

GEOLOGINĖS APLINKOS  
TINKAMUMO GILUMINIAM  
RADIOAKTYVIŲJŲ ATLIEKŲ  
ATLIEKYNUI GEOLOGINIŲ  
KRITERIJŲ NUSTATYMAS

SANTRAUKA

# TURINYS

Santrumpos / 3

01. ĮVADAS / 4

02. TATENA IR ES NORMINIŲ DOKUMENTŲ BEI GEROSIOS  
PASAULINĖS PRAKTIKOS ANALIZĖ / 5

03. GEOLOGINIAI TINKAMUMO GA KRITERIJAI / 6

04. GA STABILUMĄ LEMIANTYS KRITERIJAI / 7

05. ATLIEKYNO IZOLIACIJĄ NUO EKOSFEROS LEMIANTYS KRITERIJAI / 10

06. IŠVADOS / 11

Literatūros sąrašas / 12

# SANTRUMPOS

AE	/	Atominė elektrinė
ES	/	Europos Sąjunga
GA	/	Giluminis radioaktyviųjų atliekų atliekynas
LR	/	Lietuvos Respublika
LGT	/	Lietuvos geologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos

NEA	/	Branduolinės energijos agentūra
PGA	/	Paviršiaus grunto virpesiai
RA	/	Radioaktyviosios atliekos
RATA	/	VĮ Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo agentūra
TATENA	/	Tarptautinė atominės energijos agentūra

Šią santrauką parengė VĮ Ignalinos atominė elektrinė pagal Lietuvos geologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos 2021–2022 metais vykdytą projektą „Geologinės aplinkos tinkamumo giluminiamradioaktyviųjų atliekų atliekynui geologinių kriterijų nustatymas“.

# 01 IVADAS

## Apie dokumentą

2021 m. LR Vyriausybės nutarimu buvo patvirtinta 2021–2030 metų branduolinės energetikos objektų eksploatavimo nutraukimo ir radioaktyviųjų atliekų tvarkymo plėtros programa [1].

Tais pačiais metais LR aplinkos ministerija patvirtino strateginį veiklos planą 2021-2023 m., kuriame vienas iš uždavinių – valstybinių geologinių tyrimų, skirtų giluminiam radioaktyviųjų atliekų atliekynui (toliau – GA), atlikimas.

2021–2022 metais Lietuvos geologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos (toliau – LGT) vykdė projektą „Geologinės aplinkos tinkamumo giluminiam radioaktyviųjų atliekų atliekynui geologinių kriterijų nustatymas“ [3], siekiant įgyvendinti GA projekto tikslą galutinai sutvarkyti ilgaamžes radioaktyvias atliekas ir dėl to vykdant GA vietos parinkimo geologinius tyrimus.

Šio LGT vykdyto projekto tikslas buvo sudaryti GA vietos parinkimo kriterijų sąvadą, akcentuojant svarbiausius, neigiamas geologinės aplinkos savybes apibūdinančius, kriterijus.

## Projekto (2021–2022 m.) uždaviniai

- 1 Geologinių duomenų apie potencialiai tinkamus sluoksnius analizė.
- 2 TATENA ir ES norminių dokumentų analizė.
- 3 Gerosios pasaulinės praktikos analizė ir pritaikymas.

## Kriterijų apibrėžimas

Kriterijai – sąlygos, kuriomis gali būti pagrįstas sprendimas ar vertinimas. Kriterijai gali būti kokybiniai ir kiekybiniai, ir turi remtis nustatytais principais ar standartais. Remiantis tarptautine praktika, radioaktyviųjų atliekų tvarkyme kriterijai ir reikalavimai yra nustatomi reguliuojančios institucijos ir gali remtis tam tikru bendresnių principų taikymu.

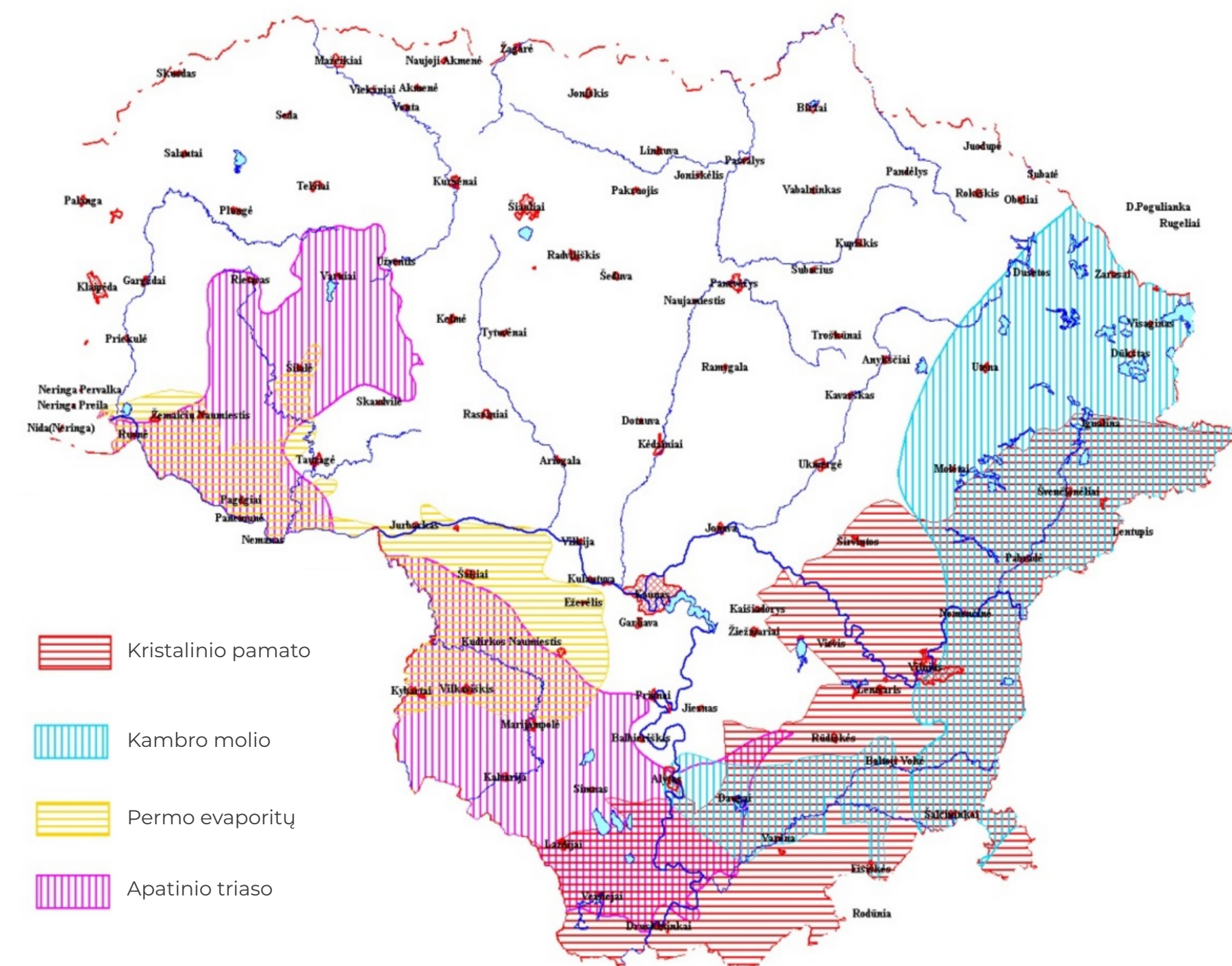
Geologiniai kriterijai apibrėžiami, kaip savybių, procesų ir reiškinių, kurie gali būti identifikuoti, apibūdinti ir įvertinti panaudojant geologinių tyrimų duomenis, visuma. Potencialiai tinkami GA įrengimui geologiniai sluoksniai buvo išskirti 2003 metais vykdant mokslinius – techninius darbus sutarčių su VĮ RATA pagrindu.

