

GALIMYBIŲ TRANSPORTUOTI VANDENILĮ ĮVAIRIŲ RŪŠIŲ TRANSPORTO PRIEMONĖMIS ANALIZĖ

2025 m. I ketv. –2026 m. I ketv.

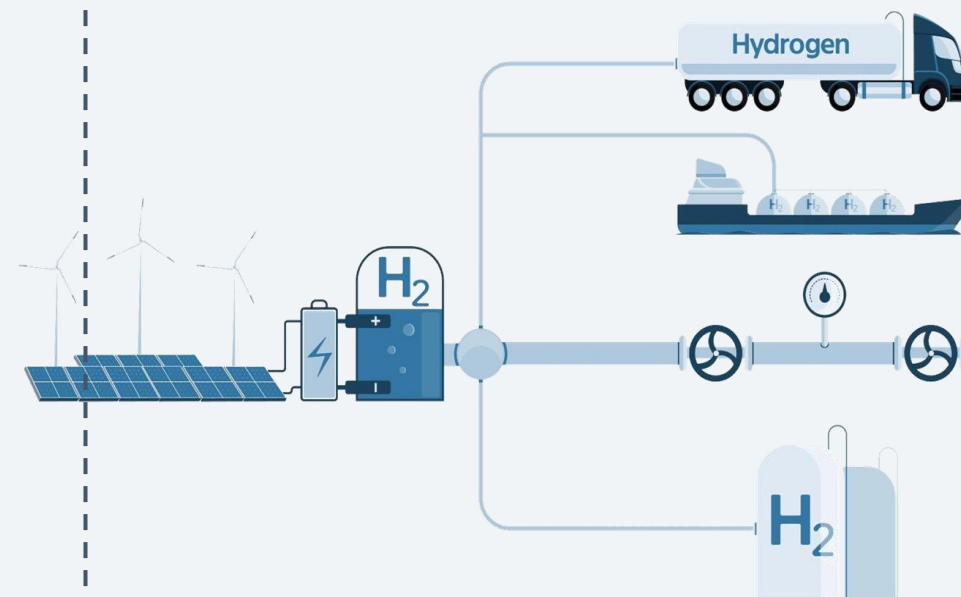
Parengė: Dr. Indrė Gečaitė

2025-12-17



DARBO GRUPĖS UŽDUOTYS

1. H₂ produkcijos/panaudojimo vietų ir kiekio duomenų rinkimas.
2. H₂ energijos nešėjų pasirinkimas ir analizė.
3. H₂ energijos nešėjų gamybos vietų nustatymas.
4. Informacijos apie tarptautinę praktiką surinkimas.
5. Infrastruktūros duomenų rinkimas ir atstumų vertinimas.
6. Transportavimo galimybių techninis vertinimas.
7. Ekonominių rodiklių duomenų rinkimas ir sisteminimas.
8. Teisinės bazės analizė ir išvados.
9. Ribojimų bei saugos analizė ir išvados.
10. Scenarijų sudarymas.
11. Modelio sudarymas ir verifikacija.
12. LCOHT modeliavimas ir išvesties duomenų vizualizacija.
13. Analizės parengimas.



1. VANDENILIO PRODUKCIJOS VIETŲ IR KIEKIO DUOMENŲ RINKIMAS

1) Vandenilio gamybai tinkamų teritorijų identifikavimas pagal geografinius ir teritorijų panaudos (kadastrinius) duomenis



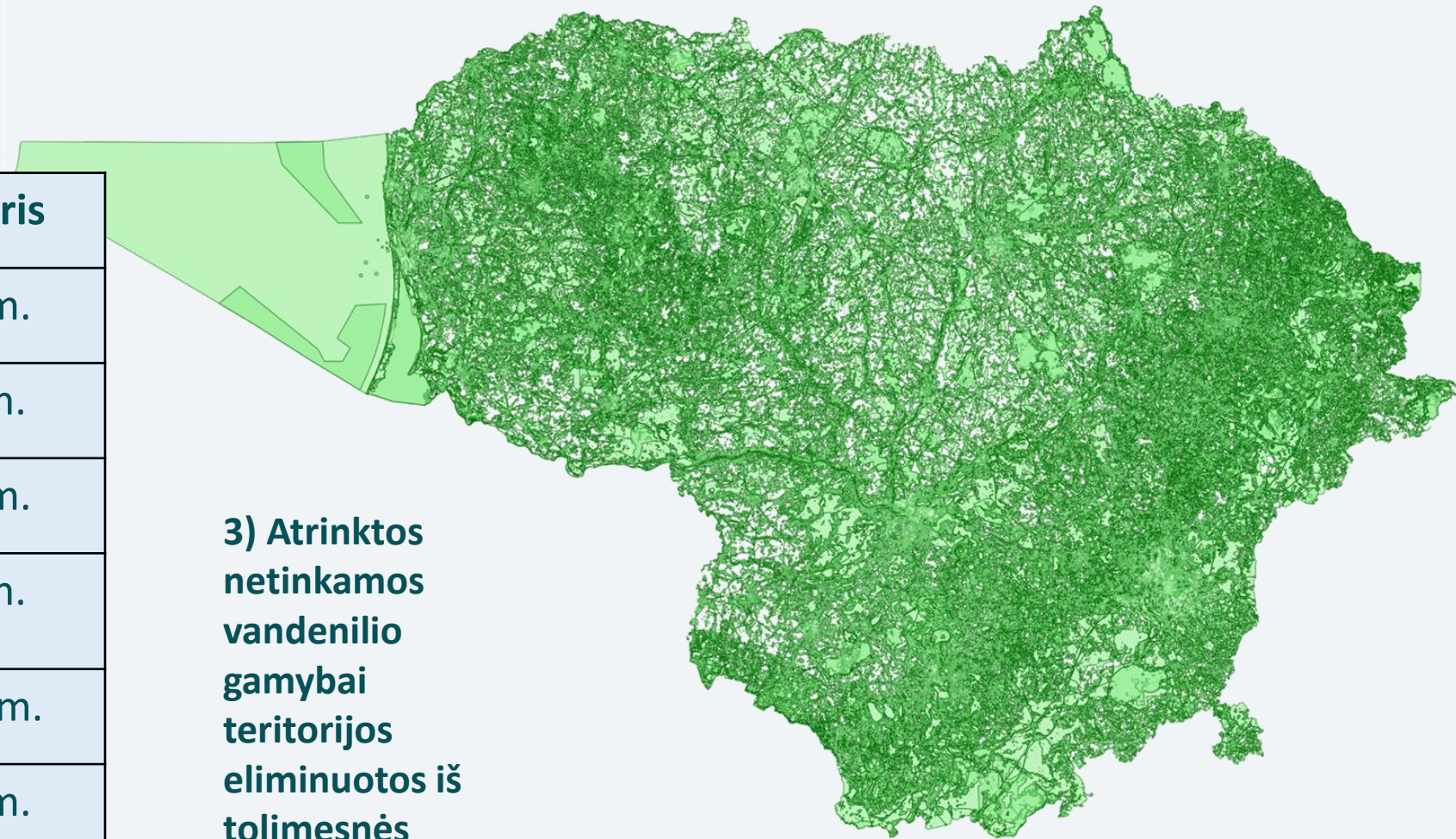
2) Įvertinta teritorijų sąveika su transporto infrastruktūra, elektros tinklais ir planuojamu vandenilio dujotiekiu

H2 GAMYBOS VIETOMS NETINKAMOS TERITORIJOS

Pritaikyti sluoksniai ir
buferinės zonos

Sluoksnis	Buferis
Keliai	30 m.
Mišakai	30m.
Gamtos saugomi objektai	30 m.
Kultūriniai saugomi objektai	30m.
Pastatai	500 m.
Vandens telkiniai ir upės	30 m.
Kiti objektai	30 m.

3) Atrinktos
netinkamos
vandenilio
gamybai
teritorijos
eliminuos iš
tolimesnės
analizės



H2 GAMYBOS VIETOMS TINKAMOS TERITORIJOS

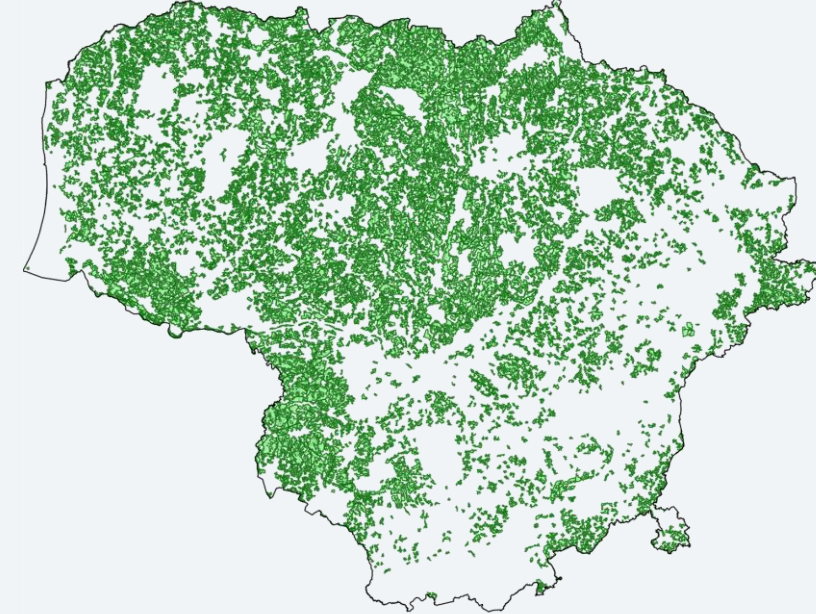
Suskirstyta pagal teritorijų plotą – tinkamą mažiems ir didesniems projektams vystyti



Iš visų tinkamų teritorijų
išskirtos tos, kurios siekia
1 hektaro plotą ar
daugiau, tinkamos ir
mažos apimties gamybai.
Bendras plotas:
1 620 899 ha



Iš visų tinkamų teritorijų
išskirtos tos, kurios siekia
3 hektarų plotą ar
daugiau, tinkamos
vidutinės apimties
gamybai. Bendras plotas:
1 556 225 ha



Iš visų tinkamų teritorijų
išskirtos tos, kurios siekia
5 hektarų plotą ar
daugiau, tinkamos
didesnės apimties
gamybai. Bendras plotas:
1 510 599 ha

1. VANDENILIO PRODUKCIJOS VIETŲ IR KIEKIO DUOMENŲ RINKIMAS

Remiantis AB „Amber Grid“ (2025 m.) atliktos rinkos apklausos duomenimis, sudarytas potencialių vandenilio gamybos vietų žemėlapis su 7 km buferine zona. Identifikuoti referenciniai taškai ir aplinkinės teritorijos pagal išreikštus ketinimus gaminti žaliąjį vandenilį.



Žemėlapis viešai neteikiamas dėl konfidencialios informacijos apsaugos

2. H2 ENERGIJOS NEŠĖJŲ PASIRINKIMAS IR ANALIZĖ

Tikslas:

Įvertinti galimus vandenilio energijos nešėjus (pvz., amoniaką, metanolį, sintetinį metaną, dimetilo eterį ir pan.), jų taikymą, gamybą, transportavimą bei konvertavimą.

Kodėl tai svarbu?

Padedą pasirinkti tinkamiausius alternatyvius energijos nešėjus. Leidžia įvertinti energijos nuostolius ir transportavimo efektyvumą.

Vertinimo kriterijai:

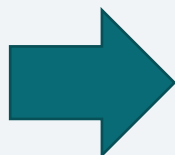
- ✓ Brandos lygis (technologinis pasirengimas)
- ✓ Duomenų prieinamumas (literatūra / pramonės šaltiniai)
- ✓ Transportavimo patirtis ir saugumo informacija
- ✓ Aktualumas Lietuvos rinkoje

2. H2 ENERGIJOS NEŠĖJŲ PASIRINKIMAS IR ANALIZĖ

Remiantis AB „KN Energies“ pateiktos analizės rezultatais, darbo grupėje priimtas sprendimas analizuoti tik du rinkoje labiausiai paplitusius vandenilio energijos nešėjus



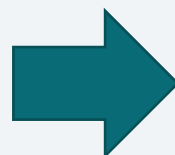
Metanolis



- **Lengvai saugomas ir transportuojamas** - nereikalauja aukšto slėgio ar kriogenikos.
- **Didelė energijos tankio vertė tūryje** - efektyvus ilgų distancijų transportui.
- **Infrastruktūra** - terminalai, cisternos, tanklaiviai lengvai pritaikomi metanoliui.
- Technologiškai **paprastas konversijos į H₂ procesas** - reformingas yra brandi technologija.
- **Naudojamas tiesiogiai** laivyboje.



