

Radioaktyviųjų atliekų heterogeniškumo įtakos radionuklidų sklaidai iš paviršinio kapinyno gruntiniais vandenimis analizė

2. Heterogeniškumo įtakos įvertinimas

Raimondas Kilda,

Povilas Poškas,

Valdas Ragaišis

*Lietuvos energetikos institutas,
Branduolinės inžinerijos problemų
laboratorija,
Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas*

Atliekant kapinynų saugos analizę, dažnai yra laikomasi prielaidos, kad atliekų aktyvumas kapinyno rūsiuose yra tolygiai pasiskirstęs. Tačiau neretai pasitaiko ir tokių radioaktyviųjų atliekų, pavyzdžiui, panaudoti uždarieji jonizuojančios spinduliuotės šaltiniai, kurie atliekose sudaro vadinamuosius „karštuosius taškus“. Tokiais atvejais atliekų aktyvumas kapinyne būna pasiskirstęs netolygiai, t. y. atliekos yra heterogeninės.

Pirmajame serijos straipsnyje [1] buvo aprašyta radioaktyviųjų atliekų heterogeniškumo įtakos vertinimo metodologija bei pateikta radionuklidų sklaidos iš paviršinio kapinyno vandeniu analizė, esant tolygiam radionuklidų aktyvumo pasiskirstymui kapinyno rūsyje.

Šiame straipsnyje pateiktas radionuklidų sklaidos iš paviršinio kapinyno gruntiniais vandenimis vertinimas, kai laidojamų radioaktyviųjų atliekų aktyvumai rūsyje yra pasiskirstę netolygiai.

Vertinimas atliktas, naudojant paviršinių kapinynų saugos analizei taikomą ISAM metodologiją [2].

Atliekų heterogeniškumo įtaka analizuojama, palyginant radionuklidų sklaidos modeliavimo rezultatus netolygaus atliekų aktyvumo pasiskirstymo atveju su vertinimais, gautais homogeninio atliekų aktyvumo pasiskirstymo atveju.

Pateiktos išvados ir rekomendacijos RADON tipo paviršinio kapinyno saugos analizei. Pažymėta, kokiomis sąlygomis reikėtų atkreipti dėmesį į laidojamų atliekų heterogeniškumo įtaką.

Raktažodžiai: paviršinis kapinynas, radioaktyviosios atliekos, homogeninis aktyvumo pasiskirstymas, heterogeninis aktyvumo pasiskirstymas, radionuklidų sklaida

1. ĮVADAS

Paviršiniuose kapinyuose kartu su kitomis radioaktyviosiomis atliekomis laidojami panaudoti uždarieji šaltiniai gali sąlygoti atliekų aktyvumo heterogeniškumą (netolygų pasiskirstymą) kapinyne, arba vadinamuosius „karštuosius taškus“.

Pirmajame šios serijos straipsnyje [1] buvo pateikta radionuklidų sklaidos iš paviršinio kapinyno vandeniu analizė, esant tolygiam radionuklidų aktyvumo pasiskirstymui kapinyno rūsyje.

Šiame darbe išanalizuoti du atliekų aktyvumo heterogeniškumo atvejai:

- 1) kai 10% bendrojo atliekų aktyvumo yra patalpinta rūsio apačioje ir užima 1% atliekų tūrio;
- 2) kai 10% bendrojo atliekų aktyvumo yra patalpinta rūsio viršuje ir užima 1% atliekų tūrio.

Abiem atvejais tūrinio aktyvumo reikšmės atskirose rūsio srityse skiriasi apie 10 kartų, tuo tarpu bendrasis aktyvumas rūsyje išlieka toks pat, kaip ir homogeninio atliekų aktyvumo pasiskirstymo atveju.

Palyginus radionuklidų sklaidos modeliavimo rezultatus netolygaus ir homogeninio atliekų aktyvumo pasiskirstymo atvejais, pateiktos išvados apie laidojamų atliekų heterogeniškumo įtaką RADON tipo paviršiniame kapinyne.

