje nurodytų didžiausių leistinų koncentracijų. Foninių sunkiųjų metalų kiekių dirvožemyje gauti rezultatai nedaug kartų (daugiausiai iki 2 kartų) arba visai neviršija. Dažniausiai foninį kiekį nuo 1,5 iki 2 kartų viršijo nikelio koncentracijos.
4. Tirtos teritorijos užtaršai mazuto degimo produktai nedaro pastebimos įtakos. Radionuklidų savitųjų aktyvumų santykiai atliekose 1,5 – 5 kartus didesni negu dirvožemyje, sunkiųjų metalų koncentracijų santykiai didesni netgi nuo 25 iki 300 kartų.
5. Nustatyta, kad radionuklidų savitieji aktyvumai elektrinėje susidarančiose atliekose higienos normoje nustatytų nereguliuojamųjų veikmens lygių neviršija, tačiau šiuos lygius viršija visame atliekų kaube esantys radionuklidų aktyvumai. Laikant per didelius atliekų kiekius gali kilti pavojus darbuotojų saugai dėl jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos.
6. Modeliuojant dūmų fakelo nusileidimo vietą ir koncentraciją joje, dirbtinės kilmės radionuklido ^{137}Cs sklaidos nuo taršos šaltinio maksimali koncentracija gauta $0,062 \text{ Bq/m}^3$ 1,4 km atstumu nuo elektrinės kamino. Sunkiojo metalo nikelio sklaidos nuo taršos šaltinio gauta maksimali koncentracija $0,134 \text{ mg/m}^3$ 1,1 km atstumu nuo elektrinės kamino.

REKOMENDACIJOS

Nustatyta, kad radionuklidų aktyvumai elektrinėje susidarančių atliekų kaupyje viršija higienos normoje nustatytus nereguliuojamojo veikmens lygius, todėl rekomenduojama mazuto pelenų kaupti ne daugiau negu 231 kg, elektrostatinio filtro pelenų ne daugiau nei 254 kg, gipso – 738 kg.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

Abbott, M.L.; Road, A.S. 1994. COMIDA: A radionuclide food chain model for acute fallout deposition. *Health Physics* 66(1): 17–29.

Anotacija apie geriausius prieinamus gamybos būdus (GPGB) dideliems kurą deginantiesiems įrenginiams. 2006. 89 p.

Arapis, G.; Chesnokov, A.; Ivanova, T.; Potapov, V.; Sokolik, G. 1999. Evaluation of dose equivalent rate reduction as a function of vertical migration of ¹³⁷Cs in contaminated soils. *Journal of Environmental Radioactivity* 46: 251–263.

Atliekų tvarkymo taisyklės. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2003 m. gruodžio 30 d. įsakymas Nr. 722. *Valstybės žinios* 68 -2381

Baltrėnas P., Butkus D., Oškinis V., Vasarevičius S., Zigmontienė A. 2008. Aplinkos apsauga. Vilnius. Technika, 545 p.

Bartkutė V., Dapkūnaitė V., Sakalauskas L. 2006. Informacinės technologijos inžinerijoje. Paskaitų konspektas. Vilnius, VGTU. 143 p.

Beinaravičius, R. 2005. Dirvožemio ilgalaikės užtaršos radionuklidais kaitos tyrimas ir prognozė pagal jų kaupimąsi medžių segmentuose, daktaro disertacija, Vilnius, 132 p.

Blažytė, A.; Dėdelienė, K.; Juknys, R.; Martinavičienė, J. 2005. Kadmio ir vario poveikis ir augalų adaptacija prie šių metalų. *Lietuvos sodininkystės ir daržininkystės instituto ir Lietuvos žemės ūkio universiteto mokslo darbai. Sodininkystė ir daržininkystė* 25 (2): 113-121.

Bodner, G. M. and Rhea, T. A. 1984. Natural Sources of Ionizing Radiation. *Journal of Chemical Education* 61: 687 – 689.

Brazauskienė D. 2004. *Agroekologija ir chemija*. Kaunas.

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

Cambray, R. And others. 1989. Radioactive fallout in air: results to the end of 1989. London: UKAEA Report AERE-R 13575.