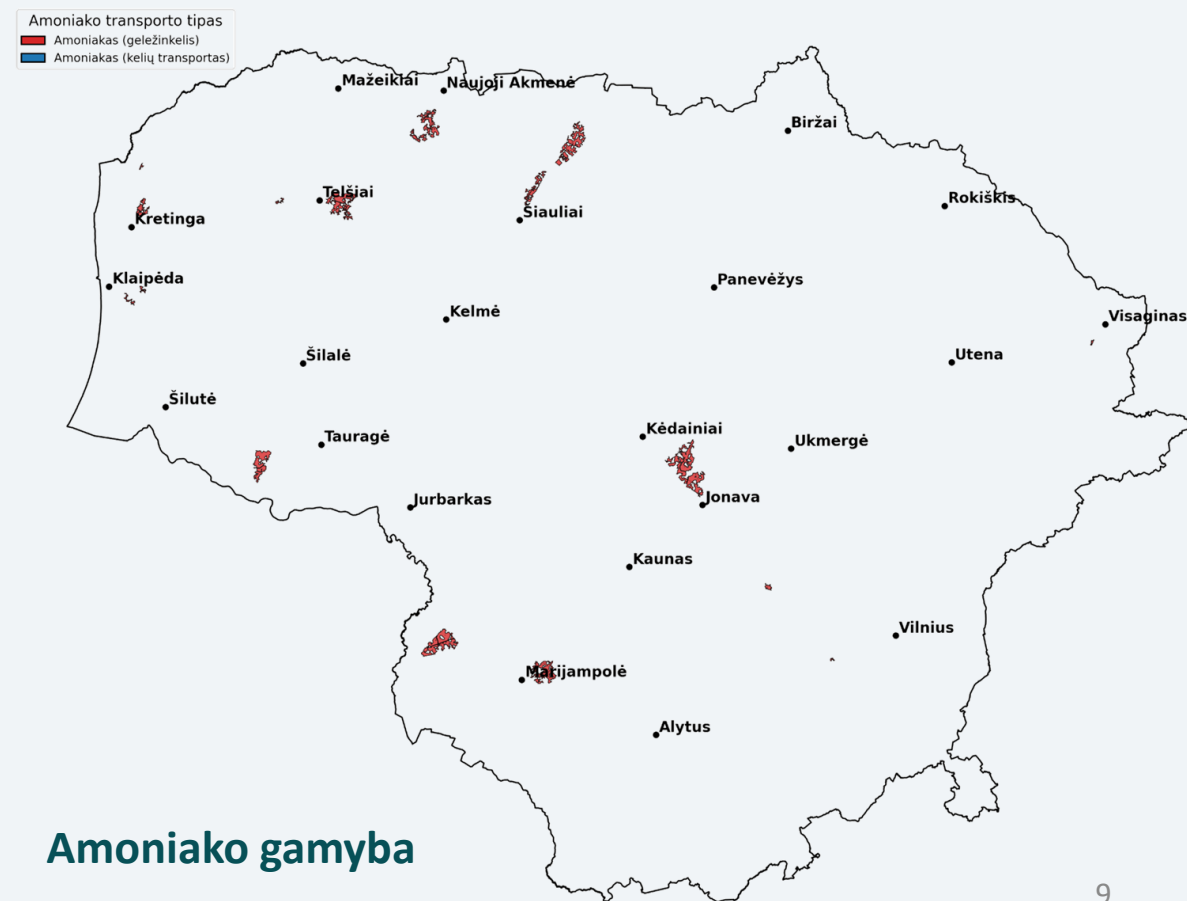
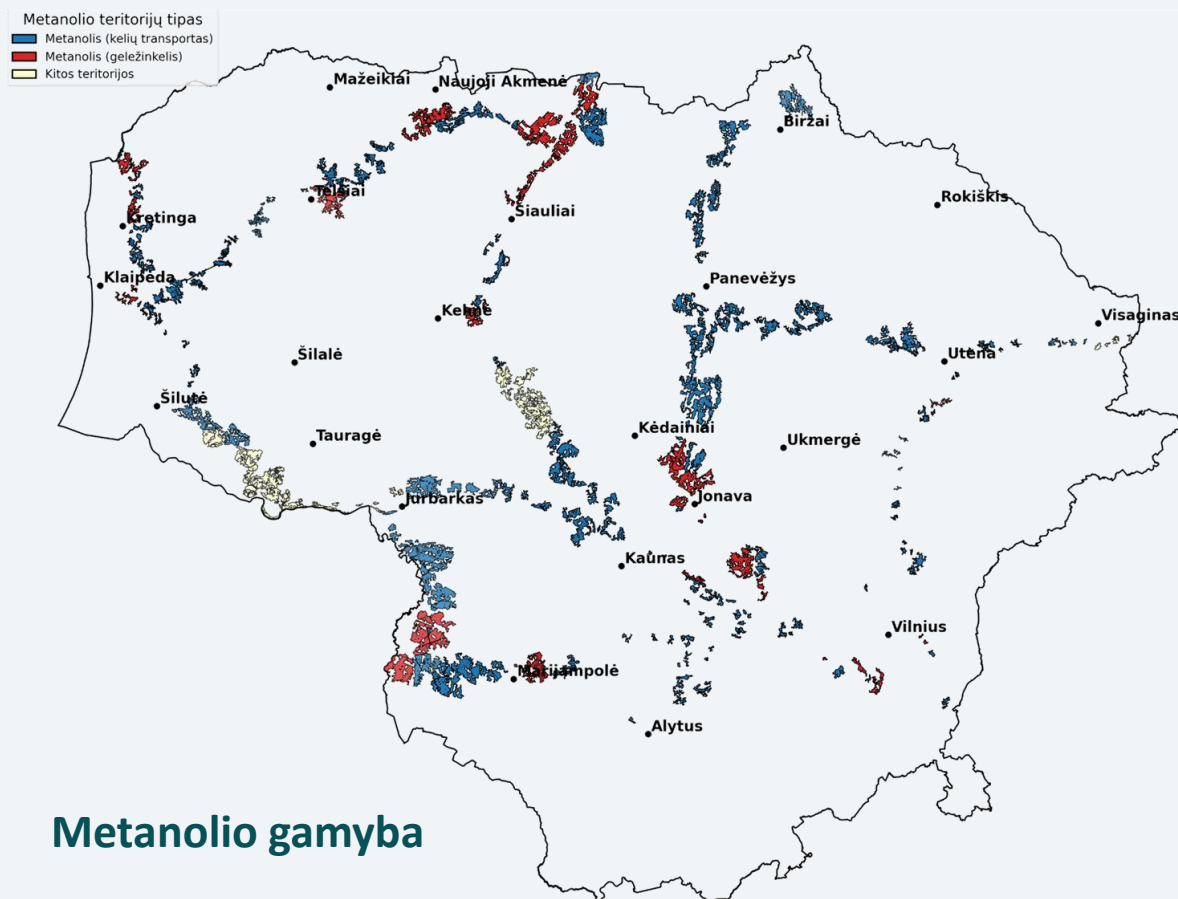
Amoniakas



- Labai **didelis vandenilio kiekis tūryje** - 1 m³ amoniako talpina ~1.7 karto daugiau H₂ nei suskystintas H₂.
- **Lengvai suskystinamas** prie -33°C ir žymiai **pigesnis saugojimas**.
- **Infrastruktūra** – geležinkeliai, uostai ir terminalai lengvai pritaikomi.
- Gali būti **naudojamas tiesiogiai kaip kuras** (laivyba, turbinos).
- Gerai **integruojama į atsinaujinančios energijos sistemas** (Power-to-X).

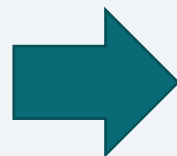
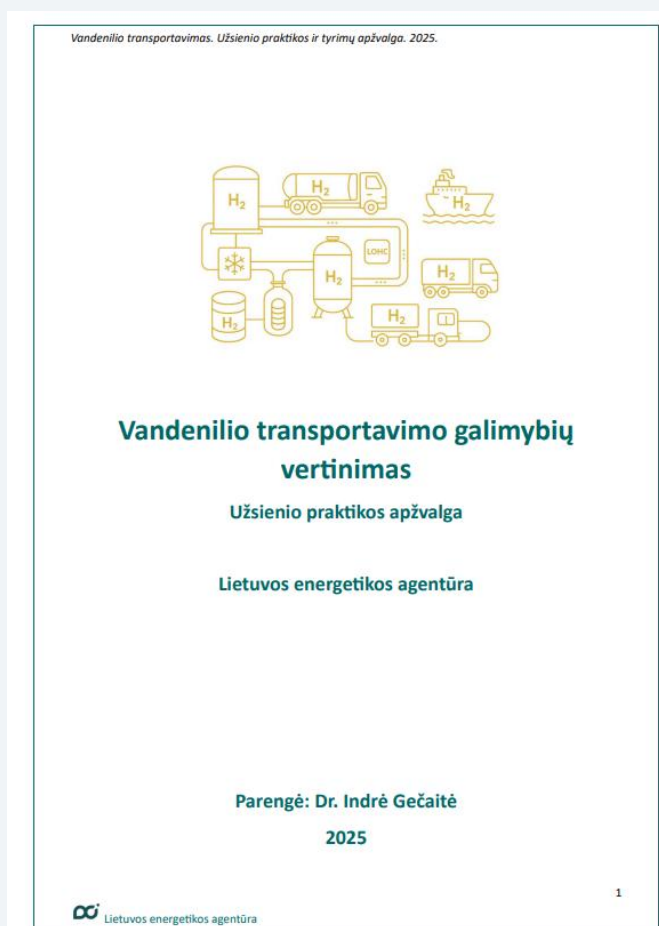
3. H2 ENERGIJOS NEŠĖJŲ GAMYBOS VIETŲ NUSTATYMAS

Pagal reikalingą infrastruktūrą, teritorijų panaudojimo galimybes ir CO₂ surinkimo potencialą, sudaryti metanoliui ir amoniakui gaminti tinkamų teritorijų žemėlapiai



4. INFORMACIJOS APIE TARPTAUTINĘ PRAKTIKĄ SURINKIMAS

Surinkta informacija apie tarptautinėje praktikoje naudojamas transportavimo priemones vandeniliui ir jo išvestiniams produktams bei apžvelgtos rinkos tendencijos



Vandenilio saugojimas	4
Suslėgto vandenilio dujų saugojimas (CGH₂)	5
Vandenilio saugojimas požeminėse struktūrose	5
Skysto vandenilio saugojimas (LH₂)	6
Kriogeniškai suslėgto vandenilio saugojimas (CcH₂)	7
Vandenilio saugojimas skystuosiuose organiniuose vandenilio nešikliuose (LOHC)	8
Vandenilio saugojimas kaip degalai (sintetiniai)	9
Amoniakas	9
Metanolis	10
Apibendrinimas	11
Vandenilio transportavimas	11
Vandenilio kelių transportas	13
Suslėgto dujinio vandenilio priekaba	14
Skystojo vandenilio priekaba	14
Vandenilio transportavimas vamzdynais	15
Vandenilio gabenimas jūra	16
Vandenilio transportavimas amoniako ar metanolio pavidalu	17
Literatūros šaltiniai	24

5. INFRASTRUKTŪROS DUOMENŲ RINKIMAS IR ATSTUMŲ VERTINIMAS

Remiantis infrastruktūros poreikiu, jos tipu ir teritorijų panaudojimo galimybėmis, sudaryti vandenilio gamybai tinkamų teritorijų žemėlapiai

Ivertinta:

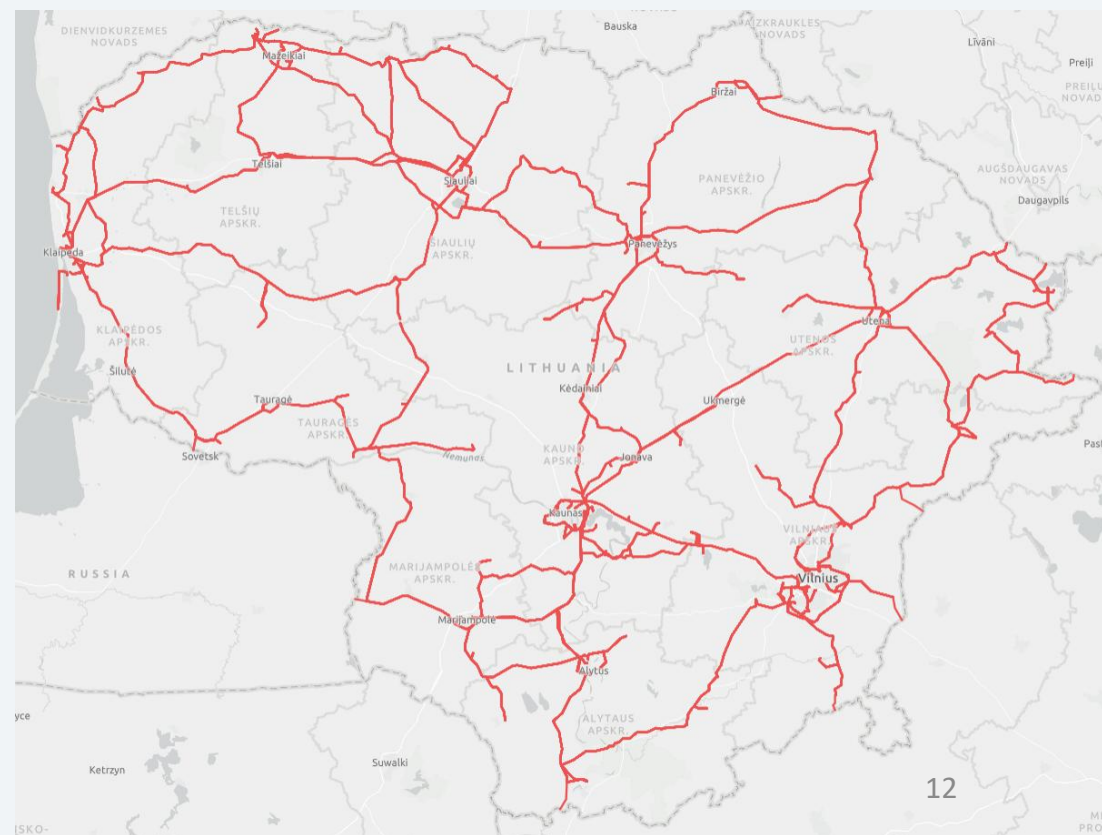
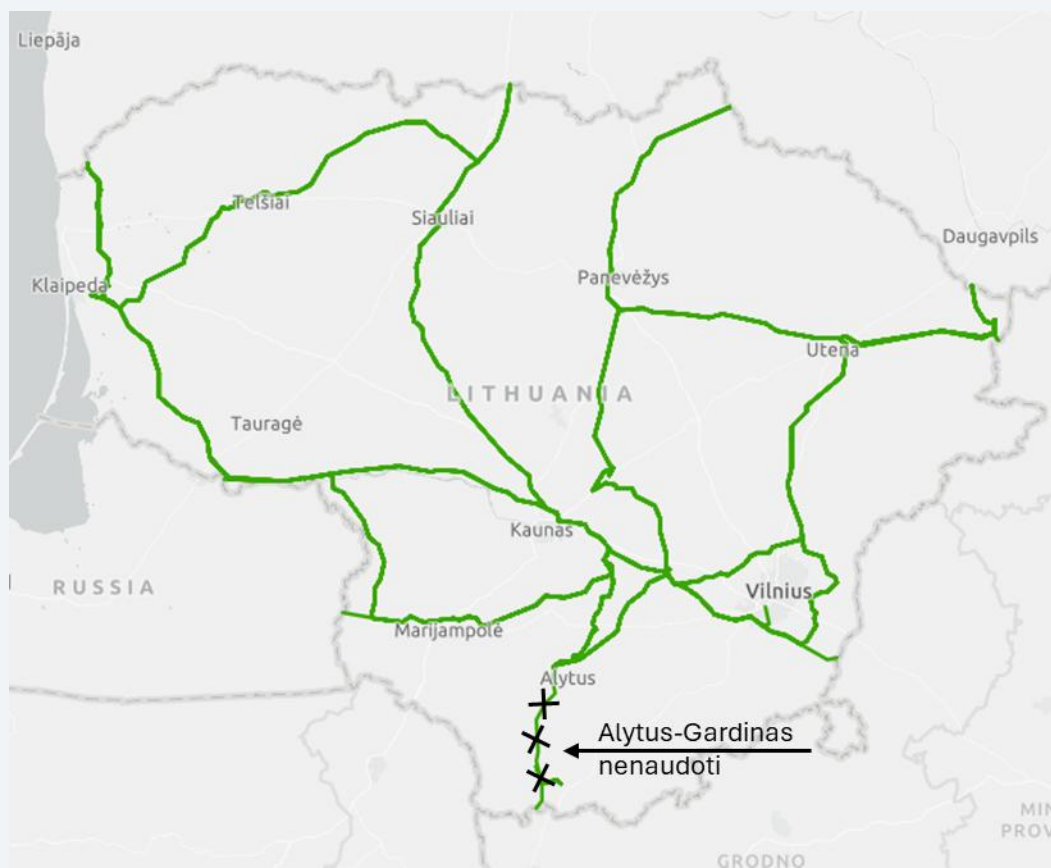
- ✓ Elektros tinklo linijos (110 ir 330 kV)
- ✓ Geležinkelio infrastruktūra
- ✓ Vandenilio planuojamas dujotiekis
- ✓ Kelių infrastruktūra
- ✓ Hidrologija
- ✓ Sąveika su atsinaujinančios energijos parkais

