

Radionuklidų sklaidos iš numatomo Lietuvoje paviršinio radioaktyviųjų atliekų kapinyno vertinimas

2. Apvardų aikštelė

Raimondas Kilda,

Povilas Poškas,

Valdas Ragaišis,

Dalia Grigaliūnienė

*Lietuvos energetikos institutas,
Branduolinės inžinerijos problemų
laboratorija, Breslaujos g. 3,
LT-44403 Kaunas
El. paštas: raimond@mail.lei.lt*

Trumpaamžėms mažo ir vidutinio aktyvumo radioaktyviosioms atliekoms laidoti Lietuvoje numatyta įrengti paviršinį kapinyną. Jau parengta konceptuali paviršinio kapinyno konstrukcija ir pagal geologinių inžinerinių tyrimų rezultatus parinktos trys alternatyvios aikštelės: Galilaukės, Apvardų ir Stabatiškės vietovėse. Siekiant įvertinti galimą tiesioginį ir netiesioginį kapinyno poveikį gyventojams ir gamtai bei nustatyti, ar planuojama veikla leistina pasirinktoje vietoje, būtina įvertinti poveikį aplinkai. Vienas poveikio aplinkai vertinimo etapų yra potencialios radionuklidų sklaidos iš kapinyno analizė ir galimos jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio įvertinimas. Radionuklidų sklaidos iš paviršinio radioaktyviųjų atliekų kapinyno, jei jis būtų įrengtas Galilaukės aikštelėje, įvertinimas pateiktas pirmajame publikacijų serijos „Radionuklidų sklaidos iš numatomo Lietuvoje paviršinio radioaktyviųjų atliekų kapinyno vertinimas“ straipsnyje [1].

Šiame darbe pateikiamas radionuklidų sklaidos iš numatomo kapinyno įvertinimas Apvardų aikštei bei vertinimų neapibrėžtumų analizė. Radionuklidų sklaidai įvertinti buvo sudaryti du scenarijai ir analizuotos dvi apšvitos trasa: radionuklidų patekimas į greta kapinyno įrengtą gręžinį, iš kurio vietiniai gyventojai vartotų geriamą vandenį, ir radionuklidų patekimas į Apvardų ežerą, kurio vandenį vietiniai ūkininkai vartotų kasdienėms reikmėms. Po konservatyvių vertinimų gauti rezultatai parodė, kad potencialios radionuklidų sklaidos poveikis neviršija radiacinės saugos apribojimų, nustatytų Lietuvos Respublikos normatyviniuose dokumentuose. Didžiausias apšvitos dozių vertes sąlygoja ^{14}C radionuklidas.

Raktažodžiai: paviršinis kapinynas, Apvardų aikštelė, radionuklidų sklaida, gyventojų apšvita

1. ĮVADAS

Ignalinos AE eksploatavimo ir eksploatavimo nutraukimo metu susidariusioms mažo ir vidutinio aktyvumo radioaktyviosioms atliekoms palaidoti numatoma pastatyti paviršinį kapinyną. 2002 m. buvo parengtas paviršinio kapinyno konceptualus projektas [2].

Pagal atliktus geologinius inžinerinius tyrimus buvo nustatyta, kad šiaurės–rytų Lietuvos teritorija (taip pat Ignalinos AE apylinkės) galėtų tikti paviršinio kapinyno statybai. Buvo parinktos trys alternatyvios aikštelės: Galilaukės, Apvardų ir Stabatiškės vietovėse, geriausiai atitinkančios topografinius, geologinius bei hidrogeologinius reikalavimus kapinyno aikštei ir pasižyminčios tokiais privalumais, kaip netolimas atstumas iki Ignalinos AE ir palankios socialinės ekonominės sąlygos.

Siekiant įvertinti galimą tiesioginį ir netiesioginį kapinyno poveikį gyventojams ir gamtai, sumažinti galimą neigiamą poveikį ir nustatyti, ar numatoma veikla leistina pasirinktoje vietoje, įvertinamas poveikis aplinkai. Vienas poveikio aplinkai vertinimo etapų yra galimos radionuklidų sklaidos iš kapinyno analizė ir jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio įvertinimas. Radionuklidų sklaida dėl natūralios ar priešlaikinės kapinyno

inžinerinių barjerų degradacijos gali būti reikšminga radionuklidų sklaidos ir žmonių apšvitos trasa. Radionuklidų sklaidos iš paviršinio radioaktyviųjų atliekų kapinyno, jei jis būtų įrengtas Galilaukės aikštelėje, įvertinimas pateiktas pirmajame publikacijų serijos straipsnyje [1]. Šiame darbe analizuojama radionuklidų sklaida iš kapinyno, kuris būtų įrengtas Apvardų aikštelėje.

2. VERTINIMO METODOLOGIJA

Numatomo kapinyno sauga, analogiškai Galilaukės aikštelės atvežiui, įvertinta pagal TATENA parengtą paviršinių radioaktyviųjų atliekų kapinynų saugos vertinimo metodologiją ISAM (abreviatūra iš pavadinimo anglų k.: Improvement of Safety Assessment Methodologies for Near Surface Radioactive Waste Disposal Facilities) [3, 4], kuri apima šiuos pagrindinius etapus: 1) uždavinio formulavimą; 2) laidojimo sistemos apibūdinimą; 3) radionuklidų sklaidos scenarijų sudarymą ir pagrindimą; 4) konceptualių modelių sudarymą; 5) matematinį modelį ir skaičiavimus; 6) rezultatų analizę; 7) patikimumo pagrindimą (neapibrėžčių analizę). Nurodytų metodologinių nuostatų buvo laikomasi vertinant galimą radionuklidų sklaidą iš paviršinio kapinyno vandens keliu ir šios sklaidos sąlygotą jonizuojančiosios

spinduliuotės poveikį aplinkos komponentams, jei kapinynas būtų įrengtas Apvardų aikštelėje.

3. UŽDAVINIO FORMULAVIMAS

Šiame straipsnyje pateiktos analizės tikslas – galimos radionuklidų sklaidos vandens keliu bei jos sąlygojamos gyventojų apšvitos po kapinyno uždarymo įvertinimas, atsižvelgiant į numatomą laidoti radioaktyviųjų atliekų charakteristikas, conceptualią paviršinio kapinyno konstrukciją bei Apvardų vietovės geologinius-hidrogeologinius ypatumus.