Lietuvoje potencialiai tinkamomis GA

įrengimui laikomos kristalinio pamato, apatinio kambro molio, permio evaporitų ir apatinio triaso molio formacijos. Šių uolienu paplitimo, gylio ir storio žemėlapių pagrindu 2020 metais, taikant papildomus kriterijus, buvo išskirti ne

mažesni kaip 10 kv. km plotai, traktuotini, kaip potencialiai tinkami tolimesniems GA tyrimams (iš viso 110 potencialių vietų). Šie plotai tolesnių darbų metu bus analizuojami kaip GA potencialios vietos jų parinkimo tyrimams.

## Potencialiai tinkamų GA įrengimui geologinių formacijų paplitimas, 2023





# 02

## TATENA IR ES NORMINIŲ DOKUMENTŲ BEI GEROSIOS PASAULINĖS PRAKTIKOS ANALIZĖ

### Teisinė aplinka

Su GA įrengimu susiję tarptautiniai dokumentai buvo analizuojami nustatant teritorinius geologinius vietos parinkimo kriterijus Lietuvoje. Šiuos dokumentus galima suskirstyti į keletą dalių. Pirmajai daliai priskiriami TATENA organizacijos tarptautiniai reikalavimai, saugos vadovai, rekomendacijos ir techninės ataskaitos.

TATENA reikalavimuose ir saugos vadovuose skelbiamos nuostatos daugelyje šalių, tarp jų ir Lietuvoje, yra įvairia apimtimi įtrauktos į teisės aktų reikalavimus. Rekomendacijose ir techninėse ataskaitose dažniausiai skelbiama informacija, susijusi su įvairiose šalyse atliktų tyrimų rezultatais, parengtų programų ar koncepcijų pavyzdžiais. Tiek kitų šalių atliktų tyrimų rezultatai, tiek apibendrinančių dokumentų duomenys yra svarbūs, vykdant nacionalinius tyrimus ar rengiant GA koncepcijas. Valstybinių tyrimų metodai turi būti panašūs į kitose šalyse taikomus metodus, o rezultatai turi būti palyginami.

1 Pagrindinis TATENA saugos vadovas GA vietos parinkimo procese yra dokumentas [4], kuriame yra apžvelgiama pasaulinė patirtis, apibrėžiamos pagrindinės atliekų tvarkymo stadijos (veiklos), pateikiamos nuorodos, kaip turi būti laikomasi tarptautinių standartų GA įrengimo procese. Saugos vadove pateikiamos rekomendacijos, apimančios GA vietos aprinkimą, projektavimą, statybą, eksploatavimą ir uždarymą, įskaitant preliminarų saugos vertinimą ir priežiūros procesą. Nurodymuose akcentuojama sauga tiek naudojimo metu, tiek ilgalaikė sauga po GA uždarymo.

2 Pagrindinis ES dokumentas, reglamentuojantis radioaktyviųjų atliekų tvarkymą, yra 2011 m. liepos 19 d. Europos Tarybos direktyva 2011/70/Euratomas, kuria nustatoma panaudoto branduolinio kuro ir kitų radioaktyviųjų atliekų atsakingo ir saugaus tvarkymo Bendrijoje sistema. Įgyvendindama šios direktyvos nuostatas, LR Vyriausybė 2021 m. patvirtino nacionalinę 2021–2030 metų branduolinės energetikos objektų eksploatavimo nutraukimo ir radioaktyviųjų atliekų tvarkymo plėtros programą, kurios pagrindime, vadovaujantis tarptautine praktika, konstatuota, kad vienintelis nagrinėtinas tvarus, visuotinai pripažįstamas ir saugus galutinis

panaudoto branduolinio kuro ir kitų ilgaamžių radioaktyviųjų atliekų sutvarkymo būdas – jų talpinimas į GA.

3 Branduolinės energijos agentūra (NEA) veikia pasaulinės ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacijos (EBPO) sudėtyje. Pastaruoju metu NEA yra publikavusi daug radioaktyviųjų atliekų tvarkymo praktiką apibendrinančių leidinių. Pavyzdžiui, 2020 metais yra publikuotas pasaulinės giluminių atliekynų įrengimo apžvalgos leidinys [5], kuriame apžvelgiama Suomijos, Prancūzijos, Švedijos, JAV, Kinijos, Kanados, Vokietijos, Šveicarijos ir Japonijos GA įrengimo programos. Šias šalis galima laikyti labiausiai pažengusiomis GA įrengimo srityje. Jose yra parinktos GA vietos ir įrengtos požeminės tyrimų laboratorijos. Įvairūs tyrimai visose šiose šalyse iki sprendimo dėl GA vietos priėmimo truko nuo 29 iki 50 metų.

4 Kitas svarbus NEA dokumentas yra Tarptautinis savybių, procesų ir reiškinių sąvadas [6], kuriame vertinami 5 grupės suskirstyti išoriniai veiksniai:

- 1 grupė. Geologiniai veiksniai
- 2 grupė. Atliekų pakuotės veiksniai
- 3 grupė. Atliekyno veiksniai
- 4 grupė. Geosferos veiksniai
- 5 grupė. Biosferos veiksniai

Analizės metu kai kurie 1, 2 ir 4 grupės veiksniai apibūdinantys rodikliai buvo įvardinti, kaip Lietuvos GA įrengimui skirti geologiniai kriterijai.

