



VILNIAUS UNIVERSITETAS
CHEMIJOS IR GEOMOKSLŲ FAKULTETAS
GEOMOKSLŲ INSTITUTAS
HIDROLOGIJOS IR KLIMATOGRAFIJOS KATEDRA

Marijus Zabiela

Studijų programa Klimato sistemos studijos

Magistro baigiamasis darbas

GLOBALIOS IR REGIONINĖS ŠILTNAMIO DUJŲ EMISIJŲ TENDENCIJOS
TRANSPORTE

Darbo vadovas

Prof. dr. Egidijus Rimkus

Vilnius 2025



VILNIUS UNIVERSITY
FACULTY OF CHEMISTRY AND GEOSCIENCES
INSTITUTE OF GEOSCIENCES
DEPARTMENT OF HYDROLOGY AND CLIMATOLOGY

Marijus Zabiela

Degree programme Climate System Studies

Master thesis

GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN TRANSPORT SECTOR:
GLOBAL AND REGIONAL TENDENCIES

Scientific adviser
Prof. dr. Egidijus Rimkus

Vilnius 2025

TURINYS

ĮVADAS	4
1. LITERATŪROS APŽVALGA	7
2. DUOMENYS IR METODIKA	14
3. GLOBALIOS ŠESD EMISIJOS	16
4. TRANSPORTO SEKTORIAUS EMISIJŲ TENDENCIJOS	24
5. TRANSPORTO SEKTORIAUS EMISIJOS VIENAM GYVENTOJUI	31
6. TRANSPORTO SEKTORIAUS EMISIJOS PAGAL BVP	36
7. ISTORINIS POLITIKOS PRIEMONIŲ TAIKYMAS TRANSPORTO EMISIJŲ MAŽINIMUI IR JŲ EFEKTYVUMAS	41
LITERATŪROS SĄRAŠAS	49
SANTRAUKA	57
SUMMARY	58

IVADAS

Anot Pasaulinės meteorologijos organizacijos (WMO), 2024 m. buvo šilčiausi per 175 matavimo metus, jų temperatūra buvo $1,55^{\circ}\text{C} \pm 0,13^{\circ}\text{C}$ didesnė už 1850-1900 m. vidurkį. 2023 m. pasiekta rekordinė CO₂ koncentracija atmosferoje $420,0 \pm 0,1$ ppm, 2,3 ppm didesnė nei 2022 m. Tai sudarė net 151 proc. priešindustrinės (1750 m.) koncentracijos (World Meteorological Organization, 2025). Tai didžiausia globali CO₂ koncentracija atmosferoje buvo didžiausia per pastaruosius 800 000 metų ir ji toliau auga (United Nations, 2015). 2024 m. bendras su energetika siejamo CO₂ kiekis padidėjo 0,8 proc. ir pasiekė visų laikų rekordą - 37,8 Gt CO₂. Skačiuojama, jog 2024 m. dėl transporto CO₂ kiekis padidėjo maždaug 1%, t. y. 357 Mt CO₂, o dėl pramoninių procesų išmetamo CO₂ kiekis sumažėjo 2,3%, t. y. 62 Mt CO₂. Tais pačiais metais ŠESD kiekio augimas buvo mažesnis nei globalaus BVP augimas (+3,2%) (International Energy Agency, 2025).

Neabejotina, kad daugiausiai įtakos ŠESD dujų emisijų kiekiui turi iškastinis kuras. Iškastinis kuras yra pagrindinė medžiaga taršiausiuose sektoriuose, yra plačiausiai naudojamas transporto sektoriuje. Jį sunku pakeisti dėl jo gausos, prieinamumo, energetinio tankio, patogaus gabenimo ir, žinoma, kainos. Pastebima ryški koreliacija tarp ekonominio augimo bei transporto sektoriaus taršos (NBER, 2023). Siekiant geriau suprasti klimato kaitos padarinius imta detaliau analizuoti transporto sektorių ir jo emisijas. Transporto sektorius – viena svarbiausių kiekvienos šalies ekonominių ir socialinių dedamųjų dalių. Vienaip ar kitaip veikiamas esamos geografijos ir geopolitikos jis formuoja požiūrį į šalį, apibrėžia jos būsimas galimybes vystytis, o kartais – netgi gyventojų būdą (Gössling, 2013).

Transporto sektoriaus šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijos yra stebimos jau keletą dešimtmečių. Vis dėlto tik pastaruosius 30 metų jos yra vertinamos rimčiau ir nuodugniau. Tolimesnis klausimo nagrinėjimas susiduria su keletu metodologinių bei apskaitomųjų problemų, kaip antai oro ir vandens transporto regioniškas, ŠESD klasifikacija tarptautinei laivybai ir tarptautinei aviacijai dar tik brėžia gaires, susiduriama ir su vidaus vandenų transporto emisijų duomenų surinkimo stoka ir kt. Dažnai stengiamasi analizuoti valstybių teritorijos viduje, nežiūrima į politinius ar socialinius procesus, platesnę viso regiono problematiką. Taip pat pastebimi metodologiniai neatitikimai tarp skirtingų duomenų masių rinkinių ko pasekoje atsiranda skirtingos interpretacijos.

Pastebima, jog gerėjant šalies ekonominei padėčiai atitinkamai auga jos emisijos, ypačiai – susijusios su transporto sektoriumi, vienu pagrindinių ekonominės gerovės garantų. Šio sektoriaus intensyvumas – tinkamas indeksas pamatuoti šalies ekonominį stiprumą bei augimo potencialą. Susidomėjimas ekonomikos, politikos ir žaliųjų tikslų sanglauda atsirado palyginti neseniai – XXI a. pradžioje, kai tarptautinės, vyriausybės, nevyriausybės ir akademinės organizacijos įdėjo daug pastangų kokybiškam jų tyrimui. JAV NVO Nacionalinis ekonomikos tyrimų biuras (*National Bureau of Economic Research*, NBER), vertinantis aplinką per ekonomikos prizmę, teigia, jog transporto sektoriaus išmetamosios dujos atsiperka nepaisant žalos klimatui. Amerikos ekonomikos žurnale Joseph S. Shapiro apskaičiavo, kad tarptautinės prekybos nauda yra 161:1 didesnė už su išmetamaisiais teršalais susijusią žalą klimatui (Shapiro, 2016). Anot NBER, transportas palengvina žmonių judėjimą miestų teritorijose ir tarp jų, taip sukurdamas naudą darbuotojams ir įmonėms, o mažas pajamas gaunantiems ir nepalankioje padėtyje esantiems namų ūkiams - paskirstymo naudą, nes sumažina erdvinį pasiūlos ir paklausos neatitikimą darbo rinkose. Ekonominis augimas yra siejamas su emisijų iš transporto augimu kasmet bene 2% per pastaruosius 50 metų (Rapson & Muehlegger, 2023). Transporto emisijos ir toliau auga, nepaisant esamų pastangų dekarbonizuoti

sektorių, tačiau bendrame kontekste tai nėra taršiausias sektorius (Rivera & Rutkowski, 2024). Pastebima, jog augančios ekonomikos linkusios neriboti transporto sektoriaus vystymosi veiklos, nesistengia naujinti transporto parko. Dažnu atveju, jos tampa trumpalaikių sprendimų ilgalaikėmis įkaitėmis, kai nutiesti laikini keliai individualioms transporto priemonėms naikina būtinybę investuoti į geležinkelį ar kitas viešojo transporto paslaugas. Anot G. Santos, jokia tarptautinė organizacija, net ir Jungtinės Tautos, neturi pajėgumų sukurti ir įgyvendinti tinkamos aplinkosauginės politikos norint pažaboti augančias emisijas (Santos, 2017).

Transporto sektorius yra skirstomas grupes ir pogrupius, atitinkančius skirtingus transportavimo būdus. Transportuojami gali būti keleiviai ir/arba kroviniai. Išskiriamos trys pagrindinės transportavimo dalys: transportas žeme, oru bei vandeniui. Analogiškai šios dalys skirstomos į atitinkamus pogrupius. Transportas žeme vyksta keliais ir geležinkeliais. Keliaujant keliais, gali būti vykstama privačiu arba viešuoju transportu. Transportavimas geležinkeliu yra efektyvesnis kainos ir ŠESD taršos mažinimo į aplinką atžvilgiu, tačiau kelių transportas yra daugeliui priimtinesnis ir intensyviau naudojamas dėl asmeninių poreikių ir patogumo. Aviacijos ir laivybos sektoriai apibrėžiami pagal keliones, vykdomas šalies viduje bei keliones į išorę. Atitinkamai išskiriama tarpvalstybiniai ir tarpžemyniniai skrydžiai aviacijos atžvilgiu bei vidinių vandenų ar tarptautinių vandenų kelionės laivybos atveju. Iš minėtųjų transporto sektoriaus rūšių, kelių transportas išskiria 71% visų ŠESD emisijų, o kiti būdai – 29%. Keleivinis transportas išmeta 63% CO₂, krovinis – likusius 37% (neskaidant į keliones keliu ir kt.). Automobilai ir motociklai išmeta bene pusę visų ŠESD (45%), lengvieji sunkvežimiai (SUVs, traktoriai ir t.t.) – 11%, autobusai vos 4%, sunkvežimiai 12%, jūrų laivyba ir aviacijos sektorius taip pat po 12%, kiti neidentifikuoti – 4% (Evans et al., 2020).

Analizuojant šią temą apžvelgiančius šaltinius aiškėja naujesnių tyrimų stoka, trūksta lyginamųjų duomenų, kurie koreguotų ankstesnes prognozes arba tinkamai apžvelgtų praeities duomenis. Nėra plačios bazės tyrimų, kurie imtųsi apžvelgti šalies ekonominės ir politinės padėties koreliaciją su transporto sektoriaus išskiriamu ŠESD kiekiu, politika bei geopolitika. Stebimi didieji regionai, kaip antai Europa, Azija (pagrindė Kinija ir Indija), Šiaurės Amerika bei Australija ir Okeanija suteikia pakankamai daug ir gerai dokumentuotos informacijos, kuri būtų laikoma patikima toliau nagrinėti. Tačiau ekonomiškai mažiau pajėgūs regionai, pvz., Pietų Amerika (neskaitant Brazilijos), likusios Azijos dalys bei Afrika, dalinasi labiau fragmentuota, ne visada tinkamai dokumentuota ar patikima informacija, dėl ko yra sunkiau surinkti tyrimo metodiką bei kokybiškus akademinius reikalavimus atitinkančius duomenis, atlikti patį tyrimą. Kita vertus, didžiausi teršėjai ir yra labiausiai ekonomiškai pajėgios šalys, tad pagrindinė tyrimo bazė bent sąlyginai yra užtikrinta (Friedrich, Ge, & Pickens, 2023).

Šiame tyrime bus analizuojama politinės ir ekonominės santvarkos įtaka ŠESD emisijoms transporto sektoriuje, taip pat transporto sukuriama oro taršos regioninės bei globalios tendencijos įvertinant šalių geopolitinę situaciją, (atskirai nagrinėjamos didžiosios šalys, tokios kaip Kinija, Indija, JAV, Brazilija. Tema sąlyginai nauja ir sieks apibendrinti mažiau nagrinėtų aspektų tarpusavio sąryšį.

Tyrimo uždaviniai:

- Išnagrinėti transporto sektoriaus emisijų kaitos globalius ir regioninius bruožus 1990-2019 metų laikotarpiu, naudojant SLOCAT duomenų bazę
- Įvertinti vyraujančius transporto sektoriaus emisijų trendus ir jų sąsajas su gyventojų skaičiumi bei BVP.

- Įvertinti kaitos tendencijas sąryšyje su priimamais politiniais sprendimais, vykstančiais geopolitiniais procesais, bei esamu regiono ir šalies ekonominiu gerbūviu.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

Tarptautinės klimato kaitos komisijos (TKKK) teikiamos *SLOCAT* ataskaitos duomenimis 2010-2019 metais transporto sektoriaus CO₂ emisijos augo sparčiausiai lyginant su kitais. Vidutiniškai jos kilo 2% per metus globaliai ir 18% iš viso. Dėl 2020 metų pandemijos įtakos transporto emisijos krito 13% ir pasiekė 2012-ųjų lygį. Tačiau vėlesniais metais mažinant apribojimams, emisijos vėl kilo ir beveik pasiekė prieš tai buvusį lygį. 2021 metais ekonomiškai stiprios šalys buvo atsakingos už 50,7% transporto sukuriama anglies dvideginio, tuo tarpu mažo ekonominio pajėgumo šalys tesudarė 1%. Anglies dvideginio emisijos tenkančios vienam žmogui vidutinio ekonominio pajėgumo šalyse padvigubėjo nuo 1980-ųjų, tačiau beveik nepakito ekonomiškai silpnose valstybėse. 2010-2021 metų laikotarpyje Azija pasiekė didžiausią transporto CO₂ taršą, antroje vietoje – Afrika. Laikantis *business as usual* scenarijaus, globalios CO₂ emisijos transporto sektoriuje turėtų pakilti 16-50% iki 2050 metų (*IPCC (SLOCAT Partnership, 2023)*). Daugumos išsivysčiusių šalių transporto sektoriaus emisijos auga. Šalys tokios kaip: JAV, Kinija, Indija, Rusija, Brazilija, Japonija bei Kanada kartu sudaro bene pusę visų pasaulio emisijų (47%). Kartu su šiais duomenimis reikia įvertinti ir kitą svarbų faktorių – transporto energijos intensyvumą (*transport energy intensity*). JAV, Rusijoje, Japonijoje ir Kinijoje CO₂ emisijų sumažėjimas transporto sektoriuje 2000-2015 m. laikotarpiu siejamas su anglies intensyvumu (*carbon intensity*) Anglies intensyvumas rodo, kiek anglies dioksido (CO₂) išskiriama sudeginus tam tikrą kiekį kuro arba pagaminus tam tikrą kiekį energijos.

Transporto sistemų elektrifikacija yra laikoma vienu svarbiausių veiksmų, mažinančių sektoriaus ŠESD kiekį (Solaymani, 2019). Kai kurios šalys, pvz., Kinija, yra susirūpinusios energijos suvartojimu transporto sektoriuje, nes ilgainiui tai gali sukelti nacionalinio saugumo problemų (Yin et al., 2015). Šiuo atveju transporto elektrifikacija skatinama dėl energetinio saugumo, o ne dėl ŠESD emisijų mažinimo.

Remiantis 2009 metų Tarptautinės energetikos agentūros (*International Energy Agency* (IEA)) prognozėmis, transporto sektoriaus energijos suvartojimas bei CO₂ išskyrimas padidės 50% iki 2030-ųjų, o 2050-aisiais padidėjimas sieks 80 procentų (Yin et al., 2015). Naujausiais turimais duomenimis (2023, liepa) IEA skelbia, jog transporto sektoriaus emisijos augo sparčiausiai iš visų sektorių, išskyrus pramonės, - 1,7% kiekvienais metais. Norint išlaikyti grynojo nulio iki 2050-ųjų scenarijų, transporto sektoriaus emisijos turėtų kristi 3-imis procentais per metus iki 2030-ųjų (iki 6Gt CO₂). Yra žinoma, jog net 91% galutinės energijos transporto sektoriuje sudaro iškastinis kuras.

CO₂ emisijos transporto sektoriuje 2022 metais kilo, beveik pasiekė 2019-ųjų lygį ir siekė beveik 8Gt. Tai bene trimis procentais daugiau nei 2021 m. Daugiausiai pasaulyje ŠESD emisijų išleidžianti JAV progresyviai pasistūmėjo dekarbonizacijos procese išleisdama svarbų teisės dokumentą – *Inflation Reduction Act*, kuriuo siekiama padidinti elektromobilių prieinamumą, įtraukti didesnę biokuro, sintetinio kuro bei vandenilio vartojimą. Antra pagal dydį ŠESD teršėja 2022 metais Kinija lyderiavo elektromobilių pardavimuose. Trečioje vietoje esanti Europos Sąjunga analogiškai paskelbė *Žaliojo kurso pramonės planą*, kuris turėtų padėti sistemingai pereiti prie elektra varomų automobilių. Politine valia taip pat buvo pasiekta, jog aviacijos sektorius pereitų prie mažesnes emisijas sukeliančio kuro, siektų ir bandytų vis daugiau inkorporuoti sintetinio kuro. Indija padėjo pamatus platesnei vidinei baterijų gamybai. Dauguma tyrimų remiasi 2019 metų, kaip tiksliausių iki pandeminių metų globalioms tendencijoms (International Energy Agency, 2020).

Norint sėkmingai įgyvendinti Paryžiaus susitarime numatyto tikslo neviršyti 1,5°C nuo industrializacijos pradžios, reikėtų 59% sumažinti transporto CO₂ emisijas iki 2050-ųjų, lyginant su

2020 metais (SLOCAT Partnership, 2023). Anot IEA prognozinio scenarijaus, prireiktų 90% emisijų sumažinimo (2020-ųjų lygiu). Situacijai nesikeičiant ir prognozuojant didesnių emisijų scenarijų, transporto sektorius bus vienas didžiausių teršėjų po pramonės dar iki 2032-ųjų. Manoma, jog 2050-aisiais transporto sektorius bus pats taršiausias iš visų sektorių dėka ilgų distancijų skrydžių. Planuojama, jog keleivių pervežimas suintensyvės 50%, o krovinių – 20% prognozuojamu 2020-2050 m. laikotarpiu. Tuo tarpu, anglies intensyvumas turėtų būti sumažėti net 45-51% norint pasiekti Paryžiaus susitarimo tikslus. Spėjama, jog dažnėjančių gamtinių anomalijų sukeltos ekologinės nelaimės privers sustabdyti reikiamą finansavimą transporto sektoriaus dekarbonizacijai, nukreipiant lėšas kitur (SLOCAT Partnership, 2023). Taip pat IEA grynojo nulio scenarijus reikalauja beveik 2/3 energijos poreikių tenkinti technologijomis, kurios dar nėra komerciškai prieinamos (Ritchie, 2023).