2. RADIONUKLIDŲ SKLAIDOS VERTINIMO REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ

Heterogeniškumo įtakos analizei buvo apskaičiuoti ir palyginti radionuklidų tūriniai aktyvumai stebėtose būdingose analizuojamos sistemos vietose: po kapinyno rūsio dugnu, aeracijos zonos apačioje ir vandeningame hori-

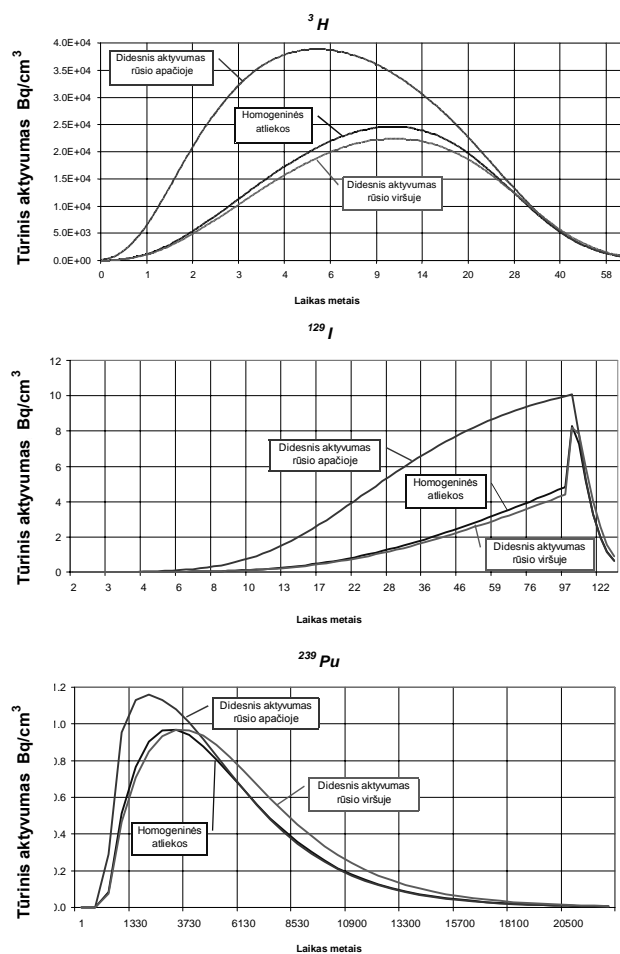
zonte esančiuose 70 (ties kapinyno aikštelės tvora), 100, 1000 ir 2000 (artimiausias atstumas iki upės) metrų atstumuose nuo rūšio.

Kiekvienu atveju visiems radionuklidams (trumpaamibiui mobiliam 3H , ilgaamibiams mobiliams ^{129}I ir ^{14}C bei ilgaamibiams mažai mobiliams ^{239}Pu ir ^{226}Ra) buvo apskaičiuoti šie dydžiai:

- maksimalios tūrinio aktyvumo reikšmės, A_{max} ;
- laikas, kada radionuklido tūrinis aktyvumas nagrinėjamoje sistemos vietoje pasiekia maksimalią reikšmę, t_{max} ;
- maksimalių tūrinio aktyvumo reikšmių santykiai heterogeninio ir homogeninio atliekų aktyvumo pasiskirstymo atvejais $A_{max,hel}/A_{max,hom}$;
- laikų, kai pasiekiamos maksimalios tūrinio aktyvumo reikšmės, santykiai heterogeninio ir homogeninio atliekų aktyvumo pasiskirstymo atvejais $t_{max,hel}/t_{max,hom}$.

1–5 paveiksluose parodyta vertintų radionuklidų tūrinio aktyvumų kaita būdingose analizuojamos sistemos vietose homogeninio ir heterogeninio atliekų aktyvumo pasiskirstymo rūšyje atvejais.

Kai *didesnio aktyvumo atliekos yra patalpintos rūšio apačioje*, trumpaamibi mobilus 3H radionuklido tūrinis aktyvumas po rūšio dugnu (1 pav.) yra apie 60% didesnis nei homogeninio atliekų aktyvumo pasiskirstymo atveju.

