



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Gamtinių dujų perdavimo veiklos aplinkosauginio pėdsako ir jo mažinimo priemonių vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Sigita Domarkaitė

Projekto autorė

doc. dr. Daina Kliaugaitė

Vadovė

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Gamtinių dujų perdavimo veiklos aplinkosauginio pėdsako ir jo mažinimo priemonių vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Darnus valdymas ir gamyba (6213EX001)

Sigita Domarkaitė

Projekto autorė

doc. dr. Daina Kliugaitė

Vadovė

prof. dr. Jolanta Dvarionienė

Recenzentė

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema

Gamtinių dujų perdavimo veiklos aplinkosauginio pėdsako ir jo mažinimo priemonių vertinimas

Reikalavimai ir sąlygos
(tikslinti pavadinimą
pagal poreikį)

Vadovas / Vadovė

doc. dr. Daina Kliaugaitė

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Domarkaitė, Sigita. Gamtinių dujų perdavimo veiklos aplinkosauginio pėdsako ir jo mažinimo priemonių vertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Daina Kliugaitė; Kauno technologijos universitetas, Aplinkos inžinerijos institutas; Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Aplinkos inžinerija (E03) – pagrindinė, Gamybos inžinerija (E10), Verslas (L01), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: būvio ciklo vertinimas, aplinkosauginis pėdsakas, gamtinės dujos, perdavimo sistema, metanas.

Kaunas, 2022. 72 p.

Santrauka

Šio darbo tikslas - įvertinti gamtinių dujų perdavimo veiklos aplinkosauginį pėdsaką ir poveikio aplinkai mažinimo priemonės būvio ciklo požiūriu. Apžvelgus mokslinę ir praktinę literatūrą, energetikos sektoriaus tendencijas, tikėtina, reikšmingą poveikį aplinkai gali daryti dujų perdavimo veikla. Galimi nekontroliuojami ir nekontroliuojami dujų nuotėkiai dėl nesandarumų vamzdyne ar remonto darbų, kurie gali daryti poveikį aplinkai. Dujų perdavimo veiklos įmonė siekia tikslo 5 metų laikotarpyje sumažinti 60% ŠESD emisijas ir aplinkosauginį pėdsaką, tai pat yra poreikis vertinti ir kitus poveikio aplinkai indikatorius, kad būtų galima stebėti įmonės aplinkosauginį pėdsaką, bei sekti taikomų poveikio mažinimo priemonių efektyvumą.

Atlikus gamtinių dujų perdavimo veiklos būvio ciklo vertinimą nustatyta, kad pagrindinės probleminės veiklos sritys: metano dujų kontroliuojamas išleidimas (dažniausiai dėl remonto darbų) – 47 %; dujų transportavimas (nekontroliuojamas dujų nuotėkis) – 42 %; dujotiekio infrastruktūra (žemės naudojimas) – 10 %; kitos energijos ir kuro sąnaudos – 5%. Parinktos šešios poveikio mažinimo priemonės: mobilaus dujų kompresoriaus panaudojimas; vidaus degimo variklių automobilių keitimas į elektromobilius; žaliosios energijos naudojimas; dujų transportavimas dujovežiais iki dujų skirstymo stočių; fanelo panaudojimas; dujotiekio remontas taikant įsipjovimo technologiją.

Visos pasirinktos priemonės sumažina bendrą poveikį aplinkai. Didžiausias poveikis aplinkai – dujų kontroliuojamas išleidimas, todėl keturios iš šešių priemonių skirtos sumažinti būtent šios veiklos sritys poveikį aplinkai, o kitos dvi - energijos ir kuro sąnaudų sričiai. Kontroliuojamas gamtinių dujų išleidimas sudaro didžiausią poveikį aplinkai iš visų perdavimo veiklos sričių. Bendras visų gautas visų priemonių teigiamas poveikis dujų kontroliuojamo išleidimo sričiai aplinkai sudaro 21,4 Pt, o tai sudaro 86,3 % poveikio sumažėjimo. Kita gamtinių dujų perdavimo veiklos vertinta sritis - kita energija ir kuro sąnaudos, kuriai pasiūlytos dvi poveikio aplinkai mažinimo priemonės. Gauta, kad bendras poveikio aplinkai sumažėjimas pastarajai veiklos sričiai sudaro 0,9 Pt, arba 33,3 %. Žmogaus sveikatos poveikio kategorijoje metano išleidimo veikla po priemonių taikymo sumažėja net 85,7 %. Energijos ir kuro veikloje poveikis žmogaus veikloje po priemonių skaičius sumažėjo 20,4 %. ŠESD emisijų vertinime metano dujų išleidimo veiklos srityje poveikio po priemonių sumažėjimas – 86,8 % (prieš - 1201 kg CO₂ ekv.). Kitos energijos ir kuro sąnaudų srityje esama situacija po priemonių sumažėja 65,7 %, kai prieš priemonę 67 kg CO₂ ekv.. Bendrai viso gamtinių dujų perdavimo veiklos aplinkosauginis pėdsakas dėl priemonių taikymo sumažėtų iki 57 % (iš viso bendrai poveikio taškai prieš priemonių taikymą - 52,68 Pt, po priemonių taikymo poveikis sumažėja – 30,38 Pt).

Domarkaitė Sigita. Assessment of the Environmental Footprint of Natural Gas Transmission Activities and Measures to Reduce It. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. dr. Daina Kliugaitė; Institute of Environmental Engineering; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Environmental Engineering (E03) – main study field, Production and Manufacturing Engineering (E10), Business (L01), Engineering Sciences.

Keywords: life cycle assessment, environmental footprint, natural gas, transmission, methane.

Kaunas, 2022. 72 pages.

Summary

The aim of this work is to assess the environmental impacts of natural gas transmission activities over the whole life cycle. Significant environmental impacts are likely to arise from gas transmission activities. There may be uncontrolled and truly uncontrolled gas leaks due to leaks in the pipeline or repairs that may have an environmental impact. The gas transmission activities of the company have a target of 60% reduction of GHG emissions over a period of 5 years, and there is also a need to assess other environmental impact indicators to monitor the environmental footprint of the company and track the effectiveness of the mitigation measures taken.

The life cycle assessment of the natural gas transmission activities shows that the main areas of concern: controlled release of methane gas (mainly due to repair works) - 47%; gas transportation (uncontrolled leakage) - 42%; pipeline infrastructure (land use) - 10%; other energy and fuel consumption - 5%. Six mitigation measures have been selected: use of a mobile gas compressor; conversion of internal combustion engine cars to electric cars; use of green energy; transport of gas-by-gas carriers to gas distribution stations; use of a flare; and pipeline repairs using cut-and-cover technology.

All the measures chosen to reduce the overall environmental impact. The most significant environmental impact is the controlled release of gases, so four of the six measures are aimed at reducing the environmental impact of this particular activity and the other two at reducing the environmental impact of energy and fuel consumption. Controlled releases of natural gas represent the largest environmental impact of all transmission activities. The total positive environmental impact of all measures in the area of controlled gas venting amounts to 21.4 Pt, which represents 86.3% of the reduction in environmental impacts. The other area assessed for natural gas transmission activities is other energy and fuel consumption, for which two mitigation measures are proposed. The overall reduction in environmental impacts for the latter activity was found to be 0.9 Pt or 33.3%. In the category of human health impacts, methane release activities are reduced by as much as 85.7% after the application of the measures. In the energy and fuels activities, the number of human impacts after the measures is reduced by 20.4%. In the GHG emissions assessment for methane venting activities, the post-measure impact reduction is 86,8% (before: 1201 kg CO₂ eq.). For other energy and fuel inputs, the post-measure reduction in the existing situation is 65.7% compared to 67 kg CO₂ eq. before. Overall, the environmental footprint of the entire natural gas transmission activity would be reduced by up to 57% as a result of the measures (total cumulative impact points of 52.68 Pt before the measures and 30.38 Pt after the measures).

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų sąrašas	11
Įvadas.....	12
1. Mokslinės literatūros analizė.....	13
1.1. Iškastinis kuras ir jo taršos poveikis	13
1.2. Anglies dvideginio pėdsako vertinimas.....	13
1.3. Anglies pėdsako mažinimas energetikos sektoriuje	14
1.4. Gamtinių dujų ir elektros energijos gavybos ir naudojimo poveikio aplinkai aspektai	15
1.4.1. Gamtinių dujų gavybos ir naudojimo poveikis aplinkai.....	15
1.4.2. Elektros energijos naudojimo poveikis aplinkai.....	16
1.5. Gamtinių dujų sektorius	16
1.6. Gamtinių dujų perdavimo sistema.....	17
1.6.1. Lietuvos gamtinių dujų perdavimo sistema.....	18
1.7. Gamtinių dujų teisinis reguliavimas	21
1.8. Gamtinių dujų perdavimo sistemos svarba klimatui	22
1.8.1. Dekarbonizacija.....	23
1.8.2. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimas	24
1.9. Mokslinių ir praktinių būvio ciklo vertinimo tyrimų apžvalga dujų sektoriuje	25
2. Gamtinių dujų perdavimo sistemos veiklos būvio ciklo vertinimo metodika.....	27
2.1. Būvio ciklo metodikos aprašymas.....	27
2.2. Būvio ciklo vertinimo tikslai, funkcinis vienetas, ribos	28
2.3. Inventorinė analizė	30
2.4. Esamos veiklos poveikio aplinkai būvio cikle vertinimas	33
2.5. Duomenų kokybės vertinimo metodika.....	38
2.5.1. Duomenų kokybės vertinimas	39
3. Tyrimo rezultatai.....	41
3.1. Esamos situacijos poveikio aplinkai būvio cikle vertinimo rezultatai	41
3.1.1. Vertintos sritys ir reikšmingi aspektai	41
3.1.2. Poveikis aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose (charakterizavimo rezultatai)	43
3.1.3. Poveikis žalos kategorijose (normalizavimo rezultatai).....	43
3.1.4. Globalinio atšilimo potencialas (GWP).....	46
3.2. Poveikio aplinkai mažinimo priemonių būvio cikle vertinimo rezultatai	47
3.2.1. Papildomo mobilaus dujų kompresoriaus panaudojimas (Priemonės Nr. 1)	48
3.2.2. Organizacijos administracinių automobilių su vidaus degimo varikliais keitimas į elektromobilius (Priemonės Nr. 2)	50
3.2.3. Elektros energijos gamyba nuosavose/nutolusiose saulės elektrinėse arba perkama žalioji elektra su kilmės garantija (Priemonės Nr. 3)	53
3.2.4. Į aplinką išleidžiamų dujų transportavimas dujovežiais į dujų skirstymo stotis (mažinamas kontroliuojamo dujų nuotėkio poveikis) (Priemonė Nr. 4)	56
3.2.5. Mobilaus fakelo įsigijimas ir panaudojimas (mažinamas kontroliuojamo dujų nuotėkio poveikis) (Priemonė Nr. 5)	58
3.2.6. Dujotiekių remontas taikant įsipjovimą (mažinamas kontroliuojamo dujų nuotėkio poveikis) (Priemonė Nr. 6).....	61

3.2.7. Veiklos sričių ir poveikio aplinkai mažinimo priemonių palyginimas	63
Išvados	68
Literatūros šaltiniai	69

Lentelių sąrašas

1 lentelė. „BP“ statistiniai duomenys apie pagrindinius pasaulio gamtinių dujų išteklius	15
2 lentelė. Funkcinis vienetas	29
3 lentelė. Duomenų struktūra	30
4 lentelė. Poveikio aplinkai vertinimo etapų skirstymas.....	34
5 lentelė. Poveikio aplinkai vertinimo lygiai: galutinis indeksas, žala aplinkai, poveikio aplinkai kategorijos	37
6 lentelė. Duomenų kokybės rodiklių matrica	39
7 lentelė. Duomenų kokybės rezultatai pagal veiklos sritį.....	40
8 lentelė. Poveikio taškų perskaičiavimas iš esamos situacijos į funkcinį vieneta	42
9 lentelė. Dujų perdavimo sistemos poveikis aplinkai taškais, Pt, skirtingose poveikio aplinkai kategorijose ir žalos kategorijose	45
10 lentelė. Gamtinių dujų perdavimo veiklos poveikis atskirose veiklos srityse pagal ŠESD emisija	46
11 lentelė. Poveikio aplinkai mažinimo priemonės	47
12 lentelė. Priemonės Nr. 1 ir veiklos srities globalinio atšilimo vertinimo rezultatas, kg CO ₂ eq..	50
13 lentelė. Priemonės Nr. 2 ir veiklos srities globalinio atšilimo vertinimas kg CO ₂ eq.....	53
14 lentelė. Priemonės Nr. 3 ir veiklos srities globalinio atšilimo vertinimas kg CO ₂ eq.....	55
15 lentelė. Priemonės Nr. 4 ir veiklos srities globalinio atšilimo vertinimas kg CO ₂ eq.....	58
16 lentelė. Priemonės Nr. 5 ir veiklos srities globalinio atšilimo vertinimas kg CO ₂ eq.....	61
17 lentelė. Priemonės Nr. 6 ir veiklos srities globalinio atšilimo vertinimas kg CO ₂ eq.....	63
18 lentelė. Bendras funkcinio vieneto poveikio aplinkai mažinimo priemonių būvio ciklo vertinimo palyginimas.....	66
19 lentelė. Palyginamieji gamtinių dujų perdavimo veiklos sričių poveikių aplinkai rezultatai	66

Paveikslų sąrašas

1 pav. Iškastinio kuro rūšių palyginimas Europos Sąjungos šalyse [26]	13
2 pav. Tarptautinis iškastinio kuro elektros energijos anglies pėdsakas [20]	14
3 pav. Gamtinių dujų perdavimo kiekiai pagal gamtinių dujų perdavimo sistemos naudotojus Lietuvoje, GWh [29].....	17
4 pav. Lietuvos gamtinių dujų perdavimo sistema, 2020 m. [10].....	19
5 pav. Pagrindinis ir lokalus gamtinių dujų perdavimo tinklas [11].....	19
6 pav. Gamtinių dujų perdavimo kiekiai pagal verslo sektorius Lietuvoje, 2018–2029 m., TWh/metus [10].	20
7 pav. Dujotiekių jungtis tarp Lenkijos ir Lietuvos (GIPL) [11].....	21
8 pav. Lietuvos išmetamų ŠESD kiekis pagal sektorius, % [29].....	25
9 pav. Būvio ciklo vertinimo principinė schema [28].....	27
10 pav. Būvio ciklo vertinimo etapai (LST EN ISO 14040:2007) [15].....	28
11 pav. Būvio ciklo vertinimo ribos ir struktūra	29
12 pav. Vertintos dujų perdavimo veiklos ribos [8].....	30
13 pav. Kiekybinio poveikio aplinkai vertinimo etapų eiga (sudaryta autorės remiantis metodine literatūros analize)	34
14 pav. Žalos žmogaus sveikatai, ekosistemų kokybei ir ištekliams nustatymo ir agreguoto indekso – poveikio taškų nustatymo modelis sudarytas pagal „Iberdrola“ ataskaitą [40].....	38
15 pav. Dujų perdavimo sistemos poveikis aplinkai skirtingose veiklos srityse	41
16 pav. Dujų perdavimo sistemos poveikis aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose.....	43
17 pav. Dujų perdavimo sistemos poveikis aplinkai skirtingose veiklos srityse, pagal žalos kategorijas	44
18 pav. Gamtinių dujų perdavimo veiklos sričių poveikio aplinkai tyrimo bendras palyginimas naudojant IPCC 2013 GWP 100a V1.03 metodą	46
19 pav. Priemonės Nr. 1 (papildomo mobilaus dujų kompresoriaus panaudojimas) poveikio aplinkai tyrimo suminis palyginimas naudojant ReCiPe Endpoint (H) metodą	48
20 pav. Priemonės Nr.1 (papildomo mobilaus dujų kompresoriaus panaudojimas) ir veiklos srities charakterizuotas poveikis aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose.....	49
21 pav. Priemonės Nr.1 (papildomo mobilaus dujų kompresoriaus panaudojimas) ir veiklos srities normalizuotas poveikio aplinkai pagal žalos kategorijas palyginimas kategorijomis (Metodas: ReCiPe 2016 Endpoint (H) V1.04).....	49
22 pav. Priemonės Nr. 1 (papildomo mobilaus dujų kompresoriaus panaudojimas) ir veiklos srities poveikio aplinkai tyrimo bendras palyginimas naudojant IPCC 2013 GWP 100a V1.03 metodą....	50
23 pav. Priemonės Nr. 2 (elektromobilių integracija) poveikio aplinkai tyrimo suminis palyginimas naudojant ReCiPe Endpoint (H) metodą	51
24 pav. Priemonės Nr.2 (elektromobilių integracija) ir veiklos srities charakterizuotas poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas.....	51
25 pav. Priemonės Nr.2 (elektromobilių integracija) ir veiklos srities normalizuotas poveikio aplinkai pagal žalos kategorijas palyginimas (Metodas: ReCiPe 2016 Endpoint (H) V1.04)	52
26 pav. Priemonės Nr. 2 (elektromobilių integracija) ir veiklos srities poveikio aplinkai tyrimo bendras palyginimas naudojant IPCC 2013 GWP 100a V1.03 metodą	52
27 pav. Priemonės Nr. 3 (žalioji energija) poveikio aplinkai tyrimo suminis palyginimas naudojant ReCiPe Endpoint (H) metodą.....	53

28 pav. Priemonės Nr.3 (žalioji energija) ir veiklos srities charakterizuotas poveikis aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose	54
29 pav. Priemonės Nr.3 (žalioji energija) ir veiklos srities normalizuotas poveikio aplinkai pagal žalos kategorijas palyginimas kategorijas (Metodas: ReCiPe 2016 Endpoint (H) V1.04)	55
30 pav. Priemonės Nr. 3 (žalioji energija) ir veiklos srities poveikio aplinkai tyrimo bendras palyginimas naudojant IPCC 2013 GWP 100a V1.03 metodą.....	55
31 pav. Priemonės Nr. 4 (dujų transportavimas dujovežiais) poveikio aplinkai tyrimo suminis palyginimas naudojant ReCiPe Endpoint (H) metodą.....	56
32 pav. Priemonės Nr.4 (dujų transportavimas dujovežiais) ir veiklos srities charakterizuotas poveikis aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose	57
33 pav. Priemonės Nr.4 (dujų transportavimas dujovežiais) ir veiklos srities normalizuotas poveikio aplinkai pagal žalos kategorijas palyginimas (Metodas: ReCiPe 2016 Endpoint (H) V1.04)	57
34 pav. Priemonės Nr. 4 (dujų transportavimas dujovežiais) ir veiklos srities poveikio aplinkai tyrimo bendras palyginimas naudojant IPCC 2013 GWP 100a V1.03 metodą	58
35 pav. Priemonės Nr. 5 (mobilus fakelas) poveikio aplinkai tyrimo suminis palyginimas naudojant ReCiPe Endpoint (H) metodą.....	59
36 pav. Priemonės Nr.5 (mobilus fakelas) ir veiklos srities charakterizuotas poveikis aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose	59
37 pav. Priemonės Nr.5 (mobilus fakelas) ir veiklos srities normalizuotas poveikio aplinkai pagal žalos kategorijas palyginimas (Metodas: ReCiPe 2016 Endpoint (H) V1.04).....	60
38 pav. Priemonės Nr. 5 (mobilus fakelas) ir veiklos srities poveikio aplinkai tyrimo bendras palyginimas naudojant IPCC 2013 GWP 100a V1.03 metodą.....	60
39 pav. Priemonės Nr. 6 (remontas taikant įsipjovimą) poveikio aplinkai tyrimo suminis palyginimas naudojant ReCiPe Endpoint (H) metodą	61
40 pav. Priemonės Nr.6 (remontas taikant įsipjovimą) ir veiklos srities charakterizuotas poveikis aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose	62
41 pav. Priemonės Nr.6 (remontas taikant įsipjovimą) ir veiklos srities normalizuotas poveikio aplinkai pagal žalos kategorijas palyginimas (Metodas: ReCiPe 2016 Endpoint (H) V1.04)	62
42 pav. Priemonės Nr. 6 (remontas taikant įsipjovimą) ir veiklos srities poveikio aplinkai tyrimo bendras palyginimas naudojant IPCC 2013 GWP 100a V1.03 metodą	63
43 pav. Metano dujų kontroliuojamo išleidimo veiklos srities ir poveikio aplinkai mažinimo priemonių.....	64
44 pav. Suminis metano dujų kontroliuojamo išleidimo veiklos srities ir poveikio aplinkai mažinimo priemonių palyginimas	64
45 pav. Kitos energijos ir kuro sąnaudų veiklos srities ir poveikio aplinkai mažinimo priemonių palyginimas.....	65
46 pav. Suminis kitos energijos ir kuro sąnaudų veiklos srities ir poveikio aplinkai mažinimo priemonių palyginimas	65

Santrumpų sąrašas

Santrumpos:

BCV - būvio ciklo vertinimas

ŠESD - šiltnamio efektą sukeliančios dujos

SGD - suskystintos gamtinės dujos

GIPL - Lietuvos-Lenkijos dujotiekis (angl. Gas Interconnection Poland-Lithuania)

OAP - organizacijos aplinkosauginis pėdsakas

DSS - dujų skirstymo stotis

DKS – dujų kompresorių stotis

Įvadas

Pastaruosius dešimtmečius Europos Sąjungoje gamtinių dujų, skirtingai nei naftos ir anglies, poreikis energijai gaminti padidėjo ir šiuo metu jos sudaro apie ketvirtadalį ES bendro vidaus energijos suvartojimo, daugiausia namų šildymo ir vėsinimo sektoriuje bei elektros gamyboje [1].

Energetinių išteklių vartojimo apžvalgoje (2021 m.) pateikiama išvada, kad gamtinės dujos artimiausius dešimtmečius bus vienintelis iškastinis kuras su augimo perspektyva, o savo paklausos piką pasieks 2037 m. Šios prognozės kyla iš „žaliojo kurso“ konteksto, kadangi gamtinės dujos yra švariausias iškastinis kuras, kurį deginant išmetama apie 30 proc. mažiau CO₂ emisijų. Manoma, jog gamtinės dujos yra pereinamasis kuras/technologija judant neutralios CO₂ ekonomikos link [2].

Energetikos sektorius vienas taršiausių klimato kaitos požiūriu. Ne tik gamtinių dujų išgavimo, gamybos ir naudojimo veiklos gali daryti neigiamą poveikį aplinkai. Reikšmingą poveikį aplinkai tikėtina gali daryti ir dujų perdavimo veikla. Gamtinių dujų perdavimo veiklai naudojami žemės plotai, aukštus standartus atitinkantys vamzdiniai, kuriems reikalingi gamtiniai ištekliai, o pačios veiklos metu galimi nekontroliuojami ir nekontroliuojami dujų nuotėkiai dėl nesandarumų vamzdyne ar remonto darbų, kurie tikėtina prisideda prie neigiamo poveikio aplinkai.

Dujų perdavimo veiklos poveikis aplinkai mažai vertintas kiekybiškai, būvio ciklo požiūriu, nėra aiškūs veiklos karštieji taškai ir potencialūs poveikio mažinimo aspektai. Trūksta metodologinių gairių dėl panašios organizacijos poveikio aplinkai vertinimo būvio ciklo požiūriu.

Praktinė reikšmė. Dujų perdavimo veiklos įmonė siekia 5 metų laikotarpyje 60 % sumažinti veiklos ŠESD emisijas, tai pat yra poreikis vertinti ir kitus poveikio aplinkai indikatorius, kad būtų galima stebėti įmonės aplinkosauginį pėdsaką, bei sekti taikomų poveikio mažinimo priemonių efektyvumą.

Tyrimo objektas: gamtinių dujų perdavimo sistemos veikla. Analizuojamos žaliavų, gamybos, transportavimo, energijos, vandens ir atliekų sritys.

Darbo tikslas: įvertinti gamtinių dujų perdavimo veiklos aplinkosauginį pėdsaką ir poveikio aplinkai mažinimo priemones naudojant būvio ciklo vertinimo metodiką.

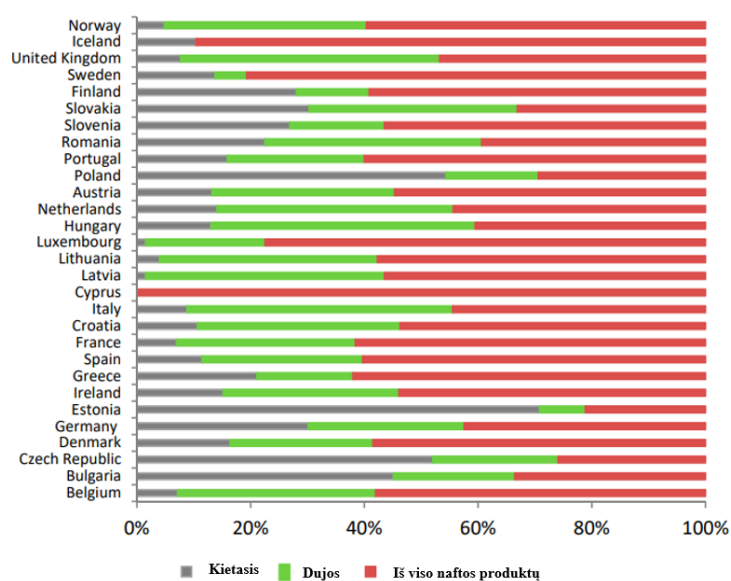
Darbo uždaviniai

1. Remiantis moksline literatūra, statistika, išanalizuoti gamtinių dujų perdavimo sistemos poveikio aplinkai problemas bei aspektus;
2. Atlikti būvio ciklo inventorinę duomenų ir kokybės analizę;
3. Pagal surinktus inventorinius duomenis atlikti gamtinių dujų perdavimo veiklos būvio ciklo poveikio vertinimą ir nustatyti veiklos problematines vietas;
4. Parinkti poveikio mažinimo priemones ir įvertinti jų aplinkosauginį veiksmingumą;
5. Pateikti pasiūlymus dėl gamtinių dujų perdavimo veiklos aplinkosauginio pėdsako mažinimo galimybių.

1. Mokslinės literatūros analizė

1.1. Iškastinis kuras ir jo taršos poveikis

Daugumos išsivysčiusių ar besivystančių šalių energetikos sistemos yra pagrįstos iškastiniu kuru. Dėl iškastinio kuro naudojimo kyla aplinkosaugos problemų, pvz., visuotinis atšilimas ir oro tarša, dėl kurių kyla sveikatos problemų ir kurios turi įtakos gyventojų gyvenimo kokybei. Iškastinis kuras pasiskirstęs netolygiai, todėl didina susirūpinimą dėl energetinio saugumo, nes atlieka svarbų vaidmenį šiuolaikinėse energijos gamybos sistemose. Energetikos sistemos keičiasi, todėl svarbu įvertinti šiuos pokyčius ir pažangą. Galima analizuoti energetikos sistemas pasauliniu mastu, pavyzdžiui, tam tikros šalies energijos rūšių derinį, atsižvelgiant į įvairius energijos šaltinius: iškastinius (kuras, anglis ir dujos), branduolinę energiją, biokurą ir atliekas, atsinaujinančiuosius (hidroenergija, saulė, vėjas, geoterminė energija ir t. t.) arba energetikos sistemos dalis. Kitas rodiklis - energetinė priklausomybė, kuri yra svarbi, nes gali turėti didelės įtakos šalių vystymuisi, kadangi didina jų pažeidžiamumą dėl kainų nestabilumo ir tiekimo sutrikimų. Vertinant pasirinktų Europos šalių energijos suvartojimą iš naftos, kietojo kuro ir dujų, galima daryti išvadą, kad daugumoje nagrinėjamų šalių didžiausią procentinę dalį sudaro nafta. Tik keturiose šalyse, t. y. Bulgarijoje, Čekijoje, Estijoje ir Lenkijoje, kietasis kuras sudaro didesnę procentinę dalį, o tai lemia vietinis kietojo kuro prieinamumas. Italijoje, Vengrijoje ir Slovakijoje didžiausią procentinę dalį sudaro dujos. Daugelyje šalių kietojo kuro procentinė dalis yra labai nedidelė, kaip matyti 1 pav., ir tai yra teigiamas aspektas, nes pripažįstama, kad kietasis kuras daro didesnę neigiamą poveikį aplinkai ir visuomenei [26].



1 pav. Iškastinio kuro rūšių palyginimas Europos Sąjungos šalyse [26]

1.2. Anglies dvideginio pėdsako vertinimas

Anglies pėdsakas – tai rodiklis, leidžiantis kiekybiškai įvertinti kokios nors veiklos poveikį klimato kaitai. Pats terminas "anglies pėdsakas" yra sąlyginis įvardijimas, leidžiantis trumpai įvertinti, ką galime gauti klimato kaitos atžvilgiu. Anglies pėdsakas apima tiesioginį ir netiesioginį šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą (paprastai išreiškiamas CO₂ ekv./produkto vienetui) [19].

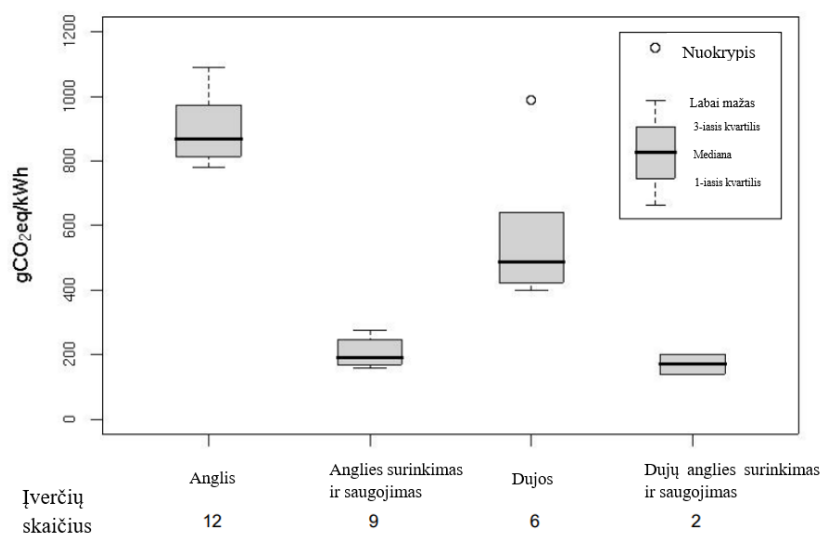
Anglies dioksido pėdsakas apskaičiuojamas taikant būvio ciklo vertinimą (BCV). Gaunamas bendras CO₂ ir kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis, išmestas per visą gaminio ar proceso gyvavimo ciklą - nuo žaliavų gavybos iki eksploatavimo pabaigos [22].

Gamtinių dujų gavybos, transportavimo, saugojimo ir skirstymo anglies pėdsako tyrimai, siekiant įvertinti jų poveikį pasaulio klimato procesams, parodė, kad gamtinių dujų anglies pėdsakas šiuose etapuose sudaro ne daugiau kaip 17 kg CO₂ ekv./GJ (2012 m. - 16,5; 2013 m. - 15; 2014 m. - 12,2) ir kasmet sumažėja 1 CO₂ ekv./GJ. [19].

Šiais laikais svarbu analizuoti dujų jėgainių pinigų srauto metodikas ir jas galima suskirstyti į dvi mokslo sritis, kurios šį terminą priėmė po dešimtmečius trukusios akademinės plėtos - būvio ciklo vertinimą (BCV) ir įmonių analizę [21].

1.3. Anglies pėdsako mažinimas energetikos sektoriuje

2 pav. pateikiami anglies pėdsako duomenys apie elektros energijos gamybą iš anglies ir dujų, naudojant ir nenaudojant anglies dioksido surinkimo ir saugojimo technologijas. Šiuose rezultatuose vyrauja tiesiogiai, deginant kurą jėgainės eksploatacijos metu, išmetami teršalai, o ne netiesiogiai, pavyzdžiui, statybos metu, išmetami teršalai. Tiesioginiam išmetamųjų teršalų kiekiui didžiausią įtaką daro ne tik gamybos apimtis, bet ir konkreti kuro rūšis (pvz., lignitas ir aukštesnės kokybės anglis). Taip pat, pateikti šešių Europos šalių (Vokietijos, Jungtinės Karalystės, Airijos, Rusijos, Prancūzijos, Šveicarijos) dujų gamybos scenarijų pėdsako įverčiai. Mažiausias anglies pėdsakas pasiekiamas taikant efektyviausius gamybos technologiją - kombinuoto ciklo dujų turbinas, kurios vyrauja Jungtinėje Karalystėje. Prie dujų anglies pėdsako prisideda ir neorganizuotai išmetamas metanas, kuris į aplinką patenka išgaunant ir transportuojant gamtines dujas, kaip pavyzdys gali būti – kontroliuojami ir nekontroliuojami vamzdinių nuotėkiai [20].



2 pav. Tarptautinis iškastinio kuro elektros energijos anglies pėdsakas [20]

Aktualu išnagrinėti anglies dioksido pėdsaką visais jo apibrėžties aspektais, pradedant nuo pirminių duomenų iki anglies pėdsako vaidmens vaidmenį energijos gamyboje. Pavyzdžiui, gamtinių dujų anglies pėdsakas, skaičiuojant 2012-2014 metų vidurkį, sudaro 30 g CO₂ ekv/kWh, t. y. 4,5-7,5 proc. viso gamtinių dujų anglies pėdsako elektros gamyboje. Europos klimato ir energetikos instituto tyrimuose teigiama, kad pagrindinis indėlis į elektros energijos gamybą priklauso ne nuo kuro, o nuo

gamybos proceso. Taigi gamtinių dujų vaidmuo energijos gamyboje yra didžiulis, nesvarbu, ar tai būtų elektros energija, transporto priemonių judėjimo energija arba namų ūkių energija. Dujų pramonės sektoriaus plėtra yra tikslinga ne tik ekonominiu, bet ir ekologijos požiūriu. Tai ekonominių, ekologinių ir socialinių veiksnių derinys, kuris ir yra tvaraus vystymosi esmė [27].