### Lietuvoje anksčiau vykdyti tyrimai

Remiantis Lietuvos radioaktyviųjų atliekų tvarkymo 2002 m. patvirtinta strategija [7], nuo tų metų buvo pradėtos vertinti galimybės galutinai sutvarkyti panaudotą branduolinį kurą ir ilgaamžes radioaktyvias atliekas (toliau – RA) Lietuvoje. 2003 metais buvo parengta panaudoto branduolinio kuro ir ilgaamžių radioaktyviųjų atliekų galutinio sutvarkymo galimybių įvertinimo programa 2003–2007 m. Didžiąją dalį darbų, skirtų minėtų galimybių vertinimui, sudarė geologiniai tyrimai.

### Programoje 2003-2007 m. laikotarpiu buvo numatyta:

- 1) Parengti metodiką parinkimui geologinės formacijos, tinkamos RA giluminiam atliekynui.
- 2) Parinkti geriausiai ištirtą geologinę formaciją, potencialiai tinkamą giluminio atliekyno įrengimui.
- 3) Tirti alternatyvias geologines formacijas, atlikti modeliavimą ir parinkti tinkamiausią geologinę aplinką įrengti GA.
- 4) Identifikuoti potencialiai tinkamas GA teritorijas ir jas konceptualiai įvertinti aplinkosauginiu požiūriu.
- 5) Sukurti bendrinę GA bei RA galutinio sutvarkymo infrastruktūros koncepciją.

Šių uždavinių įgyvendinimui buvo įvykdyti šie geologinių tyrimų projektai:

- „Geologinės formacijos parinkimas panaudoto branduolinio kuro ir ilgaamžių RA giluminiam kapinynui įrengti“ (2003 m.).
- „Apatinio triaso molio geologinės formacijos tinkamumo įrengti giluminį RA kapinyną apibūdinimas“ (2005 m.).
- „Kristalinio pamato ir alternatyvių formacijų geologinių tinkamumo panaudoto branduolinio kuro ir ilgaamžių RA giluminiam kapinynui įrengti tyrimai“ (2004 m.).
- „Ignalinos AE regiono geologinės aplinkos tinkamumas ilgaamžėms RA laidoti“ (2006).

### Tarptautinis bendradarbiavimas

Vykdam šiuos projektus, buvo aktyviai bendradarbiaujama su Švedijos Branduolinio kuro ir atliekų kompanija (SKB), Švedijos tarptautiniu projektu branduoliniam saugumui (SIP), Belgijos Branduolinių tyrimų centru (SCK-CEN), Šveicarijos radioaktyviųjų atliekų tvarkymo kompanija (NAGRA).

Tarptautinio bendradarbiavimo dėka buvo įgyta patirtis, perimta pažangiausių tyrimų metodika, susipažinta su RA galutinio sutvarkymo koncepcijomis įvairiose Europos šalyse. Tarptautinės patirties įsisavinimui dalyvauta TATENA organizuotuose kursuose bei techniniuose susitikimuose.

## 03 GEOLOGINIAI TINKAMUMO GA KRITERIJAI

### Geologinių tinkamumo kriterijų pagrindimas GA įrengimui

Vykdam projektą buvo atliekama TATENA, NEA ir ES norminių dokumentų ir gerosios pasaulinės praktikos informacijos paieška, analizė ir pritaikymas.

### Aktualios informacijos pagrindą sudarė:

- Gamtinėmis ir laboratorinėmis sąlygomis tiriamų GA atliekynų vietų gerosios praktikos dokumentų analizė.
- Evaporitų geologinių formacijų savybės ir tinkamumas giluminio atliekyno įrengimui.
- Preliminarių parametru tinkamumo Lietuvos teritorijos geologinės sandaros požiūriu vertinimas.
- Molingų formacijų homogeniškumą ir kristalinio pamato formacijos vientisumą apibūdinančių tinkamumo kriterijų parametru apibūdinimą (temperatūrų/šiluminio srauto anomalijų, hidrogeologinių sąlygų ir seismo pavojaus).

Vykdam valstybinius geologinius tyrimus GA įrengimui, 2021 metais buvo nustatyti svarbiausieji GA stabilumą lemiantys geologinės aplinkos GA tinkamumo kriterijai. Šiame atliekyno vietos parinkimo geologinių tyrimų etape nustatyti tik svarbiausi GA stabilumą apibūdinantys geologiniai tinkamumo kriterijai, kurie užkardo visišką giluminio atliekyno sugriuvimą.



## Geologinės aplinkos tinkamumo kriterijų grupės

Geologinės aplinkos tinkamumo kriterijai buvo suskirstyti į dvi pagrindines grupes:

### 1 Pakankamą GA stabilumą lemianti kriterijų grupė:

- Gylis nuo žemės paviršiaus.
- Sluoksnio (formacijos) storis.
- Tektoninis, neotektoninis aktyvumas.
- Seismingumas.
- Terminis režimas.
- Diapyrizmas.
- Vulkanizmas.
- Karstas.
- Gėlo geriamojo požeminio vandens naudojimo intensyvumas.
- Helio ir radono anomalijos požeminiame vandenyje.
- Naudingųjų iškasenų paplitimas.

### 2 Pakankamą fizinę GA izoliaciją nuo ekosferos lemianti kriterijų grupė:

- Uolienų vientisumo pažeidimai.
- Tikėtini geodinaminiai reiškiniai ateityje.
- Sluoksnių laidumas vandeniui ir kt. fluidams.
- Geoterminių išteklių paplitimas
- Geologinis ištirtumas.

# 04

## GA STABILUMĄ LEMIANTYS KRITERIJAI

### 1. Gylis nuo žemės paviršiaus

Vadovaujantis Branduolinės saugos reikalavimais, parenkant GA statybos vietą ir užtikrinant atliekyno stabilumą, vienas svarbiausių reikalavimų yra atliekyno geologinės formacijos gylis nuo žemės paviršiaus, kurį apibūdina atliekyną talpinančio uolienų sluoksnio kraigo slūgsojimo gylis metrais [9]. Tame pačiame dokumente nurodyta, kad atliekynasturi būti įrengtas stabilioje geologinėje formacijoje kelių šimtų metrų gylyje.

Gerosios praktikos pavyzdžiai apibrėžia tokius slūgsojimo gylio parametrus [10]:

- Uolienos, slūgsančios mažesniame nei 200 metrų gylyje nuo žemės paviršiaus, greičiausiai pasižymės didesnėmis skvarbumo savybėmis, lyginant su giliau slūgsančiomis uolienomis.
- Tinkama tokia geologinė aplinka, kurioje plyšiuotos kristalinio pamato uolienos yra dengiamos 200–800 m storio nuosėdine danga su nors vienu mažo laidumo sluoksniu.