Radiacinės saugos kriterijus – kritinės gyventojų grupės nario metinė efektinė apšvitos dozė, kuri turi būti ne didesnė už apribotą dozę – 0,2 mSv per metus [5].

Analizuojamas kapinyno raidos laikotarpis, apimantis kapinyno aktyvią (100 metų) ir pasyvią (200 metų) institucinę priežiūrą bei vėlesnį laikotarpį, kurio metu būtų galimybė ilgaamžiams radionuklidams patekti į aplinką.

4. LAIDOJIMO SISTEMOS APIBŪDINIMAS

Numatytoms laidoti paviršiniame kapinyne sucementuotoms atliekoms (panaudotos jonų pakaitos dervos, perlitas ir nuosėdos) būdingi šie radionuklidai: trumpaamžiai silpnai sorbuojami ^3H , ^{90}Sr , ^{137}Cs ; trumpaamžis stipriai sorbuojamas ^{241}Pu ; ilgaamžiai silpnai sorbuojami ^{14}C , ^{59}Ni , ^{63}Ni , ^{129}I ir ilgaamžiai stipriai sorbuojami ^{94}Nb , ^{99}Tc , ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{237}Np , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am . Įvertintas bendras cementuotų atliekų aktyvumas yra apie $1,1 \times 10^9$ MBq. Didžiausias indėlis į bendrą aktyvumą tenka: ^{137}Cs (~41%), ^{59}Ni (~10%), ^{63}Ni (~10%), ^{94}Nb (~1,4%), ^3H (~0,3%), ^{14}C (~0,1%).

Kapinyno conceptuali konstrukcija ir inžinerinių barjerų parametrų vertės yra tokios pačios, kaip ir Galilaukės aikštelės atveju [1]. Aeracijos zonos ir vandeningojo sluoksnio (gruntinio vandens sluoksnio) parametrai Apvardų aikštei pateikti lentelėje.

5. RADIONUKLIDŲ SKLAIDOS SCENARIJAI

Radionuklidų sklaidai iš paviršinio kapinyno, įrengto Apvardų aikštelėje, analizuoti tokie patys kapinyno evoliucijos scenarijai, kaip ir Galilaukės aikštelės atveju, t. y. kapinyno *normalios raidos scenarijus* (kai dėl natūralaus betono barjerų senėjimo atsiradusi vandens infiltracija, barjerams yrant, tolygiai didėja iki tam tikro dydžio, kuri sąlygoja molio barjero filtracijos koeficientas) ir *inžinerinių barjerų degradacijos scenarijus* (inžineriniai barjerai visiškai suirę ir neberiboja vandens srauto per kapinyną, o infiltracijos dydį sąlygoja vietinės gamtinės sąlygos, t. y. kritulių kiekis). Priimta, kad tolimo lauko ir biosferos komponentės yra stabilios per visą kapinyno raidos laikotarpį.

Atsižvelgus į kapinyno aplinkos ypatybes, jonizuojančiosios spinduliuotės poveikiui įvertinti pasirinktos tokios gyventojų apšvitos trasos:

Lentelė. Aeracijos zonos ir vandeningojo sluoksnio parametrai Apvardų aikštei

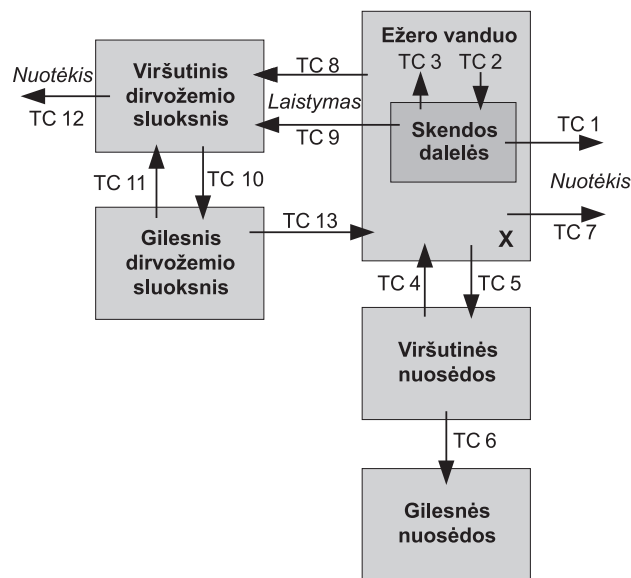
Zona	Medžiaga	Storis m	Sausos medžiagos tankis kg/m ³	Poringumas	Filtracijos koeficientas m/s
Aeracijos zona	Priemolis	3,5	1950	0,25	1×10^{-7}
Vandeningasis sluoksnis	Smėlis	2,2	1900	0,3	$1,2 \times 10^{-5}$

1) Dėl potencialios sklaidos radionuklidų patekimas į greta kapinyno (prie pat tvoros, juosiančios kapinyno teritoriją) įrengtą gręžinį, iš kurio vietiniai gyventojai vartotų geriamą vandenį. Į numatomą kapinyno sanitarinės apsaugos zonos dydį ir galimą ūkinės veiklos joje ribojimą neatsižvelgta. Priimta, kad radionuklidai, pasklidę iš vieno rūšio, patenka į gręžinį, įrengtą 150 m atstumu nuo kapinyno rūšių.