1.4. Gamtinių dujų ir elektros energijos gamybos ir naudojimo poveikio aplinkai aspektai

1.4.1. Gamtinių dujų gamybos ir naudojimo poveikis aplinkai

Gamtinės dujos yra energetiškai efektyviausias iškastinis kuras lyginant naftą ir anglį. Nors gamtinės dujos pirmiausia naudojamos kaip kuras, jos taip pat yra angliavandenilių šaltinis pramoninės chemijos žaliavoms gaminti ir pagrindinis elementariosios sieros šaltinis. Gamtinės dujos yra sudėtingas angliavandenilių ir ne-angliavandenilių sudedamųjų dalių mišinys, kuris atmosferos sąlygomis - dujos. Gamtinėse dujose gali būti šimtai skirtingų junginių su skirtingais kiekiais. Net iš dviejų to paties telkinio gręžinių gali būti išgaunamos skirtingos sudėties dujos. Šios dujos daugiausia susideda iš metano (CH_4), tačiau jose taip pat gali būti nemažai etano (C_2H_6), propano (C_3H_8), butano (C_4H_{10}), pentano (C_5H_{12}), heksano (C_6H_{14}) ir sunkesnių angliavandenilių pėdsakų. Daugelyje gamtinių dujų dažnai randama azoto (N_2), anglies dioksido (CO_2), vandenilio sulfido (H_2S) ir kitų sieros komponentų, tokių kaip merkaptanai (R-SH)₄, karbonilo sulfidas (COS) ir anglies disulfidas (CS_2). Taip pat gali būti nedideli kiekiai argono, vandenilio, helio ir metalinių medžiagų, įskaitant arseną, seleną, gyvsidabrį ir uraną. Kadangi gamtinės dujos iš esmės yra nepakeičiamos, svarbu žinoti kiek gamtinių dujų išteklių šiuo metu yra likę [5].

Pagal pasaulinės energijos išteklių tiekimo kompanijos „BP“ statistinę pasaulio energetikos apžvalgą 2021 didžiausios gamtinių dujų atsargos yra Rusijoje, Irane, Katarė, Turkmėnistane ir JAV [4].

1 lentelė. „BP“ statistiniai duomenys apie pagrindinius pasaulio gamtinių dujų išteklius

Eil. Nr.	Valstybė	Trilijonai kubinių metrų	Procentai
1.	Rusija	37,4	19,9 %
2.	Iranas	32,1	17,1 %
3.	Kataras	24,7	13,1%
4.	Turkmėnistanas	13,6	7,2 %
5.	JAV	12,6	6,7%

Gamtinių dujų išteklių gamyba apima keturias pagrindines veiklas: žvalgyba, gręžimas, gręžimo darbai ir gamyba.

Dėl savo savybių gamtinės dujos dažnai vadinamos "tarpiniu kuru", padedančiu sklandžiai pereiti prie anglies dioksido neutralumo energetikos ateityje. Gamtinių dujų jėgainės patenkina dabartinius energijos poreikius, kol bus sukurtos atsinaujinančios arba anglies dioksido kiekį mažinančios technologijos. Šaltiniuose teigiama, kad gamtinės dujos išmeta mažiau anglies dioksido nei kitas iškastinis kuras. Mažiau akcentuojama tai, kad gamtines dujas daugiausia (apie 95%) sudaro metanas (CH_4) - stiprios šiltnamio efektą sukeliančios dujos (ŠESD). Todėl gamtinių dujų naudojimo poveikis klimatui priklauso nuo metano, kuris nesudegęs išsiskiria iš gamtinių dujų sistemos, kiekio [7]. Pagal ES pranešimą dėl išmetamo metano kiekio mažinimo ES strategijos – metanas yra stipresnės šiltnamio efektą sukeliančios dujos nei anglies dioksidas. Metanas dega efektyviau nei anglis, todėl

anglies dvideginio sąnaudų ir oro taršos požiūriu jis yra geresnė alternatyva nei anglis. CH₄ atmosferoje išlieka daug trumpiau nei CO₂ - vidutiniškai devynerius metus, o CO₂ - šimtus.

Paskutiniaisiais dvidešimto dešimtmečio metais keliose pramonės šalyse buvo atlikti sistemingi dujų pramonės išmetamo metano tyrimai. Šie tyrimai parodė, kad vakarų Europos pramonės šalyse metano emisijos sudaro 0,1-1,5 % išgaunamų ar suvartojamų dujų (IGU, 1997). Norvegijoje ir Nyderlanduose, kur dujų perdavimo apimtys yra palyginti didelės, jos paprastai būna žemesnėje šio intervalo dalyje. Vokietijoje - šiek tiek mažiau nei 0,6 %; Jungtinėse Amerikos Valstijose, kur yra daug mažų gavybos gręžinių ir plati, iš dalies sena vamzdynų sistema, jos yra arti viršutinės šio intervalo dalies. Šiuose tyrimuose buvo atsižvelgta į visą dujų tiekimo grandinę, apimančią gavybą, perdavimą, paskirstymą ir naudojimą. Atkreiptinas dėmesys, kad rytų Europoje buvo nustatyti dideli gamtinių dujų nuotėkiai. Tačiau šių vertinimų stebėjimo pagrindas buvo nepakankamas, todėl neapibrėžties intervalai yra dideli, šio teorinio tyrimo duomenimis, didžiausias gamtinių dujų nuostolis yra 1,8 %. Šiame tyrime apskaičiuojant emisijos koeficientus priimtos palyginti didelės saugos ribos, todėl rezultatai suvokiami kaip blogiausio atvejo įvertinimas [9].

Tarptautinė energetikos agentūra savo ataskaitoje „Nulinė tarša iki 2055 m., gairės pasaulio plėtrai“ nurodo, kad pagal nulinio grynojo išmetamo teršalų kiekio scenarijų, 2020-2030 m. naudojant išskastinį kurą metano kiekis turėtų būti sumažintas iki 75 %.

1.4.2. Elektros energijos naudojimo poveikis aplinkai

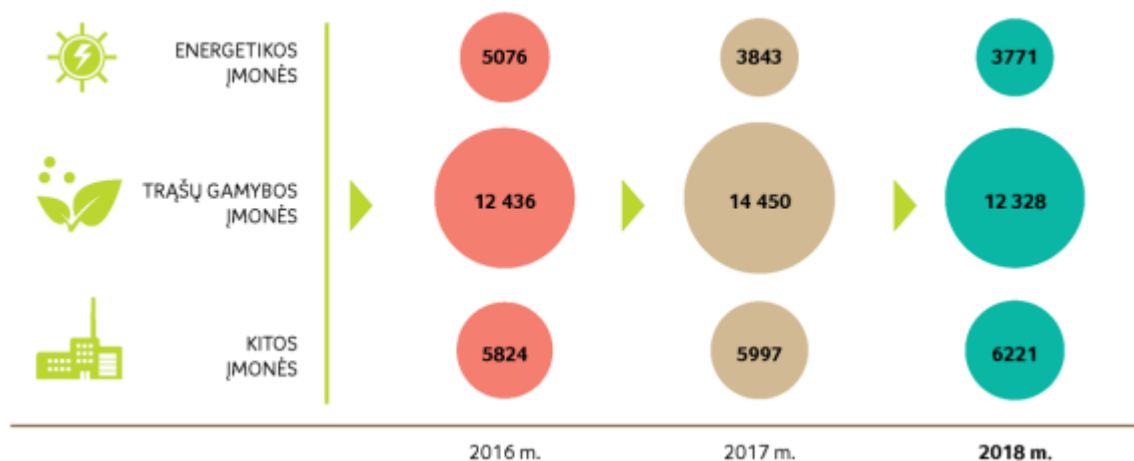
Beveik visos elektros energijos sistemos dalys gali daryti poveikį aplinkai, o šio poveikio dydis priklauso nuo to, kaip ir kur elektros energija gaminama ir tiekama [23]. Elektros tinklas svarbus kuro būvio ciklo poveikio aplinkai vertinimui kaip bendro tinklų sujungimo galimybių analizės proceso elementas. Poveikis gali pasireikšti bet kuriame arba visuose grandinės taškuose - nuo kuro, skirto elektros energijai gaminti, gavybos iki elektrinių/perdavimo įrenginių statybos ir eksploatavimo. Planuojant energetiką aplinkosaugos aspektams kartais skiriama mažiau dėmesio nei techniniams, ekonominiams ir (dažnai) politiniams klausimams. Elektros tinklų sujungimo besivystančiuose regionuose atveju, ankstyvas poveikio aplinkai svarstymas vertinant sujungimo galimybes padeda nustatyti pagrindines galimas problemas, įskaitant jautrias ekosistemas, kurias kirs elektros linijos, taip pat potencialias galimybes, kurios galėtų pagerinti sujungimo projektą, įskaitant kreditus už išvengtą oro teršalų ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą [25].

Elektros energijos veiklos poveikis šalia esančioms sistemoms priklauso nuo tinklo medžiagos arba laukų (elektrinių, magnetinių, elektromagnetinių). Dėl eksploatacinio poveikio ribojama gretimų gamtinių ar techninių sistemų veikla/produktyvumas. Galimas biologinio poveikio rezultatas, kai nuolatinis silpnų elektrinių, magnetinių ir elektromagnetinių laukų poveikis biologinei medžiagai lyg neturėtų sukelti jokių pasekmių, tačiau net ir laikinas intensyvių laukų poveikis gali sukelti poveikį, kuris gali būti negrįžtamas. Poveikis aplinkai gali būti kontroliuojamas taikant ribojamąsias ir eksploatavimo taisykles [24].

1.5. Gamtinių dujų sektorius

Lietuva savo gamtinių dujų išteklių neturi, todėl visos Lietuvoje suvartojamos gamtinės dujos yra importuojamos. Nuo 2014 m. pradėjus veikti Klaipėdos suskystintų gamtinių dujų (toliau – SGD) terminalui, diversifikavosi tiekimo šaltiniai ir Lietuva yra pajėgi apsirūpinti gamtinėmis dujomis iš SGD tarptautinių rinkų. Kasmet Lietuvoje suvartojama apie 2,4 milijardo m³ gamtinių dujų. Maždaug

pusę Lietuvoje suvartojamų gamtinių dujų suvartoja AB „Achema“, azoto trąšų ir kitų pramoninių chemijos produktų gamintoja. Kiekvienais metais apie 50 proc. Lietuvoje suvartotų gamtinių dujų importuojama per Klaipėdos suskystintų gamtinių dujų terminalą. 2018 m. gruodį Seimas priėmė sprendimą, kad Lietuva po 2024 m. užtikrins ilgalaikį SGD tiekimą įsigydama SGD laivą-saugyklą. Tai leidžia Klaipėdos SGD terminalo veiklos sąnaudas išdėstyti ne per 10 metų SGD laivo-saugyklos nuomos laikotarpį kaip yra dabar, bet tolygiai per visą numatomą SGD terminalo veiklos laikotarpį [29].



3 pav. Gamtinių dujų perdavimo kiekiai pagal gamtinių dujų perdavimo sistemos naudotojus Lietuvoje, GWh [29]

Pastaruosius kelerius metus Lietuvoje buvo suvartojama daugiau nei pusė gamtinių dujų patiekiamų iš SGD terminalo. 2020 m. per SGD terminalą buvo importuota apie 64 proc., 2019 m. – 65 proc. Lietuvoje suvartotų gamtinių dujų [31]. Esminiai pokyčiai gamtinių dujų sektoriuje ir palankios tendencijos tarptautinėse rinkose, 2014-2020 m. laikotarpiu lėmė 50 proc. importuojamų gamtinių dujų kainos mažėjimą Lietuvoje ir šiuo metu Lietuvos vartotojai yra vieni iš mažiausių už dujas mokančių Europos Sąjungoje. Siekiant užtikrinti konkurencingą ir patikimą gamtinių dujų tiekimą Lietuvai strategiškai svarbu užtikrinti Klaipėdos SGD terminalo veiklos ilgalaikį tęstinumą. Gamtinės dujos Lietuvoje transportuojamos perdavimo ir skirstymo sistemomis.

Gamtinių dujų įstatyme nustatyta, kad gamtinių dujų sektoriuje licencijuojama ši veikla:

- perdavimo
- skirstymo
- laikymo
- skystinimo (SGD pakartotinio dujinimo)
- biržos operatoriaus

Gamtinių dujų tiekimo veikla, išskyrus prekybą gamtinių dujų biržoje ir degalinėse, šiuo metu yra reguliuojama leidimais [32].

1.6. Gamtinių dujų perdavimo sistema

Gamtinių dujų perdavimas – gamtinių dujų transportavimas sistema (išskyrus tiekimą), kurią paprastai sudaro aukšto slėgio vamzdynai, išskyrus gavybos tinklą ir aukšto slėgio vamzdynų dalį, daugiausia naudojamą gamtinėms dujoms paskirstyti vietoje, siekiant pristatyti jas gamtinių dujų

vartotojams [3]. Pagrindinis gamtinių dujų tiekimo sistemos principas - dujų tekėjimas iš aukštesnio slėgio į žemesnį. Saugumo sumetimais vamzdynai projektuojami ir statomi taip, kad išlaikytų daug didesnę slėgį, nei iš tikrųjų pasiekiamas sistemoje. Pavyzdžiui, tankiau apgyvendintose vietovėse vamzdynai veikia esant mažiau nei pusei projekcinio slėgio lygio.

1.6.1. Lietuvos gamtinių dujų perdavimo sistema

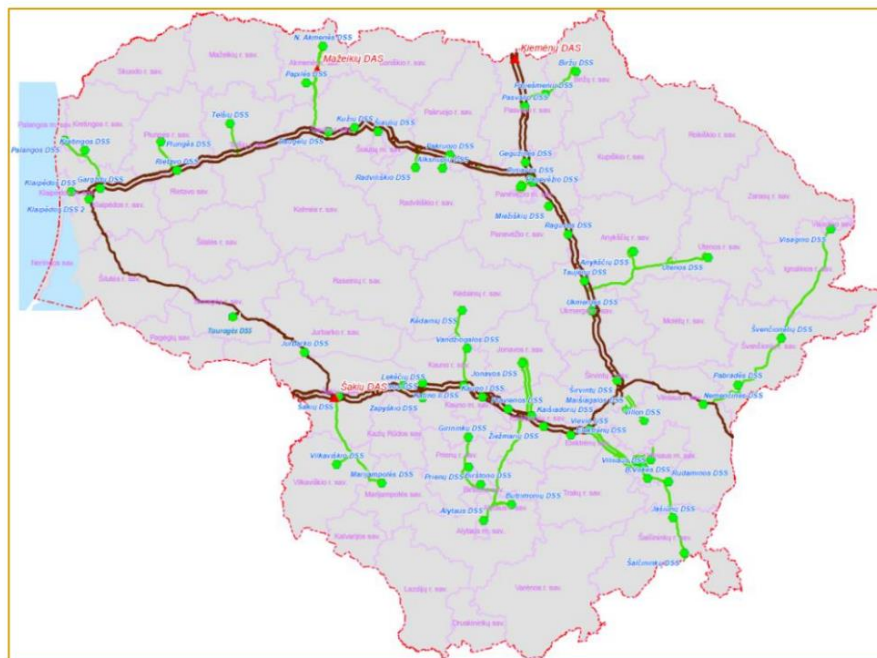
Gamtinių dujų perdavimo sistemą sudaro magistraliniai dujotiekiai, dujų kompresorių stotys, dujų skirstymo stotys, dujų apskaitos stotys, dujotiekių apsaugos nuo korozijos įrenginiai, duomenų perdavimo ir ryšio sistemos bei kitas turtas, priskirtas perdavimo sistemai. Bendras perdavimo sistemos dujotiekių ilgis Lietuvos teritorijoje yra daugiau nei 2,1 tūkst. km. Lietuvos dujų perdavimo sistema sujungta su Latvijos Respublikos, Baltarusijos Respublikos, Rusijos Federacijos Kaliningrado srities dujų perdavimo sistemomis, Klaipėdos suskystintų gamtinių dujų (SGD) terminalu [10]. Magistraliniai dujotiekiai – nuo 1961 m. eksploatuojami dujotiekiai. Didžiausias dujotiekių diametras 1220 mm. Didžiosios dalies perdavimo sistemos projektinis slėgis – 54 bar.

Dujų kompresorinės stotys skirtos gamtinių dujų transportavimui: Panevėžio (vakarų kryptimi – į Klaipėdą; pietų kryptimi – į Vilnių; šiaurės kryptimi – į Rygą), Jauniūnų (antroji Lietuvos teritorijoje kompresorinė stotis, pastatyta, nes augant dujų poreikiams Panevėžio dujų kompresorių stoties pajėgumų nebeužtenko Lietuvoje ir kaimyninėse šalyse).

Dujų apskaitos stotys: Kiemėnų, Šakių (priemonės įrengtos valdymui ir parametrų stebėjimui iš bendrovės dispečerinio centro, gamtinių dujų tiekimo saugumo bei patikimumo užtikrinimui, sumontuotas srautinis chromatografas dujų kokybei ir sudėčiai nustatyti) [11]. Lietuvos gamtinių dujų perdavimo sistema, dirbdama įprastiniu režimu, yra pajėgi be apribojimų užtikrinti gamtinių dujų tiekimą, o, pradėjus eksploatuoti SDG terminalą Klaipėdoje, į šalį galima tiekti gamtines dujas iš alternatyvių šaltinių. Todėl dujų tiekimo rizikos smarkai sumažėja, ypač dėl geopolitinių veiksnių. Alternatyvus dujų tiekimo šaltinis taip pat sumažina apsirūpinimo dujomis riziką dėl techninio pobūdžio gedimų [29].



4 pav. Lietuvos gamtinių dujų perdavimo sistema, 2020 m. [10]



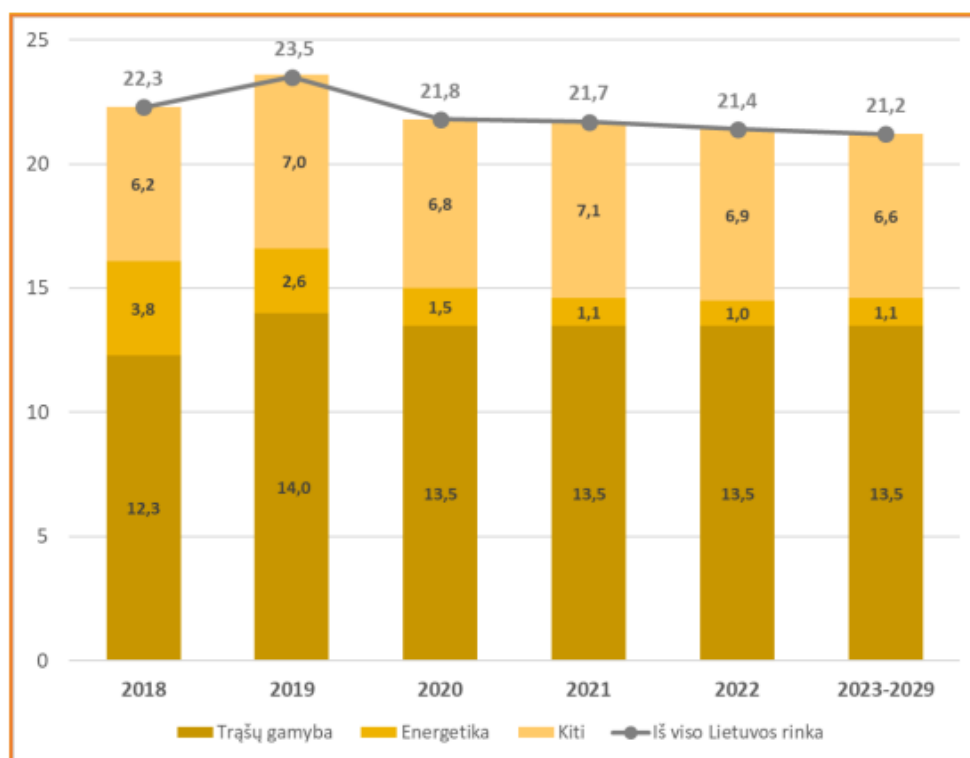
5 pav. Pagrindinis ir lokalus gamtinių dujų perdavimo tinklas [11]

Šis aukšto slėgio dujotiekių tinklas yra išskirtas į perdavimo (pagrindinį) tinklą – ~1.300 km (6 paveiksle pažymėtas ruda spalva) ir - regioninio paskirstymo tinklą/lokalų tinklą, kuriuo dujos perduodamos tik Lietuvos gamtinių dujų vartotojams ~800 km (6 pav. pažymėtas žalia spalva) [10].

Lietuvos gamtinių dujų perdavimo sistema sujungta su Baltarusijos, Latvijos bei Rusijos dujų perdavimo sistemomis. Didžiausias gamtinių dujų kiekis importuojamas dujotiekiu iš Baltarusijos ir transportuojamas Lietuvos vartotojams, tranzitu – Rusijos Federacijos Kaliningrado srities vartotojams. Dujų transportavimas Lietuvos – Latvijos tarpvalstybine jungtimi gali būti vykdomas abiem kryptimis [11].

2015 m., pradėjo veikti SGD terminalas Klaipėdoje, dujos į Lietuvą (Europos Sąjungos ir Lietuvos vartotojams) tiekiamos iš dviejų pagrindinių šaltinių – per SGD terminalą Klaipėdoje ir iš Rusijos tranzitu per Baltarusiją per Kotlovkos dujų apskaitos stotį, taip pat, esant poreikiui, dujos gali būti į Lietuvą perduodamos iš Latvijos per Kiemėnų dujų apskaitos stotį (DAS). Ateityje, nuo 2022 m., pastačius dujotiekio jungtį tarp Lenkijos ir Lietuvos dujos bus tiekiamos ir iš Lenkijos.

2019 m. 65,3 % dujų įleista iš Klaipėdos SGD terminalo (per Klaipėdos DAS 2018 buvo įleista apie 35 proc. dujų). Numatoma, kad 2020 m. apie 65 % dujų bus įleista per Klaipėdos DAS, likusi dalis – per Kotlovkos DAS (31 %) ir per Kiemėnų DAS (4 %). Tiek šiais metais, tiek ir ateityje dujų kiekių pasiskirstymas pagal įleidimo taškus priklausys nuo konkurencinės situacijos dujų rinkoje.

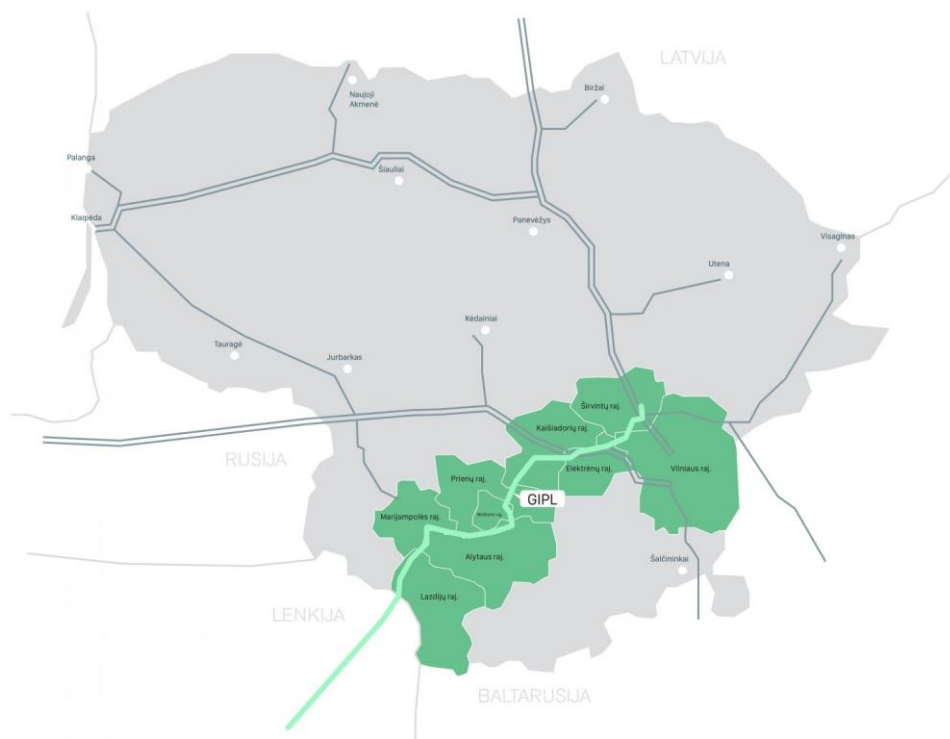


6 pav. Gamtinių dujų perdavimo kiekiai pagal verslo sektorius Lietuvoje, 2018–2029 m., TWh/metus [10].

Pastaraisiais metais per perdavimo sistemą perduodamų dujų kiekis Lietuvos rinkos poreikiams kasmet nežymiai kinta: 2018 m. – 22,3 TWh dujų, 2019 m. – 23,5 TWh. Pagal sistemos naudotojų pateiktus duomenis planuojamas Lietuvos vartotojų poreikiams perduoti dujų kiekis 2020 m. bus apie 21,8 TWh, 2021 m. – 21,7 TWh. Vėliau numatoma, kad nuo 2023 m. metinis kiekis galėtų siekti apie 21 TWh per metus. Ilgalaikių perdavimo sistemos pajėgumų poreikis Lietuvos vartotojams 2020 m. yra 78,1 GWh per parą. Numatoma, kad panašus pajėgumų poreikis bus artimiausiais metais, o nuo 2023 m. sudarys apie 75 GWh per parą [10].

2022 metų gegužę pradėjo veikti 508 km ilgio Lietuvos-Lenkijos dujotiekis GIPL, kurio esminis tikslas faktiškai išplėsti Europos dujų rinką, integruojant Baltijos šalis ir Suomiją. Šis žingsnis dar

labiau sustiprina regiono energetinę nepriklausomybę bei padidina Klaipėdos SGD terminalo panaudojimo galimybes. Dujotiekis driekiasi nuo Jauniūnų dujų kompresorių stoties (DKS) Širvintų rajone iki Holovčycių DKS Lenkijoje. Jungtimi dujos galės tekėti abiem kryptimis.



7 pav. Dujotiekių jungtis tarp Lenkijos ir Lietuvos (GIPL) [11]

1.7. Gamtinių dujų teisinis reguliavimas

Reguliavimo sąvoką galima apibūdinti kaip privalomų tarptautinių arba valstybės taisyklių kompanijoms bei kitiems dalyviams nustatymą, laikymąsi bei priežiūrą. Gamtinių dujų reguliavimas dažnai vertinamas tik kaip ekonomikos mokslo objektas, bet toks reguliavimas turi teisinę formą ir priemones. [12] Pagal Europos Komisijos klausimus ir atsakymus apie ES taksonomiją papildantį klimato deleguotąjį aktą, apimantį tam tikrą branduolinę ir dujų veiklą nurodoma, kad ES taksonomijos tikslas - užkirsti kelią "greenwashing" ir padėti investuotojams nustatyti ekonominę veiklą, atitinkančią mūsų aplinkosaugos ir klimato tikslus. Perėjimas prie atsinaujinančiosios energijos yra labai svarbus siekiant klimato neutralumo. Tačiau taip pat būtina turėti stabilių šaltinių, kad būtų galima greičiau pereiti prie grynojo nulinio šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio. Šiame papildomame klimato srities deleguotajame akte Komisija tam tikrą branduolinę ir dujų veiklą priskiria antrajai veiklos kategorijai, t. y. pereinamojo laikotarpio veiklai, kuriai taikoma Taksonomijos reglamento 10 straipsnio 2 dalis. Tai veikla, kurios dar negalima pakeisti technologiškai ir ekonomiškai įmanomomis mažo anglies dioksido kiekio alternatyvomis, tačiau kuri prisideda prie klimato kaitos švelninimo ir gali atlikti svarbų vaidmenį pereinant prie neutralios klimato kaitos ekonomikos, laikantis ES klimato tikslų ir įsipareigojimų bei laikantis griežtų sąlygų ir neišstumiant investicijų į atsinaujinančiuosius energijos išteklius. Šiuo pakeitimu bus nustatyti reikalavimai didelėms į biržos prekybos sąrašus įtrauktoms nefinansinėms ir finansinėms bendrovėms atskleisti savo veiklos, susijusios su gamtinėmis dujomis ir branduoline energija, dalį. Tai turėtų padėti investuotojams atskirti skirtingas veiklos rūšis, į kurias jie investuoja [13].

1.8. Gamtinių dujų perdavimo sistemos svarba klimatui

Klimato kaitą skatina nuolatinis antropogeninių šiltnamio efektą sukeliančių dujų išsiskyrimas, o iškastinio kuro gamyba, paskirstymas ir vartojimas yra pagrindiniai šių dujų išmetimo šaltiniai. Jei norime pasiekti Paryžiaus susitarimo tikslus, kad "...iki 2100 m. pasiekti, kad vidutinė planetos temperatūra nepakiltų daugiau kaip 2 laipsniais ir siekti 1,5 °C, palyginus su iki pramoninių laikotarpiu", būtina, kad per ateinančius tris-keturis dešimtmečius energetikos sistemos visame pasaulyje būtų visiškai dekarbonizuotos. ES iškastinis kuras, įskaitant gamtines dujas, po 2035 m. negalės atlikti jokio reikšmingo vaidmens ES energetikos sistemoje, kurioje temperatūra sieks 2°C. Sparčiai mažinant miškų naikinimą ir sparčiai mažinant cemento gamybos proceso metu išmetamų teršalų kiekį, apskaičiuota, koks pasaulinis anglies dioksido biudžetas po 2017 m. bus reikalingas tik energetikai, kad būtų galima įgyvendinti Paryžiaus temperatūros įsipareigojimus. Esant dabartiniam energetikos sektoriuje išmetamų teršalų kiekiui, tai sudaro nuo 14 metų, jei tikimybė, kad temperatūra bus 1,5 °C, yra "mažai tikėtina", iki 18 metų, jei tikimybė, kad temperatūra bus 2 °C, yra tikėtina. Atsižvelgiant į esamos šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo infrastruktūros mastą, labai mažai tikėtina, kad Paryžiaus 1,5°C įsipareigojimas yra perspektyvus klimato kaitos švelninimo tikslas. Tik tuo atveju, jei bus siekiama "realaus" klimato kaitos švelninimo, vadovaujantis anglies dioksido biudžetais "tikėtina" 2°C tikimybei, ir jei labai spekuliatyvios neigiamo išmetamųjų teršalų kiekio technologijos (NET) bus sėkmingos ankstyvu ir precedento neturintiu planetos mastu, 1,5°C temperatūra teoriškai galėtų būti laikoma pasiekiamą. Likusį išmetamųjų teršalų biudžetą turi pasidalyti valstybės ir sektoriai. Darant prielaidą, kad ne Ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacijos (EBPO) regionuose išmetamo anglies dioksido kiekio pikas bus pasiektas 2020-2025 m. (daug anksčiau nei numatyta Paryžiuje), apskaičiuojame EBPO, o vėliau ir ES išmetamųjų teršalų biudžeto intervalą. Kad ES galėtų sąžiningai prisidėti prie Paryžiaus įsipareigojimo "gerokai mažiau nei 2°C", jos anglies dioksido išmetimo biudžetas po 2017 m. turėtų būti nuo 23 iki 32 GtCO₂, t. y. maždaug šešerius-devynerius metus dabartinio ES išmetamo vien tik energijos išteklių kiekio. Ši išvada priklauso nuo sėkmingos ir labai plataus užmojo ne EBPO šalių klimato kaitos švelninimo darbotvarkės, gerokai viršijančios jų atitinkamus nacionalinius nustatytus įnašus. Kad ES įvykdytų savo dalį 2°C įsipareigojimo, ji turi nedelsiant pradėti įgyvendinti esminę klimato kaitos švelninimo programą, pagal kurią absoliutus išmetamųjų teršalų kiekis būtų mažinamas ne mažiau kaip 12 proc. per metus. Bet koks delsimas pradėti arba mažesnis nei 12 proc. metinio išmetamųjų teršalų kiekio siekimas lems, kad "tikėtina" galimybė pasiekti 2°C bus nepasiekiamą, arba pareikalaus dar didesnio esminio klimato kaitos švelninimo per ateinančius metus. Toks klimato kaitos švelninimo lygis gerokai viršija ES pagrindinį nacionaliniu lygmeniu nustatytą tikslą iki 2030 m. sumažinti išmetamųjų teršalų kiekį 40 %. Dabartinėje ES pozicijoje iš esmės neatsižvelgiama į jokias teisingumo aiškinimą ir yra remiamasi scenarijais, pagal kuriuos daroma prielaida, kad neigiamų emisijų technologijos bus labai plačiai naudojamos ir tiesiogiai iš atmosferos bus pašalinta daug šimtų milijardų tonų anglies dioksido. Be to, ES tarptautinės aviacijos ir laivybos sektoriuose išmetamas ŠESD kiekis taip pat neįtrauktas į inventorių, naudojamą jos klimato kaitos švelninimo įsipareigojimams įvertinti. Atsižvelgiant į gamtinių dujų gavybos, paskirstymo ir vartojimo poveikį klimato kaitai be CO₂, šiltnamio efektą taip pat sukelia ne CO₂ šiltnamio efektą sukeliančios dujos, iš kurių svarbiausia yra metanas. Šiuo metu jis daro maždaug 20 proc. antropogeninio klimato atšilimo poveikio, o nuo 2006 m. pastebimas metano koncentracijos atmosferoje didėjimas ir regioninis išmetamų teršalų kiekio augimas. Tiek išmetamo metano kiekis, tiek jo koncentracija atmosferoje atitinka viršutinę Tarpvyriausybės klimato kaitos komisijos (TKKK) scenarijų ribą. Kol kas nėra vieningos nuomonės, kokios priežastys lemia koncentracijos didėjimą atmosferoje ir

kokią santykinę dalį galima priskirti iškastinio kuro pramonei. Tačiau keliuose naujausiuose empiriniuose tyrimuose nustatyta, kad vyriausybės pateikti oficialūs iškastinio kuro emisijų sąrašai yra nepakankamai įvertinti regionuose, kuriuos jie nagrinėja.

JAV vykdytos matavimo kampanijos parodė, kad atmosferoje išmetamų teršalų kiekio nustatymo metodai "iš viršaus į apačią" ir oficialūs išmetamų teršalų aprašai, pagrįsti metodais "iš apačios į viršų", nesutampa. Atrodo, kad gamtinių dujų tiekimo grandinėje išmetamo metano kiekį sudaro nedidelis didelio intensyvumo objektų ar įvykių skaičius, todėl reprezentatyvią imtį paimti sudėtinga. Todėl bendrų dujų tiekimo grandinės tipų įverčiai pagrįstai labai skiriasi [14].

Nacionalinėje Lietuvos energetinės nepriklausomybės strategijoje vizija iki 2050 m. – valstybei ir vartotojui pridėtinę vertę kurianti ir pažangi mažo ŠESD kiekio technologijas ir netaršius energijos šaltinius naudojanti, atspari kibernetinėms grėsmėms ir klimato kaitos pokyčiams energetika, patikimai aprūpinanti energija už konkurencingą kainą. Siekdamas Jungtinių Tautų Darnaus vystymosi darbotvarkėje iki 2030 m., Paryžiaus susitarime nustatytų tikslų, ES klimato kaitos ir energetikos politikos iki 2030 m. tikslų, Lietuvos energetikos sektorius 2050 m. gamins 80 proc. energijos iš netaršių (mažo ŠESD ir aplinkos oro teršalų kiekio) šaltinių, saugiai ir už konkurencingą kainą energiją tieks vartotojams ir prisidės prie šalies modernios ekonomikos vystymosi, jos konkurencingumo ir investicijų pritraukimo. Energijos gamybos šaltinius sudarys atsinaujinantys energijos ištekliai ir technologijos, užtikrinančios energijos gamybą neteršiant aplinkos. Šiltnamio efektą skatinančių dujų (ŠESD) išsiskyrimas [29].