Įvertinus gerosios praktikos pavyzdžius, Lietuvos teritorijos geologines sąlygas bei ūkinės veiklos

specifiką, potencialios GA geologinės formacijos kraigo slūgsojimo nuo žemės paviršiaus gylis turi būti ne mažesnis nei 200 metrų. Pagal šį gylio parametą buvo atliktas visų potencialių formacijų tinkamumo vertinimas – išskirtos potencialių formacijų paplitimo ribos, atitinkančios šį kriterijų.

### 2. Sluoksnio (formacijos) storis

TATENA techniniame dokumente [11] pateikiamos rekomendacijos bendriausiems formacijos slūgsojimo gylio ir storio reikalavimams. Remiantis šiuo dokumentu išskirtas bendrasis, būdingas visoms potencialioms geologinėms formacijoms, stabilumo kriterijus – sluoksnio (formacijos) storis. Dokumente akcentuojama, kad labiau plastiškoms uolienos (molingoms ir evaporitinėms formacijoms) atliekyną talpinantis sluoksnis gali būti mažesnio storio negu trapiai besideformuojančių formacijų, pavyzdžiui, kristalinio pamato, granitinėms uolienoms.

Pagal pasaulinius gerosios praktikos pavyzdžius nustatyta, kad visų, išskyrus kristalinio pamato, potencialių formacijų homogeniškos dalies storis

turi būti ne mažesnis nei 50 metrų. Kristalinio pamato formacijai sluoksnio (formacijos) storio kriterijus netaikytinas.

Įvertinus Lietuvos teritorijos geologines sąlygas, nustatyta, kad kristalinio pamato homogeniška dalis slūgso ne sekliu nei 50 m nuo dūlėjimo plutos paviršiaus. Giliau šios ribos kristalinio pamato formacija yra laikoma santykinai homogeniška.

Taikant kristalinio pamato formacijos homogeniškos dalies slūgsojimo ne sekliu nei 50 m nuo kristalinio pamato paviršiaus rodiklį, ši formacijos dalis nuo kristalinio pamato paviršiaus buvo eliminuota, nustatant homogeniškai vienalytę kristalinio pamato formacijos dalį.

Pagal nustatytą formacijų molingos homogeniškos dalies storio, ne mažesnio nei 50 metrų, rodiklį, buvo vykdomas potencialių permio evaporitų, apatinio triaso ir apatinio kambro formacijų tinkamumo vertinimas ir rodiklius atitinkančių formacijų paplitimo ribų nustatymas.

### 3. Tektoninis, neotektoninis aktyvumas

Vadovaujantis TATENA saugos vadovo dokumentu [4], GA įrengimui tinkama geologinė formacija neturi būti paveikta aktyvių geologinių procesų, galinčių pažeisti atliekyno stabilumą, tokių kaip tektoninis ir neotektoninis aktyvumas, žemės drebėjimai, aukštas geoterminis gradientas ir šilumos srautas ir kt.

Todėl atliekyno vietos ir artimiausios aplinkos tektoninis aktyvumas turi būti nagrinėjamas kaip vienas iš rizikos atliekyno stabilumui veiksnių: būtina atsižvelgti į tektoninį stabilumą ir seisminį aktyvumą, kurie gali neigiamai paveikti atliekyno sistemą. Teritorijos įvertinimas tektoninio ir, ypač, seisminio aktyvumo požiūriu, yra bendra geroji tarptautinė praktika.

Lietuvos teritorijoje patikimai nėra nustatytas nei vienas žemės drebėjimas. Surinkti seismologiniai, geologiniai tektoniniai ir geofiziniai duomenys nepatvirtino seismogeninių ir veiksnių lūžių buvimo potencialių formacijų teritorijose, todėl konstatuota, kad visi potencialių geologinių formacijų teritorijose esantys GA plotai yra tinkami ir nėra vienas iš 110 plotų nebuvo eliminuotas pagal tektoninio, neotektoninio aktyvumo kriterijų.

### 4. Seismingumas

Atsižvelgiant į TATENA techninių dokumentų nuostatas [4], teritorijos seismingumas buvo išskirtas kaip vienas iš GA stabilumą lemiančių geologinių tinkamumo kriterijų, kurį apibūdina seisminio pavojingumo parametras.

TATENA dokumente [12] nurodoma, kad

atominiuose objektuose seisminio pavojingumo PGA vertė turi būti prilyginta 0,1 g jeigu seisminio pavojingumo vertinimas nustatė mažesnes PGA vertes.

Šiam parametru nustatyta, kad GA vietoje paviršiaus grunto virpesių reikšmės negali būti didesnė negu 0,1 g.

Visoje Lietuvos teritorijoje paviršiaus grunto virpesių vertės per tūkstantį metų pasikartojamo periodą siekia tik 0,05 g, konstatuota, kad pagal šį kriterijų visos potencialių geologinių formacijų teritorijos yra tinkamos seisminio pavojingumo požiūriu ir nėra vienas iš 110 plotų nebuvo eliminuotas pagal seisminio pavojingumo kriterijų.

### 5. Terminis režimas

Vadovaujantis TATENA saugos vadovo nuostatomis [4], kadangi aukšto radioaktyvumo radioaktyviosios atliekos ir panaudotas branduolinis kuras generuoja aukštą temperatūrą, terminis atliekyno formacijos režimas ir charakteristikos turi būti įvertinti kaip vienas iš geologinės aplinkos tinkamumo GA įrengimui kriterijų. Remiantis anksčiau atliktų tyrimų rezultatais ir literatūros šaltiniais potencialių formacijų temperatūra neturėtų viršyti nustatytų kritinių verčių:

- Kristalinių uolienu  $\geq 20^{\circ}\text{C}$ .
- Apatinio kambro ir apatinio triaso  $\geq 85^{\circ}\text{C}$ .
- Akmens druskos  $\geq 25^{\circ}\text{C}$ .
- Anhidrito  $\geq 100^{\circ}\text{C}$ .

Nei vienas iš 110 plotų nebuvo eliminuotas pagal terminio režimo kriterijų.

### 6. Diapyrizmas

Diapyrizmas – tai geologinė struktūra, sudaryta iš plastiškos medžiagos, kuri stumiama į aplinkines uolienas.

