

POTENCIALIAI TINKAMŲ GILUMINIO  
RADIOAKTYVIŲJŲ ATLIEKŲ ATLIEKYNO  
ĮRENGIMUI FORMACIJŲ DETALI ANALIZĖ IR  
POTENCIALIŲ TERITORIJŲ PRIORITETIZAVIMAS  
PAGAL PAGRINDINIUS GEOLOGINIUS  
(TINKAMUMO) ATRANKOS KRITERIJUS

SANTRAUKA

# TURINYS

Santrumpos / 3

01. ĮVADAS / 4

02. GA ĮRENGIMO PLOTŲ GEOLOGINIO TINKAMUMO METODIKA / 5

03. GA IZOLIACIJĄ NUO EKOSFEROS LEMIANTYS GEOLOGINIAI KRITERIJAI / 5

04. NAUJAI IŠSKIRTOS, DETALIZUOTOS AR PATIKSLINTOS KRITERIJŲ  
GRUPĖS / 6

05. IŠVADOS / 10

Literatūros sąrašas / 11

# SANTRUMPOS

ES	/	Europos Sąjunga
GA	/	Giluminis radioaktyviųjų atliekų atliekynas
LR	/	Lietuvos Respublika
LGT	/	Lietuvos geologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos
PGA	/	Paviršiaus grunto virpesiai
TATENA	/	Tarptautinė atominės energijos agentūra

Šią santrauką parengė VĮ Ignalinos atominė elektrinė pagal Lietuvos geologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos 2022–2023 metais vykdytą projektą „Potencialiai tinkamų giluminio radioaktyviųjų atliekų atliekyno įrengimui formacijų detali analizė ir potencialių teritorijų prioretizavimas pagal pagrindinius geologinio (tinkamumo) atrankos kriterijus“.

# 01 IVADAS

## Apie dokumentą

2021–2030 metų branduolinės energetikos objektų eksploatavimo nutraukimo ir radioaktyviųjų atliekų tvarkymo plėtros programoje [1] numatyta, kad baigiantis ilgaamžių radioaktyviųjų atliekų laikino saugojimo laikui (iki 2068 metų), ilgaamžės radioaktyviosios atliekos, kurios išliks pavojingos aplinkai tūkstančius metų, turi būti dedamos į giluminį atliekyną, kadangi šiuo metu tai yra vienintelis saugus ir tvarus ilgaamžių radioaktyviųjų atliekų sutvarkymo būdas. Kitų pasaulyje pripažintų ilgaamžių radioaktyviųjų atliekų sutvarkymo būdų nėra.

Vadovaujantis LR teisės aktais [2], susidariusios radioaktyviosios atliekos turi būti dedamos į atliekyną LR teritorijoje arba išvežamos į užsienio valstybėje esantį atliekyną. Atsižvelgiant į tai, kad užsienio valstybės, kaip ir Lietuva, draudžia įvežti į savo teritoriją radioaktyvias atliekas, LR teritorijoje esančios ir susidarysiančios ilgaamžės radioaktyviosios atliekos turi būti dedamos į LR teritorijoje įrengtą GA.

LR Aplinkos ministerijos 2021–2023 metų strateginiame veiklos plane vienas iš uždavinių yra valstybinių geologinių tyrimų, skirtų GA įrengti, atlikimas [3]. 2022–2023 metais Lietuvos geologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos (LGT) vykdė projektą „Potencialiai tinkamų

giluminio radioaktyviųjų atliekų atliekyno įrengimui formacijų detalią analizę ir potencialių teritorijų prioretizavimą pagal pagrindinius geologinio (tinkamumo) atrankos kriterijus“ [4].

## Projekto tikslai ir uždaviniai

Šis projektas susijęs su ankstesniu, 2021–2022 metais LGT vykdytu projektu „Geologinės aplinkos tinkamumo giluminiam radioaktyviųjų atliekų atliekynui geologinių kriterijų nustatymas“, kurio tikslas buvo – sudaryti GA vietos parinkimo kriterijų sąvadą akcentuojant svarbiausius, neigiamas geologinės aplinkos savybes apibūdinančius kriterijus.

2022–2023 metais vykdyto projekto metu buvo atlikta potencialiai tinkamų GA įrengimui formacijų detali analizė ir potencialių

teritorijų prioretizavimas pagal pagrindinius geologinius (tinkamumo) atrankos kriterijus, kurie buvo išskirti 2022 metų ataskaitoje bei patikslinti 2022–2023 metų vykdytų darbų metu.

## 2022–2023 m. LGT vykdytos veiklos

- Atlikta duomenų ir informacijos bei gerųjų pasaulinių praktikų analizė apie GA izoliaciją nuo ekosferos lemiančių kriterijų ir jų parametru rodiklių nustatymui.
- Surinkti ir susisteminti duomenys, kurių pagrindu patikslintas 2022 m. sudarytas geologinės aplinkos GA tolimesnių tyrimo plotų rangavimo kriterijų preliminarus sąvadas ir papildytas keliolika naujai išskirtais svarbiausiais GA izoliaciją nuo ekosferos lemiančiais geologiniais kriterijais ir jų rodikliais. Išskirta 19 geologinių kriterijų

- Parengta GA plotų geologinio tinkamumo vertinimo metodika, pagrįsta ekspertiniais sprendimais ir daugiakriterine analize. Geologiniai veiksniai (kriterijų grupės) apibūdinti keletu arba vienu tinkamumo kriterijumi. Plotų prioretizavimui sudarytos vertinimo formulės.
- Surinkta ir susisteminta geologinė medžiaga pagal 19 geologinių kriterijų, surinktos ir apibendrintos geologinių kriterijų rodiklių parametru reikšmės, joms suteiktas vertinimo balas.
- Sudaryti visų GA tyrimų plotų faktinės medžiagos žemėlapiai, suvestinės stratigrafinės kolonėlės, parengti GA tyrimų plotų suvestinių duomenų aprašai.
- Atliktas GA tyrimų plotų prioretizavimas, parengta galutinė ataskaita.