H2 GAMYBOS VIETOMS TINKAMOS TERITORIJOS PAGAL ELEKTROS TINKLĄ

Teritorijos, atitinkančios kriterijų, ne didesnis kaip 1km iki 330kV linijų dideliems projektams

Pastaba: Alytus-Gardinas linijos nenaudojamos H2 gamybai tinkamų teritorijų nustatymui

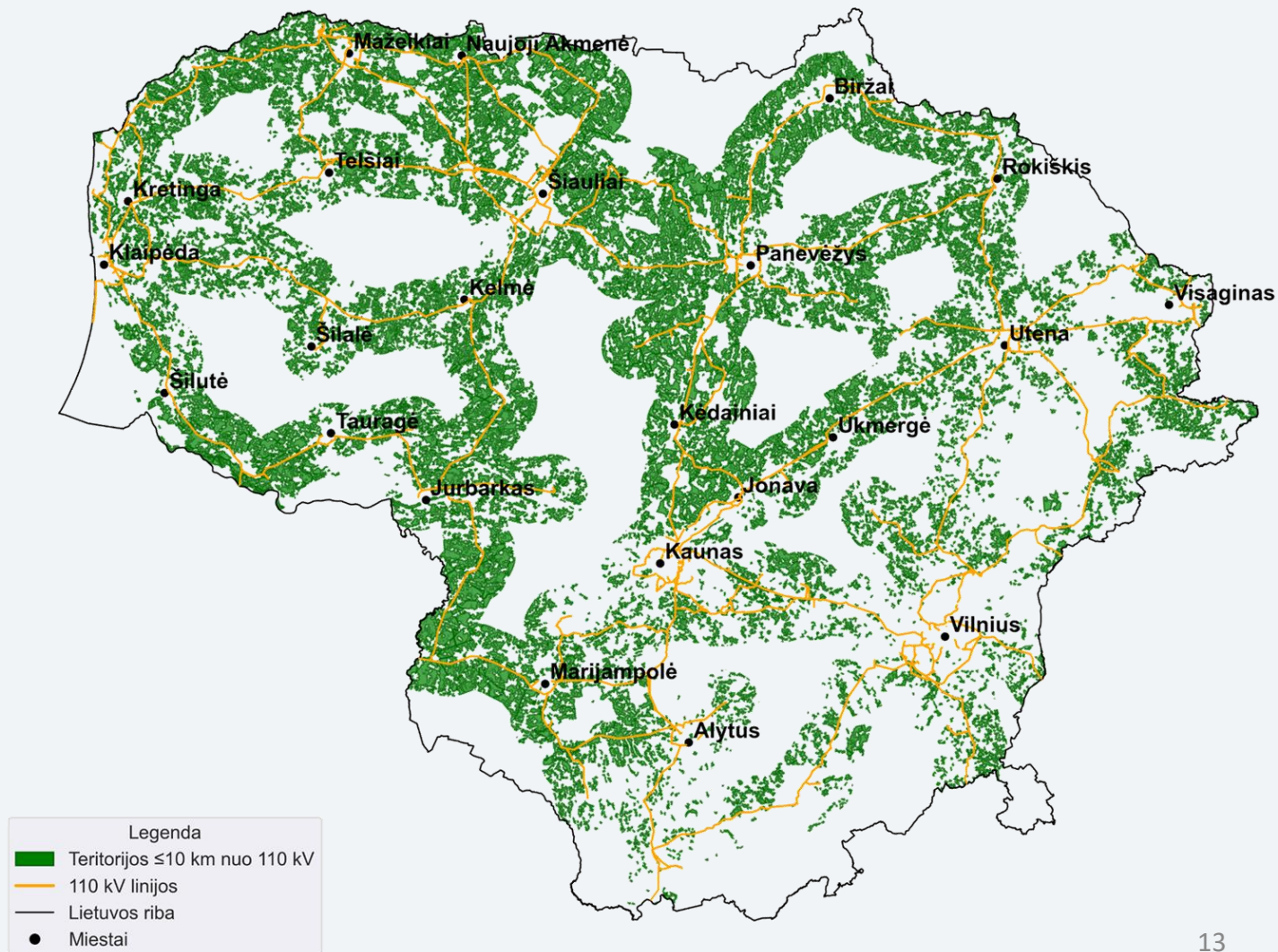
Teritorijos, atitinkančios kriterijų, ne didesnis kaip 10km iki 110kV linijų, mažesniems projektams



H2 GAMYBOS VIETOMS TINKAMOS TERITORIJOS PAGAL ELEKTROS TINKLĄ

Teritorijos, atitinkančios
kriterijų – ne didesnis
kaip 10 km atstumas iki
110 kV elektros linijų,
tinkamos vandenilio
gamybai (>1ha plotai).

Viso: **1 165 125 ha**



H2 GAMYBOS VIETOMS TINKAMOS TERITORIJOS PAGAL ELEKTROS TINKLĄ

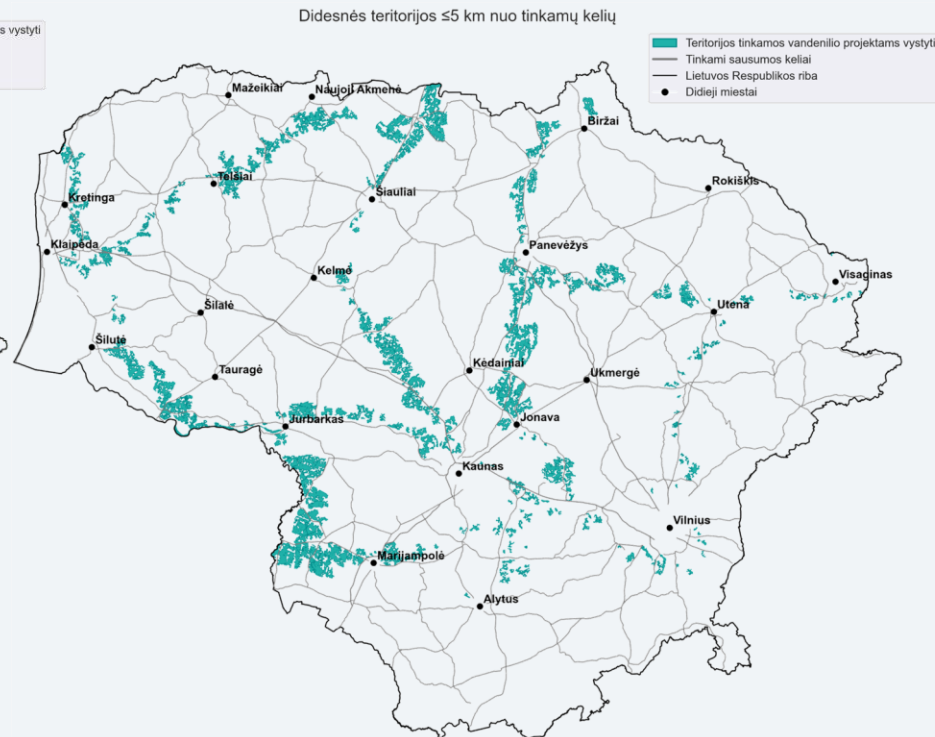
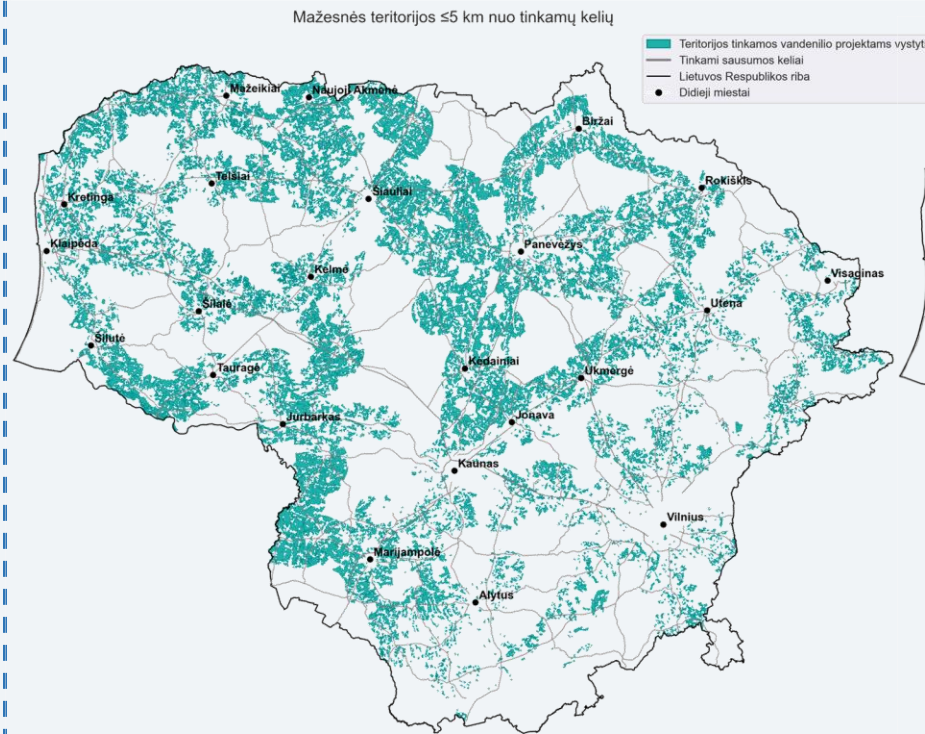
Teritorijos, atitinkančios
kriterijų – ne didesnis
kaip 1 km atstumas iki
330 kV elektros linijų,
tinkamos vandenilio
gamybai (>5ha plotai).

Viso: **272 177 ha**



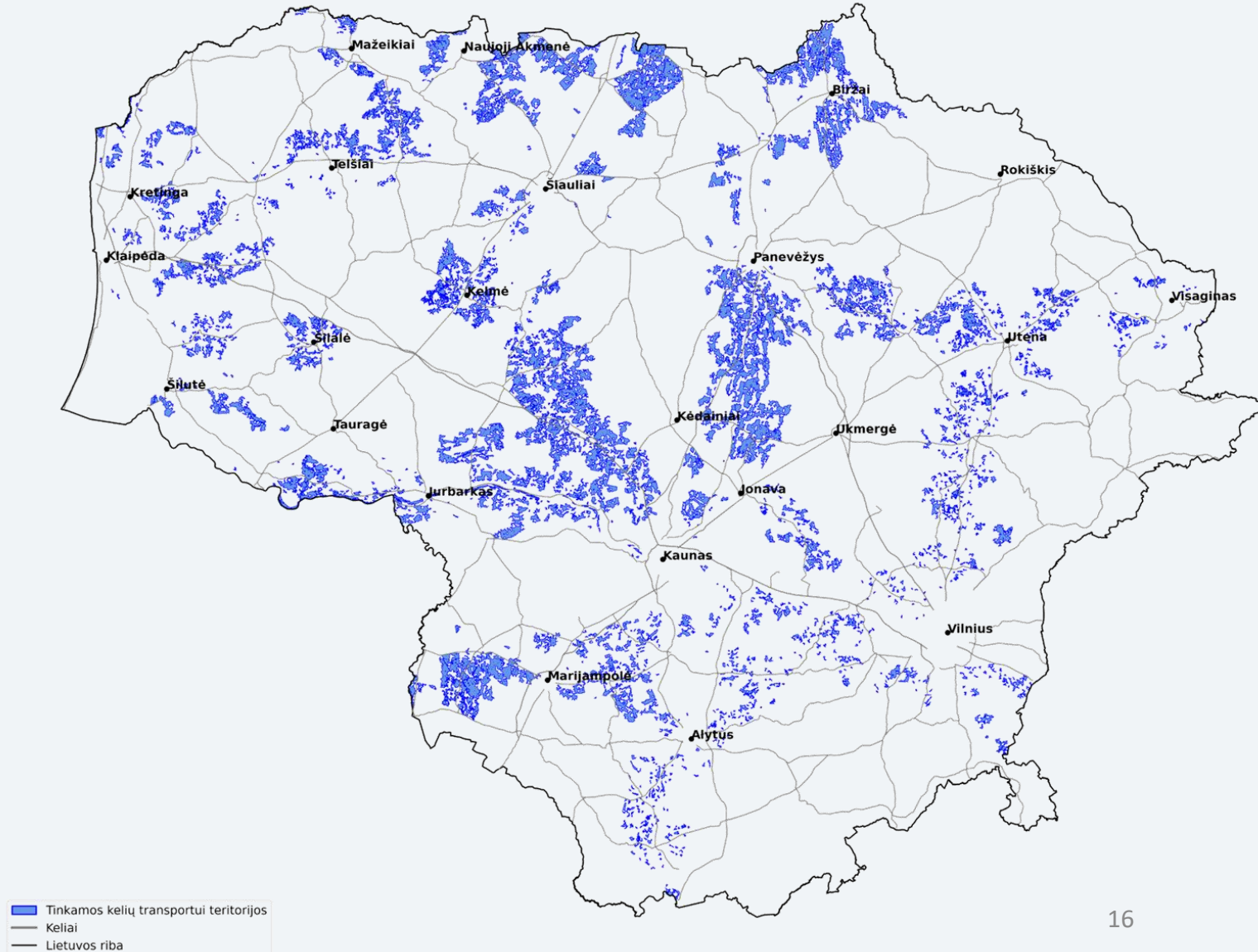
VANDENILIO TRANSPORTAVIMO SAUSUMOS KELIAI

Nustatytas 5 km
buferis nuo
tinkamų
vandeniliui gaminti
teritorijų iki
automagistralinių,
I, II ir III
kategorijos kelių,
**neišskiriant tiltų ir
svorio apribojimų.**