Chadyšienė R.; Pečiulienė M.; Girgždys A. 2004. Jonizuojančiosios spinduliuotės pokyčiai urbanizuotoje teritorijoje. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 12(2): 37-41

Clavensjo, B.; Akerblom, G.; Morkūnas G. 1999 Radonas patalpose, jo kiekio mažinimo būdai. Vilnius: Litimo. 128 p.

Europos Parlamento darbas: 1999-2004 metų akcentai [interaktyvus] 2004. Žiūrėta 2012 m. sausio 4 d. Prieiga per internetą: <<http://www.europarl.europa.eu/highlights/lt/703.html>>

Gardea – Torresdey, J. L.; Peralda – Vide, J. R.; de la Rosa, G.; Parsons, J. G. 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X – ray absorption spectroscopy. *Coordination Chemistry reviews* 249: 1797-1810.

Heavy metals [interaktyvus]. 2013. Žiūrėta 2013 m. vasario 17 d. Prieiga per internetą: <<http://www.lenntech.com/processes/heavy/heavy-metals/heavy-metals.htm>>.

HN 73:2001. Pagrindinės radiacinės saugos normos, Žin., 2002, Nr. 11-388

HN 89:2001. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymas, Žin., 2001, Nr. 18-565

Howard, B.J. 2000. Radioactivity in Terrestrial and Freshwater Foodstuffs. In *Book of Abstracts, Stakeholders' Conference on Approaches to the Environmental Radioactivity*, Luxembourg, 2–3 December. p. 35–38.

Idzelis, R.; Budreika, A.; Vaiškūnaitė, R. 2004. Dirvožemio užtaršos sunkiaisiais metalais Kairių karinio poligono tyrimai ir vertinimas. *Journal of environmental Engineering and Landscape Management* 9 (2): 42 – 48.

Janėnas, D.; Skridaila, N. 2004 Smulkiųjų gamintojų radioaktyviųjų atliekų tvarkymo perspektyvos Lietuvoje. *Mokslas ir technika* (10): 26 – 31.

Jankaitė, A.; Vasarevičius, S. 2003. Autotransporto įtakos dirvožemio užterštumui prie Via – Baltica ir Vilnius – Panevėžys [Motor transport influence for the soil pollution over VIA–Baltica and Vilnius–Panevėžys highways]. Iš Aplinkos apsaugos inžinerija. 6 – osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos “Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities” [6th Conference of Junior Researchers Science – Future of Lithuania], įvykusios Vilniuje 2003 m. kovo 20 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 352-358.

Jankauskas B. 1996. *Dirvožemio erozija*. Vilnius.

Kanapickas A. 2008. *Radioekologija*. Kaunas. 220 p.

Kanapickas, A.; Raupelienė, V. 2004. Kritinis α ir β spindulių aktyvumas aplinkoje. Vilnius: *Sveikatos mokslai* (3), 79 – 83.

Kėdainių profesinio rengimo centras [interaktyvus]. 2010. Žiūrėta 2012 m. sausio 10 d. Prieiga per internetą: <<http://83.171.7.2/lancia/>>

Khan, A. G. 2005. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soil in phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 18: 355-364.

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

Kirchner, G. 1998. Applicability of Compartmental Models for Simulating the Transport of Radionuclides in Soil. *Journal of Environmental Radioactivity* 38 (3): 339–352.