## Projekto (2022–2023 m.) uždaviniai

1

Atlikti GA įrengimui potencialiai tinkamų geologinių formacijų duomenų detalę analizę.

2

Atlikti tolimesniems tyrimams tinkamų potencialių teritorijų prioretizavimą pagal GA izoliaciją nuo ekosferos lemiančius geologinius kriterijus.

3

Atlikti potencialių teritorijų vertinimą pagal pagrindinius geologinius (tinkamumo) atrankos kriterijus.

# 02

## GA ĮRENGIMO PLOTŲ GEOLOGINIO TINKAMUMO METODIKA

Geologinės aplinkos tinkamumo GA įrengimui sisteminis tyrimas yra bendro GA saugumo užtikrinimo sisteminio tyrimo dalis. Geologinė formacija nagrinėjama kaip radionuklidus sulaikančių geologinių veiksnių visuma. Į kiekvieną iš šių veiksnių žiūrima kaip į atskirą geologinės formacijos barjerą.

Potencialūs radionuklidus sulaikantys veiksniai yra tinkamos uolienos, palankios hidrogeologinės sąlygos, žemas teritorijos seisminis aktyvumas ir kiti. Tiriamos geologinės formacijos, jos teritorijos tinkamumas GA įrengimui priklauso nuo to, ar galibūti užtikrinta, kad visus inžinerinius barjerus praėjusių ir galinčių patekti į ekosferą radionuklidų kiekis neviršys leistinų normų. Šito galima pasiekti parenkant geologinę aplinką, kurioje veikia daugelis optimaliai vienas kitą papildančių geologinių barjerų. Vertinant geologinės formacijos izoliacines savybes dažniausiai trūksta patikimos informacijos. Šiuo atveju naudinga ekspertinį įvertinimą atlikti, naudojant daugiakriterinę analizę (sisteminį tyrimą).

Ploto tinkamumas priklauso nuo potencialiai tinkamos geologinės formacijos padėties

erdvėje, teritorijos tektoninių, hidrogeologinių sąlygų ir formaciją sudarančių gruntų ar uolienų savybių.

Vertinimas buvo atliekamas pagal geologinius teritorijos tinkamumo GA įrengimui kriterijus, remiantis anksčiau atliktų tyrimų rezultatais, literatūros šaltiniais ir duomenimis, sukauptais valstybinėje geologijos informacinėje sistemoje. Plotų vertinimo kriterijai buvo nustatomi ne tik pagal geologinius veiksnius, bet ir pagal turimus tyrimų duomenis. Atkreipiamas dėmesys, kad ne visi svarbūs geologiniai veiksniai nagrinėti kaip kriterijai, nes jiems apibūdinti šiuo metu trūksta tyrimų duomenų. Pavyzdžiui, trūksta duomenų apie sorbcines savybes, porų tirpalų sudėtį, uolienų ir gruntų mechanines savybes, plyšių tankį uolienose ir kt.

Kai kurie kriterijai, apibūdinantys svarbius geologinius veiksnius buvo įvertinti kokybiškai, nes tyrimai, skirti jiems charakterizuoti (parametrų nustatymas), šiuo metu Lietuvoje nėra atlikti. Nustačius kriterijus (iš viso 19), pagal geologinių veiksnių, kuriuos jie apibūdina, svarbą jiems buvo suteiktas svarbos koeficientas. Šis koeficientas nustatytas pagal

tai, kiek vienas ar kitas kriterijus yra reikšmingas bendram tinkamumo vertinimui taikant tarpusavio lyginimo metodą.

Parametrų verčių intervalams arba kokybiniais vertinimams buvo suteikti tinkamumo balai kiekvienai potencialiai tinkamai geologinei formacijai, slūgsančiai konkrečiame plote. Vertinant bendrą geologinį ploto tinkamumą buvoskaiciuojama visų kriterijų vertinimo balų suma, atsižvelgiant į svarbos koeficientą. Tais atvejais, kai plote slūgso daugiau negu viena potencialiai tinkama geologinė formacija, bendras ploto tinkamumas buvo vertinamas didesniu tinkamumu pasižyminčios formacijos balų suma.

# 03

## GA IZOLIACIJĄ NUO EKOSFEROS LEMIANTYS GEOLOGINIAI KRITERIJAI

2021-2022 metais, 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 buvo išskirti svarbiausi GA izoliaciją nuo ekosferos lemiantys kriterijai ir jų rodikliai:

- Uolienų vientisumo pažeidimai.
- Geodinaminiai reiškiniai ateityje.
- Gėlo geriamo požeminio vandens naudojimo intensyvumas.
- Sluoksnių laidumas vandeniui ir kt. fluidams.
- Geoterminių išteklių paplitimas.
- Geologinis ištirtumas.

Sudarius geologinės aplinkos GA įrengimui tolimesnių tyrimo plotų atrankos kriterijų sąvadą buvo pažymėta, kad kriterijai, jų rodikliai ir jų reikšmės tolimesnių tyrimų metu bus detaliau nustatomi, tikslinami ir taikomi plotų atrankai bei papildomi kitais GA izoliaciją nuo ekosferos lemiančiais kriterijais.

2022-2023 metais atlikus detalesnę ir išsamesnę potencialiai tinkamų GA įrengimui formacijų geologinių duomenų analizę ir tyrimus, buvo patikslintas 2022 m. sudarytas GA tolimesnių tyrimo plotų kriterijų sąvadas. Šis sąvadas papildytas naujai išskirtais kriterijais, kai kurie ankstesni kriterijai detalizuoti ir (ar) patikslinti.