NBER apžvalgiame darbe atkreipiamas svarbus dėmesys į 1991 metais Gene M. Grossman ir Alan B. Krueger sukurtą koncepciją *Environmental Kuznets Curve*. Aplinkosauginė Kuznets kreivė buvo išvesta iš Kuznets kreivės, kurią 1955 m. sukūrė Simon Kuznets, sudomintas asmeninių pajamų pasiskirstymo nelygybės pokyčių pobūdžiu ir priežastimis, vykstant šalies ekonominiam augimui (Luzzati, 2015). Aplinkos ekonomistai, remdamiesi šia koncepcija, iškėlė hipotezę apie tokio pat pobūdžio ryšį tarp aplinkos degradacijos lygio ir pajamų augimo. Daugelis mokslininkų sutiko, kad Gene Grossman ir Alan Krueger buvo pirmieji mokslininkai, paskatinę šiuos tyrimus (Ginevičius et al., 2017). 1995 m. straipsnyje Gene M. Grossman ir Alan B. Krueger tiria empirinį ryšį tarp ekonomikos augimo (matuojamo BVP vienam gyventojui) ir aplinkos kokybės pagal įvairius rodiklius. Kvestionuojamas požiūris, kad ekonominis vystymasis savaime lemia aplinkos būklės blogėjimą. Teigiama, jog šis ryšys dažnai yra išreiškiamas apverstos U formos, kai pradinis ekonominis augimas lemia aplinkos būklės blogėjimą, kuris, pasiekus tam tikrą pajamų ribą, galiausiai pasikeičia į aplinkos pagerėjimą (Grossman & Krueger, n.d.). Mokslininkai darė prielaidą, kad vystymasis lėmė struktūrinius gamybos pokyčius, o visuomenės galėjo rasti būdų, kaip taupyti ribotus išteklius. Buvo nustatyta, kad daugumos nagrinėtų rodiklių tarša pradiname etape padidėjo, tačiau ekonomikos augimo eigoje pastebimas vėlesnis aplinkos pagerėjimo etapas. Mokslininkai įtarė, kad šis pagerėjimas siejamas su aukštesnėmis pajamomis nacionaliniu lygiu, kai padidėja aplinkosaugos paklausa, t.y. finansų yra pakankamai išgyventi ir gerinti būtį. 1997 m. J. Timmons Roberts ir Peter E. Grims, nagrinėdami 1962-1991 m. Pasaulio Banko duomenis apie emisijas, nustatė ryšį tarp nacionalinio anglies dioksido kiekio intensyvumo ir BVP (ryšys pasikeitė nuo iš esmės tiesinio 1965 m. iki stipriai kreivinio 1990 m.) ir įrodė, kad egzistuoja apverstos U priklausomybė (Ginevičius et al., 2017).

Pastebėta, jog Ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacijai (EBPO) priklausančios šalys (dažnai ekonomiškai stiprios ir išsivysčiusios) transporto emisijų kiekiu apie 2010-uosius buvo aplenktos šalių, nepriklausančių EBPO. Tuo metu EBPO šalių kelio transporto emisijos palengva mažėjo jau nuo 2008 metų (International Transport Forum, 2021).

Kartu su ekonominiu išsivystymu auga ir poreikis transportui. Ryškiausias to pavyzdys yra Azijos šalys, kur emisijos pakilo 9 kartus nuo 1970-ųjų. Azija, kaip labiausiai apgyvendintas žemynas, patyrė greitą ekonomikos augimą per pastaruosius dešimtmečius ir dabar yra didžiausia teršėja vertinant transporto sektoriaus ŠESD. Prognozuojama, jog per ateinančius kelis dešimtmečius Afrika bus viena didesnių teršėjų transporto sektoriuje, kadangi jos populiacija iki 2050-ųjų padvigubės. Vis dėlto nors spėjimai dėl ekonominės situacijos nėra aiškūs, transporto poreikis ir tarša didės vien dėl augančios populiacijos (Rapson & Muehlegger, 2023).

Siekiant sumažinti transporto ŠESD imamasi sektoriaus elektrifikacijos. Vis dėlto dabar suprantama, jog pilnavertiškai ir laiku ji įvykti negalės. Elektromobiliai tampa pigesni bei labiau

prieinami dėl pigesnių ir efektyvesnių baterijų, kuriasi antrinė rinka. Dabar pastebima, jog per pastarąjį dešimtmetį baterijų kaina krito lenkdama ir geriausias prognozes. Tikimasi, jog elektromobilių kainos pavys benzinu varomų automobilių kainas. Elektrifikuojant sektorių, auga ir elektros suvartojimas. Pastaruoju metu stengiamasi žalinti elektros gamybą ir naudoti mažesnę anglies intensyvumą turinčius šaltinius. Šiaurės Amerikoje gamtinės dujos keičia anglį kaip pagrindinę elektros energijos gamybos rūšį. Panašūs procesai stebimi ir kitur – Europos Sąjungoje bei Azijoje. Taip pat auga elektros gamyba iš atsinaujinančių švarių elektros šaltinių – vėjo ir saulės. 2020 metų duomenimis, kuriais remiasi NBER, elektromobiliai yra daug švaresni nei benzininiai, ypač ten, kur pagrindinis elektros energijos šaltinis nėra anglis. Politikos formuotojai prognozuoja, jog po dviejų dešimtmečių vidaus degimo automobilius išstums elektromobiliai. Šis scenarijus tampa vis realesnis, žinant, jog Kinija užsiima aktyvia perprodukcija, kainų dempingu ir itin agresyviais būdais bando patekti į Europos bei Amerikos rinkas. 2023 metais Europos Sąjunga, Kinija, Japonija, Pietų Korėja ir keletas JAV valstijų deklaravo norą uždrausti dyzeliu bei benzinu varomus automobilius. NBER pastebi, kad tokie sprendimai pripažįsta sektoriaus elektrifikaciją kaip bene patį tinkamiausią sprendimą turtingose valstybėse. Tačiau biuras taip pat pabrėžia, jog elektrifikacija pati iš savęs nebus tvari, jei ji laikysis ant nepatikimų atsinaujinančios elektros gamybos sričių (t. y. nepastovių atsinaujinančių šaltinių), baterijų, kurių kaina nors ir krito stebėtinai, reikalingų medžiagų joms pagaminti yra nepakankamai. Analogiškai, neaišku kiek ilgai laikysis politinė valia, siekianti sėkmingos elektrifikacijos (Rapson & Muehlegger, 2023). 2022 metais Kinija buvo užsibrėžusi paleisti daugiau elektromobilių nei visas likęs pasaulis kartu sudėjus. Vis dėlto daug teigiamo pokrypio link žalumo tai nesukels, nes pastaruosius dešimtmečius Kinija neinvestavo pakankamai į žaliąją energetiką, jos elektros gamyboje iki šiol stipriai dominuoja anglis. Bendrai Azijoje elektros gamyba iš anglies palyginus su atsinaujinančiais šaltiniais padidėjo penkis kartus. Skaičiuojama, jog metinei 4000 mylių kelionei vienam gyventojui prireikia 1MWh. Tuo metu Kinijos elektros gamyba išaugo vos 4.5MWh vienam gyventojui. Augant elektros vartotojų skaičiui, tikėtina, jog jos kaina augs net ir turtingose šalyse (Rapson & Muehlegger, 2023).

Augant besivystančių šalių ekonominiam pajėgumui, augs ir transporto sektoriaus ŠESD emisijos, kurios nustelbs išsivysčiusių šalių transporto emisijų sumažėjimą. NBER tai iliustruoja pavyzdžiu: 50 proc. kelių transporto emisijų sumažinimas išsivysčiusiose šalyse būtų nuslopintas 8-ųjų metų progreso besivystančiose šalyse (Rapson & Muehlegger, 2023).

Kelių transportas

Kelių transportas statistiškai pasižymi didžiausiomis emisijomis. Bendrai CO₂ emisijos kelių transporto srityje siekė 77% visų globalių transporto emisijų 2019 metais. Privatūs automobiliai ir mikroautobusai naudojo ketvirtadalį visos pasaulio naftos ir bent 10 procentų globalios energijos susijusios su CO₂ emisija 2022 (International Energy Agency, n.d.-a). Kelių transportas yra skirstomas į keletą rūšių, kaip antai automobilių transportas, geležinkelio transportas. Pastaruoju metu geležinkeliai yra laikomi savotiška tvarumo panacėja, galinčia ir turinčia pajėgumus bene taip pat patogiai transportuoti keleivius ir krovinius kaip aviacija. Vis labiau viešojoje erdvėje kalbama apie geležinkelių vystymą ir skatinimą jais naudotis. Geležinkeliai laikomi tvariausia transporto opcija.

SLOCAT prognozuoja, jog kelių transportas susidurs su ganėtinai skvarbia elektrifikacija. Iki 2030-ųjų prognozuojama, jog elektromobiliai sudarys 20% visų automobilių. 2040-aisiais tai sieks 60%. Taigi nuo 300 milijonų automobilių varomų elektra dabar iki 600 milijonų 2030-aisiais bei viršijant 1,2 mlrd. 2050-aisiais. Spėjama, jog 23% autobusų bus elektriniai, o iki 2050-ųjų 79%.

Analogiškai prognozuojama, jog automobilių naudojimas gali būti sumažintas 35%, jei būtų suteikiama tinkama alternatyvaus transporto prieiga (SLOCAT Partnership, 2023).

Geležinkelis

Per pastaruosius du dešimtmečius tiesioginės CO₂ emisijos iš dyzelinio geležinkelio eksploatacijos vidutinio metinio augimo padidėjo 0,6 proc. Siekiant atitikti iki 2050 m. nulinių išmetamųjų teršalų scenarijų, išmetamosios dujos iki 2030 m. turės sumažėti maždaug 5 proc. per metus, o tai reiškia, kad ten, kur tai įmanoma, turės būti elektrifikuojama dyzelinė eksploatacija, taip pat naudojama biodyzelino mišiniai ir įgyvendinamas platus kitų efektyvumo priemonių spektras (International Energy Agency, n.d.-b).

Europos Sąjunga siekia modernizuoti geležinkelių tinklą, Indija – sparčiai jį elektrifikuoja, o Kinija plečia savo tinklą, akcentuodama greitųjų traukinių plėtrą. Kinijos geležinkelių tinklas 2022 m. pabaigoje pasiekė 155 000 km ilgį, iš kurių 42 000 km yra greitieji geležinkeliai. Didžiausias pasaulyje greitųjų traukinių tinklas per pastaruosius 20 metų išaugo 100 kartų ir tikimasi, kad iki 2025 m. dar labiau išsiplės iki 50 000 km, pagerins mobilumo prieinamumą, leis pereiti prie kito transporto būdo ir sumažins naftos poreikį. Japonijos *Hitachi* ir Italijos *Trenitalia* 2015 m. Italijoje kartu pristatė *FrecciaRossa* 1000 greitųjų traukinių seriją, kuri dabar taip pat važinėja Prancūzijoje ir Ispanijoje, plečia Europos geležinkelių rinką ir gerina geležinkelių transporto konkurencingumą. 2022 m. įmonės pristatė naują greitąjį hibridinį traukinį, kuris gali persijungti tarp baterijos, elektros arba dyzelio ir gali veikti tiek elektrifikuotose, tiek neelektrifikuotose linijose. Indija investuoja į perėjimą iš kelionių keliais į keliones geležinkeliais ir sparčiai juda link savo tikslo elektrifikuoti 100% geležinkelio bėgių iki 2024 m., o elektrifikuotų bėgių dalis padidėjo nuo 45% 2015 m. iki 80% 2022 m. - Etiopija-Džibutis sukūrė 753 km ilgio geležinkelio liniją, varomą hidroenergijos. Ji pradėjo veikti 2016 m. ir yra pirmasis modernus elektrifikuotas geležinkelis Rytų Afrikoje, skatinantis ekonominį augimą ir perkeliantis krovinius nuo kelių (International Energy Agency, n.d.-b).

Elektrifikuoti geležinkeliai, kurie sudaro daugiau nei 85% keleivių geležinkelių veiklos ir 55% krovinių judėjimo, neišskiria jokių tiesioginių CO₂ emisijų. Mieste esantys geležinkelių tinklai, tokie kaip metro ir lengvieji greitieji traukiniai, paprastai pasižymi žymiai mažesnėmis išmetamųjų dujų emisijomis nei kiti motorizuoti transporto mieste būdai, ypač lengvieji automobiliai. Elektrinio geležinkelio efektyvumas įvertinamas per *well-to-wheels* prizmę (nuo elektros pagaminimo sąnaudų iki rato išjudinimo), geležinkelio išmetami teršalai vienam keleiviui kilometre vidutiniškai sudaro apie penktadalį oro transporto išmetamųjų teršalų. Elektrifikuoto keleivių geležinkelio emisijos yra dar mažesnės, kai jos varomos atsinaujinančiais energijos šaltiniais arba branduolinės jėgainės sugeneruota energija. Bendrai geležinkeliu, matuojant kilometrais, yra pervežama apie 7% pasaulio keleivių ir 6% tonų, tačiau tai sudaro tik apie 1% visų bendrų transporto emisijų (International Energy Agency, n.d.-b).

TEA įspėja, jog šiuo metu geležinkelių energija yra padalinta tarp dyzelio ir elektros energijos, o dyzelio suvartojimas 2022 m. sudaro 53% viso galutinio energijos poreikio, palyginti su 45% elektros energijos dalimi (biodyzelinas sudaro likusius 2%). Pagal TEA scenarijų iki 2030 m. elektros energija sudarys 60% viso energijos poreikio, dyzelinas vis dar sudarys daugiau nei trečdalį, o biodyzelinas – didžiąją likusią dalį, o vandenilio panauda bus labai minimali. Dyzelinas ypač svarbus krovinių vežimui geležinkeliu, žinoma, jog 2022 m. jis sudarė net 75% viso pasaulio krovinių pervežimo energijos suvartojimo. Nuolatinis krovinių elektrifikavimo progresas rodo, kad dyzelino suvartojimo dalis iki 2030 m. pagal NSE scenarijų turėtų sumažėti iki maždaug 55%. Geležinkelis vis dažniau minimas kaip potencialus ir daug žadantis sprendimas, galintis suteikti reikiamą sinergiją

tarp transporto ir energetikos sektorių, o tai gali atnešti daug naudos, ypač besivystančiose ekonomikose per: energijos prieinamumą bei energetikos saugumą. Energijos prieinamumas – per geležinkelio tinklo projektus priartina prie švaraus energijos tiekimo platesnes geografines vietas (taip pat siejasi su DVT). Energetikos saugumas – naudojant geležkelių infrastruktūrą pavyktų reguliuoti elektros energijos paklausą ir taip valdyti energijos saugyklą. Pagrindinės energijos paklausos garantijos naudojimas elektriniam geležinkeliui paremti atsinaujinančių energijos išteklių investicijų verslo atvejį. Be to, jei tam tikras rajonas yra ypač tinkamas švariai energijos gamybai, tai gali paskatinti geležinkelio infrastruktūros elektrifikaciją ir atnešti žalią finansavimą transporto sektoriui (International Energy Agency, n.d.-b).

TEA duomenimis pasaulyje veikiančios metro tinklai apima daugiau nei 21 000 km. Daugiau nei trečdalis jų buvo pradėti eksploatuoti tarp 2017 ir 2021 m., o 80% šių naujų metro linijų buvo įrengta Kinijos miestuose. Lengvojo geležinkelio, kuris turi mažesnę talpą ir greitį, situacija yra panaši, nors ir mažiau dramatiška: daugiau nei 10% veikiančių linijų buvo įrengtos per šiuos penkerius metus, o beveik pusė jų yra Kinijoje. Kinijos urbanistinio mobilumo efektyvumas lemia žymiai mažesnes *per capita* transporto emisijas nei miestuose išsivysčiusioje pasaulio dalyje, kuriose nėra metro, ir gali padėti Kinijai įgyvendinti savo nulinių CO₂ emisijų išpareigojimus. Daugiau nei 20 šalių yra išvysčiusios greitųjų traukinių tinklus, kurių bendras ilgis siekia beveik 60 000 km. Kinija jau turi apie 70% pasaulio greitųjų geležkelių linijų ilgio ir turi ilgalaikius planus eksploatuoti beveik 65 000 km. Marokas taip pat pasižymėjo puikiais pasiekimais greitųjų traukinių srityje, 2018 m. atidarydamas pirmąjį greitųjų traukinių tinklą Afrikoje, o 2022 m. pradėdamas aprūpinti savo greituosius traukinius atsinaujinančia energija. Remiantis NSE scenarijumi, 2030 m. greitųjų traukinių veiklos intensyvumas turi padidėti 75% (International Energy Agency, n.d.-b).

Aviacija

Amerikiečių mokslininkai dar 2009 nustatė, jog aviacijos sektorius sudaro tarp 2-3% bendrųjų antropogeninės kilmės ŠESD (dauguma šaltinių pateikia tai kaip 2,3-2,5%), tačiau net 4,9% viso šiltnamio dujų poveikio (2005 metų duomenimis) įskaitant ir *cirrus* debesis (Larsson et al., 2019; Owen et al., 2010). 2020 metais dėl pandemijos tarptautinės aviacijos emisijos nukrito 45% ir pasiekė 1999-ųjų lygį. Skaičiuojama, jog vos 1% populiacijos yra atsakingi už daugiau nei pusę visų keleivinės aviacijos emisijų (IPCC (SLOCAT Partnership, 2023)). Aukšto išsivystymo lygio šalyse šių dujų taip pat išmetama daugiau, nei ekonomiškai mažiau pajėgiose. Pavyzdžiui, Švedijos gyventojų kelionės oru sugeneravo tiek pat emisijų kiek ir jų kelionės privačiais automobiliais Švedijoje (Larsson et al., 2019). Aviacijos sektoriaus išmetamos dujos taip pat kasmet didėja apie 5 procentais (Staples et al., 2018). Svarbu paminėti, jog aviacijos išmetamos ŠESD nėra Kioto protokolo dalis. Aviacijos sektoriaus emisijos pasiekė tokias aukštumas, jog jei tai būtų šalis, ji būtų reitinguojama 6-a pasaulyje ir lenktų Vokietiją (Graver et al., 2018). Vis dėlto, reikia pažymėti sektoriaus norą mažinti emisijas, pirmiausia dėl išimtinai ekonominių ir praktinių sumetimų. Tarptautinė Oro Transporto asociacija (*International Air Transport Association* (IATA)) nori sumažinti anglies dvideginio emisijas 50% 2050-aisiais (Staples et al., 2018). Nauji tyrimai rodo, jog norint pasiekti norimus rezultatus numatytu laiku, vien Amerikos rinkai reikia 84 procentais sumažinti ŠESD. Tikėtina, kad be anglies kompensacijos pirkimų aviacijos sektorius nesugebės sumažinti po 2020-ųjų suintensyvėjusio ŠESD išskiriamo efekto, tad yra skaičiuojamas biokuro naudingumo potencialas (Staples et al., 2018). Yra keletas tinkamų švelninimo būdų aviacijos sektoriui: 1) technologiniai patobulinimai; 2) mažiau anglies turinčio kuro naudojimas (įskaitant

biokurą); 3) optimizuoti oro navigaciją bei eismą; 4) sumažinti oro transporto kiekį (Larsson et al., 2019).

