

# Radioaktyviøjø atliekø heterogeniðkumo átakos radionuklidø sklaidai ið pavirðinio kapinyno gruntiniais vandenimis analizë

## 1. Tyrimø metodologija ir rezultatai homogeninio atliekø pasiskirstymo atveju

**Raimondas Kilda,**

**Povilas Poðkas,**

**Valdas Ragaiðis**

*Lietuvos energetikos institutas,  
Branduolinës inþinerijos  
problemø laboratorija,  
Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas*

Atliekant radioaktyviøjø atliekø kapinyno saugos analizæ, daþnai yra laikomasi prielaidos, kad atliekø aktyvumas kapinyno rûsiuose yra tolygiai pasiskirstæs. Taèiau neretai pasitaiko ir tokie radioaktyviøjø atliekø, pavyzdþiui, panaudoti uþdarieji jonizuojanëios spinduliuotës ðaltiniai, kurie atliekose sudaro vadinamuosius „karðtuosius taðkus“. Tokiais atvejais atliekø aktyvumas kapinyne bûna pasiskirstæs netolygiai, t. y. atliekos yra heterogeninës.

Pateiktame darbe iðanalizuota heterogeninio atliekø aktyvumo pasiskirstymo átaka radionuklidø sklaidai ið pavirðinio kapinyno á gruntinius vandenis ir parodyta, kokiomis sàlygomis gali bûti taikoma homogeninio atliekø aktyvumo pasiskirstymo prielaida. Vertinimai buvo atlikti, taikant ISAM metodologijà, kurià TATENA (Tarptautinë atominës energijos agentûra) rekomenduoja pavirðiniø kapinyno saugos analizei.

Straipsnyje yra pateiktas trumpas radioaktyviøjø atliekø laidojimo sistemos apraðymas, radionuklidø sklaidos scenarijai bei sudaryti konceptualûs modeliai. Skaièiavimai atlikti radionuklidø sklaidos modeliavimo programomis DUST ir GWSCREEN. Ðiame, pirmajame, serijos straipsnyje yra pateiktas glaustas ISAM metodologijos apraðymas, jos taikymas atliekø heterogeniðkumo analizei bei radionuklidø sklaidos modeliavimo rezultatai homogeninio atliekø aktyvumo pasiskirstymo kapinyne atveju.

**Raktaþodþiai:** pavirðinis kapinynas, radioaktyviosios atliekos, homogeninis pasiskirstymas, heterogeninis pasiskirstymas, ISAM metodologija, radionuklidø sklaida

### 1. ÁVADAS

Nuo 2002 m. TATENA vykdo koordinuotà tyrimø projektà ASAM (Application of Safety Assessment Methodologies for Near Surface Radioactive Waste Disposal Facilities), kuris pratæsia ir papildø šios organizacijos anksëiau atliktà ISAM (Improvement of Safety Assessment Methodologies for Near Surface Radioactive Waste Disposal Facilities) studijà [1, 2]. ASAM projekte ypaè pabrëþiamas ISAM metodologijos, kaip nuoseklaus ir suderinto pavirðiniø kapinyno saugos vertinimo proceso, taikymas sprendþiant konkreèias praktines problemas. Svarbiausi ASAM programos tikslai yra:

- ISAM metodologijos praktinio taikymo iðtyrimas, kai yra rengiamos kapinyno, skirtø ávairiø tipø radioaktyviosioms atliekoms laidoti, konstrukcinës

konceptijos, arba kai pakartotinai atliekamas jau árengto kapinyno saugos ávertinimas, arba yra numatytas kapinyno atnaujinimas ir kt.;

- praktiniø pasiûlymø kontroliuojanëioms institucijoms, eksploatuojanëioms organizacijoms ir kitiems specialistams, atliekantiems kapinyno saugos ávertinimo perþiûrà, parengimas.

Vienas ASAM programos uþdaviniø, kuriuos sprendþiant dalyvavo ir Lietuvos energetikos instituto mokslininkai bei tyrëjai, yra ISAM metodologijos pritaikymas pavirðinio kapinyno saugos analizei, kai tarp laidojamø atliekø yra ir smulkiojøjø gamintojøjø (medicinos, tyrimo bei pramonës ámoniø) panaudoti uþdarieji jonizuojanëios spinduliuotës ðaltiniai (toliau – uþdarieji ðaltiniai).

Vertinant kapinyno saugà, daþnai yra taikoma prielaida, kad laidojamos atliekos yra homogeninës, t. y.

atliekose esančių radionuklidų aktyvumas yra tolygiai pasiskirstęs visame jų tūryje. Jei laidojami uždariaji žaltiniai, dėl mažos jų fizinės apimtys ir santykinai didelio aktyvumo tokia prielaida gali būti neteisinga. Todėl būtina įvertinti atliekų homogeninio pasiskirstymo prielaidos tinkamumą ir jos įtaką kapinyno ilgalaikės saugos vertinimams.

Vertinant radioaktyviųjų atliekų sąvairovą, galima išskirti kelis būdingus paviršiniuose kapinynuose laidojamų atliekų heterogeniškumo atvejus:

- santykinai mažos apimtys elementai, vadinamieji „karštieji taškai“ (būdinga panaudotiems uždariesiems žaltiniams);
- atskiri didelės apimtys elementai atliekų pakuočiose (pvz., užterštos metalinės detalės);
- labai dideli atliekų komponentai, kurie yra laidojami tiesiog kapinyno rūsiuose (pvz., radioaktyvūs sąrankiniai).