## 04

# NAUJAI IŠSKIRTOS, DETALIZUOTOS AR PATIKSLINTOS KRITERIJŲ GRUPĖS

### 1 Kriterijų grupė. Formacijos uolienų vientisumo pažeidimai

GA įrengimui tinkama geologinė formacija neturi būti paveikta aktyvių geologinių procesų, galinčių įtakoti atliekyno izoliaciją nuo ekosferos, tokių kaip tektoninis aktyvumas [5]. Todėl GA ploto ir jo artimiausios aplinkos tektoninis aktyvumas turi būti nagrinėjamas kaip vienas iš svarbiausių atliekyno izoliaciją nuo ekosferos užtikrinančių veiksnių: būtina atsižvelgti į GA tyrimų ploto tektoninį stabilumą ir aktyvumą, kurie gali neigiamai paveikti atliekyno izoliacinę sistemą, suardyti uolienų vientisumą ir tapti pagrindiniais fluidų (o taip pat ir radionuklidų) migracijos keliais.

#### Kriterijai:

- Lūžis arba tektoninių deformacijų zona GA tyrimų plote, nustatyti pagal seisminės žvalgybos ir (ar) gręžinių duomenis.
- GA tyrimų ploto atstumas iki lūžio ar tektoninių deformacijų zonos.

- Lūžis arba tektoninių deformacijų zona GA tyrimų plote, nustatyti pagal potencialių laukų, struktūrinių žemėlapių duomenis.
- Plyšiuotumas, nesusijęs su lūžių ir tektoninių deformacijų zonomis.

*Lūžis arba tektoninių deformacijų zona GA tyrimų plote, nustatyti pagal seisminės žvalgybos ir (ar) gręžinių duomenis*

GA tyrimų ploto įvertinimas tektoninių deformacijų požiūriu yra bendra geroji tarptautinė praktika, nes tektoninių lūžių nustatymas yra vienas iš svarbiausių regioninių tyrimų uždavinių įvertinti teritorijos tinkamumą GA ir kitų branduolinių objektų statybai bei įrengimui. Atsižvelgiant į pasaulinius gerosios praktikos pavyzdžius ir Lietuvos tektoninių sąlygų analizės rezultatus, lūžis arba tektoninių deformacijų zona buvo išskirtas kaip vienas iš svarbiausių GA izoliaciją nuo ekosferos lemiančių geologinių tinkamumo kriterijų. Šis kriterijus taikomas visam GA tyrimų plotui.

Tai, kad GA tyrimų plote nėra seisminės

žvalgybos ir gręžinių duomenimis nustatyto tektoninio lūžio ar tektoninių deformacijų zonos buvo priimta, kaip kritinė šio kriterijaus rodiklio vertė nustatant didžiausio tinkamumo GA tyrimų plotus. Atitinkamai, jeigu GA tyrimų plote yra ir (ar) jį kerta seisminės žvalgybos ir gręžinių duomenimis nustatytas tektoninis lūžis ar tektoninių deformacijų zona, nustatyti mažiausio tinkamumo GA tyrimų plotai. Jeigu lūžio (jo dalies) ar tektoninių deformacijų zona (jos dalies) nedidelė atkarpa yra GA tyrimų ploto pakraštyje (ne kerta viso ploto), šie plotai buvo priskirti vidutinio tinkamumo GA tyrimų plotams.

*GA tyrimų ploto atstumas iki lūžio ar tektoninių deformacijų zonos*

Aktyvi tektoninių lūžių zona apibūdina aktyvius tektoninius judesius ir šių judesių rezultatus: plastiškas ir trapias deformacijas, pažeidžiančias formacijos uolienų vientisumą [6]. Kadangi nėra galima patikimai tiksliai nustatyti lūžių išsidėstymo, buvo priimta nustatyti papildomą saugumo rezervą – kelių kilometrų pločio papildomą zoną, kuri turėjo būti identifikuota, kaip taip pat pasižyminti netinkamomis sąlygomis.

Šis kriterijus taikomas visam GA tyrimų plotui.

Išanalizavus Lietuvos lūžinės tektonikos charakteristikas, buvo nustatyta, kad potencialių formacijų paplitimo ribose vidutinis lūžių ilgis yra apie 10 km [7].

Todėl 10 km atstumo iki GA ploto kriterijaus rodiklio vertė buvo priimta kaip kritinė, nustatant didžiausio tinkamumo GA tyrimų plotus. Atitinkamai rodiklio vertė 2 km iki GA ploto vertinama kaip mažiausio tinkamumo GA tyrimų plotams. Rodiklio vertė 2-10 km iki GA ploto buvo priskirta vidutinio tinkamumo GA tyrimų plotams.

### *Lūžis arba tektoninių deformacijų zona GA tyrimų plote, nustatyti pagal potencialių laukų, struktūrinių žemėlapių duomenis*

Kristalinio pamato potencialios formacijos uolienos buvo paveiktos skirtingų deformacijų – plastiškosios ir trapiosios, todėl jos yra įvairiu laipsniu tektonizuotos. Atsižvelgiant į tai, kad kristalinio pamato formacijos paplitimo ribose seisminės žvalgybos tyrimai beveik nebuvo atlikti ir ištirtumas gręžiniais kristalinio pamato ir apatinio kambro formacijose yra labai netolygus, šių formacijų paplitimo plotuose tektoniniai lūžiai ir tektoninių lūžių zona buvo nustatyti pagal gravimetrinės ir magnetometrinės žvalgybos bei pagal kristalinio pamato kraigo struktūrinio žemėlapių duomenis.