Uolienu savybės vertintos atsižvelgiant į pagrindinius reikalavimus GA saugai, apibendrintus TATENA dokumentuose. Radioaktyviųjų atliekų talpinimo į GA sistema turi garantuoti atliekų izoliaciją, o radionuklidų sklaida turi būti apribota tiek, kad jų potencialus poveikis žmogui ir aplinkai būtų minimalus ir tenkintų bendrus saugos tikslus. Sistema turi apimti atliekų charakteristiką, institucinę kontrolę, inžinerinius ir natūralius barjerus bei specifinius barjerus, susietus su konkrečia atliekyno vietoje [13].

#### *Evaporitų tinkamumo apibendrinimas*

Lietuvos teritorijoje aptinkamos akmens druskos formacija yra neperspektyvi giluminio atliekyno įrengimo požiūriu. Formacijos paplitimas yra itin lokalus, turimi duomenys apie formaciją yra itin mažo patikimumo. Vos iš dviejų gręžinių buvo iškeltas akmens druskos kernas. Be to, aptiktas kiek didesnis kupolas Usėnų apylinkėse yra vienintelis akmens druskos, kaip naudingosios iškasenos, telkinys Lietuvoje.

Lietuvoje aptinkama viršutinio permio anhidrito storumė yra visoje Europoje paplitusio evaporitų baseino dalis. Formacija paplitusi gana dideliame plote ir slūgso pakankamame gylyje (daugiau nei 12 tūkst. kv. km, 150–790 m gylyje).

Daugelyje šalių, pavyzdžiui, JAV, Jungtinė Karalystė, nors atlikta nemažai tyrimų, anhidrito

kaip aplinkos giluminiams RA atliekynui yra atsisakyta. Atsisakymas grindžiamas tuo, kad anhidritogeocheminis stabilumas yra mažesnis už molio ar kristalinių uolienu. Kita priežastis – apsunkinta galimybė prognozuoti anhidrito elgseną ilgalaikiame temperatūriniame poveikyje. Lietuvoje ši formacija turėtų būti laikoma mažai tinkama. Tolesnius anhidrito tyrimus GA įrengimui reikėtų siūlyti vykdyti tik tuo atveju, jei tyrimai parodytų, kad galimybės įrengti atliekyną kitose formacijose yra itin menkos.

### 7. Karstas

Karstas – tai geologinis procesas, vykstantis, kai dėl gipso ar kitų uolienu tirpimo formuojasi požeminės tuštumos, o žemės paviršiuje aptinkamos senos ir atsiranda naujos karstinės formos [14].

Karsto procesas turi būti vertinamas GA įrengimo sąlygų vertinimo metu, nes lemia paviršinių GA sistemos dalių stabilumą. Požeminių tuštumų formavimasis lemia ne tik žemės paviršiaus nestabilumą, bet ir požeminio vandens filtracijos greičio didėjimą sluoksniuose, sudarytuose iš vandenyje tirpių uolienu. Karstas yra vienas iš veiksnių, lemiančių potencialiai tinkamų GA įrengimui sluoksnių (formacijų) parinkimą.

Šiuo požiūriu Lietuvos teritorija jau buvo įvertinta 2002 – 2003 metais. Karstas, lemiantis žemės paviršiaus nestabilumą, yra būdingas šiaurės Lietuvos teritorijai, kur potencialiai tinkamos GA įrengimui formacijos nėra paplitusios. Nagrinėjamo teritorinio vertinimo tinkamo atžvilgiu karsto kriterijus nesąlygoja potencialių formacijų plotų eliminavimo.



## 8. Vulkanizmas

Vulkanizmas – geologinis reiškinys, susijęs su ugnikalnių veikla, kada magma, jau vadinama lava, įsiveržia į žemės paviršių sausumoje, jūrų ar vandenynų dugne. Kartu su lava išmetama ir piroklastinė medžiaga, vulkaninės dujos, vandens garai.

Vulkanizmo procesas turi būti vertinamas GA įrengimosąlygų vertinimometu, nes lemia paviršinių GA sistemos dalių stabilumą. Su ugnikalnio veikla susiję ir žemės drebėjimai, kai iš magmos išsiskyręs didelis dujų kiekis staiga veržiasi į žemės paviršių ir išsprogina užsikišusią ugnikalnio stemplę ar kitą angą, arba kai po gausaus ir greito lavos išsiliejimo ugnikalnio gelmėse įgriūva aukščiau slūgsančios uolienos. Lavos sudėjimas ir išsiveržimas lemia ne tik žemės paviršiaus nestabilumą, bet ir žemės gelmių sandaros bei požeminio vandens sudėties ir judėjimo pakitimus.

Baltijos nuosėdinio baseino Lietuvos teritorijos dalyje 300 milijonus metų nėra nustatyta aktyvaus vulkanizmo reikšinių, todėl vulkanizmo kriterijus nesąlygoja potencialių formacijų plotų eliminavimo.

## 9. Gėlo geriamojo vandens naudojimo intensyvumas

Lietuva yra viena iš nedaugelio pasaulio šalių, kur centralizuotam ir individualiam vandens tiekimui naudojamas tik požeminis vanduo. Paskutiniųjų dešimtmečių statistika rodo, kad vandens sunaudojimas gerokai viršija gyventojų skaičiaus augimą. Pasirenkant plotą GA įrengti, vandentieka iš požeminio vandens išteklių yra rimta priežastis atsižvelgti į apčiuopiamą požeminio vandens išteklius kiekviename preliminariai numatytame GA plote.

NEA akcentuoja [6], kad disponavimas paviršinio ir požeminio vandens ištekliais (vandens paėmimas, dirbtinė mityba, vandens saugyklos žemėsgelmėse, vandens rezervuarai, užtvankos, nuotėkų valymas ir kt.) gali daryti poveikį GA būklei ir saugumui.

Planuojamo GA sistemos stabilumą galintys įtakoti hidrodinaminiai ir požeminio vandens gavybos veiksniai buvo apjungti į vieną gavybos intensyvumo kriterijų. Aprobuotų požeminio vandens vandenviečių išteklių tankis – svarbus kriterijus potencialių GA įrengimui plotų tinkamumui įvertinti. Sąlygine ribine kriterijaus verte nustatoma 3 (kub. m/d) / kv. km, kurią viršijus numatytas plotas laikomas netinkamu GA įrengimui. Iš viso išskirta 16 tokių plotų.

## 10. Helio ir radono anomalijos požeminiame vandenyje

Helis yra indikatorinis elementas, plačiai naudojamas požeminio vandens tyrimuose. Tai lemia unikali jo izotopų charakteristika ir cheminis inertiškumas. Todėl šio elemento anomalijos laikomos pratakų giluminių lūžių indikatoriumi. Radonastaip pat susidaro žemės gelmėse, skylant uranui ir toriui. Didelės radono anomalijos stebimos išilgai aktyvių lūžių zonų ir nustatomos dažniausiai matuojant jo koncentraciją dirvožemio ore. Ypač anomalios radono koncentracijos stebimos įvykus žemės drebėjimams.