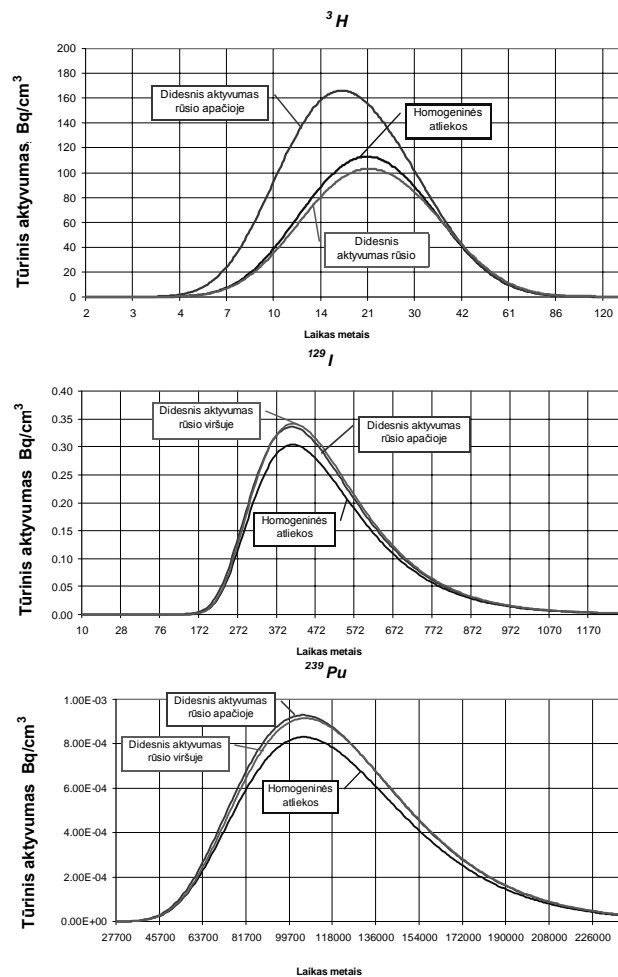


1 pav. Radionuklidų tūrinio aktyvumo kaita po rūšio dugnu homogeniškai ir heterogeniškai pasiskirsčiusio atliekų aktyvumo rūšyje atvejais

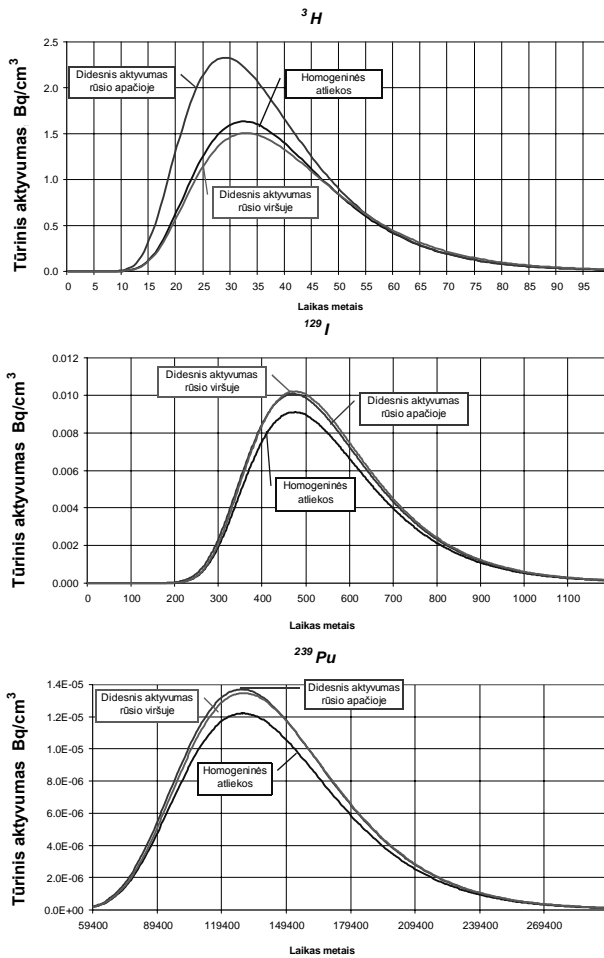
Dėl 3H spartaus radioaktyviojo skilimo maksimalios tūrinio aktyvumų reikšmės yra stebimos santykinai labai sparčiai – po 5–12 metų. Kai *didesnio aktyvumo atliekos yra patalpintos rūšio viršuje*, tūrinis aktyvumas po rūšio dugnu yra šiek tiek mažesnis nei homogeniniu atveju. Tai paaiškinama visų pirma sparčiu 3H skilimu.