Tai, kad GA tyrimų plote nėra tektoninio lūžio ar tektoninių deformacijų zonos buvo priimta, kaip kritinė šio kriterijaus rodiklio vertė nustatant didžiausio tinkamumo GA tyrimų plotus. Jeigu GA plote yra ir (ar) jį kertanti tektoninis lūžis ar tektoninių deformacijų zona, šie plotai priskirti kaip mažiausiai tinkami. Jeigu lūžio (jo dalies) ar tektoninių deformacijų zonos

(jos dalies) nedidelė atkarpa yra GA tyrimų ploto pakraštyje (nekerta viso ploto), šie plotai buvo priskirti vidutinio tinkamumo GA tyrimų plotams.

### *Plyšiuotumas, nesusijęs su lūžių ir tektoninių deformacijų zonomis*

Potencialių įvairios geologinės sandaros formacijų plyšiuotumas yra labai svarbus, nes plyšių pralaidumas, išsidėstymas, tarpusavio sąsajos, sistemų geometrija ir kt. yra laikytini svarbiausiais GA atliekyno izoliuotumą nuo ekosferos apibūdinančiais faktoriais. Todėl plyšiuotumo kriterijus visuose GA atliekyno raidos stadijose yra svarbesnis lyginant su kitais kriterijais.

Dėl pralaidžių plyšių molingose ir kristalinio pamato uolienose, gali vykti požeminio vandens bei kitų skysčių ir dujų, pernešančių radionuklidus, migracija. Atsižvelgiant į šias aplinkybes buvo priimta nuostata, kad plyšiai, jų pralaidumas, išsidėstymas, geometrija ir kt., yra laikytini svarbiausiais GA atliekyno izoliuotumą nuo ekosferos apibūdinančiais faktoriais. Todėl plyšiuotumo kriterijus visuose GA atliekyno raidos stadijose yra svarbesnis lyginant su kitais kriterijais.

Plyšių nebuvimas, arba nustatyti duomenys, kad plyšiai yra užpildyti kitomis uolienomis (nėra laidūs) buvo priimti kaip plyšiuotumo kriterijaus rodiklio vertė parodanti didžiausio tinkamumo formaciją GA plote. Tiksliniai šio geologinio parametro tyrimai Lietuvoje visose potencialiose formacijose beveik nebuvo vykdyti ankstesnių tyrimų metu ir duomenų beveik nėra, todėl visų (išskyrus tris) GA tyrimų plotų tinkamumas buvo įvertintas kaip mažiausio tinkamumo.

## 2 Kriterijų grupė. Žemės gelmių ištekliai

### Kriterijai:

- Geoterminių išteklių paplitimas GA tyrimų plote.
- Gėlo geriamo požeminio vandens naudojimo intensyvumas.

### *Geoterminių išteklių paplitimas GA tyrimų plote*

Lietuvos Respublikos bendrajame plane yra nustatyti geoterminės energijos išteklių naudojimo vystymo prioritetai:

- Vidurinio devono Pernu-Kemerų geoterminės (hidroterminės) energijos išteklių naudojimas.
- Kambro geoterminės energijos (hidroterminės) išteklių naudojimas.
- Kristalinio pamato geoterminės (petroterminės) energijos išteklių naudojimas elektros energijos gamybai.

Atsižvelgiant į šiuos prioritetus GA tyrimų plotai buvo suskirstyti į tris grupes: 1 grupė – GA tyrimų plotai patenka į dvi geoterminės energijos naudojimui perspektyvias zonas (mažiausias tinkamumas); 2 grupė - GA tyrimų plotai patenka į vieną geoterminės energijos naudojimui perspektyvią zoną (vidutinis tinkamumas); 3 grupė – GA tyrimų plotai nepatenka į geoterminės energijos

naudojimui perspektyvias zonas (didžiausias tinkamumas).

### *Gėlo geriamo požeminio vandens naudojimo intensyvumas*

Anksčiau pateiktoje LGT ataskaitoje [7] jau buvo pateiktas gėlo geriamojo požeminio vandens naudojimo intensyvumo (suminio aprobuotų požeminio vandens išteklių tankio aktualumas, pasirenkant ar atmetant plotus, tinkamus / netinkamus GA įrengimui. Buvo atrinkti tie GA tyrimų plotai, kuriuose požeminio vandens išteklių tankis neviršija 3 m<sup>3</sup>/d\*km<sup>2</sup>. GA tyrimų plotų prioritizavimui šio rodiklio reikšmės proporcijų principu suskirstytos intervalais:

- Didelis išteklių tankis: 2-3 m<sup>3</sup>/d\*km<sup>2</sup>;
- Vidutinis išteklių tankis: 1-2 m<sup>3</sup>/d\*km<sup>2</sup>;
- Mažas išteklių tankis arba jokių aprobuotų išteklių: < 1 m<sup>3</sup>/d\*km<sup>2</sup>.

Pirmajam intervalui priskirtas mažiausias tinkamumo vertinimas, antrajam – vidutinis tinkamumas, trečiajam – didžiausias tinkamumas.

## 3 Kriterijų grupė Formacijos uolienų litologiniam homogeniškumas

### Kriterijus:

- Formacijos sandaros vientisumas (kriterijus taikomas atskirai kiekvienai iš 4-ių potencialių formacijų).

Formacijos sandaros vientisumas yra svarbus vertinant radionuklidų sklaidos iš GA aplinkos galimybes. Molingose uolienose esantys kitokios (rupesnės) litologinės sudėties tarp sluoksnių gali būti vertinami kaip greitesnės fluidų migracijos keliai. Kitokios sudėties uolienų paplitimas kristalinio pamato uolienose ar anhidrite gali lemti antrinį plyšiuotumą, kas taip pat lemtų greitesnę fluidų migraciją.