Tiek helio, tiek radono sąsaja su lūžių zonomis giluminėse sluoksniuose teoriškai gali būti nustatyta, matuojant jų koncentracijas požeminiame vandenyje arba dirvožemio ore.

Pietvakarių Lietuvoje nustatyta helio anomalijų

zona, kurią dubliuoja ir didelis chloridų kiekis požeminiame vandenyje, rodo kylančią požeminio vandens filtraciją per lūžių zoną, kuri gali neigiamai įtakoti GA stabilumo kriterijus. Tai rodo, kad helio anomalija yra reikšmingas kriterijus ir todėl 4 plotai, pilnai patenkantys į šią anomaliją zoną, laikomi netinkamais GA įrengimui.

## 11. Naudingųjų iškasenų paplitimas

Branduolinės saugos reikalavimai nurodo [9], kad turi būti pasirinkta tokia aikštelė, kurioje yra kaip įmanoma mažiau mineralinių, geoterminių ir kitų naudingųjų iškasenų. Atsižvelgiant į tai išskirtas naudingųjų iškasenų paplitimo kriterijus nustatant, kad jį apibūdina žinomų telkinių prekvartero uolienose parametras. Du potencialūs GA plotai buvo pripažinti netinkamais pagal šį kriterijų.

Vertinant GA sistemos stabilumą svarbu prognozuoti sistemos pažeidimo šachtomis ir gręžiniais galimybę. Akmens druskos atveju stabilumą gali pažeisti ir sluoksnio dirbtinis tirpinimas išgaunant išteklius. Tarp stabilumą lemiančių kriterijų, yra nagrinėjami tik prekvartero sluoksniuose, t. y. didesniame nei 20 m gylyje slūgsantys žemės gelmių ištekliai. GA sistemos stabilumas gali būti pažeistas vykdant tiek tokių išteklių paiešką, tiek žvalgybą, tiek naudojimą. Stabilumo pažeidimai dėl naudingųjų iškasenų yra priskiriami žmogaus veiklos sukeltiems veiksniams [4].

Lietuvoje aptiktus ar žvalgytus giliau slūgsančius išteklius sudaro klintys, dolomitas, akmenų druska, anhidritas, geležies ir retųjų žemių rūdos. Teritorijoje, kur aptinkamos

potencialios formacijos GA įrengimui Lietuvoje šių išteklių dar mažiau. Klinčių ir dolomito telkiniai aptinkami tik šiaurinėje Lietuvos dalyje.

Apatinio triaso ir permo evaporitų formacijų paplitimo teritorijų ribose yra 11 naftos telkinių ir apie 40 įvairiu detalumu ištirtų potencialių angliavandenilių kaupaviečių bei sancaupų, esančių viršutinio kambro Deimenos serijos, apatinio ordoviko bei vidurinio-viršutinio silūro geologinių sistemų sluoksniuose.

Kadangi naftos gavyba vykdoma gręžiniais, išgręžtais iš žemės paviršiuje ploto ribose įrengtų ne didesnių nei 1 ha gavybos aikštelių, iš kurių naftos eksploataciniai gręžiniai įsigręžia į viršutinio kambro Deimenos serijos, apatinio ordoviko bei silūro geologinių sistemų sluoksnius, kertančius visą geologinę storumę iki tikslinių sluoksnių, todėl jų kontūrų projekcijų žemės paviršiuje plotai buvo išeliminuoti iš potencialių formacijų paplitimo teritorijų paviršiuje.

# ATLIEKYNŲ IZOLIACIJĄ NUO EKOSFEROS LEMIANTYS KRITERIJAI

Atliekant duomenų ir informacijos bei gerųjų pasaulinių praktikų analizę GA stabilumą lemiančių kriterijų ir jų parametrų rodiklių nustatymui, buvo surinkta bei susisteminta informacija ir duomenys, kurių pagrindu išskirta keletas GA izoliaciją nuo ekosferos lemiančių kriterijų ir jų rodiklių, kurie toliau bus nustatomi ir taikomi plotų vertinimui bei pildomi kitais atliekyno izoliaciją nuo ekosferos lemiančiais kriterijais.

## 1. Uolienų vientisumo pažeidimai

GA potencialiai tinkamų formacijų paplitimo ribose pagal duomenų pakankamumą ir tyrimų metodų patikimumą buvo išskirti 2-jų tipų lūžiai [15].

Kristalinio pamato formacijos paplitimo plote buvo išskirti ir tektoniniai lūžiai, kurie nustatyti pagal gravimetrinės ir magnetometrinės žvalgybos duomenis bei pagal kristalinio pamato kraigo struktūrinio žemėlapiu duomenis. Šie tektoniniai lūžiai laikytini mažesnio patikimumo, nes nėra patvirtinti seisminės žvalgybos ir tiesioginiais gręžimo duomenimis. Patikimesniais laikytini 2D ir 3D seisminės žvalgybos išskirti tektoniniai lūžiai.

Nustatant GA izoliaciją nuo ekosferos lemiančius kriterijus, buvo išskirtas uolienų vientisumo pažeidimo geologinis tinkamumo kriterijus ir jį apibūdinantys parametrai: lūžio, nustatyto tiesioginiais tyrimais, zonos buvimo ir atstumo iki šio lūžio zonos parametrai, pagal kuriuos kitame tyrimų etape bus parengti kriterijai GA plotų vertinimui.

## 2. Tikėtini geodinaminiai reiškiniai ateityje

Vadovaujantis TATENA saugos vadovo nuostatomis [4], GA įrengimui tinkama geologinė formacija ateityje neturi būti paveikta natūralių geodinaminio reiškinio, pakeičiančių formacijos būklę ir galinčių paveikti atliekyno izoliaciją nuo ekosferos.

Geodinaminiai procesai, tokie kaip žemės drebėjimų sukelti judesiai, nuosėdinio baseino grimzdimas ir kilimas bei kt. gali pastebimai pakeisti žemės plutos sąlygas, todėl atliekyno aikštelė turėtų būti parinkta tokioje geologinėje aplinkoje, kad minėtieji geodinaminiai procesai ar reiškiniai negalėtų sukelti radionuklidų sklaidos iš atliekyno.