Ilgamžio ^{129}I radionuklido tūrinio aktyvumo reikšmė po rūšio dugnu yra didžiausia po 100 metų visais nagrinėjtais atvejais, t. y. tuoj pat po inžinerinių rūšio barjerų degradavimo (1 pav.). Kaip ir 3H atveju, kai *didesnio aktyvumo atliekos patalpintos rūšio apačioje*, stebimos didesnės ^{129}I radionuklido tūrinio aktyvumo reikšmės po rūšio dugnu, palyginus su reikšmėmis homogeniškai pasiskirsčiusio atliekų aktyvumo atveju. Tik ^{129}I atveju skirtumas yra iki 20%. Rezultatai, kai *didesnio aktyvumo atliekos patalpintos rūšio viršuje*, labai panašūs su homogeniniu atveju gautais duomenimis. Tai rodo, kad sklindant radionuklidams maždaug 3 m storio atliekų zona, eilės dydžio pradinio aktyvumo skirtumas tarp atskirų rūšio sričių išsilygina dėl difuzijos ir dispersijos procesų poveikio.

Kaip matyti 1 paveiksle, ^{239}Pu radionuklido, kaip ir ^{129}I radionuklido heterogeninio ir homogeninio atliekų tūrinio aktyvumo santykiai yra labai panašūs. Tik pažymėtina, kad po 100 metų įvykęs inžinerinių rūšio barjerų



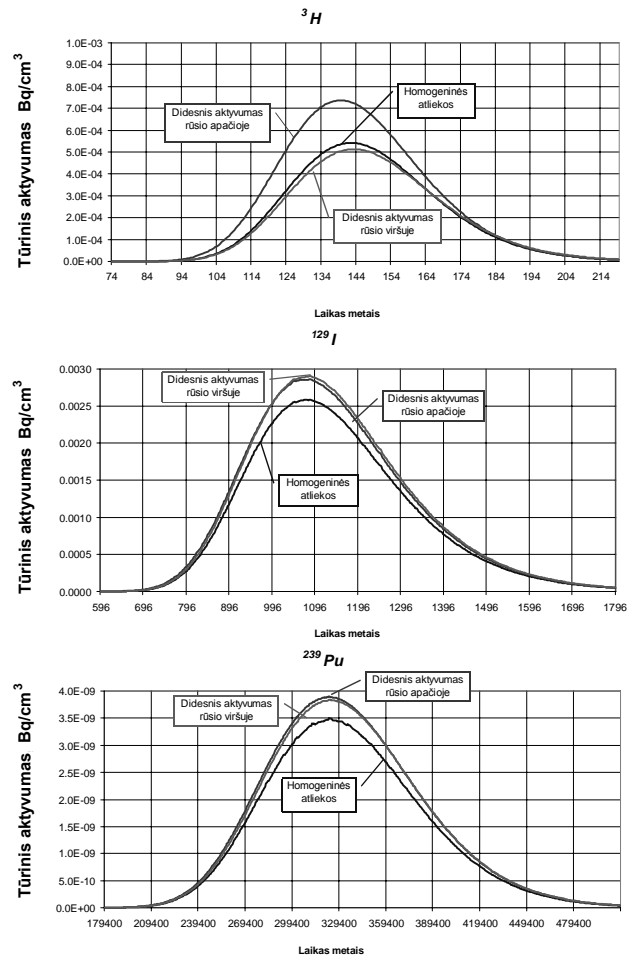
2 pav. Radionuklidų tūrinio aktyvumo kaita aeracijos zonos apačioje homogeniškai ir heterogeniškai pasiskirsčiusio atliekų aktyvumo rūšyje atvejais