Straipsnyje pateikta heterogeniškumo įtakos vertinimo metodologija, apimanti analizės uždavinio formulavimą, analizuojamos atliekų laidojimo sistemos apibūdinimą bei konceptualių radionuklidų sklaidos modelių sudarymą. Taip pat pateikti radionuklidų sklaidos iš paviršinio kapinyno vandeniu analizės rezultatai, esant tolygiai radioaktyviųjų atliekų aktyvumo pasiskirstymui. Radionuklidų sklaidos analizė netolygaus atliekų aktyvumo pasiskirstymo atveju ir heterogeniškumo įtakos įvertinimas bus pateikti kitame šios serijos straipsnyje.

## 2. HETEROGENIŠKUMO ĮTAKOS VERTINIMO METODOLOGIJA

Radioaktyviųjų atliekų heterogeniškumo, sąlygotos kitomis atliekomis kartu laidojamų panaudotų uždarytųjų žaltinių, įtaka radionuklidų sklaidai iš paviršinio kapinyno buvo išanalizuota, taikant ISAM metodologiją [1]. Pagrindiniai analizės etapai (1 pav.) yra šie:

1. *Uždavinio formulavimas*: apibrėžiami analizės uždavinio tikslai, siekiami rezultatai, vertinimo koncepcija ir būdingi analizės laikotarpiai;

2. *Radioaktyviųjų atliekų laidojimo sistemos apibūdinimas*: apibūdinama analizuojama sistema, apimanti radioaktyvias atliekas, inžinerinius barjerus, radionuklidų sklaidos kelius geosferoje ir biosferoje, nurodant jiems keliamiems būdingas savybes;

3. *Radionuklidų sklaidos scenarijų sudarymas*: atliekama procesų, vykstančių kapinyno aplinkoje, kapinyne ir jį supančioje geosferoje, analizė ir, įvertinus atskirus komponentus tarpusavio sąveiką, sudaromi scenarijai ir konceptualiūs modeliai;

4. *Matematinio modelių sudarymas*: sudaryti konceptualiūs modeliai išreiškiami matematinėmis priklausomybėmis, apibrėžiamos pradinės ir ribinės sąlygos;

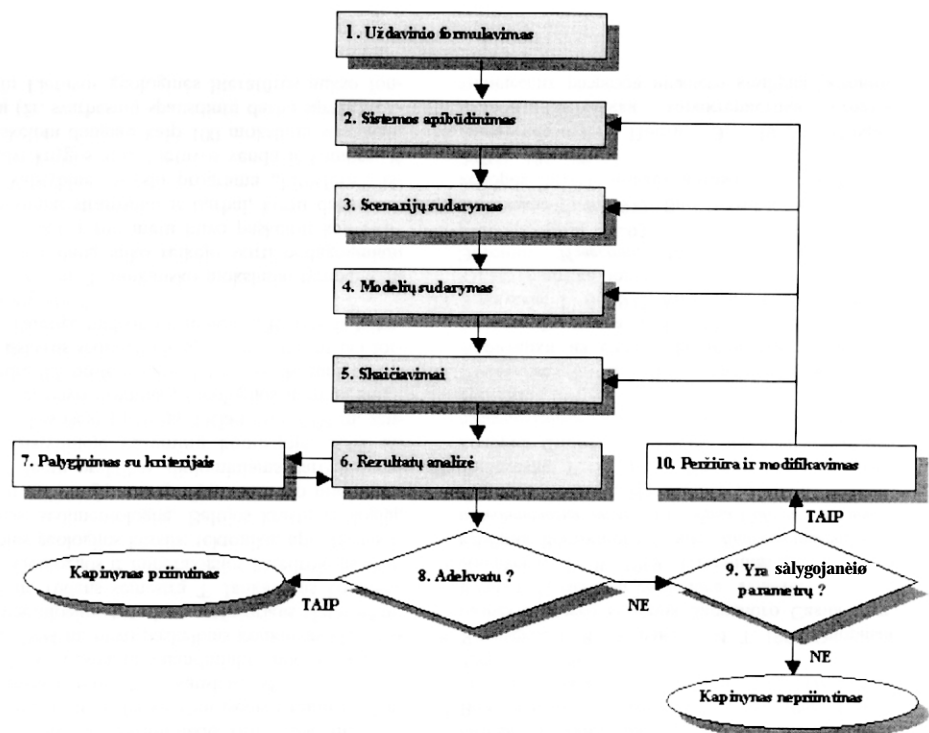
5. *Skaiciavimai*: taikant analitinius/skaitinius metodus, atliekami skaičiavimai;

6. *Rezultatų analizė*: analizuojami ir interpretuojami atliktų skaičiavimų rezultatai.

### 2.1. Uždavinio formulavimas

Pagrindinis analizės tikslas – ištirti ir įvertinti netolygaus radionuklidų aktyvumo pasiskirstymo atliekose įtaką, vertinant radionuklidų sklaidą iš kapinyno rūsiu.

Pinoma, kad žmogaus apdovitos dozės yra tiesiogiai proporcingos radionuklidų aktyvumui, o proporcingumo koeficientas priklauso nuo analizuojamos konkrečios vietovės savybių bei joje gyvenančių žmonių gyvenamosios ypatybės. Be to, apdovitos dozės skaičiavimai priklauso nuo vertinamų apdovitos trasų bei sudaromų radionuklidų sklaidos biosferoje modelių. Todėl, siekiant išvengti konkrečios biosferos modelio parametrų neapibrėžtumų heterogeniškumo įtakos analizėje, buvo apribota radionuklidų maksimali tūrinio aktyvumo vertinimo. Radionuklidų aktyvumai buvo vertinami būdingose analizuojamos sistemos vietose: po kapinyno rūsių dugnu, aeracijos zonos apačioje ir vandeningame horizonte žvairiuose atstumuose



1 pav. ISAM metodologijos schema. Tamsesne spalva pažymėti šiame darbe atliekami radionuklidų sklaidos įvertinimo etapai

nuo kapinyno rūšio. Tokiu būdu buvo ávertintas kiekvienos sistemos dalies vaidmuo heterogeniškumo átakos sumapėjimui.