Anglies dioksidas yra pagrindinis veiksnys, darantis poveikį klimato kaitai dėl gamtinių dujų gavybos, paskirstymo ir vartojimo. Trumpuoju laikotarpiu ir tam tikru laiko momentu išmetamų teršalų vieneto atžvilgiu metanas turi daug didesnę klimato atšilimo poveikį nei anglies dioksidas. Tačiau, palyginti su CO₂, metanas greitai pasišalina iš atmosferos dėl natūralių procesų, todėl bet kokio metano impulso sukeltas atšilimas sumažėja per kelis dešimtmečius. Nuolat išmetamas didelis metano kiekis, žinoma, papildys šį nuostolį ir išlaikys pradinį atšilimo poveikį. Gamtinių dujų gavybos ir paskirstymo metu sąmoningai ir netyčia išsiskiria metanas, nors tikslus jo kiekis įvairiose vietovėse, gamybos technologijose ir per tam tikrą laiką konkrečioje vietovėje labai skiriasi. Nors nuotėkio lygis turi įtakos santykiniam metano poveikiui gamtinių dujų tiekimo grandinių poveikiui klimato kaitai, ilgalaikį temperatūros pokytį, atsirandantį dėl bet kokio konkretaus gavybos kiekio, lemia išmetamas CO₂ kiekis, nes jis išlieka atmosferoje tūkstančius metų. Numatomas suskystintųjų gamtinių dujų (SGD) gamybos ir gabenimo didėjimas reikalauja papildomų energijos sąnaudų, palyginti su dujotiekiais tiekiamomis gamtinėmis dujomis, ir tai dar labiau padidina CO₂ emisijų našą. SGD tiekimo grandinės išmetamųjų teršalų kiekio medianos įverčiai yra beveik dvigubai didesni nei vidutinis vamzdinių tiekimo grandinės išmetamųjų teršalų kiekis. Tolimųjų vamzdinių, pavyzdžiui, iš Rusijos, išmetamų teršalų kiekis gali būti didesnis, tačiau šiuo metu jie yra menkai apibūdinami. Jei metano nuotėkis išliks toks pat kaip dabar, o gamtinių dujų objektai bus statomi neatsižvelgiant į tai, kad jis netrukus bus baigti eksploatuoti, tai, palyginti su tiesioginiu perėjimu prie tikrai mažai anglies dioksido į aplinką išskiriančios infrastruktūros, padidės ir artimiausio laikotarpio, ir ilgalaikis atšilimas [14].

1.8.1. Dekarbonizacija

Paryžiaus 2°C ir teisingumo įsipareigojimuose, paremtuose TKKK anglies dioksido biudžetais, reikalaujama iki 2035 m. mažiausiai 95 proc. sumažinti vien tik energijos sektoriuje išmetamą anglies

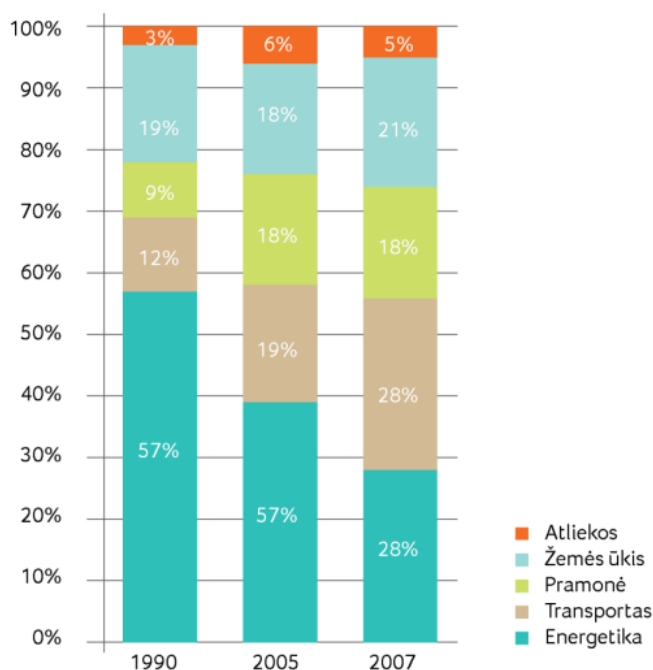
dioksido kiekį, o po dešimtmečio visiškai dekarbonizuoti ES energetikos sistemą. Atsižvelgiant į tai ir darant prielaidą, kad išmetamųjų teršalų kiekio mažinimas iš karto bus 12 % per metus (arba paspartintas iki maždaug 18 % iki 2023 m.), kategoriškai nėra jokios galimybės išgauti papildomų iškastinio kuro, įskaitant dujas, atsargų. Šiai išvadai didelės įtakos neturi anglies dioksido surinkimo ir saugojimo perspektyva, nes dėl diegimo spartos apribojimų ir tikėtino metano išmetimo prieš tai labai sumažėja jo galimybės, net jei Paryžiaus įsipareigojimas dėl 2°C būtų vertinamas konservatyviai, 1,5°C būtų atmetas. Atsižvelgiant tiek į išmetamo anglies dioksido, tiek į metano kiekį, skubi programa, pagal kurią būtų laipsniškai nutrauktas gamtinių dujų ir kito iškastinio kuro naudojimas visoje ES, yra bet kokios moksliskai pagrįstos ir teisingumu grindžiamos politikos, kuria siekiama įgyvendinti Paryžiaus susitarimą [14].

Pagal Lietuvos Respublikos nacionalinį energetikos ir klimato srities veiksmų planą 2021 – 2030 nacionalinėje energetinės nepriklausomybės strategijoje yra išskirtos keturios kryptys kaip prioritetai – įtakos klimato kaitai ir aplinkos oro taršai mažinimą, patikimumą, konkurencingumą bei šalies verslo dalyvavimą siekiant energetikos pažangos. Šios keturios kryptys tiesiogiai koreliuoja su pagrindinėmis Energetikos sąjungos valdymo reglamente nurodytomis Nacionalinio plano dimensijomis – dekarbonizacija, energijos efektyvumu, energetiniu saugumu, energijos vidaus rinka ir tyrimais, inovacijomis ir konkurencingumu [29].

1.8.2. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimas

Per pastaruosius kelis dešimtmečius Lietuva pasiekė didžiulių laimėjimų aplinkosaugos srityje. Palyginti su 1990 m. duomenimis, Lietuvoje ŠESD išmetimas sumažėjo daugiau nei dvigubai ir labiausiai iš visų 28 ES valstybių – 57 proc. [34] o skaičiuojant ŠESD išmetimą vienam gyventojui, 2017 m. Lietuva turėjo devintą mažiausią rezultatą Europos Sąjungoje. [44] Pažymėtina, kad šie rezultatai buvo pasiekti nepaisant šalies ekonomikos augimo, be to, prognozuojama, kad teigiamos mažėjimo tendencijos išliks ir toliau. Tai sudaro geras sąlygas ateityje siekti nulinės ŠESD emisijos ekonomikos [29].

Nuo 1990 m. keitėsi šalies ŠESD kiekio struktūra. Šiuo pokyčius lėmė šalies ūkio veiklos transformacijos, kai sumažėjo pramonės sektorius, plėtėsi paslaugų sektoriaus veiklos ir keitėsi naudojami energiniai išteklių. Taip pat svarbus veiksnys - įgyvendinamų ŠESD mažinimo priemonių taikymas ir skatinimas. 1990-2005 metais energetikos sektorius sudarė net 57 procentus visų ŠESD išmetimų kiekio, bet nuo 2007 metų šis skaičius stipriai sumažėjo iki 28 procentų, nes padidėjo transporto sektoriaus išmetimai [29]. Šis pokytis gana gerai atsispindi 8 paveikslėlyje.



8 pav. Lietuvos išmetamų ŠESD kiekis pagal sektorius, % [29]

1.9. Mokslinių ir praktinių būvio ciklo vertinimo tyrimų apžvalga dujų sektoriuje

BCV rezultatai gali būti naudojami įvairiais aspektais: objektyviai nustatant gaminio ar paslaugos sąveiką su aplinka ir kiekybiškai išanalizuojant aplinkos apkrovas; suteikiant informacijos, kuri leistų nustatyti aplinkosaugos gerinimo prioritetines sritis ir priemones; leidžianti įvertinti, kiek pavyko laikytis teisės aktų; informuoti vartotojus ir klientus apie gaminio aplinkosauginę ir socialinę atsakomybę. Kadangi klimato kaita ir kitos aplinkos ir socialinės problemos kelia vis didesnį susirūpinimą, naujų dujotiekių projektų BCV gali suteikti labai svarbios informacijos vyriausybės ir pramonės politikos formuotojams [8].

Literatūroje yra paskelbta keletas tyrimų, susijusių su dujų būvio ciklo ar jo dalies poveikio vertinimu [6;7;8;40;42], taip pat su elektros energijos perdavimu [16;17;28]. Šiame skyriuje detalčiau apžvelgiami su dujų poveikiu būvio cikle, susiję tyrimai.

Mokslinėje literatūroje gamtinių dujų poveikis aplinkai dažniausiai vertinamas nuo gamybos iki galutinio vartojimo. Daugiausia publikacijų gamtinių dujų būvio ciklo vertinimo temomis išleista JAV, Artimųjų Rytų bei keliose Europos šalyse. Gamtinės dujos sudaro apie 30 % JAV suvartojamos pirminės energijos (EIA, 2018) ir yra plačiai naudojamos elektros energijos gamybai, šildymui ir pramonėje. Atsižvelgiant į jų paplitimą, gamtinės dujos yra daugelio produktų sistemų būvio ciklo dalis [7].

„Snam“, Italijos įmonė, atsakinga už gamtinių dujų pirkimą, perdavimą, pirminį skirstymą šalyje, atliko BCV, kad galėtų įvertinti gamtinių dujų aplinkosauginius aspektus, palyginti poveikį aplinkai su kitomis iškastinio kuro rūšimis ir numatyti pažangius metodus, skirtus jų aplinkosauginiams rodikliams vertinti bei gerinti [6]. Rezultatai rodo, kad gamtinių dujų aplinkosauginis pranašumas prieš kitą iškastinį kurą vertinant iš galutinio naudotojo perspektyvos, dar labiau padidėja, jei atsižvelgiama į visą kuro gyvavimo ciklą - nuo gamybos iki galutinio vartojimo. Taip pat, tyrime pažymima, kad vertinimui yra svarbu turėti patikimus ir atnaujintus, iš dujų pramonės surinktus, bei

duomenų bazėse paskelbtus duomenis, kas yra pakankamai sunku dėl mažai, toje srityje atliktų, panašaus pobūdžio tyrimų [6].

Klimato kaita tebekelia vis didesnę susirūpinimą ir naujų dujotiekių projektų BCV gali suteikti labai svarbios informacijos vyriausybei, politikams ir pramonės atstovams. Dabartinės gamtinių dujų BCV, pavyzdžiui, apytikslis dujotiekio išmetamųjų teršalų kiekio nustatymas grindžiamas ribota analize, naudojant tik įrengtų kompresorių galią; jose neatsižvelgiama į statybą ir eksploatacijos nutraukimą, taip pat į faktinę kompresorių apkrovą dėl dabartinių veiklos sąlygų. Įvairiuose tyrimuose pateikiamas apytikslis vidutinis išmetamųjų teršalų intensyvumas, kuriame nediferencijuojamas didelio pajėgumo magistralinis vamzdynas ir mažesnio slėgio skirstomieji vamzdynai. Literatūroje dominuojantis gamtinių dujų perdavimo veiklos poveikis – eksploatacijos stadijoje (60-79 %) dėl dujų nuotėkio, po to ŠESD emisijos į aplinką (13-17 %) dėl kompresorių ir jų darbo. Tyrimai rodo, jog didesnis darbinis slėgis ir mažesnis atstumas tarp kompresorių stočių sumažina teršalų kiekį. Tuo pačiu reikia paminėti, kad didesnis slėgis sukelia didesnę riziką dujotiekio gedimams ir dujų nuotėkiui. Kompresorių sunaudojamos gamtinės dujos yra didžiausias išmetamųjų ŠESD emisijų šaltinis, todėl kompresoriams tiekiant mažesnės taršos elektros energiją, išmetamųjų teršalų kiekį būtų galima sumažinti iki 81 % [8].

Gamtinių dujų transportavimo ir paskirstymo dideliais atstumais būvio ciklo inventoriuose aprašuose sakoma, kad pagrindinis gamtinių dujų poveikis susijęs su pastarųjų deginimu. Pagrindiniai skirstomojo dujotiekio tinklo metano išmetimai yra dėl pačio tinklo nuotėkių, dujotiekio lūžių, mažų ūkių ar įmonių įvadinio prijungimo į dujotiekio trasą [40].

Galima pastebėti, kad literatūroje neretai pabrėžiamas gamtinių dujų skirstymo ir perdavimo tinklų daromas poveikis aplinkai dėl infrastruktūros. Didėjant miestams tampa svarbu, kad dujotiekiai būtų statomi toliau nuo gyvenamųjų teritorijų ir kitų žmonių susibūrimo statinių. Dujotiekiams tiesti reikalingas nemažas plotas žemės, o tai didina poveikį aplinkai dėl žemės naudojimo pakeitimo [42].

Išvada ir tyrimo naujumas

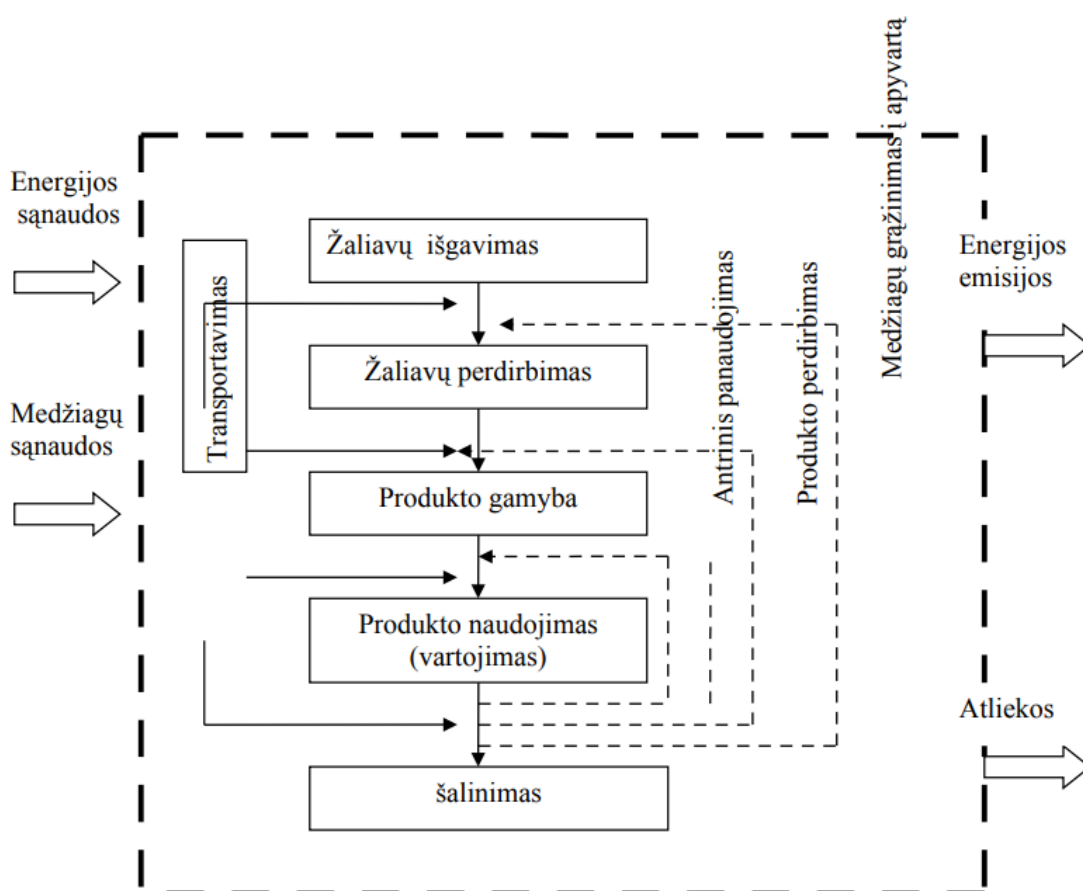
Nėra daug paskelbta tyrimų dujų perdavimo veiklos BCV tematika. Tyrimuose didžiausias dėmesys skiriamas dujų išgavimo, gamybos ir naudojimo etapams, tačiau esantys preliminarūs tyrimai rodo, kad dujų perdavimo veikla yra taip pat reikšminga poveikio aplinkai atžvilgiu. Aktualūs tyrimai su tikslesniais inventoriniais duomenimis, bei visapusiškesniu poveikio vertinimu, skaičiuojant ne tik ŠESD emisijas, bet ir naudojant kitus poveikio aplinkai vertinimo metodus, nustatant kitas poveikio aplinkai kategorijas, kas pastaruoju metu vis dažiau įvardinama kaip organizacijos aplinkosauginis pėdsakas. Lietuvoje panašaus pobūdžio tyrimai taip pat dar nebuvo atlikti.

2. Gamtinių dujų perdavimo sistemos veiklos būvio ciklo vertinimo metodika

2.1. Būvio ciklo metodikos aprašymas

Aplinkosauginio pėdsako veiklos ir neigiamų aplinkos apsaugos aspektų nustatymas atliekamas remiantis būvio ciklo vertinimo (BCV) metodika. Būvio ciklo vertinimas (BCV) - standartizuota priemonė, naudojama gaminio ar paslaugos aplinkosauginiam veiksmingumui įvertinti, atsižvelgiant į visus sąnaudų reikalavimus ir susijusį išmetamųjų teršalų kiekį „nuo lopšio iki karsto“ [8]. BCV idėja kilo XX a. septintojo dešimtmečio pabaigoje, tačiau tik aštuntojo dešimtmečio pabaigoje BCV pradėta plačiai taikyti įvairiose srityse. Pastaraisiais dešimtmečiais BCV plačiai taikoma daugelyje sričių, pavyzdžiui, energetikos, aplinkosaugos, politikos, ekonomikos, inžinerijos ir panašiai [18].

Šis vertinimas, tai platus požiūris į procesą/produktą, kai vertinamas poveikis aplinkai per visą būvio ciklą: nuo žaliavų išgavimo, transportavimo, perdirbimo ir atliekų surinkimu (9 pav.).



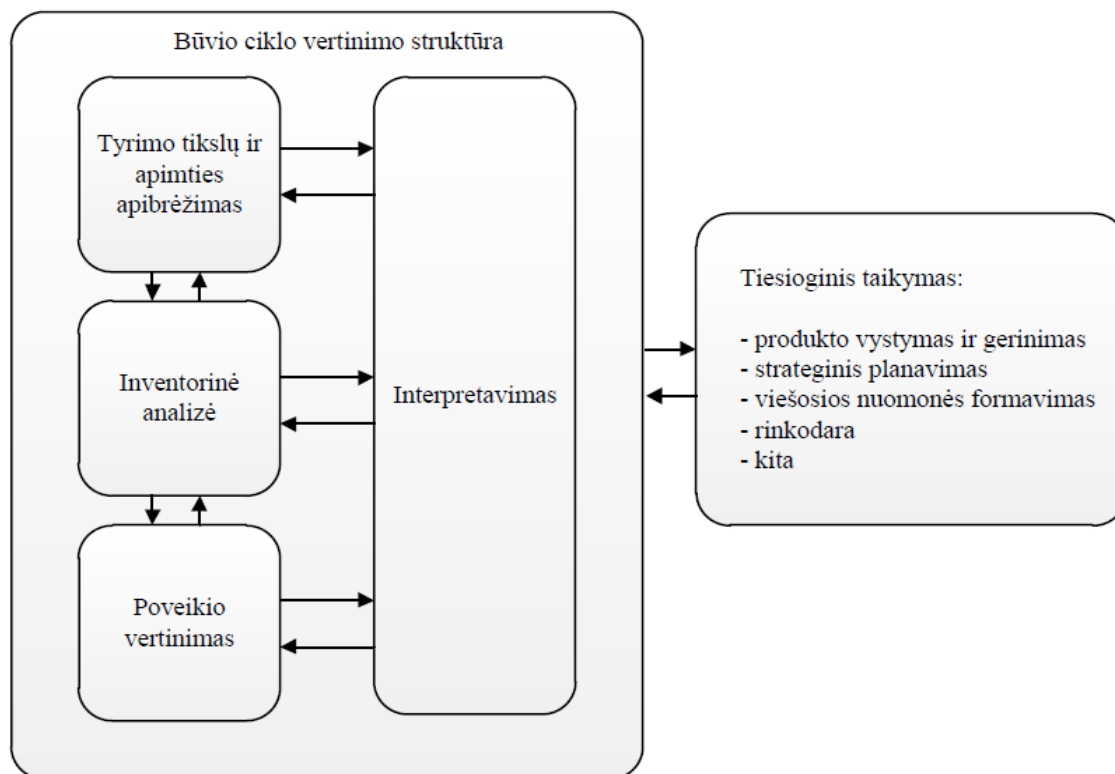
9 pav. Būvio ciklo vertinimo principinė schema [28]

Procesais grindžiamas būvio ciklo vertinimas naudoja pagrindinius inžinerijos principus, kad apskaičiuotų kiekvieno proceso vieneto energijos ir masės balansus. BCV vertinimo metodika ir eiga pateikiama standartuose LST EN ISO 14040:2007 ir LST EN ISO 14044:2007.

ISO 14040 apibūdina BCV kaip „su gaminiu/paslauga siejamų aplinkos aspektų ir potencialių poveikių vertinimo metodą, kuriuo:

- kaupiami atitinkamų gaminių/paslaugų sistemos įvedinių ir išvedinių inventoriniai duomenys;

- vertinami su šiais įvediniais ir išvediniais susiję poveikiai aplinkai;
- interpretuojami inventorinės analizės ir poveikio vertinimo tarpinių rezultatų, atsižvelgiant į tyrimo tikslus;
- analizuojamos galimybės poveikio aplinkai mažinimui.



10 pav. Būvio ciklo vertinimo etapai (LST EN ISO 14040:2007) [15]

Apsibrėžiant BCV tyrimo tikslus ir apimtį, ISO 14040 reikalauja išnagrinėti ir aiškiai aprašyti šiuos aspektus: gaminį/paslaugą, jo funkcijas, funkcinį vieneta, gaminio/paslaugos sistemą, vertinimo ribas, duomenų tipą, prielaidas ir trūkumus.

Šis tyrimas taip pat remiasi organizacijos aplinkosauginio pėdsako (OAP) rekomendacijomis [33].

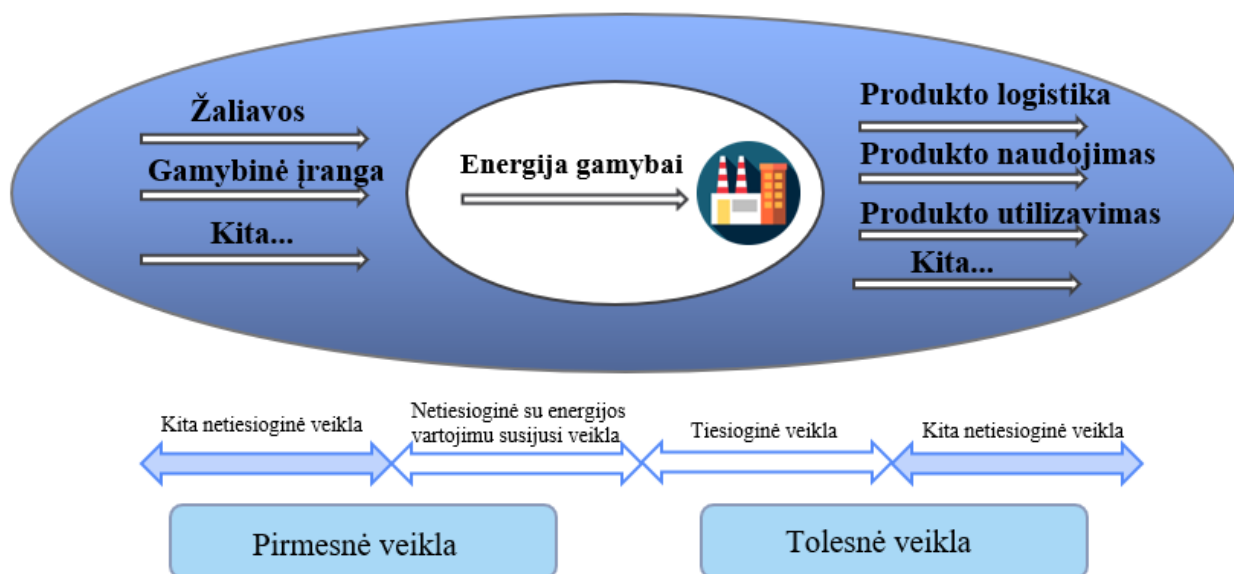
2.2. Būvio ciklo vertinimo tikslai, funkcinis vienetas, ribos

Tyrimo tikslas – identifikuoti dujų perdavimo veiklos didžiausią neigiamą poveikį aplinkai ir nustatyti, kokiuose būvio ciklo fazės etapuose, procesuose, žaliavų naudojime, turi būti priimti sprendimai, siekiant veiklos poveikio aplinkai sumažėjimo. Tyrimo metu analizuojami žaliavų, gamybos, transportavimo, energijos, vandens ir atliekų sukelti poveikiai aplinkai, įvertinti kiekybiniais poveikio taškais (Pt) ir kitais poveikio aplinkai indikatoriais skirtingose poveikių kategorijose, kas bendrai įvardinama aplinkosauginiu pėdsaku.

Būvio ciklo vertinimo ribos: nuo žaliavų, reikalingų dujų perdavimo veiklai išgavimo iki vartų (dujų skirstymo operatoriaus). Transportuotų dujų gamybos, skirstymo ir naudojimo poveikis nevertinamas. Pagal OAP gaires [33], šis vertinimas apima tiesioginės veiklos tiesioginius organizacijos veiklos

poveikius ir prieš tai einančios (pirmesnės veiklos) netiesioginius poveikius (11 pav.). Netiesiogiai siejama tolesnė veikla ir jos poveikis nevertinamas.

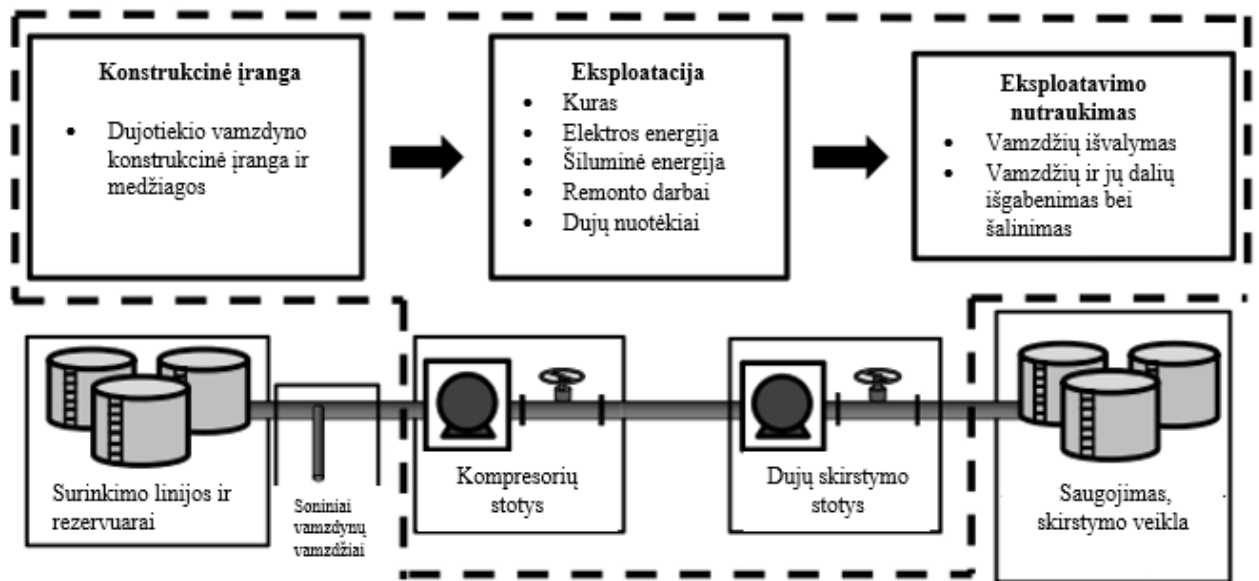
Tyrimo funkcinis vienetas apibrėžtas 2 lentelėje.



11 pav. Būvio ciklo vertinimo ribos ir struktūra

2 lentelė. Funkcinis vienetas

Įmonė/paslauga	
KAS?	Gamtinių dujų perdavimo sistemos operatorius, užtikrinantis patikimą ir saugų gamtinių dujų perdavimą klientams aukšto slėgio dujotiekiais
KIEK? KOKIŲ?	Pasirinktas funkcinis vienetas - 100 000 m ³ gamtinių dujų. Visas transportuotas dujų kiekis per vertinamus 2019 metus: 4 810 079 545 m ³
KAIP?	Visas dujotiekio ilgis – 2114,6 km; Dujotiekis po žeme – 2110,8km; Dujotiekio antžeminės perėjos – 2,5 km; Dujotiekio povandeninės perėjos – 1,5 km;
Laikotarpis	Renkami 1 metų duomenys ir perskaičiuojami į funkcinį vieneta



12 pav. Vertintos dujų perdavimo veiklos ribos [8]

Šio būvio ciklo vertinimo ribos - gamtinių dujų perdavimo vamzdynų sistema – tiesioginė veikla kartu su organizacijos netiesioginėmis veiklomis. Gamtinių dujų perdavimo sistemą sudaro magistraliniai dujotiekiai nuo pasienio jungties, dujų kompresorių stotys, dujų skirstymo stotys, dujų apskaitos stotys, dujotiekių apsaugos nuo korozijos įrenginiai, duomenų perdavimo ir ryšio sistemos bei kitas turtas, priskirtas perdavimo sistemai (12 pav.).

2.3. Inventorinė analizė

Pagal Organizacijos aplinkosauginio pėdsako (OAP) matavimo ir pranešimo apie jį gaires [33] organizacijos veiklos poveikis skirstomas ir vertinamas trijose kategorijose, kurios apima pilną būvio ciklą: netiesiogiai siejama pirmesnė veikla, po to - pagrindinė veikla ir netiesiogiai siejama tolesnė veikla (taip pat kaip ir pavaizduota 11 pav.).

3 lentelė. Duomenų struktūra

Kategorija	Veiklos lygis	Indikatoriai
1-oji Kategorija	Tiesioginė veikla ir poveikis, susiję su organizacijai nuosavybės teise priklausančiais ir (arba) jos naudojamais šaltiniais.	Administraciniai, gamybiniai ir infrastruktūriniai indikatoriai
2-oji Kategorija	Netiesiogiai susiejama pirmesnė veikla.	
3-oji Kategorija*	Netiesiogiai susiejama tolesnė veikla.	

*3-oji kategorija nevertinama

Pagal Šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) vertinimo organizacijoje standartą ISO 14064-1 ir GHG protokolą, vertinamas poveikis ir teršalai priskiriami trimis pakopoms:

- **1-oji pakopa** susijusi su tiesiogiai išmetamais teršalais (organizacijai priklausančių nuosavybės teise ar jos kontroliuojamų šaltinių išmetami teršalai).
- **2-oji pakopa** išmetamieji teršalai yra netiesiogiai išmetami teršalai (t. y. teršalai, kurie yra organizacijos vykdomos veiklos rezultatas, tačiau jie išmetami iš kitai organizacijai nuosavybės teise priklausančių ar jos kontroliuojamų šaltinių), susiję su organizacijos perkamos ir vartojamos energijos gamyba.
- **3-oji pakopa** išmetamieji teršalai, t. y. visi kiti organizacijos vertės grandinėje netiesiogiai išmetami teršalai, kaip netiesioginės emisijos dėl transporto naudojimo (įskaitant darbuotojų keliones į darbą), netiesiogines emisijos dėl papildomų medžiagų, produktų, kitų organizacijų paslaugų naudojimo.

Šiame vertinime nėra griežtai laikomasi nei vienos, nei kitos veiklų vertinimo sistemos, renkami duomenys pagal svarbius gamybinius, administracinius ir infrastruktūrinius indikatorius, atsižvelgiama į programinės įrangos bei duomenų bazės esamas galimybes. Pažymėtina tai, kad į vertinimą įtrauktą 1 ir 2 kategorijos veiklos lygių vertinimas apima visų trijų pakopų emisijas (tiesiogines, netiesiogines dėl kuro ir energijos naudojimo ir netiesiogines dėl kitų paslaugų ar medžiagų naudojimo). Duomenys renkami pagal sekančias išskirtas veiklos sritis:

1. Dujų transportavimas (perdavimas)
2. Dujotiekio infrastruktūra
3. Kitos energijos ir kuro sąnaudos
4. Metano dujų kontroliuojamas išleidimas
5. Eksploatacinės medžiagos
6. Darbo apranga ir jų atliekų tvarkymas
7. Atliekos ir jų tvarkymas
8. Vanduo ir nuotekos
9. Administravimas (popierius, spausdintuvo kasetės, IT įranga)

Buvo sudarytas klausimynas-duomenų lentelė ir iš įmonės surinkti tiesioginiai duomenys būvio ciklo analizei. Bendrieji duomenys ir procesai buvo parinkti naudojantis Ecoinvent v. 3.6 duomenų bazėmis, statistikos ir mokslinės literatūros informacija.

Toliau pateikiami vertinamų sričių aprašymai, inventoriniai duomenys funkciniam vienetui, patikslinimai kokie elementai buvo įtraukti į vertinamą sritį ir kas buvo neįtraukta.

1. Dujų transportavimas (perdavimas)

Imamas procesas iš Ecoinvent duomenų bazės, tik patikslintas pagal pateiktus duomenis. Procesas sumodeliuotas Vokietijos rinkai (DE) – „Transport, pipeline, long distance, natural gas {DE}| processing“.

Šioje srityje vertinami dujų nuostoliai, t. y. nekontroliuojamas dujų nuotėkis dėl nesandarumo magistraliniame vamzdyne bei dujų skirstymo ir kompresorių stotyse (DSS ir DKS). Vertinamas dujų kaip medžiagos gamybos poveikis ir emisijų poveikis patekus į orą.