Europos Sąjunga emisijas nusprendė riboti per CORSIA (*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*) naudodamasi ETS pagrindu (*EU Emissions Trading System*; ES apyvartinių taršos leidimų prekybos sistema), kai „perkami“ anglies išmetimų mažinantys veiksmai, t.y. teršėjai yra priversti susimokėti už daromą žalą aplinkai (įgyvendinamas Europos Parlamento ir Tarybos reglamentas 2021/1119, 9 principas „teršėjas moka“). 2005 metais įkurta sistema naudojama visose ES šalyse, taip pat Islandijoje, Lichtenšteine bei Norvegijoje. Nuo 2024 metų ši sistema apima ir jūrų transportą: 50% emisijų, kai reisai, prasideda arba pasibaigia už ES ribų (trečiajai šaliai suteikiama galimybė nuspręsti, kokių veiksmų imtis dėl likusios išmetamųjų teršalų dalies); 100% emisijų, kai keliaujama tarp dviejų ES uostų. (European Commission, n.d.). ETS jau nuo 2012 metų reikalauja deklaruoti anglies pėdsaką oro kelionėms ES viduje. Tai, jog ETS sistema veikia, įrodo 37 procentų emisijų sumažėjimas iš energijos ir pramonės gamintojų (*What Is the EU ETS?*). Numatoma, jog dalyvavimas CORSIA sistemoje 2023-2027 metais bus savanoriškas, tačiau vėliau taps privaloma visoms šalims.

Norint pasiekti anglies neutralumą, SLOCAT duomenimis, aviacijos sektoriaus emisijos turėtų pasiekti maksimumą jau 2025 metais. Tam reikia didelių investicijų į alternatyvų, jau nagrinėtų kelionės būdą – geležinkelį (SLOCAT Partnership, 2023).

Laivyba

Istoriškai 99 procentai energijos reikmės laivybos sektoriui tenkino iškastinis kuras. 2022 metais mažiau nei pusė procento energijos poreikio sudarė biokuras. IEA duomenimis 2022 m. tarptautinė laivyba sudarė apie 2% pasaulinio su energija susijusio CO₂ emisijų. Dabar Tarptautinės jūrų organizacijos (*International Maritime Organization (IMO)*) tikslai sutampa su Paryžiaus susitarimo nuostatais. Tačiau norint pasiekti užsibrėžtą nulinę emisijų ribą, reikia 15 procentų sumažinti sektoriaus emisijas iki 2030-ųjų kartu sumažinant ir anglies intensyvumą 40 proc. lyginant su 2008m. (NBER, 2023). Šiuo atveju čia vėl pirmauja Europos Sąjunga priėmusi du svarbius susitarimus, vienas kurių įtraukia laivybą į ETS sistemą, o kitas į *FuelEU Maritime* iniciatyvą, skatinančią naudoti tvarius degalus laivyboje taip mažinant jūrų transporto išmetamų teršalų kiekį. IEA duomenimis tarptautinės laivybos emisijos yra rekordinės ir siekia 706Mt CO₂. Laivybos sektoriui norint pasiekti užsibrėžtus tikslus reiks intensyvuoti biokuro naudojimą bei techninį progresą pritaikant laivus alternatyviam kurui, kaip antai amoniui, vandeniliui. Svarbu pažymėti, jog JAV išleisti reikalavimai laivybos emisijų atžvilgiu yra griežtesni ir iki 2040-ųjų reikalauja 100 procentų naudoti kurą, neišskiriantį emisijų. Tuo tarpu ES yra numčiusi 80 procentų. Tarptautinei laivybai siekti nulinių emisijų padeda ir nusistatyti Poseidono principai (*Poseidon Principles*) (International Energy Agency, n.d.-c).

Vandens transportas yra laikomas vienu efektyviausių transporto būdų. Išskiriamos dvi dalys – vandenyninis bei vidaus vandenų. Daugumoje šalių augo abiejų subsektorių emisijos. Viena didžiausių teršėjų Kinija nusprendė mažinti emisijas optimizuojant transporto sektorių (Zhou et al., 2021). Kinija pastebėjo greitą vandens transporto sektoriaus augimą ir pavedė Transporto ministerijai užsiimti atitinkamais tyrimais. Nuo 2014 m. atliekamuose tyrimuose akcentuojamas vidaus vandenų transporto sektoriaus ir jų emisijų augimas. (Zhou et al., 2021). Vis dėlto pagal NBER rekomendacijas senesniems laivams užtektų sulėtėti vos 10%, jog kuro būtų suvartojama 30 procentų mažiau (Rapson & Muehlegger, 2023).

Dauguma literatūros šaltinių su kuriais buvo susipažinta besirengiant šiam darbui rašo apie XX ir/ar XXI amžius. Viena vertus, tai nieko stebėtina – iki pat XIX amžiaus antros pusės dauguma krovinių ir keleivių buvo transportuojami gyvūnų, o judumas, vertinant iš šių laikų perspektyvos, buvo itin lokalus. Ne daug buvo garlaivių ar garvežių, dar nepatikimesni ankstesni duomenys. Pirmi pakankamai tikslūs moksliniai duomenys apie transporto apimtis ir jų emisijas dažniausiai pateikiami nuo 1960-ųjų arba 1970-ųjų, o tik nuo 1990-ųjų atsiranda nemaža dalis valstybių, kurios žinomos šiandien. Duomenys vis dar nėra itin patikimi, nėra bendrų sutartinių skaičiavimo metodų, tad skiriasi ir skalės, ir poveikio analizė. Tik ateityje laukiama Jungtinių Tautų visuotinės anglies kreditų programos, kurią administruotų JT Sekretoriatas. Taip pat iki šiol nėra nuspręsta kaip skaičiuojamos emisijos iš tarptautinės aviacijos ir laivybos. Jei aviaciją dar sekti būtų įmanoma, kyla daug didesnių biurokratinių problemų su tarptautine laivyba.

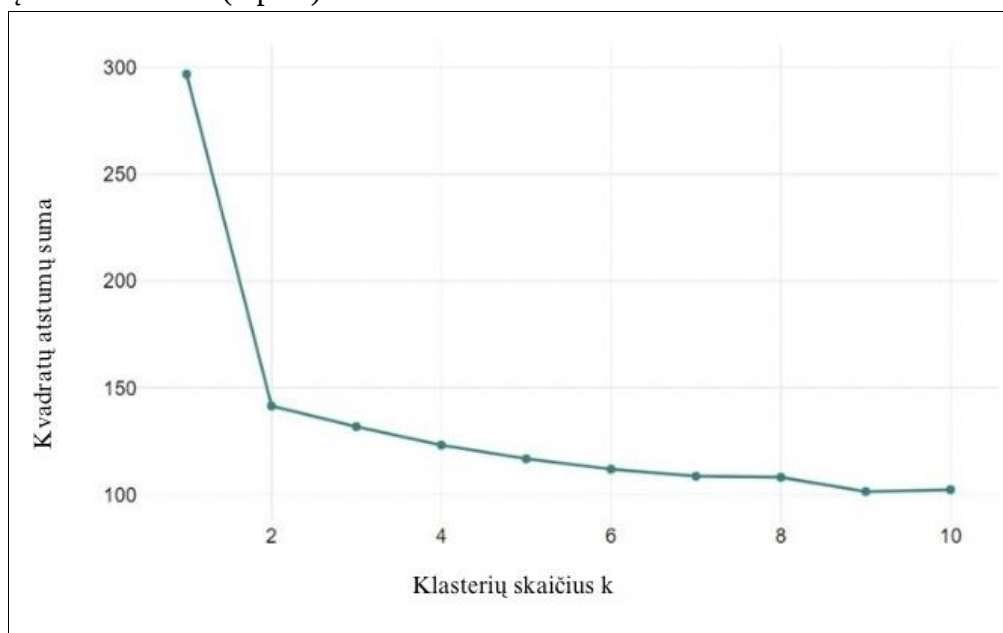
Populiarėjant klimato kaitos studijų tematikai randasi vis daugiau naudingųjų studijų įvairiomis tematikomis. Vis dėlto transporto sektoriaus emisijų tematika galima išskirti keletą pagrindinių. Dauguma šaltinių yra didžiulės tarptautinių organizacijų finansuojamos studijos su stambiais duomenų masyvais. Išskirtinos SLOCAT, IEA, EDGAR bei kiti. Kartu šie ir valstybių finansuojami šaltiniai yra vieni tiksliausių ir patikimiausių. Vis dėlto juos puikiai papildo universitetų, institutų ar kitų *think-tankų* finansuoti tyrimai, dažnai kiniški arba amerikietiški.

2. DUOMENYS IR METODIKA

Pasirinktas tyrimo laikotarpis nuo 1990 iki 2019 metų apima modernaus poindustrinės revoliucijos pasaulio ir žymaus ekonominio pakilimo laikmetį, itin veikiamą globalizmo ir kitų politinių procesų. Šiame 30 metų periode buvo išgyventa viena didžiausių ekonominių krizių, kuri stipriai paveikė žmonių judumą, o taip pat ir šalių požiūrį į transporto sektoriaus emisijas.

Šiame tyrime buvo naudoti duomenys iš SLOCAT TraKB (2021 metai, versija 0.3). SLOCAT Transporto žinių bazė (TraKB) yra didelė informacijos apie tvarų transportą duomenų bazė. Joje laikomi visi esami SLOCAT surinkti duomenų rinkiniai (pvz., dvimetės (atnaujintos) ataskaitos, nacionaliniai pranešimai, savanoriškos nacionalinės apžvalgos, klimato finansavimo priemonių projektai), taip pat vertingi duomenys iš įvairių išorinių šaltinių (pvz., transporto veiklos, išmetamųjų teršalų, oro kokybės, kelių eismo saugumo). Visos pagrindinės judumo rūšys (pvz., aviacija, greitasis geležinkelis, greitasis autobusų transportas, miesto geležinkelis, automobiliai, dviračiai, ėjimas pėsčiomis) yra įtrauktos į „Excel“ pagrindo duomenų bazę. TraKB suteikia naudotojams galimybę pasiekti visus pagrindinius SLOCAT duomenų rinkinius.

Nagrinėjant transporto sektoriaus emisijų globalias ir regionines tendencijas 1990-2019 m. laikotarpiu duomenys buvo atrinkti ir išdėlioti atsirenkant rūpimus kriterijus, t. y. transporto sektoriaus emisijas 1990-2019 metų laikotarpiu, transporto sektoriaus emisijas vienam gyventojui (*per capita*) 1990-2019 metais bei transporto sektoriaus emisijas vienam BVP 1995-2019 metais (kai vertinama BVP PPP 2010 metų dolerio vertės atitikmuo). Duomenys buvo sutvarkyti atsisakant 14 šalių, iš kurių nebuvo pakankamai informacijos (nagrinėta 182 valstybės). Papildomai atsisakyta 13 valstybių dėl duomenų stokos nagrinėjant transporto emisijas pagal BVP. Iš kiekvienos valstybės duomenų buvo išvestas standartizuotas vidurkis bei apskaičiuota kiekvienų laikotarpio metų nuokrypio reikšmė. Pagal tai buvo įvykdyta „alkūnės metodo“ (angl. *elbow method*) analizė naudojant DATAtab internetinę duomenų analitikos platformą. Minimos programos pagalba buvo identifikuoti optimaliausias kiekvieno duomenų bloko klasterių kiekiai. Visais atvejais „alkūnės metodas“ rodė, jog prie dviejų klasterių įvyksta stipriausias lūžis, rodantis, jog tai yra tinkamiausias klasterių kiekis analizei (1 pav.).



1 pav. „Alkūnės metodo“ pavyzdys identifikuojantis optimaliausią klasterių kiekį.

Vis dėlto žinant, jog nagrinėjamas šalių skaičius yra didžiulis (virš 180) bei siekiant tyrimą praplėsti ir išgauti daugiau duomenų gilesnei analizei, alternatyviai buvo panaudota ir kitas *elbow method* atsispindintis klasterių skaičius. Vertinant transporto sektoriaus emisijas ir emisijas vienam gyventojui pasirinktas klasterių skaičius buvo 7. Tuo tarpu vertinant transporto sektoriaus emisijas BVP, klasterių kiekis siekė 8.

Klasterių kiekio identifikacijai ir klasterizacijai pasitarnavo K-vidurkio (*K-means*) metodas. *K-means* metodas yra naudojamas skirstant duomenis į klasterius (šiuo atveju – šalių transporto sektoriaus emisijų tendencijas). Kiekvienas klasteris turi centrą (centroidą), o K algoritmas siekia minimalizuoti nuokrypius („atstumus“) tarp analizuojamų duomenų centrų ir jų atitinkamų centroidų (Jain, 2010). Pagal K metodą yra pasirenkami taškai, kurie atitiktų klasterius (atitinkamai 2, 7 ir 8), suformuojami jų pradiniai centroidai, o tuomet kiekvienas duomenų taškas (šiuo atveju nagrinėjamo laikotarpio duotų vienerių metų nuokrypio nuo standartinio vidurkio reikšmė) pagal tam tikrą atstumo matą. Po šio veiksmo seka centroidų atnaujinimas, kuris kiekvieno klasterio centroidą perkelia į taškų, priskirtų tam klasteriui, vidurkį. Tai pabaigus procesas yra kartojamas iki kol centroidai nebesikeičia arba yra pasiektas maksimalus iteracijų skaičius (Jain, 2010). Pagal įvertintus klasterius kiekvienam duomenų blokui buvo sudaryti po du žemėlapius (vienas su efektyviausiu klasteriu skaičiumi, kitas su išplėstiniu). Atitinkamai pagal klasterius išskirtos reprezentatyviausios klasterių valstybės, jų duomenys (emisijų tendencijos) atvaizduotos sukuriant individualius grafikus. Reprezentatyvios valstybės identifikuotos ir jų tendencijos pateiktos po atitinkamų duomenų blokų apžvalga. Tyrimo metu buvo atsižvelgta į skirtingų transporto rūšių emisijas, ekonominio augimo, technologijų pažangos ir politinės aplinkos įtaką, taip pat regioninius skirtumus. Šis tyrimas turėtų padėti geriau suprasti CO₂ emisijos iš transporto sektoriaus dinamiką ir paskatinti veiksmingesnes politikos strategijas, skirtas šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijai mažinti.

Vertinant šalių emisijų tendencijas buvo naudojamos šalys, kurios geriausiai atstovauja savuosius klasterius, tačiau siekiant įgauti geresnį ir tikslesnį klasterio vaizdą, iliustracijai ir klasterio kertiniams momentams nustatyti buvo naudojama keletas daugiau politinės, ekonominės ir socialinės informacijos indikatorių turinčios šalys. Šis tyrimas siekia analizuoti transporto sektoriaus emisijų dinamiką įvairiose šalyse ir suprasti, kaip ekonominiai, politiniai ir socialiniai veiksniai paveikė šią dinamiką 1990–2019 m. laikotarpiu.

3. GLOBALIOS ŠESD EMISIJOS

Nagrinėjant ŠESD emisijas susiduriama su įvairiais neapibrėžtumais, dažniausiai susijusiais su istoriniais ŠESD emisijų vertinimais. Pagrindinės to priežastys: duomenų stoka, susijusi su pradiniais veiklos bei inventoriaus duomenimis (ypač ne-EBPO šalyse), dėl vidutinių emisijų koeficientų taikymo skirtingoms šalims ir kuro rūšims, skirtingų kuro oksidacijos ir degimo interpretacijų bei kitų prielaidų. Išskatinio kuro deginimo emisijos paprastai laikomos, kaip turinčios palyginti mažą neapibrėžtumą, nes istoriniai energetikos duomenys yra standartizuoti ir kruopščiai renkami. Vis dėlto naujausi tyrimai atskleidė reikšmingų neatitikimų tarp nacionalinėse ŠESD ataskaitose nurodytų naftos ir dujų sektoriaus emisijų (ypač metano) ir stebėjimais pagrįstų antropogeninio CH₄ emisijų įvertinimų (Lamb et al., 2021). Pavyzdžiui, 2012 m. „Nature“ straipsnyje nustatyta, kad Kinijos išmetamo CO₂ kiekis, apskaičiuotas remiantis dviem skirtingais oficialios statistikos rinkiniais (nacionaliniais ir provincijų), skiriasi 1,4 Gt. Kaip nurodo autoriai, 1,4 Gt yra maždaug tiek pat, kiek per metus CO₂ išmeta Japonija (Guan et al., 2012).

Kartais ŠESD yra įvardijamos kaip „šilumą sulaikančios dujos“. Dažniausiai sutinkamos antropogeninės kilmės dujos yra: anglies dioksidas (CO₂), metanas (CH₄), azoto oksidas (NO_x) ir fluorintos dujos (pvz., HFC ir SF₆). Iš minėtų dujų anglies dioksidas yra bene svarbiausias, kadangi sudaro 75% viso ŠESD poveikio pasaulio klimato atšilimui. Antroje vietoje pagal svarbą yra metanas, kurio poveikis klimato atšilimui sudaro maždaug 18%, toliau seka azoto oksidai (4%) ir fluorintos dujos (2%). Antropogeninė veikla, tokia kaip transportas, miškų kirtimas, energetika ir pramonė, įskaitant cemento gamybą, išskiria anglies dioksidą. Žemės ūkis, energetikos sektorius ir kiti sektoriai lengvina metano išskyrimą. Tuo tarpu fluorintos dujos yra daugiausia naudojamos oro kondicionavimo ir šaldymo įrenginiuose. Siekiant standartizuoti ir suvienodinti duomenis bendrai suprantamais standartais naudojamas vienetas „CO₂ ekvivalentas“ (CO₂e). Tai yra sutartinis matas, naudojamas šilumą sulaikančioms dujoms palyginti pagal jų potencialą skatinti šiltnamio efektą. Pavyzdžiui, yra žinoma, jog viena metano molekulė per 20 metų sulaiko maždaug 80 kartų daugiau šilumos nei viena anglies dioksido molekulė, todėl metanui dažnai priskiriama vidutinė 80 CO₂e vertė. Viena azoto oksido molekulė per 20 metų sulaiko maždaug 273 kartus daugiau šilumos nei anglies dioksido molekulė. Todėl azoto oksidui dažnai priskiriama maždaug 273 CO₂e vertė. Pagrindinių fluorintų dujų CO₂e vertės gali siekti šimtus ir tūkstančius (Sandalow et al., 2022).