- Konstantinova, M.; Butkus, D. 2003. Natūralios kilmės gama spindulių, esančių dirvoje, sukeltos išorinės lygiavertės galios įvertinimas. *Sveikatos mokslai* 3: 50 – 54.
- Kugelevičius J. A.; Kuprys A.; Kugelevičius J. 2005. Aplinkosauginių ir energetinių energijos gamybos rodiklių įvertinimai. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 13 (5): 192a-199a
- Ladygienė R. 2006. Maisto radioaktyviosios taršos įtakos žmogaus vidinei apšvitai tyrimai, vertinimas ir prognozavimas. Daktaro disertacija. Vilnius. 150 p.
- LAND 36-2000. Aplinkos elementų užterštumo radionuklidais matavimas – mėginių gama spektrinė analizė spektrometru, turinčiu puslaidininkinį detektorių. *Valstybės žinios* 101-3208.
- Lietuvos energetikos institutas. 2008. *Naujas 400 MW kombinuoto ciklo blokas AB Lietuvos elektrinė teritorijoje*. Kaunas 179 p.
- Lietuvos Respublikos radiacinės saugos įstatymas, Žin., 1999, Nr. 11-239
- Lietuvos Respublikos Ūkio ministerija. 2007. Pavojingų atliekų perdirbimo technologinių procesų sisteminimas, analizė ir technologinio žinyno parengimas. Vilnius, Kaunas. 95 p.
- Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2002 m. vasario mėn. 6 d. nutarimas Nr. 174 „Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo strategija“, *Valstybės žinios* 15 – 567.
- Lubytė J.; Antanaitis A.; Staugaitis G. 2007. Natūralių radionuklidų savitasis aktyvumas augalinėje produkcijoje, dirvožemyje ir trąšose. *Žemdirbystė* 94 (2): 36-48
- Lubytė, J.; Antanaitis, A. 2004 Migration of Radionuclides in Arable Land of Lithuania [Radionuklidų migracija ariamuose Lietuvos dirvožemiuose]. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 13 (1): 22 – 29.
- Mažvila J. 2001. Sunkieji metalai Lietuvos dirvožemiuose ir augaluose. Kaunas.
- Mickevičius S. 2004. Radiacijos baimė: gandai ir tikrovė. Kaunas. 87 p.
- Mikalauskienė R.; Butkus D.; Pliopaitė Bataitienė I. 2011. ^{137}Cs ir ^{40}K savitųjų aktyvumų santykių tyrimas ir vertinimas priešmėlio ir priemolio dirvožemyje. *Mokslas – Lietuvos ateitis*. Vilnius 37-42
- Modeling the migration and accumulation of radionuclides in forest ecosystems IAEA, VIENNA, 2002 ISBN 92-0-114902-6, 136 p.
- Narayana, Y.; Radhakrishna, A. P.; Somashekarappa, H. M.; Karunakara, N.; Balakrishna, K. M. and Siddappa, K. 1995. Distribution of some Natural and Artificial Radionuclides in the Environment of Coastal Karnataka of South India [Gamtinės ir dirbtinės kilmės radionuklidų pasiskirstymas Karnataka pakrantėse Pietų Indijoje]. *Journal of Environmental Radioactivity*, 28(2):113–139.

Nedveckaitė, T. 1998. Radiacinė apsauga: Lietuvoje: ką reikėtų žinoti įvykus avarijai atominėje elektrinėje, Vilnius. 77 p.

Nedveckaitė, T. 2004. Radiacinė sauga Lietuvoje. Vilnius: Kriventa. p. 165–166.

Nedveckaitė, T.; Filistovičius, V. 2000. LIETDOS modelis – ¹³¹I patikra, panaudojant Černobylio atominės elektrinės ir Hanfordo kuro perdirbimo gamykloje (JAV) įvykusių avarių duomenis. Sveikatos aplinka, Priedas Nr.3. p.33–36.

Ozolinis R. 2005. Aplinkos išteklių. Oras, dirvožemis, vanduo. Kaunas.

Patankar, S. V. 1980. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere (McGraw-Hill), New York 176 p.

Pavojingų cheminių medžiagų didžiausios leidžiamos koncentracijos dirvožemyje. Lietuvos higienos norma HN 60:2004.

Pečiulienė M. 2006. Gamtinės jonizuojančiosios spinduliuotės antropogeninių pokyčių tyrimas ir įvertinimas. Daktaro disertacija. Vilnius. 148 p.

Pečiulienė M.; Morkūnienė R.; Girgždys A. 2011. Žmogaus apšvitos dėl gamtinės jonizuojančiosios spinduliuotės antropogeninių pokyčių Kuršių nerijoje įvertinimas. *Sveikatos mokslai* 21 (5): 48-50

Pereira, S. I. A.; Lima, A. I. G.; de Almeida Paula Figueira, E. M. 2006. Heavy metal toxicity in *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* isolated from soil subjected to different sources of heavymetal contamination: Effects on protein expresion. *Journal of Environmental Engineering and Lanscape Management* 33: 286-293.