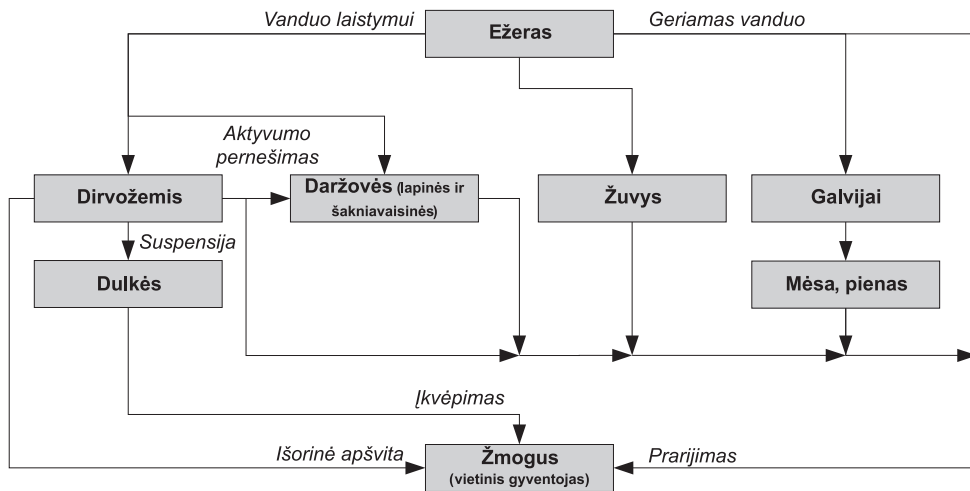
2) Radionuklidų patekimas į Apvardų ežerą, kurio vandenį vietiniai ūkininkai vartotų kasdienėms reikmėms. Priimta, kad iš visų rūšių pasklidę radionuklidai patenka į Apvardų ežerą, esantį už 1 300 m nuo kapinyno rūšių.

6. KONCEPTUALUS MODELIS

Sudarytas radionuklidų sklaidos conceptualus modelis yra analogiškas Galilaukės aikštelės atveju: dėl kritulių infiltracijos išplauti iš atliekų pakuočių radionuklidai difuzijos–advekcijos būdu yra pernešami per kapinyno inžinerinius barjerus (kapinyno dugną) į aeracijos zoną ir jos porose esančiu vandeniu patenka į vandeningąjį sluoksnį. Toliau radionuklidai, advekcijos–dispersijos būdu sklisdami vandeninguoju sluoksniu, pasiekia geriamo vandens gręžinį ar ežerą ir sąlygoja žmonių apšvitą. Apvardų ežero conceptualiame modelyje (žr. 1 pav.) vertinama: radionuklidų kaita tarp ežero vandens ir skendos dalelių (TC2, TC3), kaita tarp viršutinio nuosėdų sluoksnio ir skendos dalelių (TC4, TC5), pernaša iš viršutinio nuosėdų sluoksnio į gilesnes nuosėdas (TC6), radionuklidų pernaša į daržoves ir viršutinį dirvožemio sluoksnį laistant daržą ežero vandeniu (TC8), pernaša iš skendos dalelių į daržoves ir viršutinį dirvožemio sluoksnį laistant daržą ežero vandeniu (TC9), pernaša tarp gilesnio ir viršutinio dirvožemio sluoksnio (TC10, TC11) bei pernaša iš apatinio dirvožemio sluoksnio atgal į ežero vandenį (TC13), taip pat



1 pav. Ežero conceptualus modelis. X žymi radionuklidų patekimo į ežerą gruntiniu vandeniu pradžių



2 pav. Apvardų ežero biosferos modelis

radionuklidų sumažėjimas ežere dėl skendos dalelių kaitos kartu su ežero vandeniu (TC1), dėl ežero vandens kaitos (TC7) ir radionuklidų pasišalinimas iš sistemos dėl laistomos dirvos erozijos (TC12). Apvardų ežero biosferos modelis pateiktas 2 paveiksle.

7. MATEMATINIS MODELIS IR SKAIČIAVIMAI

Radionuklidų sklaida kapinyne ir aeracijos zonoje buvo vertinama sprendžiant vienmatę advekinės ir difuzinės pernašos lygtį, įvertinant sorbciją ir radioaktyviųjų skilimą. Lygčiai spręsti panaudota kompiuterinė programa DUST [6].

Radionuklidų sklaida vandeningajame sluoksnyje buvo vertinama sprendžiant vienmatę advekinės pernašos lygtį, įvertinant sorbcijos, hidrodinaminės dispersijos ir radioaktyviojo skilimo procesus. Lygčiai spręsti panaudota kompiuterinė programa GWSCREEN [7].

Potencialiai gyventojų apšvitai, kurią sąlygotų į Apvardų ežerą patekę radionuklidai, įvertinti buvo panaudota programa AMBER [8]. Šia programa sprendžiama tiesinė diferencialinė lygtis, aprašanti radionuklidų mainus tarp ežero komponentų.

Modeliuojant radionuklidų sklaidą priimtos tokios prielaidos: uždarius kapinyną, radioaktyviųjų atliekų pakuočių ir užpildo poros yra visiškai prisotintos vandeniu; radionuklidai yra visiškai ištirpę porų vandenyje ir tolygiai pasiskirstę rūsyje, radionuklidų tirpimas vandenyje neribojamas; yra nusistovėjusi pusiausvyra tarp radionuklidų tūrinio aktyvumo skystoje fazėje (vandenyje) ir savitojo aktyvumo kietoje (absorbuojančioje medžiagoje) fazėje, o drėgmės kiekis, difuzijos, hidrodinaminės dispersijos ir sorbcijos koeficientai – pastovūs; vandeningajame sluoksnyje kapinyno normalios raidos scenarijuje ir inžinerinių barjerų degradacijos scenarijuje, analizuojant radionuklidų patekimą į Apvardų ežerą, vertinama tik vienmatė (išilginė) dispersija.

8. RADIONUKLIDŲ SKLAIDOS VERTINIMO REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ

8.1. Kapinyno normalios raidos scenarijus

Išanalizavus atliekose esančių radionuklidų sklaidą kapinyno zonoje bei jo aplinkoje, nustatyta, kad tik 12 iš jų (3H , ^{14}C , ^{59}Ni , ^{94}Nb , ^{99}Tc , ^{129}I , ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{237}Np , ^{239}Pu ir ^{240}Pu) gruntiniu vandeniu pasiektų biosferos zoną. Todėl vertinta tik šių radionu-

klidų sąlygojama efektinė dozė, kai apšvitos trasos – gręžinys ir Apvardų ežeras. Apvardų ežero atveju vertinta suminė vietos gyventojų metinė efektinė dozė dėl: išorinės apšvitos, sąlygojamos užteršto žemės sklypo, ir vidinės apšvitos, kurią sąlygoja įkvėptos užteršto dirvožemio dulės (dirbant darže), geriamas ežero vanduo, ežero pakrantėje besiganančių galvijų mėsos ir pieno vartojimas, ežero vandeniu laistomų daržovių vartojimas bei ežere pagautos žuvis vartojimas. Įvertinimo rezultatai pateikti 3 ir 4 pav. Kaip matyti iš rezultatų, potencialiai didžiausią apšvitą sąlygotų ^{14}C radionuklidai. Maksimali apšvita gręžinio atveju tikėtina praėjus maždaug 12–14 tūkstančių metų po kapinyno uždarymo ir būtų daugiau nei 10 kartų mažesnė už apribotąją dozę (0,2 mSv). Apvardų ežero atveju maksimali apšvita tikėtina praėjus maždaug 17–25 tūkstančiams metų po kapinyno uždarymo ir būtų daugiau kaip 100 kartų mažesnė už apribotąją dozę. Kitų radionuklidų sąlygojama apšvita būtų dar mažesnė.