TKKK duomenimis, daugiau nei du trečdaliai CO₂ atmosferoje išlieka kelis dešimtmečius, o 15-40% - daugiau nei 1000 metų. Bendras išmetamų teršalų kiekis per ilgą laikotarpį yra svarbus šalies indėlio į dabartinį visuotinį atšilimą rodiklis. Dažniausiai skaičiuoti pradedama nuo pramonės revoliucijos pradžios XVIII a. vidurio. Skaičiavimui imant periodą nuo 1751 m. iki 2020 m. 25% CO₂ išmetė Jungtinės Amerikos Valstijos, maždaug 22% išmetė ES (imant 28 nares) ir apie 14% viso pasaulyje išleisto CO₂ kiekio teko Kinijai (Ritchie & Roser, 2024).

Globalios ŠESD emisijos nagrinėjamame periode augo visame pasaulyje išskyrus Europos Sąjungą (Lamb et al., 2021). BP duomenimis 2005 m. pirminės energijos suvartojimas globaliai išaugo 2,7%, t. y. mažiau nei 2004 m., kai buvo užfiksuotas spartus 4,4% augimas. Tačiau pastovus augimas, nors ir netolygus, buvo fiksuotas visą dešimtmetį (t.y. nuo 1994 m.) (BP, 2006). Dėl pasaulinio ekonomikos nuosmukio įtakos 2009 m. energijos suvartojimas sumažėjo. Tai įvyko pirmą kartą nuo 1982 m. Sumažėjimas siekė net 1,1% ir buvo didžiausias nuo 1980 m. Vis dėlto pokyčiai skirtinguose regionuose buvo nevienodi. Energijos suvartojimas labiausiai sumažėjo EBPO šalyse ir buvusios Sovietų Sąjungos teritorijoje. Svarbu paminėti, jog EBPO šalyse energijos suvartojimas mažėjo sparčiau nei BVP. Anot BP – tai didžiausias energijos suvartojimo sumažėjimas per visą

istoriją. EBPO 2009 m. suvartojo mažiau pirminės energijos nei prieš 10 metų, nors nuo to laiko sugebėjo padidinti BVP net 18%. Vadinasi ekonomika galėjo transformuotis. Tuo tarpu besivystančiose šalyse, nepriklausiusiose buvusiai Sovietų Sąjungai, energijos suvartojimas augo sparčiau nei BVP. Šie duomenys rodo, kad nuo 1998 m. pirmą kartą pasaulyje sumažėjo išmetamo globalaus CO₂ kiekis, susijęs dėl energijos vartojimo (BP, 2010). Praėjus dešimtmečiui, 2018 m. emisijas skaidant regionais, Rytų Azija ir Šiaurės Amerika kartu sudarė 40% pasaulinių šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijų, pagrindiniais teršėjais buvo Kinija ir JAV. Didžiausias absoliutus emisijų padidėjimas 2010–2018 m. laikotarpiu užfiksuotas Rytų Azijoje – 2,6 Gt CO₂ ekv., tai daugiau nei dvigubai viršijo augimą kitame regione – Pietų Azijoje, kur emisijos padidėjo 1,1 Gt CO₂ ekv. Keturi regionai – Artimieji Rytai, Afrika, Europa ir Pietryčių Azija – sudarė likusią pasaulinio emisijų augimo dalį, kiekvienas prisidėdamas maždaug po 0,5 Gt CO₂ ekv. Sparčiausias santykinis emisijų augimas nuo 2010 m. buvo Pietų Azijoje – 3,6% per metus, po to sekė Artimieji Rytai (2,6%/m.), Rytų Azija (2,4%/m.) ir Eurazija (1,9%/m.) Vienintelis regionas, kuriame nuo 2010 m. sumažėjo emisijos, buvo Europa – –0,3 Gt CO₂ ekv. (–0,8% per metus). Šiaurės Amerika, Lotynų Amerika ir išsivysčiusios Azijos ir Ramiojo vandenyno šalys patyrė tik minimalų augimą per šį laikotarpį – atitinkamai +0,1%/m., +0,1%/m. ir +0,4%/m (Lamb et al., 2021).

2018 metais šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos pasiekė iki tol aukščiausią lygį žmonijos istorijoje – 58 Gt CO₂ ekv. *British Petroleum* (BP) duomenimis anglies emisijos augo bene 2% - greičiausiai per 7-erius metus, o pirminės energijos suvartojimas augo 2,9 proc., t. y. beveik dvigubai sparčiau nei 2008-2017 metų laikotarpyje. Energijos suvartojimo augimą lėmė gamtinės dujos, kurių suvartojimas padidėjo daugiau kaip 40%. Visos kuro rūšys, išskyrus atsinaujinančiuosius energijos išteklius, augo sparčiau nei jų 10 metų vidurkiai, nors atsinaujinantieji energijos ištekliai vis dar buvo antri pagal energijos augimą. Kinija, JAV ir Indija kartu sudarė daugiau nei du trečdalius pasaulinės energijos paklausos augimo, o JAV suvartojimas augo sparčiausiai per 30 metų. Naftos suvartojimas padidėjo daugiau nei 1,4 mln. barelių per dieną (b/d). Labiausiai prie augimo prisidėjo Kinija (680 000 b/d) ir JAV (500 000 b/d). Gamtinių dujų suvartojimas išaugo 195 mlrd. kubinių metrų (bcm), arba 5,3%, tai buvo vienas sparčiausių augimo tempų nuo 1984 m. (BP, 2019).

2019 m. pirminės energijos suvartojimo augimas sulėtėjo iki 1,3%, t. y. perpus mažiau nei 2018 m. (2,8%). Daugiau nei trys ketvirtadaliai grynojo globalaus energijos augimo priklausė Kinijai. Toliau energijos vartojimą didino besivystančios Indija ir Indonezija, o ekonomiškai išsivysčiusios JAV ir Vokietija patyrė didžiausią energijos poreikio nuosmukį. Išmetamo CO₂ kiekis dėl energijos vartojimo padidėjo 0,5%, iš dalies panaikindamas neįprastai didelį 2018 m. padidėjimą (2,1%). 2019 m. naftos vartojimas didėjo vidutiniškai 0,9 mln. barelių per dieną (b/d), t. y. 0,9%. Bendrai viso skystojo kuro (įskaitant biodegalus) paklausa padidėjo 1,1 mln. b/d ir pirmą kartą viršijo 100 mln. b/d. Naftos suvartojimą didino Kinija (680 000 b/d) ir kitos besivystančios ekonomikos šalys, tuo tarpu EBPO šalių paklausa sumažėjo (-290 000 b/d). Gamtinių dujų suvartojimas išaugo 78 mlrd. kubinių metrų (bcm), (2%). Tai gerokai mažiau nei 2018 m. stebėtas išskirtinis augimas (5,3%). Vis dėlto dujos užima stambiaią dalį pirminės energetikos – 24,2%. Dujų paklausos didėjimą lėmė poreikis iš JAV (27 mlrd. m³) ir Kinijos (24 mlrd. m³), o Rusijoje ir Japonijoje dujų paklausa labiausiai sumažėjo (atitinkamai 10 ir 8 mlrd. m³) (BP, 2019).

2019 m. energetikos rinkos augimas sulėtėjo dėl silpnescio ekonomikos augimo ir dalinio kai kurių vienkartinųjų veiksnių, kurie 2018 m. didino energijos paklausą, atsitraukimo. Ekonomikos lėtėjimas buvo pastebimas JAV, Rusijoje ir Indijoje, kuriose 2018 m. buvo stebėtas neįprastai spartus augimas. Išimtis buvo Kinija, kurios energijos vartojimas 2019 m. suintensyvėjo. Dėka šios priežasties Kinija dominavo pasaulio energijos rinkų plėtroje – jos indėlis į kiekvieno atskiro

energijos šaltinio paklausos augimą buvo didžiausias, išskyrus gamtines dujas, kur ją tik nedaug aplenkė JAV (BP, 2019).

OPEC grupės gavyba 2019 m. sumažėjo 2 mln. barelių per dieną – tai didžiausias gamybos sumažėjimas nuo 2009 m. Šio sumažėjimo pagrindinės priežastys: sankcijos ir ekonominiai sunkumai Irane (-1,3 mln. b/d) ir Venesueloje (-560 000 b/d). Be to, atnaujintas OPEC+ gavybos mažinimo susitarimas sumažino kitų šalių gavybos apimtis. Pavyzdžiui, Saudo Arabijos gavyba sumažėjo (430 000 b/d), tačiau kai kurių OPEC narių gavyba padidėjo, palyginimui Irako ir Nigerijos gavyba atitinkamai augo 150 000 ir 100 000 b/d (BP, 2019).

Afrikoje, Lotynų Amerikoje ir Pietryčių Azijoje daugiausiai emisijų vis dar kyla iš žemės naudojimo, žemės panaudos keitimo ir miškininkystės (AFOLU) sektoriaus. Ypač daug anglies dioksido emisijų yra susiję su miškų naikinimu. Visgi, tolesnis emisijų augimas šiuose regionuose dažniausiai siejamas su energetikos, pramonės bei transporto sektoriais. Panaši tendencija stebima ir Rytų bei Pietų Azijoje, kur spartus emisijų didėjimas taip pat daugiausia susijęs su pramonės, energetikos sistemų ir transporto sektoriais, kai kuriuose sektoriuose augimo tempai viršija 4% per metus. Reikšmingas energetikos sektoriaus dekarbonizacijos progresas pastebimas tik Šiaurės Amerikoje ir Europoje (Lamb et al., 2021). Per pastaruosius tris dešimtmečius CO₂ emisijų kiekis vienam sunaudotos energijos vienetui pasauliniu mastu išliko beveik nepakitęs, kadangi kai kuriuose regionuose atsinaujinančios energijos plėtra buvo atsverta naujų iškastinio kuro elektrinių statyba kitose vietose. Taip pat svarbu paminėti, jog gyventojų skaičiaus augimas išlieka vienu svarbiausių emisijų didėjimo veiksnių (International Energy Agency, 2020).

Energetikos sektoriaus emisijos

Daugelyje pasaulio regionų (tarp jų ir Lietuvoje) elektros ir šilumos gamyba yra dominuojantis ŠESD šaltinis, sudarantis daugiau nei 50% visų emisijų. Kai kuriuose regionuose, pvz., Pietų ir Rytų Azijoje, šis rodiklis siekia net 80%. 2018 m. dauguma energetikos sistemos emisijų kilo iš elektros ir šilumos gamybos – t. y. anglies, dujų ir kitų elektrinių, gaminančių elektrą ir šilumą, kurios sudarė apie 71% visų emisijų šiame sektoriuje (14 GtCO₂ ekv.). Antroje ir trečioje vietose pagal emisijų mastą rikiuojasi emisijos iš naftos ir dujų sektoriaus (2,5 GtCO₂ ekv.) bei anglies (1,3 GtCO₂ ekv.) (Lamb et al., 2021).

Bendras emisijų augimas energetikos sektoriuje 2010–2018 m. siekė +1,9 GtCO₂ ekv., iš kurių: 62% (1,2 GtCO₂ ekv.) sudarė elektros ir šilumos gamyba, 19% (0,37 GtCO₂ ekv.) – naftos ir dujų sektorius, 9% (0,18 GtCO₂ ekv.) – anglies gavybos emisijos. 2018 m. Rytų Azija buvo didžiausia energetikos sektoriaus emisijų šaltinis (6,3 GtCO₂ ekv.) bei fiksavo didžiausią absoliutinį augimą nuo 2010 m. (1,2 GtCO₂ ekv.; vidutiniškai 2,6% per metus). Europoje ir Šiaurės Amerikoje buvo fiksuotas nežymus mažėjimas (atitinkamai -1,8%/m. ir -1,5%/m., arba -0,27 GtCO₂ ekv. ir -0,35 GtCO₂ ekv.). Tuo tarpu Pietų Azija, Pietryčių Azija ir Artimieji Rytai pasižymi sparčiausiais metiniais augimo tempais – atitinkamai 4,9%, 4,3% ir 3,3%. Afrikoje, išsivysčiusiose Azijos-Ramiojo vandenyno šalyse bei Lotynų Amerikoje augimas buvo nuosaikus, neviršijantis 1% per metus. Visgi, kai kuriose šalyse svarbesnę dalį sudaro neorganizuotai išmetami teršalai (*fugitive emissions*), pvz.: Artimuosiuose Rytuose – 39%, Afrikoje – 31%, Lotynų Amerikoje – 25%, Eurazijoje – 24% (Wiedenhofer et al., 2020).

Pagrindinė šių tendencijų varomoji buvo vadinamoji „anglies renesanso“ banga, prasidėjusi 1990-aisiais, dėl didžiulio anglies jėgainių populiarumo Kinijoje. Po 2010 m. emisijų iš iškastinės anglies deginimo augimas sulėtėjo, daugiausia dėl lėtesnio ekonomikos augimo Kinijoje ir mažesnio naujų anglies jėgainių skaičiaus. 2011–2018 m. emisijos netgi sumažėjo, tačiau 2019 m. augimas vėl

buvo stebimas. Pažymėtina, jog „anglies renesansas“ neapsiribojo tik Kinija – didelių pajėgumų plėtros projektai vyko Indijoje, Turkijoje, Indonezijoje, Vietname, Pietų Afrikoje ir kt. (Jiang & Guan, 2016; Steckel et al., 2015).

Pramonės sektoriaus emisijos

Pagal tiesiogines emisijas pramonė 2018 m. buvo antras pagal dydį sektorius (25%), po energetikos. Nuo 1990 m. pramonės sektorius nuosaikiai didino savo tiesioginių emisijų dalį. Sektorius taip pat susiduria su technologiniais iššūkiais mažinant emisijas, ypač plieno ir cemento gamybos procesų metu, todėl yra laikomas vienu iš kertinių sektorių švelninant klimato kaitą (Lamb et al., 2021). Regionuose emisijų sudėtis skiriasi: Afrikoje, Pietų Azijoje ir Lotynų Amerikoje daugiau emisijų kyla iš atliekų ir cemento gamybos; Europoje ir Šiaurės Amerikoje didesnę dalį sudaro chemikalai ir kita pramonė. Metalų gamybos emisijų dauguma kyla iš Rytų Azijos (1,8 GtCO₂ ekv.), toliau seka: Pietų Azija – 0,33 GtCO₂ ekv.; Eurazija – 0,28 GtCO₂ ekv.; Europa – 0,22 GtCO₂ ekv. Pagrindinis pasaulinis pramonės emisijų variklis – milžiniška paklausa pagrindinėms žaliavoms, statybinėms medžiagoms ir gaminiais. Šią paklausą skatina gyvenimo lygio kilimas, vartojimas, urbanizacija ir infrastruktūros plėtra. Kaip ir energetikos sektorius, pramonė gamina produktus, naudojamus kituose sektoriuose, t. y. medžiagas, kurios sudaro „materialinius rezervus“ (angl. *material stocks*) – pastatus, kelius, transporto priemones, elektroniką ir įrangą. Pavyzdžiui, 2014 m. šie materialiniai rezervai pasiekė 928 Gt, su 3,9% metiniu augimu nuo 2010 m. ir 26 kartus didesne apimtimi nei 1900 m. Jų gamyba ir naudojimas 2011 m. atitinkamai sudarė 11 GtCO₂ ekv. emisijų. Pramonėje energijos vartojimo efektyvumo didinimas, medžiagų pakeitimas, lengvesnis dizainas, ilgesnis produktų tarnavimo laikas, efektyvesnės paslaugos bei perdirbimas gali reikšmingai sumažinti emisijas ateityje (Hertwich, 2021; Krausmann et al., 2017)

Perėjimas prie mažai anglies dioksido išskiriančių ar nulinės emisijos žaliavų ir energijos šaltinių prisideda prie pramonės dekarbonizacijos. Nors pramonės energijos sąnaudos santykiyje su BVP mažėjo visose pasaulio regionuose nuo 2010 m., tyrimai rodo didelius regioninius skirtumus ir neišnaudotą potencialą efektyvumo didinimui, ypač metalo, cemento ir chemijos pramonėje. Didėjanti paslaugų paklausa, skatinama globalios gerovės ir gyventojų augimo, lėmė didesnę medžiagų naudojimą ir su tuo susijusias augančias pramonės emisijas. Nors energijos efektyvumas anksčiau buvo pagrindinė mažinimo priemonė, jis buvo nepakankamas siekiant sustabdyti emisijų augimą. Vis daugiau dėmesio skiriama paklausos valdymui, medžiagų efektyvumui, kuro keitimui, elektrifikacijai bei energijos ir žaliavų dekarbonizacijai. 2018 m. pasaulinės ŠESD emisijos, priskiriamos pastatų sektoriui, siekė 9,8 GtCO₂ ekv., iš kurių 66% (6,5 GtCO₂ ekv.) sudarė netiesioginės emisijos, atsiradusios dėl elektros energijos gamybos ir šilumos tiekimo. Likę 34% (3,4 GtCO₂ ekv.) buvo tiesioginės emisijos, susidarancios pačiuose pastatuose, pavyzdžiui, dėl dujinių ir anglies katilų, taip pat maisto gaminimo ir apšvietimo įrenginių, naudojančių žibala, biomasę bei kitas kuro rūšis. Išsivysčiusios Šiaurės Amerikos, Europos ir Azijos-Ramiojo vandenyno regionai 2018 m. sudarė 41% (4 GtCO₂eq) pasaulinių pastatų emisijų. Visuose trijuose regionuose emisijos sumažėjo per 2010–2018 m. laikotarpį, atitinkamai –2,2%/per metus, –2,5%/per metus ir –0,4%/ per metus. Energijos intensyvumo mažėjimą galėjo lemti pasaulinis perėjimas nuo neefektyvaus anglies ir biomasės naudojimo pastatų šildymui ir maisto gaminimui prie gamtinių dujų ir elektros energijos vartojimo. Šį perėjimą (ypač Azijoje) iš dalies paskatino kryptinga politika (Hertwich, 2021; Krausmann et al., 2017; Lamb et al., 2021).