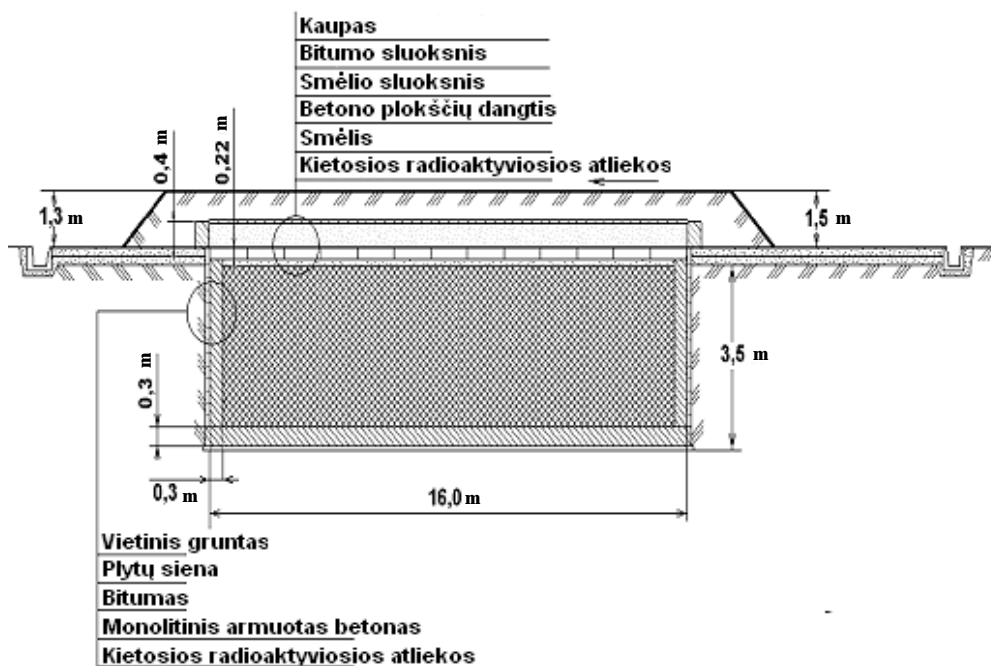
Heterogeniškumo átaka buvo analizuojama, atsiþvelgiant á radionuklidø pusėjimo trukmæ ir aplinkos parametrus, turinæius átakà radionuklidø sklaidai, – dispersijà, vëlinimo koeficientà ir kt. Analizei buvo pasirinkti radionuklidai ið kelio bûdingø grupio, besiskirianæio fizinemis (pusėjimo trukme) bei sklaidos savybemis (vëlinimo faktoriø/sorbcijos koeficientø reikðmemis), bûtent:

- 1) trumpaamþiai, mobilûs;
- 2) trumpaamþiai, maþai mobilûs;
- 3) ilgaamþiai, mobilûs;
- 4) ilgaamþiai, maþai mobilûs.

Abiem, homogeninio ir heterogeninio, atliekø aktyvumo pasiskirstymo kapinyno rûsyje atvejais radionuklidø sklaida vertinama esant toms paëioms sąlygoms, t. y. esant tam paëiam pradiniam radionuklidø aktyvumui rûsyje ir tiems patiems radionuklidø iðplovimo ir sklaidos parametrams.

Radionuklidø aktyvumas tam tikroje nagrinëjamoje sistemos vietoje kinta laike. Analizuojami atliekø aktyvumo kitimo laikotarpiai yra skirtingi kiekvienai nuklidø grupei ir buvo parinkti tokios trukmës, iki kol atskiro radionuklido aktyvumas stebimoje laidojimo sistemos vietoje pasiekia savo maksimalià reikðmæ.

ASAM programoje dalyvauja tyrëjø grupës ið ávairioø ðaliø (Brazilijos, JAV, Lietuvos, Rusijos, Slovakijos). Vertinimams buvo pasirinktas Saratovo (Rusija) RADON tipo pavirðinis kapinynas (þr. apraðymà, pateiktà [2] dokumente), ðitaip sudarant galimybæ palyginti ávairioø grupio gautus rezultatus.



2 pav. RADON tipo pavirðinio kapinyno rûsio struktûra

## 2.2. Laidojimo sistemos apibûdinimas

Atliekø laidojimo sistema, vertinant radionuklidø sklaidà, yra iðskaidoma á tris zonas:

- 1) atliekø zonà, kuri apima radioaktyviasias atliekas ir jas supanæius inþinerinius barjerus;
- 2) aeracijos zonà (vandeniu neprisotintà zonà);
- 3) vandeningàjà horizontà (vandeniu prisotintà zonà).

Radioaktyviosios atliekos Saratovo RADON tipo kapinyne yra palaidotos keturiuose rûsiuose, keliose tranðëjose bei vienoje grãþinio tipo saugykloje. Analizei buvo parinktas vienas rûsio, kurio tipinë schema parodyta 2 paveiksle.

Rûsio inþinerinius barjerus sudaro:

- atliekø pakuotës;
- cementinis uþpildas;
- betoninës sienos ir pagrindas;
- bitumo ar asfalto sluoksnis;
- plytø sienos, apsauganëios betoniná pavirðiø nuo mechaninio poveikio;
- betono plokðtës (kartu su bitumo ar asfalto sluoksniu), dengianëios rûsà;
- rûsio apdangalas (kaupas).

Rûsyje, 0,3–3 m gylyje, yra palaidota apie 200 m<sup>3</sup> kietøjø radioaktyviøjø atliekø, kuriø dalà sudaro panaudoti uþdarieji ðaltiniai. Nagrinëjamo rûsio atstumas iki kapinyno aikðtelës tvoros – apie 70 metrø.