3 pav. Radionuklidų tūrinio aktyvumo kaita vandeningajame horizonte, 100 m nuo rūsio, homogeniškai ir heterogeniškai pasiskirsčiusio atliekų aktyvumo rūsyje atvejais

degradavimas neturėjo jokios įtakos tūriniam aktyvumams po rūsio dugnu, nes sklisdamas ilgą laiką ir mažai judrus ($K_d = 550$) ^{239}Pu po rūsio esančią sritį pasiekia kur kas vėliau, t. y. daugiau kaip po 1000 metų.

Kaip matyti 2–5 paveiksluose, mobiliam trumpamamžiui ^3H aktyvumų santykis $A_{max,het}/A_{max,hom}$ išlieka panašios eilės (apie 40–50%) ir kitose būdingose analizuojamos sistemos vietose. Laikų santykio $t_{max,het}/t_{max,hom}$ reikšmės asimptotiškai artėja prie 1.

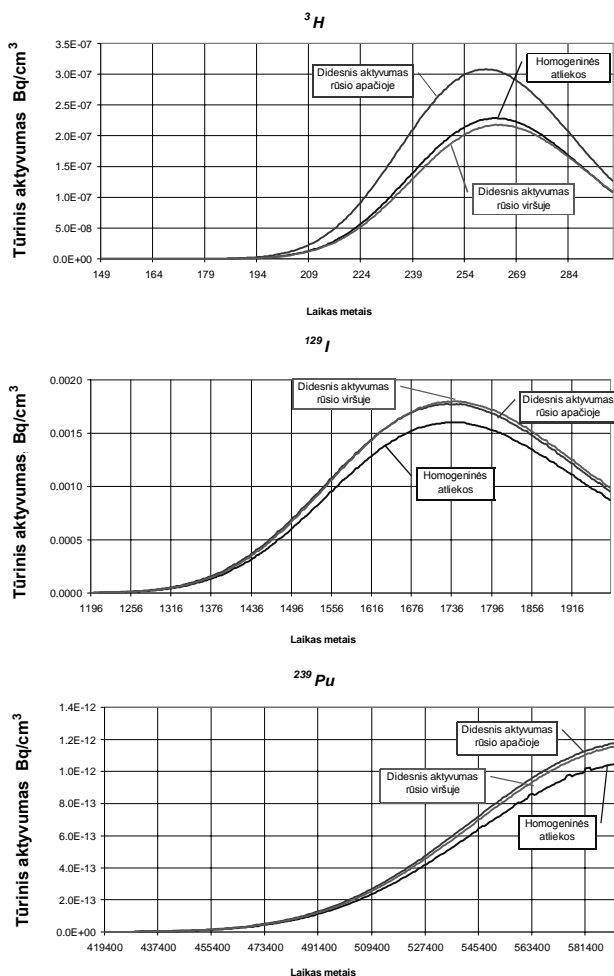


4 pav. Radionuklidų tūrinio aktyvumo kaita vandeningajame horizonte, 1000 m nuo rūsio, homogeniškai ir heterogeniškai pasiskirsčiusio atliekų aktyvumo rūsyje atvejais

Ilgamamžiems ^{129}I ir ^{239}Pu radionuklidams didesnes aktyvumo reikšmes būdingose laidavimo sistemos vietose sąlygoja netolygus atliekų aktyvumų pasiskirstymas ir apatinėje, ir viršutinėje rūsio srityje. Aktyvumų santykis $A_{max,het}/A_{max,hom}$ išlieka panašus (apie 10–20%) visose, nutolusiose nuo rūsio, stebėjimo vietose. Ilgamamžių radionuklidų maksimalių tūrinio aktyvumo reikšmių pasirodymo laikai (2–5 pav.) nagrinėjami atliekų he-