Transporto sektoriaus emisijos

Transporto sektorius sukuria bene $\frac{1}{4}$ visų emisijų. Net 95% energijos transporto sektoriuje yra iškastinio kuro kilmės. Transporto sektoriui teko 57% pasaulinės naftos paklausos ir 28% viso energijos suvartojimo. Nuo 1990 metų pasaulinės transporto sektoriaus emisijos augo pastoviu tempu, vidutiniškai apie 2% per metus siejama su vidutiniškai 5% per metus padidėjusiu komercinių keleivinių skrydžių skaičiumi (FACT SHEET CLIMATE CHANGE, n.d.; Lamb et al., 2021). TKKK teigia, kad iki 2050 m. transporto sektoriuje išmetamo CO₂ kiekio stabilizavimas maždaug 2010 m. lygyje atitiktų 2°C vidutinės globalios temperatūros padidėjimo lyginant su priešindustriniu lygiu tikslą (Creutzig, 2016). Tarptautinėje laivyboje išmetamųjų teršalų kiekis 2010-2019 m. vidutiniškai per metus padidėjo apie 0,85% 2018 m. visos laivybos (tarptautinės, vidaus ir žvejybos) išmetamų ŠESD kiekis sudarė beveik 3% viso pasaulinio kiekio. 2018 m. aviacijai teko maždaug 12% su transportu susijusio išmetamo ŠESD kiekio. Didžiausią dalį augimo nuo 2010 metų sudarė kelių transportas (+0,9 GtCO₂ ekv., 1,9% per metus), tačiau greičiausiai augantys teršėjai buvo vidaus laivyba, vidaus aviacija ir tarptautinė aviacija, kurių emisijų augimo tempai atitinkamai siekė +3,2%/metus, +2,8%/metus ir +2,7%/metus. Šiaurės Amerika, Europa ir Rytų Azija išsiskiria, kaip pagrindiniai pasauliniai transporto emisijų centrai, ir kartu sudaro 60% visų emisijų. Transporto emisijas palyginti stabilias nuo 2010 metų sugebėjo išlaikyti Azijos-Ramiojo vandenyno išsivysčiusios šalys (+0%/metus), Europa (+0,4%/metus) ir Eurazija (+0,4%/metus) – tačiau visi kiti regionai ir toliau didino transporto sektoriaus emisijas. Greičiausias augimas nuo 2010 metų įvyko Rytų Azijoje (+5,6%/metus, +0,4 GtCO₂ ekv.), Pietų Azijoje (+4,9%/metus, +0,1 GtCO₂ ekv.), Pietryčių Azijoje (+4,5%/metus, +0,1 GtCO₂ ekv.) ir Afrikoje (+3,3%/metus, +0,08 GtCO₂ ekv.) (Lamb et al., 2021). Pasaulinis transporto sektoriaus galutinės energijos naudojimo dalis (28%) ir greitas šio sektoriaus plėtimasis per laiką stipriai veikia klimato kaitos švelninimo pastangas neigiama prasme. Ši realybė rodo, jog transporto sektorius tapo vienu iš sudėtingiausių siekiant efektyviai kovoti su klimato kaita – netgi turtingesnės šalys nesugebėjo pasiekti reikšmingų emisijų mažinimo rezultatų nagrinėjamame laikmetyje (Gota et al., 2019).

Reikšminga paminėti, jog skirtingi skaičiavimo metodai gali duoti skirtingą informaciją nagrinėjant emisijas ir jų priskyrimus, ypatingai transporto sektoriuje. Remiantis ketvirtąją Tarptautinės jūrų organizacijos (IMO) ŠESD studija, bendrosios laivybos sektoriaus emisijos 2018 m. siekė 1056 mln. tonų, t. y. padidėjo 9,3% nuo 2012 m. IMO ir Tarptautinė švaraus transporto taryba (ICCT) laivybos emisijas vertino taikydamos „iš apačios į viršų“ metodą, remiantis informacija apie reisuos ir laivų klasifikaciją (naftos tanklaiviai, krovininiai, konteineriniai laivai ir kt.). Tuo tarpu Tarptautinė energetikos agentūra (IEA) emisijas skaičiavo taikydama „iš viršaus į apačią“ metodą, pagal šalių pateiktas apklausas apie paklausą jūrų degalams („degalų pardavimai“) bei laivyno dydį. Nors ICCT ir IMO naudojo panašias metodologijas, pastebėta reikšmingų skirtumų energijos vartojimo vertinimuose. Pavyzdžiui, ICCT vidutiniškai nurodė 13% didesnę degalų suvartojimą nei IEA, o IMO – net 19% didesnę. IEA apskaičiuotos energijos sąnaudos buvo gerokai mažesnės nei „iš apačios į viršų“ atlikti vertinimai, dėl metodologinių skirtumų ir skirtingų prielaidų. Kitas esminis skirtumas – tarptautinės laivybos apibrėžime: IEA neturi galimybių aiškiai atskirti vidaus ir tarptautinių laivybos veiklų degalų suvartojimo, tuo tarpu ICCT ir IMO apibrėžimuose tik didesni laivai priskiriami prie tarptautinės laivybos (Ankathi et al., 2022).

Pasaulio transporto sektoriaus energetinė struktūra ir toliau išlieka glaudžiai susijusi su iškastiniais degalais – vidaus degimo varikliais varomos benzininės ir dyzelinės transporto priemonės sudaro net 92 % lengvųjų automobilių galutinio energijos suvartojimo. Transporto sektoriaus anglies

intensyvumas išliko nepakitęs nuo 2010 iki 2018 metų visuose pasaulio regionuose. Dalis to yra dėl vis didėjančio didesnių, sunkesnių vidaus degimo varikliu varomų transporto priemonių („sportinių visureikių“ arba SUV) naudojimo, kuris, lyginant su elektrinių ir hibridinių transporto priemonių pardavimais, augo sparčiau. Nuo 2011 metų pastebimas pastovus ir vis ryškesnis dyzelinių transporto priemonių rinkos dalies mažėjimas ES šalyse; nuo 2017 metų šie pokyčiai pakeitė ankstesnę naujų registruotų transporto priemonių vidutinio kuro suvartojimo mažėjimo tendenciją Europoje. Nacionalinės ir tarptautinės aviacijos bei laivybos vaidmuo sparčiai auga – jų metinis augimo tempas siekė atitinkamai +4,2% ir 3,1% nuo 1990 iki 2018 metų. Aviacijos energetinio efektyvumo gerinimas buvo žymiai spartesnis nei kelių transporte, tačiau net ir tai buvo pranokta dar didesniu veiklos apimčių augimu. 2016 metais aviacija sudarė 31% visų turistų atvykimų pasaulyje (palyginti su 17% 2005 metais), bei 50% transporto sektoriaus CO₂ emisijų iš turizmo. Matoma, jog transporto emisijų tendencijos rodo nuoseklų didėjimą, kurį daugiausia lemia auganti motorizacija ir augantis kelių transporto aktyvumas. Vis dėlto, nors kelių transporto elektrifikacija yra daug žadanti, iki 2018 metų jos poveikis emisijoms buvo beveik nepastebimas, o ateityje jis gali būti neutralizuotas augančiu kelionių aktyvumu ir priešingomis tendencijomis, tokiomis kaip didėjantis transporto priemonių dydis ir svoris. Tai rodo būtinybę taikyti griežtesnę politiką ir didinti pastangas mažinti priklausomybę nuo automobilių, įskaitant kelionių paklausos valdymą kartu su technologinėmis inovacijomis. Paklausos valdymas yra dar svarbesnis tokiose srityse kaip aviacija, kur technologinės galimybės dekarbonizuotis yra šiuo metu itin ribotos (Lamb et al., 2021).

Svarbu pažymėti, jog transporto sektoriaus energijos vartojimo priklausomybė nuo BVP vienam gyventojui augimo buvo pastebima ryškiau nei bet kuriame kitame sektoriuje. Tai ypač buvo pastebima Kinijoje ir Indijoje. Transportas palengvina žmonių ir prekių judėjimą, užtikrina prieigą prie esminių paslaugų ir socialinių sąveikų bei skatina lokalias bei globalias ekonomikas. Pastebima, jog nuo 1990 metų vyrauja istorinė tendencija, kuomet kelionių atstumai didėjo, o transporto priemonės išvystė didesnę greitį. Taip pat tai sutapo su BVP augimu. Pasaulinis keleivinių ir krovinių kelionių aktyvumo augimas pranoko energijos efektyvumo ir kuro ekonomiškumo pagerėjimą, tęsdamas ilgalaikę transporto sektoriaus tendenciją. Nors stebima kelionių dažnėjimas visuose regionuose, vis dar išlieka didelė nelygybė tarp žemų ir aukštų pajamų šalių, taip pat tarp miestų ir kaimo vietovių šalių viduje. Taip vadinamos globalių pietų šalys tampa vis labiau priklausomos nuo automobilių, sparčiai augant motorizacijai ir urbanizacijai, atsirandant vietinei automobilių gamybai (Poiani & Stead, 2017). Nuo 2000 iki 2017 metų pasaulinė keleivinių kelionių veikla ne EBPO šalyse išaugo 169% (IPCC, SLOCAT Partnership, 2018). Kelionių organizavimo lengvėjimas ir žymus jų kaštų sumažėjimas, pasiektas taikant novatoriškus verslo modelius ir informacines technologijas, tapo transporto paklausos augimo varikliais ir formavo žmonių ir prekių judėjimo būdus pasaulyje. Per pastaruosius du dešimtmečius krovinių transporto veikla pasaulyje išaugo 68%, o tai paskatino globalus BVP augimas bei internetinės prekybos plėtra ir greitas užsakymų pristatymas. Ypač spartus augimas buvo fiksuojamas sunkiojo transporto sektoriuje. Pasaulinis transporto sektoriaus energetinis intensyvumas sumažėjo vidutiniškai 1,3% per metus nuo 2010 iki 2018 metų, pirmiausia dėl turtingesnių regionų pastangų, tačiau kitose pasaulio vietose jis liko stabilus arba augo. Kai kurios šalys įgyvendino transporto priemonių energijos efektyvumo politiką, skatindamos technologinius patobulinimus, kurie mažino energijos vartojimą keleiviniam kilometrui ir krovinių tonai kilometrui visose transporto priemonėse (nepriklausomai nuo antžeminės transporto priemonės rūšies). Tačiau pažanga kitoje svarbioje politikos srityje, kuro kainų reformoje, buvo nevienoda. Nuo 2003 iki 2015 metų degalų akcizas padidėjo 83 šalyse, tačiau sumažėjo 46 šalyse (Lamb et al., 2021; Ross et al., 2017).

Globalios emisijos ir BVP

2011 metais kasmetinėje energetikos apžvalgoje BP rašė: „Gyventojų skaičius ir pajamų augimas yra dvi galingiausios energijos paklausos varomosios jėgos. Nuo 1900 m. pasaulio gyventojų skaičius išaugo daugiau nei keturis kartus, realiosios pajamos - 25 kartus, o pirminės energijos suvartojimas - 22,5 karto.” Per pastaruosius 20 metų pasaulio gyventojų skaičius išaugo 1,6 mlrd., kartu per pastaruosius 20 metų realiosios pasaulio gyventojų pajamos padidėjo 87% (BP, 2011).

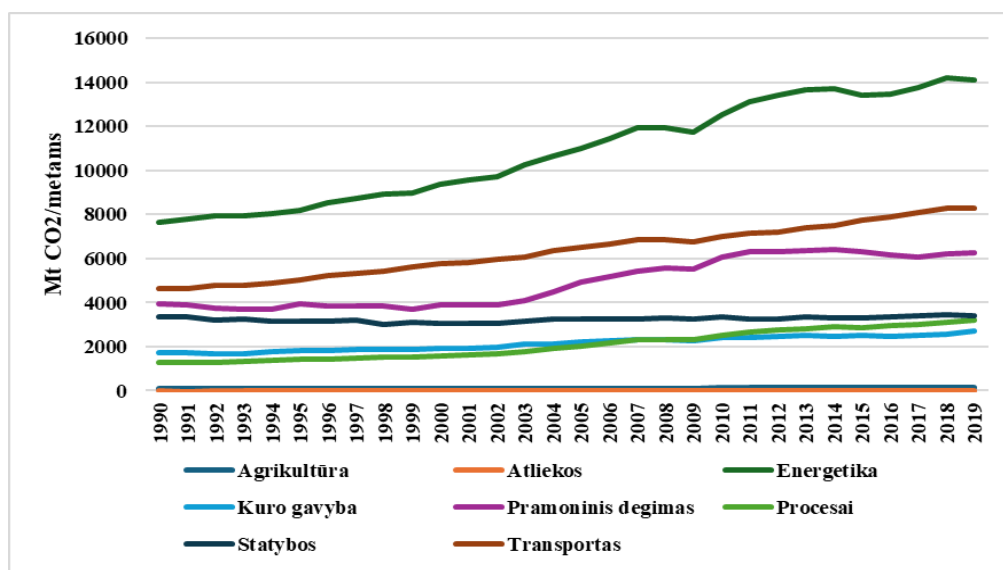
Kuznets kreivė rodo, jog aplinkos tarša didėja ekonominiam vystymuisi progresuojant, tačiau pasiekus tam tikrą pajamų lygį, tarša pradeda mažėti. G. M. Grossman ir A. B. Krueger (1990) pirmieji išskyrė tris kanalus, per kuriuos ekonomikos augimas veikia aplinkos kokybę: masto efektą, struktūrinį (kompozicinį) efektą ir technologinį (technikinį) efektą. Pagal masto efektą, ekonomikos augimo pradžioje naudojama daugiau išteklių bei sąnaudų siekiant pagaminti daugiau prekių, o tai lemia didesnę energijos vartojimą ir atitinkamai didesnes taršos emisijas. Struktūrinis efektas nurodo, kad ekonomikos augimui įsibėgėjus, šalies ūkio struktūra transformuojasi nuo taršių pramonės šakų prie mažiau taršių veiklų, įskaitant paslaugų sektorių. Technologinis efektas pasireiškia tuo, kad aukštas pajamas pasiekusios ekonomikos didina investicijas į mokslinius tyrimus ir technologinę plėtrą, atsiranda švaresni gamybos procesai, vyksta dematerializacija ir transmaterializacija, o tai galiausiai lemia aplinkos būklės gerėjimą (Bilgili et al., 2016).

Kalbant apie tiesioginių užsienio investicijų (TUI) poveikį ŠESD emisijoms, mokslinėje literatūroje išskiriamos dvi priešingos hipotezės. Pirmoji, vadinama „taršos prieglobsčio hipoteze“ (angl. *Pollution Haven Hypothesis*, PHH), teigia, kad TUI skatina ekonominį augimą aplinkos sąskaita, kadangi aplinką labiau teršiančios veiklos perkeliamos į šalis, kuriose taikomi mažiau griežti aplinkosaugos standartai. Priešinga „taršos auros hipotezė“ (angl. *Pollution Halo Hypothesis*) pabrėžia, kad TUI skatina ekonomikos augimą per technologijų perdavimą, produktyvumo augimą bei pažangių vadybos praktikų įvedimą, vystomąjį bendradarbiavimą, tokiu būdu prisidedant prie aplinkos kokybės gerinimo priimančiose šalyse. Globalizacija taip pat gali iškreipti šalių klimato kaitos politikos rezultatus – išsivysčiusios šalys mažina savo teritorines emisijas, tačiau kartu perkelia taršias pramonės šakas į besivystančias šalis per laisvosios prekybos mechanizmus. „Anglies nutekėjimo“ (*carbon leakage*) būdu ŠESD emisijos mažėja šalyse, kuriose taikomi griežti reguliavimai, tačiau auga besivystančiose valstybėse (Liobikienė & Butkus, 2019).

Ekonomikai vystantis, didėja urbanizacijos lygis, o tyrimai rodo, jog miesto gyventojų skaičiaus didėjimas susijęs su ŠESD emisijų augimu. Urbanizacijos lygis pasaulyje nuo 1990 m. iki 2012 m. padidėjo 10 procentinių punktų, o šiuo metu daugiau nei pusė pasaulio gyventojų gyvena miestuose. Tuo tarpu pramonės sektoriaus dalis pasaulio BVP sumažėjo (kasmet po 0,25 proc. punkto) ir dabar sudaro mažiau nei trečdalį, o paslaugų sektoriaus dalis išaugo. Urbanizacijos masto efektas pasireiškia tuo, kad didėja individualaus transporto naudojimas, vyksta intensyvi viešosios infrastruktūros plėtra, suintensyvėja ekonominė veikla miestuose, o tai ženkliai padidina energijos vartojimą ir emisijas. Struktūrinis urbanizacijos poveikis gali būti dvejopas: neigiamas poveikis pastebimas, kai darbo jėga pereina iš žemės ūkio sektoriaus į miestų pramonę, kuri dažnu atveju yra taršesnė. Pramonės plėtra paprastai laikoma veiksnium, didinančiu taršos lygį. Vis dėlto struktūriniai ekonomikos pokyčiai, susiję su perėjimu nuo žemės ūkio ar lengvosios pramonės prie išteklių imlios sunkiosios pramonės, lemia spartų emisijų augimą. Tačiau industrializacija gali padėti mažinti aplinkosaugos problemas, perkeldami darbo jėgą iš žemės ūkio į pramonę, taip sumažinant deforestaciją bei kenksmingą žemės ūkio veiklą. Be to, ilgainiui ekonomikos struktūra keičiasi, o

pramonės dalis mažėja (Liobikienė & Butkus, 2019). Tokiu būdu tarša didėja pereinant nuo lengvosios prie sunkiosios pramonės, bet vėliau mažėja, kai ūkis transformuojasi į žiniomis grįstas paslaugas. Pramonės plėtra turėjo teigiamą ir statistiškai reikšmingą poveikį ŠESD emisijoms tokiose šalyse kaip Tunisas, Iranas, Australija, Kanada, Vokietija ir Švedija, o Pietų Afrikoje, Norvegijoje ir Turkijoje poveikis buvo neigiamas. Vidutinių ir mažų bei aukštų pajamų grupėse industrializacija didino ŠESD emisijas, tačiau vidutinių ir aukštų pajamų šalyse poveikis buvo statistiškai nereikšmingas (Özbuğday & Erbas, 2015).