8.2. Inžinerinių barjerų degradacijos scenarijus

Vertintų radionuklidų sąlygotos efektinės dozės kaita Apvardų aikštei, kai apšvitos trasa – gręžinys, įrengtas šalia kapinyno, parodyta 5 pav. Kaip matyti iš rezultatų, potenciali apšvita pasiektų maksimalias reikšmes – iki 0,18 mSv per metus, praėjus 3600–4000 metų po kapinyno uždarymo, o tai sudarytų apie 20% mažesnę metinę dozę už apribotąją – 0,2 mSv.

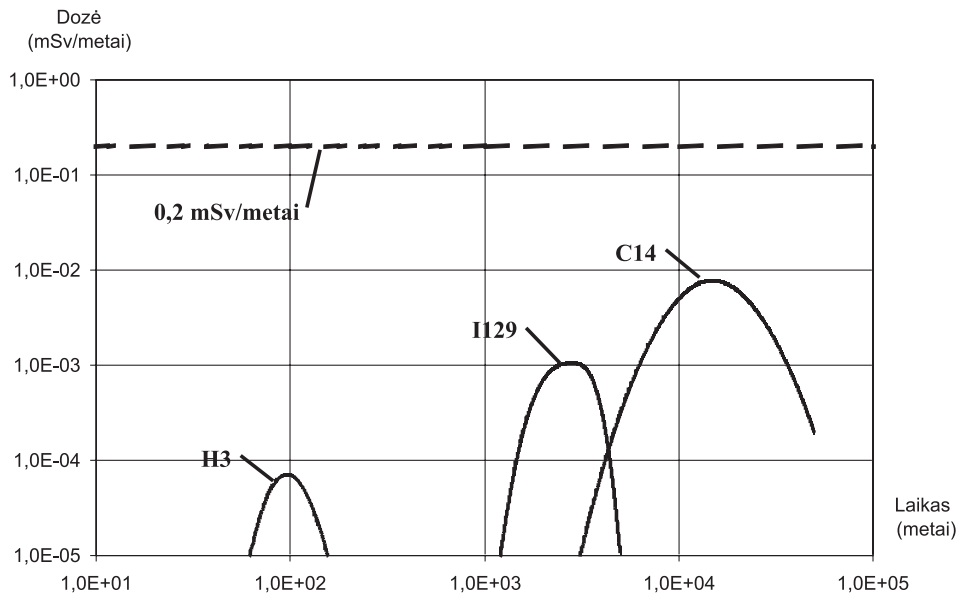
Vertintų radionuklidų sąlygotos efektinės dozės kaita Apvardų aikštei, kai apšvitos trasa yra Apvardų ežeras, parodyta 6 pav. Šiuo atveju potenciali apšvita būtų 8 kartus mažesnė už apribotąją dozę. Taigi Apvardų aikštelės atveju apribotoji dozė nebūtų viršyta.

9. NEAPIBRĖŽČIŲ ANALIZĖ

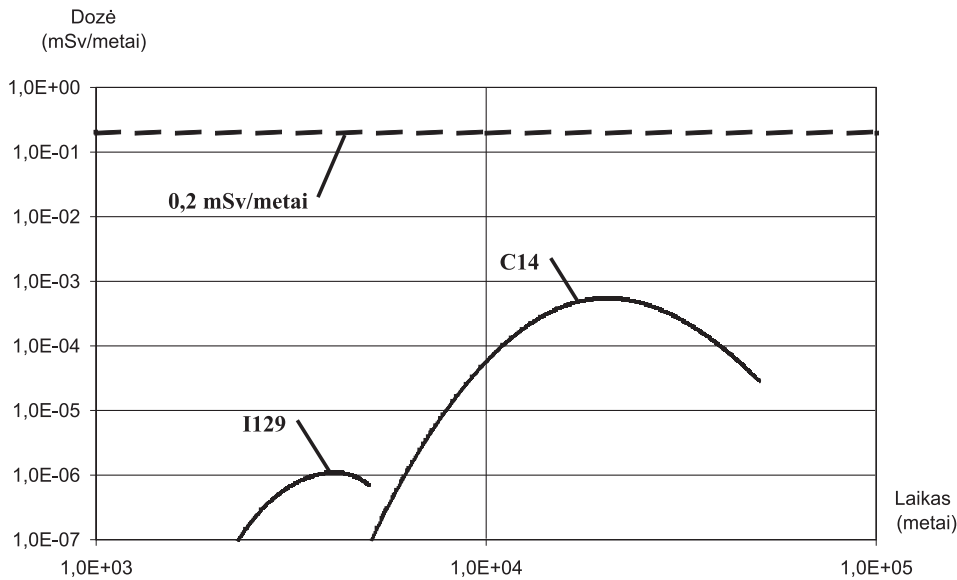
Neapibrėžtys, turinčios įtaką poveikio vertinimams, skirstomos į šias pagrindines grupes [3]: scenarijų neapibrėžtys; modelių neapibrėžtys; parametrų neapibrėžtys.