#### *Apatinio triaso formacija*

Pagal šį kriterijų vertinant potencialias apatinio triaso molio formacijos uolienas buvo išskirtas ir įvertintas bendras molingos storių nemolingų tarp sluoksnių kiekis ir apskaičiuoti nemolingų tarp sluoksnių bendro suminio kiekio procentai.

Pagal nemolingų tarp sluoksnių kiekį procentais buvo išskirtos šios kriterijaus rodiklio verčių grupės: 1) < 10%; 2) 10 – 20%; 3) >20%. Atitinkamai pirmosios grupės GA tyrimų plotams buvo priskirtas didžiausias tinkamumo vertinimas; antrosios grupės – vidutinis tinkamumas; trečiosios grupės – mažiausias tinkamumas.

#### *Apatinio triaso formacija*

Vertinant potencialias apatinio kambro molio formacijos uolienas buvo išskirtas ir įvertintas bendras molingos storių nemolingų tarp sluoksnių kiekis ir apskaičiuoti nemolingų tarp sluoksnių bendro suminio kiekio procentai.

Pagal nemolingų tarp sluoksnių kiekį procentais buvo išskirtos šios kriterijaus rodiklio verčių grupės: 1) < 10% ; 2) 10 – 20%; 3) >20%. Atitinkamai pirmosios grupės GA tyrimų plotams buvo priskirtas didžiausias

tinkamumo vertinimas; antrosios grupės – vidutinis tinkamumas; trečiosios grupės – mažiausias tinkamumas.

#### *Permo evaporitų formacija*

Vertinant uolienų vientisumą išskirtuose GA tyrimų plotuose, tik vienam plotui, esančiam arčiausiai Pagirių telkinio, buvo suteiktas aukščiausias vertinimo balas. Tai reiškia, kad uolienoje yra mažiau 10 proc. priemaišų, o likusiuose septyniuose plotuose, kuriuose aptinkama permo evaporitų formacija, uolienos homogeniškumas įvertintas žemiausiu balu, nes trūksta tyrimų duomenų.

#### *Kristalinio pamato formacija*

Lietuvoje kristalinio pamato formaciją sudaro keliolikos skirtingų rūšių magminės ir metamorfinės uolienos. Kristalinio pamato formacijos uolienoms formacijos sandaros vientisumo kriterijus ir jo rodiklio vertė buvo nustatyta pagal geriausius pasaulinės praktikos pavyzdžius ir ankstesnių tyrimų metu identifikuotą formacijos uolienų petrologinę sudėtį, ankstesnių tyrimų rezultatus ir išvadas [8].

Buvo priimta, kad visos kristalinio pamato uolienos yra tinkamos, todėl kristalinio pamato formacijos sandaros vientisumo kriterijui žemiausia vertinimo balo reikšmė netaikoma. Todėl visi GA tyrimų plotai yra tinkami pagal formacijos sandaros vientisumo kriterijų.

GA tyrimų plotai, kuriuose kristalinio pamato formaciją sudaro vienos rūšies uolienos arba kuriuose slūgso anarogeninių granitoidų masyvai (ar jų dalys) buvo išskirti kaip labiausiai tinkami. Priėmus konservatyviausią rangavimo koncepciją GA tyrimų plotai, kuriuose slūgso

dviejų ar daugiau skirtingo tipo uolienos, buvo pripažinti vidutiniškai tinkamais.

#### **4** Kriterijų grupė. Formacijos izoliacinės savybės

##### Kriterijai:

- Skvarbumas.
- Formacijos viršutinės dangos sandara.
- Formacijos apatinės dangos sandara.

#### *Skvarbumas*

Skvarbumas (skvarbos koeficientas) – dydis tiksliausiai filtracijos koeficientas apibūdinantis poringą erdvę, nes nepriklauso nuo skysčio savybių [9].

Tai aktualu gylėje, kuriame požeminis vanduo tampa mineralizuotas. Tai reiškia, kad keičiasi ir vandens savitasis sunkis ir klampumas, nuo kurių priklauso skvarbumas. Pakankamai detalūs skvarbos koeficiento tyrimai Lietuvos giliuosiuose vandeninguosiuose sluoksniuose nėra atlikti arba jie nepatenka į GA tyrimų plotus. Tokiu būdu įvertinta apatinio triaso formacija 4 GA tyrimų plotuose ir apatinio kambro molio formacija 24 GA tyrimų plotuose.

Remiantis reikalavimais filtracijos koeficientui nustatyti tokie skvarbumo reikšmių intervalai ir jų vertinimas: > 0,1 mD (mažiausias tinkamumas); 0,001-0,1 mD (vidutinis tinkamumas); < 0,001 mD (didžiausias tinkamumas).

#### *Formacijos viršutinės dangos sandara*

Formacijos viršutinės dangos sandara yra svarbi vertinant formacijos izoliuotumą. Mažai laidūs sluoksnių (vandensparos) dengiančioje storių apriboja vandens filtraciją, sudarydami barjerą tarp formacijos ir ekosferos, o taip pat gėlo vandens sluoksnių, kurių dauguma Lietuvoje yra naudojami kaip geriamo vandens šaltinis. Kita vertus, didesnis vandeningųjų sluoksnių storis bendroje storių lemia geresnes filtracines bendros geologinės storių savybes. Todėl viršutinės dangos sandaros izoliuotumui įvertinti tikslinga nustatyti ne absoliutųjį mažai laidžių sluoksnių storį, o jo dalį šioje storių. Tam tikslui nustatytas rodiklis: mažai laidžių sluoksnių storio dalis dengiančiojoje storių.