Ilgalaikėje perspektyvoje energijos vartojimo efektyvumo didinimas prisideda prie emisijų mažinimo. Atsinaujinančios energijos vartojimo, energijos efektyvumo bei TUI didėjimas yra neigiamai koreliuojami su ŠESD emisijų pokyčiais, tad šie veiksniai gali prisidėti prie emisijų mažinimo. Ekonomikos augimas yra statistiškai reikšmingai teigiamai susijęs su urbanizacija ir prekyba. Tiesioginio poveikio požiūriu, tik BVP turėjo teigiamą ir reikšmingą poveikį emisijoms. Galima teigti, kad ekonomikos augimas tiesiogiai skatina ŠESD emisijas, tuo tarpu prekyba, energijos efektyvumas ir atsinaujinančių energijos šaltinių vartojimas prisideda prie jų mažinimo. Netiesiogiai, per technikinį efektą, BVP, urbanizacija ir prekyba taip pat prisideda prie emisijų mažinimo per energijos efektyvumo didinimą (Liobikienė & Butkus, 2019).



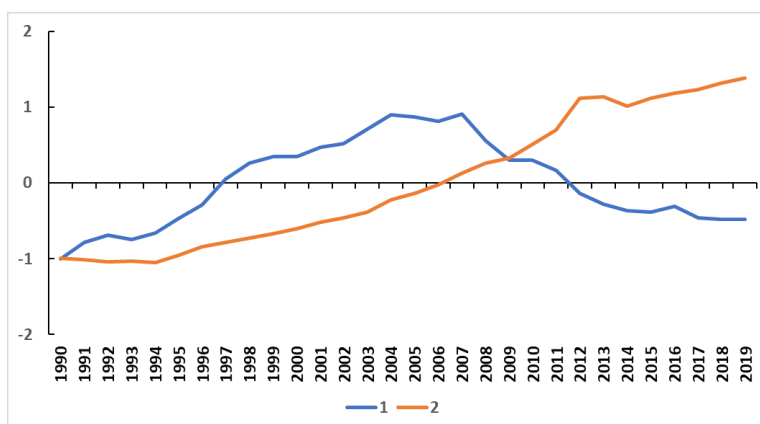
2 pav. Globalios ŠESD emisijos pagal sektorius 1990-2019 m. Sudaryta remiantis 2024 m. EDGAR duomenų bazės pateikiama informacija.

EDGAR (Europos Komisijos Jungtinių tyrimo centro ir partnerių projektas – išmetamųjų teršalų bazė pasauliniams atmosferos tyrimams) pateikiamais duomenimis (2 pav.) matosi, jog energetikos sektorius nagrinėjamu periodu yra pats taršiausias ir intensyviausiai augantis. Šio sektoriaus lyderiavimo emisijose priežastys ganėtinai aiškios. Jis nuosaikiai didino emisijas, tačiau 2008 m. jos ne daug skyrėsi nuo 2007 m., pastebima, jog 2009 m. net šiek tiek susitraukė, bet sugebėjo sėkmingai atsistatyti 2010 m. nuo 2010 m. stebimas emisijų augimas palaipsniui iki 2015 m., kuomet jos šiek tiek sumažėja, bet vėl atsistato iki kol pasiekia rekordines aukštumas minėtais 2018 m. 2019 m. energetikos sektoriaus emisijos sumažėja. Antroje vietoje pagal globalias emisijas – transporto sektorius. Jo globalios emisijos taip pat augo palengva, nuo 2010 m. emisijos iš transporto sektoriaus suintensyvėja ir auga (kiek lėčiau atsistatant ekonomikai 2011-2012 m.) iki pat 2019 m. Skirtingai nei energetikos sektoriaus atveju, transporto sektoriaus emisijos 2019 m. nežymiai viršija 2018 m. rodiklius.

4. TRANSPORTO SEKTORIAUS EMISIJŲ TENDENCIJOS

Šiame skyriuje analizuojamos transporto sektoriaus emisijos pagal atskiras šalių grupes, remiantis atliktos klasterinės analizės rezultatais.

Dviejų pagrindinių klasterių standartizuotos transporto sektoriaus emisijų tendencijos 1990-2019 metais (3 pav.) rodo, jog šalių grupės pradėjusios panašiu nuokrypiu turėjo skirtingą transporto sektoriaus emisijų kaitą. Pirmojo klasterio šalių emisijos augo žymiai sparčiau, kiek sulėtėjo 2004-2007 metų laikotarpyje, įvykus finansinei 2008 metų finansų krizei krito staigiau ir nuo 2009 metų emisijos mažėjo laipsniškai. Tuo tarpu antrojo klasterio šalys augino emisijas palaipsniui, jų augimas nesustojė. Nuo 1990 iki 1994 antrojo klasterio šalys (tikėtina veikiamos Sovietų Sąjungos žlugimo) emisijų nedidino, išlaikė pastovias ar netgi sumažino. Grafikas rodo, jog ekonominių sąstingių laikotarpiu emisijos nemažėjo, po kriziniu laikotarpiu emisijos stipriai išaugo. Tuo metu, kai pirmojo klasterio šalys atsistatė ekonomiškai, antrojo klasterio šalių emisijų kreivė nežymiai sumažėjo (2011-2014 m. laikotarpis). Tikėtina, jog atsigavusios ekonomiškai stiprios šalys (1 klasteris) galėjo pakelti kuro kainas mažiau ekonomiškai pajėgioms šalims, o pastarųjų vyriausybės, slegiamos finansinių įsipareigojimų, mažinti subsidijas kurui. Nežymus kritimas stebimas nuo 2014 metų.



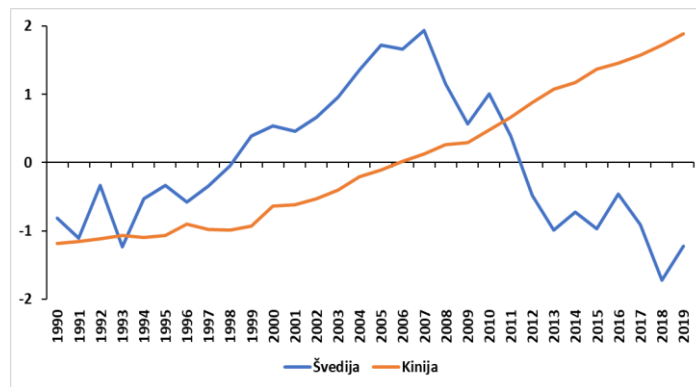
3 pav. Dviejų pagrindinių klasterių standartizuotos transporto sektoriaus emisijų tendencijos 1990-2019 metais.

Pirmasis klasteris, kurį geriausiai reprezentuoja Švedija, sudarytas iš dauguma išsivysčiusių, ekonomiškai pajėgių šalių (4 pav.). Duomenys rodo, jog šios šalys pasiekė emisijų viršūnę jau 2007 metais, po kurių, veikiamos ekonominės krizės palaipsniui mažino savo emisijas. Švedijos standartizuotos emisijų reikšmių nuokrypis kampuotas, su staigiais pakilimais ir nusileidimais. Reikšmingi pakilimai pastebimi 1992, 2007, 2011 bei 2016 metais. Reikšmingi nuosmukiai stebimi 1991, 1993, 2009 bei 2018 metais. Švedijos transporto politika yra stipriai veikiama klimato ir aplinkos tikslų, šalis turi galias energetikos apmokestinimo tradicijas, siekiančias 1920-uosius. 2009 m. Švedija priėmė nutarimą, jog 2030 m. jos automobilių parkas nebus priklausomas nuo iškastinio kuro. Švedija siekia, kad jų ŠESD emisijos 2030 m. būtų 70% mažesnės nei 2010 metais. Siekdama suvaldyti emisijas 1991 m. Švedija įvedė didelius akcizus angliai taršioms degalams, aktyviai pradėjo taikyti principą „teršėjas moka“, nuo 2018 m. apmokestino ir biodegalus (Government Offices of Sweden, n.d.). Pradinis kuro taršos mokestis siekė 250 švediškų kronų (apie 22 EUR), 2025 m. šis mokestis turėtų siekti 1510 SEK (apie 134 EUR). Švedija pilnai integravo ES ETS sistemą. 2018 m. Švedija priėmė *bonus malus* sistemą, kuria apmokestinami automobiliai. Mažos taršos automobiliai (elektromobiliai ir plug-in) gauna finansinę paskatą (*bonus*), jei išmeta mažiau nei 60g CO₂/km. Vis

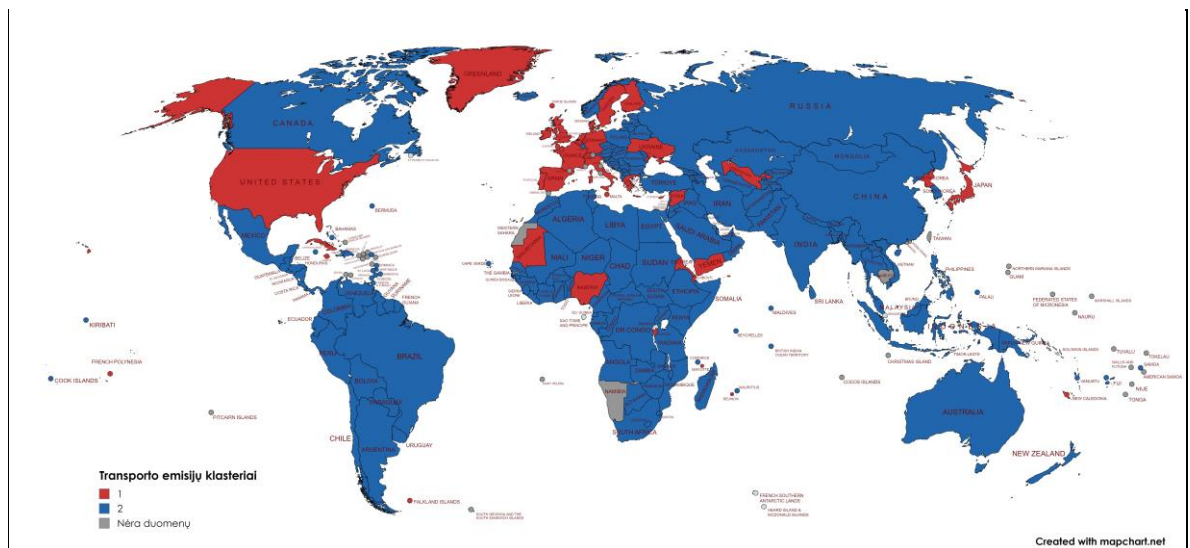
dėlto tokį automobilį reikia laikyti bent pusę metų. Didelės taršos automobiliai ($>95\text{gCO}_2/\text{km}$) kasmet gauna vis didesnius mokesčius – baudas (*malus*). Automobiliai, kurių tarša patenka tarp 60 ir 90 gCO_2/km negauna nei paskatos, nei baudos. Po 2019 m. bonusų sistema buvo patobulinta, siekiant išvengti subsidijų prabangiems elektromobiliams. Šie Švedijos sprendimai šaliai padėjo stipriai sumažinti transporto emisijas.

Priešingas atvejis stebimas tarp antrojo klasterio šalių, reprezentuojamų Kinijos. Šios, daugiausia besivystančios ekonomikos šalys tikslingai didino savo emisijas, tad nagrinėjamame laikotarpyje nepasiekė ŠESD emisijų piko. Tik 2006 metais Kinijos emisijos aplenkė JAV (Sandalow et al., 2022). Galima teigti, jog Kinijos emisijos augo tokiu sparčiu tempu ir po pasaulinės ekonominės krizės ne tik dėl Kinijos taikomo kitokio ekonominio modelio ir didelių investicinių projektų sukurtų pačios vyriausybės, bet ir dėl labai stipraus šalyje pastebimo urbanizacijos lygio kylimo. 1990-aisiais vos 26% Kinijos populiacijos gyveno miestuose, o 2010-ais urbanizuota dalis jau buvo padvigubėjusi ir viršijo 50 procentų. Panašūs rodikliai pastebimi ir tarp kitų besivystančių valstybių. Sparčiai augantis urbanizacijos lygis atitinkamai paveikė transporto sektorių, kadangi didesnis kiekis žmonių naudojo šio sektoriaus teikiamomis paslaugomis, išaugo jų ekonominis pajėgumas (Miller, 2012). 2013 metais Pekino metro pralenkė Maskvą ir tapo labiausiai naudojamu metro pasaulyje. 2008-2012 metais Kinijos greitis geležinkelių tinklas patyrė ypatingai didelę plėtrą. 2008 m. krizės akivaizdoje Kinijos finansinis stimulus buvo nukreiptas į geležinkelių plėtrą, o iki 2012 m. Kinija jau turėjo apie 9000 km greitojo geležinkelio – tai ilgiausias tokio pobūdžio tinklas pasaulyje. 2015 m. jis buvo beveik padvigubintas iki 15000 km. Nors tai sėkmingai sumažino trumpųjų skrydžių būtinybę, plėtra ir prieinamesnės kelionės galėjo tolygiai auginti ŠESD emisijas. Svarbu paminėti, jog Kinijos gyventojai turi fundamentaliai kitokį požiūrį į ekonomiką nei JAV. Vis dėlto Kinijos atveju, šaliai stiprinant ekonomiką, augo ir privačių automobilių skaičius. Nuo 1990-ųjų, kai Kinijos automobilių parkas tesiekė vos daugiau kaip 10 milijonų, 2010-aisiais Kinija jau turėjo daugiau nei 200 milijonų automobilių. Kinijos pagrindinis ekonominis variklis – pramonė buvo sėkmingai aptarnaujama dyzelinių sunkvežimių. Šaliai itin sparčiai urbanizuojantis, išaugo miestai, o kartu ir atstumas, kurį reikia įveikti, jog žmonės pasiektų darbo vietą. Kaip ir buvo minėta anksčiau, finansinis faktorius itin svarbus transporto emisijoms. Finansinės krizės veda į išmetamų CO_2 ir metano dujų sumažėjimą. Po finansų krizės didelės pajamos gaunančiose šalyse išmetamų teršalų kiekis išliko stabilus, tačiau mažesnes nei vidutinių pajamų šalyse išmetamų teršalų kiekis didėjo (Sadorsky, 2020).

Švedija savo emisijų viršūnę pasiekė 2007 metais ir nuo to jos emisijos laipsniškai mažėjo. Jos atsigavo kartu gerėjant finansinei šaliai padėčiai, tačiau dėl stipraus persiorientavimo į tvaresnius transportavimo būdus trumpas emisijos toliau slopo. Apžvelgiant pasaulio žemėlapi (5 pav.) tampa akivaizdu, jog didesnė pasaulio dalis (152 prieš 30) yra augančių emisijų klasteryje. Vis dėlto galima pastebėti, jog į pirmąjį klasterį patenka kelios postsovietinės valstybės, Afrikos šalys (tarp kurių yra ir smarkų populiacijos augimą bei urbanizaciją patirianti Nigerija) bei JAV. Tuo tarpu į antrąjį klasterį pateko Norvegija bei Kanada, tikėtina dėl jų naudojamų savų naftos išteklių gausos bei emisijų skaičiavimo metodikos. Šiaurės ir Pietų Korėjos pateko į skirtingus klasterius. Pagal turimus duomenis, Šiaurės Korėja mažina transporto sektoriaus emisijas (galima abejoti šios valstybės duomenų tikslumu) – tai galima būtų sieti su ekonomine blokada bei silpstančia parama regionui, ypač po Sovietų Sąjungos žlugimo, taip pat su sankcijomis Rusijai. Pietų Korėja dėka augančio ekonominio išsivystymo savo emisijas sektoriuje didino. Į pirmąjį klasterį taip pat pateko Sirija bei Jemenas, abi stipriai arabų pavasario nualintos šalys, tad tikėtina, jog politinės ir socialinės priežastys, o ne aktyvus ir sąmoningas žalinimas, buvo pagrindinė jų emisijų mažėjimo priežastis.



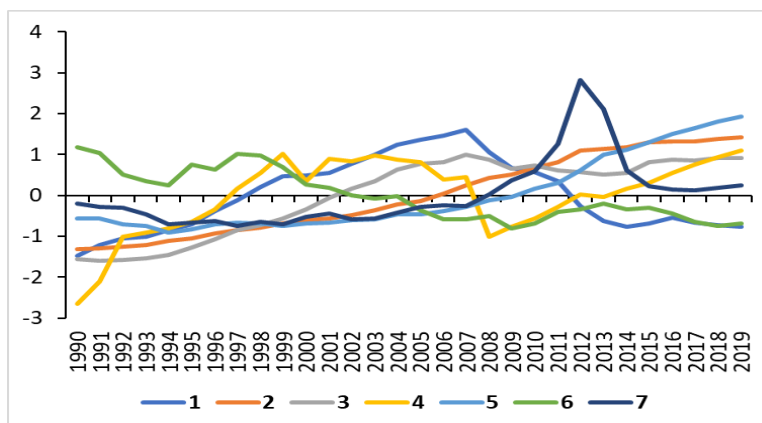
4 pav. Du pagrindinius klasterius reprezentuojančių šalių standartizuotos transporto sektoriaus emisijų tendencijos 1990-2019 metais.



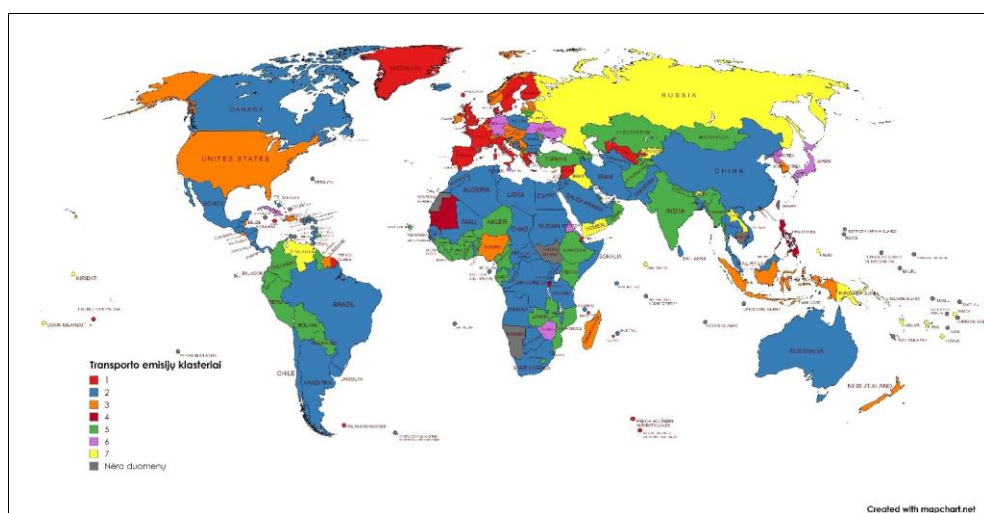
5 pav. Šalių, suskirstytų į du klasterius pagal standartizuotas transporto sektoriaus emisijas, žemėlapis.