9.1. Scenarijų neapibrėžtys

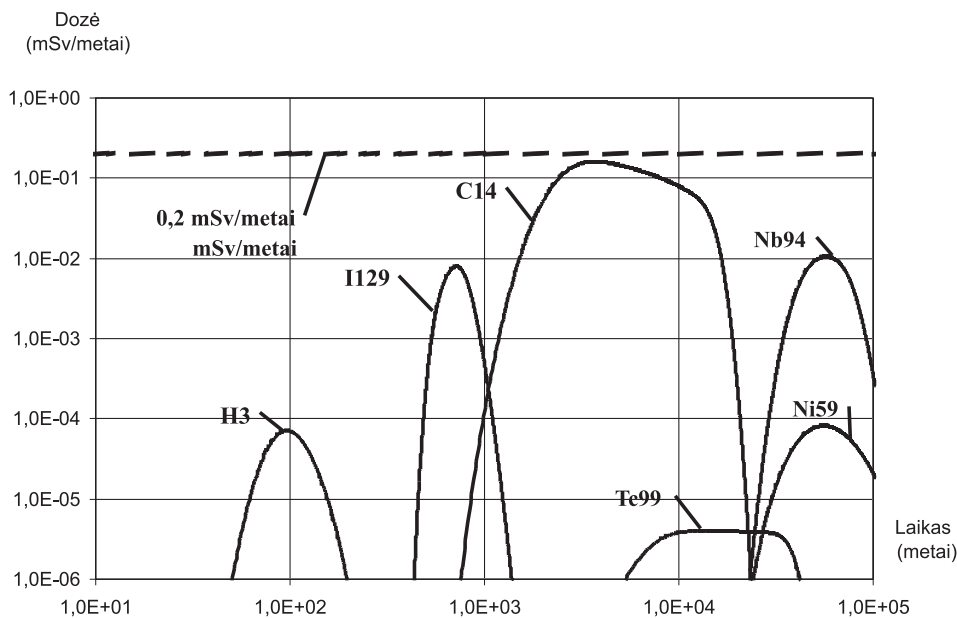
Apvardų aikštei buvo išanalizuoti du kapinyno galimos evoliucijos scenarijai – labiau tikėtinas kapinyno normalios raidos ir mažiau tikėtinas, konservatyvus kapinyno inžinerinių barjerų degradacijos scenarijus. Abu scenarijai konservatyviai vertina



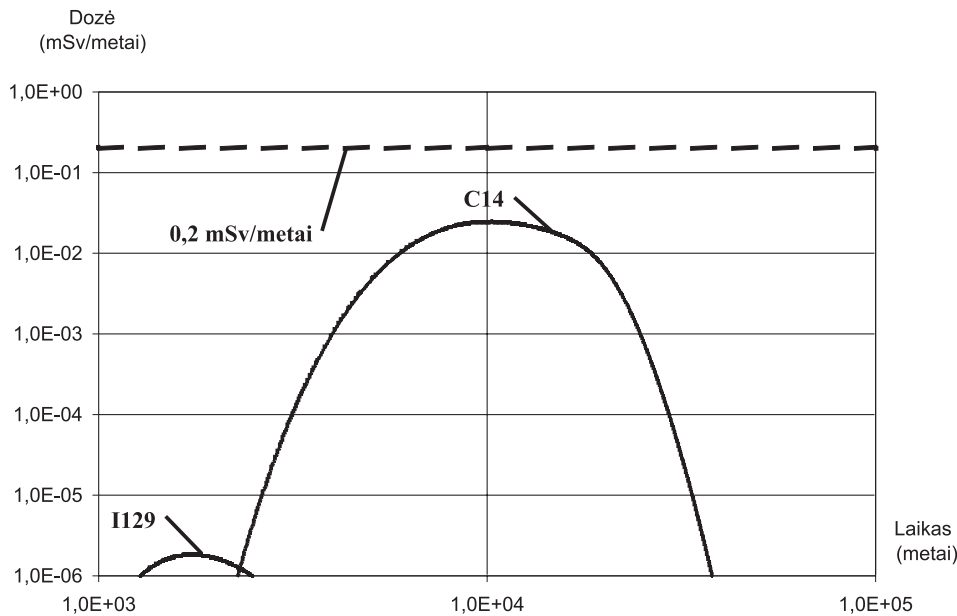
3 pav. Radionuklidų sklaidos sąlygotos efektinės dozės kaita pagal normalios raidos scenarijų, kai užterštas gruntinis vanduo patenka į gręžinį, įrengtą šalia kapinyno



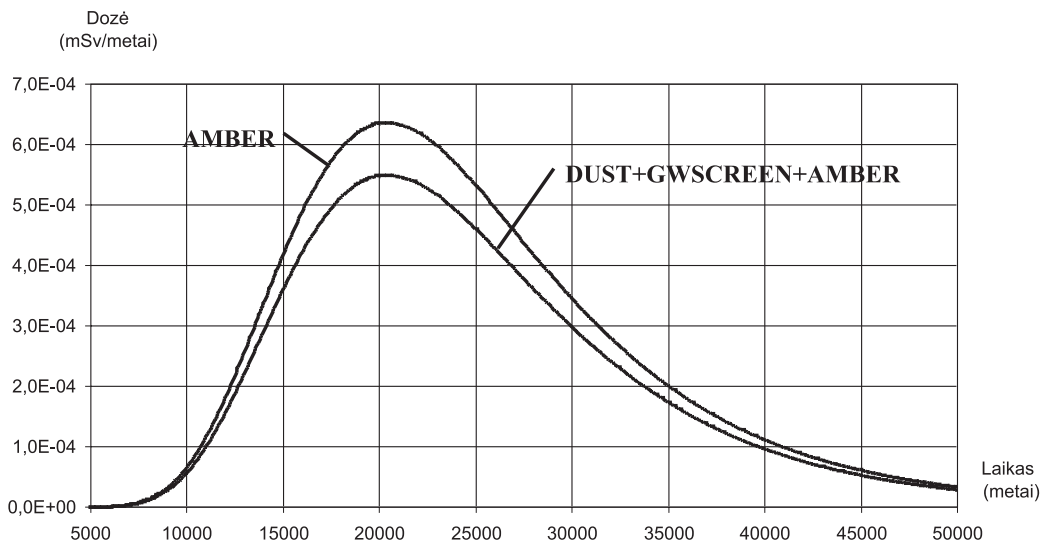
4 pav. Radionuklidų sklaidos sąlygotos efektinės dozės kaita pagal normalios raidos scenarijų, kai užterštas gruntinis vanduo patenka į Apvardų ežerą



5 pav. Radionuklidų sklaidos sąlygotos efektinės dozės kaita pagal inžinerinių barjerų degradacijos scenarijų, kai užterštas gruntinis vanduo patenka į gręžinį