TINKAMIAUSIOS TERITORIJOS TRANSPORTAVIMUI KELIAIS

Iš tinkamų išskirtos teritorijos, kurios yra ne šalia geležinkelio ir ne šalia dujotiekio, tačiau šalia platesnių kelių. Darant prielaidą, kad sausumos keliai yra vienintelė alternatyva (110 kV tinklas).

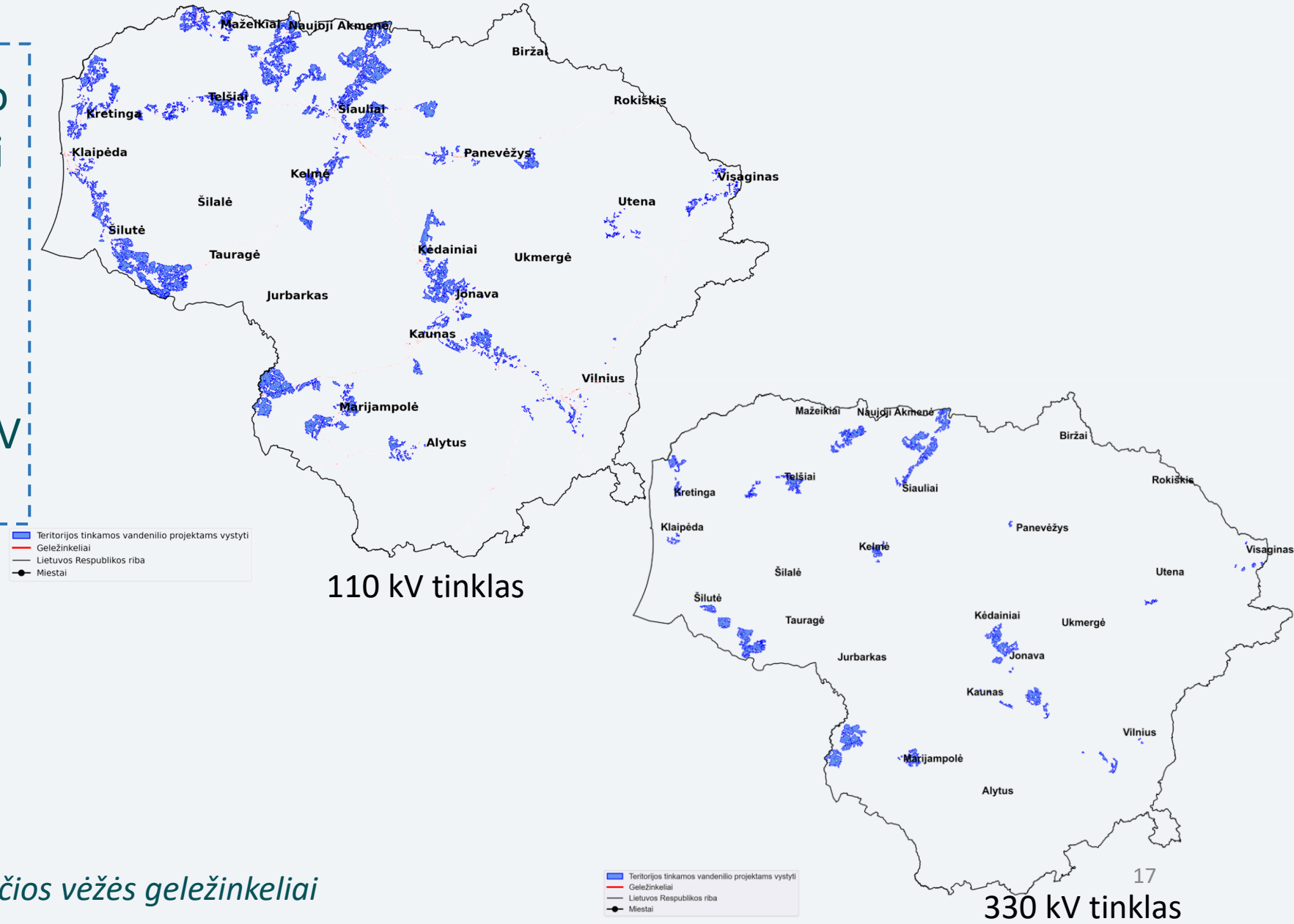


VANDENILIO TRANSPORTAVIMAS GELEŽINKELIAIS

Nustatytas 2 km buferis nuo tinkamų vandeniliui gaminti teritorijų iki geležinkelių*,
neišskiriant apribojimų.

Tinkamiausios vandenilio išvestiniams produktams.

Teritorijos šalia 110 ir 330 kV elektros tinklų.

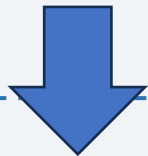


**Europinio standarto geležinkeliai ir plačios vėžės geležinkeliai*

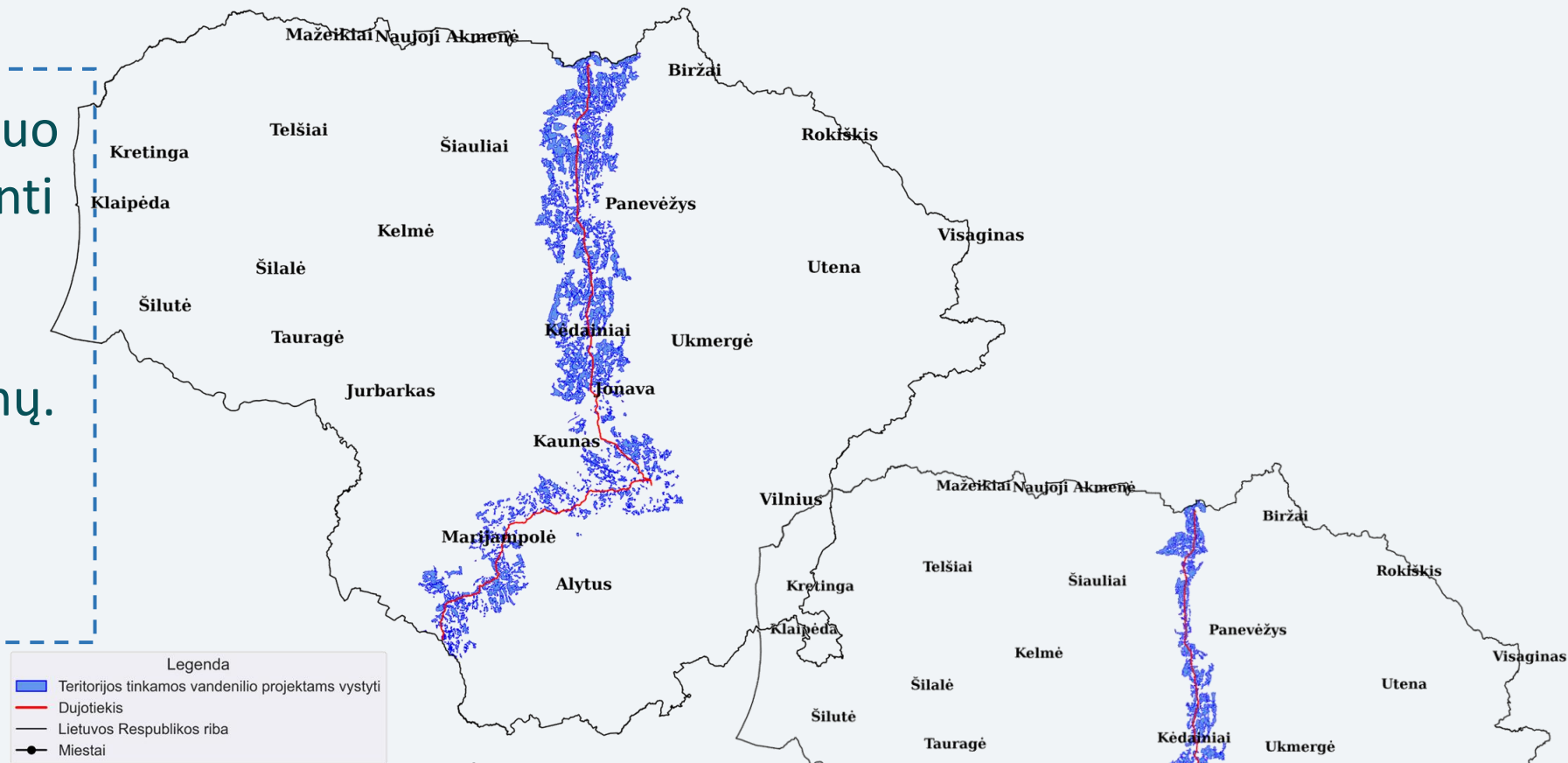
VANDENILIO PERDAVIMAS Į DUJOTIEKĮ

Nustatytas 2 km buferis nuo
tinkamų vandeniliui gaminti
teritorijų iki planuojamo
vandenilio **dujotiekio**,
neišskiriant kitų apribojimų.