- Nekontroliuojamas dujų nuotėkis vamzdyne (metano dujų dalis) - 468 205 kg;
- Nekontroliuojamas dujų nuotėkis DSS ir DKS, (metano dujų dalis) - 3 411,2 kg;
- Nekontroliuojamas dujų kiekis (likusios, ne metano dujos, kurios sudaro 4,8 % dujų nuotėkio) - 23 779 kg;
- Visas dujų nuotėkio kiekis: 495 395 kg;
- Perskaičiuotas kiekis iš kg į m³, (tankis 0,7175 kg/m³) ir gautas visas nekontroliuojamas dujų nuotėkio kiekis - 690 446 m³.

Šioje srityje tai pat vertintas dujų kiekis, sunaudotas kompresorių ir kitų agregatų darbui.

2. Dujotiekio infrastruktūra

Infrastruktūros procesai modeliuojami iš Ecoinvent duomenų bazės. Žemės naudojimo poveikis skaičiuojamas taip pat pagal Ecoinvent duomenų bazėje nurodytus vidutinius duomenis. Kiti vidutiniai infrastruktūros rodikliai irgi palikti iš Ecoinvent duomenų bazės. Poveikį aplinkai sudaro žemės naudojimo poveikis, medžiagų naudojimo poveikis ir atliekų sutvarkymo poveikis po vamzdyno naudojimo. Priimama (vadovaujantis Ecoinvent duomenų baze), kad antžeminės ir požeminės infrastruktūros naudojimo laikas – 40 m.

3. Kitos energijos ir kuro sąnaudos

Vertinti inventoriniai duomenys gauti iš įmonės. Naudojami duomenys iš inventorinės MS Excel lentelės. Buvo vertinamas dujų kiekis sunaudotas kompresorių ir kitų agregatų darbui, dyzelinas ir benzinas sunaudotas elektros generatoriams, metano dujų nuotėkis DSS stotyse ir dėl nesandarumo vamzdyne (nekontroliuojamas dujų nuotėkis), suvartojamas kuras nuosavoms transporto priemonėms, savoms ir technologinėms reikmėms sunaudotas elektros energijos ir šilumos kiekis.

4. Metano dujų kontroliuojamas išleidimas

Vertinti inventoriniai duomenys gauti iš įmonės. Kontroliuojamas dujų nuotėkis dėl remonto darbų ir dujų gamybos poveikis aplinkai.

5. Eksploatacinės medžiagos

Etilmerkaptano medžiagos nebuvo duomenų bazėje, tačiau kadangi naudojamas reikšmingas medžiagos kiekis, procesas buvo sukurtas naudojantis literatūra [45]. Buvo vertinamos pagrindinės cheminės medžiagos (metanolis ir vandenilio sulfidas) naudojamos sintetinant etilmerkaptaną ir įtrauktas energijos kiekis reikalingas šios medžiagos susintetinimui.

Cheminės medžiagos, kurių buvo sąlyginai nedideli kiekiai ir kurios nebuvo rastos duomenų bazėje, buvo vertinamos kaip cheminės organinės medžiagos (angl. „Chemical organic“):

- Kietiklis Interzone 954 d eep base;

- Rūdžių minkštiklis Rostoff grafit Wurth;
- Automobilių stiklų valiklis Expert;
- Stabdžių skystis DOT-4 ;
- Klizai hermetikas K+D Wurth;

Visų rūšių alyvos priskirtos Ecoinvent procesui – „Lubricating oil {RER}| market for lubricating oil | APOS, U“.

6. Darbo apranga ir jų atliekų tvarkymas

Naudojami duomenys iš inventorinės MS Excel lentelės. Pirminiai duomenys, kurie buvo pateikti įmonės, buvo sugrupuoti į pagrindinių naudojamų tekstilės pluoštų kiekius (kg). Vertinamas atskirų pluoštų gamybos poveikis ir susidariusių mišrių tekstilės atliekų tvarkymas. Pagal pateiktus Užsakovo duomenis, buvo ieškomi aprangos analogai. Priimti aprangos analogai su atitinkama sudėtimi perskaičiuoti į aprangoje panaudotų medžiagų kiekius.

7. Atliekos ir jų tvarkymas

Vertinti inventoriniai duomenys gauti iš įmonės. Naudojami duomenys iš inventorinės MS Excel lentelės. Vadovaujantis LR Aplinkos agentūros 2019 m. atliekų tvarkymo statistika, priimama, kad popieriaus atliekos perdirbamos 82 %, plastiko atliekos – 74 %, metalo atliekos - 100 % su 95 % išėiga.

8. Vanduo ir nuotekos

Vertinamas suminis, visuose įmonės padaliniuose susidaręs buitinių ir lietaus nuotekų kiekis – 9243,032 m³, o sunaudotas geriamo vandens kiekis – 4091 m³.

9. Administravimas (popierius, spausdintuvo kasetės, IT įranga)

Įvertinti visi sunaudoti popieriaus, spausdintuvo kasečių (angl. „printer toner“) ir naudojamos IT įrangos kiekiai. Sunaudoto popieriaus ir spausdintuvų kasečių vertinimui naudojamas Spausdinto popieriaus (angl. „Printed paper“) procesas iš Ecoinvent. Nebuvo vertinamos energijos sąnaudos reikalingos darbui su naudojama IT įranga, kadangi jos įtrauktos į elektros sąnaudas savoms reikmėms. Išvengiama dvigubo apskaitymo.

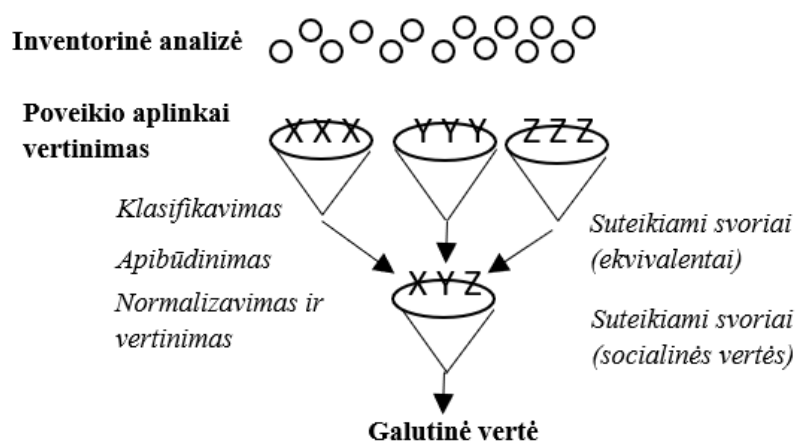
2.4. Esamos veiklos poveikio aplinkai būvio cikle vertinimas

Kiekybinis produktų ir (ar) paslaugų poveikio aplinkai vertinimas dažniausiai atliekamas programine įranga bei duomenų bazėmis, kuriose sukaupti įvairių procesų ir medžiagų duomenys apie poveikio aplinkai charakterizavimo koeficientus ir poveikio aplinkai kategorijas (indikatorius). Šiam tyrimui buvo naudojamosi Ecoinvent v. 3.6 duomenų bazėmis [46], kurios talpina duomenis apie 25000 įvairių procesų ir medžiagų ir specialia, būvio ciklo vertinimo kompiuterinė programa SimaPro 8.3 [47] programa, sukurta olandų mokslininkų, platinama įmonės PRÉ Sustainability [48].

Atlikus inventorinę analizę, kiekybiškai analizuojamas ir palyginamas poveikis aplinkai, kurį sukelia ankstesnėje fazėje nustatytas medžiagų ir energijos poreikis, bei susidarę išmetimai. Paprastai inventorinėje analizėje identifikuoti šaltiniai suklasifikuojami į tam tikras kategorijas (pvz.: šiltnamio efektas, išteklių nykimas, ekotoksiškumas) ir kiekybiškai apskaičiuojamas šioms kategorijoms daromas potencialus poveikis.

4 lentelė. Poveikio aplinkai vertinimo etapų skirstymas.

Poveikio aplinkai vertinimo etapai pagal LST ISO 14040:2007 standartą:	Etapo apibūdinimas:
Klasifikavimas	inventorinių duomenų priskyrimas poveikio kategorijoms.
Apibūdinimas (charakterizavimas)	klasifikavimo duomenų apjungimas naudojant apibūdinimo ekvivalentus (charakterizavimo faktorius) įvertinamas inventorinio duomenų poveikio stiprumas konkrečiai poveikio kategorijai.
Normalizavimas	procedūra reikalinga parodyti, kokių mastu poveikio kategorija turi reikšmingą indėlį į bendras aplinkosaugos problemas; normalizuoti rezultatai rodo aplinkosaugos problemų dydį (angl. „normalisation“); Normalizavimas yra išreiškiamas tiriamojo proceso ar medžiagos žala vienam žmogui. Normalizuoti rezultatai visi gaunami vienodais vienetais ir tai leidžia lengviau juos palyginti tarpusavyje. Normalizavimas gali būti taikomas ir vidurio taško (angl. „midpoint“) ir galutinio taško (angl. „endpoint“) įvertinimams.
Grupavimas/svertinis vertinimas	galimas duomenų apjungimas taikant svorinius koeficientus, galimas sujungimas į vieną aplinkos indeksą (poveikio taškus) (angl. „single score“).



13 pav. Kiekybinio poveikio aplinkai vertinimo etapų eiga (sudaryta autorės remiantis metodine literatūros analize)

Šiame tyrime poveikio aplinkai vertinimui buvo naudojami metodai:

- ReCiPe Endpoint (H) V1.11;

- IPCC 2013 GWP 100a V1.03.

Poveikio aplinkai vertinimo metodu IPCC 2013 GWP 100a nustatomas Globalinis klimato kaitos potencialas (angl. Global Warming Potential), arba kitaip – ŠESD emisijų kiekis - kg CO₂ eq. Globalinis atšilimo potencialas naudojamas kaip standartinis įvertinimas siekiant palyginti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų poveikį klimato kaitai. GWP įvedamas kaip santykinis dydis, lyginant šilumos kieki, kuri šiltnamio efektą sukeliančios dujos sulaiko atmosferoje [43].

Toliau pateikiami poveikio aplinkai kategorijų aprašymai ir charakterizavimo veiksniai [49]:

- **Klimato kaita.** Būdingas klimato kaitos veiksnys yra pasaulinio atšilimo potencialas per 100 metų laikotarpį. Šis metodas remiasi Tarpvyriausybinės klimato kaitos komisijos (TKKK) (angl. „IPCC“) 2013 m. 5 – aja įvertinimo ataskaita. Matavimo vienetas yra kg anglies dioksido ekvivalento (kg CO₂ ekv).
- **Ozono sluoksnis.** Ozono sluoksnio retėjimo charakterizavimo faktorius parodo stratosferos ozono sluoksnio retėjimą dėl antropogeninių ozoną ardančių medžiagų (OAM). Matavimo vienetas kg trichlorfluormetano (CFC-11) ekvivalentų (kg CFC-11 ekv).
- **Jonizuojančioji spinduliuotė.** Jonizuojančiosios spinduliuotės charakterizavimo faktorius parodo pasaulio gyventojų apšvitos lygį. Matavimo vienetas yra kilobekerelis kobalto-60 ekvivalentas (kBq Co-60 ekv).
- **Kietųjų dalelių susidarymas.** Smulkios kietosios dalelės, kurių skersmuo mažesnis nei 2,5 μm (PM_{2,5}) yra sudėtingas organinių ir neorganinių medžiagų mišinys, kuris patekęs į organizmą sąlygoja įvairias sveikatos problemas. Kietųjų dalelių susidarymo charakterizavimo faktorius yra mažesnių kaip 2,5 mikronų dalelių patekimas į kvėpavimo takus. Matavimo vienetas kg 2,5 mikronų dalelių ekvivalentas (kg PM_{2,5} ekv).
- **Fotocheminis ozono susidarymas** (poveikis žmogaus sveikatai). Ozonas nėra tiesiogiai išmetamas į atmosferą, bet jis susidaro dėl azoto oksidų (NO_x) ir ne metano lakiųjų organinių junginių (NMVOC) fotocheminių reakcijų. Charakterizavimo koeficientas nustatomas pagal ozono suvartojimo greičio pokytį, kurį lemia pirminių medžiagų (NO_x ir NMVOC) emisijų pokytis. Matavimo vienetas yra kg azoto oksidų ekvivalentų (kg NO_x ekv)
- **Fotocheminis ozono susidarymas** (poveikis ekosistemoms). Analogiškas indikatorius tik apibūdina poveikį ekosistemoms. Matavimo vienetas yra kg azoto oksidų ekvivalentų (kg NO_xekv).
- **Sausumos rūgštėjimas.** Sausumos rūgštėjimo veiksnys yra rūgštėjimo potencialas, kuris išreiškiamas sieros dioksido (SO₂) ekvivalentu. Matavimo vienetas yra kg sieros dioksido ekvivalentų (kg SO₂ ekv).
- **Gėlo vandens eutrofikacija.** Gėlo vandens eutrofikaciją apibūdinantis faktorius yra fosforo (P) turinčių maistinių medžiagų patekimas į gėlo vandens ekosistemą. Matavimo vienetas kg fosforo ekvivalentų (kg P ekv), patenkančių į gėlus vandenį.
- **Jūrų eutrofikacija.** Jūrų eutrofikaciją apibūdinantis faktorius yra azoto (N) turinčių maistinių medžiagų patekimas į jūrų vandenį. Matavimo vienetas kg azoto ekvivalentų (kg N ekv), patenkančių į jūrų vandenį.
- **Sausumos ekotoksiškumas.** Šis faktorius atspindi cheminės medžiagos toksiškumą ir išlikimą sausumoje. Matavimo vienetas yra kg 1,4-dichlorbenzeno (kg 1,4-DCB ekv).
- **Gėlo vandens ekotoksiškumas.** Šis faktorius atspindi cheminės medžiagos toksiškumą ir išlikimą gėlame vandenyje. Matavimo vienetas yra kg 1,4-dichlorbenzeno (kg 1,4-DCB ekv).

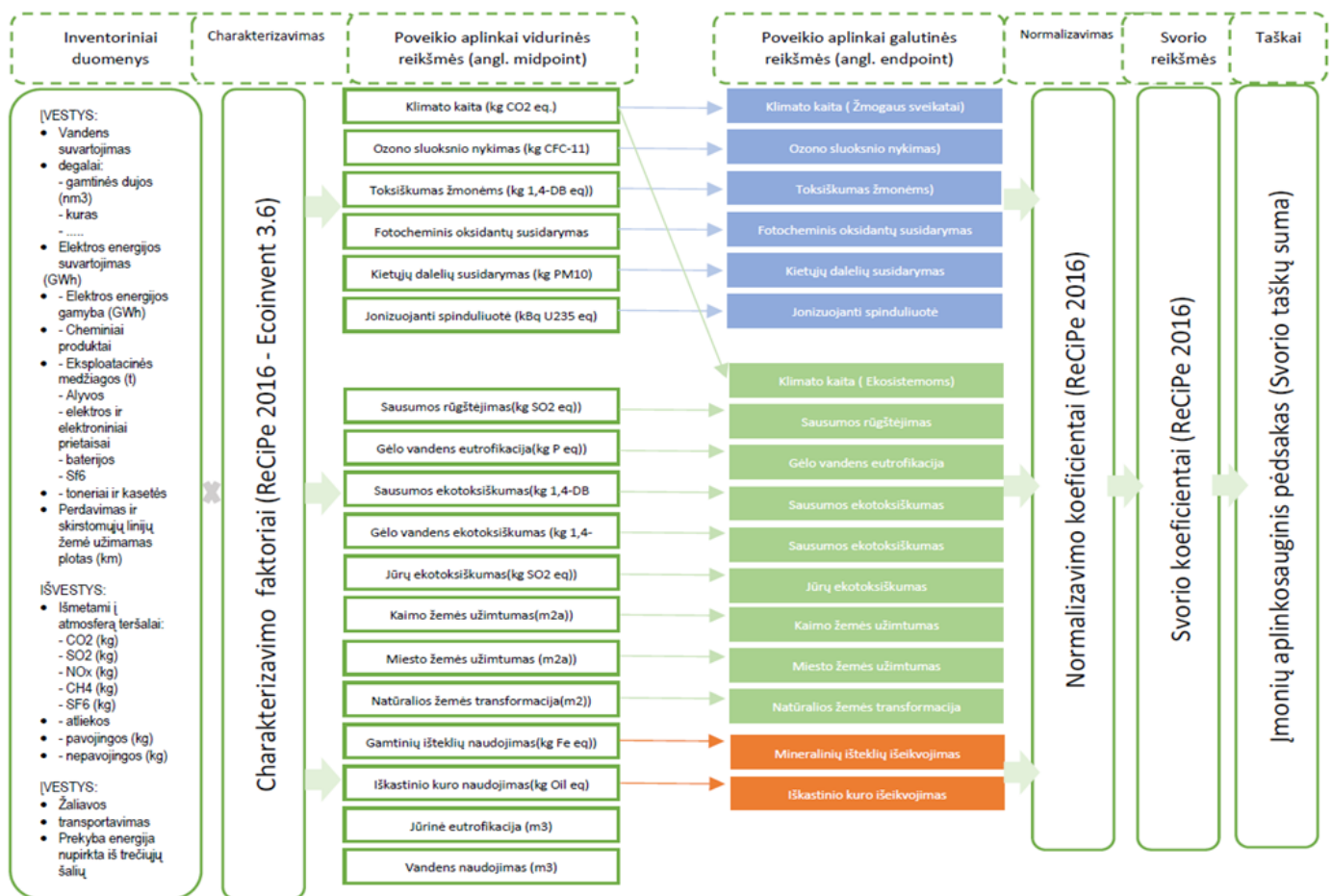
- **Jūrų ekotoksiškumas.** Šis faktorius atspindi cheminės medžiagos toksiškumą ir išlikimą jūrose. Matavimo vienetas yra kg 1,4-dichlorbenzeno (kg 1,4-DCB ekv).
- **Toksiškumas žmogui** (kancerogeninis ir nekancerogeninis). Šis faktorius atspindi cheminės medžiagos toksiškumą ir kaupimąsi žmogaus maisto grandinėje. Matavimo vienetas yra kg 1,4-dichlorbenzeno (kg 1,4-DCB ekv).
- **Žemės naudojimas.** Transformuotos ar tam tikrą laiką naudojamos žemės kiekis. Matavimo vienetas yra m² metinio derliaus ekvivalentai (m² a crop ekv).
- **Vandens naudojimas.** Vandens naudojimo veiksnys yra gėlo vandens suvartojimas m³ vienam m³ išgaunamo vandens. Matavimo vienetas m³.
- **Mineralinių išteklių trūkumas.** Mineralinių išteklių trūkumą apibūdinantis veiksnys yra perteklinis rūdos potencialas. Matavimo vienetas yra kg vario (Cu) ekvivalentai (kg Cu ekv).
- **Iškastinių išteklių trūkumas.** Iškastinių išteklių trūkumą apibūdinantis veiksnys yra iškastinio kuro potencialas, pagrįstas viršutine šilumingumo verte. Matavimo vienetas yra kg naftos ekvivalento (kg oil ekv-).

ReCiPe Endpoint (H) V1.11 – 3 žalos kategorijos. Vidurio vertinimo taškų srantai konvertuojami į pasekmes ir padarinius. Apskaičiuojamas poveikis žmogaus sveikatai, ekosistemų kokybei ir ištekliams:

- **Poveikis žmogaus sveikatai** - išreiškiamas kaip nenugyventas metų skaičius ir kaip negalios metų skaičius. Šie skaičiai sudaro vadinamąjį DALY indeksą – prisitaikymo prie negalios metai (angl. „Disability Adjusted Life Years“). Apima tokias poveikio aplinkai kategorijas kaip toksiškumas žmogui, klimato kaitos potencialas, ozono sluoksnio plonėjimas, smogas ir t. t.
- **Žala ekosistemų kokybei** - parodo rūšių išnykimą tam tikroje teritorijoje ir per tam tikrą laiko tarpą. Apima tokias poveikio aplinkai kategorijas kaip šiltnamio efektas, eutrofikacija, sausumos ekotoksiškumas ir t.t.(PDF m²/m).
- **Žala ištekliams** – tai papildoma energija, kurios reikės išgaunant mineralines medžiagas ir gamtinę kurą ateityje (darant prielaidą, kad metinė produkcija bus pastovi). Apima poveikio aplinkai kategorijas, tokias kaip mineralų, kuro iškasenų, atsinaujinančių ir neatsinaujinančių medžiagų išnaudojimas (kaina).
- **Galutinis indeksas (poveikio taškai arba angl. „single score“)** – vidurio ir galutinio vertinimo taškai gali būti apjungiami į vieną - suminį indikatorių – poveikio taškus (Pt). Žalos kategorijų apjungimas atliekamas remiantis prielaida, kad poveikis žmogaus sveikatai ir žala ekosistemoms yra vienodai svarbūs, tačiau dvigubai svarbesni už žalą ištekliams. Šiame tyrime poveikis aplinkai vertintas keliais lygiais (5 lentelė): pagal vieną galutinį indeksą, jungiantį visas poveikio aplinkai kategorijas – poveikio taškus (angl. „single score“); pateikiamas bendras poveikio taškų rezultatas ir poveikio taškai priskiriami kiekvienai poveikio aplinkai kategorijai; pagal poveikio aplinkai padarytas pasekmes ar padarinius – žalos kategorijas arba galutinius taškus (angl. „endpoint“); pagal poveikio aplinkai kategorijas, vidurinius taškus (angl. „midpoint“); charakterizavimo rezultatas 17-oje poveikio aplinkai kategorijų.

5 lentelė. Poveikio aplinkai vertinimo lygiai: galutinis indeksas, žala aplinkai, poveikio aplinkai kategorijos

Galutinis indeksas (angl. „Single score“)	Žalos kategorijos (angl. „Endpoint“)	Poveikio aplinkai kategorijos (angl. „Midpoint“)	Charakterizavimo rezultato matavimo vienetai (angl. „Midpoint“)
Poveikio taškai, Pt	Žala žmogaus sveikatai DALY indeksas	Klimato kaitos potencialas (poveikis žmogaus sveikatai)	kgCO ₂ e
		Ozono sluoksnio retėjimas	kgCFC-11 e
		Jonizuojančioji spinduliuotė	kBq Co-60 e
		Fotocheminis ozono susidarymas	kg NO _x e
		Kietųjų dalelių susidarymas	kg PM ^{2.5} e
		Toksiškumas (kancerogeninis) žmonėms	kg 1,4-DB e
		Toksiškumas (nekancerogeninis) žmonėms	kg 1,4-DB e
		Vandens naudojimas (poveikis žmogaus sveikatai)	m ³
	Žala ekosistemų kokybei Quality, PDF	Klimato kaitos potencialas (sausumos ekosistemoms)	Kg CO ₂ e
		Klimato kaitos potencialas (vandens ekosistemoms)	Kg CO ₂ e
		Fotocheminis ozono susidarymas	kg NO _x e
		Sausumos rūgštėjimas	kg SO ₂ e
		Gėlo vandens eurofikacija	kg P e
		Jūros eutrofikacija	kg N e
		Sausumos ekotoksiškumas	kg 1,4-DB e
		Gėlo vandens ekotoksiškumas	kg 1,4-DB e
		Jūrų ekotoksiškumas	kg 1,4-DB e
		Žemės naudojimas	m ² a crop e
		Vandens naudojimas (poveikis sausumos ekosistemoms)	m ³
		Vandens naudojimas (poveikis vandens ekosistemoms)	m ³
	Žala ištekliams MJ Surplus Energy	Mineralinių išteklių trūkumas	kg Cu e
		Iškastinių išteklių trūkumas	kg oil e



14 pav. Žalos žmogaus sveikatai, ekosistemų kokybei ir ištekliams nustatymo ir agreguoto indekso – poveikio taškų nustatymo modelis sudarytas pagal „Iberdrola“ ataskaitą [40]

2.5. Duomenų kokybės vertinimo metodika

Būvio ciklo vertinimui atlikti reikia didelio kiekio duomenų iš įmonių ir iš duomenų bazių. Duomenys apie veiklą reikalingi vertinant pirminius procesus (t. y. pagrindinius procesus, tiesiogiai susijusius su nagrinėjama sistema) ir antrinius procesus (t. y. konkrečiai nesusijusius su sistema). Šiuos procesus sudaro įvesties ir išvesties srautai. Įėjimo srautai apima sunaudojamus produktus (pvz., medžiagas, paslaugas, vartojimo reikmenis ir t. t.) ir gamtos išteklius (t. y. iš žemės, vandens, oro, biosferos, žemės ir t. t.). Išvesties srautus sudaro atliekos į orą, vandenį ir dirvožemį išmetami teršalai ir pan. Kiekvienas iš šių srautų apima kelis kintamuosius (pvz., produktyvumą, transporto rūšis, sunaudotų medžiagų ir energijos kiekius ir t. t.), į kuriuos gali būti atsižvelgiama renkant duomenis (Europos Komisija, 2010b). Duomenų kokybė gali didele dalimi lemti BCV rezultatus. Siekiant užtikrinti BCV naudingumą ir patikimumą, literatūroje primygtinai rekomenduojamas duomenų kokybės vertinimas, pagrįstas duomenų kokybės rodiklių taikymu. BCV duomenų kokybės vertinimas pagal duomenų kokybės rodiklius yra pusiau kiekybinis BCV duomenų vertinimas. Apskritai juo apibūdinami duomenų aspektai, turintys įtakos BCV tyrimo rezultatų patikimumui, ir priskiriami balai (paprastai nuo 1 iki 5) kaip kokybės indeksas [30].

6 lentelė. Duomenų kokybės rodiklių matrica

Kokybės kriterijus ir įvertis	1 Labai gera	2 Gera	3 Patenkinama	4 Bloga	5 Labai bloga
Patikimumas	Patikrinti duomenys, pagrįsti matavimais.	Patikrinti duomenys, iš dalies pagrįsti prielaidomis, arba nepatikrinti duomenys, pagrįsti matavimais.	Nepatikrinti duomenys, iš dalies pagrįsti prielaidomis.	Kvalifikuotas įvertinimas.	Nekvalifikuotas įvertinimas.
Išsamumas	Reprezentatyvūs duomenys iš visų vietovių, susijusių su nagrinėjama rinka, per pakankamą laikotarpį, kad būtų išlyginti įprasti svyravimai.	Reprezentatyvūs duomenys > 50 % nagrinėjamai rinkai svarbių objektų per pakankamą laikotarpį, kad būtų išlyginti įprasti svyravimai.	Reprezentatyvūs duomenys tik iš kai kurių vietovių (<50 %), susijusių su nagrinėjama rinka, arba > 50 % vietovių, bet iš trumpesnių laikotarpių.	Reprezentatyvūs duomenys tik iš vienos vietovės, susijusios su nagrinėjama rinka, arba iš keleto vietovių, bet iš trumpesnių laikotarpių.	Reprezentatyvūs nežinomi duomenys arba duomenys iš nedidelio skaičiaus vietų ir trumpesnių laikotarpių.
Laikotarpių reprezentatyvumas	Tyrimas iki ≤3 metų skirtumas.	3-6 metų skirtumas.	5-10 metų skirtumas.	10-15 metų skirtumas.	Nežinomas arba ≥15 metų skirtumas.
Geografinis reprezentatyvumas	Duomenys iš tiriamos vietovės.	Vidutiniai didesnės teritorijos, į kurią įtraukta tiriamoji teritorija, duomenys.	Duomenys iš vietovės, kurioje vyrauja panašios gamybos sąlygos.	Duomenys iš vietovės, kurioje gamybos sąlygos šiek tiek panašios.	Duomenys iš nežinomos vietovės arba vietovės, kurioje gamybos sąlygos labai skiriasi.
Technologijų reprezentatyvumas	Tiriamų įmonių, procesų ir medžiagų duomenys.	Duomenys, susiję su tiriamais procesais ir medžiagomis, tačiau iš skirtingų įmonių.	Duomenys, susiję su tiriamais procesais ir medžiagomis, bet su skirtingomis technologijomis.	Duomenys apie susijusius procesus ar medžiagas, bet tą pačią technologiją.	Duomenys apie susijusius procesus ar medžiagas, bet skirtingas technologijas.

Atliekant duomenų kokybės vertinimą taikomi penki kokybės kriterijai. Reprezentatyvumas (technologijų, geografinis ir su laiku susijęs reprezentatyvumas) rodo, koku mastu pasirinkti procesai ir produktai apibūdina analizuojamą sistemą. Pasirinkus procesus/produktus, kurie apibūdina analizuojamą sistemą, parengus su šiais procesais ir produktais susijusį išteklių naudojimo ir teršalų išmetimo aprašą, pagal išsamumo kriterijų vertinama, koku mastu su šiais procesais ir produktais susijęs išteklių naudojimo ir teršalų išmetimo aprašas apima visus su šiais procesais ir produktais susijusius išmetamuosius teršalus ir išteklius [30].

2.5.1. Duomenų kokybės vertinimas

Pagal ES Komisijos rekomendacijoje dėl produktų ir organizacijų gyvavimo ciklo aplinkosauginio veiksmingumo matavimo ir pranešimo apie jį bendrų metodų taikymo pateiktus produkto aplinkosauginio pėdsako duomenų kokybės vertinimo reikalavimus [33] buvo įvertinta dujų perdavimo veiklos sričių duomenų pusiau kiekybinė analizė.

7 lentelė. Duomenų kokybės rezultatai pagal veiklos sritį.

Vertintos veiklos sritys	Duomenų kokybės kriterijus					
	Patikimumas	Išsamumas	Laikotarpių reprezentatyvumas	Geografinis reprezentatyvumas	Technologijų reprezentatyvumas	Bendras vidurkis:
1. Dujų transportavimas (perdavimas)	2	1	2	2	2	2
2. Dujotiekio infrastruktūra 1	2	2	2	2	2	2
2. Dujotiekio infrastruktūra 2	2	2	2	3	2	2
3. Kitos energijos ir kuro sąnaudos	1	1	2	2	2	2
4. Metano dujų kontroliuojamas išleidimas	1	1	2	1	1	1
5. Eksploatacinės medžiagos	1	2	2	3	1	2
6. Darbo apranga ir jų atliekų tvarkymas	1	1	2	3	1	2
7. Atliekos ir jų tvarkymas	2	1	2	2	2	2
8. Vanduo ir nuotekos	1	1	2	1	1	1
9. Administravimas (popierius, spausdintuvo kasetės, IT įranga)	1	2	2	2	2	2
Bendras duomenų kokybės įvertinimas:						2 (gera)

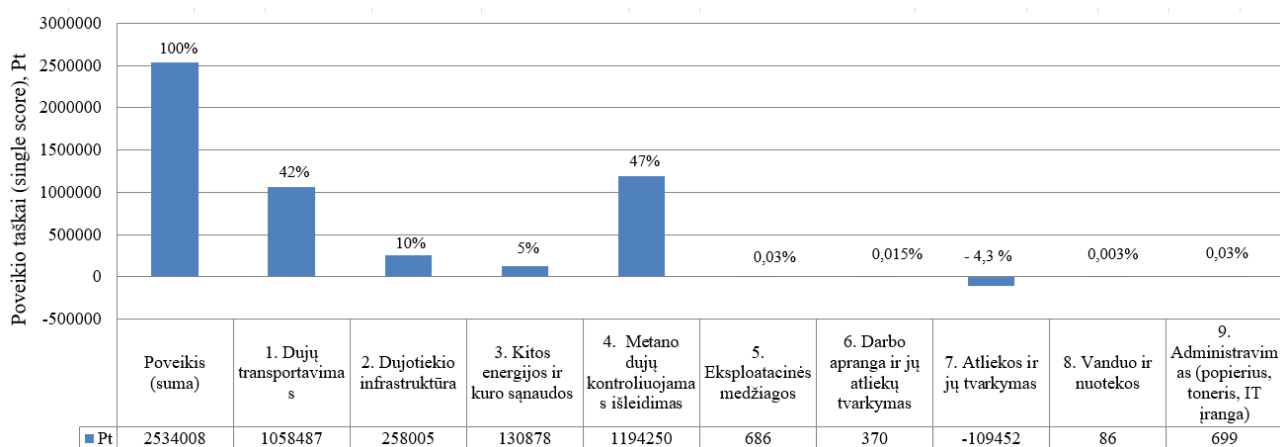
Gautas bendras visų vertintų duomenų kokybės rezultatas – 2 (gera). Gera duomenų kokybė nusako, kad duomenys patikrinti, iš dalies pagrįsti prielaidomis ir matavimais. Duomenų išsamumas - geras (80 - 90 %). Pagrindiniai vertinti metai – 2019, todėl laikotarpių reprezentatyvumas – 3 metai (įvertis – gera). Geografiškai dažniausiai pasirenkamas regionas duomenų bazėse – Europa. Atsižvelgiant į gautą bendrą duomenų technologinių požymių rezultatą, analizuoti duomenys, susiję su tiriamais procesais ir medžiagomis, bet remiamasi ir kitų valstybių įmonių duomenimis.

Palyginus atskiras veiklos sritis, labai geros duomenų kokybės yra metano dujų kontroliuojamo išleidimo, vandens ir nuotekų analizuotų sričių duomenys. Šis įvertinimas gaunamas, nes duomenys yra faktiniai, gauti iš pačios įmonės nuolat stebimų srautų informacijos. Kiti duomenys kaip ir minėta prieš tai buvo perskaiciuoti, nes duomenų bazėse nebuvo tokių medžiagų ar procesų, todėl duomenys paimti iš kitų šalių įmonių ir pan.

3. Tyrimo rezultatai

3.1. Esamos situacijos poveikio aplinkai būvio cikle vertinimo rezultatai

Poveikio aplinkai tyrimo, naudojant ReCiPe Endpoint (H) metodą (skaičiuojamas suminis poveikis taškais, Pt (angl. Single Score), rezultatai rodo, kad aktualiausios veiklos sritys, kur poveikis aplinkai (Pt taškai) didžiausias yra: kontroliuojamas metano dujų išleidimas, dujų transportavimo (perdavimo) procesas, dujotiekio infrastruktūra bei kitos energijos ir kuro sąnaudos. Eksploatacinės medžiagos, darbo apranga, administravimo veiklos turi sąlyginai, t. y. lyginant su kitomis įmonės veiklomis, nereikšmingą poveikį. Atliekos ir jų tvarkymas turi neigiamą poveikio reikšmę, o neigiama reikšmė reiškia teigiamą poveikį aplinkai, teigiamus „kreditus“ aplinkai dėl popieriaus, plastiko ir daugiausia metalo atliekų perdurbimo. Esamos situacijos rezultatai pristatomi ne funkciniam vienetui (100 000 m³), o visai metinei veiklai, 4 810 079 545 m³ transportuotų dujų.