6 pav. Radionuklidų sklaidos sąlygotos efektinės dozės kaita pagal inžinerinių barjerų degradacijos scenarijų, kai užterštas gruntinis vanduo patenka į Apvardų ežerą



7 pav. ^{14}C sklaidos sąlygotos efektinės dozės kaita pagal normalios raidos scenarijų, kai užterštas gruntinis vanduo patenka į Apvardų ežerą, vertinant radionuklidų sklaidą tik AMBER programa, ir kai radionuklidų sklaida atskirose komponentėse buvo skaičiuojama skirtingomis programomis – DUST, GWSCREEN ir AMBER

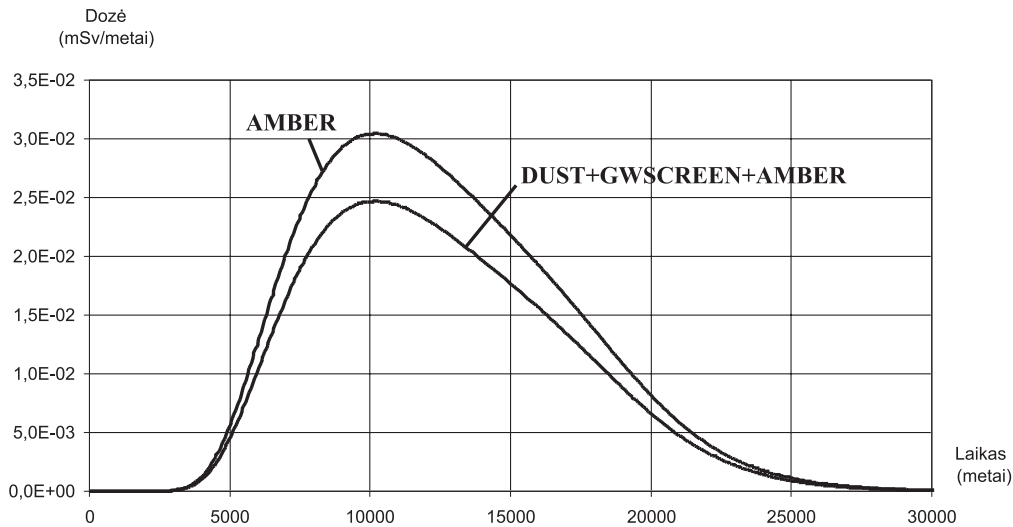
natūralią betoninių barjerų degradaciją. Laikyta, kad per 300 metų šie barjerai visiškai suyra ir vandens tekėjimo per kapinyną neberiboją. Kapinyno inžinerinių barjerų degradacijos scenarijaus atveju papildomai įvertinama tai, kad pasibaigus numatytai institucinei priežiūrai, dėl neprognozuojamų gamtinių reiškinių ar žmogaus veiklos, kapinyno inžineriniai barjerai gali būti visiškai suardyti anksčiau, negu veikiant natūraliems gamtiniams procesams. Šio scenarijaus rezultatai atspindi po 300 metų po kapinyno uždarymo visai suardyto kapinyno poveikį aplinkai, neanalizuojant priešasčių, galėjusių paveikti kapinyno inžinerinius barjerus. Kokią įtaką kapinyno evoliucijos neapibrėžtys turi įvertintoms dozėms, matyti palyginus 3 ir 5 bei 4 ir 6 paveikslus. Kaip matyti, maksimalios dozių reikšmės gali skirtis daugiau kaip 10 kartų, tačiau apribotosios dozės reikšmė nevisijama.

9.2. Modelių neapibrėžtys

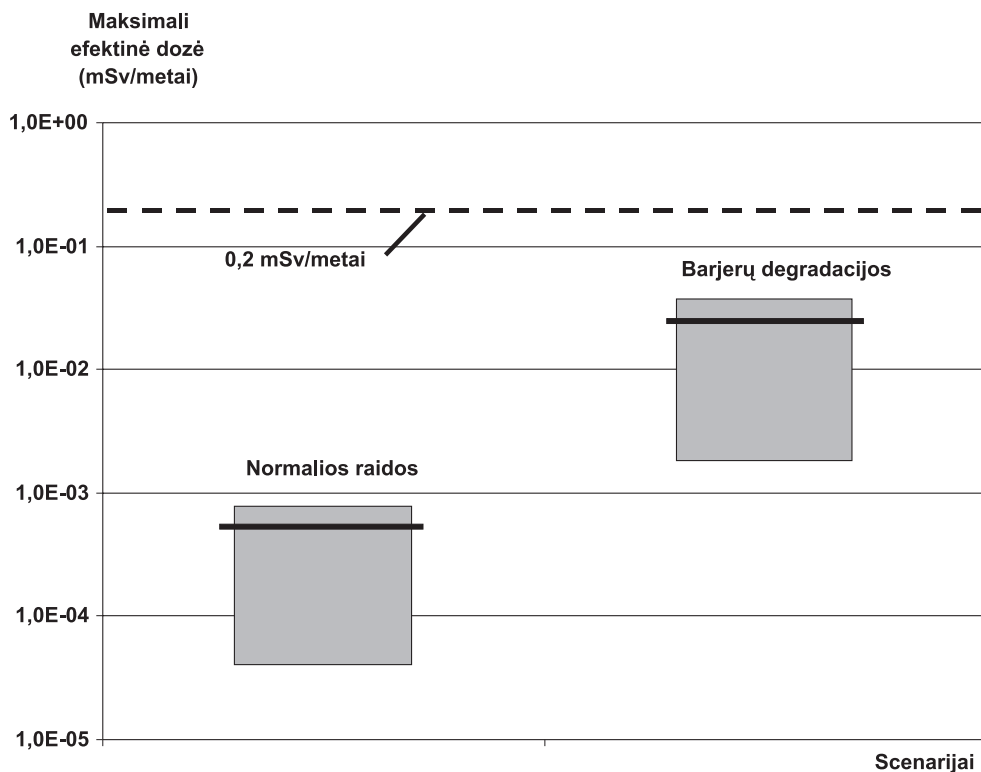
Vertinant radionuklidų sklaidos modelių neapibrėžtis, reikia pažymėti prielaidų, kuriomis remtasi sudarant modelius, konservatyvumą. Konservatyviai buvo vertintas palaidotų radioak-