Petraitis E. 2010. Skaitinis modeliavimas aplinkos apsaugoje. Vilnius. Technika, 164 p.

Pilkytė L. 2006. Radionuklidų savitojo aktyvumo statybinėse medžiagose Lietuvoje eksperimentinis tyrimas, jų sukeltos apšvitos modeliavimas ir vertinimas. Daktaro disertacija Vilnius. 158 p.

Prokopčiuk N. 2011. Tikimybių metodų taikymas apšvitos jonizuojančiąja spinduliuote dozių vertinimui. Daktaro disertacija. Vilnius, 100 p.

Radiacinės saugos centras [interaktyvus] 2012. Žiūrėta 2012 m. sausio 5 d. Prieiga per internetą: <www.rsc.lt>

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

Remeikis V. 2007. Radioekologija. Vilnius. 143 p.

Repečkienė J.; Januška V.; Paškevičius A.; Lugauskas A. 2002. Mikroorganizmų kiekis ir rūšių įvairovė mazutu užterštame grunte. *Botanica Lithuanica*. 91-101

Saugos duomenų lapas. 2011. Kūrenamasis mazutas. 11 p.

Sierra Club National Campaign Office. 2007. Power Plant Poisons under the Radar. Washington, DC.

Stripinytė E. 2010 Gama radiacinio fono tyrimas Šiauliuose. Bakalauro darbas. Šiauliai. 58 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.

Švinas ir sveikata. Pasaulinė sveikatos organizacija. 1995. Vilnius.

Taraškevičius R., Zinkutė R. 2003. Urbanizuotų teritorijų grunto dangos kokybės higieninis geocheminis įvertinimas. *Geografijos metraštis*. 36 (1): 161–170.

Vaitiekūnas P. 2012. Aplinkos procesų modeliavimas. Paskaitų konspektas. Vilnius, VGTU.

Vaitiekūnas P., Špakauskas V. 2003. Šilumos ir masės pernašos procesų aplinkoje modeliavimo principai. Vilnius, VGTU. 195 p.

Vaitiekūnas, P. 2008. Koncentracijos, šilumos ir masės (triukšmo) pernašos procesų modeliavimo programos. Vilnius. VGTU. 30 p.

Wikipedia – laisvoji enciklopedija. Mazutas [interaktyvus] 2011. Žiūrėta 2012 m. sausio 7 d. Prieiga per internetą: <<http://lt.wikipedia.org/wiki/Mazutas>>

Whicker, F. W.; Kirchner, T. B. 1987. PATHWAY: A dynamic food-chain model to predict radionuclide ingestion after fallout deposition. *Health Physics* 52 (6): 717–737.

Whicker, F. W.; Kirchner, Th. B.; Breshears, D. D.; Otis, M. D. 1990. Estimation of radionuclide ingestion: the “PATHWAY” food- chain model. *Health Physics* 59 (5): 645–657.

Zvilnaitė J., Tričys V. 2009. Dirvožemio užterštumo sunkiaisiais metalais tyrimas. Šiauliai

PRIEDAI

1 PRIEDAS

1 lentelė. Radionuklidų savitųjų aktyvumų santykiai mazute ir jo degimo proceso atliekose

Santykiai	Mazutas	Mazuto pelenai	Elektrostatinio filtro pelenai	Gipsas	Vidutinės santykių vertės
$^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$	0,0388	0,0195	0,0173	0,0268	0,0256
$^{137}\text{Cs}/^{226}\text{Ra}$	0,5714	0,0554	0,056	0,0222	0,17625
$^{137}\text{Cs}/^{232}\text{Th}$	0,1633	0,1778	0,0936	0,5357	0,2426