Viršutinės dangos sandara kiekvienam GA tyrimų plotui buvo įvertinta sudarius suvestinius stratigrafinius pjūvius. Remiantis geologinių sluoksnių litologinės sudėties aprašymu ir Lietuvos hidrogeologine stratigrafine schema visas dengiančios storių nuo žemės paviršiaus iki formacijos pjūvis suskirstytas į laidžius ir nelaidžius sluoksnius. Susumuotas laidžių ir nelaidžių sluoksnių storis ir apskaičiuota jų dalis dengiančiojoje storių. Didžiąją dalį formacijų GA tyrimų plotuose dengia mišrios sandaros storių (74 proc.). Mažai laidžių nuogulų dalis nustatyta 9 GA tyrimų plotuose, tuo tarpu mažai laidžių nuogulų – 21 GA tyrimų plote.

Nustatyti tokie mažai laidžių sluoksnių dalies intervalai ir jų vertinimas: <0,3, kai storių vyrauja laidūs sluoksnių, formacija blogai izoliuota (mažiausias tinkamumas).



### Formacijos apatinės dangos sandara

Labai panašus ir kitas kriterijus, tik šiuo atveju vertinama tiesiogiai po formacija slūgsančio sluoksnio laidumas vandeniui ir jo storis. Mažai laidus sluoksnis po formacija svarbus izoliuojant ją nuo apačioje esančio vandeningo sluoksnio, kurį reikia saugoti kaip geriamojo vandens šaltinį, taip pat pačią formaciją nuo vandens pritekėjimo.

Kristalinio pamato formacijai, priimta, kad visa jos apatinė dalis yra mažai laidai jai 61 GA tyrimų plote priskirti aukščiausi vertinimo balai. Tik 4 GA tyrimų plotuose po apatinio triaso formacija yra paplitęs ją izoliuojantis mažai laidus sluoksnis. Kituose GA tyrimų plotuose formacijos nėra izoliuotos.

Nustatyti tokie mažai laidžių sluoksnių, slūgsančių betarpiškai po formacija, storio intervalai ir jų vertinimas: <10 m, kai mažai laidus sluoksnis labai plonas arba jo nėra, formacija neizoliuota (mažiausias tinkamumas); 10-50 m, kai mažai laidus sluoksnis iš dalies izoliuoja formaciją (vidutinis tinkamumas); >50 m, kai mažai laidus sluoksnis gerai izoliuoja formaciją (didžiausias tinkamumas).

### 5 Kriterijų grupė. Dabartiniai žemės paviršiaus judesiai

#### Kriterijai:

- Svyruojamieji vertikalūs judesiai.
- Svyruojamieji horizontalūs judesiai.

### Svyruojamieji vertikalūs judesiai

Įvertinus visas ankstesnių tyrimų metu gautas

vertikalių svyruojamųjų judesių maksimalias ir minimalias reikšmes (nuo < 1 mm/m. iki 9 mm/m.) buvo išskirtos trys kriterijaus rodiklio verčių grupės, kurioms atitinkamai priskirti įvertinimo balai. Pirmoji GA tyrimų plotų grupė 4-9 mm/m. (mažiausias tinkamumas); antroji grupė 3-1 mm/m. (vidutinis tinkamumas); trečioji grupė < 1 mm/m. (didžiausias tinkamumas).

### Svyruojamieji horizontalūs judesiai

Įvertinus visas tyrimais gautas maksimalias ir minimalias horizontalių svyruojamųjų judesių reikšmes (t.y. nuo <1 mm/m. iki 2,8 mm/m.) buvo išskirtos šios kriterijaus rodiklio verčių grupės: 2,2-2,8 mm/m.; 2) 1,6-2,2 mm/m.; 3) <1,6 mm/m. Pagal tai buvo skirtas įvertinimo balas t. y. atitinkamai – 1-os grupės GA tyrimų plotams buvo priskirtas mažiausias tinkamumo vertinimas; 2-os grupės GA tyrimų plotams – vidutinis tinkamumas; 3-os grupės GA tyrimų plotams – didžiausias tinkamumas.

### 6 Kriterijų grupė. Uolienu fizikinės savybės

#### Kriterijai:

- Uolienos tankumas.
- Uolienu trapumas/plastiškumas.

### Uolienos tankumas

Geologinės formacijos ir ją sudarančių uolienu tankumas yra viena svarbiausių tiek geologinės aplinkos mechaninį pastovumą, tiek jos izoliacines savybes lemiančių savybių. Šiuo metu Lietuvoje yra atlikta gana mažai giliau negu 200 m slūgsančių uolienu ar

gruntu fizinių savybių tyrimų. Pavyzdžiui, kristalinio pamato uolienu gamtinis tankis visoje Lietuvos teritorijoje yra nustatytas apie 300 bandinių, o apatinio triaso molingų uolienu ir gruntu – tik apie 20 bandinių, paimtų vos iš vieno Pagiriu gręžinio. Apatinio kambro molingų uolienu (ar gruntu) gamtinis tankis šiuo metu yra vertinamas pagal geofizinių tyrimų rezultatus, o dokumentuotų tiesioginių laboratorinių tyrimų rezultatų valstybinėje geologijos informacinėje sistemoje nėra.

### Trapumas / plastiškumas

Pagal šiuo metu turimus tyrimų duomenis trapumui ar plastiškumui apibūdinti gali būti taikomas tik kokybinis formacijos vertinimas. Jis yra svarbus, nes trapių ir plastiškų uolienu mechaninė elgsena yra labai skirtinga. Jei geologinė aplinka pasižymi plastiškumu, atsiradę pažeistos zonos plyšiai gana greitai (nuo mėnesių iki keleto metų) išnyksta. Trapiuose uolienuose šis procesas užtrunka žymiai ilgiau, o jei uolienos mineraloginė sudėtis nėra tam palanki, gali visai nevykti.

Šiuo tyrimų etapo metu atliekant kokybinį vertinimą, kristalinės ir evaporitinės uolienos įvertintos kaip trapios, o molingos – kaip plastiškos ar vidutinio plastiškumo. Apatinio kambro molingos uolienos (gruntai), galima spėti, yra mažiau plastiškos negu apatinio triaso molis dėl jų granulimetrinės ir mineraloginės sudėties ypatumų.