Ið daugiau kaip 30 radionuklidø, esanæio Saratovo kapinyne palaidotose atliekose, tyrinëjimui buvo parinkti ðie: <sup>3</sup>H (trumpaamþis, mobilus), <sup>129</sup>I ir <sup>14</sup>C (ilgaamþiai, mobilûs) bei <sup>239</sup>Pu ir <sup>226</sup>Ra (ilgaamþiai, maþai mobilûs). Radionuklidai, priklausantys trumpaamþio ir maþai mobilio radionuklidø grupei (pvz., <sup>137</sup>Cs), nebuvo analizuojami, nes, pagal preliminarius vertinimus, jie suskyla iki nereikðmingø dydþio dar

nepasiekæ aeracijos zonos. Analizuojamo radionuklidø sàraðas, jø pradiniai aktyvumai bei fizinës/cheminës savybës yra pateiktos 1 lentelëje.

Kapinyno rûsio inþinerinio barjero, vertintø analizëje, charakteristikø suvestinë yra pateikta 2 lentelëje. Dispersijos koeficiento reikðmë rûsio zonoje yra priimta lygi 1/10 sklaidos atstumo iki receptoriaus (rûsio apaëios) srauto kryptimi. Kadangi difuzija, paprastai, tèra nedidelë radio-

1 lentelė. Analizuojamų radionuklidų pradiniai aktyvumai ir fizinės/cheminės savybės

Grupė	Radionuklidas	Pusėjimo trukmė metais	Pasiskirstymo koeficientas $K_d^*$ (cm <sup>3</sup> /g)	Aktyvumas (MBq)
Trumpaamžiai, <i>mobilūs</i>	<sup>3</sup> H	$1,23 \times 10^1$	0	916 023
Ilgaamžiai, <i>mobilūs</i>	<sup>129</sup> I	$1,59 \times 10^7$	1	3 726
	<sup>14</sup> C	$5,73 \times 10^3$	5	74
Ilgaamžiai, <i>mažai mobilūs</i>	<sup>239</sup> Pu	$2,41 \times 10^4$	550	209 370
	<sup>226</sup> Ra	$1,60 \times 10^3$	500	56 120

\* Pasiskirstymo koeficientai parinkti smėliui, kuris yra būdingas Saratovo aplinkai.

2 lentelė. Kapinyno rūšio inžinerinių barjerų parametrai

Inžinerinis barjeras	Storis (m)	Tankis (kg/m <sup>3</sup> )	Tūrinė drėgmė	Efektinės difuzijos koeficientas (m <sup>2</sup> /s)	Dispersijos koeficientas (m)
Smėlis (kaupas)	1,3	1 500	0,20	$1 \times 10^{-10}$	0,3
Betoninis dangtis	0,3	2 200	0,15		
Smėlis	0,3	1 500	0,20		
Radioaktyviosios atliekos	2,7	1 200	0,05		
Betoninis dugnas	0,3	2 200	0,15		

3 lentelė. Aeracijos zonos parametrai

Storis (m)	Tankis (kg/m <sup>3</sup> )	Tūrinė drėgmė	Efektinės difuzijos koeficientas (m <sup>2</sup> /s)	Dispersijos koeficientas (m)
70	1 900	0,05	$1 \times 10^{-10}$	7

4 lentelė. Vandeningo horizonto parametrai

Storis (m)	Tankis (kg/m <sup>3</sup> )	Poringumas	Dispersijos koeficientas (m)	
			srauto kryptimi	skersine kryptimi
10	1 500	0,4	10	1

nuklidų pernešimo komponentė, difuzijos koeficiento reikšmės visiems radionuklidams yra priimtos vienos ir lygios  $10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s.

Po rūšio esanti aeracijos zona, kuri iš tikrųjų yra geologiškai sudėtinga zona, analizėje buvo priimta kaip vienalytis 70 m storio smėlio sluoksnis.

Dispersijos aeracijos zonoje koeficiento reikšmė priimta lygi 1/10 aeracijos zonos storio vandens srauto kryptimi. Difuzijos koeficiento reikšmės visiems radionuklidams priimtos lygios  $10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s.

Aeracijos zonos parametrai, panaudoti vertinimuose, reikšmės yra pateiktos 3 lentelėje.

Vandeningo horizonto storis Saratovo kapinyno aikštelėje yra 10 m. Dispersijos koeficiento vandens tekėjimo kryptimi reikšmė priimta lygi 10 m, skersine srautui kryptimi – 1 m. Vandeningo horizonto parametrai, panaudoti vertinimuose, reikšmės yra pateiktos 4 lentelėje.

### 2.3. Radionuklidų sklaidos scenarijus

Atliekų heterogeniškumo įtakos analizei, kai radionuklidai sklinda vandeniu, buvo panaudotas ISAM

5 lentelė. Vandens srautas kapinyne

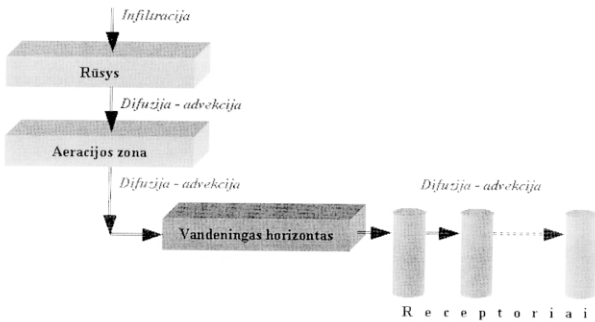
Zona	Vandens srautas (Darsi greitis) (m/metai)	
	pirmus 100 metų	po 100 metų
Rūšio zona	0,0035	0,35
Aeracijos zona	0,35	0,35
Vandeningas horizontas	2,92	2,92

metodologijos [1] rekomenduojamas inžinerinių barjerų degradavimo scenarijus. Priimta, kad pirmus 100 metų kapinyno būseną išlieka nepakitusi ir rūšio inžineriniai barjerai visiškai atlieka radioaktyviųjų atliekų izoliavimo nuo aplinkos funkciją. Tuomet vandens infiltracija per kapinyną sudaro 1% kritulio, kurių kapinyno aikštelėje per metus iškrinta iki 350 mm. Praėjus 100 metų, tariama, kad inžineriniai barjerai staiga ir visiškai suyra, ir vandens infiltracija per kapinyną pasiekia maksimalią reikšmę, lygią metiniam kritulio kiekiui. Vandens srauto reikšmės at-

skirose laidojimo sistemos zonose bei jo kitimas yra pateiktas 5 lentelėje.