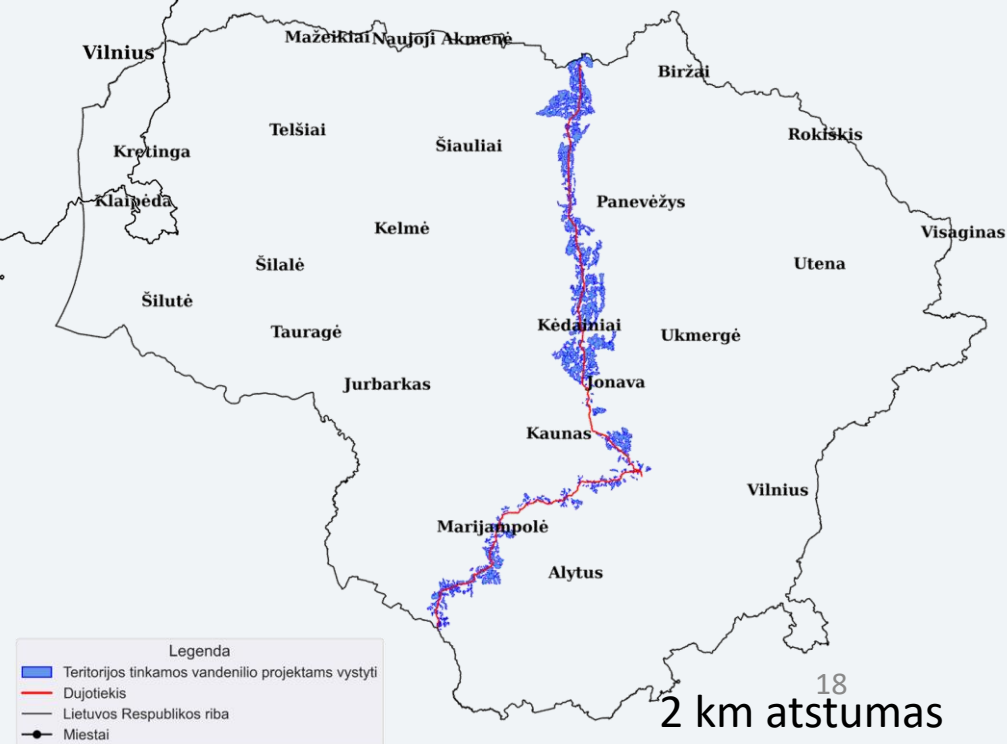
Viso: **90 197 ha**



10 km: **200 270 ha**



10 km atstumas

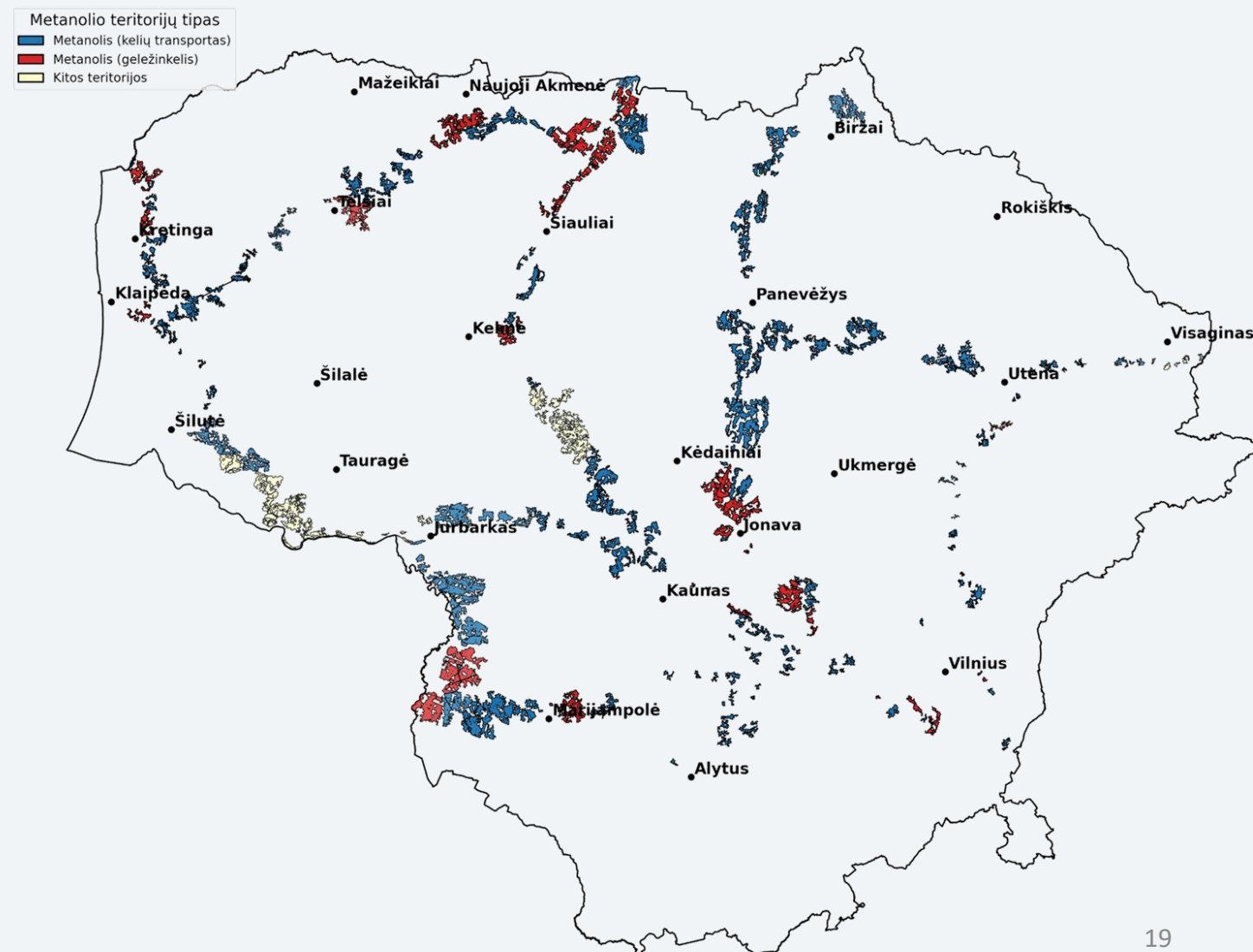


2 km atstumas

DIDELĖS METANOLIO GAMYBOS VIETOMS **TINKAMOS** TERITORIJOS PAGAL ELEKTROS TINKLĄ, HIDROLOGIJĄ, INFRASTRUKTŪRĄ IR CO₂ SURINKIMĄ

Metanolio gamybai tinkamos teritorijos, išskirtos pagal logistikos prieinamumą. Teritorijos klasifikuotos pagal susisiekimą keliais ir geležinkeliais, išryškinant zonas, kuriose metanolio gamyba ir paskirstymas būtų efektyviausi dėl geresnio transporto ryšio, o likusios pažymėtos kaip kitos potencialiai tinkamos teritorijos.

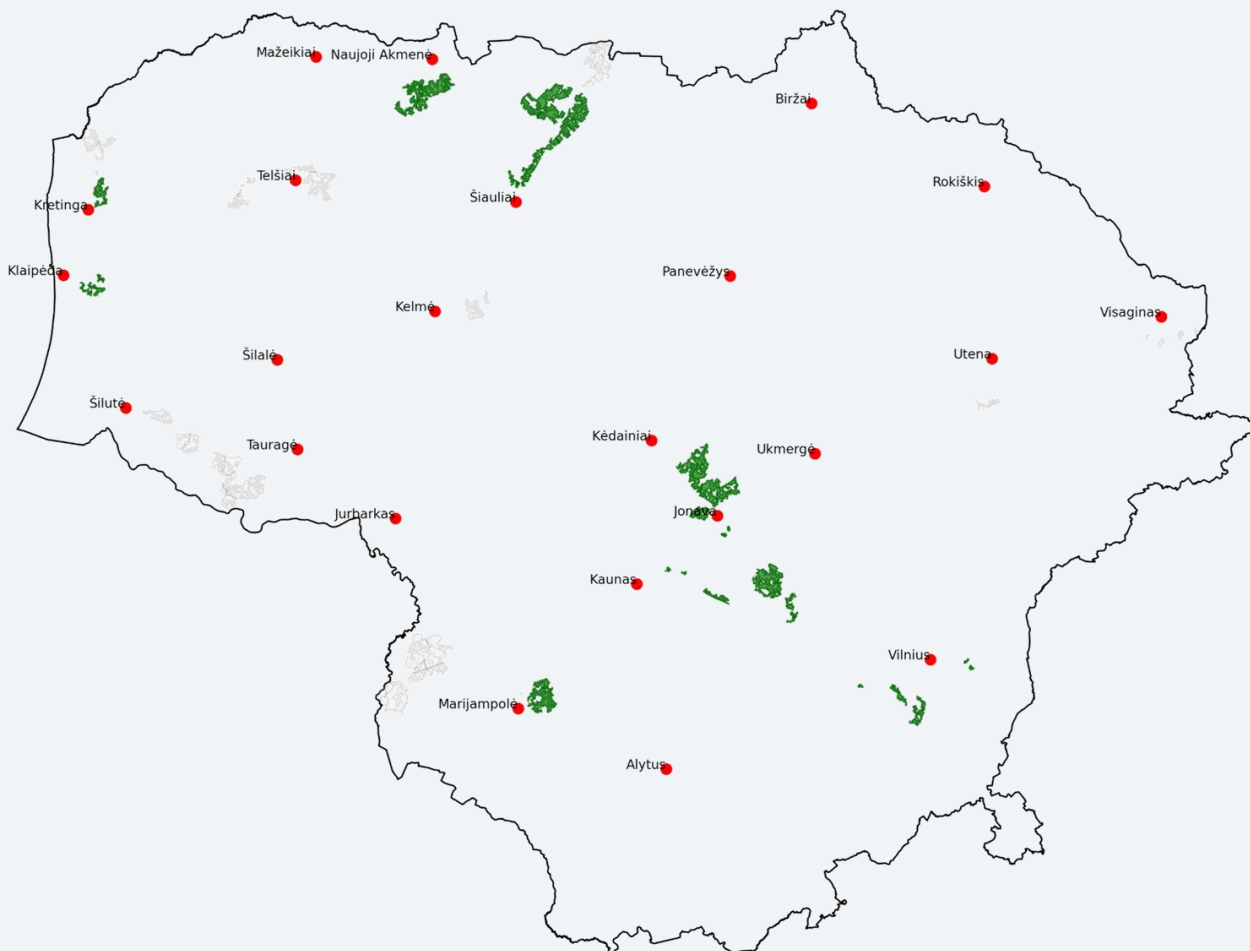
Metanolio teritorijos ir kitos tinkamos teritorijos



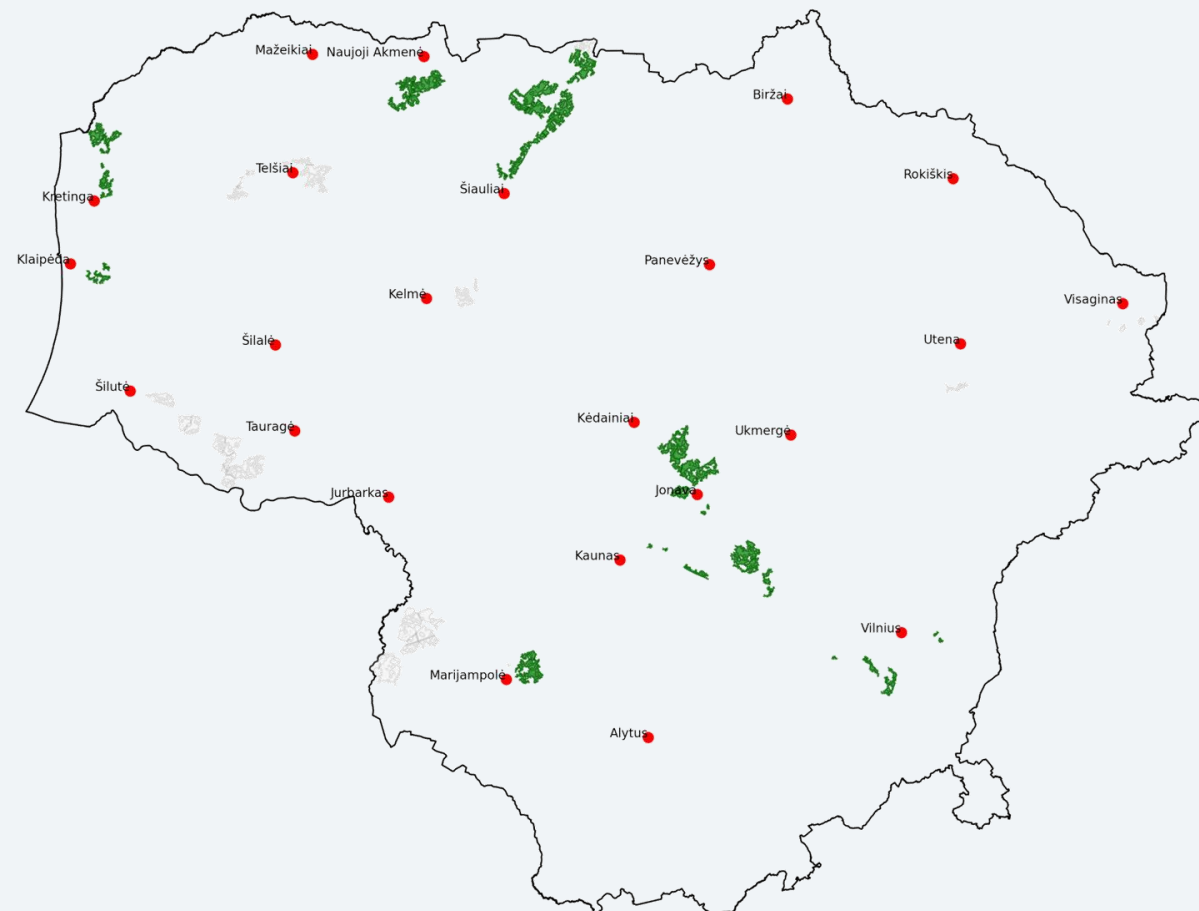
DIDELĖS METANOLIO GAMYBOS VIETOMS TINKAMOS TERITORIJOS PAGAL ELEKTROS TINKLĄ, HIDROLOGIJĄ, GELEŽINKELĮ IR CO₂ SURINKIMĄ

Pagal skirtingą potencialiai sugaunamo CO₂ kiekį ir atstumą iki šaltinio

Teritorijos, surenkančios $\geq 400\,000$ tCO₂ per metus (50 km spinduliu)



Teritorijos, surenkančios $\geq 250\,000$ tCO₂ per metus (50 km spinduliu)

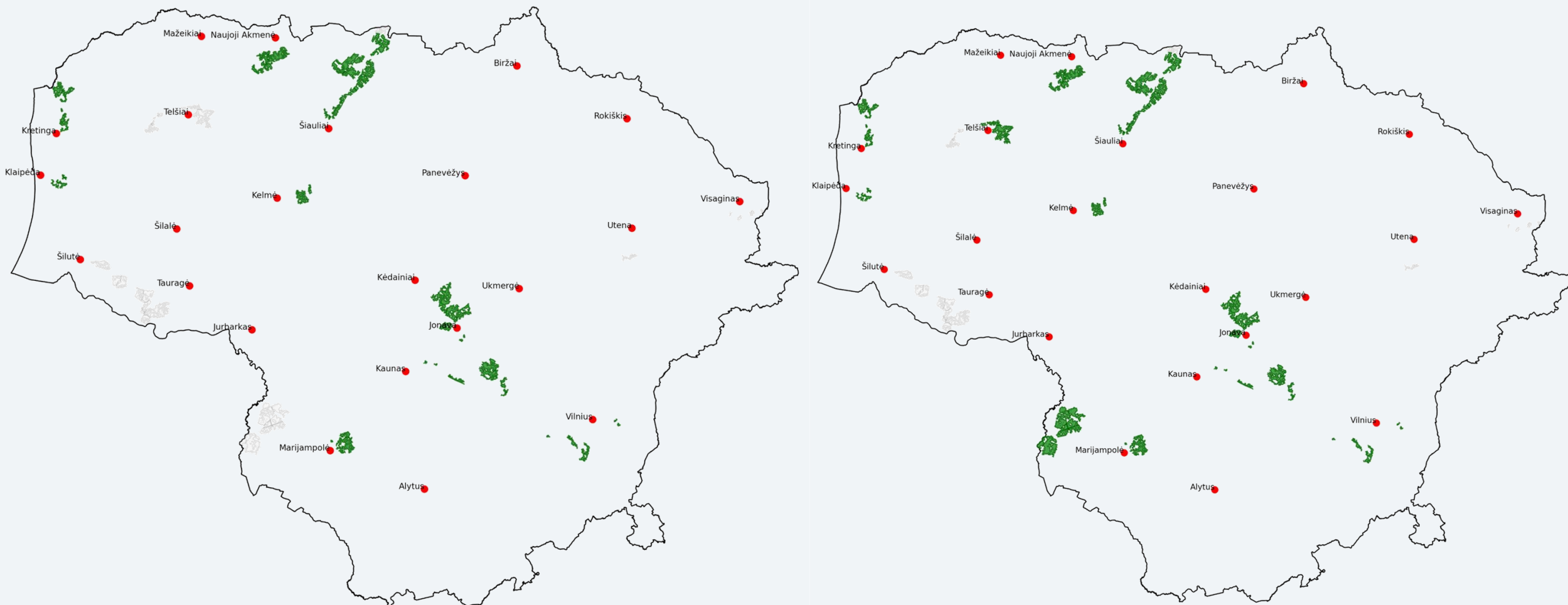


DIDELĖS METANOLIO GAMYBOS VIETOMS TINKAMOS TERITORIJOS PAGAL ELEKTROS TINKLĄ, HIDROLOGIJĄ, GELEŽINKELĮ IR CO₂ SURINKIMĄ

Pagal skirtingą potencialiai sugaunamo CO₂ kiekį ir atstumą iki šaltinio

Teritorijos, surenkančios $\geq 200\ 000$ tCO₂ per metus (50 km spinduliu)