15 pav. Dujų perdavimo sistemos poveikis aplinkai skirtingose veiklos srityse

3.1.1. Vertintos sritys ir reikšmingi aspektai

Toliau detalizuojami kiekvienos vertintos srities rezultatai, bei „karštieji taškai“.

1. Dujų transportavimas:

Gauti rezultatai parodė, kad dujų transportavimas sudaro 42 % bendro poveikio aplinkai (1 058 487 Pt iš 2 534 008 Pt), o reikšmingiausias aspektas yra dujų kiekis sunaudotas kompresorinių ir kitų agregatų darbui (770 000 Pt iš 1 058 487 Pt). Antroje vietoje yra poveikis dėl dujų nuostolių emisijų, t. y. dėl nekontroliuojamo metano dujų nuotėkio magistraliniame vamzdyne bei dujų skirstymo ir kompresorių stotyse (DSS ir DKS) (276 000 Pt iš 1 058 487 Pt). Dujų (dujų nuostolio) gamybos poveikis sudaro mažiausią dalį (12 400 Pt iš 1 058 487 Pt.)

2. Dujotiekio infrastruktūra:

Pagrindinis gautas rezultatas šioje tirtroje dalyje yra pati dujotiekio infrastruktūra sudaro 10 % viso bendro poveikio (258 005 Pt iš 2 534 008 Pt), o esminiai aspektai yra armatūrinio plieno naudojimas, žemės kasimo darbai, vamzdyno tiesimas, vertintas žemės naudojimo poveikis sąlyginai nėra reikšmingas.

3. Kitos energijos ir kuro sąnaudos:

Šio vertinimo rezultatai parodė, kad poveikis yra tik 5 %, o vertinimo elementai buvo: elektra savoms reikmėms, dyzelinių, benzininių transporto priemonių ir pačių dyzelino bei benzino naudojimas.

4. Metano dujų kontroliuojamas išleidimas:

Gauti rezultatai parodė, kad šis poveikis sudaro 47 % viso bendro poveikio aplinkai.

5. Eksploatacinės medžiagos:

Eksploatacinių medžiagų naudojimo poveikis aplinkai sudaro 0,03 % bendro poveikio arba 689 Pt iš 2 534 008 Pt.

6. Darbo apranga ir jų atliekų tvarkymas:

Rezultate darbo aprangos naudojimas ir jų atliekų tvarkymas sudaro 0,015 % nuo bendro poveikio arba 370 Pt iš 2 534 008 Pt., didžiausią poveikį daro medvilnės pluošto naudojimas.

7. Atliekos ir jų tvarkymas:

Atliekos ir jų tvarkymas turi neigiamą poveikio reikšmę, o neigiama reikšmė reiškia teigiamą poveikį aplinkai, teigiamus „kreditus“ aplinkai dėl popieriaus, plastiko ir daugiausia dėl metalo atliekų perdirbimo. Dėl atliekų perdirbimo poveikis aplinkai bendrame rezultate sumažėja 4,3 %, arba -109 452 Pt.

8. Vanduo ir nuotekos:

Vandens naudojimas ir nuotekų tvarkymas sudaro 0,003 % arba 86 Pt. Kadangi susidariusios nuotekos išvalomos nuotekų valymo įrenginiuose, tai vandens naudojimo poveikio kategorijos reikšmė yra neigiama, tačiau bendra poveikio skaitinė reikšmė taškais yra teigiama.

9. Administravimas (popierius, spausdintuvo kasetės, IT įranga):

Administravimo (popieriaus, spausdintuvų kasečių, IT įrangos poveikis aplinkai sudaro 0,03 % poveikio aplinkai arba 699 Pt. Reikšmingiausi aspektai šioje srityje yra kompiuterinės įrangos naudojimas, o antroje vietoje popieriaus spausdinimas.

Tuo atveju, kai norima vertinti ne tik organizacijos esamos situacijos poveikio taškus, bet pasirinkto funkcinio vieneto (100 000 m³ gamtinių dujų) taškus, galima taikyti perskaičiavimą:

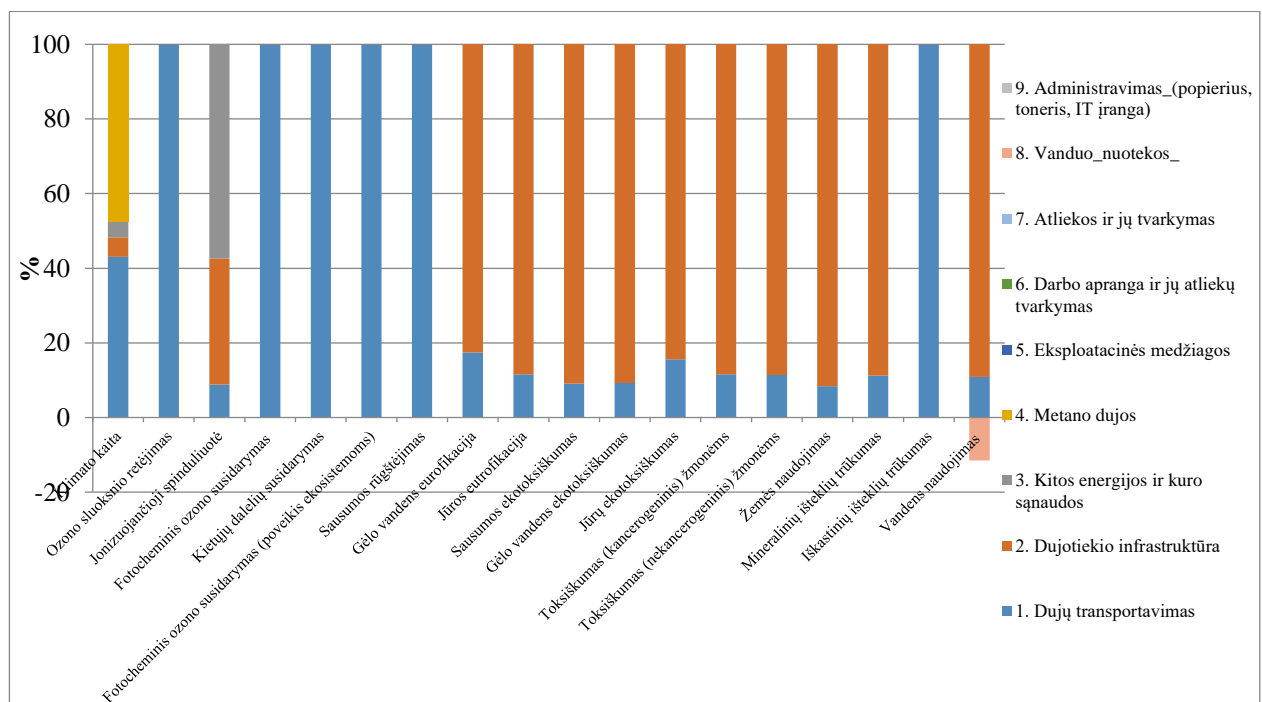
8 lentelė. Poveikio taškų perskaičiavimas iš esamos situacijos į funkcinį vieneta

	Organizacijos esamos situacijos poveikis (4 810 079 545 m³ gamtinių dujų), Pt	Perskaičiuotas funkcinio vieneto poveikis (100 000 m³), Pt
1. Dujų transportavimas	1 058 487	22,01
2. Dujotiekio infrastruktūra	258 005	5,36
3. Kitos energijos ir kuro sąnaudos	130 878	2,72
4. Metano dujų kontroliuojamas išleidimas	1 194 250	24,83
5. Eksploatacinės medžiagos	686	0,01
6. Darbo apranga ir jų atliekų tvarkymas	370	0,01
7. Atliekos ir jų tvarkymas	-109 452	-2,28

	Organizacijos esamos situacijos poveikis (4 810 079 545 m ³ gamtinių dujų), Pt	Perskaičiuotas funkcinio vieneto poveikis (100 000 m ³), Pt
8. Vanduo ir nuotekos	86	0,00
9. Administravimas (popierius, toneris, IT įranga)	699	0,01
Poveikis (suma)	2 534 008	52,68

3.1.2. Poveikis aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose (charakterizavimo rezultatai)

Poveikis aplinkai vertintas pagal devynias dujų perdavimo sistemos sritis, kurios analizuotos aštuoniolikoje poveikio aplinkai kategorijų. Kaip galima matyti 16 pav. pagrindiniai susidarantys poveikiai aplinkai pagal skirtingas kategorijas yra dujotiekio infrastruktūros ir dujų transportavimo veiklose. Pagrindinės kategorijos, kuriose dujotiekio infrastruktūra daro didžiausią poveikį yra: gėlo vandens, jūrų ekotoksiškumas, toksiškumas, žmonėms, žemės naudojimas, mineralinių išteklių trūkumas, vandens naudojimas. Dujų transportavimas didžiausią poveikį sukelia šiose kategorijose: klimato kaita, ozono sluoksnio retėjimas, fotocheminis ozono susidarymas, sausumo rūgštėjimas, iškastinių išteklių trūkumas. Metano dujos kaip medžiagoje poveikį daro tik klimato kaitos kategorijoje. Vandens naudojimas turi neigiamą procentinį rezultatą, o tai reiškia teigiamą poveikį aplinkos atžvilgiu.

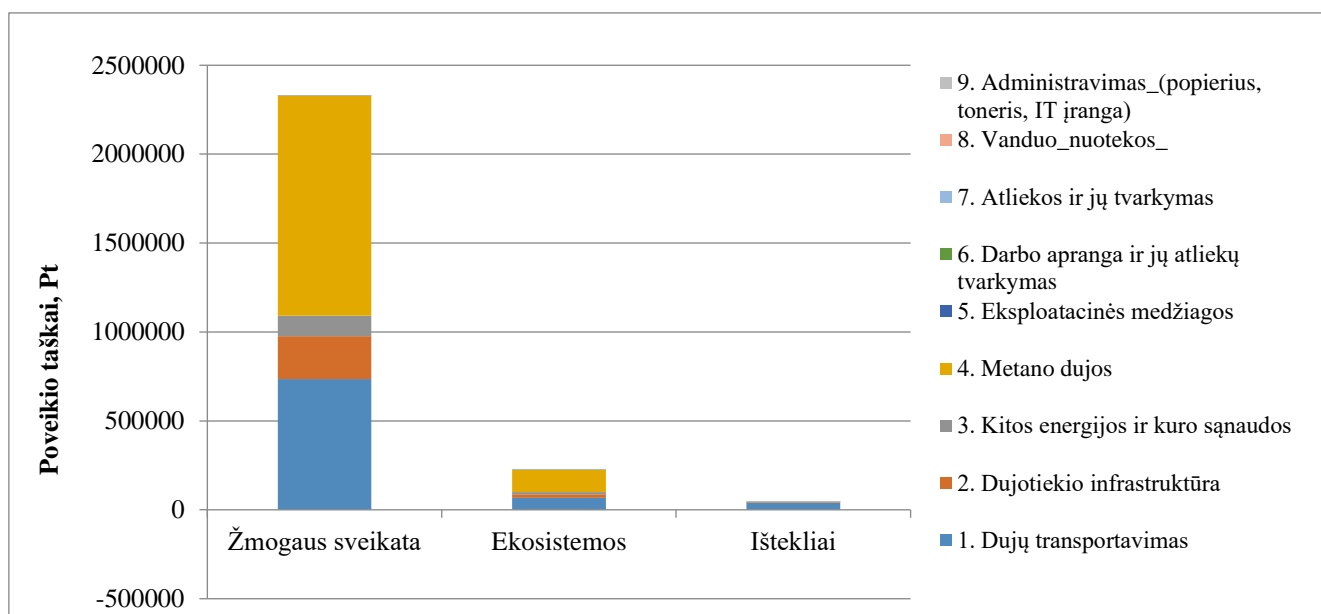


16 pav. Dujų perdavimo sistemos poveikis aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose

3.1.3. Poveikis žalos kategorijose (normalizavimo rezultatai)

Vertinant poveikį žalos kategorijose, didžiausias sudaromas poveikis pagal poveikio taškus yra žmogaus sveikatai ir didžiausią dalį sudaro metano dujos, kai jos vykdamas remonto darbus išleidžiamos į aplinkos orą. Kiek žinoma iš literatūros analizės metanas yra šiltnamio efekta sukeliančios dujos, todėl galima daryti prielaidą, kad būtent šios priežasties metano poveikis žmogaus

sveikatai ir sudaro didžiausią dalį. Kitas pagal dydį poveikis susidaro iš dujų transportavimo (perdavimo) veiklos, kai pagrindinis aspektas taip pat metano dujos, tik šiuo atveju tai nekontroliuojami dujų nuotėkiai vamzdyne ir elektros energija, sunaudota kompresorių ir kitų agregatų darbui. Dujotiekio infrastruktūra ir kitos energijos sąnaudos sudaro kiek mažiau poveikio aplinkai. Ekosistemoms taip pat didžiausias poveikis susidaro iš kontroliuojamo metano išleidimo, o žalą ištekliams labiausiai lemia dujų transportavimo veikla.



17 pav. Dujų perdavimo sistemos poveikis aplinkai skirtingose veiklos srityse, pagal žalos kategorijas

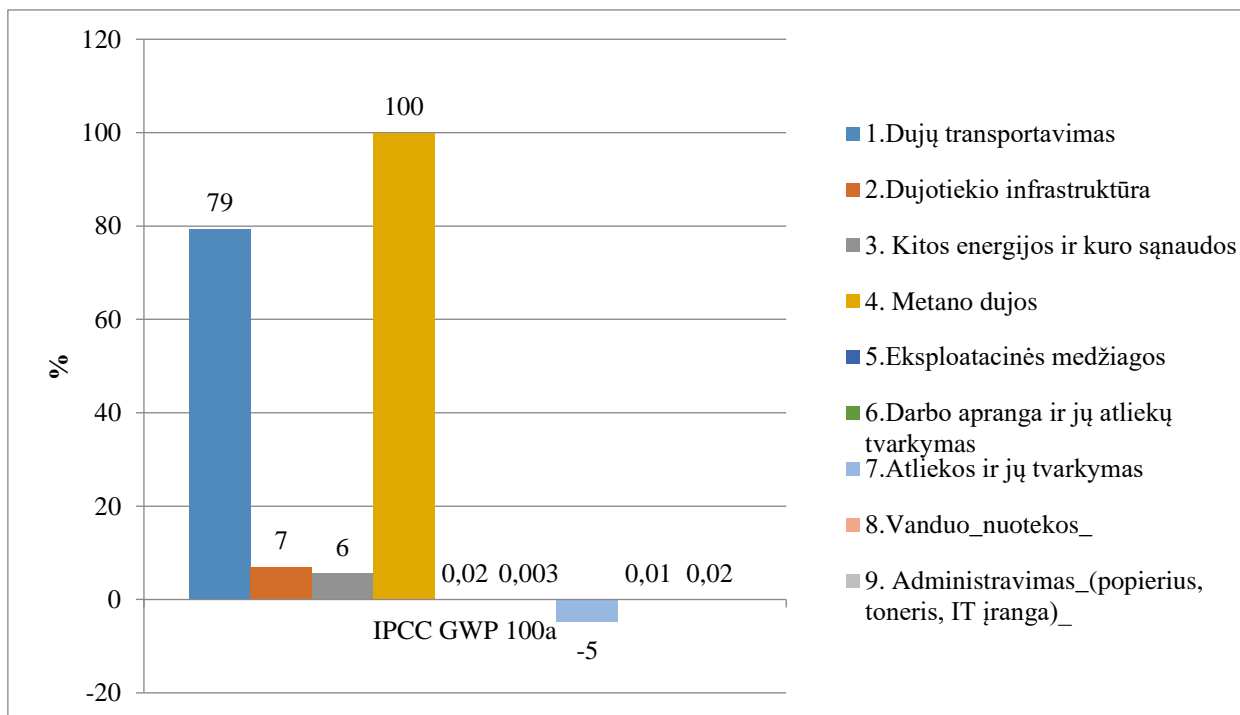
Vertinant organizacijos poveikį žalos kategorijose, didžiausias poveikis daromas žmogaus sveikatai ir ekosistemoms, o labiausiai prie šio poveikio prisideda Metano dujų kontroliuojamas išleidimas ir dujų transportavimas, kiek mažiau - dujotiekio infrastruktūra ir kitos energijos ir kuro sąnaudos. Žalą ištekliams reikšmingiausiai lemia dujų transportavimas. 9 lentelėje pateikiamas tarpinis poveikio taškų (Pt) vertinimas ir matomas poveikio taškų pasiskirstymas tarp poveikio aplinkai kategorijų. Vertinant visą organizacijos veiklą jautriausios poveikio aplinkai sritys yra: klimato kaita, kietųjų dalelių susidarymas, toksiškumas, žemės ir iškastinių išteklių naudojimas (9 lentelėje šių kategorijų suminė reikšmė pažymėta raudonai). Prie minėtų poveikių reikšmingiausiai prisideda pirmosios keturios įmonės veiklos sritys, nurodytos 9 lentelėje.

9 lentelė. Dujų perdavimo sistemos poveikis aplinkai taškais, Pt, skirtingose poveikio aplinkai kategorijose ir žalos kategorijose

Poveikio aplinkai kategorija	Vnt.	1. Dujų transportavimas	2. Dujotiekių infrastruktūra	3. Kitos energijos ir kuro sąnaudos	4. Metano dujų kontroliuojamas išleidimas	5. Eksploatacinės medžiagos	6. Darbo apranga ir jų atliekų tvarkymas	7. Atliekos ir jų tvarkymas	8. Vanduo ir nuotekos	9. Administravimas (popierius, toneris, IT įranga)	Kategorijos poveikio suma	Žalos poveikio suma
Klimato kaitos potencialas (poveikis žmogaus sveikatai)	Pt	750361	63727	51616	1063472	198	31	-44114	62	163	1885516	Žmogaus sveikatai 2266794
Ozono sluoksnio retėjimas	Pt	123	13	20	16	0,06	0,07	-4,2	0,1	0,06	169	
Jonizuojančioji spinduliuotė	Pt	5	21	64	1	0,3	0,0	-3,4	0,1	0,2	88	
Fotocheminis ozono susidarymas	Pt	1575	257	136	46	0,4	0,1	-90,6	0,2	0,4	1925	
Kietųjų dalelių susidarymas	Pt	171940	84843	43472	14089	299,8	36,5	-47993,6	114,1	239,3	267039	
Toksiškumas (kancerogeninis) žmonėms	Pt	5746	53021	7293	1152	25,9	3,0	-3267,0	47,1	42,1	64063	
Toksiškumas (nekancerogeninis) žmonėms	Pt	3573	33359	12353	590	53,7	8,2	-5381,6	94,2	182,9	44832	
Vandens naudojimas (poveikis žmogaus sveikatai)	Pt	166	2258	552	34	9,3	3,3	393,5	-255,9	3,3	3162	
Klimato kaitos potencialas (sausumos ekosistemoms)	Pt	75045	6377	5164	106633	20	3,1	-4414	6	16	188850	Ekosistemoms 219262
Klimato kaitos potencialas (vandens ekosistemoms)	Pt	2,0	0,2	0,1	3	0,0005	0,0001	-0,1	0,0002	0,0004	5,1	
Fotocheminis ozono susidarymas	Pt	7505	1245	656	233	2,2	0,4	-455	1,1	2,1	9191	
Sausumos rūgštėjimas	Pt	6147	1934	1218	487	9,8	1,3	-833	3,5	5,7	8973	
Gėlo vandens eufifikacija	Pt	100	616	250	19	2,1	0,3	-275	3,3	3,2	720	
Jūros eutrofikacija	Pt	0,03	0,25	0,08	0	0,001	0,005	-0,14	0,04	0,002	0,3	
Sausumos ekotoksiškumas	Pt	19	227	96	3	0,3	0,03	-20	0,2	0,5	326	
Gėlo vandens ekotoksiškumas	Pt	21	237	135	3	0,3	0,05	-14	0,2	1,2	383	
Jūrų ekotoksiškumas	Pt	7	46	26	1	0,1	0,01	-3	0,0	0,2	77	
Žemės naudojimas	Pt	601	6490	4890	106	41	279	-2324	4,4	32	10120	
Vandens naudojimas (poveikis sausumos ekosistemoms)	Pt	32	485	103	6	1,9	2,1	34	-48	0,7	616	
Vandens naudojimas (poveikis vandens ekosistemoms)	Pt	0,003	0,03	0,008	0	0,0001	0,0005	-0,01	-0,002	0,0001	0,03	
Mineralinių išteklių trūkumas	Pt	16	146	37	3	0,1	0,0	-188,0	0,1	0,3	14,4	Ištekliais 47901
Iškastinių išteklių trūkumas	Pt	35503	2703	2799	7353	21,0	1,5	-500,2	1,6	5,1	47886,2	
Suma	Pt	1058487	258005	130878	1194250	686	370	-109452	34	699	2533957	2533957

3.1.4. Globalinio atšilimo potencialas (GWP)

Globalinio atšilimo potencialo rezultatai koreliuoja su ankstesnių metodų rezultatais. Didžiausios ŠESD emisijos (apie 80 % nuo viso poveikio) susidaro dėl kontroliuojamo dujų išleidimo į aplinką, antroje vietoje dujų transportavimas, o toliau dujotiekio infrastruktūra, kitos energijos ir kuro sąnaudos.



18 pav. Gamtinių dujų perdavimo veiklos sričių poveikio aplinkai tyrimo bendras palyginimas naudojant IPCC 2013 GWP 100a V1.03 metodą

Globalinio atšilimo potencialo rezultatai koreliuoja su ankstesnių metodų rezultatais. Didžiausios ŠESD emisijos (apie 80 % nuo viso poveikio) susidaro dėl kontroliuojamo dujų išleidimo į aplinką, antroje vietoje dujų transportavimas, o toliau dujotiekio infrastruktūra, kitos energijos ir kuro sąnaudos.

10 lentelė. Gamtinių dujų perdavimo veiklos poveikis atskirose veiklos srityse pagal ŠESD emisija

Veiklos sritis	Esamos situacijos globalinio atšilimo potencialas, kg CO ₂ eq	Globalinio atšilimo potencialas, perskaičiuotas funkciniam vienetai, kg CO ₂ eq
1. Dujų transportavimas	45 857 404	953,36
2. Dujotiekio infrastruktūra	4 028 596	83,75
3. Kitos energijos ir kuro sąnaudos	3 270 336	67,99
4. Metano dujų kontroliuojamas išleidimas	57 790 150	1201,44
5. Eksploatacinės medžiagos	12 355	0,26
6. Darbo apranga ir jų atliekų tvarkymas	1 865	0,04
7. Atliekos ir jų tvarkymas	-2 784 821	-57,90
8. Vanduo ir nuotekos	4 555	0,09
9. Administravimas (popierius, toneris, IT įranga)	10 229	0,21

3.2. Poveikio aplinkai mažinimo priemonių būvio cikle vertinimo rezultatai

Atlikus inventorinę esamos situacijos poveikio aplinkai būvio ciklo analizę išaiškinta, kuriose gamtinių dujų perdavimo veiklose sukuriama didžiausias neigiamas efektas aplinkosauginiu požiūriu. Remiantis gautais inventorinės analizės rezultatais siūlomos galimos poveikio mažinimo priemonės, kurios padėtų sumažinti poveikį aplinkai (11 lentelė).

11 lentelė. Poveikio aplinkai mažinimo priemonės

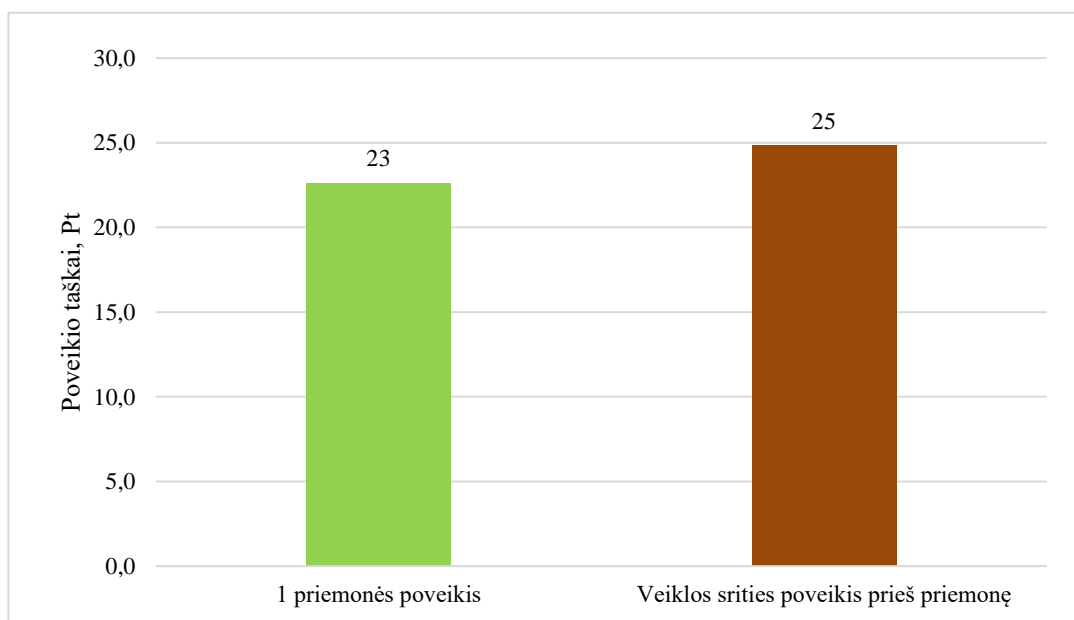
Priemonės Nr.	Galimos poveikio mažinimo priemonės aprašymas	Siekiamas poveikis
1.	Papildomo mobilaus dujų kompresoriaus panaudojimas (mažinamas kontroliuojamo dujų nuotėkio „karštasis taškas“).	Sumažinti į aplinką išleidžiamų gamtinių dujų kiekį naudojant papildomą mobilų dujų kompresorių. Gamtinės dujos neišleidžiamos į aplinką, gražinamos į vamzdyną, bet kompresorius dirbdamas sunaudoja dalį kuro.
2.	Organizacijos administracinių automobilių su vidaus degimo varikliais keitimas į elektromobilius.	Sumažinti poveikį aplinkai transporto priemonėse naudojant elektros energiją vietoje iškastinio kuro.
3.	Elektros energijos gamyba nuosavose/nutolusiose saulės elektrinėse arba perkama žaliaji elektra su kilmės garantija.	Sumažinti aplinkai daromą poveikį, vietoje elektros energijos su vidutiniu poveikio aplinkai koeficientu, naudoti atsinaujinančią elektros energiją.
4.	Į aplinką išleidžiamų dujų transportavimas dujovežiais į dujų skirstymo stotis (mažinamas kontroliuojamo dujų nuotėkio poveikis).	Sumažinamas poveikis aplinkai, kai į aplinką išleidžiamos dujos yra surenkamos į dujovežius ir vėliau išleidžiamos atgal į dujų tinklą nugabenus jas į dujų skirstymo stotis.
5.	Mobilaus fakelo įsigijimas ir panaudojimas (mažinamas kontroliuojamo dujų nuotėkio poveikis).	Sumažinti poveikį aplinkai sudeginant į aplinką išmetamas gamtines dujas.
6.	Dujotiekių remontas taikant įsipjovimą (mažinamas kontroliuojamo dujų nuotėkio poveikis).	Aukšto slėgio dujotiekių remonto metu taikomi STOPPLE tipo technologija. Technologija leidžia izoliuoti remontuojamą dujotiekių segmentą nenutraukiant dujų tiekimo dujotiekiu. Remontuojamas dujotiekių segmentas izoliuojamas iš abiejų galų dviem įleidžiamais pripučiamais kaiščiais, izoliuotas segmento dujų tūris išleidžiamas į aplinką per kaiščių įleidimo įrenginio korpusą. Tarp abiejų

Priemonės Nr.	Galimos poveikio mažinimo priemonės aprašymas	Siekiamas poveikis
		kaiščių padaromas laikinas dujų apvadas, leidžiantis nepertraukiamai tiekti dujas remonto metu. Atlikus remontą kaiščiai pašalinami. Priemonė taikoma tais atvejais, kai planuojamas dujotiekio išleidimas viršija 100 000 m ³ dujų vienos remonto operacijos metu.

Norint įvertinti priemonių veiksmingumą atlikta priemonių poveikio aplinkai vertinimas ir palyginimas su esama situacija. Poveikiai skaičiuojami funkciniam vienetui – 100 000 m³. Kontroluojamo metano dujų išleidimo sritis sudaro didžiausią dalį viso daromo poveikio (47 %), todėl mažinti šios dujų perdavimo veiklos poveikį pasirinktos keturios priemonės, o kitos energijos ir kuro sąnaudų sričiai dvi priemonės.

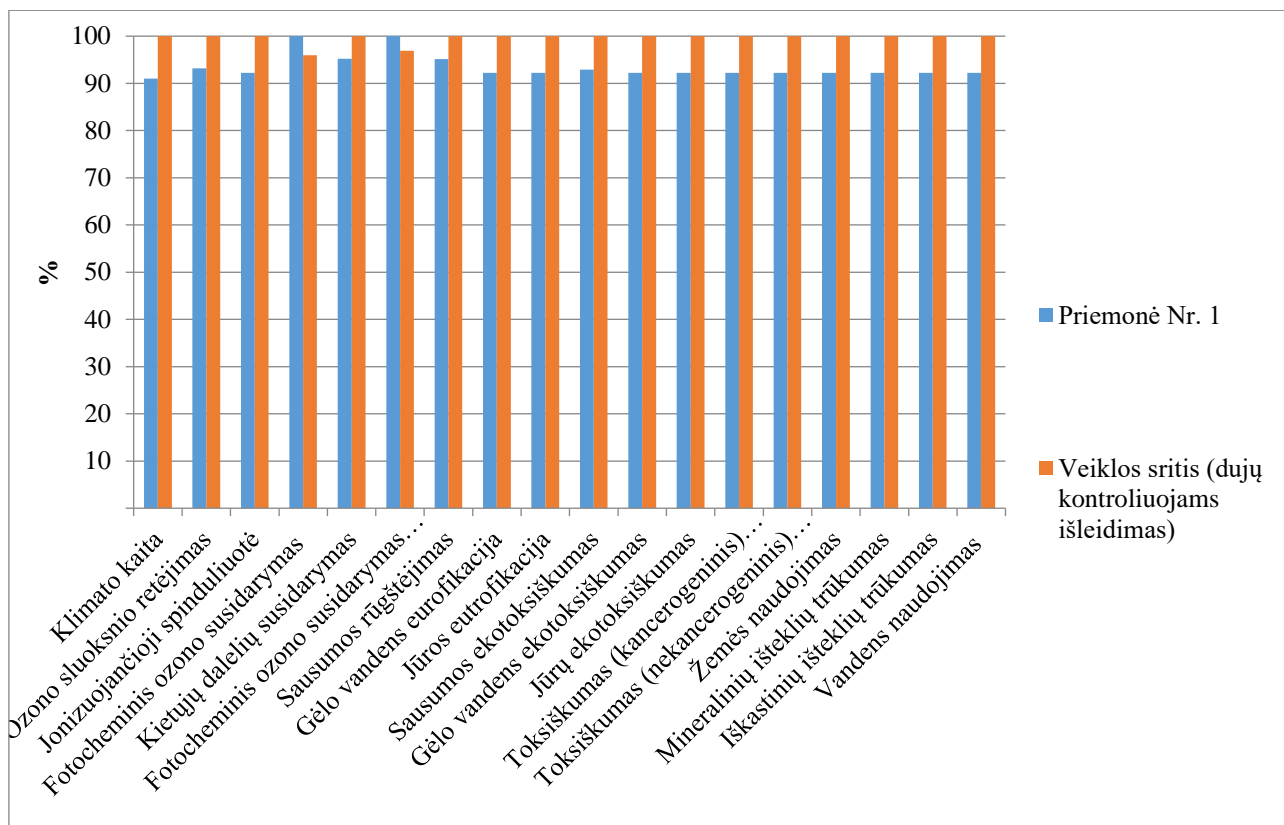
3.2.1. Papildomo mobilus dujų kompresoriaus panaudojimas (Priemonės Nr. 1)

Pagal dujų perdavimo veiklos sritį, priemonė Nr. 1 taikoma kontroliuojamo dujų išleidimo poveikiui mažinti. Atliekant šios priemonės būvio ciklo analizę pasirinktas inventorinės metano dujų išleidimo procesas. Numatoma, kad teigiamas poveikis - 254 850 m³ gamtinių dujų išsaugojimas, nes mobilus kompresorius naudojamas sugrąžintų į vamzdyną gamtines dujas, kurios kitu atveju būtų išleidžiamos į aplinką. Reikia paminėti, kad numatomas ir neigiamas poveikis, kurį sukuria kompresoriaus veikimas. Kompresorius dirbdamas sunaudoja dalį kuro, todėl vertinant priemonės būvio ciklą įtrauktas - 13 050 m³ gamtinių dujų kiekis kaip neigiamas poveikis.



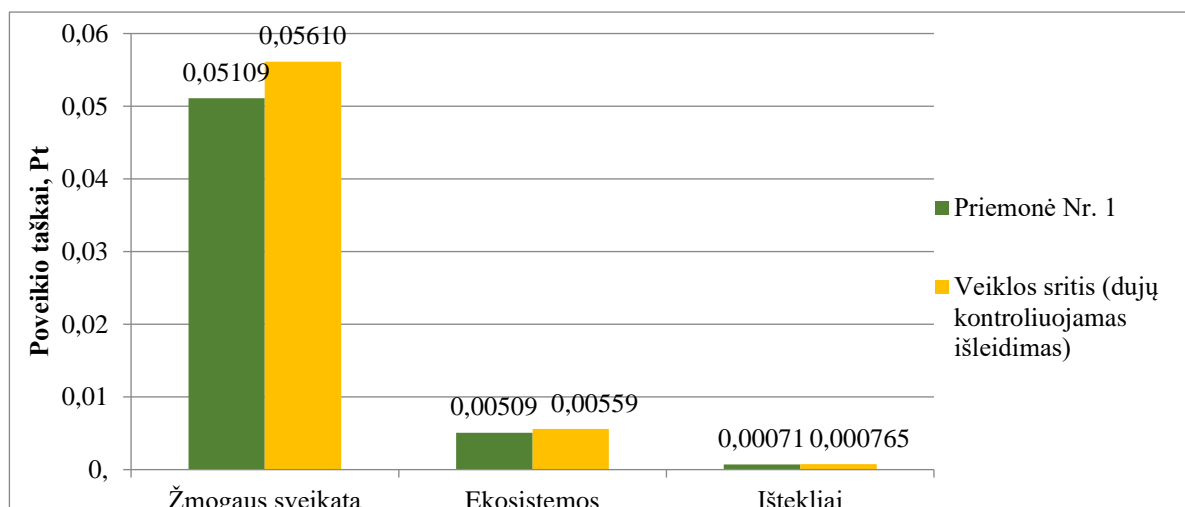
19 pav. Priemonės Nr. 1 (papildomo mobilus dujų kompresoriaus panaudojimas) poveikio aplinkai tyrimo suminis palyginimas naudojant ReCiPe Endpoint (H) metodą

Poveikio aplinkai tyrimui naudojamas ReCiPe Endpoint (H) metodas ir skaičiuojamas suminis poveikis taškais, Pt. Rezultatai parodo, kad priemonės Nr. 1 taikymas sumažina bendrą poveikį aplinkai 2 Pt, o tai apie yra 9 % viso bendro poveikio (19 pav.).