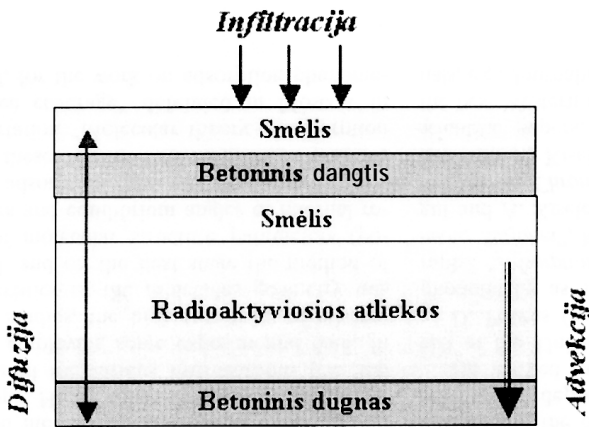
**2.4. Konceptualūs modeliai**

Konceptualus radionuklidų sklaidos modelis parodytas 3 paveiksle. Radionuklidai inžineriniais barjeriais, aeracijos zona ir vandeninga horizonta sklinda difuzijos bei advekcijos būdu. Ėiame darbe priimta, kad tik sorbcija riboja nuklidų sklaidà, o radionuklidų tirpumo savybės neturi jokios átakos sklaidai. Radionuklidai ádkart ádtirpsta, t. y. neávertinama jø tirpumo riba. Taip pat yra vertinamas savaiminis radionuklidų skilimas.



3 pav. Konceptualus radionuklidų sklaidos modelis

4 paveiksle parodytas konceptualus radionuklidų sklaidos inžineriniais barjeriais modelis.



4 pav. Konceptualus radionuklidų sklaidos rûsio inžineriniais barjeriais modelis

Kadangi laidojimo sistemos apraðyme [2] nėra ádsamios informacijos apie atliekø pakuotes, radionuklidø sklaidà ád atliekø pakuoëiø ar konteineriø nebuvo modeliuojama. Priimta, kad pro kapinyno kaupà infiltruotas vanduo tolygiai pasiskirsto rûsyje.

Heterogeniðkumo analizėje nagrinëti ðie radioaktyviøjø atliekø aktyvumø pasiskirstymo atvejai (5 pav.): a) homogeninis atliekø pasiskirstymas rûsyje (kaip bazinis atvejis palyginimams) bei du heterogeniðko atliekø pasiskirstymo rûsyje atvejai: b) kai 10% bendro atliekø aktyvumo yra patalpinta rûsio apaëioje 1% atliekø tûrio ir c) kai 10% bendro atliekø aktyvumo yra patalpinta rûsio virðuje 1% atliekø tûrio. Abiem heterogeniðko atliekø aktyvumo pasiskirstymo rûsyje atvejais aktyvumo reikðmës atskirose rûsio srityse skiriasi apie 10 kartø, tuo tarpu bendras aktyvumas rûsyje áðlieka toks pat, kaip ir homogeninio atliekø aktyvumo pasiskirstymo atveju.

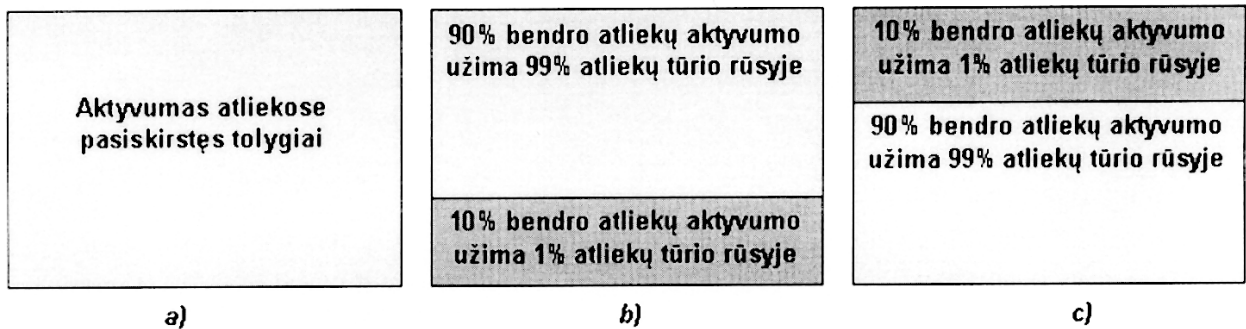
**3. SKAIËIAVIMAI**

Skaiëiavimai buvo atlikti trims radioaktyviøjø atliekø aktyvumo pasiskirstymo rûsyje atvejams: homogeniniam, heterogeniniam, kai aktyvumas 10 kartø didesnis rûsio apaëioje, ir heterogeniniam, kai aktyvumas 10 kartø didesnis rûsio virðuje.

Heterogeniðkumo átakos analizei buvo apskaiëiuoti ir palyginti radionuklidø tûriniai aktyvumai stebëtose bûdingose analizuojamos sistemos vietose: po kapinyno rûsio dugnu, aeracijos zonos apaëioje ir vandeningame horizonte esanëiuose 70 (ties kapinyno aikðtelës tvora), 100, 1000 ir 2000 m (maþiausias atstumas iki upës) atstumuose nuo rûsio.