Teritorijos, surenkančios $\geq 100\ 000$ tCO₂ per metus (50 km spinduliu)

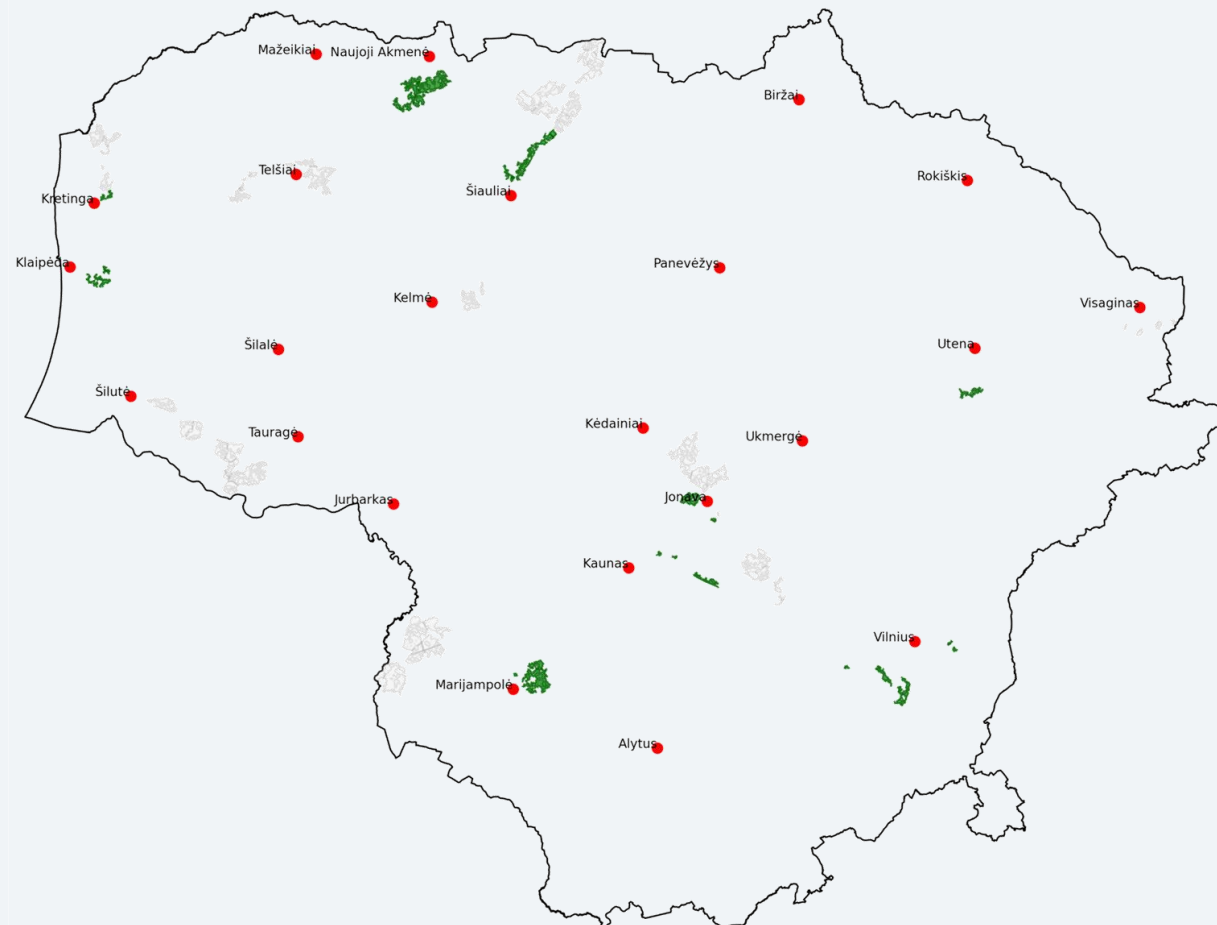
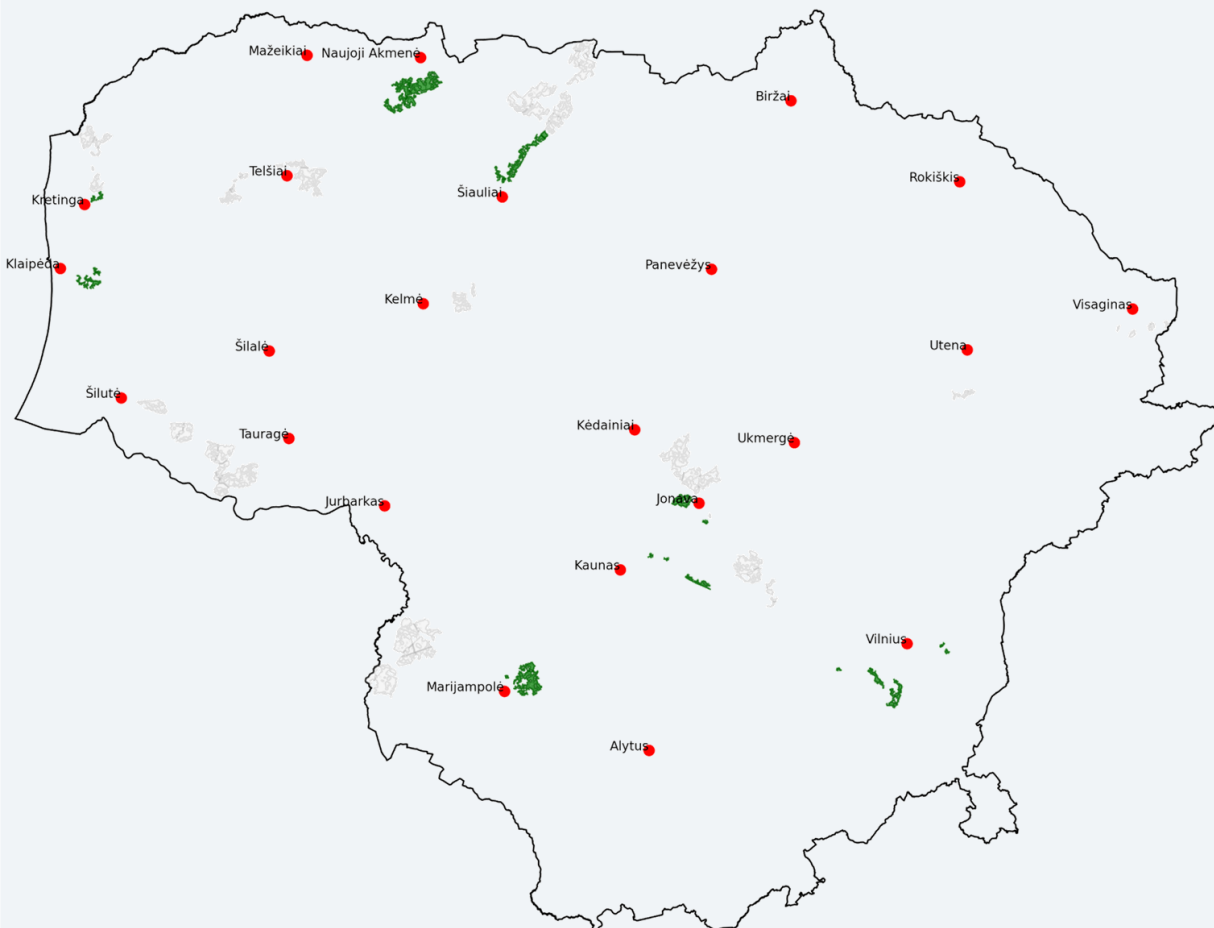


DIDELĖS METANOLIO GAMYBOS VIETOMS TINKAMOS TERITORIJOS PAGAL ELEKTROS TINKLĄ, HIDROLOGIJĄ, GELEŽINKELĮ IR CO₂ SURINKIMĄ

Pagal skirtingą potencialiai sugaunamo CO₂ kiekį ir atstumą iki šaltinio

Teritorijos, surenkančios $\geq 100\,000$ tCO₂ per metus (25 km spinduliu)

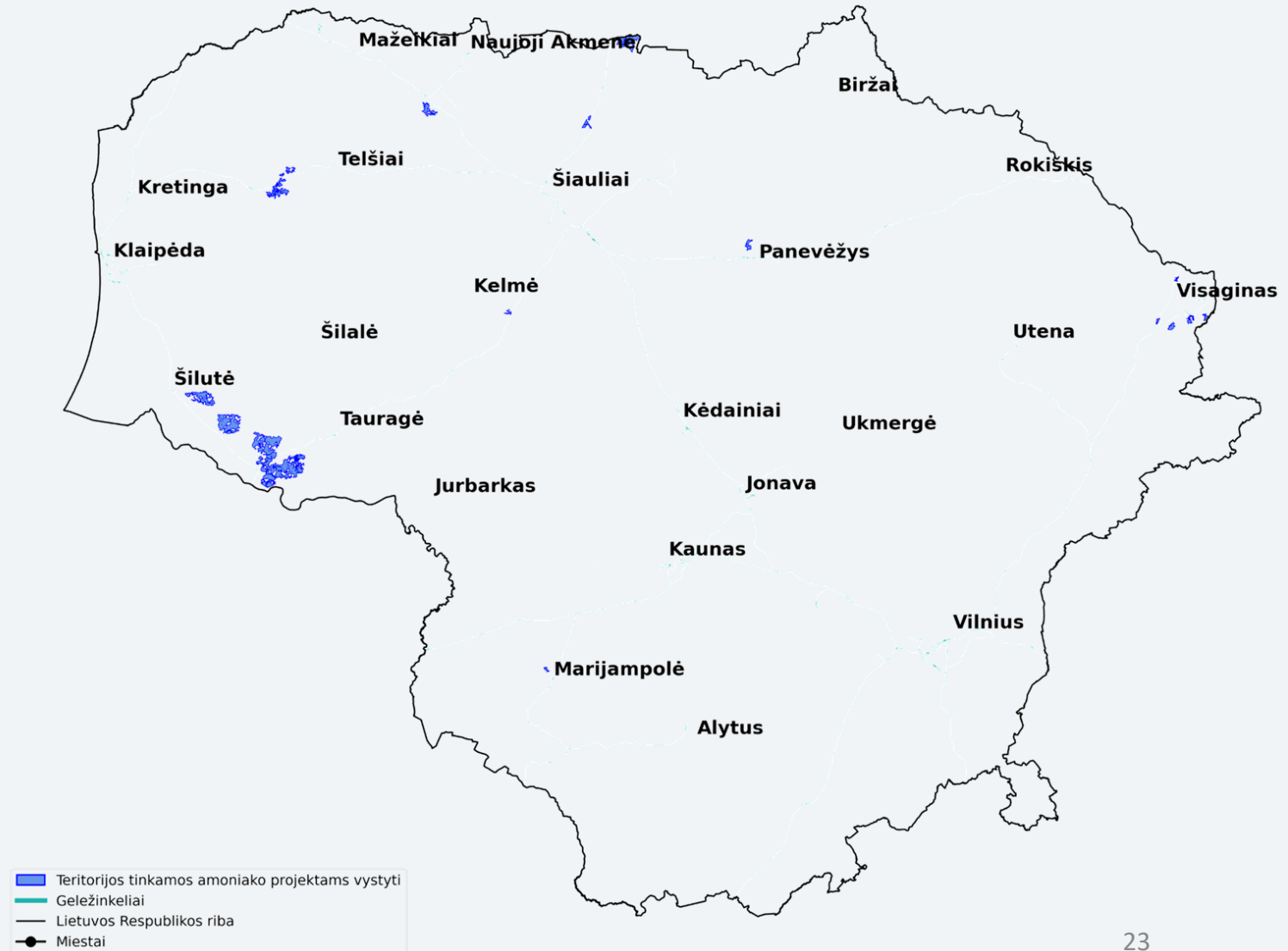
Teritorijos, surenkančios $\geq 50\,000$ tCO₂ per metus (25 km spinduliu)