tyviųjų atliekų aktyvumas, radioaktyviųjų atliekų pakuotė, kaip papildomas radionuklidų sklaidą ribojantis barjeras, nevertinta. Nevertinta kritulių infiltracijos per kapinyno barjerus ir kapinyno užpildymo vandeniu (išotino) dinamika. Aeracijos zonoje ir vandeningajame sluoksnyje dauguma atvejų vertinta tik viena (išilginė) dispersija; konservatyvumo lygis sumažintas ir atsižvelgta į skersinę dispersiją tik inžinerinių barjerų degradavimo scenarijuje, kai apšvitos trasa – grėžinys. Dėl įvertinimuose naudotų prielaidų konservatyvumo radionuklidų sklaidos iš kapinyno rezultatai taip pat laikytini konservatyviais (sklaida pervertinta). Radionuklidų sklaidos pervertinimas sąlygoja ir galimo jų poveikio aplinkai (jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos) pervertinimą.

Vertinant naudotų kompiuterinių programų skaičiavimo neapibrėžtis buvo analizuojama jų įtaka ^{14}C radionuklido sklaidai Apvardų aikštelės aplinkoje. Naudotų kompiuterinių programų skaičiavimo neapibrėžtys buvo įvertintos radionuklidų pernaša kapinyno poveikio zonose modeliuojant skirtingais programų paketais. Pirmu atveju poveikis aplinkai buvo



8 pav. ^{14}C sklaidos sąlygotos efektinės dozės kaita pagal inžinerinių barjerų degradacijos scenarijų, kai užterštas gruntinis vanduo patenka į Apvardų ežerą, vertinant radionuklidų sklaidą tik AMBER programa, ir kai radionuklidų sklaida atskirose komponentėse buvo skaičiuojama skirtingomis programomis – DUST, GWSCREEN ir AMBER



9 pav. ^{14}C radionuklido sklaidos sąlygotos maksimalios apšvitos dozės reikšmės priklausomybė nuo Apvardų ežero biosferos modelio parametru neapibrėžties esant 95% pasikiojimo intervalo riboms kapinyno normalios raidos ir inžinerinių barjerų degradacijos scenarijų atvejais. Horizontaliais brūkšniais pažymėtos dozių reikšmės, apskaičiuotos naudojant tikėtinausias parametru reikšmes

įvertintas naudojant programas DUST (radionuklidų sklaidai kapinyne ir aeracijos zonose apskaičiuoti), GWSCREEN (radionuklidų sklaidai vandeninguoju sluoksniu apskaičiuoti) ir AMBER (Apvardų ežero biosferos modeliui). Antru atveju radionuklidų sklaida kapinyne bei jo aplinkoje ir poveikis žmogui įvertintas naudojant tik AMBER programą. Palyginus gautus rezultatus pastebima, kad apskaičiuotų dozių skirtumas yra apie 10% normalios raidos scenarijaus atveju (žr. 7 pav.) ir apie 20% – barjerų degradacijos scenarijaus atveju (žr. 8 pav.). Taigi naudotų kompiuterinių programų skaičiavimo neapibrėžtys yra nedidelės.

9.3. Parametru neapibrėžtys

Vertinant radionuklidų sklaidos skaičiavimams naudotų parametru reikšmių neapibrėžtis, taip pat pažymėtinas prielaidų,

kuriomis remtasi parenkant parametrus, konservatyvumas. Pavyzdžiui, aplinkos geosferos filtracijos koeficientų reikšmės parinktos konservatyviai, nors atlikti laboratoriniai matavimai rodo [9], kad filtracijos koeficientų reikšmės gali būti kur kas mažesnės. Parenkant sorbcijos koeficientus buvo priimtos labiausiai tikėtinos jų reikšmės, kurios daugeliu atvejų taip pat yra konservatyvios [10, 11].

Parametru neapibrėžčių įtaka buvo analizuota Apvardų ežero biosferos modeliui. Didžiausias apšvitos dozių reikšmės sąlygoja ^{14}C radionuklidas. Kitų radionuklidų poveikis aplinkai yra gerokai mažesnis (sudaro tik procento dalis suminėje dozėje). Todėl vertinant Apvardų ežero biosferos modelio parametru neapibrėžčių įtaką, buvo analizuojama jų įtaka ^{14}C radionuklido didžiausios apšvitos dozės reikšmei. Iš viso pagal atitinkamas tikimybinio skirstinio funkcijas buvo įvairuojama apie 50 pa-

rametų. Daugumai vertintų parametų dėl duomenų trūkumo buvo priimta trikampio tikimybinio skirstinio funkcija.

^{14}C radionuklido sklaidos sąlygotos maksimalios apšvitos dozės reikšmės priklausomybė nuo modelio parametų neapibrėžties parodyta 9 pav. Normalios eigos scenarijaus atveju įvertinta ^{14}C radionuklido sąlygota didžiausia efektinė dozė gali kisti nuo $4,0 \times 10^{-5}$ iki $7,3 \times 10^{-4}$ mSv per metus (naudojant tikėtinausias parametų reikšmes dozės reikšmė – apie $5,5 \times 10^{-4}$ mSv per metus). Barjerų degradacijos scenarijaus atveju įvertinta ^{14}C radionuklido sąlygota maksimali efektinė dozė gali kisti nuo $1,8 \times 10^{-3}$ iki $3,6 \times 10^{-2}$ mSv per metus (naudojant tikėtinausias parametų reikšmes dozės reikšmė – apie $2,5 \times 10^{-2}$ mSv per metus).

10. IŠVADOS

Atlikus potencialios radionuklidų sklaidos vandens keliu iš numatomo paviršinio radioaktyviųjų atliekų kapinyno Apvardų aikštelėje analizę galima padaryti šias išvadas:

1. Radionuklidų sklaidos iš kapinyno sąlygotos metinės efektinės dozės reikšmės normalios kapinyno raidos scenarijaus atveju yra apie 9×10^{-3} mSv, kai apšvitos trasa – grėžinys, ir apie $6,2 \times 10^{-4}$ mSv, kai apšvitos trasa – ežeras, ir apribotosios dozės reikšmės (0,2 mSv per metus) neviršija.