Toliau buvo analizuojamos šalių grupės pagal išplėstinį klasterių skaičių, kurių išskirta septyni (6 pav.). Išanalizavus transporto emisijų trendus pagal suklastertizuotas šalių grupes aiškėja, jog klasteris 3 turi panašumų su klasteriu 4. Tuo tarpu klasteris 2 yra beveik identiškas klasteriui 5. Savo požymiais išsiskiria klasteris 6 – vienintelis piką pasiekęs 1990-aisiais, jo emisijos tikslingai mažėja toliau. Vertinant transporto sektoriaus priklausomybę nuo šalies ekonominės gerovės bei stabilumo (žmonės turi darbus į kuriuos važiuoja, keliauja laisvalaikį, vyksta prekyba ir t.t.) matoma ryški 2008 metų pasaulinės finansų krizės įtaka. Vis dėlto, skirtingai nei būtų galima spėti, vienos šalys sugebėjo persiformuoti ir po kriziniu laikotarpiu toliau intensyvinti transporto emisijas, tuo tarpu kitos savo emisijas smarkiai sumažino. Šalys, kurios mažino emisijas po 2008 metų finansų krizės priklauso pirmam, šeštam ir septintam klasteriams, jas reprezentuoja Švedija, Kuba ir Kiribatis. Pastarosioms dviem ekonominės krizės įtaka transporto emisijų mažėjimui nebuvo tokia išreikšta. Išskirtina trumpas emisijų augimas apie 2012 metus tikėtina gali būti siejamas su pasaulinės ekonomikos atsigavimu ir intensyvėjančia prekyba, vis dėlto rimtesnių pokyčių tai nesukėlė. 7-ąjį

klasterį atstovaujantis Kiribatis yra pernelyg maža ir ekonomiškai nepajėgi valstybė, kurios didžioji dalis ekonomikos yra užsienio valstybių vystomojo bendradarbiavimo pagalba.



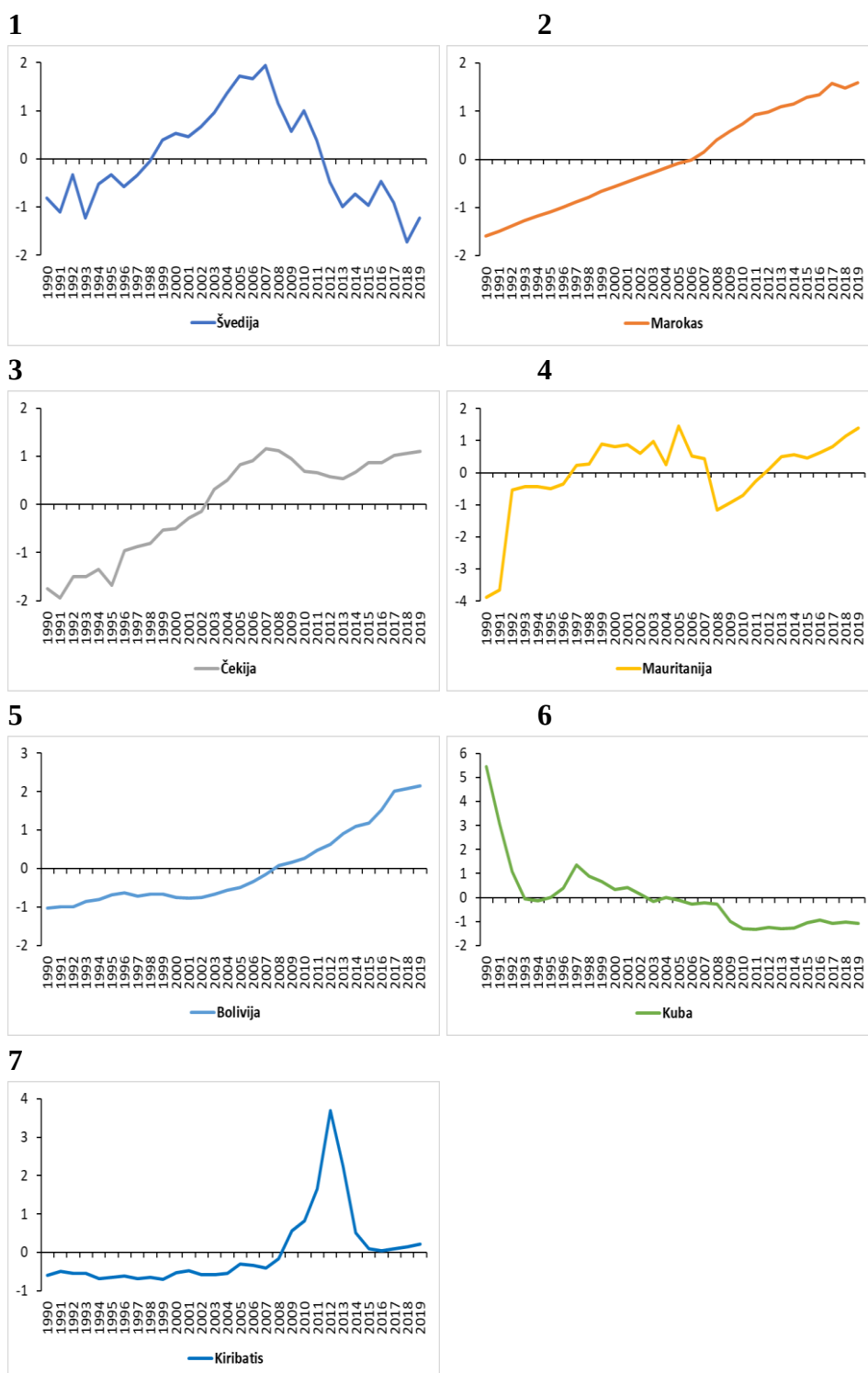
6 pav. Septynių klasterių standartizuotos transporto sektoriaus emisijų tendencijos 1990-2019 metais.



7 pav. Šalių, suskirstytų į septynis klasterius pagal standartizuotas transporto sektoriaus emisijas, žemėlapis.

Švedijos transporto emisijos reprezentuoja pirmojo klasterio šalis (suskirstčius į 7 klasterius), kurių yra vos 14-a (7 pav). Dauguma jų yra Vakarų Europos šalys, tačiau priskiriamos ir tokios, kaip Džibutis, Jamaika, Sirija ir Uzbekistanas. Taigi pirmajame klasteryje išsilaikė beveik visos, išskyrus Šiaurės Korėją, Mauritaniją, Kubą, Burundį ir Jemeną. Išskirtina Jamaika, kuri nuo 2007 m. siekė diegti Nacionalinę Transporto Politiką (*National Transport Policy*) ir 2030 Transporto viziją (*Vision 2030*) (Jamaican Ministry of Transport and Mining, 2007; Planning Institute of Jamaica, 2009). Jamaika, nebūdama didele šalimi, turi viena tankiausių kelių tinklų ir sudėtingiausią transporto sistemą. Jamaikoje tarpsta trys tarptautiniai oro uostai, geležinkelis, 14 didelių uostų. Šalies Vyriausybė tiki, jog transporto sistema yra kertinė siekiant vystyti ekonomiką. Šie planai prioretizavo tvarią ir efektyvią transporto sistemą. Siekdama gerinti infrastruktūrą, pavyzdžiui, per geresnius greitkelius ir Jamaika sumažino ŠESD emisijas (Scott & Zermoglio, 2018). Tikėtina, jog kitos besivystančios šalys nevykdė arba neprioretizavo žalinimo politikos, nesiėmė riboti ŠESD emisijų transporto sektoriuje. Jų emisijų mažėjimo priežastys itin glaudžiai susijusios su politine ir ekonomine

situacija (8 pav.). Džibučio sėkmė emisijų mažinime susijusi su anksčiau minėta geležinkelio transporto raida ir elektrifikacija (International Energy Agency, n.d.-b).



8 pav. Septynis klasterius reprezentuojančių šalių standartizuotos transporto sektoriaus emisijų tendencijos 1990-2019 metais.

Antrojo klasterio panašumas su penktuoju yra vertas detalesnio nagrinėjimo. Antrojo klasterio šalių emisijos nuosekliai augo, nagrinėjamame diapazone savo vidurį kaip tik pasiekė beprasidedant finansinei krizei. Penktojo klasterio kreivė rodo ne tokį staigų emisijų kylimą su metais, tačiau ir čia svarbus lūžis įvyksta apie 2007 metus. Svarbu paminėti, jog į antrąjį ir penktąjį klasterius pateko

didžioji dalis valstybių (atitinkamai 73 ir 40) – tad tai patys populiariausi ir dalinai abstrakčiausi klasteriai. Net 65 iš 73 antrojo klasterio valstybių buvo paveiktos europiečių kolonijinės įtakos. Savo įtakos sferomis dalinosi Jungtinė Karalystė, Prancūzija, Belgija bei Ispanija. Absoliuti dauguma antrojo klasterio šalių vienu ar kitu būdu buvo stipriai pavergtos britų kolonijinės imperijos (45 iš 73 valstybių). Beveik pusę penktojo klasterio sudaro Afrikos šalys (16), toliau seka 11 Azijos šalių. Lietuva ir Kataras yra bene vienintelės valstybės, kurios galėtų šiame klasteryje būti laikomomis ekonomiškai išsivysčiusiomis ir turinčios aukštą žmogaus socialinės raidos indeksą (ŽSRI/HDI). 2009 m. Kataro emyras paskelbė Kataro nacionalinę viziją. Nors ir norėtusi teigti, jog toks transporto emisijų trendas būdingas buvusioms Sovietų respublikoms, jis būtų dalinai neteisingas, žinant, jog šiame klasteryje yra vos 8 šios buvusios šalies narės. Didžiausia ir labiausia vienijanti šias šalis organizacija yra Afrikos Sąjunga (*African Union*) (16 valstybių), Islamo Kooperacijos Organizacija (*Islamic Cooperation Organisation*) (14 šalių) bei Ekonominė Vakarų Afrikos valstybių bendruomenė (ECOWAS) vienijanti 9 klasterio valstybes. Vis dėlto tikėtina, jog dėl savo įtakos sferos ir konfigūracinių mechanizmų, nei viena iš prieš tai išvardintų organizacijų neturėjo tiek įtakos bendrai infrastruktūrai kiek Sovietų Sąjunga. Matoma, jog šis dėmuo išlieka ir toliau, ypač žinant, jog į šį klasterį pateko 8 iš 15 buvusios valstybės respublikų.

Į trečiąjį klasterį, pagrinde reprezentuojamą centrinės Europos, pateko skirtingo tipo šalys, tarp kurių yra ir Nigerija, Indonezija bei Pietų Korėja. Mikrovalstybė Liuksemburgas taip pat priskirtas šiam klasteriui, nors jo privačių automobilių parkas Europoje yra jauniausias. Vis dėlto pastebimas tolygus šios valstybės automobilių parko didėjimas galimai galėjo paskatinti šį augantį emisijų trendą. Į klasterį taip pat pateko Centrinės Amerikos šalys: Dominikos Respublika, Salvadoras, Surinamas bei Haitis. Tai turbūt vienas retesnių atvejų, kai Haitis ir Dominika yra susijusios. Šalys ilgą laiką išgyvena skirtingus vystymosi etapus, kylančius iš kolonijinių laikų. Afrikos šalys tėra itin neturtingas Madagaskaras. Vis dėlto klasteryje yra ir JAV. Klasterį geriausiai atstovauja Čekija, matomas staigesnis emisijų trendo kilimas iki ekonominės krizės įtakos, kuri emisijas sumažina ir sustabdo jų augimo intensyvumą.

Ketvirtojo klasterio pokyčiai yra vieni didžiausių. Vis dėlto tai pats mažiausias klasteris – jį sudaro vos 3 valstybės: Mauritanija, Burundis ir Filipinai. Dvi itin neturtingos Afrikos valstybės ir viena pietų Azijos. Akivaizdi ekonominės 2008 metų krizės įtaka, tačiau matoma, jog emisijų kryptis prasidėjo jau 2005 metais. Po kriziniu laikotarpiu emisijos atsistatė ir toliau augo. Pavyzdinė klasterio šalis Mauritanija susiduria su intensyviomis transporto sektoriaus problemomis. Šios šalies rezultatai prastesni negu viso Sahelio regiono. Mažesnes pajamas gaunantys šalies regionai neturi tinkamo susisiekimo (World Bank Group, 2021). Po 1990-ųjų ekonominės liberalizacijos į Mauritaniją pateko daugiau transporto priemonių, daugiausia senų dyzelinių automobilių iš Europos. Mauritanija neturėjo kaip užtikrinti emisijų lygius ir sėkmingai tikrinti automobilių parko eksploatacinį pasirošimą. Mauritanija ir Filipinai kartu dalinasi keletu emisijų trendo fazių, pavyzdžiui ankstyvas stabilumas (1990-ieji), vidurio kilimas (2000-ieji), išsilyginimas (nuo 2010 m. Filipinų trendas augo lėčiau). Burundis tuo tarpu nepatyrė reikšmingo emisijų augimo, laikėsi labai stabiliai. Pastarojo emisijos nedidelės dėl šalies neturtingumo, dažnai naudojamo nemotorinių transporto būdų. 2015 m. politinė krizė sujaukė kuro tiekimą. Filipinuose naudojama kurui netaupus transportas, kultūriškai yra paplitęs viešasis transportas vadinamas *jeepneys*, daug motociklų. Mauritanijoje emisijų šuoliai ir kilimas galėtų būti siejami su itin įtakinga kasybos industrija, aukso radybomis.

Penktojo klasterio pavyzdinė šalis Bolivija yra viena iš keleto itin naudojanti vidaus vandens transportą. Bolivijai sėkmingai sekėsi sumažinti skurdą, auginti BVP visame nagrinėjamame periode. Į penktąjį klasterį pateko Lietuva, viena nedaugelio Europos valstybių, vienintelė Šiaurės Europos

valstybė. Šiame klasteryje dominuoja „globalūs pietūs“ bei besivystančios juodosios Afrikos šalys, vidurio ir pietų Azija, keletas valstybių Pietų Amerikoje.

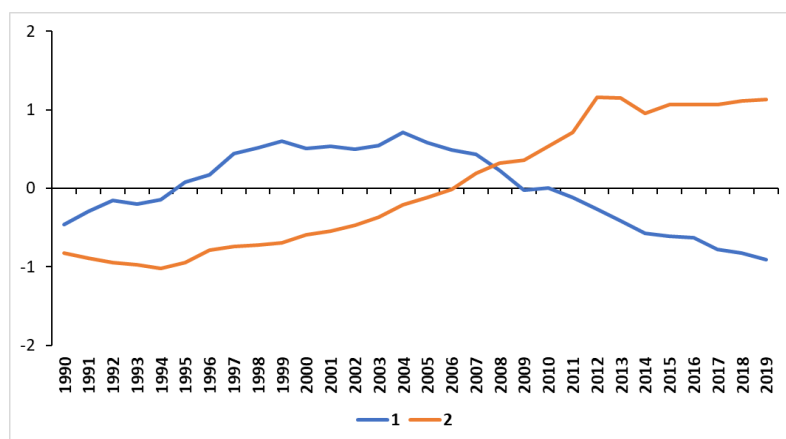
Šeštojo klasterio tendencijos atitiktų TKKK žaliosios krypties siekiamybę, kadangi pastebimas aiškus trendas žemyn. Vis dėlto žinant, jog pagrindinė klasterio atstovė yra Kuba, pastebima aiški geopolitikos įtaka. Tačiau tame pačiame klasteryje yra ir Vokietija, kuri tiriamojo momento pradžioje neseniai buvo suvienyta, Ukraina, kurios visuomenė ir politinė mintis atsigavinėjo po Sovietų Sąjungos žlugimo ir viso bloko subyrėjimo ekonominių pasekmių. Vis dėlto Japonijos priklausymas šiam klasteriui yra įdomesnis ir labiau tirtinas variantas. Galima prielaida yra ne tik sugebėjimas puikiau išnaudoti viešąjį transportą, diegiant naujoves bei efektyvesnę infrastruktūrą, bet ir perėjimas prie efektyvesnių automobilių. Skirtingai nei kitos šalys, Japonija 90-uosius pasitiko su emisijų kilimu, o ne staigiu nusileidimu, kaip kad Kuba ar Ukraina, šalys tiesiogiai priklausiusios nuo Sovietų Sąjungos. Vis dėlto palyginus įvardintas šalis tarpusavyje ryškėja tendencija, jog bendrą emisijų kilimą transporto sektoriuje jos turėjo 1993-1994, o jis pasiekė savo piką laikotarpyje nuo 1997 iki 2001 metų. Vėliau visų trendai yra neigiami. Įdomu ir tai, jog prasidėjusi Krymo okupacija Ukrainos emisijų trendo drastiškai nepakeitė, jis stabilizavosi.

Septintojo klasterio šalis Kiribatis yra nedidelė Ramiojo vandenyno atolų valstybė su vos 120 tūkstančių gyventojų. Politiškai ši valstybė yra dalinai priklausoma nuo Naujosios Zelandijos ir retkarčiais Kinijos. Šalies transporto emisijos buvo nežymios, augo palaipsniui, dažniausiai dėl laivybos įtakos. 2012 m. įvykusį ypatingai ryškų emisijų kreivės pokytį galima paaiškinti 2011 m. kuro krize. Dauguma gyventojų Kiribatyje dėl geografinių kliūčių neturi vientisos elektros sistemos, tad priversti gamintis elektrą patys, naudodami dyzelinius generatorius. 2011 m. kuro krizė 2012 m. paskatino Kiribatį apsirūpinti kuru, daug jo importuoti ir 2005-2010 m. Kiribatį aptarnaujančių laivų kiekis išaugo daugiau nei dvigubai (nuo 14 iki 36) (Government of Kiribati, 2012). Taip pat gerėjo Kiribačio infrastruktūra. Kiribačio klasteryje yra 19 valstybių, tarp kurių tokios didžiosios, kaip Baltarusija, Jemenas, Irakas, Kirgizija, Rusija bei Venesuela. Jemenas, Irakas, Rusija ir Venesuela yra naftos gavyba užsiimančios šalys, kurios intensyviai padidino savo emisijas antrojoje nagrinėjamo laikotarpio pusėje. Rusijos atvejis vertas dėmesio, kaip didelės naftos ir dujas gaminančios šalies, kuri nuo 1990 m. prarado imperinę įtaką. Jos emisijos buvusios pakankamai aukštai, krito ir žemiausią tašką nagrinėjamame laikotarpyje pasiekė apie 1997 m. Nuo to laiko jos emisijos kilo, su nedideliu kritimu ekonominės krizės metais. Nuo 2009 m. trendas ganėtinai pastovus su nedideliu augimu.