AMONIAKO GAMYBAI TINKAMOS DIDELĖS TERITORIJOS PAGAL ELEKTROS TINKLĄ, GELEŽINKELIO INFRASTRUKTŪRĄ IR ŽEMĖS PANAUDOJIMĄ

Didelės teritorijos ≤ 2 km nuo geležinkelių

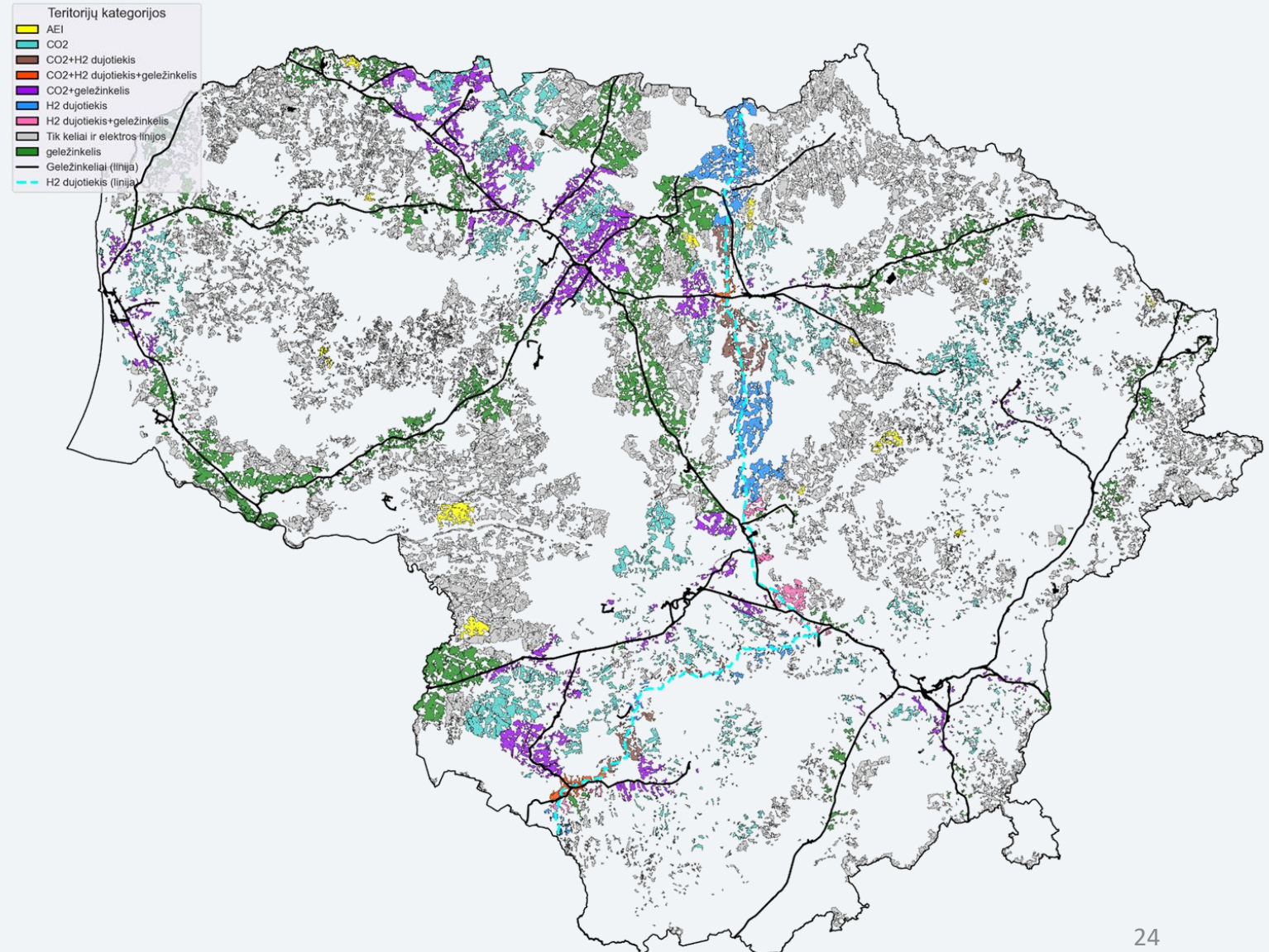
Didelės (>5 ha) amoniako gamybai tinkamos teritorijos
Pagal elektros ir geležinkelio tinklą
(nejtraukiant AB „Achemos“ chemijos produktų gamybos vietos ir eliminuojant tinkamas metanolio gamybai teritorijas)



MAŽOS H₂ GAMYBOS VIETOMS TINKAMOS TERITORIJOS PAGAL ELEKTROS TINKLĄ, HIDROLOGIJĄ, INFRASTRUKTŪRĄ IR ŽEMĖS PANAUDOJIMĄ

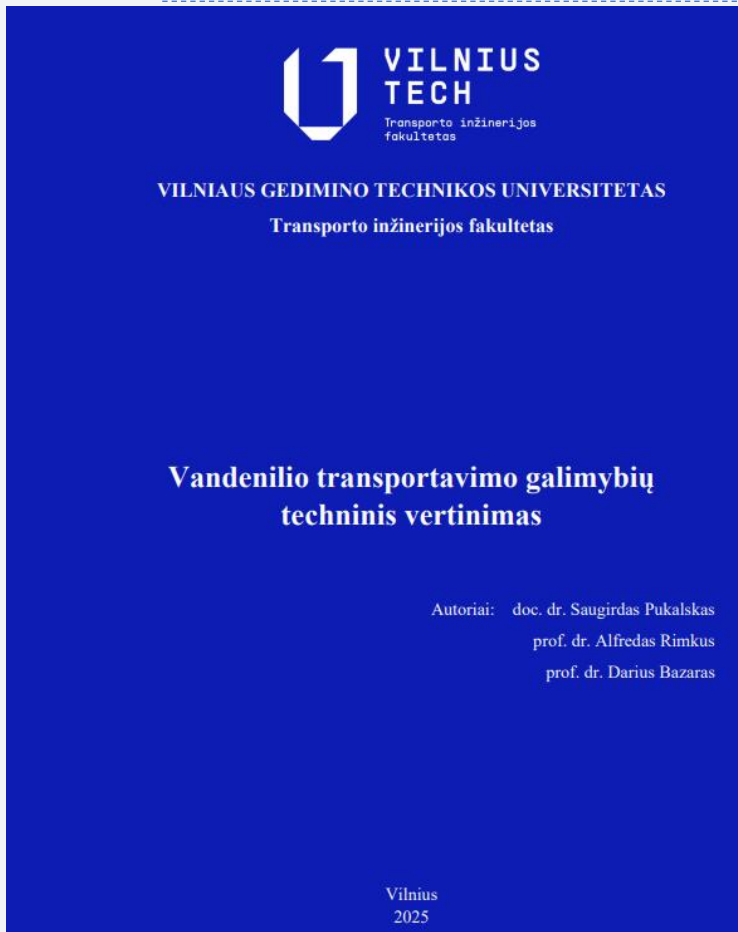
Potencialios teritorijos vandenilio gamybai, išskirtos pagal atsinaujinančių energijos išteklių (AEI) prieinamumą ir esamą/planuojamą infrastruktūrą. Klasifikacija atlikta vertinant CO₂ ir H₂ vamzdynų artumą, geležinkelius, elektros linijas bei kelių tinklą, todėl matomos zonos, kuriose vandenilio gamyba ir transportavimas būtų techniškai palankiausi.

Teritorijos pagal atitikimą infrastruktūrai



6. TRANSPORTAVIMO GALIMYBIŲ TECHNINIS VERTINIMAS

VILNIUS TECH parengė analizę apimančią vandenilio transportavimo galimybių techninį vertinimą



Apžvelgta:

1. Vandenilio fizinės savybės ir jų įtaka transportavimui.
2. Skirtingi vandenilio transportavimo būdai.
3. Transportavimas kelių transportu, geležinkeliais ir laivais - nustatyti skirtingų transporto rūšių pajėgumai, priekabų/vagonų/rezervuarų talpos, ekonominis naudingumas ir logistinės ribos (pvz., reikalingų sunkvežimių skaičius).
4. Vandenilio transportavimas vamzdynais.
5. Amoniako ir metanolio kaip vandenilio nešėjų techniniai parametrai.
6. Saugos ir aplinkosaugos aspektai.
7. Ekonominis palyginimas tarp transportavimo alternatyvų.
8. Galimos tiekimo grandinės konfigūracijos ir infrastruktūros iššūkiai.

7. EKONOMINIŲ RODIKLIŲ DUOMENŲ RINKIMAS IR SISTEMINIMAS

Ekonominė informacija, kurią reikia surinkti skaičiuojant LCOHT skirtingoms vandenilio transportavimo priemonėms

Vamzdynai (suslėgtas H₂)

CAPEX	
Vamzdynas (naujas H ₂ vamzdynas)	1,8 mln. €/km -4,4 mln. €/km (~20–48 col.)
Kompresoriaus stotys	Apie 10-50 mln Eur (10-100 t/dieną našumas), 2-4 mln. €/MW (20-100 bar) 1MW-4mln. Eur
OPEX	
Techninė priežiūra ir eksploatacija	2-4% nuo vamzdyno CAPEX per metus
Kompresoriaus energijos poreikis	1.5–2.5 kWh/kg per 150km (30→200 bar), gali būti ir iki 6 kWh/kg (išlaidos priklauso nuo elektros kainos)
H ₂ praradimai	~0,1–0,3 % transportuojamos H ₂ masės per metus
Naudojimo koeficientas (Utilization factor)	85-100%
Darbas užmokestis, stebėsena, draudimas	

- <https://ehb.eu/files/downloads/EHB-2023-Implementation-Roadmap-Part-1.pdf>
- Hydrogen Storage and Transport: Technologies and Costs
- UC Davis 2024
- UK DESNZ 2023
- Standard heuristic in DESNZ, Solomon
- <https://www.linkedin.com/pulse/hydrogen-transport-via-pipelines-infrastructure-ghosh-ph-d-lfiiche-ak2dc/>
- <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/12/3145>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319924052716?via%3Dihub>
- <https://ehb.eu/files/downloads/EHB-2023-Implementation-Roadmap-Part-1.pdf>

Sausumos transportas – vilkikai

Suslėgtas H₂ (CGH₂) priekabos

CAPEX	
Sunkvežimis	100 000 – 175 000 Eur (Tarnavimo laikas 10-15 metų)
Talpos įranga	150 000 Eur (I tipas, ~200-300 bar, 320kg) – 1,5 mln. Eur (IV tipas, ~500-700 bar, iki 1000kg), apie 12000 ciklų Vidutiniškai 550 000 Eur
Kompresorius	~380 000 Eur (20 metų)
Buferinis saugojimas	450-800 Eur/kg (priklausomai nuo slėgio)
OPEX	
Kompresoriaus sunaudojama energija	~1,5-2,4 kWh/kg

Vandenilio asociacija parengė analizę apimančią vandenilio ir jo energijos nešėjų transportavimo ekonominių rodiklių vertinimą

Apžvelgta:

1. Vamzdynų (suslėgtas vandenilio) investiciniai ir eksploataciniai kaštai.
2. Sausumos transportas vilkikais: CGH₂, LH₂ ir metanolis.
3. Geležinkelio cisternos vandeniliui, amoniakui ir metanolui.
4. Jūrų transportas: LH₂, NH₃ ir CH₃OH.
5. Vandenilio nuostoliai ir energijos poreikis.
6. Talpų ir įrangos ribos, pajėgumai, veikimo ciklai.
7. Saugojimo technologijos ir jų kaštai.
8. Konversijos grandinių analizė.

8. RIBOJIMŲ BEI SAUGOS ANALIZĖ IR IŠVADOS

Susisiekimo ministerijos pristatyme buvo pateikta bendrinė informacija apie vandenilio transportavimą Lietuvos keliais.



Techninės ir teisinės sąlygos vandenilio transportavimui Lietuvoje egzistuoja, tačiau reikalingas:

- tinkamų maršrutų parinkimas,
- autocisternų techninių ribų laikymasis,
- ribojimai miestų teritorijose,
- ir reikalavimai talpykloms bei vairuotojams.

Pateikta:

- Vandenilio transportavimo teisinis reglamentavimas – ADR reglamentas:

Lietuvos teisės aktai:

Pavojingųjų krovinių vežimo įstatymu.

Vyriausybės nutarimu Nr. 367 dėl vežimo tvarkos.

- Reikalavimai transporto priemonėms.
- Leidžiami transporto priemonių matmenys ir masės.
- Vandenilio gabenimas konteinerinėse talpose – standartai.
- Suslėgto vandenilio konteinerių techniniai parametrai.
- Kelių sistema ir ribojimai (ribojimai gali lemti alternatyvių maršrutų poreikį).
- Eismo ribojimai ir pavojingų krovinių maršrutai miestuose.