### 7 Kriterijų grupė. Filtracijos keliai

#### Kriterijai:

- Atstumas iki paleojrėžio
- Nedarna.

- Aplinkos rūgštinės-šarminės sąlygos.
- Vyraujanti pjezometrinio spūdzio gradiento kryptis.

### Atstumas iki paleojrėžio

Paleojrėžiai – tai gilūs (50 – 300 m), siauri (0,5 – 2 km pločio), stačiašlaitiai ir dažniausiai V formos skerspjūvyje slėniai, kurių dugnai dažnai yra 100 – 300 m žemiau dabartinio jūros lygio. Paleojrėžiai dažniausiai būna užpildyti biriomis nuogulomis, kuriose požeminio vandens filtracija yra žymiai intensyvesnė negu aplinkinėse nuogulose [10].

Radioaktyviųjų atliekų GA įrengimui paleojrėžių paplitimo teritorijos nėra palankios dėl sudėtingos geologinės sandaros, aktyvios požeminio vandens filtracijos ir didelio skaičiaus neapibrėžtumų. Radionuklidų sklaidos aspektu vertinant teritorijos, kurioje yra nustatytas paleojrėžis, geologines sąlygas, galima teigti, kad tokioje teritorijoje viršutinė (iki 200 m gylio) geologinio pjūvio dalis pasižymi prastomis izoliacinėmis savybėmis.

Buvo priimta, kad palankiausios sąlygos GA įrengimui yra labiausiai nuo paleojrėžių nutolusiuose GA tyrimų plotuose. Lietuvos teritorijoje paleojrėžių tinklas yra gana tankus. Pagal atstumą iki paleojrėžio buvo išskirtos šios kriterijaus rodiklio verčių grupės: 1) <0,5 km; 2) 0,5-1 km; 3) >1 km. Šios kriterijaus rodiklių vertės įvertintos atitinkamai: atstumas iki paleojrėžio <0,5 km – mažiausias tinkamumas, atstumas iki paleojrėžio 0,5-1 km – vidutinis tinkamumas, atstumas iki paleojrėžio >1 km – didžiausias tinkamumas. Tinkamiausi pagal šį kriterijų yra GA tyrimų plotai, kurie yra nutolę nuo paleojrėžių daugiau kaip 1 km.

## Nedarna

Nedarnus geologinių sluoksnių slūgsojimas (kampinės nedarnos) sudaro sąlygas požeminiam vandeniui patekti iš vieno vandeningų sluoksnių į kitus, taip sumažinant atskirų vandeningų sluoksnių apsaugotumą. Toks vandens pertekėjimas gali pasireikšti nebūtinai tiriamo GA tyrimų ploto ribose, kurio ribose vandeningi sluoksniai atskirti vienas nuo kito nelaidžia molinga storyme, bet už jo ribų, kur, dėl nedarnaus sluoksnių slūgsojimo, vandeningi sluoksniai susiliečia ir vyksta vandens pertekėjimas iš vieno į kitus. GA tyrimų plotų ribose visoje nuosėdinėje storymėje buvo suskaičiuotos kampinės nedarnos, susidariusios dėl nedarniai slūgsančių sluoksnių, turinčios didesnę įtaką apsaugotumui.

Pagal nedarnų kiekį GA tyrimų plote buvo išskirtos šios „nedarnos“ kriterijaus rodiklio verčių: 8-ios ir daugiau nedarnų; 5-7 nedarnos; 4-ios ir mažiau nedarnų. Šios kriterijų grupės įvertintos atitinkamai: 8-ios ir daugiau nedarnų – mažiausias tinkamumas; 5-7 nedarnos – vidutinis tinkamumas; 4-ios ir mažiau nedarnų – didžiausias tinkamumas.

## Aplinkos rūgštinės-šarminės sąlygos

Galimos radionuklidų migracijos į supančią aplinką įvertinimui reikalinga informacija apie cheminę požeminio vandens sudėtį – tame tarpe ir pH rodiklio duomenys [5].

Palankiausios rūgštinės-šarminės sąlygos GA įrengimui tinkamoje aplinkoje turėtų būti, kai pH = 7,0-8,0, mažiau palankios sąlygos yra kai pH = 6,5-7,0 arba pH = 8,0-8,5 ir nepalankiausios, kai pH < 6,5 arba pH > 8,5.

Palankiausioms pH sąlygoms priskirtas didžiausias tinkamumo balas, mažiau palankioms – vidutinis tinkamumas ir nepalankioms – mažiausias tinkamumas.

## Vyraujanti pjezometrinio spūdzio gradiento kryptis

GA supančioje aplinkoje hidrogeologinės-geologinės charakteristikos turėtų būti palankios ribotai požeminio vandens filtracijai, kas būtų reikšminga tinkamai izoliuojant radioaktyviąsias atliekas. Be to, saugos užtikrinimui aktualu įvertinti požeminio vandens filtracijos greitį ir kryptį [5].

Be horizontaliosios ar kvazihorizontaliosios požeminio vandens filtracijos vandeningaisiais sluoksniais, GA galimo neigiamo poveikio požeminiam vandeniui kontekste aktualu nustatyti, kokia potencialaus GA tyrimų ploto ribose vyraujanti vertikalioji požeminio vandens filtracijos kryptis, nes vertikaliąja kryptimi slėgio gradientas daugeliu atvejų gali būti gerokai didesnis, negu horizontaliąja, taigi esant palankioms sąlygoms (hidrogeologiniai langai, tektoniniai lūžiai), šio tipo filtracija gali būti labai reikšminga.