2 lentelė. Radionuklidų savitųjų aktyvumų santykiai dirvožemyje šiaurės kryptimi

Santykiai	š1	š2	š3	š4	š5	š6	š7	š8	š9
$^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$	0,0023	0,001	0,0008	0,0012	0,0009	0,0014	0,0013	0,0011	0,0011
$^{137}\text{Cs}/^{226}\text{Ra}$	0,1087	0,0496	0,0446	0,0713	0,0527	0,081	0,0854	0,0688	0,0682
$^{137}\text{Cs}/^{232}\text{Th}$	0,0962	0,0549	0,0449	0,0633	0,0573	0,0876	0,084	0,066	0,0763

3 lentelė. Radionuklidų savitųjų aktyvumų santykiai dirvožemyje vakarų kryptimi

Santykiai	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8
$^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$	0,0023	0,001	0,0008	0,0012	0,0011	0,0007	0,0008	0,001
$^{137}\text{Cs}/^{226}\text{Ra}$	0,1091	0,0523	0,0438	0,0636	0,0598	0,0417	0,0526	0,064
$^{137}\text{Cs}/^{232}\text{Th}$	0,1156	0,0557	0,0452	0,06	0,0453	0,0341	0,0404	0,0463

4 lentelė. Radionuklidų savitųjų aktyvumų santykiai dirvožemyje pietų kryptimi

Santykiai	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9
$^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$	0,002	0,0016	0,0012	0,001	0,0007	0,0005	0,0005	0,0007	0,0008
$^{137}\text{Cs}/^{226}\text{Ra}$	0,1178	0,0955	0,0662	0,0481	0,0374	0,0323	0,0372	0,0411	0,046
$^{137}\text{Cs}/^{232}\text{Th}$	0,0884	0,0776	0,0633	0,0373	0,0298	0,0249	0,0279	0,0327	0,0409

5 lentelė. Radionuklidų savitųjų aktyvumų santykiai dirvožemyje rytų kryptimi

Santykiai	r1	r2
$^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$	0,0035	0,0012
$^{137}\text{Cs}/^{226}\text{Ra}$	0,1308	0,0681
$^{137}\text{Cs}/^{232}\text{Th}$	0,1304	0,0585

1 lentelė. Sunkiųjų metalų koncentracijų santykiai mazute ir jo degimo proceso atliekose

Santykiai	Mazutas	Mazuto pelenai	Elektrostatinio filtro pelenai	Gipsas	Vidutinės vertės
Ni/Cr	213,34	125,4	216,69	146,8	175,56
Ni/Zn	35,56	39,06	39,72	0,92	28,82
Ni/Pb	867,57	792,82	1279,45	7,61	736,86

2 lentelė. Sunkiųjų metalų koncentracijų santykiai dirvožemyje šiaurės kryptimi

Santykiai	š2	š4	š6	š8
Ni/Cr	2,047	0,746	2,129	0,349
Ni/Zn	2,78	0,481	1,243	0,121
Ni/Pb	4,532	1,326	4,209	0,462

3 lentelė. Sunkiųjų metalų koncentracijų santykiai dirvožemyje vakarų kryptimi

Santykiai	v2	v5	v8
Ni/Cr	1,903	2,409	0,548
Ni/Zn	2,268	0,602	0,507
Ni/Pb	4,108	0,954	2,422

4 lentelė. Sunkiųjų metalų koncentracijų santykiai dirvožemyje pietų ir rytų kryptimis

Santykiai	p3	p6	r2
Ni/Cr	1,315	0,734	0,607
Ni/Zn	0,937	0,925	0,419
Ni/Pb	2,196	1,984	0,911

MOKSLINIAI STRAIPSNIAI IR PRANEŠIMAI KONFERENCIJOSE

Mokslinis straipsnis:

Ibianskaitė J., Butkus D. 2013. Gamtinės ir dirbtinės kilmės radionuklidų sklaidos dirvožemyje nuo šiluminės elektrinės tyrimas (recenzuojamas). 16-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ straipsnių rinkinys.

Pranešimas konferencijoje:

Ibianskaitė J., Butkus D. 2013. Gamtinės ir dirbtinės kilmės radionuklidų sklaidos dirvožemyje nuo šiluminės elektrinės tyrimas, iš Aplinkos apsaugos inžinerija: 16 – osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios 2013 m. Balandžio 11d. (stendinis pranešimas)