2. Radionuklidų sklaidos iš kapinyno sąlygotos metinės efektinės dozės reikšmės inžinerinių barjerų degradavimo atveju yra apie 0,18 mSv, kai apšvitos trasa – grėžinys, ir apie 0,025 mSv, kai apšvitos trasa – ežeras, ir apribotosios dozės reikšmės neviršija.

3. Didžiausias apšvitos dozių reikšmes sąlygoja ^{14}C radionuklidas; kitų radionuklidų dalis suminėje dozėje yra kelis kartus mažesnė.

4. Naudotų kompiuterinių programų skaičiavimo neapibrėžtys yra nedidelės. Įvertinus ^{14}C sklaidą skirtingomis kompiuterinėmis programomis apskaičiuotų dozių skirtumas yra apie 10% normalios raidos scenarijaus atveju ir apie 20% barjerų degradacijos scenarijaus atveju.

5. Dėl parametų neapibrėžčių įtakos nustatytos ^{14}C sąlygotos metinės efektinės dozės reikšmių kitimo ribos: $4,0 \times 10^{-5}$ – $7,3 \times 10^{-4}$ mSv natūralios kapinyno raidos scenarijaus atveju ir $1,8 \times 10^{-3}$ – $3,6 \times 10^{-2}$ mSv kapinyno inžinerinių barjerų degradacijos scenarijaus atveju.

6. Dėl įvertinime naudotų prielaidų konservatyvumo radionuklidų sklaidos iš kapinyno rezultatai taip pat laikytini konservatyviais (sklaida pervertinta); radionuklidų sklaidos pervertinimas sąlygoja ir galimo jų poveikio aplinkai pervertinimą.

Gauta 2007 03 08
Priimta 2008 02 28

Literatūra

1. Kilda R., Poškas P., Ragaišis V. Radionuklidų sklaidos iš numatomo Lietuvoje paviršinio radioaktyviųjų atliekų kapinyno vertinimas. 1. Galilaukės aikštelė // Energetika. 2007. T. 53. Nr. 2. P. 1–7.
2. Reference Design for a Near Surface Repository for Low- and Intermediate-Level Short Lived Radioactive Waste

in Lithuania. SKB-SWECO International-Westinghouse Atom Joint Venture, LT NSR Final Project Report, 2002.

3. 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.
4. Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities. Results of a co-ordinated Research Project. Vol. 2: Test cases. IAEA, Vienna, 2004.
5. Lietuvos higienos norma HN 87:2002 „Radiacinė sauga branduolinės energetikos objektuose“, Žin., 2003, Nr. 15-624.
6. 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.
7. 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.
8. QANTISCI AMBER 4.4 Reference Guide, Scientific Software & Modelling Solutions, Version 1, Enviro Software Solutions, 2002.
9. Mažeika J. ir kt. Preliminariai parinktų aikštelių trumpaamžių mažo ir vidutinio radioaktyvumo atliekų kapinynui aplinkos kompleksiniai tyrimai. GGI ataskaita. Vilnius, 2004.
10. IAEA. Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Temperate Environments (Produced in collaboration with the International Union of Radioecologists). International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, Technical Reports Series No. 364, 1994.
11. Project SAFE. Compilation of Data for Radionuclide Transport Analysis. SKB Report R-01-14, November 2001.

Raimondas Kilda, Povilas Poškas, Valdas Ragaišis,
Dalia Grigaliūnienė

ASSESSMENT OF RADIONUCLIDE MIGRATION FROM THE NEAR-SURFACE REPOSITORY PLANNED IN LITHUANIA

2. APVARDAI SITE

Summary

Lithuania plans to construct a near-surface repository for disposal of short-lived low- and intermediate-level waste. The reference design of the repository has already been prepared. Based on the geological investigations, three preliminary sites were selected. In order to assess the impact of the repository on man and environment and to determine whether the planned activity is safe in the selected site, environmental impact assessment has been performed. Assessment of potential releases of radionuclides by the water pathway and human exposure is part of the environmental impact assessment. Radionuclide releases for the Galilaukė site was evaluated in the first paper from the series "Assessment of Radionuclide Migration from the Near-surface Repository Planned in Lithuania" [1].

This paper presents the modelling of potential radionuclide release from the repository and uncertainty analysis of the results for

the Apvardai site. Two radionuclide migration scenarios were analysed: radionuclide discharge to a well and to Lake Apvardai. It has been demonstrated that the conservatively estimated impact of potential radionuclide migration from the planned repository is below the dose constrain established by the Lithuanian regulations. The biggest impact arises from the radionuclide ^{14}C .

Key words: near-surface repository, Apvardai site, radionuclide migration, public exposure

Раймондас Килда, Повилас Пошкас,
Валдас Рагайшис, Даля Григалиюнене

ОЦЕНКА ПЕРЕНОСА РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ ПЛАНИРУЕМОГО В ЛИТВЕ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО МОГИЛЬНИКА ДЛЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ 2. ПЛОЩАДКА АПВАРДАЙ

Резюме

Для захоронения короткоживущих радиоактивных отходов низкой и средней активности в Литве намечено строительство приповерхностного могильника. Уже подготовлен концептуальный проект

могильника. На основе инженерно-геологических исследований выбраны три предварительные площадки. Для определения приемлемости выбранной площадки для могильника выполняется оценка воздействия на окружающую среду. Оценка потенциального переноса радионуклидов из могильника водным путём и последующего облучения жителей является одной из составных частей оценки воздействия на окружающую среду. Оценка миграции радионуклидов для площадки Галилауке анализируется в первой статье из серии «Оценка переноса радионуклидов из планируемого в Литве приповерхностного могильника для радиоактивных отходов» [1].

В данной статье представлены оценка миграции радионуклидов из планируемого приповерхностного могильника для площадки Апвардай, а также анализ неопределённостей выполненных оценок. Консервативные оценки показали, что воздействие от потенциальной миграции радионуклидов из могильника будет ниже ограниченной дозы, установленной нормативными требованиями Литовской Республики. Наибольший вклад в суммарную дозу вносит радионуклид ^{14}C .

Ключевые слова: приповерхностный могильник, площадка Апвардай, миграция радионуклидов, облучение населения