Apibūdinant ateities geologinius įvykius, nurodoma, kad įvertinus teritorijos geologinės raidos istoriją, galima prognozuoti ateities geodinaminio proceso ir jų įtaką [11]. Pavyzdžiui, ateinančių 100 000 metų laikotarpiu galima kito apledėjimo galimybė.

Kadangi šie kriterijai nėra esminiai veiksniai, lemiantys GA stabilumą, geodinaminiai reiškiniai ir geodinaminės (tektoninės) raidos istorija ateityje bus modeliuojami ir įvertinami kitame tyrimų etape: bus nustatytas geodinaminio vertinimo laikotarpis ir atliktas geodinaminio reiškinio modeliavimas bei GA plotų vertinimas.

## 3. Sluoksnių laidumas vandeniui ir kitiems fluidams

Geosferos hidrogeologinės charakteristikos ir savybės yra vienos svarbiausių GA įrengimui [6]. Tarp jų nurodomas ir filtracijos koeficientas: nuo pastarojo priklauso požeminio vandens filtracijos

greitis ir kryptis ir tokiu būdu – radionuklidų ir kitų teršalų plitimo greitis bei keliai po to, kai atliekynas bus uždarytas.

Požeminio vandens filtracijos koeficientui viršijant 10-10 m/s, vandens (porų tirpalo) filtracija nebūtų pakankamai lėta. Todėl izoliuojantį sluoksnį turi sudaryti tokios uolienos, kurių filtracijos, arba skvarbos koeficientas būtų mažesnis nei 10-10 m/s.

## 4. Geoterminių išteklių paplitimas

Šiuo metu gilieji žemės gelmių geoterminiai išteklių nėra naudojami, nėra aprobeutas jų potencialas, nei nustatyti strateginiai šios energijos naudojimo tikslai šalyje, todėl šių išteklių paplitimas nebuvo vertinamas kaip kritinis GA stabilumą lemiantis naudingųjų iškasenų kriterijaus parametras. Geoterminės energijos išteklių paplitimą ir jų naudojimo potencialą bei perspektyvas apibūdinantys rodikliai bus nustatyti kitame tyrimų etape ir bus naudojami atliekant GA plotų vertinimą.



# 06

## IŠVADOS

- Vykdamas valstybinius geologinius tyrimus GA įrengimo projektui, 2021 metais buvo nustatyti svarbiausieji GA stabilumą lemiantys geologinės aplinkos GA tinkamumo kriterijai. Pagal turimus duomenis buvo patikslinti geologinių sluoksnių, kuriuose aptinkamos potencialiai tinkamos GA įrengimui formacijos, slūgsojimo sąlygų parametrai.
- Pagal nustatytą tinkamumo kriterijų parametru rodiklius buvo vykdomas potencialių formacijų tinkamumo vertinimas ir rodiklius atitinkančių formacijų paplitimo ribų nustatymas. Plotai, kuriuose geologinės sąlygos neatitinka nustatytų slūgsojimo sąlygų tinkamumo kriterijų, buvo eliminuoti iš tolesnių tyrimų ir GA vietos parinkimo proceso.
- Įvertinus gerosios praktikos pavyzdžius, Lietuvos teritorijos geologines sąlygas bei ūkinės veiklos specifiką, potencialios GA geologinės formacijos kraigo slūgsojimo nuo žemės paviršiaus gylis turi būti ne mažesnis nei 200 metrų. Pagal šį gylį parametru buvo atliktas visų potencialių formacijų tinkamumo vertinimas – išskirtos potencialių formacijų paplitimo ribos, atitinkančios šį kriterijų.
- Taip pat nustatyta, kad visų, išskyrus kristalinio pamato, potencialių formacijų homogeniškos dalies storis turi būti ne mažesnis nei 50 metrų. Kristalinio pamato formacijai sluoksni (formacijos) storio kriterijus netaikytinas, nes, atsižvelgiant į magminių ir metamorfinių uolienų, sudarančių kristalinio pamato

formaciją, sandaros ir sudėties ypatumus, ne formacijos storio rodiklis nulemia formacijos dalies tinkamumą GA įrengimui.

- Kristalinio pamato formacijai sluoksni (formacijos) kraigo slūgsojimo gylio kriterijus taikytinas kartu su formacijos homogeniškos dalies parametru, eliminuojant 50 m storio kristalinio pamato dūlėjimo plutą.
- Lietuvos teritorijoje patikimai nėra nustatytas nei vienas žemės drebėjimas. Surinktose seismologiniai, geologiniai tektoniniai ir geofiziniai duomenys nepatvirtino seismogeninių ir veiksnių lūžių buvimo potencialių formacijų teritorijose, todėl konstatuota, kad visi potencialių geologinių formacijų teritorijose esantys GA plotai yra tinkami ir nė vienas iš 110 plotų nebuvo eliminuotas pagal tektoninio, neotektoninio aktyvumo kriterijų.
- Visoje Lietuvos teritorijoje paviršiaus grunto virpesių vertės ilguoju periodu neviršijanų nustatytų ribų, todėl konstatuota, kad pagal šį kriterijų visos potencialių geologinių formacijų teritorijos yra tinkamos seisminio pavojingumo požiūriu ir nė vienas iš 110 plotų nebuvo eliminuotas pagal seisminio pavojingumo kriterijų.
- Remiantis anksčiau atliktų tyrimų rezultatais potencialių formacijų temperatūra neturėtų viršyti nustatytų kritinių verčių: kristalinių uolienų  $\geq 20^{\circ}\text{C}$ ; apatinio kambro ir apatinio triaso  $\geq 85^{\circ}\text{C}$ ; akmens druskos  $\geq 25^{\circ}\text{C}$ ; anhidrito  $\geq 100^{\circ}\text{C}$ . Nei vienas iš 110 plotų nebuvo eliminuotas pagal terminio režimo kriterijų.
- Evaporitų formacijos paplitimo plotai eliminuoti iš tolesnio vertinimo dėl itin lokalaus paplitimo, taip pat šių formacijų kraigo banguotumas atspindi diapyrizmo tikimybę, todėl buvo nuspręsta evaporitų paplitimo plotus eliminuoti.
- Karstas, lemiantis žemės paviršiaus nestabilumą,

yra būdingas šiaurės Lietuvos teritorijai, kur potencialiai tinkamos GA įrengimui formacijos nėra paplitusios. Nagrinėjamo teritorinio vertinimo tinklelio atžvilgiu karsto kriterijus nesąlygoja potencialių formacijų plotų eliminavimo.