1 lentelė. Skaičiavimų, kai didesnio aktyvumo atliekos patalpintos apatinėje rūsio srityje, rezultatų suvestinė

Nuklidų grupė	Stebėjimo vieta (sklaidos atstumas zonoje m)					
	po rūsio dugnu (3)		aeracijos zonos apačioje (70)		vandeningojo horizonto ūliniuose (100, 1000, 2000)	
	$A_{max,het}/A_{max,hom}$	$t_{max,het}/t_{max,hom}$	$A_{max,hom}/A_{max,het}$	$t_{max,hom}/t_{max,hom}$	$A_{max,het}/A_{max,hom}$	$t_{max,het}/t_{max,het}$
Trumpamamžiai, mobilūs (^3H)	~ 1,6	~ 0,5	~ 1,5	~ 0,8	~ 1,4	Asimptotiškai artėja prie 1
Ilgamamžiai, mobilūs (^{129}I , ^{14}C)	~ 1,2	~ 0,9	~ 1,1	~ 1	~ 1,1	1
Ilgamamžiai, mažai mobilūs (^{239}Pu , ^{226}Ra)	~ 1,2	~ 0,6	~ 1,1	~ 1	~ 1,1	1



5 pav. Radionuklidų tūrinio aktyvumo kaita vandeningajame horizonte, 2000 m nuo rūsio, homogeniškai ir heterogeniškai pasiskirsčiusio atliekų aktyvumo rūsyje atvejais

terogeniškumo atvejais yra artimi homogeniniam atvejui, t. y. santykio $t_{max,het}/t_{max,hom}$ reikšmės yra artimos 1.

Taigi, apibendrinus skaičiavimų rezultatus, galima teigti, kad tuo atveju, kai 10 kartų didesnio aktyvumo atliekos yra patalpintos apatinėje rūsio srityje, maksimalios tūrinių aktyvumų reikšmės po rūsio padidėja apie du kartus, palyginus su homogeninio atliekų aktyvumo pa-

siskirstymo atveju. Laikų santykio $t_{max,het}/t_{max,hom}$ reikšmės asimptotiškai didėja nuo 0,5 (greičiausiai iki rūsio dugno sklinda 3H radionuklidai) iki 1, didėjant atstumui nuo atliekų zonos. Rezultatų, išreikštų maksimalių tūrinių aktyvumų reikšmių santykiais ($A_{max,het}/A_{max,hom}$) ir jų pasiekimo laikų santykiais ($t_{max,het}/t_{max,hom}$) heterogeniniu ir homogeniniu atvejais, suvestinė pateikta 1 lentelėje.

Tuo atveju, kai didesnio aktyvumo atliekos patalpintos viršutinėje rūsio srityje, pastebėta, kad skirtumas tarp maksimalių tūrinio aktyvumo reikšmių heterogeniniu ir homogeniniu atvejais yra ne didesnis kaip 10% visiems nagrinėtiems radionuklidams. Pradinio aktyvumo skirtumas, siekiantis 10 kartų tam tikrose rūsio srityse, dėl radionuklidų sklaidos metu vyraujančių difuzijos ir dispersijos procesų po rūsio dugnu jau yra beveik toks pats, kaip ir homogeniškai pasiskirsčiusio atliekų aktyvumo atveju. Ilgaamžiams radionuklidams aktyvumų santykis $A_{max,het}/A_{max,hom}$, kai didesnis pradinis aktyvumas yra rūsio viršuje, įgyja tam tikrą apibrėžtą reikšmę ir išlieka maždaug pastovus visose stebėtose vandeningojo horizonto vietose. Trumpaamžiui mobiliam 3H radionuklidui šis santykis asimptotiškai artėja prie 1. Laikų santykis $t_{max,het}/t_{max,hom}$, kai didesnis pradinis aktyvumas yra rūsio viršuje, yra apytiksliai lygus 1 visiems radionuklidams visose stebėtose vietose. Rezultatų, išreikštų maksimalių tūrinių aktyvumų reikšmių santykiais ($A_{max,het}/A_{max,hom}$) ir jų pasiekimo laikų santykiais ($t_{max,het}/t_{max,hom}$) heterogeniniu ir homogeniniu atvejais, suvestinė pateikta 2 lentelėje.