7. TEISINĖS BAZĖS ANALIZĖ (NEPARENGTOS GALUTINĖS IŠVADOS)

Apžvelgta vandenilio teisinė bazė kelių transportui (ADR) ir reguliavimas geležinkeliams (RID)

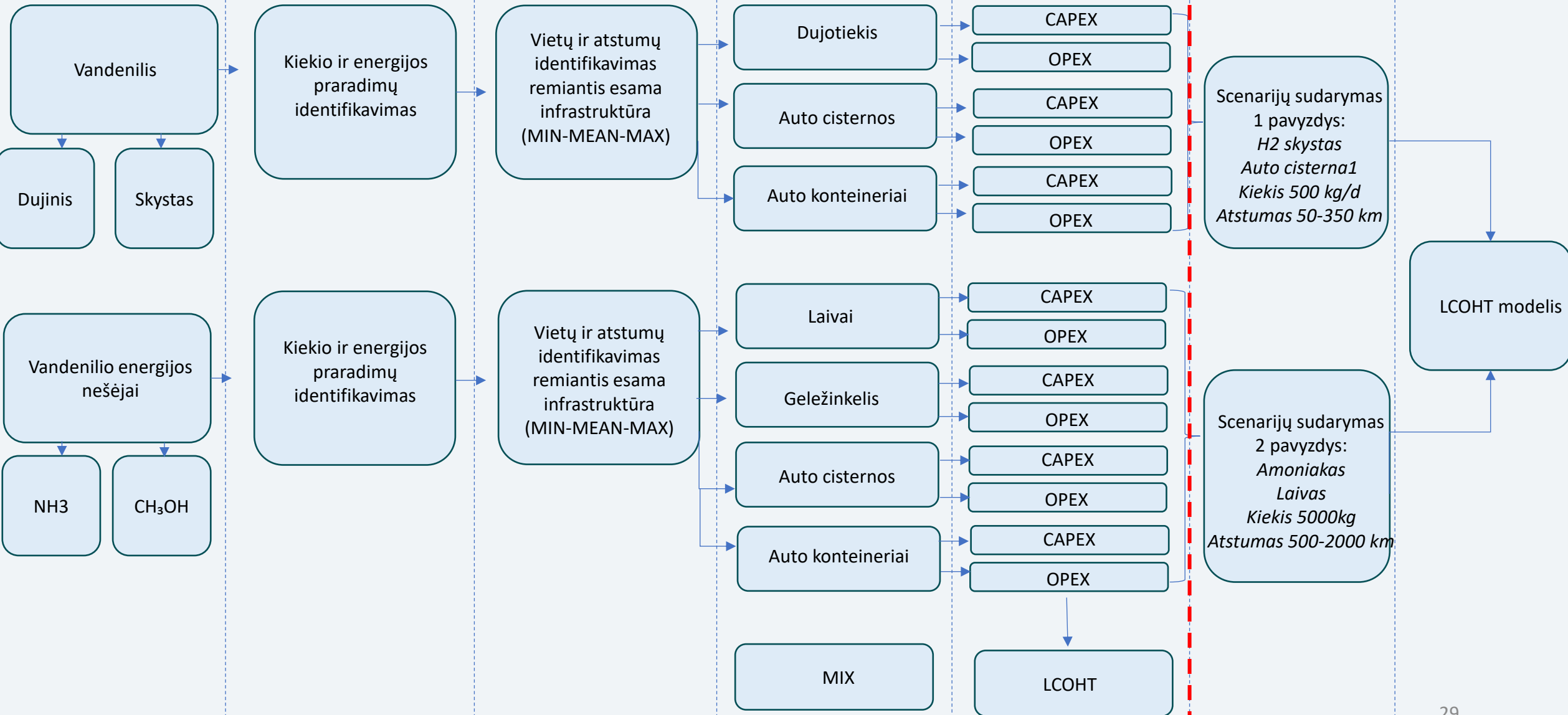


Pirminės išvados:

1. Trūksta aiškių nacionalinių maršrutų, zonų ir apribojimų vandenilio transportui.
2. Nėra nacionalinių taisyklių dėl vandenilio (ypač skysto) degalinių ir krovos vietų projektavimo.
3. Trūksta nacionalinių kvalifikacijų reikalavimų operatoriams ir techniniam personalui.
4. Nėra aiškių taisyklių dėl vandenilio ir metanolio transporto informavimo savivaldybėms ir avarinėms tarnyboms.
5. Nėra specifinių priešgaisrinių, slėgio, ventiliacijos reikalavimų H₂ transporto aptarnavimo infrastruktūrai.
6. Nėra žaliųjų degalų sertifikavimo ir atsekamumo taisyklių transportavimo grandinei.
7. Geležinkeliai: nėra nacionalinių saugos distancijų, iškrovimo normų ir terminalų kategorijų H₂ transportui.
8. Trūksta integruotos avarijų valdymo sistemos vandenilio incidentams Lietuvoje.

PRELIMINARUS LCOHT MODELIAVIMO PLANAS

Atlikta



```
# ----- 1. Bendroji LCOHT formulė -----
def compute_lcoht(
    capex0: Number,
    yearly_costs: Sequence[Number],
    yearly_h2_flow: Sequence[Number],
    discount_rate: float,
) -> float:
    """
    Skaičiuoja LCOHT pagal bendrą formulę:

    
$$LCOHT = \frac{CAPEX0 + \sum_t (Cost_t / (1+r)^t)}{\sum_t (H2_t / (1+r)^t)}$$

    """
    kur t = 1..N (metai po investicijos)

    :param capex0: Pradinės investicijos
    :param yearly_costs: Metinės sąnaudos
    :param yearly_h2_flow: Per metus tiekiamas vandenilio kiekis
    :param discount_rate: Diskonto norma
    :return: Luginamosios vandenilio transportavimo savikainos

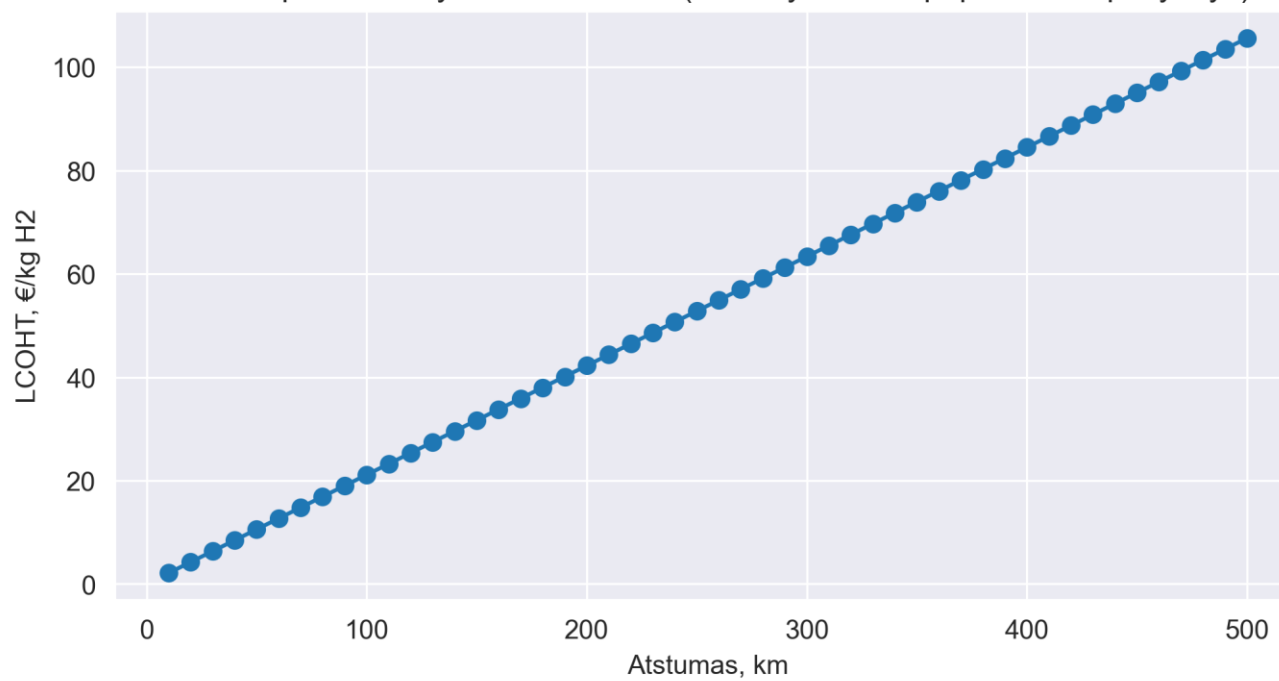
    yearly_costs = np.asarray(yearly_costs)
    yearly_h2_flow = np.asarray(yearly_h2_flow)

    if yearly_costs.shape != yearly_h2_flow.shape:
        raise ValueError("yearly_costs ir yearly_h2_flow turi būti vienodo dydžio")

    years = np.arange(1, len(yearly_costs) + 1)
    discount_factors = 1 / (1 + discount_rate) ** years

    pv_costs = np.sum(yearly_costs * discount_factors)
    pv_h2 = np.sum(yearly_h2_flow * discount_factors)
```

LCOHT priklausomybė nuo atstumo (vamzdynas – supaprastintas pavyzdys)



Surinkus reikiamus duomenis kuriamas vidutinės išlygintos vandenilio transportavimo savikainos per infrastruktūros gyvavimo laiką (LCOHT) modelis, kuris leis įvertinti kiekvienos transportavimo rūšies kainą pervežant 1 kg vandenilio/produkto nuo gamintojo iki galutinio taško. Bus sudarytos savikainos priklausomybės nuo atstumo kreivės bei žemėlapyje esantys atrinkti poligonai suskirstyti į skirtingų savikainų zonas pagal transporto rūšį ir produktą, darant prielaidą, kad transportavimas vykdomas iki: 1) vandenilio dujotiekio, 2) Lietuvos Respublikos sienos ir 3) Klaipėdos jūrų uosto /terminalo; esant poreikiui, bus įtraukti pagrindiniai Lietuvos vandenilio vartotojai kaip galutinis panaudojimo taškas.

- 1) Atlikta nuosekli daugiakriterinė Lietuvos teritorijų atranka vandenilio, amoniako ir metanolio gamybos plėtrai, integruojant žemės panaudos, hidrologinius, elektros (110 kV, 330 kV), sausumos kelių, geležinkelių, CO₂ šaltinių ir planuojamo H₂ dujotiekio duomenis. Identifikuotos tiek didelės (5 ha), tiek mažos (1 ha) gamybai tinkamos teritorijos, nustatyti ekonomiškai pagrįsti buferiai (1–10 km iki elektros linijų, 2 km iki geležinkelių ir dujotiekio, 5 km iki kelių), parengtos produktų specializacijos zonos. Nustatyta, kad teoriškai tinkamų teritorijų Lietuvoje yra daug, tačiau ekonomiškai realiai įgyvendinami projektai koncentruojasi ribotose, strategiškai svarbiose infrastruktūros mazgų zonose, sudarant pagrindą tolesniam LCOHT ir ekonominiam modeliavimui.
- 2) Vandenilis ir jo išvestiniai produktai transportuojami keliais (sunkvežimiais – suslėgtu arba suskystintu pavidalu), geležinkeliu, vamzdynais bei jūrų laivais, o amoniakas ir metanolis jau plačiai gabenami esama chemijos pramonės infrastruktūra (vamzdynais, cisternomis, laivais). Trumpiems atstumams ekonomiškai tinkamesni sunkvežimiai, tačiau didėjant kiekiam ir atstumams efektyviausiu sprendimu tampa vamzdynai, o tarptautiniam tiekimui – jūrinis transportas. Amoniakas ir metanolis pasižymi didesniu turinės energijos tankiu, lengvesniu sandėliavimu ir mažesnėmis logistikos sąnaudomis nei grynas vandenilis. Apibendrinus, ekonomiškai efektyviausias sprendimas priklauso nuo masto ir atstumo: lokaliai – cisternos ir geležinkelis, regioniniu mastu – vamzdynai, o globaliai – jūrų transportas su vandenilio išvestiniais produktais.
- 3) Lietuvoje vandenilis keliais būtų transportuojamas kaip pavojingasis kroviny: suslėgtas, suskystintas arba konteinerinėse talpose, laikantis ADR reikalavimų. Suslėgtas vandenilis yra paprasčiau tvarkomas, bet neefektyvus dideliais atstumais dėl mažo energijos tankio, o suskystintas vandenilis leidžia pervežti daugiau energijos, tačiau reikalauja aukštų technologinių ir energetinių sąnaudų. Kelių, tiltų, svorio ir miestų eismo apribojimai reikšmingai mažina maršrutų lankstumą ir didina kaštus. Reikalingi efektyvūs maršrutų planavimo įrankiai bei savivaldybių įsitraukimas.

- 4) Lietuvoje vandenilio transporto reguliavimas šiuo metu yra fragmentiškas ir nepakankamas: trūksta tiek aiškių nacionalinių maršrutų, zonų bei saugos distancijų, tiek specializuotų techninių ir priešgaisrinių reikalavimų infrastruktūrai, ypač skysto vandenilio grandinei. Nėra suformuotos vieningos sistemos operatorių kvalifikacijai, savivaldybių ir avarinių tarnybų informavimui bei vandenilio ir jo išvestinių produktų atsekamumui ir sertifikavimui. Geležinkelių sektoriuje taip pat nėra apibrėžtų vandenilio iškrovimo normų ir terminalų kategorijų. Be integruotos saugos, avarijų valdymo ir reguliacinės sistemos, vandenilio transporto plėtra Lietuvoje išlieka ribota ir susijusi su padidinta technine bei institucinės rizikos našta.
- 5) Vandenilio transportavimo kaštai ir technologinis efektyvumas labai stipriai priklauso nuo pasirinktos transporto formos: vamzdynai yra ekonomiškai efektyviausi dideliems, pastoviams srautams vidutiniais atstumais, tačiau reikalauja itin didelių pradinių investicijų į infrastruktūrą. Kelių transportas (suslėgtas ir skystas H₂) pasižymi didžiausiu lankstumu, bet yra energetiškai brangiausias dėl aukštų suslėgimo ir skystinimo energijos sąnaudų bei didelių eksploatacinių kaštų. Geležinkeliai ir jūrų transportas tampa ekonomiškai dominuojantys dideliems atstumams ir masinei logistikai, ypač metanolio ir amoniako atveju, kur nuostoliai maži, o saugojimo ir terminalų infrastruktūra yra technologiškai brandi. Todėl ekonomiškai racionali vandenilio grandinė formuojasi ne universalios technologijos pagrindu, o per produktų specializaciją pagal atstumą, mastą ir infrastruktūros prieinamumą. Tolimesnei analizei buvo surinkti literatūroje prieinami CAPEX ir OPEX rodikliai, kurie bus naudojami vandenilio transportavimo sąnaudų modeliavimui. Kadangi realūs komerciniai duomenys dažniausiai nėra viešai prieinami, analizė grindžiama mokslinėmis publikacijomis bei viešomis tarptautinių institucijų ir sektoriaus ataskaitomis. Todėl gauti rezultatai atspindės bendrąsias technologines ir ekonomines tendencijas, tačiau nebus tiesiogiai traktuojami kaip konkrečių komercinių sprendimų pagrindas.
- 6) Tolesniuose tyrimo etapuose bus atliekamas vandenilio ir jo išvestinių produktų transportavimo ekonominis vertinimas pagal atstumą, pasirinktą transporto priemonę ir transportuojamą medžiagą. Modeliavimas leis teritorijas suskirstyti pagal ekonomiškai palankiausias transportavimo alternatyvas bei įvertinti bendrąsias vandenilio logistikos tendencijas šalies mastu. Galutinėje ataskaitoje bus pateikti surinkti duomenys, analizėje taikyti CAPEX ir OPEX rodikliai, taip pat vizualinė medžiaga (žemėlapiai ir grafikai). Be to, bus suformuluotos rekomendacijos ir gairės vandenilio transportavimo teisiniam reguliavimui Lietuvoje.