- Baltijos nuosėdinio baseino Lietuvos teritorijos dalyje 300 milijonus metų nėra nustatyta aktyvaus vulkanizmo reikšinių, todėl vulkanizmo kriterijus nesąlygoja potencialių formacijų plotų eliminavimo.
- Aprobūtų požeminio vandens vandenviečių išteklių tankis – svarbus kriterijus potencialių GA įrengimui plotų tinkamumui įvertinti. Sąlygine ribine kriterijaus verte nustatoma 3 (m<sup>3</sup> /d) / km<sup>2</sup>, kurią viršijus numatytas plotas laikomas netinkamu GA įrengimui. Iš viso išskirta 16 tokių plotų.
- Pietvakarių Lietuvoje nustatyta helio anomalijų zona, kurią dubliuoja ir didelis chloridų kiekis požeminiame vandenyje, rodo kylančią požeminio vandens filtraciją per lūžių zoną, kuri gali neigiamai įtakoti GA stabilumo kriterijus. todėl 4 plotai, pilnai patenkantys į šią anomaliją zoną, laikomi netinkamais GA įrengimui.
- Branduolinės saugos reikalavimai nurodo, kad turi būti pasirinkta tokia aikštelė, kurioje yra kaip įmanoma mažiau mineralinių, geoterminių ir kitų naudingųjų iškasenų. Atsižvelgiant į tai išskirtas naudingųjų iškasenų paplitimo kriterijus nustatant, kad jį apibūdina žinomų telkinių prekartero uolienose parametras. Du GA plotai buvo pripažinti netinkamais pagal šį kriterijų.
- Nustatant GA izoliaciją nuo ekosferos lemiančius kriterijus, buvo išskirtas uolienų vientisumo pažeidimo geologinis tinkamumo kriterijus ir jį apibūdinantys parametrai: lūžio, nustatyto tiesioginiais tyrimais, zonos buvimo ir atstumo

iki šio lūžio zonos parametrai, pagal kuriuos kitame tyrimų etape bus parengti kriterijai GA plotų vertinimui.

- Apibūdinant ateities geologinius įvykius, nurodoma, kad įvertinus teritorijos geologinės raidos istoriją, galima prognozuoti ateities geodinaminių procesus ir jų įtaką. Kadangi šie kriterijai nėra esminiai veiksniai, lemiantys GA stabilumą, geodinaminiai reiškiniai ir geodinaminės (tektoninės) raidos istorija ateityje bus modeliuojami ir įvertinami kitame tyrimų etape.
- Geosferos hidrogeologinės charakteristikos ir savybės raišios svarbiausių GA įrengimui. Tarp jų nurodomas ir požeminio vandens filtracijos koeficientas. Nustatyta, kad izoliuojantį sluoksnį turi sudaryti tokios uolienos, kurių filtracijos, arba skvarbos koeficientas būtų mažesnis nei 10-10 m/s.
- Šiuo metu gilieji žemės gelmių geoterminiai išteklių nėra naudojami, nėra aprobuotas jų potencialas, nei nustatyti strateginiai šios energijos naudojimo tikslai šalyje, todėl šių išteklių paplitimas nebuvo vertinamas kaip kritinis GA stabilumą lemiantis naudingųjų iškasenų kriterijaus parametras.
- Pagal visus kriterijų parametrus ir jų rodiklius iš anksčiau išskirtų 110 plotų 31 plotai buvo eliminuoti pagal 7 kriterijus: gėlo geriamo požeminio vandens naudojimo intensyvumas – 16 plotų; tinkamos formacijos nebuvimas – 9 plotai; naudingųjų iškasenų paplitimas – 6 plotai; Helio anomalijos požeminiame vandenyje – 4.
- Tolimesniems tyrimams tinkamais pripažinti 79 plotai.



# Literatūros sąrašas

- [1] 2021 m. vasario 3 d. Lietuvos Respublikos Vyriausybės nutarimu Nr. 76 buvo patvirtinta „2021–2030 metų branduolinės energetikos objektų eksploatavimo nutraukimo ir radioaktyviųjų atliekų tvarkymo plėtros programa“.
- [2] Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2021 m. kovo 29 d. įsakymu Nr. D1-177 patvirtintas Aplinkos ministerijos strateginis veiklos planas 2021-2023 m., kuriame vienas iš uždavinių yra valstybinių geologinių tyrimų, skirtų giluminiam radioaktyviųjų atliekų atliekynui, atlikimas.
- [3] LGT projektas vykdytas vadovaujantis 2021 m. vasario 3 d. LR Vyriausybės nutarimu Nr. 76 patvirtintos Programos nuostatomis, siekiant įgyvendinti GA projektą pagal Programoje numatytą priemonę „Nr. 5. Galutinai sutvarkyti ilgaamžes radioaktyvias atliekas“, o taip pat valstybinių geologinių tyrimų programa „Giluminio radioaktyviųjų atliekų atliekyno vietos parinkimo geologiniai tyrimai“.
- [4] IAEA Safety standards for protecting people and environment; Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste; Special Safety Guide; No. SSG-14; International Atomic Energy Agency; Vienna 2011. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1483\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1483_web.pdf)
- [5] Management and Disposal of High-Level Radioactive Waste: Global Progress and Solutions“. OECD 2020 NEA No. 7532.
- [6] International Features, Events and Processes (IFEP) List for the Deep Geological Disposal of Radioactive Waste. 2019.
- [7] Lietuvos radioaktyviųjų atliekų tvarkymo strategija patvirtinta Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2002 m. vasario 6 d. nutarimu Nr. 174 (Žin., 2002, Nr. 15-567).
- [8] 2003 m. parengta „Panaudoto branduolinio kuro ir ilgaamžių radioaktyviųjų atliekų laidojimo galimybių įvertinimo programa 2003- 2007 m.“, patvirtinta VĮ RATA direktoriaus 2003 m. spalio 15 d. įsakymu Nr. 53.
- [9] Branduolinės saugos reikalavimų BSR-3.2.2-2016 „Radioaktyviųjų atliekų atliekynai“ 3.1. punktas.
- [10] Technical issues associated with deep repositories for radioactive waste in different geological environments. Better regulation science programme Science report: SC060054/SR1. 2009. [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/291763/scho0809bqvu-e-e.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/291763/scho0809bqvu-e-e.pdf)
- [11] TECHNICAL REPORTS SERIES No. 177 Selection Factors INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 1 977 4.3. SUBSURFACE CONDITIONS.
- [12] Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants (No. NS-G-1.6); [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1158\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1158_web.pdf)
- [13] IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. Safety Guide No. WS – G – 6.1 Storage of Radioactive Waste. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, 2006.
- [14] Statybos techninis reglamentas (STR 1.04.03:2012).
- [15] Bitinas ir kt., 2019, LGT, Lietuvos tektoninė schema.