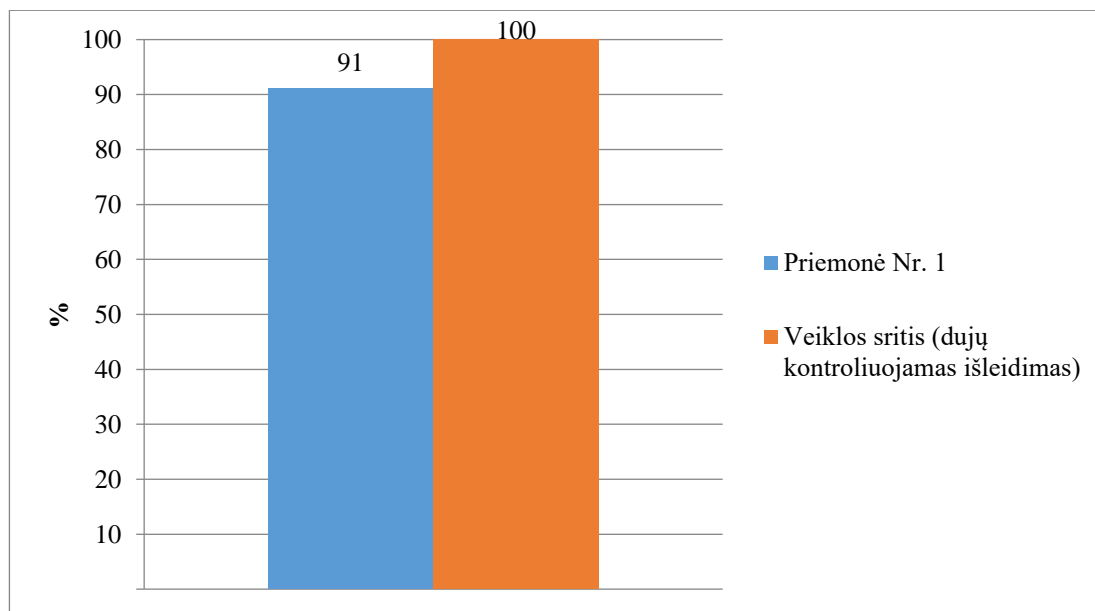
20 pav. Priemonės Nr.1 (papildomo mobilus dujų kompresoriaus panaudojimas) ir veiklos srities charakterizuotas poveikis aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose

Taikant šią papildomo kompresoriaus integravimo priemonę 9 % sumažėja įvairių rūšių eutrofikacijos, ekotoksiškumo, žemės naudojimo, išteklių trūkumo, sumažėjimas yra apie 8 %, ozono sluoksnio retėjimo jonizuojančios spinduliuotės – 5-7 %. Priešingi rezultatai gaunami fotocheminio ozono susidarymo kategorijoje, poveikio aplinkai padidėjimas apie 5 %. Šį padidėjimą gali lemti kompresoriaus darbas, nes jo veikimui reikalingos gamtinės dujos, bet šiuo atveju dujos sudeginamos, o ne išleidžiamos į aplinką. Degimo procese susidaro emisijų, kurios gali skatinti fotocheminio ozono susidarymą (20 pav.).



21 pav. Priemonės Nr.1 (papildomo mobilus dujų kompresoriaus panaudojimas) ir veiklos srities normalizuotas poveikio aplinkai pagal žalos kategorijas palyginimas kategorijoms (Metodas: ReCiPe 2016 Endpoint (H) V1.04)

Vertinant poveikį aplinkai pagal žalos kategorijas, didžiausias poveikis sudaromas žmogaus sveikatai ir šiek tiek mažiau ekosistemoms, žala ištekliams labai maža ir ne tokia reikšminga. Taikant papildomo mobilaus dujų kompresoriaus naudojimo priemonę, poveikis sumažėjęs, bet žvelgiant į 21 pav. poveikis žalos kategorijai - žmonių sveikata vis tik išlieka didelis. Poveikio sumažėjimas ekosistemoms ir ištekliams labai nereikšmingas.



22 pav. Priemonės Nr. 1 (papildomo mobilaus dujų kompresoriaus panaudojimas) ir veiklos srities poveikio aplinkai tyrimo bendras palyginimas naudojant IPCC 2013 GWP 100a V1.03 metodą

22 pav. įvertinamas poveikis aplinkai remiantis bendru globaliniu atšilimo potencialu (GWP, angl. Global Warming Potential). Šiuo atveju pritaikius priemonė Nr. 1 poveikis sumažėja 9 %, o kiekybinis ŠESD emisijų sumažėjimas pateikiamas 12 lentelėje.

12 lentelė. Priemonės Nr. 1 ir veiklos srities globalinio atšilimo vertinimo rezultatas, kg CO₂ eq

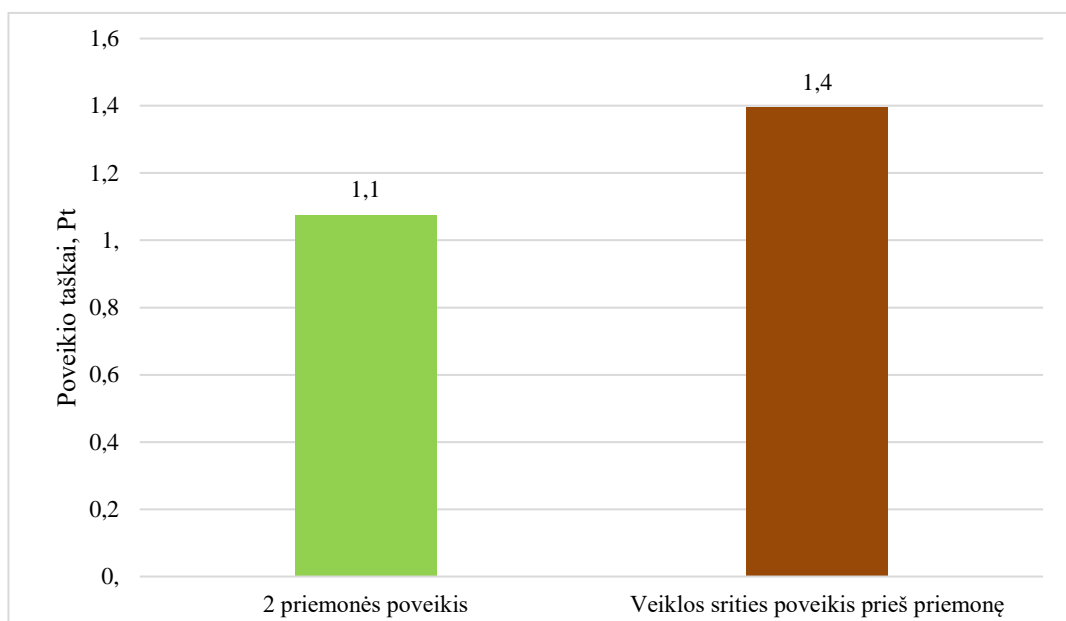
Priemonė Nr. 1, kg CO ₂ eq	Veiklos sritis (dujų kontroliuojamas išleidimas), kg CO ₂ eq
52 617 951 (esama situacija)	57 790 150 (esama situacija)
1 094 (perskaičiuojant į funkcinį vienetą)	1 201 (perskaičiuojant į funkcinį vienetą)

Bendrai priemonė Nr. 1 sumažina išleidžiamų į aplinką dujų kiekį pasinaudojant mobiliu dujų kompresoriumi, kuris leidžia gamtines dujas sugrąžinti į procesą. Žinoma, kad kompresoriaus veikimui reiktų sudeginti gamtines dujas, todėl reiktų sunaudoti tam tikrą kiekį dujų. Bet dujų kompresoriaus veikimui reikiamų dujų kiekis nedaro tokio poveikio aplinkai, nes reikia daug mažesnio dujų tūrio, todėl tai padėtų bendrai sumažinti metano dujų išmetimus į aplinką.

3.2.2. Organizacijos administracinių automobilių su vidaus degimo varikliais keitimas į elektromobilius (Priemonės Nr. 2)

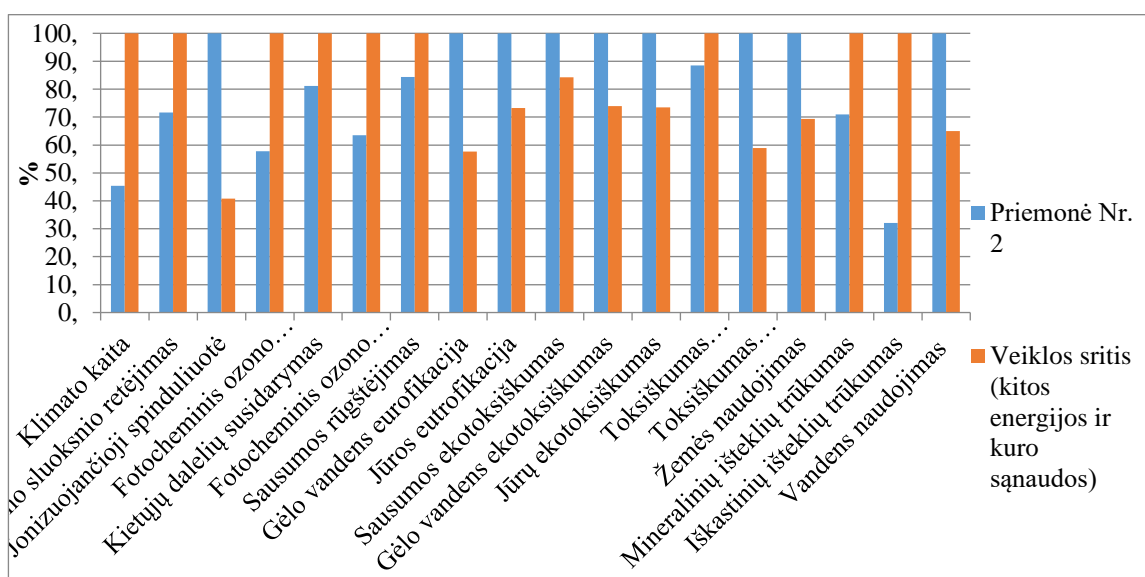
Norint sumažinti poveikį aplinkai transporto priemonių naudojimo srityje, analizuota Priemonė Nr. 2, kurios pagrindinis tikslas - pakeisti automobilius su vidaus degimo varikliais į elektra varomus automobilius. Kaip teigiami poveikiai šios priemonės taikyme yra benzino (108 779 litrai) ir dyzelino (171 253 litrai) kiekių sumažinimai. Priemonės Nr. 2 būvio ciklo vertinime neigiamu poveikiu

laikoma papildomai sunaudojama elektros energija reikalinga elektromobilių baterijų krovimui. Būvio ciklo vertinimo metu buvo koreguojama veiklos sritis – kitos energijos ir kuro sąnaudos. SimaPro programinėje įrangoje reikalingi nuvažiuojami kilometrai su kiekvienos rūšies automobiliu. Tad sudedami benzininių ir dyzelinių automobilių kilometrų skaičiai ir perkeliama į procesą, kai transporto priemonė – elektromobilis. Kadangi elektra varomiems automobiliams reikalinga elektros energija, todėl į procesą įtraukiama elektra, kuri sudaro tam tikrą poveikį aplinkai.



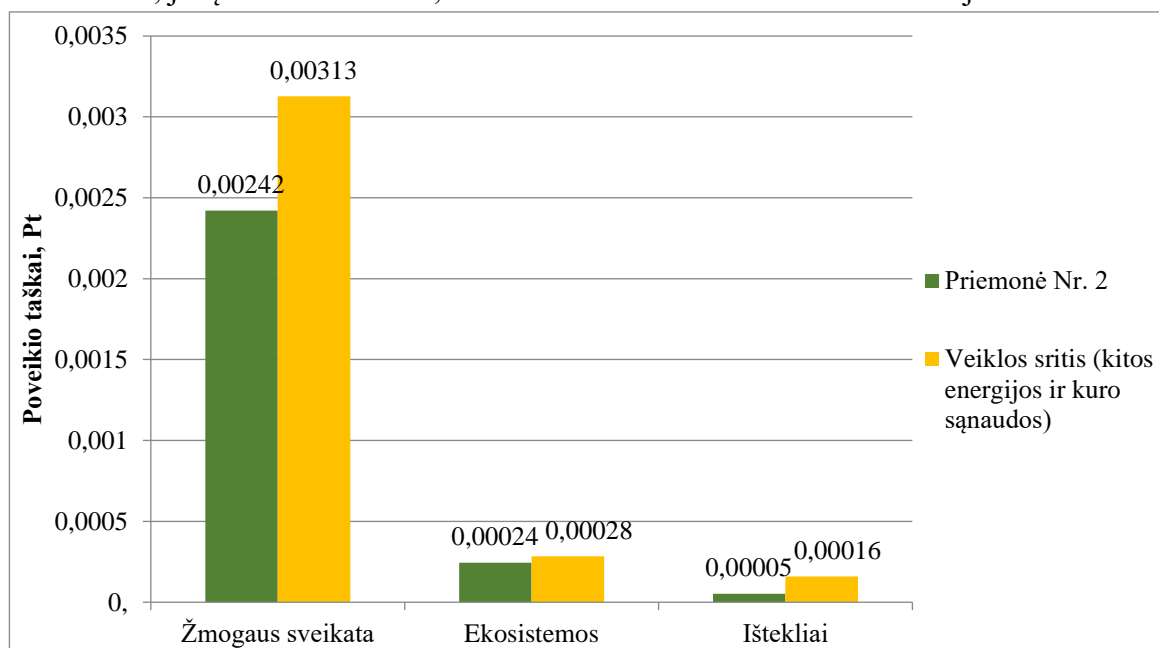
23 pav. Priemonės Nr. 2 (elektromobilių integracija) poveikio aplinkai tyrimo suminis palyginimas naudojant ReCiPe Endpoint (H) metodą

Suminiai poveikio taškų rezultatai pagal ReCiPe Endpoint (H) metodiką parodo, kad priemonės Nr. 2 taikymas sumažina poveikį aplinkai 0,3 Pt, o tai sudaro apie 23 % sumažėjimą (25 pav.).



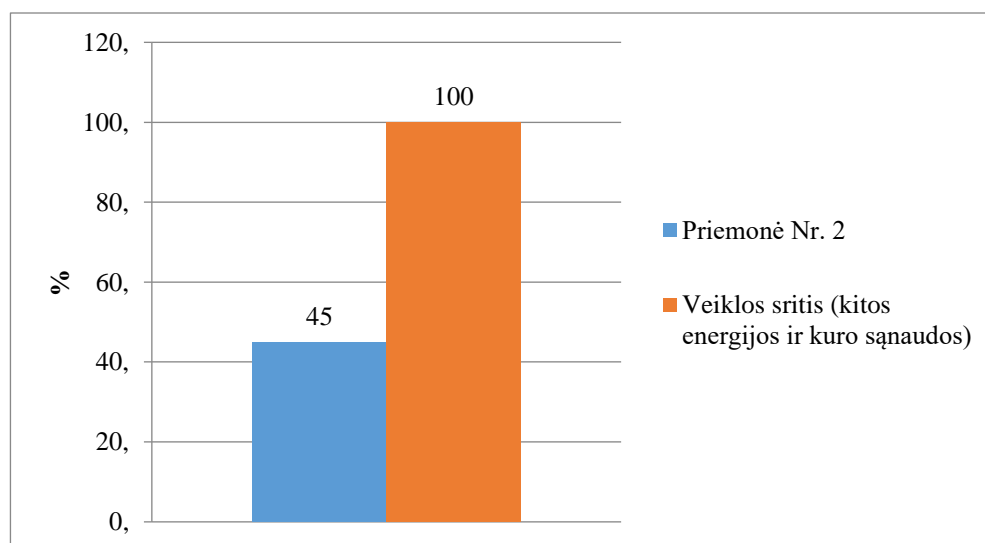
24 pav. Priemonės Nr.2 (elektromobilių integracija) ir veiklos srities charakterizuotas poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas

Charakterizuojant priemonės Nr. 2 bei veiklos srities su kitos energijos ir kuro sąnaudomis rezultatus, gauta, kad pagrindinės poveikio aplinkai kategorijos, kuriose sumažėjo efektas aplinkai: klimato kaita, sumažėjimas 55 %, fotocheminis ozono susidarymas – 42 %, mineralinių išteklių trūkumas – 29 %. Didžiausias sumažėjimas matomas iškastinių išteklių trūkumo kategorijoje, kai poveikis aplinkai sumažėjo net 68 %. Taip pat matomas ir kai kurių kategorijų stipriai padidėjęs poveikis, kai pradedama taikyti priemonė Nr. 2. Šios padidėjusios poveikio kategorijos: jonizuojančioji spinduliuotė, gėlo vandens, jūros eutrofikacijos, sausumos ekotoksiškumas, gėlo vandens ekotoksiškumas, jūrų ekotoksiškumas, toksiškumas žmonėms ir vandens naudojimas.



25 pav. Priemonės Nr.2 (elektromobilių integracija) ir veiklos srities normalizuotas poveikio aplinkai pagal žalos kategorijas palyginimas (Metodas: ReCiPe 2016 Endpoint (H) V1.04)

Būvio ciklo vertinime atliktas priemonės Nr. 2 ir veiklos srities rezultatų normalizavimas parodo, kad priemonė sumažina įtaką aplinkai skirtingose žalos kategorijose. Žmogaus sveikatos kategorijos sumažėjimas 0,0000071 Pt, o ekosistemų ir išteklių sumažėjimas labai minimalus.



26 pav. Priemonės Nr. 2 (elektromobilių integracija) ir veiklos srities poveikio aplinkai tyrimo bendras palyginimas naudojant IPCC 2013 GWP 100a V1.03 metodą

13 lentelė. Priemonės Nr. 2 ir veiklos srities globalinio atšilimo vertinimas kg CO₂ eq

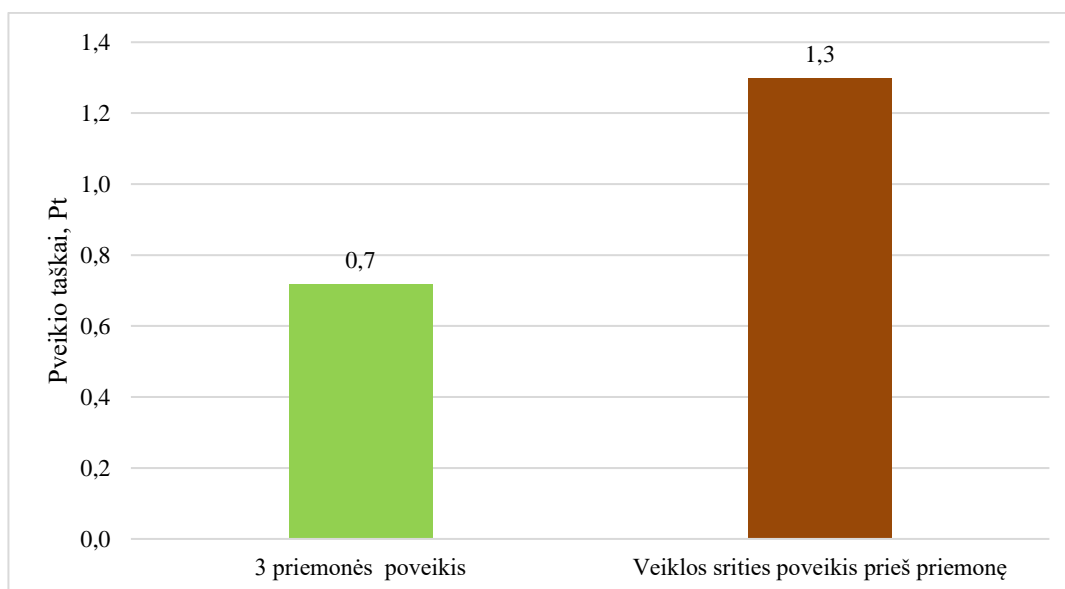
Priemonė Nr. 2, kg CO ₂ eq	Veiklos sritis (kitos energijos ir kuro sąnaudos), kg CO ₂ eq
742 890 (esama situacija)	1 650 869 (esama situacija)
15 (perskaičiuojant pagal funkcinį vieneta)	34 (perskaičiuojant pagal funkcinį vieneta)

Įgyvendinus Priemonę Nr. 2 ŠESD emisijos sumažėja 20 CO₂ eq./f.v. (lentelė 13)

Pagrindinis aspektas, šios priemonės taikyme iškastinio kuro naudojimo pašalinimas, o tai sumažina išteklių kategorijas. Ekosistemų sumažėjimas labai minimalus, neigiamas poveikis aplinkai susidaro iš elektromobilio gamybos proceso, jame naudojamų baterijų, taip pat poveikį sukuria ir naudojimo etapas, kai mašinos pakrovimui reikalinga elektros energija pagaminta iš iškastinių šaltinių, bet bendru požiūriu elektromobilių naudojimas sumažina poveikį aplinkai.

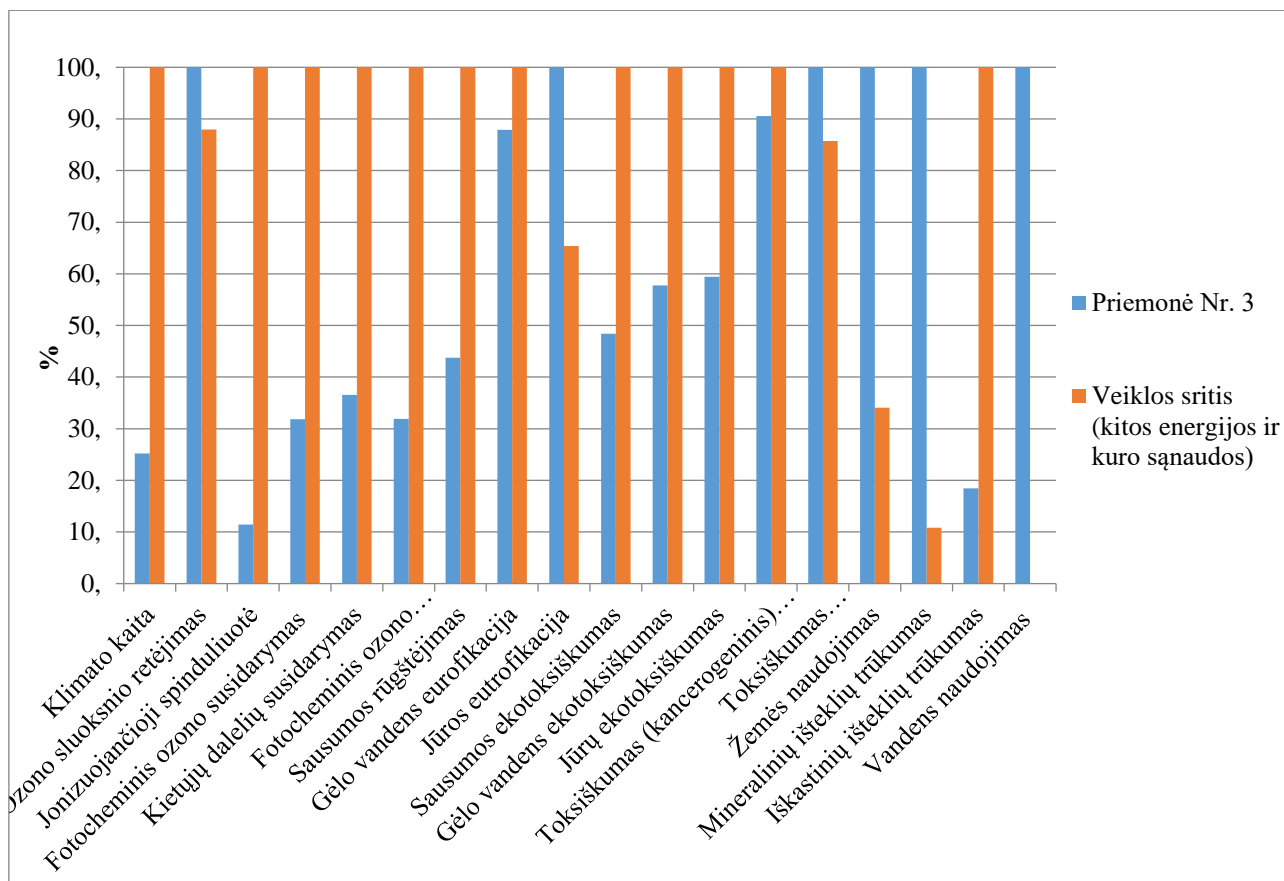
3.2.3. Elektros energijos gamyba nuosavose/nutolusiose saulės elektrinėse arba perkama žalioji elektra su kilmės garantija (Priemonės Nr. 3)

Siekiant sumažinti neigiamą poveikį aplinkai elektros energijos srityje, būvio ciklo analizei siūloma Priemonė Nr. 3. Šios priemonės idėja naudoti elektros energija gautą iš atsinaujinančių šaltinių. Teigiamas šios priemonės poveikis – 242 000 kWh vidutinio poveikio elektros energijos sutaupymai, bet kaip neigiamas poveikis žymiai didesnis kiekis (3 242 000 kWh) elektros energijos iš atsinaujinančių energijos šaltinių. Žalios energijos skaičiavimui buvo sumodeliuotas Žalios energijos mikso procesas vadovaujantis LR statistikos departamento 2020 m. duomenimis Elektros energijos bendroji gamyba iš atsinaujinančios energijos išteklių. Buvo skaičiuojama saulės, vėjo, hidroelektrinių, biodujų, komunalinių atliekų deginimo energija.



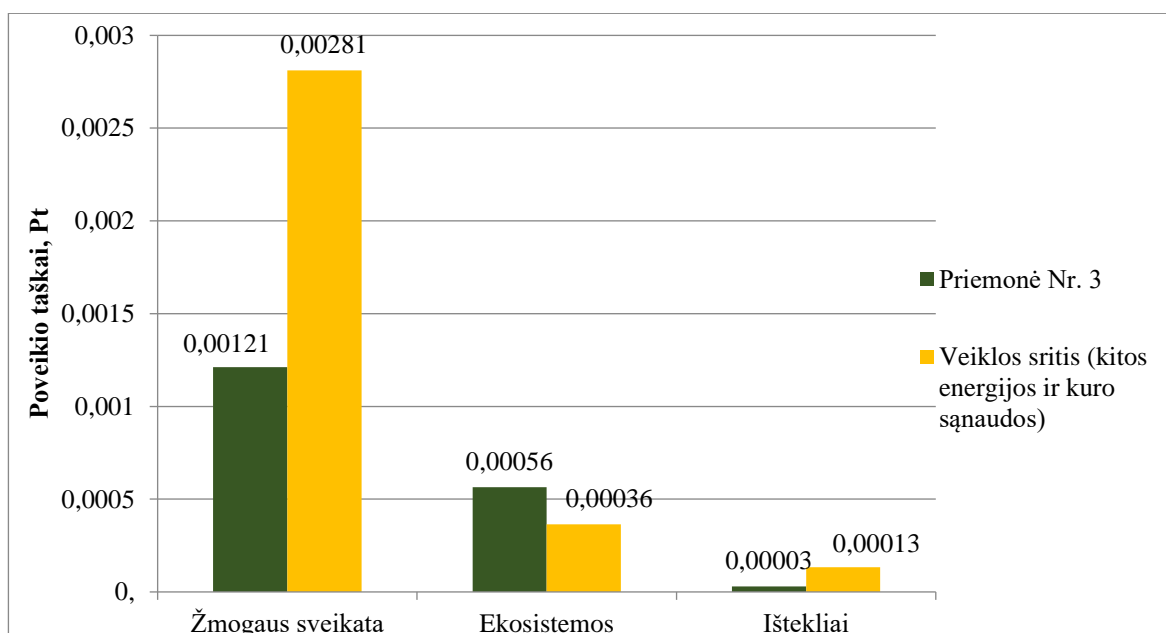
27 pav. Priemonės Nr. 3 (žalioji energija) poveikio aplinkai tyrimo suminis palyginimas naudojant ReCiPe Endpoint (H) metodą

Kaip galima matyti 29 pav. pagal bendrus suminius rezultatus Priemonės Nr. 3 taikymas sumažina veiklos srities poveikį 0,6 Pt, kuris šiuo atveju sudaro 46%.



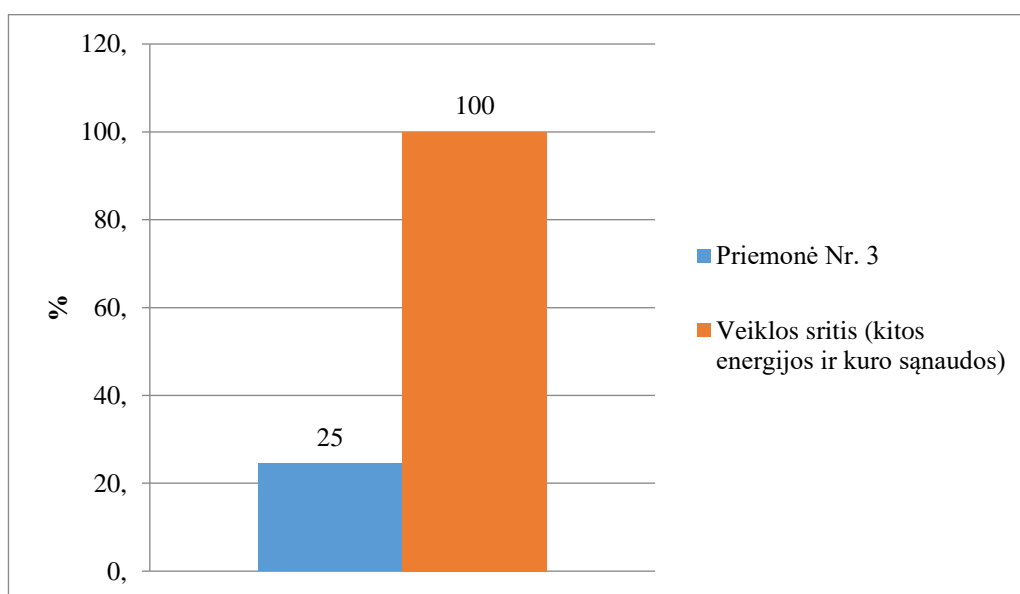
28 pav. Priemonės Nr.3 (žalioji energija) ir veiklos srities charakterizuotas poveikis aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose

Žalios elektros energijos naudojimas gamtinių dujų perdavimo veiklos procesuose padeda labai žymiai sumažinti poveikį klimato kaitos (74,8%), jonizuojančios spinduliuotės (88,5%), fotocheminio ozono susidarymo (68,1%), kietųjų dalelių susidarymo (63,4%), sausumos rūgštėjimo (56,2%), gėlo vandens eutrofikacijos (12,1%), sausumos ekotoksiškumo (51,6%), gėlo vandens (42,25%) ir jūrų (40,5%) ekotoksiškumų bei iškastinių išteklių trūkumo (81,5%) kategorijose. Priemonės Nr. 3 poveikis aplinkai padidėja ozono sluoksnio retėjimo, jūros eutrofikacijos, nekancerogeninio toksiškumo žmonėms, žemės naudojimo, mineralinių išteklių trūkumo ir vandens naudojimo kategorijose. Šių poveikių padidėjimas atsiranda dėl atsinaujinančių šaltinių įrenginių eksploatacijos, daugumai įrenginių reikia nemažai žemės teritorijos plotų, kai kurie iš jų gali sukelti fizikinę taršą.



29 pav. Priemonės Nr.3 (žalioji energija) ir veiklos srities normalizuotas poveikio aplinkai pagal žalos kategorijas palyginimas kategorijas (Metodas: ReCiPe 2016 Endpoint (H) V1.04)

Rezultatų normalizavimo grafike (31 pav.) labai ryškiai atsispindi žmogaus sveikatos žalos kategorijos sumažėjimas 0,0016 Pt, kai taikoma priemonė Nr. 3, taip pat sumažėja ir poveikis išteklių žalos kategorijai 0,0001 Pt. Bet ekosistemų žalos kategorijoje elektros iš atsinaujinančių energijos šaltinių priemonės poveikis padidėja 0,0002 Pt.



30 pav. Priemonės Nr. 3 (žalioji energija) ir veiklos srities poveikio aplinkai tyrimo bendras palyginimas naudojant IPCC 2013 GWP 100a V1.03 metodą

14 lentelė. Priemonės Nr. 3 ir veiklos srities globalinio atšilimo vertinimas kg CO₂ eq

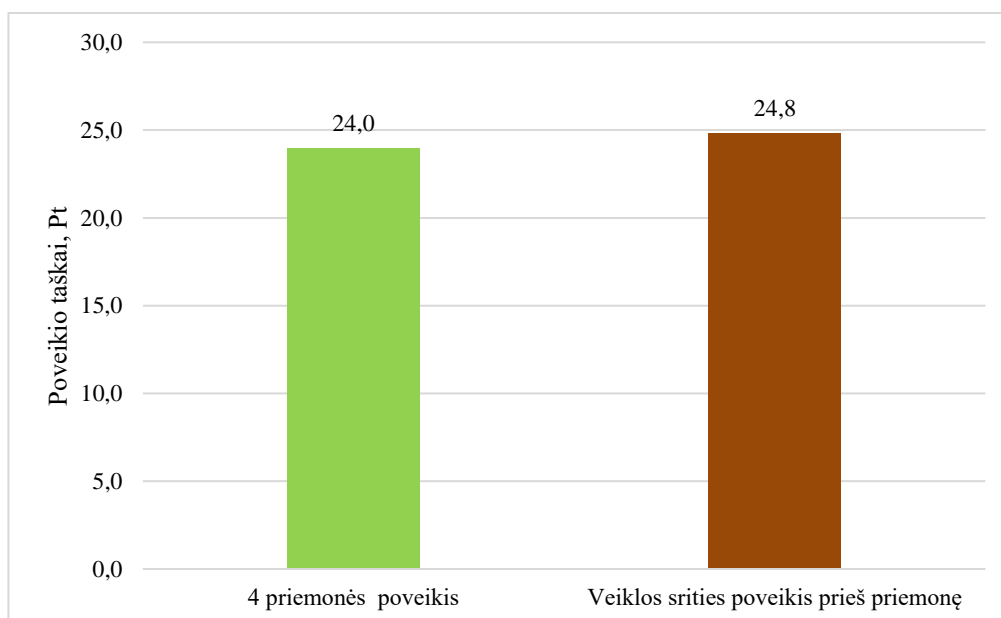
Priemonė Nr. 3, kg CO ₂ eq	Veiklos sritis (kitos energijos ir kuro sąnaudos), kg CO ₂ eq
390 113 (esama situacija)	1 590 228 (esama situacija)
8 (perskaičiuojant pagal funkcinį vieneta)	33 (perskaičiuojant pagal funkcinį vieneta)

Kaip galima matyti iš 32 pav. globalinio atšilimo potencialas taikant priemonę Priemonės Nr. 3 sumažėja net 75 %, o ŠESD emisijos iki 25 kg CO₂ eq/f.v. (14 lentelė).