Kiekvienu atveju visiems radionuklidams buvo apskaiëiuoti ðie dydþiai:

- maksimalios tûrinio aktyvumo reikðmës  $A_{max}$ ;
- laikas, kada radionuklidø tûrinis aktyvumas nagrinëjamoje sistemos vietoje pasiekia maksimalià reikðmæ  $t_{max}$ ;
- maksimaliø tûrinio aktyvumo reikðmiø santykiai heterogeninio ir homogeninio atliekø aktyvumo pasiskirstymo atvejais  $A_{max,het}/A_{max,hom}$  (bus pateikta kitame ðios serijos straipsnyje);
- laikø, kai pasiekiamos maksimalios tûrinio aktyvumo reikðmës, santykiai heterogeninio ir homoge-



5 pav. Atliekø aktyvumo pasiskirstymo rûsyje atvejai: a) homogeninis; b) heterogeninis, kai didesnis aktyvumas rûsio apaëioje; c) heterogeninis, kai didesnis aktyvumas rûsio virðuje

ninio atliekų aktyvumo pasiskirstymo atvejis  $t_{\max,het}/t_{\max,hom}$  (bus pateikta kitame šios serijos straipsnyje).

Skaiciavimams buvo panaudotos kompiuterinės programos – DUST [3] ir GWSCREEN [4].

Naudojant DUST programą, buvo įvertintas radionuklidų pernešimas atliekų ir aeracijos zonose. Žioje prognozuojama baigtinių skirtumų metodu yra sprendžiama vienmatė radionuklidų pernešimo lygtis, aparađanti difuzijos–advekcijos procesus bei įvertinanti radionuklidų vėlinimą ir radioaktyvų skilimą.

Naudojant GWSCREEN programą, kurioje pusiau analitiniu būdu yra sprendžiama dvi-matė advekcinių pernešimo lygtis, buvo vertinama radionuklidų sklaida vandeningu horizontu.

Vienoda skaičiavimų seka buvo taikoma visiems atliekų aktyvumo pasiskirstymo atvejams – ir homogeniniams, ir heterogeniniams.

#### 4. SKAIČIAVIMŲ REZULTATAI

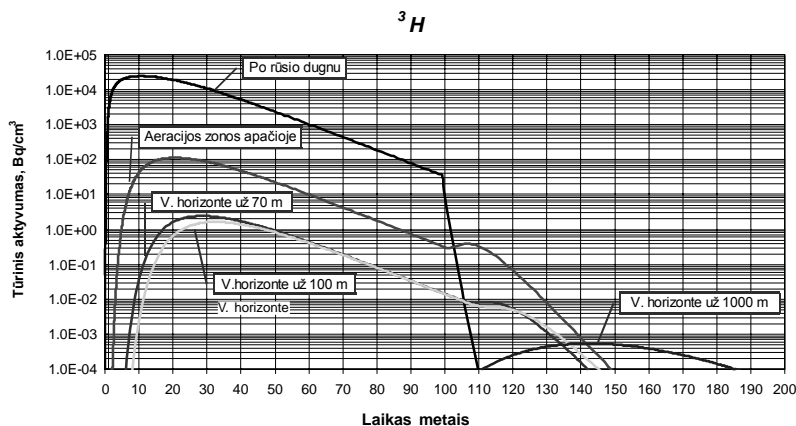
Radionuklidų, reprezentuojančių charakteringas grupes, tūrinio aktyvumo kaita būdingose analizuojamos sistemos vietose, kai atliekos rūšyje yra homogeniškai pasiskirsčiusios, parodyta 6–8 paveiksluose.

Trumpaamžio mobilus  $^3H$  radionuklido atveju stebimas didelės tūrinio aktyvumo reikšmės po rūšio dugnu. Toliau nuo rūšio, tūrinis aktyvumas mažėja (6 pav.). Praėjus 100 metų nuo atliekų patalpinimo kapinyne, po rūšio dugnu stebimas geras radionuklido tūrinio aktyvumo sumažėjimas, kurį lemia priimtas staigus rūšio inžinerinių barjerų suirimas. Maksimalios tūrinio aktyvumo reikšmės vandeningame horizonte yra 3–4 eilėmis mažesnės, nei po rūšio dugnu, ir už 2000 m pasiekia nereikšmingą dydį (grafike nebevaizduojama). Tai yra atskiedimo didesniu vandens srautu vandeningame horizonte, taip pat dispersijos ir radioaktyvaus skilimo procesų pasekmė.

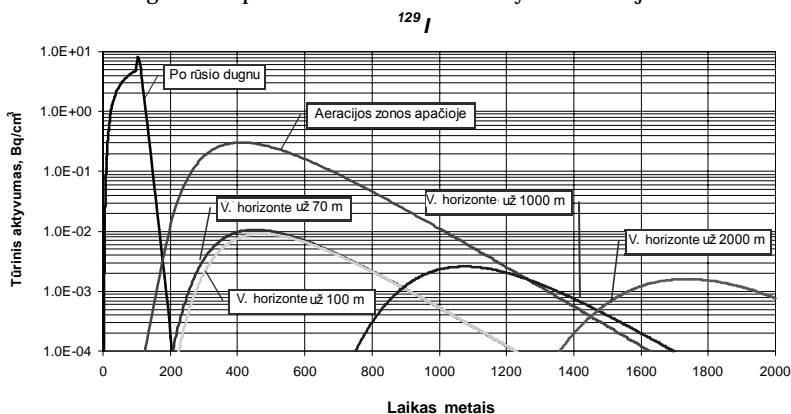
Visai kitaip sklinda ilgaamžis mobilus  $^{129}I$  radionuklidas. Kaip matyti 7 paveiksle,  $^{129}I$  sklaida aeracijos zona, iki jis pasiekia artimiausią stebėtą vietą vandeningame horizonte, užtrunka kelis dešimtus metų, nors jo pasiskirstymo koeficientas  $K_d$  tėra lygus 1. Pastebėsime, kad laiko skalės 6 ir 7 paveiksluose skiriasi eile. Kaip ir  $^3H$  atveju,  $^{129}I$  radionuklido aktyvumo reikšmės vandeningame horizon-