Filtracijos sąlygos GA tyrimų plotuose, kuriuose tiek virš atitinkamos formacijos sluoksnio tiek ir žemiau jo nustatytas žemynaeigis filtracijos srautas, vertinamos kaip vidutiniškai palankios.

Filtracinės stagnacijos sąlygoms priskirtas didžiausias tinkamumas, žemynaeigiui srautui – vidutinis tinkamumas, o aukštyn nukreiptam srautui – mažiausias tinkamumas.

## 8 Kriterijų grupė. Seisminis aktyvumas

### Kriterijai:

- Padidintas seisminis aktyvumas.

Teritorijos, susijusios su radioaktyvaus kuro ciklu, turi atitikti tokius pat reikalavimus kaip ir atominių elektrinių statyboms, o jeigu yra priimami mažesni reikalavimai, jie turi būti motyvuotai pagrįsti [11].

Remiantis TATENA dokumentais, teritorijos seisminis aktyvumas buvo išskirtas kaip vienas iš giluminio radioaktyvių atliekų atliekyno izoliaciją nuo ekosferos lemiančių geologinių reiškinių, kurį apibūdina padidinto seisminio aktyvumo kriterijus [11 ir 12].

Atlikus Lietuvos teritorijos seisminio pavojingumo vertinimą buvo nustatyta, kad paviršiaus grunto virpesiai (PGA) 1000 metų pasikartojamumo periodui siekia ~0.05 g, o 10000 metų pasikartojamumo periodui yra ~0.08–0.12 g [13].

Branduoliniuose objektuose seisminio pavojingumo PGA vertė turi būti prilyginta 0.1 g.

Atlikus TATENA ir ES norminių ir techninių dokumentų analizę siūloma potencialius GA tyrimų plotus vertinti pagal konservatyvųjį variantą – padidintą seisminį aktyvumą vertinti naudojant 10000 metų pasikartojamumo periodą.

Kadangi seisminio pavojingumo PGA vertė turi būti prilyginta 0,1 g, ši vertė ( $\leq 100$  cm/s<sup>2</sup>) yra didžiausio tinkamumo GA tyrimų plotams. Atitinkamai, PGA vertė 101-120 cm/s<sup>2</sup> priskirta

vidutinio tinkamumo GA tyrimų plotams. Potencialūs GA tyrimų plotai, kuriuose nustatyta PGA vertė  $\geq 120$  cm/s<sup>2</sup> yra labiausiai nepalankiose seisminio aktyvumo sąlygose.

# 05 IŠVADOS

- Atlikus potencialių GA tyrimų plotų vertinimą, nustatyta, kad aukščiausi balai yra atitenka kristalino pamato ir triaso formacijomis, žemesniais balais įvertintos atitinkamai kambro ir permio formacijos.
- Tolimesnių, kito detalumo lygmens potencialių GA tyrimų plotų (ar potencialių formacijų) geologinių duomenų kompleksinės analizės metu šioje atskaitoje pateiktą GA izoliaciją nuo ekosferos lemiančių 19-os kriterijų sąrašas gali būti modifikuojamas, toliau papildomas kitais GA izoliaciją nuo ekosferos lemiančiais kriterijais (su atitinkamais jų rodikliais ir rodiklių vertėmis), o taip pat ir kitus geologinius veiksnius ir procesus apibūdinančių kriterijų grupėmis.
- Atsižvelgiant į labai ribotus anhidrito elgsenos tyrimų duomenis pasaulyje, abejotiną ilgalaikį mechaninį ir geocheminį stabilumą ir galimą formacijos pažeidimą tikėtinos naudingųjų iškasenų eksploatacijos ateityje metu, siūloma permio anhidrito formacijos tolesnio tyrimo ir vertinimo radioaktyviųjų atliekų tvarkymo aspektu atsisakyti.

# Literatūros sąrašas

- [1] Patvirtinta LR Vyriausybės 2021.02.03 nutarimu Nr. 76.
- [2] LR Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo įstatymo 3 straipsnio 7 punktą.
- [3] Patvirtintas LR aplinkos ministro 2021 m. kovo 29 d. įsakymu Nr. D1-177.
- [4] Valstybinių geologinių tyrimų, skirtų GA vietos parinkimui, programa yra sudėtinė LR Vyriausybės 2021.02.03 nutarimo Nr. 76, dalis.
- [5] 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)
- [6] Development of Site Selection Criteria for Radioactive Waste Disposal in View of Favourable Geological Settings in Germany. [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/33/021/33021387.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/33/021/33021387.pdf)
- [7] Čyžienė J. ir kt. 2022. Geologinės aplinkos tinkamumo giluminiam radioaktyviųjų atliekų atliekynui geologinių kriterijų nustatymas. LGT ataskaita.
- [8] Investigations of Possibilities to Dispose of Spent Nuclear Fuel in Lithuania: a Model Case; Report in 3 Volumes and a Summary Report prepared by RATA, LEI, LGT, SKB. 2005. Vol. 1-3.
- [9] Dobkevičius, M. Hidrogeodinamika: [vadovėlis aukštosioms mokykloms]. - Vilnius: Enciklopedija, 2001. - 358, [2] p. : iliustr. - Bibliogr.: p. 341-345 (87 pavad.).
- [10] Bitinas A. 2011. Paskutinis ledynmetis rytinės Baltijos regione. Klaipėdos universiteto leidykla.
- [11] Seismic Hazards in Site Evaluation for nuclear Installations; Specific Safety Guide; No SSG-9. <https://www.iaea.org/publications/8413/seismic-hazards-in-site-evaluation-for-nuclear-installations>
- [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] Pačėsa A. 2016. Platforminių mažo seisminio aktyvumo sričių seisminio pavojaus vertinimas Baltijos regiono pavyzdžiu. Daktaro disertacija. Vilniaus Universitetas. –Vilnius.- 139 p.