Galima daryti išvadą, kad žaliosios energijos taikymo priemonė bendrame rezultate sudaro teigiamą poveikį gamtinių dujų perdavimo veikloje. Esminis pastebėjimas, kad vidutinio poveikio elektros energijos sutaupymai žymiai mažesni nei reiktų pagaminti elektros energijos iš atsinaujinančių energijos šaltinių.

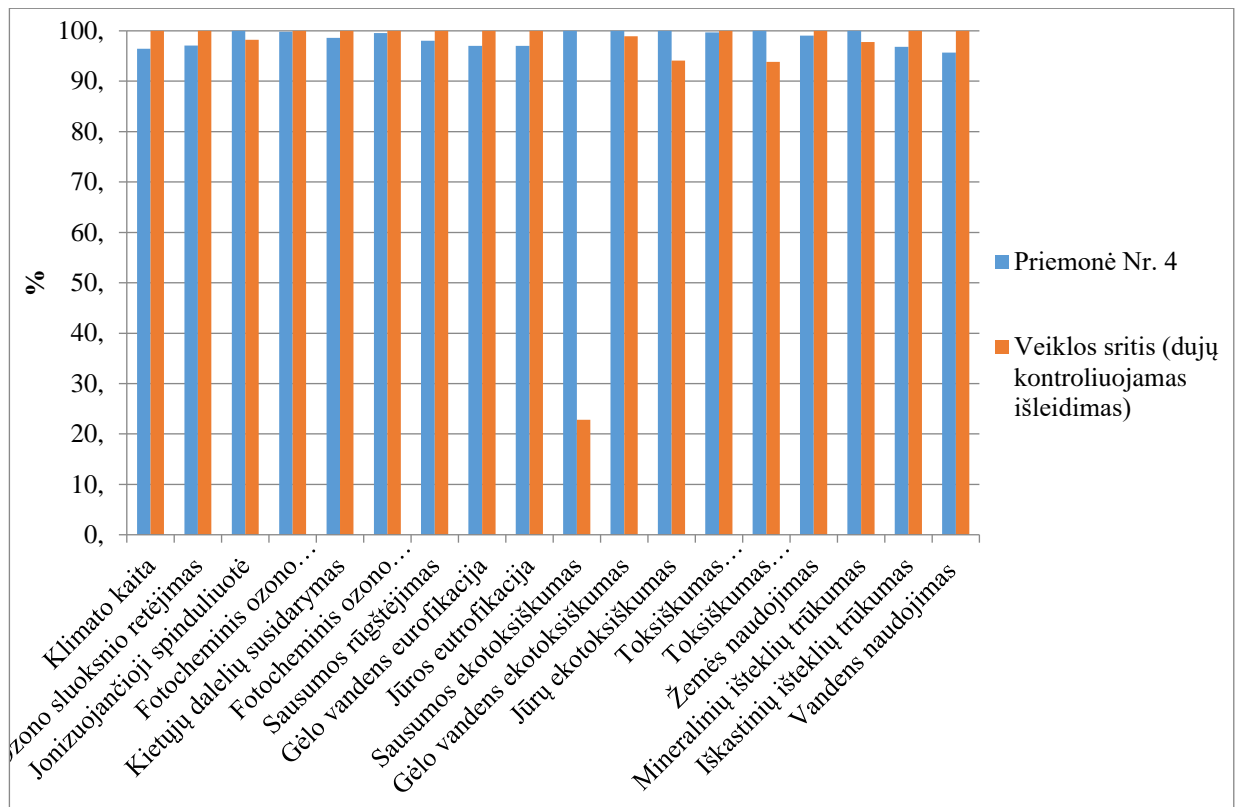
3.2.4. Į aplinką išleidžiamų dujų transportavimas dujovežiais į dujų skirstymo stotis (mažinamas kontroliuojamo dujų nuotėkio poveikis) (Priemonė Nr. 4)

Remiantis dujų perdavimo veiklos sritimi, priemonė Nr. 4 taikoma kontroliuojamo dujų išleidimo poveikiui mažinti. Veiklos poveikis sumažinamas, kai į aplinką išleidžiamos dujos yra surenkamos į dujovežius, kurie nuvežami į dujų skirstymo stotis ir jose išleidžiamos, kad vėl būtų grąžinamos į dujų tinklą. Šios priemonės teigiamas poveikis gamtinių dujų sutaupymai, bet tuo pačiu sukuriamas ir neigiamas poveikis – papildomai sudeginama 9 400 litrai dyzelino transporto priemonėse.



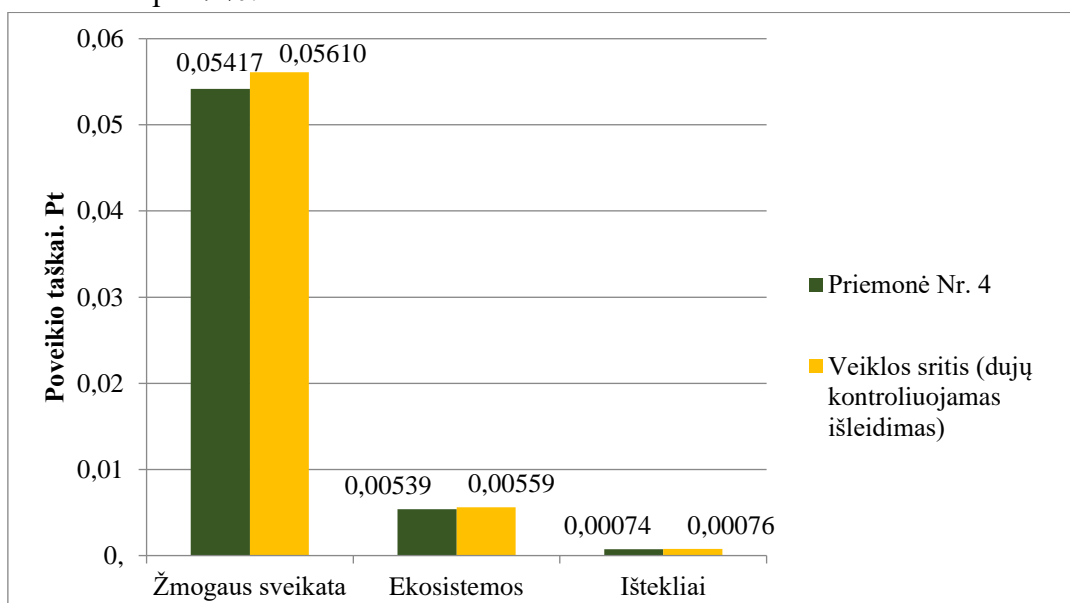
31 pav. Priemonės Nr. 4 (dujų transportavimas dujovežiais) poveikio aplinkai tyrimo suminis palyginimas naudojant ReCiPe Endpoint (H) metodą

Gamtinių dujų transportavimo dujovežiais priemonės poveikis teigiamai veikia poveikį aplinkai, sumažėjimo skirtumas 0,8 Pt, t.y. 3,2 %. Šis žymų poveikio aplinkai sumažėjimą lemia tai, kad metano dujų kontroliuojamas išleidimas ir sudaro didžiausią poveikį aplinkai visoje gamtinių dujų perdavimo sistemoje.



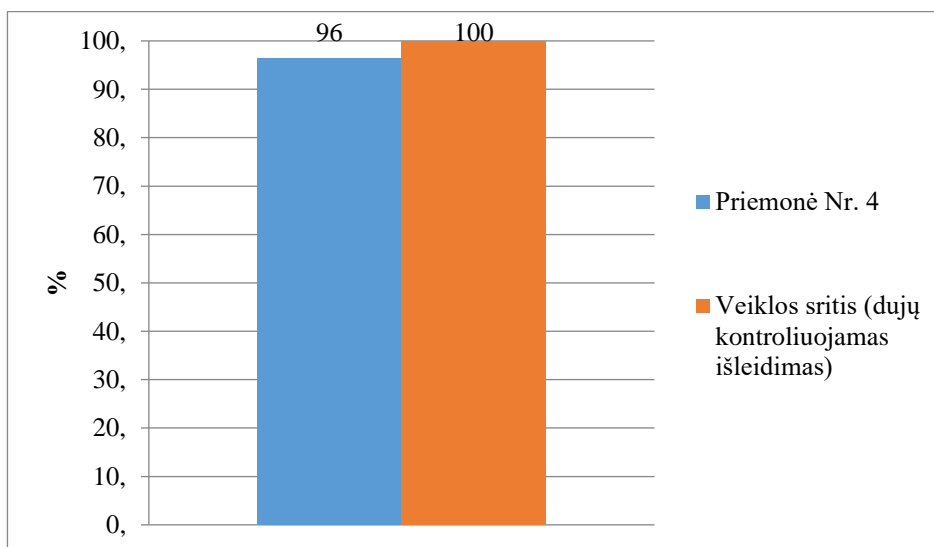
32 pav. Priemonės Nr.4 (dujų transportavimas dujovežiais) ir veiklos srities charakterizuotas poveikis aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose

Būvio ciklo analizės charakterizavimo rezultatai atsispindintys 34 pav., parodo, kad sumažėjusio poveikio aplinkai kategorijose yra labai nedaug. Klimato kaitos kategorijos poveikio sumažėjimas vos apie 4 %, ozono sluoksnio retėjimo ir iškastinių išteklių trūkumo kategorijos sumažėja labai minimaliai 2-3 %, sausumos rūgštėjimo kategorija 0,5 %. Visose likusiose kategorijose priemonės Nr. 4 taikymas sukelia didesnius poveikius aplinkai nei buvo prieš tai, pavyzdžiui sausumos ekotoksiškumas padidėjo 77 %, gėlo vandens ekotoksiškumas 1 %, nekancerogeninis toksiškumas žmonėms apie 7 %.



33 pav. Priemonės Nr.4 (dujų transportavimas dujovežiais) ir veiklos srities normalizuotas poveikio aplinkai pagal žalos kategorijas palyginimas (Metodas: ReCiPe 2016 Endpoint (H) V1.04)

Dujų kontroliuojamo išleidimo ir Priemonės Nr. 4 poveikio aplinkai vertinimo rezultatai pagal žalos kategorijas parodo, kad didžiausia įtaka aplinkai sumažinama, taikant priemonę, žmogaus sveikatos kategorijoje 0,014 Pt, ekosistemų – 0,05 Pt ir išteklių – 0,00002 Pt.



34 pav. Priemonės Nr. 4 (dujų transportavimas dujovežiais) ir veiklos srities poveikio aplinkai tyrimo bendras palyginimas naudojant IPCC 2013 GWP 100a V1.03 metodą

15 lentelė. Priemonės Nr. 4 ir veiklos srities globalinio atšilimo vertinimas kg CO₂ eq

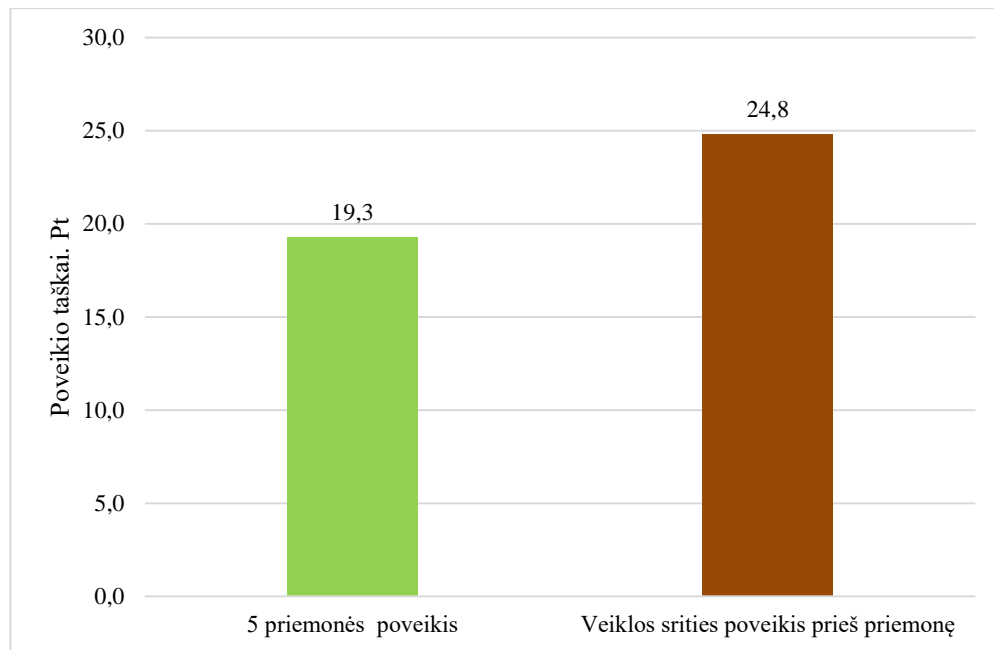
Priemonė Nr. 4, kg CO ₂ eq	Veiklos sritis (dujų kontroliuojamas išleidimas), kg CO ₂ eq
55 754 308 (esama situacija)	57 790 150 (esama situacija)
1 159 (perskaičiuojant pagal funkcinį vienetą)	1 201 (perskaičiuojant pagal funkcinį vienetą)

Globalinis atšilimo potencialas taikant priemonę Priemonės Nr. 4 sumažėja vos 4 %, o ŠESD emisijos sumažėja 42 kg CO₂ eq/f.v. (13 lentelė).

Kaip ir prieš tai minėta, šis sumažėjęs poveikis gaunamas, sutaupant į aplinką išleidžiamų dujų kiekio. Normalizavimo grafike aiškiai atsispindi poveikio aplinkai sumažėjimai. Charakterizavimo grafike, parodoma, kad daugumoje kategorijų poveikis aplinkai padidėja. Šiuos padidėjimus skatina dyzelinio kuro sunaudojimas dujovežių, kaip transporto priemonių naudojime.

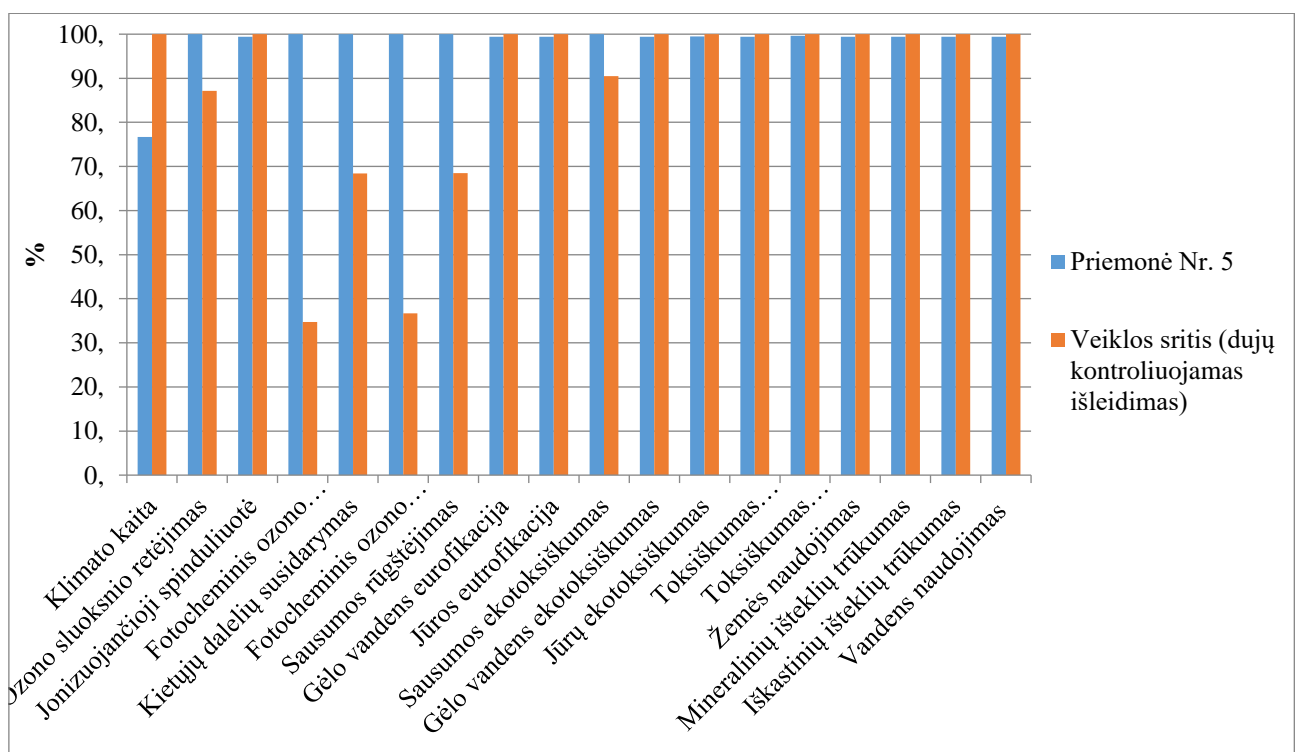
3.2.5. Mobilus fakelo įsigijimas ir panaudojimas (mažinamas kontroliuojamo dujų nuotėkio poveikis) (Priemonė Nr. 5)

Kaip ir priemonė Nr. 4, taip ir priemonė Nr. 5 skirta mažinti poveikį aplinkai kontroliuojamo dujų išleidimo sričiai. Šiuo atveju priemonė Nr. 4 skirta sutaupyti 701 440 m³ gamtinių dujų kiekio, kuris be priemonės taikymo išleidžiamas į aplinkos orą. Priemonės esminis aspektas mobilus fakelo įsigijimas, kuris būtų naudojamas dujoms sudeginti. Šis dujų deginimas būtų panaudojamas, kai vykdomi vamzdynų remonto darbai.



35 pav. Priemonės Nr. 5 (mobilus fakelas) poveikio aplinkai tyrimo suminis palyginimas naudojant ReCiPe Endpoint (H) metodą

Bendri suminiai poveikio taškų rezultatai remiantis ReCiPe Endpoint (H) metodiką parodo, kad priemonės Nr. 5 taikymas sumažina poveikį aplinkai 5,5 Pt, o tai sudaro apie 22,4 % sumažėjimą (37 pav.).

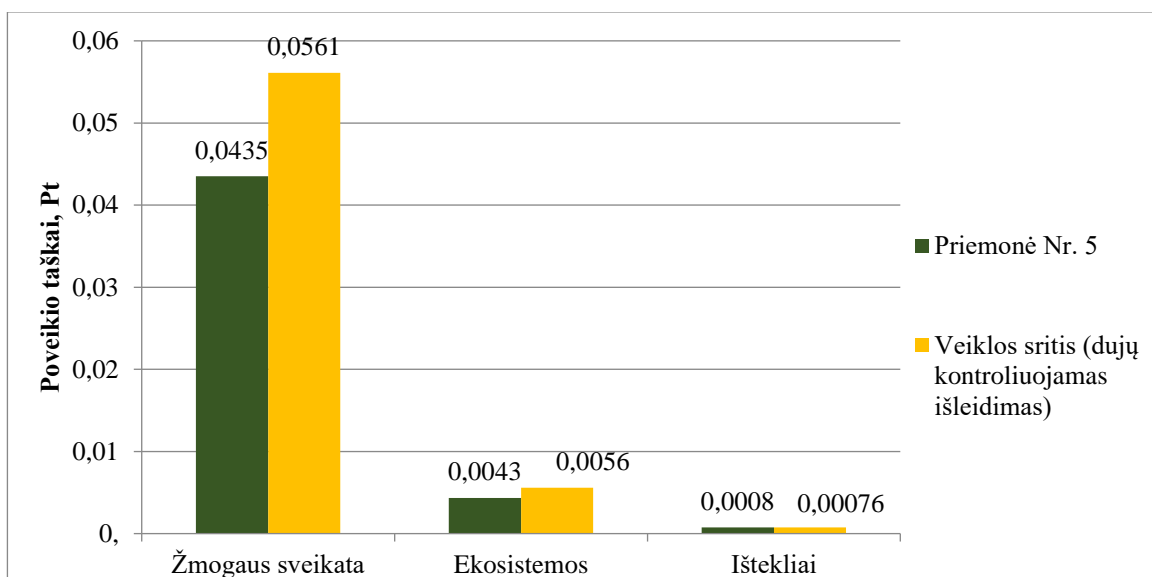


36 pav. Priemonės Nr.5 (mobilus fakelas) ir veiklos srities charakterizuotas poveikis aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose

Atsižvelgiant į charakterizavimo grafiką, Priemonė Nr. 5 mobilus fakelas dujų deginimui sumažina poveikį aplinkai vos iki 1 % vienuolikoje kategorijų iš aštuoniolikos. Poveikis klimato kaitai

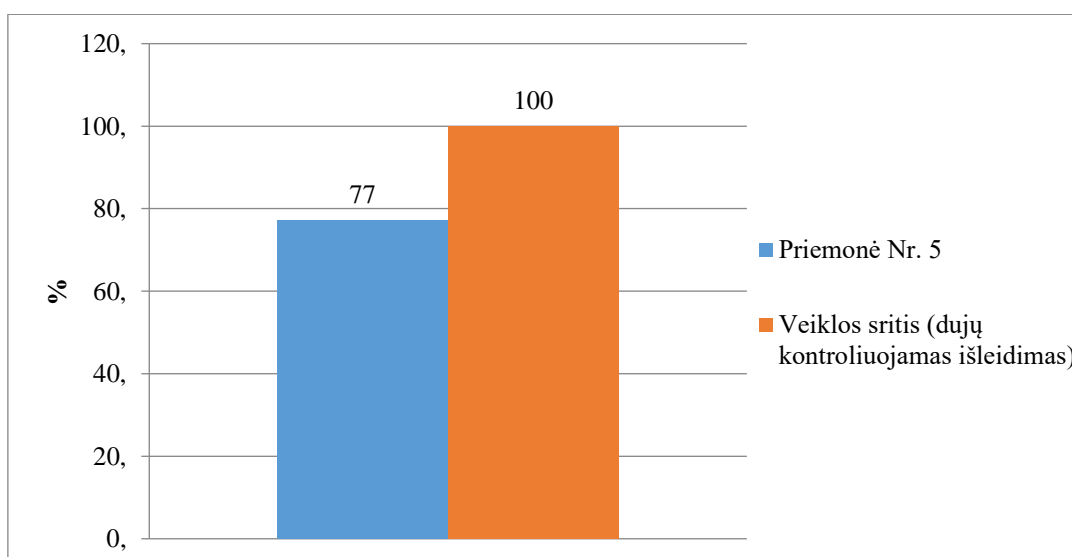
sumažėja 23 %. Visose kitose poveikio aplinkai kategorijose priemonė didina poveikius: fotocheminis ozono susidarymas padidėja net 65 %, ozono sluoksnio retėjimas 13 %, kietųjų dalelių susidarymas apie 30 %.

Tokių poveikio padidėjimą skatina degimo procesas su išsiskiriančiomis emisijomis į orą.



37 pav. Priemonės Nr.5 (mobilus fakelas) ir veiklos srities normalizuotas poveikio aplinkai pagal žalos kategorijas palyginimas (Metodas: ReCiPe 2016 Endpoint (H) V1.04)

Būvio ciklo vertinimo normalizuoti priemonės Nr. 5 ir dujų kontroliuojami išleidimo veiklos srities rezultatai taip pat didžiausi žmogaus sveikatos žalos kategorijoje. Pokytis esantis šioje poveikio kategorijoje 0,0126 Pt. Ekosistemų žalos kategorijos sumažėjimas 0,0013 Pt, o išteklių kategorija 0,00004 Pt.



38 pav. Priemonės Nr. 5 (mobilus fakelas) ir veiklos srities poveikio aplinkai tyrimo bendras palyginimas naudojant IPCC 2013 GWP 100a V1.03 metodą

16 lentelė. Priemonės Nr. 5 ir veiklos srities globalinio atšilimo vertinimas kg CO₂ eq

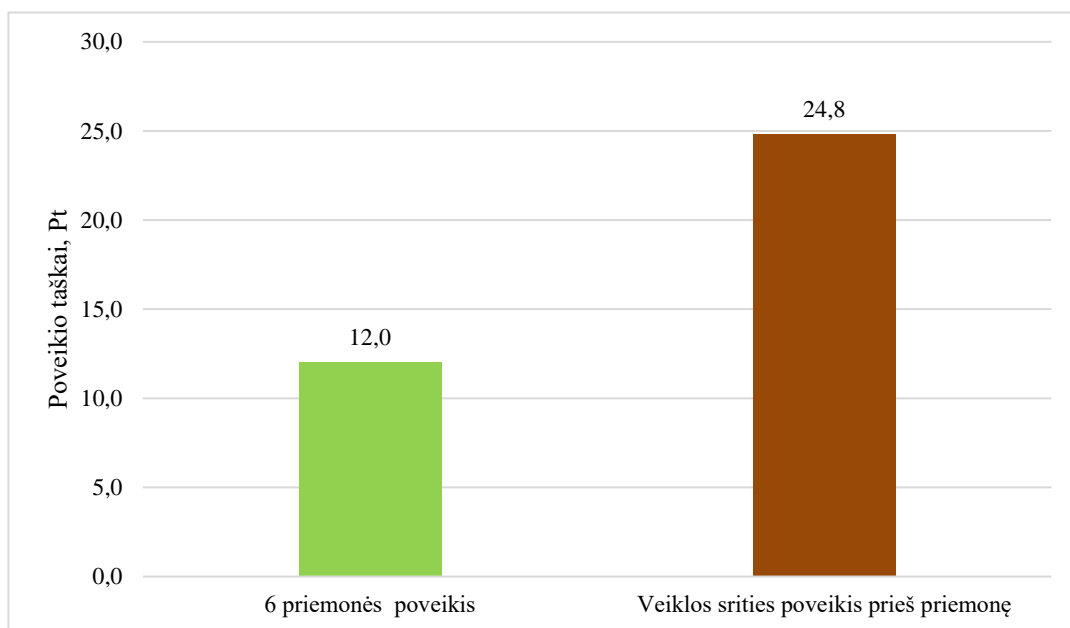
Priemonė Nr. 5, kg CO ₂ eq	Veiklos sritis (dujų kontroliuojamas išleidimas), kg CO ₂ eq
44 560 355 (esama situacija)	57 790 150 (esama situacija)
926 (perskaičiuojant pagal funkcinį vienetą)	1 201 (perskaičiuojant pagal funkcinį vienetą)

Priemonė Nr. sumažina globalinio atšilimo potencialą 23 %, o ŠESD sumažėja 275 kg CO₂ eq/f.v.

Bendrai visas priemonės Nr. 5 poveikis aplinkai sumažinamas lyginant esamą situaciją. Gauti rezultatai parodo, kad gamtinių dujų deginimas fakele sukelia mažesnę poveikį nei dujas tiesiogiai išmetant į aplinką.

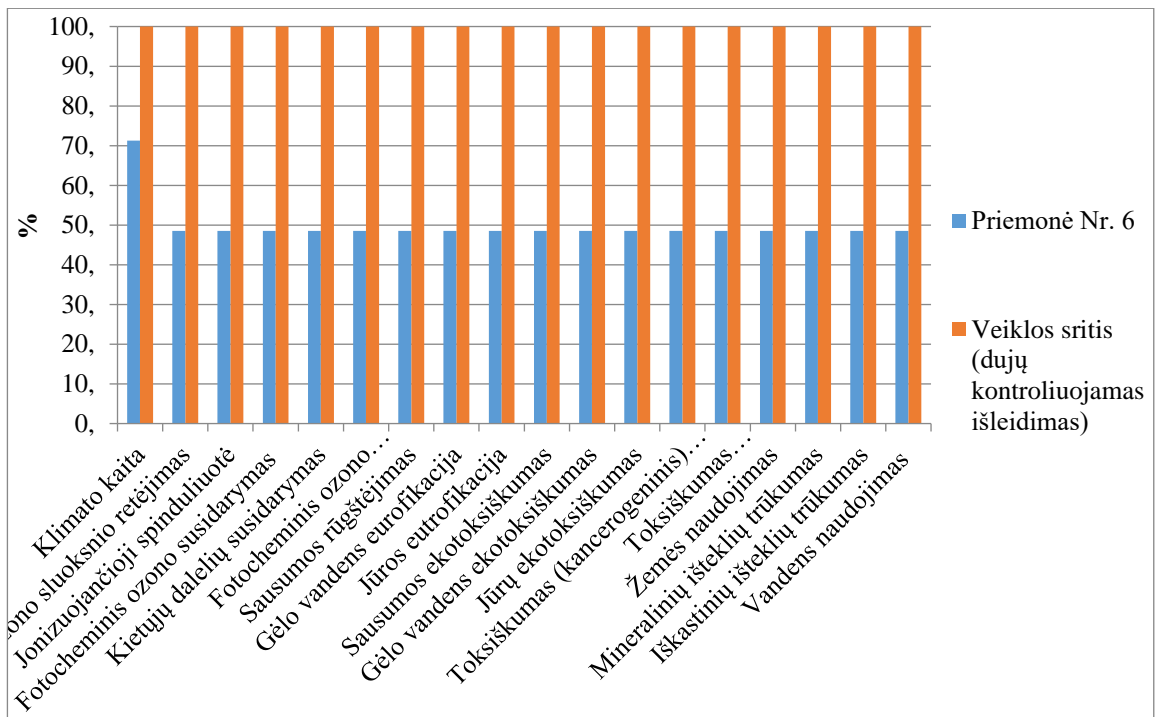
3.2.6. Dujotiekių remontas taikant įsipjovimą (mažinamas kontroliuojamo dujų nuotėkio poveikis) (Priemonė Nr. 6)

Priemonė Nr. 6 taikoma taip pat kontroliuojamo dujų išleidimo veiklai. Priemonė remiasi STOPPLE technologija, kai dujotiekio vamzdyno remonto metu, remontuojama zona izoliuojama kamščiais ir padaromas dujų apvadas. Ši priemonė taikytina tik tais atvejais, kai planuojamas dujų išleidimas viršija 100 000 m³. Numatomas teigiamas poveikis – 395 000 m³ sutaupymai, o neigiamų padarinių ši priemonė nesudaro.



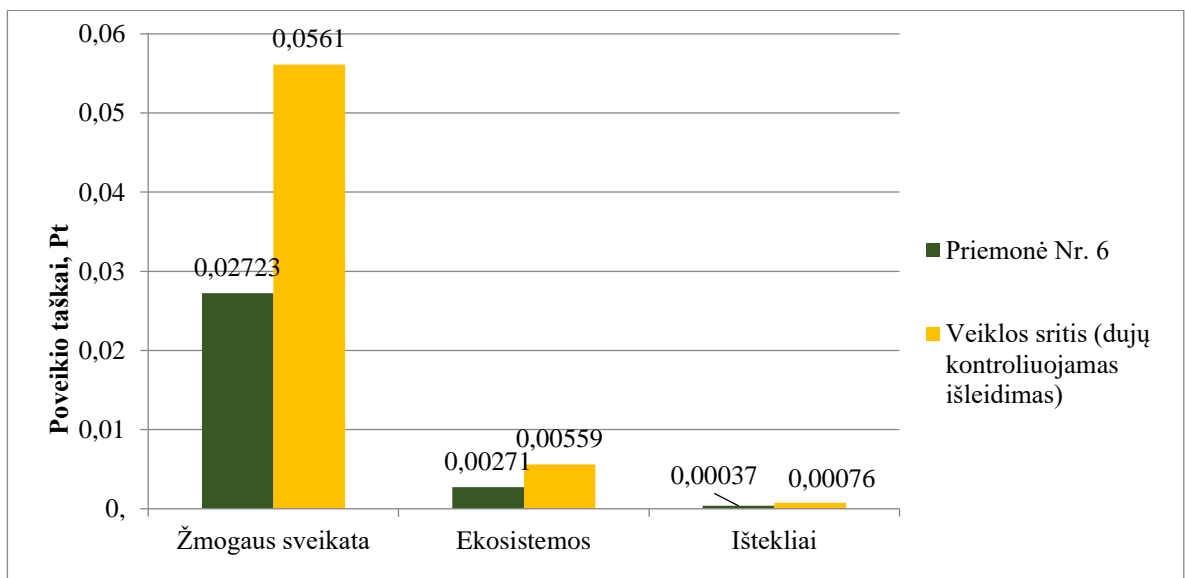
39 pav. Priemonės Nr. 6 (remontas taikant įsipjovimą) poveikio aplinkai tyrimo suminis palyginimas naudojant ReCiPe Endpoint (H) metodą

Iš 41 pav. rezultatų diagramos galima matyti, kad pagal bendrus suminius rezultatus Priemonės Nr. 6 taikymas sumažina veiklos srities poveikį 12,8 Pt, kuris šiuo atveju sudaro beveik 51,5 %.