3. IŠVADOS

Panaudojus ISAM metodologiją ir išanalizavus radionuklidų priklausantiems trimis būdingoms grupėms – trumpaamžių mobilių, ilgaamžių mobilių ir ilgaamžių mažai mobilių – sklaidą vandeniu iš RADON tipo paviršinio kapinyno homogeninio ir heterogeninio (aktyvumas tarp atskirų rūsio sričių skiriasi 10 kartų) radioaktyviųjų atliekų aktyvumo pasiskirstymo rūsyje atvejais, buvo nustatyta, kad:

1. Paviršiniame kapinyne laidojamų atliekų netolygus aktyvumo pasiskirstymas gali sąlygoti didesnę radionuklidų tūrinį aktyvumą kapinyno aplinkoje, nei homogeniškai pasiskirsčiusio atliekų aktyvumo atveju.

2 lentelė. Skaičiavimų, kai didesnio aktyvumo atliekos patalpintos viršutinėje rūsio srityje, rezultatų suvestinė

Nuklidų grupė	Stebėjimo vieta (sklaidos atstumas zonoje m)					
	po rūsio dugnu (3)		aeracijos zonos apačioje (70)		vandeningojo horizonto ūliniuose (100, 1000, 2000)	
	$A_{max,het}/A_{max,hom}$	$t_{max,het}/t_{max,hom}$	$A_{max,hom}/A_{max,het}$	$t_{max,hom}/t_{max,hom}$	$A_{max,het}/A_{max,hom}$	$t_{max,het}/t_{max,het}$
Trumpaamžiai, mobilūs (3H)	~ 0,9	~ 1	~ 0,9	~ 1	Asimptotiškai artėja prie 1	1
Ilgaamžiai, mobilūs ($^{129}I, ^{14}C$)	1	~ 1	~ 1,1	~ 1	~ 1,1	1
Ilgaamžiai, mažai mobilūs ($^{239}Pu, ^{226}Ra$)	1	~ 1	~ 1,1	~ 1	~ 1,1	1

Atliekų heterogeniškumo įtaka priklauso ir nuo radionuklidų savybių, ir nuo jų aktyvumo pasiskirstymo rūšyje.

2. Didžiausios tūrinio aktyvumo reikšmės kapinyno aplinkoje stebimos, kai didesnio aktyvumo atliekos yra patalpintos apatinėje rūšio srityje. Viena priežasčių, sąlygojančių didesnes tūrinio aktyvumo reikšmes, yra trumpesnis radionuklidų sklaidos kelias.

3. Radionuklidų tūrinio aktyvumo po rūšio dugnu reikšmių santykis, palyginus heterogeninio ir homogeninio atliekų aktyvumo pasiskirstymo rūšyje atvejus, visiems vertintiems radionuklidams yra ne didesnis kaip 2. Radionuklidams sklindant vandeninguoju horizontu, dėl kapinyno aplinkoje vyraujančių difuzijos ir dispersijos procesų, tūrinis aktyvumas sparčiai mažėja.

4. Mobilųjų radionuklidų aktyvumo heterogeniškumas gali būti reikšmingas, jei kapinyno saugos įvertinimai (tikėtinos radiacinės apšvitės dozės), atlikti laikantis homogeniško atliekų aktyvumo pasiskirstymo prielaidos, yra iki 2 kartų mažesni, nei nustatyti apribojimais.

5. Mažai mobiliems ilgamažiams radionuklidams tuo atveju, kai jų aktyvumo reikšmės vandeningajame horizonte yra mažos, heterogeniškumo įtaka saugos požiūriu yra nereikšminga.