te yra daug mažesnės nei aeracijos zonoje dėl atskiedimo. Didžiausias tūrinis žio nuklido aktyvumas vandeningame horizonte, 100 m atstume nuo rūšio, yra apie 5 kartus didesnis, nei 2000 m atstume. Aktyvumo sumažėjimo priežastimi, žiuo atveju, yra tik dispersija, nes ilgaamžiui  $^{129}I$  radioaktyvusis skilimas nagrinėjamu laikotarpiu didelės įtakos neturi.

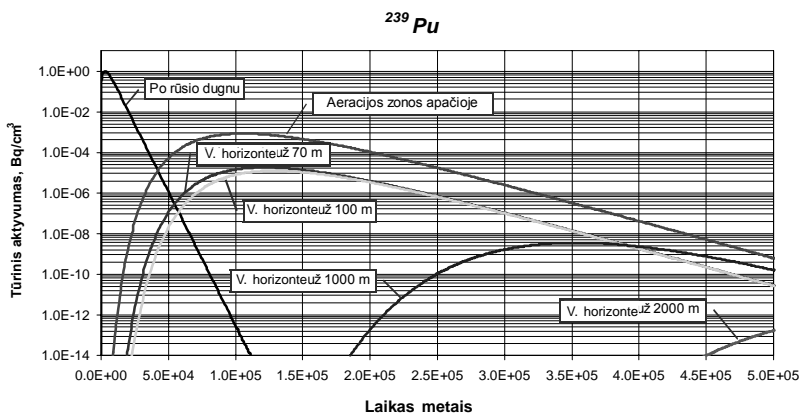
Ilgamžio mažai mobilus ( $K_d = 550$ )  $^{239}Pu$  radionuklido sklaida (8 pav.) yra panašaus pobūdžio, kaip ir  $^{129}I$ , tačiau dėl didelio vėlinimo ( $^{239}Pu$  labiau sorbuojamas nei  $^{129}I$ ),  $^{239}Pu$  maksimalios tūrinio akty-



6 pav.  $^3H$  radionuklido tūrinio aktyvumo kaita būdingose laidojimo sistemos vietose homogeniškai pasiskirsčiusio atliekų aktyvumo atveju



7 pav.  $^{129}I$  radionuklido tūrinio aktyvumo kaita būdingose laidojimo sistemos vietose homogeniškai pasiskirsčiusio atliekų aktyvumo atveju



8 pav.  $^{239}Pu$  radionuklido tūrinio aktyvumo kaita būdingose laidojimo sistemos vietose homogeniškai pasiskirsčiusio atliekų aktyvumo atveju

vumo reikd̄m̄s po r̄sio dugnu ir aeracijos zonos apāioje yra pasiekiamos po t̄kstan̄iø, o vandenin- game horizonte – po ðimtø t̄kstan̄iø metø. Jos yra nebereikd̄mingo dyd̄pio.

5. IŠVADOS

Apibendrinus skaīiavimø rezultatus, galima teigti, kad homogeninio atliekø aktyvumo pasiskirstymo kapiny- no r̄syje atveju t̄rinis aktyvumas b̄dingose laidoji- mo sistemos vietose priklauso nuo radionuklido sa- vybiø.

Priimtas inžineriniø r̄sio barjerø degradavimas po 100 metø praktiðkai neturi jokios atakos labai mobilaus ( $K_d = 0$ )  $^3H$  radionuklido sklaidai, kadan- gi  $^3H$  ið r̄sio iðsiskiria daug anks̄iau, nei suyra barjerai.

Ta pati iðvada galioja ir labai maðai judriems ra- dionuklidams ( $K_d \sim 500$ )  $^{239}Pu$  ir  $^{226}Ra$ , nes jø sklai- da inžineriniais barjeriais vyksta l̄tai, o po r̄sio dugnu esan̄ià aplinkà ðie ilgaamþiai radionuklidai pasiekia, prājus daugiau nei 1000 metø po barjerø suirimo.

Tik judriø ilgaamþiø  $^{129}I$  ir  $^{14}C$  radionuklidø akty- vumas po r̄sio dugnu pasiekia savo maksimalias reikd̄mes maðdaug tuo pāiu metu, kaip ir degraduo- ja r̄sio inžineriniai barjerai. Pastarøjø radionuklidø t̄riniai aktyvumai vandeningame horizonte iðlieka maðai pakitã avairiuose atstumuose nuo r̄sio, kadangi jø pus̄jimo trukm̄s pakankamai didel̄s ( $^{129}I - 1,59 \times 10^7$  metø,  $^{14}C - 5\,730$  metø) ir aktyvumas kinta tik d̄l skiedimosi ir dispersijos vandeningame horizon- te.

Gauta 2005 11 15

Literatūra

1. 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.
2. IAEA. Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities. Results of a co-ordinated research project. Vol. 2: Test cases. IAEA, Vienna, 2004.
3. Sullivan T. M. Disposal Unit Source Term (DUST). Data Input Guide. US Nuclear Regulatory Commission Report NUREG/CR-6041, Brookhaven National Laboratory Report BNL-NUREG-52375. Brookhaven National Laboratory, Upton, New York 11973, 1993.
4. Rood A. S. GWSCREEN: A semi-analytical model for assessment of groundwater pathway from surface or buried contamination. Theory and user's manual, Version 2.0. EGG-GEO-10797, Revision 2. Idaho National Engineering Laboratory, 1994.