40 pav. Priemonės Nr.6 (remontas taikant įsipjovimą) ir veiklos srities charakterizuotas poveikis aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose

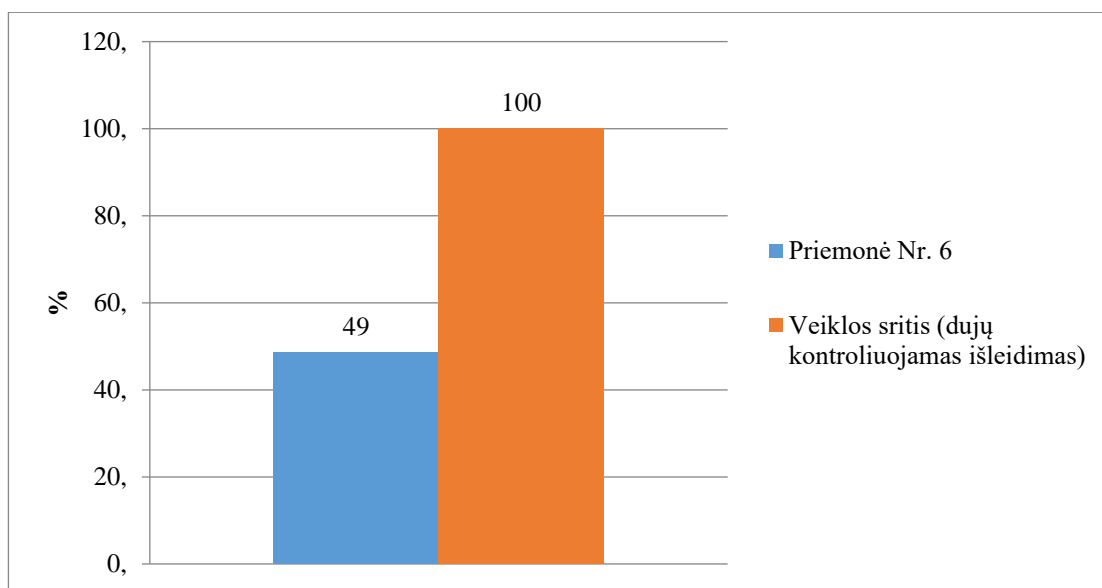
Norint sumažinti didžiausią efektą aplinkai darančios veiklos srities – dujų kontroliuojamas išleidimas į aplinką, poveikį, pasiūlyta priemonė Nr. 6, kurios pagrindinis aspektas dujotiekio remonto metu taikoma įsipjovimo technologija. Gauti charakterizavimo rezultatai rodo, kad priemonės sumažėjimas visose poveikio aplinkai kategorijose. Klimato kaitos poveikis sumažėjo apie 29 %, o visos kitos likusios kategorijos sumažėjo vienodai 51,5 %. Neigiamų poveikio padidėjimų šioje siūlomoje priemonėje Nr. 6 nėra.



41 pav. Priemonės Nr.6 (remontas taikant įsipjovimą) ir veiklos srities normalizuotas poveikio aplinkai pagal žalos kategorijas palyginimas (Metodas: ReCiPe 2016 Endpoint (H) V1.04)

Normalizuoto poveikio priemonės Nr. 6 ir veiklos srities palyginime didžiausias poveikis sukiamas žmogaus sveikatai, bet priemonės taikymas šį poveikį sumažina 0,029 Pt. Kita pagal poveikio dydį

yra ekosistemų žalos kategorija, kuri dėl priemonės sumažinama 0,0029 Pt, o mažiausias poveikis išteklių kategorijoje, kuris taip pat sumažinamas 0,0004 Pt.



42 pav. Priemonės Nr. 6 (remontas taikant įsipjovimą) ir veiklos srities poveikio aplinkai tyrimo bendras palyginimas naudojant IPCC 2013 GWP 100a V1.03 metodą

17 lentelė. Priemonės Nr. 6 ir veiklos srities globalinio atšilimo vertinimas kg CO₂ eq

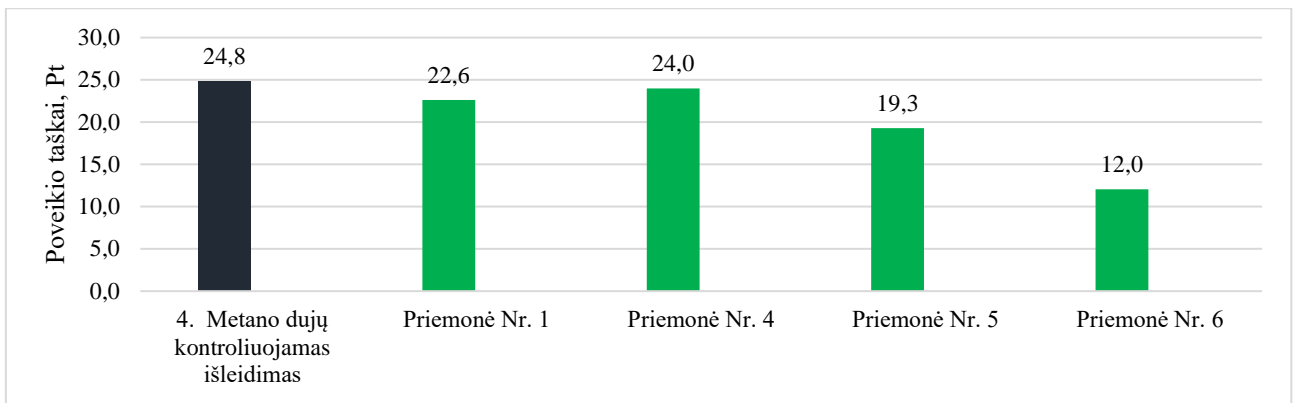
Priemonė Nr. 6, kg CO ₂ eq	Veiklos sritis (dujų kontroliuojamas išleidimas), kg CO ₂ eq
28 046 511 (esama situacija)	57 790 150 (esama situacija)
583 (perskaičiuojant pagal funkcinį vienetą)	1 201 (perskaičiuojant pagal funkcinį vienetą)

Globalinis atšilimo potencialas taikant priemonę Priemonės Nr. 4 sumažėja 51 %, o ŠESD sumažėja 618 kg CO₂ eq/f.v. (17 lentelė).

Galutiniai priemonės Nr. 6 rezultatai parodo, kad taikoma įsipjovimo technologija STOPPLE leistų sutaupyti labai daug gamtinių dujų kiekio, kurie turėtų didelį pokytį dujų kontroliuojamo išleidimo srityje. Šiuo metu technologija daugiausia naudojama JAV, todėl nėra labai plačiai naudojama Europoje, dėl reikalaujamų standartų, bet šaltiniai nurodo, kad pradėta siūlyti izoliacinė armatūra leidžianti atitikti EN-13480 Europos standartą [38], [39].

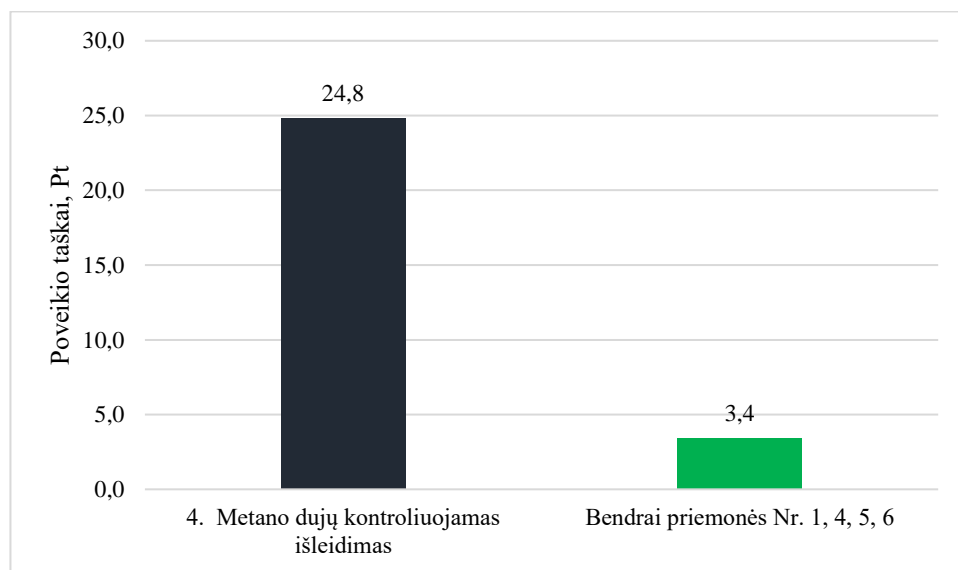
3.2.7. Veiklos sričių ir poveikio aplinkai mažinimo priemonių palyginimas

Gamtinių dujų perdavimo veiklos aplinkosauginio pėdsako mažinimui svarbu išsirinkti, kurios poveikį mažinančios priemonės efektyvesnės ir darančios didesnę naudą nei kitos. Dėl šios priežasties reikalingas priemonių palyginimas.



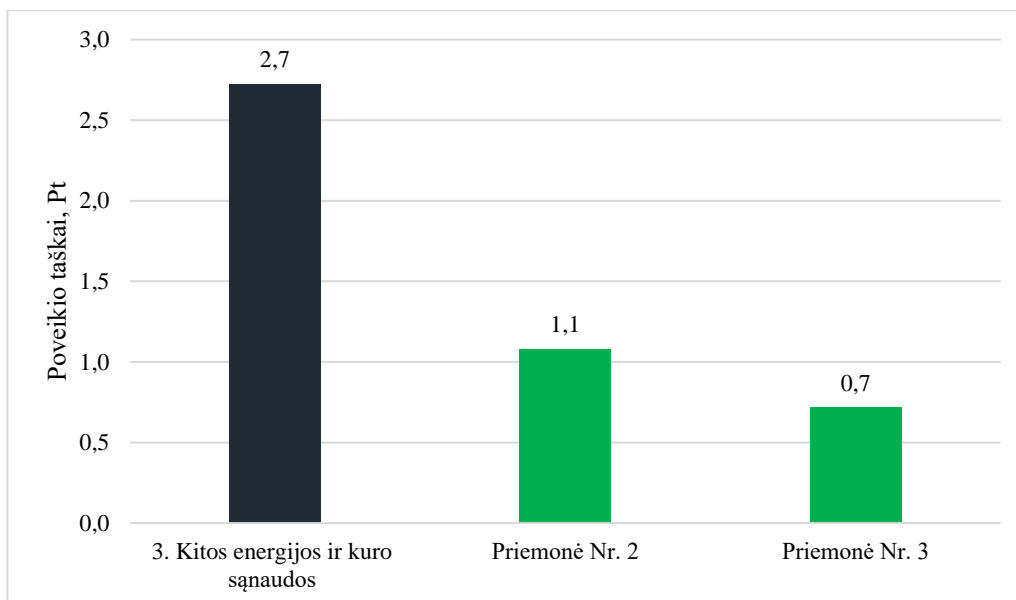
43 pav. Metano dujų kontroliuojamo išleidimo veiklos srities ir poveikio aplinkai mažinimo priemonių

Kaip galima matyti 45 pav., metano dujų kontroliuojamo išmetimo veiklos srities pasiūlytų poveikio aplinkai vertinimo priemonių didžiausias teigiamas poveikis - priemonės Nr. 6 (dujotiekių remontas taikant išipjovimą), kai skirtumas nuo veiklos srities – 12,8 Pt. Priemonė Nr. 5 (mobilaus fakelo išigijimas ir panaudojimas) sudaro antrą pagal poveikį aplinkai reikšmingiausią rezultatą – skirtumas nuo veiklos srities 5,5 Pt. Mažiausią skirtumą nuo veiklos srities sudaro Priemonė Nr. 4 (į aplinką išleidžiamų dujų transportavimas dujovežiais į dujų skirstymo stotis).



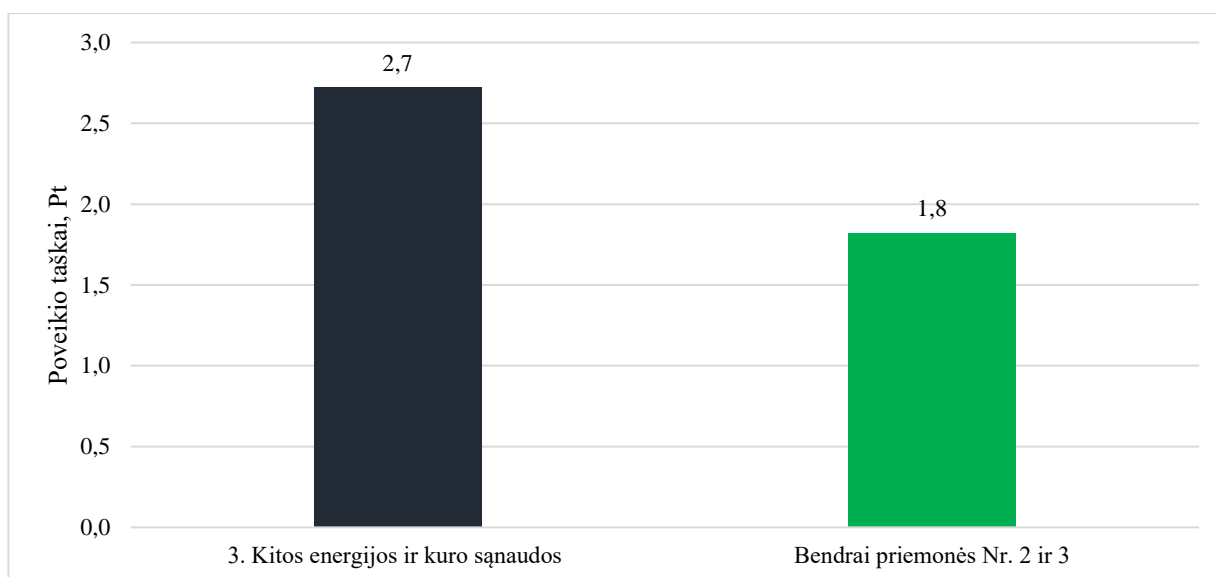
44 pav. Suminis metano dujų kontroliuojamo išleidimo veiklos srities ir poveikio aplinkai mažinimo priemonių palyginimas

Kontroliuojamas gamtinių dujų išleidimas sudaro didžiausią poveikį aplinkai iš visų perdavimo veiklos sričių. Bendras visų gautas visų priemonių teigiamas poveikis aplinkai sudaro 21,4 Pt, o tai sudaro 86,3 % poveikio aplinkai sumažėjimo.



45 pav. Kitos energijos ir kuro sąnaudų veiklos srities ir poveikio aplinkai mažinimo priemonių palyginimas

Priemonių aplinkosauginio pėdsako kitos energijos ir kuro sąnaudų veiklos srities vertinime parodo, kad mažesnę poveikį aplinkai daro priemonė Nr. 3 (elektros energijos gamyba nuosavose/nutolusiose saulės elektrinėse arba perkama žaliaji elektra su kilmės garantija), skirtumas nuo veiklos srities yra 2 Pt, o priemonės Nr. 2 (administracinių automobilių su vidaus degimo varikliais keitimas į elektromobilius) poveikio taškai 1,6 Pt.



46 pav. Suminis kitos energijos ir kuro sąnaudų veiklos srities ir poveikio aplinkai mažinimo priemonių palyginimas

Kita gamtinių dujų perdavimo veiklos vertinta sritis - kita energija ir kuro sąnaudos, kuriai pasiūlytos dvi poveikio aplinkai mažinimo priemonės. Gauta, kad bendras poveikio aplinkai sumažėjimas sudaro 0,9 Pt, arba 33,3 %.

18 lentelė. Bendras funkcinio vieneto poveikio aplinkai mažinimo priemonių būvio ciklo vertinimo palyginimas

Priemonė	Poveikio taškai, Pt			Žmogaus sveikata, Pt			ŠESD, kg CO ₂		
	Prieš (veiklos sritis)	Po	%	Prieš (veiklos sritis)	Po	%	Prieš (veiklos sritis)	Po	%
1	24,8	22,6	86,3	0,056	0,051	85,7	1201	1094	86,8
4		24			0,054			1159	
5		19,2			0,0435			926	
6		12			0,0272			583	
2	1,4	1,1	33,3	0,0031	0,0024	20,4	34	15	65,7
3	1,3	0,7		0,0028	0,0012		33	8	

Funkcinio vieneto poveikio taškai prieš priemonių taikymą veiklos srityje - metano dujų kontroliuojamas išleidimas - sudarė 24,8 Pt, o priemonių taikymas šį pokytį sumažino 86,3 %. Veiklos sritis – kita energija ir kuro sąnaudos prieš priemonės sudarė 2,7 Pt poveikį aplinkai, o po – 33,3 % sumažėjimą.

Žmogaus sveikatos poveikio kategorijoje metano išleidimo veikla prieš priemonių vertinimą sudarė 0,056 Pt, priemonių taikymas poveikį žmogaus sveikatai sumažina 85,7 %. Energijos ir kuro veikloje poveikis žmogaus veikloje sudarė 0,0059 Pt, o po priemonių šis skaičius sumažėjo 20,4 %.

ŠESD emisijų vertinime metano dujų išleidimo veiklos srityje poveikis prieš priemonių taikymą yra 1201 kg CO₂ ekv., o po priemonių sumažėjimas – 86,8 %. Kitos energijos ir kuro sąnaudų srityje esama situacija prieš priemones sudaro 67 kg CO₂ ekv., o po priemonių sumažėja 65,7 %. Veiksmingiausios priemonės: dujotiekių remontas taikant įsipjovimą (STOPPLE tipo technologija) ir elektros energijos gamyba nuosavose/nutolusiose saulės elektrinėse arba žaliosios elektros su kilmės garantija pirkimas.

19 lentelė. Palyginamieji gamtinių dujų perdavimo veiklos sričių poveikių aplinkai rezultatai

Veiklos sritis	Esamos situacijos gamtinių dujų perdavimo veiklos sričių poveikis aplinkai, Pt	Gamtinių dujų perdavimo veiklos sričių poveikis aplinkai po priemonių pritaikymo, Pt
1. Dujų transportavimas	22	22
2. Dujotiekio infrastruktūra	5,4	5,4
3. Kitos energijos ir kuro sąnaudos	2,7	2,7 – 0,9 = 1,8
4. Metano dujų kontroliuojamas išleidimas	24,8	24,8 – 21,4 = 3,4
5. Eksploatacinės medžiagos	0,01	0,01
6. Darbo apranga ir jų atliekų tvarkymas	0,01	0,01
7. Atliekos ir jų tvarkymas	-2,3	-2,28

Veiklos sritis	Esamos situacijos gamtinių dujų perdavimo veiklos sričių poveikis aplinkai, Pt	Gamtinių dujų perdavimo veiklos sričių poveikis aplinkai po priemonių pritaikymo, Pt
8. Vanduo ir nuotekos	0,002	0,002
9. Administravimas (popierius, toneris, IT įranga)	0,01	0,01
Poveikis (suma)	52,68	30,38

Bendrai viso gamtinių dujų perdavimo veiklos aplinkosauginis pėdsakas dėl priemonių taikymo sumažėtų iki 57 % (Viso poveikio taškų po inventorinės poveikio aplinkai analizės: 52,68 Pt ir po priemonių aplinkos poveikiui pritaikymo inventorinės analizės veikloms – 30,38 Pt).

Išvados

1. Literatūroje teigiama, kad gamtinės dujos mažiausiai anglies dioksido (CO₂) išmetantis iškastinis kuras, bet tuo pačiu gamtines dujas daugiausia sudaro metanas – stiprios šiltnamio efektą sukeliančios dujos. Atlikti tyrimai atkreipia dėmesį, kad dėl senų ar nekokybiškų vamzdinių sistemos galimi gamtinių dujų nuotėkiai.
2. Gautas bendras būvio ciklo inventorinės duomenų ir kokybės analizės rezultatas rodo, kad bendra duomenų kokybė – 2 (gera), tai reiškia, jog duomenys patikrinti, iš dalies pagrįsti prielaidomis ir matavimais, išsamumas - geras (80 - 90 %), laikotarpio reprezentatyvumas – 3 metai (įvertis – gera), geografiškai dažniausiai pasirenkamas regionas duomenų bazėse – Europa.
3. Atlikus gamtinių dujų perdavimo veiklos būvio ciklo vertinimą nustatyta, kad pagrindinės probleminės veiklos sritys: metano dujų kontroliuojamas išleidimas (dažniausiai dėl remonto darbų) – 47 %; dujų transportavimas (nekontroliuojamas dujų nuotėkis) – 42 %; dujotiekio infrastruktūra (žemės naudojimas) – 10 %; kitos energijos ir kuro sąnaudos – 5%.
4. Parinktos šešios poveikio mažinimo priemonės: mobilaus dujų kompresoriaus panaudojimas; vidaus degimo variklių automobilių keitimas į elektromobilius; žaliosios energijos naudojimas; dujų transportavimas dujovežiais iki dujų skirstymo stočių; fakelo panaudojimas; dujotiekio remontas taikant įsipjovimo technologiją. Iš pasiūlytų poveikio aplinkai vertinimo priemonių, metano dujų kontroliuojamo išmetimo veiklos sričiai, didžiausias teigiamas poveikis - priemonė Nr. 6 (dujotiekių remontas taikant įsipjovimą), kai skirtumas nuo veiklos srities – 12,8 Pt. Priemonė Nr. 5 (mobilaus fakelo įsigijimas ir panaudojimas) sudaro antrą pagal poveikį aplinkai reikšmingiausią rezultatą – skirtumas nuo veiklos srities 5,5 Pt. Mažiausią skirtumą nuo veiklos srities sudaro Priemonė Nr. 4 (į aplinką išleidžiamų dujų transportavimas dujovežiais į dujų skirstymo stotis). Priemonių aplinkosauginio pėdsako vertinimas kitos energijos ir kuro sąnaudų veiklos srityje parodo, kad iš dviejų priemonių mažesnę poveikį aplinkai daro priemonė Nr. 3 (elektros energijos gamyba nuosavose/nutolusiose saulės elektrinėse arba perkama žalioji elektra su kilmės garantija), skirtumas nuo veiklos srities yra 2 Pt. Priemonės Nr. 2 (administracinių automobilių su vidaus degimo varikliais keitimas į elektromobilius) poveikio taškų skirtumas nuo veiklos srities poveikio taškų 1,6 Pt.
5. Didžiausias poveikis aplinkai – dujų kontroliuojamas išleidimas, todėl keturios iš šešių priemonių skirtos sumažinti būtent šios veiklos srities poveikį aplinkai, o kitos dvi kitos energijos ir kuro sąnaudų sričiai. Kontroliuojamas gamtinių dujų išleidimas sudaro didžiausią poveikį aplinkai iš visų perdavimo veiklos sričių. Bendras visų gautas visų priemonių teigiamas poveikis dujų kontroliuojamo išleidimo sričiai aplinkai sudaro 21,4 Pt, o tai sudaro 86,3 % poveikio aplinkai sumažėjimo. Kita gamtinių dujų perdavimo veiklos vertinta sritis - kita energija ir kuro sąnaudos, kuriai pasiūlytos dvi poveikio aplinkai mažinimo priemonės. Gauta, kad bendras poveikio aplinkai sumažėjimas pastarajai veiklos sričiai sudaro 0,9 Pt, arba 33,3 %. Žmogaus sveikatos poveikio kategorijoje metano išleidimo veikla po priemonių taikymo sumažėja net 85,7 %. Energijos ir kuro veikloje poveikis žmogaus veikloje po priemonių skaičius sumažėjo 20,4 %. ŠESD emisijų vertinime metano dujų išleidimo veiklos srityje poveikio po priemonių sumažėjimas – 86,8 % (prieš - 1201 kg CO₂ ekv.). Kitos energijos ir kuro sąnaudų srityje esama situacija po priemonių sumažėja 65,7 %, kai prieš priemonę 67 kg CO₂ ekv.. Bendrai viso gamtinių dujų perdavimo veiklos aplinkosauginis pėdsakas dėl priemonių taikymo sumažėtų iki 57 % (iš viso bendrai poveikio taškų po inventorinės poveikio aplinkai analizės: 52,68 Pt, po priemonių taikymo poveikis – 30,38 Pt).

Literatūros šaltiniai

1. Europos Parlamentas. ES ir gamtinės dujos: didesnio dujų tiekimo saugumo link (infografikas). [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. kovo 28 d.] Prieiga per internetą: <https://www.europarl.europa.eu/news/lt/headlines/economy/20170911STO83502/es-ir-gamtines-dujos-didesnio-duju-tiekimo-saugumo-link-infografikas>
2. Verslo žinios. Gamtinės dujos ir ilgalaikė SGD terminalo veikla: kokios perspektyvos laukia? [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. kovo 28 d.] Prieiga per internetą: <https://www.vz.lt/paslaugos/2021/02/03/gamtines-dujos-ir-ilgalaikie-sgd-terminalo-veikla-kokios-perspektyvos-laukia#ixzz7OHZ5eI00>
3. Amber Grid. Perdavimo sistema. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. balandžio 2 d.] Prieiga per internetą: <https://www.ambergrid.lt/lt/perdavimo-sistema/Lietuvos-perdavimo-sistema>
4. BP. Natural gas – Statistical Review of World Energy 2021. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. balandžio 11 d.] Prieiga per internetą: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-natural-gas.pdf>
5. Mokhatab S., Poe W. A., Mak J. Y. Handbook of Natural Gas Transmission and Processing (Fourth Edition) 2019; p. 1-35. Prieiga per internetą: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/B9780128158173000010?token=EF833B2DA115C1F0CE14F59441BCDC577DAC1C623BAD963231BD5DFA1507027E7F49F9396DB03ED6AB6D01CEC93A831E&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220412063355>
6. Riva A., D'Angelosante S., Trebeschi C. Natural gas and the environmental results of life cycle assessment. Journal: Energy. 2006. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544204002464>
7. Grubert E. A., Brandt A. R., Three considerations for modeling natural gas system methane emissions in life cycle assessment. Journal: Cleaner Production. 2019. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619307875>
8. Di Lullo G., Oni A. O., Gemechu E., Kumar A. Developing a greenhouse gas life cycle assessment framework for natural gas transmission pipelines. Journal: Natural Gas Science and Engineering. 2020. Volume 75 Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510019303889>
9. Dedikov J. V., Akopova G. S., Gladkaja N. G., ir kt. Estimating methane releases from natural gas production and transmission in Russia. Journal: Atmospheric Environment. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231098003884?via%3Dihub>
10. AB „Amber Grid“. Gamtinių dujų perdavimo sistemos operatoriaus dešimties metų (2020–2029 m.) tinklo plėtros planas. Prieiga per internetą: https://www.ambergrid.lt/uploads/structure/docs/217_387a0845d9adcaec767a5758e26bd76f.pdf
11. Amber Grid. Lietuvos perdavimo sistema. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. balandžio 11 d.] Prieiga per internetą: <https://www.ambergrid.lt/lt/perdavimo-sistema/Lietuvos-perdavimo-sistema>
12. Urmonas A., Kanapinskas V. Teisinio reguliavimo aktualijos Lietuvos gamtinių dujų rinkoje. Socialinių mokslų studijos. Prieiga per internetą: <https://repository.mruni.eu/bitstream/handle/007/11296/1353-2584-1-SM.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

13. European Commission. Questions and Answers on the EU Taxonomy Complementary Climate Delegated Act covering certain nuclear and gas activities. Prieiga per internetą: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/QANDA_22_712
14. Anderson K., Broderick J. Natural gas and climate change. Prieiga per internetą: https://www.foeeurope.org/sites/default/files/extractive_industries/2017/natural_gas_and_climate_change_anderson_broderick_october2017.pdf
15. Navickas K., Venslauskas K. Biomasės būvio ciklo analizė. Mokomoji knyga. Aleksandro Stulginskio universitetas. Prieiga per internetą: http://www.esparama.lt/es_parama_pletra/failai/ESFproduktai/2012_Biomases_buvio_ciklo_analize_mokomoji_knyga.pdf
16. Life Cycle Assessment of Overhead and Underground Primary Power Distribution. Journal: Environmental Science and Technology. Prieiga per internetą: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es9037879>
17. Norwegian University of Science and Technology, Open. Environmental consequences of electricity transmission and distribution - a life cycle perspective. Prieiga per internetą: <http://hdl.handle.net/11250/235341>
18. Research trends in life cycle assessment research: A 20-year bibliometric analysis (1999–2018). Journal: Environmental Impact Assessment Review. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195925519305712>
19. Aksyutin O. E., Ishkov A. G., Romanov K. V. The carbon footprint of natural gas and its role in the carbon footprint of energy production. International Journal of GEOMATE. 2018. <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/908/774>
20. Houses of Parliament. Parliament Poffice of Science and Technology. Carbon Footprint of Electricity Generation. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. balandžio 14 d.] Prieiga per internetą: https://www.parliament.uk/globalassets/documents/post/postpn_383-carbon-footprint-electricity-generation.pdf
21. Alvarez S. Carballo-Penela, A. Mateo-Mantecón, I. & Rubio A. Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats analysis of carbon footprint indicator and derived recommendations. Journal: Cleaner Production. 2014; p. 238-247. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616001736>
22. Stephanie Baldwin. POST. Carbon footprint of electricity generation. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. balandžio 14 d.] Prieiga per internetą: http://www.geni.org/globalenergy/library/technical-articles/carbon-capture/parliamentary-office-of-science-and-technology/carbon-footprint-of-electricity-generation/file_9270.pdf
23. United States Environmental Protection Agency. Energy and Environmental. About the U.S. Electricity System and its Impact on the Environment. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. balandžio 14 d.] Prieiga per internetą: <https://www.epa.gov/energy/about-us-electricity-system-and-its-impact-environment>
24. Tsitomeneas S. T., Kokkosis A. I. Environmental impact of electrical power transmission networks. Conference: MedPower; 2000. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/289248378_ENVIRONMENTAL_IMPACT_OF_ELECTRICAL_POWER_TRANSMISSION_NETWORKS
25. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Division for Sustainable Development. Multi Dimensional Issues in International Electric Power Grid Interconnections.

- Environmental Aspects of Grid Interconnection. 2006; p. 115 Prieiga per internetą: <https://www.un.org/esa/sustdev/publications/energy/chapter7.pdf>
26. Martins F., Felgueiras C., Smitkovác M. Analysis of Fossil Fuel Energy Consumption and Environmental Impacts in European Countries. Journal: Energy Procedia. 2018; p. 107-11. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/en12060964>
27. Aksyutin O. E., Ishkov A. G., Romanov K. V., Grachev V. A. The carbon footprint of natural gas and its role in the carbon footprint of energy production. Journal: GEOMATE. 2018; p. 155 -160. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.21660/2018.48.59105>
28. Rutkoviėnė V. M., Sabienė N. Aplinkos tarša. Mokomoji knyga. Lietuvos žemės ūkio universitetas. Aplinkos institutas. 2008. Prieiga per internetą: http://dspace.lzuu.lt/bitstream/1/548/1/Aplinkos%20tarsa.%20Rutkoviene%2C%20Sabiene_1.pdf
29. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. Lietuvos Respublikos nacionalinis energetikos ir klimato srities veiksų planas 2021-2030 m. <https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/KLIMATO%20KAITA/Integruotas%20planas/Fin%20NECP.pdf>
30. Bicalho T., Sauer I., Rambaud A., Altukhova Y. LCA data quality: A management science perspective. Journal: Cleaner Production. 2017; p. 888-898. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.229>
31. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. Sektoriaus strategija. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. balandžio 20 d.] Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/gamtines-dujos/sektoriaus-strategija>
32. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. Sektoriaus veikla. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. balandžio 20 d.] Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/gamtines-dujos/sektoriaus-veikla>
33. Europos Komisija. Komisijos Rekomendacija dėl produktų ir organizacijų gyvavimo ciklo aplinkosauginio veiksmingumo matavimo ir pranešimo apie jį bendrų metodų taikymo. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. balandžio 23 d.] Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013H0179&from=LT>
34. Eurostat. Statistics Explained. Greenhouse gas emission statistics - emission inventories. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. balandžio 26 d.] Prieiga per internetą: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Greenhouse_gas_emission_statistics_emission_inventories#Trends_in_greenhouse_gas_emissions
35. Goedkoop M., Oele M., Leijting J., Ponsioen T., Meijer E. Introduction to LCA with SimaPro. Pre-Sustainability. Prieiga per internetą: <https://pre-sustainability.com/legacy/download/SimaPro8IntroductionToLCA.pdf>
36. Gurevičius R. Standartinis nuokrypis ir standartinė paklaida. Ką jie reikšia ir kada kurį vartoti? Higienos institutas. Žurnalas: Visuomenės sveikata. 2010. Prieiga per internetą: [https://www.hi.lt/uploads/pdf/visuomenes%20sveikata/2010.4\(51\)/VS%202010_4\(51\)_Metodine%20medziaga.pdf](https://www.hi.lt/uploads/pdf/visuomenes%20sveikata/2010.4(51)/VS%202010_4(51)_Metodine%20medziaga.pdf)
37. Stundžienė A. Ekonominės statistikos laboratoriniai darbai. Kauno technologijos universitetas. 2016; p. 20-21.

38. Gas processing & LNG. Technology and Business Information for the Global Gas Processing Industry. Pipeline isolation technology reduces project time and cost. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. gegužės 16 d.] Prieiga per internetą: <http://www.gasprocessingnews.com/news/pipeline-isolation-technology-reduces-project-time-and-cost.aspx>
39. T.D. Williamson. T.D. Williamson Hot Tapping and Plugging Fittings Fully Comply with New European Code. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. gegužės 16 d.] Prieiga per internetą: <https://www.tdwilliamson.com/resources/news/td-williamson-hot-tapping-and-plugging-fittings-fully-comply-new-european-code>
40. Iberdrola. Report Corporate Environmental Footprint Year 2020. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. gegužės 17 d.] Prieiga per internetą: https://www.iberdrola.com/documents/20125/40501/IB_Environmental_Footprint_Report.pdf/d9da3b2b-83bb-d3a5-ab34-7b81b95525e8?t=1627387678396
41. Bussa M., Jungbluth N., Meili C. Life cycle inventories for long-distance transport and distribution of natural gas. ESU-services Ltd. Commissioned by the Federal Office for the Environment (FOEN), and the “Verband der Schweizerischen Gasindustrie (VSG), Šveicarija; 2021. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/352632568_Life_cycle_inventories_for_long-distance_transport_and_distribution_of_natural_gas
42. Oliver-Sola J., Gabarrell X., Rieradevall J. Environmental impacts of natural gas distribution networks within urban neighborhoods. Journal: Applied Energy. 2009; p. 1915-1924. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261908003103>
43. Liu W., Zhang Z., Xie X., Yu Z. ir kt. Analysis of the Global Warming Potential of Biogenic CO₂ Emission in Life Cycle Assessments. Journal: Scientific Reports. 2017; p. 7. Prieiga per internetą: <https://www.nature.com/articles/srep39857?origin=ppub#citeas>
44. Eurostat. Data Browser. Greenhouse gas emissions per capita. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. balandžio 26 d.] Prieiga per internetą: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020_rd300/default/bar?lang=en
45. Flamme B., Rodriguez Garcia G., Weil M. ir kt. Guidelines to design organic electrolytes for lithium-ion batteries: environmental impact, physicochemical and electrochemical properties. Journal: Green Chemistry. 2017, 19; p. 1828-1829. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1039/C7GC00252A>
46. Ecoinvent. Database. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. balandžio 30 d.] Prieiga per internetą: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/>
47. SimPro. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. gegužės 4 d.] Prieiga per internetą: <https://simapro.com/>
48. Prie-Sustainability. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. gegužės 4 d.] Prieiga per internetą: <https://pre-sustainability.com/>
49. National Institute for Public Health and the Environment. A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 m. gegužės 4 d.] Prieiga per internetą: https://pre-sustainability.com/legacy/download/Report_ReCiPe_2017.pdf