6. Pateiktos išvados atidžiai turėtų būti taikomos tais atvejais, kai yra vertinama kapinyno sauga kitokiomis, nei apibrėžtos šioje analizėje, kapinyno aplinkos ir radionuklidų sklaidos iš kapinyno modeliavimo sąlygomis.

Gauta 2006 02 02

Literatūra

1. Radioaktyviųjų atliekų heterogeniškumo įtakos radionuklidų sklaidai iš paviršinio kapinyno gruntiniais vandenimis analizė. 1. Tyrimų metodologija ir rezultatai homogeninio atliekų pasiskirstymo atveju // Energetika. 2005. Nr. 4. P. 10–17.
2. IAEA. Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities. Results of a co-ordinated research project. Vol. 1. Review and enhancement of safety assessment approaches and tools. IAEA, Vienna, 2004.

Raimondas Kilda, Povilas Poškas, Valdas Ragaišis

ANALYSIS OF THE IMPACT OF HETEROGENEITIES IN SOURCE DISTRIBUTION ON RADIONUCLIDE RELEASES FROM NEAR-SURFACE REPOSITORY TO GROUNDWATER

2. ASSESSMENT OF THE IMPACT OF HETEROGENEITIES

Summary

An evaluation methodology of the impact of heterogeneities in source term distribution on radionuclide migration from near-surface repository to groundwater, and the results of the assessment in case of a homogeneous distribution of radionuclide

activity in the vault are presented in the first part of a series of articles [1].

The second part of the study is dedicated to the analysis of radionuclide transport from a near-surface repository to groundwater in case of a heterogeneous distribution of waste activity in the vault. Disused sealed sources being characterised by high specific activities and small physical sizes are one form of the heterogeneities of radioactive waste. They result in so-called “hot spots” when disposed off with other radioactive waste in the repository.

Assessment of radionuclide migration in case of a heterogeneous distribution of the source activity has been performed using the ISAM methodology intended for safety analysis of near-surface repositories.

The impact of heterogeneities has been analysed by comparing the modelling results of radionuclide transport in a heterogeneous case of waste distribution with a homogeneous case.

Conclusions and recommendations to the safety assessment of RADON type facility are presented. The importance of the impact of heterogeneities is pointed out.

Key words: near-surface repository, radioactive waste, homogeneous distribution of activity, heterogeneous distribution of activity, radionuclide migration

Раймондас Килда, Повилас Пошкас, Валдас Рагайшис

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЕТЕРОГЕННОСТИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ НА МИГРАЦИЮ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО МОГИЛЬНИКА В ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

2. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕТЕРОГЕННОСТИ

Резюме

В первой статье настоящей серии статей была представлена методология, применяемая для оценки влияния гетерогенности, а также приведены результаты анализа миграции радионуклидов из приповерхностного могильника в подземные воды в случае равномерного распределения активности отходов в могильнике.

В данной статье представлена оценка переноса радионуклидов из приповерхностного могильника в подземные воды в случае неравномерного распределения активности отходов в могильнике. Используемые закрытые источники радиоизлучения, имеющие малый объём и большую удельную активность, являются одной из форм гетерогенности отходов. Такие источники, захороненные вместе с другими отходами, порождают так называемые «горячие точки» в могильнике.

Оценка переноса радионуклидов в случае гетерогенного распределения активности отходов в могильнике была выполнена с использованием методологии ISAM, которая, обычно, применяется при анализе безопасности приповерхностных могильников.

Влияние гетерогенности отходов было проанализировано путём сравнения результатов моделирования

при неравномерном распределении активности отходов с оценками, полученными в гомогенном случае.

В работе представлены выводы и рекомендации по анализу безопасности приповерхностного могильника типа РАДОН. Показано, при каких условиях необходимо обратить внимание на влияние гетерогенности захороненных отходов.

Ключевые слова: приповерхностный могильник, радиоактивные отходы, гомогенное распределение активности, гетерогенное распределение активности, миграция радионуклидов