Raimondas Kilda, Povilas Poškas, Valdas Ragaišis

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

1. METHODOLOGY OF THE ANALYSIS AND THE RESULTS FOR THE CASE OF HOMOGENEOUS DISTRIBUTION OF WASTES

Summary

The safety assessment of near-surface repository usually assumes a homogeneous distribution of activity within the vaults of the repository. However, in some cases there is radioactive waste, e. g., disused sealed sources, which should result in the so-called "hot spots" when disposed off with other radioactive waste. An uneven distribution of waste activity is obtained in this case.

The impact of heterogeneities in source distribution on radionuclide releases from near-surface repository into groundwater is analysed. The conditions of the application of a homogeneous distribution of radioactive waste are revealed. The assessment has been performed using the ISAM methodology recommended by IAEA (International Atomic Energy Agency) for the safety analysis of a near-surface repository.

A brief description of the repository system of radioactive waste, the scenarios for the radionuclide migration and the developed conceptual models are presented. The calculations have been carried out using the DUST and GWSCREEN computer codes designed for simulation of radionuclide transport. In the first part of a series of articles, the description of the ISAM methodology and its application for the analysis of heterogeneity are presented. The modelling results for the case of homogeneous distribution of radioactive waste in the repository are considered.

Key words: near surface repository, radioactive waste, homogeneous distribution, heterogeneous distribution, ISAM methodology, radionuclide migration

Ðaëi i íããñ Èëëää, í íãëëãñ í íøëãñ, Åãëããñ Ðãããëøëñ

ÁÍ ÁËËÇ ÁËËËÍ Èß ÅÅÖÄÏ ÄÄÍ Í Í ÑÒË ÐÄÄËÏ ÄËÖËÁÍ ÕÕ Í ÕÕÏ ÄÏ Ä Í Á Ì ÈÄÐÄÖËÐ ÐÄÄËÏ Í ÖËËËÄÍ Ä ËÇ Í ÐËÏ Í ÄÄÐÓÍ Í ÑÒÍ Í ÄÏ Í Í ÁËËËÍ ÈËÄ Ä Í Í ÄÇÄÌ Í ÕÄ ÄÏ ÄÕ

1. Í ÄÕÏ ÄÏ ÈÏ ÄËß Í ÖÄÍ ÈË È ÐÄÇÖËÕÖÄÕÜ Ä ÑËÖ×ÄÄ ÄÏ Í Í ÄÄÍ Í Í ÄÏ ÐÄÑÍ ÐÄÄÄËÁ Èß Í ÕÕÏ ÄÏ Ä

Ðãçþìà

Í ðë áí äëëçã áãçííãñíñòë ðããëíãëðëáíõõ íõõíáíã íãõ÷íí ðããííëããããõñý, ÷õí èð äëðëáííñõü á ííãëëüíëëã ðãñíðãããëáà ðããíííãõíí. Íáíãëí íãðããëí ãñððã÷ãõñý è òãëëã ðããëíãëðëáíüã íõõíãü, èãë, íãíðëíãð, ëñííëüçíãáííüã çãëðõüüã

ėnėi +i eėe daaei eėeó+ai eý, ei oi dúa i de  
 çai oi i ai eè n adaei e i ooi aai e i i oi æaaþo dae  
 i açúaaai úa „ai dy+ea oi +eé“, o. a. i ooi au yaeyþony  
 aaoadi aai i úi e.

Dañni i ooi i aeeyi ea aaoadi aai i i ai  
 dañi daaaeai ey daaei aeoeai úo i ooi ai a i a i eadaoeþ  
 daaei i oeēeai a eç i dei i aadi i noi i ai i i aeēui eea a  
 i i açai i úa ai au e au yaeeai i, i de eaeēo oñei aeýo  
 i i aeii i i eðauñý i a ai i oúai ea i ai i i aai i i i  
 dañi daaaeai eē aeoeai i ñe i ooi ai a. Ai aeēç  
 i ñoú añdaeeai n eñi i euci aai eai i aoi ai ei aee ISAM  
 (EÑAI), ei oi dõþ I AĀĀŌÝ (I aeeoi adi ai ay  
 aai ooda aoi i i e ýi adae) daei i ai aoo i de ai aeēç a  
 aaci i ani i ñe i dei i aadi i noi úo i i aeēui eei a.

Eðaei i i eñai a ñeñoi a çai oi i ai ey  
 daaei aeoeai úo i ooi ai a, i daañoaaeeai úo ñoi adēe  
 i eadaoeē daaei i oeēeai a, a oaeæa daçdaai oai i úa  
 ei i oai ooeēui úa i i aeēe. Dañ+, oú i di eçai aeēēñi n  
 i i i i úþ ei i i úþ oadi úo i di adai i DUST e  
 GWSCREEN, i daai açi a+ai i úo aeý i i aeēdi aai ey  
 i adai i ña daaei i oeēeai a. A i añoi ýu ae ñooua aaoñý  
 eðaei a i i eñai ea i aoi ai ei aee ISAM e a,  
 i dei ai ai ey e ai aeēç aaoadi aai i i ñe i ooi ai a.  
 Oaeæa i deai ayoný daçoeúoou i i aeēdi aai ey  
 i eadaoeē daaei i oeēeai a a ñeo+aa ai i i aai i i ai  
 dañi daaaeai ey aeoeai i ñe i ooi ai a a i i aeēui eea.

**Eep+aaúá ñei aa:** i dei i aadi i noi úe i i aeēui eē,  
 daaei aeoeai úa i ooi au, ai i i aai i i a e aaoadi aai i i a  
 dañi daaaeai ea, i aoi ai ei aeý ISAM, i eadaoeý  
 daaei i oeēeai a