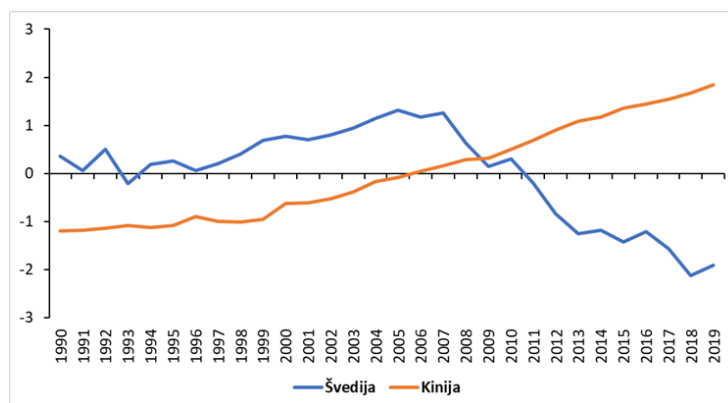
5. TRANSPORTO SEKTORIAUS EMISIJOS VIENAM GYVENTOJUI

Šiame skyriuje, remiantis atliktos klasterinės analizės rezultatais, analizuojamos transporto sektoriaus emisijos *per capita*.

Kai klasterizuojama į dvejus pagrindinius klasterius transporto emisijas vienam gyventojui, dauguma pasaulio valstybių patenka į antrąjį klasterį. Pirmojo klasterio šalių emisijų kreivė išsilygina ir kinta nežymiai 1996-2006 m. laikotarpyje, o prasidėjus ekonominei krizei smukteli žemyn ir toliau tolygiai žemėja. Antrojo klasterio kreivė 1990-1994 m. laikotarpyje išgyvena nedidelį kritimą žemyn, tačiau atsistato ir kyla į viršų iki 2012 m., kuomet emisijos vienam gyventojui šiek tiek krenta ir 2014-2019 m. periode išlieka beveik stabilios (9 pav.).



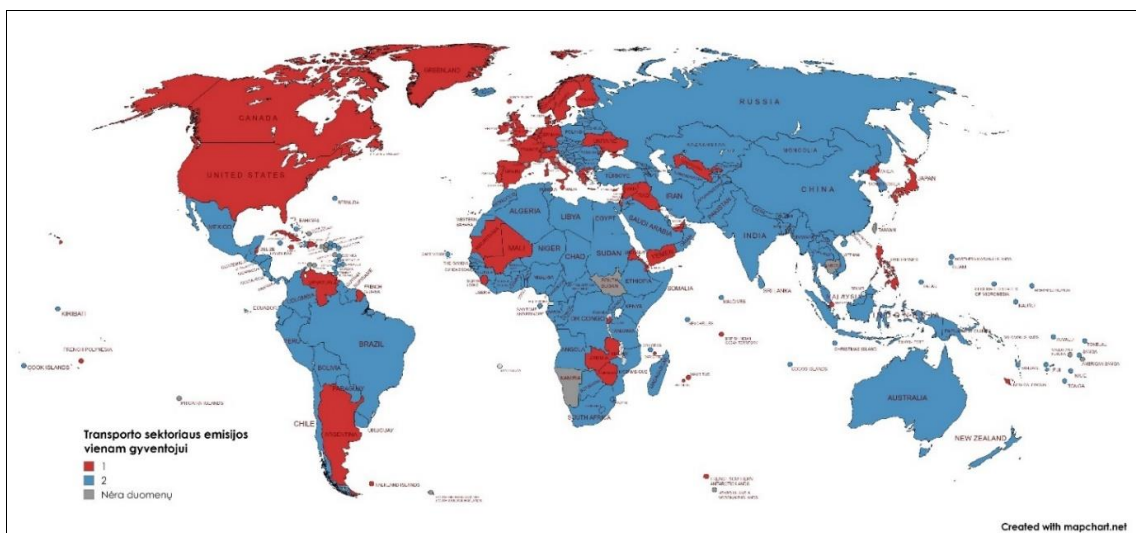
9 pav. Dviejų pagrindinių klasterių standartizuotos transporto sektoriaus emisijų tendencijos vienam gyventojui 1990-2019 metais.



10 pav. Dviejų pagrindinių šalių klasterių standartizuotos transporto sektoriaus emisijų tendencijos vienam gyventojui 1990-2019 metais.

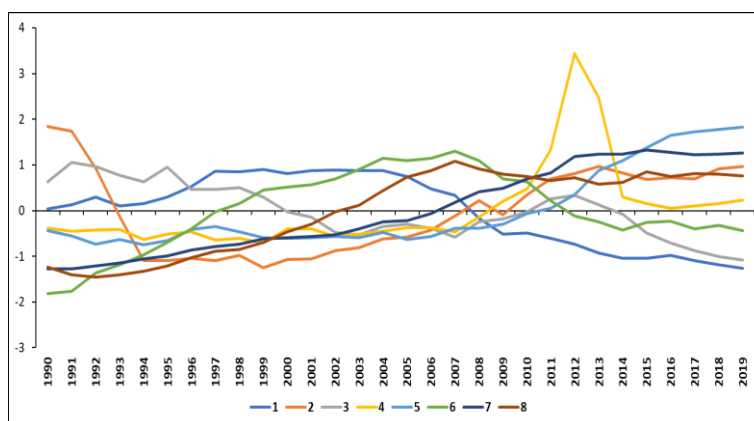
Pagrindinės reprezentacinės minimų klasterių šalys yra Švedija (1 klasteris) ir Kinija (2 klasteris) (10 pav.). Absoliuti dauguma G20 šalių, kuriose tarpsta 2/3 pasaulio populiacijos ir vykdoma didžioji dalis ekonominės veiklos, pateko į antrąjį klasterį (11 pav.). Visos G7 šalys narės pateko į pirmąjį klasterį.

Išskaidant šalių transporto emisijas *per capita* 1990-2019 metų laikotarpyje, kai analizuojama didesnė, aštuonių, klasterių apimtis (12 pav.; 13 pav.), pirmojo klasterio šalys, reprezentuojamos Jungtinės Karalystės (JK), patyrė netolygų trendo augimą iki 2007 metų, kai prasidėjo ekonominė krizė. Po 2007 metų trendas ėjo žemyn su nedideliu pakilimu apie 2016-2017 metus (14 pav.).



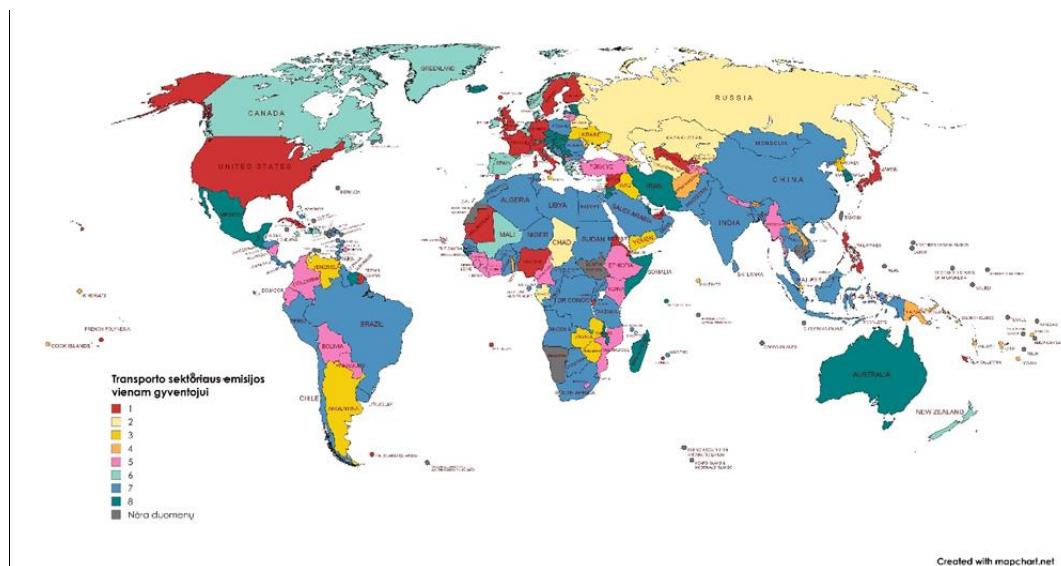
11 pav. Šalių, suskirstytų į du klasterius pagal standartizuotas transporto sektoriaus emisijas vienam gyventojui, žemėlapis.

Jungtinė Karalystė dėka gerėjančios ekonominės situacijos, populiacijos augimo ir ES laisvojo judėjimo taisyklių adaptacijos (taip pat pačios ES plėtros 2004 m.) sugebėjo sumažinti transporto sektoriaus emisijas vienam gyventojui. Britai yra linkę intensyviai naudotis viešuoju transportu. Sostinėje veikia puikiai išvystyta metro sistema *London Underground*. Šių keleivių skaičius išaugo nuo 765 mln. 1990 m. iki 1384 mln. 2019 m. Britai bendrąja prasme yra ganėtinai mobilūs palyginti su žemyninės Europos gyventojais, tačiau dauguma jų ilgus ir kasdienius atstumus įveikia tinkamai išvystyto geležinkelio pagalba. 1990 m. JK Parlamento pateikiamais duomenimis geležinkeliu (antžeminiu, šalies viduje) naudojosi 810 mln. keleivių, 2018 m. jau 1705,5 mln. keleivių (UK Parliament, 2019). Tad kelionės geležinkeliu išaugo dvigubai. 1993 m. „Geležinkelių aktu“ (*Railways Act*) žymimas geležinkelių liberalizavimas davė savotišką ankstiną privačioms kompanijoms siekti optimizuoti pelną ir naudoti kurą efektyviau naudojančius traukinius. Kuro efektyvumas 2018 m. leido sutaupyti 10% CO₂, lyginant su ankstesniais metais (Office of Rail and Road, 2019). Vis dėlto norimos investicijos į elektrifikaciją neatėjo. Nuo 1997 m. vos 60 mylių bėgių buvo elektrifikuota, 50 iš jų nuo 2010 m. 2018-2019 m. vos 38% JK geležinkelių buvo elektriniai (Butcher, 2017). JK populiacija nagrinėjamu laikotarpiu išaugo nuo 57,2 mln. piliečių 1990 metais iki 66,6 mln. 2019 m., teigiamas 16,43% pokytis.



12 pav. Aštuonių klasterių standartizuotos transporto sektoriaus emisijų tendencijos vienam gyventojui 1990-2019 metais.

Antrojo klasterio pavyzdinė šalis yra Armėnija. Jos didelės emisijos staigiai smuko beveik atitinkant Sovietų Sąjungos žlugimo laikotarpį. Žlugus valstybiniam dariniui, kurio integralia dalimi buvo Armėnija, smuko šalies ekonominis pajėgumas, nutrūko ekonominiai ryšiai, persikrovė ekonomika. Dėl politinės suirutės, besikeičiančių sienų, neaiškių ir besiformuojančių valstybių santykių bei kompanijų žlugimo sustojo ir transporto sektorius. Tikėtina, jog tokiu laikotarpiu keitėsi ir žmonių prioritetai ir intensyvėjo taupymas. Į šį klasterį, neskaitant Afrikos šalių Čado ir Gabono, patenka dalis žlugusios Sovietų Sąjungos valstybės. Galima teigti, jog buvusios politinės ir ideologinės krypties valstybės net ir po Sovietų Sąjungos žlugimo jautė šios planinės ekonomikos ir atitinkamos krypties transporto politiką vykdžiusios valstybės šleifą.

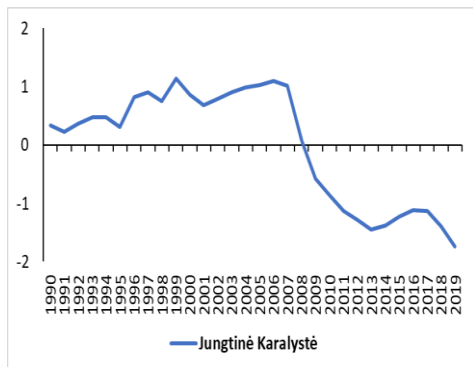


13 pav. Šalių, suskirstytų į aštuonis klasterius pagal standartizuotas transporto sektoriaus emisijas vienam gyventojui, žemėlapis.

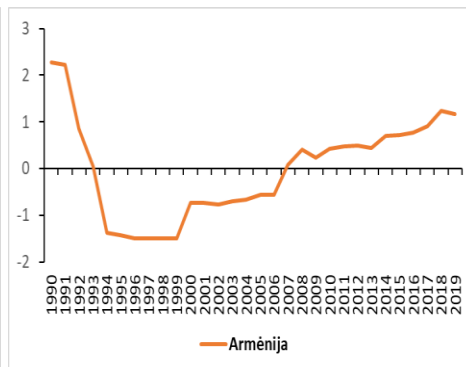
Trečiąjį klasterį reprezentuoja viena iš mažųjų Azijos tigrų – Singapūras. Šios šalies trendas ganėtinai kampuotas su trimis aiškiais pakilimais ir drastiškais pažemėjimais. Vis dėlto tai vienintelė klasterio Azijos šalis. Bendrasis panašumas tarp didesnėsios klasterio šalies grupės – tai nafta turtingos šalys, tokios kaip Jemenas, Irakas bei Venesuela. Libanas, Zambija ir Zimbabvė eksportuoja brangiuosius mineralus bei kitas naudingas iškasenas. Dauguma šio klasterio šalių yra skurdžios. Kartu tai vienas mažiausių klasterių valstybių skaičiumi.

Ketvirtajame klasteryje dominuoja skurdžios Mikronezijos salų valstybės. Dauguma jų gyvena iš turizmo, turi ne daug gyventojų. Šiame klasteryje yra dvi savotiškos pozicijos šalys, kaip Šiaurės Korėja ir Afganistanas. Viena nustekenta karų, kita politinio režimo – abi su nebūtinai patikimais statistikos rodmenimis. Kuko salos reprezentuoja šį klasterį su iki 2008 metų palaipsniui kylančiu trendu, kurio itin stiprus pakilimas įvyko 2009-2012 metais, vėliau drastiškai nusileidęs. Šį staigų pakilimą dalinai galėtų paaiškinti naujos transporto infrastruktūros sukūrimas Kuko salose – atidarytas atnaujintas Rarotonga oro uosto terminalas, leidęs priimti didesnius lėktuvus, o kartu ir daugiau taip šalies ekonomikai svarbių turistų (Williams, 2021). 2010 metais absoliučia dauguma išrinkta Kuko Salų Partija (CIP) Ministru Pirmininku paskyrė Henry Puna, kurio vyriausybė užtikrino daug turizmui patogių reformų. Ši vyriausybė taip pat itin daug investavo į sostinės ir kitų salų infrastruktūrą, tad tai atsispindi emisijų pokyčiuose (Office of the Prime Minister of the Cook Islands, 2019).

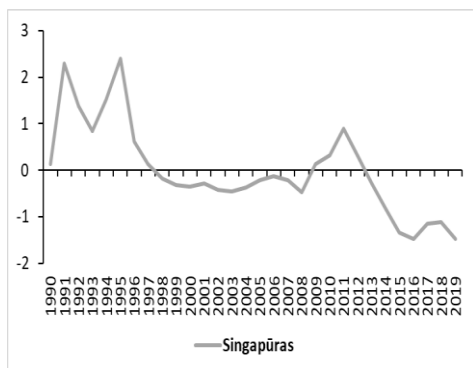
1



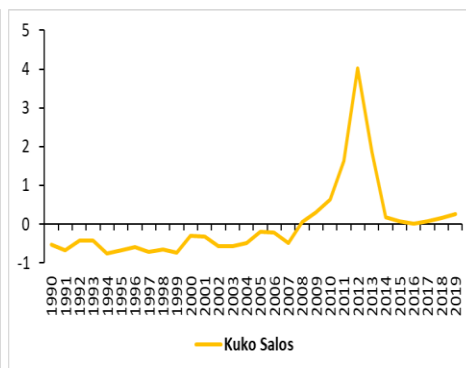
2



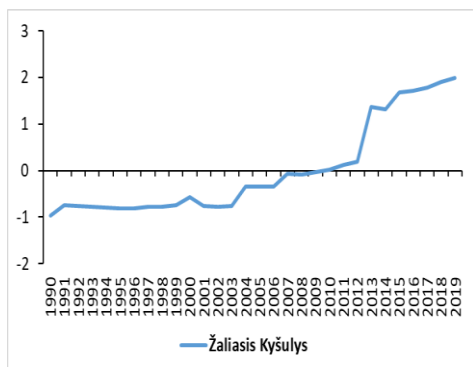
3



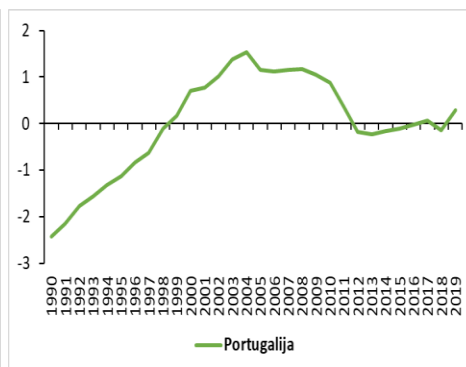
4



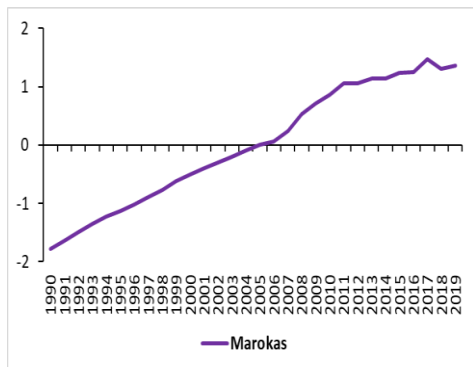
5



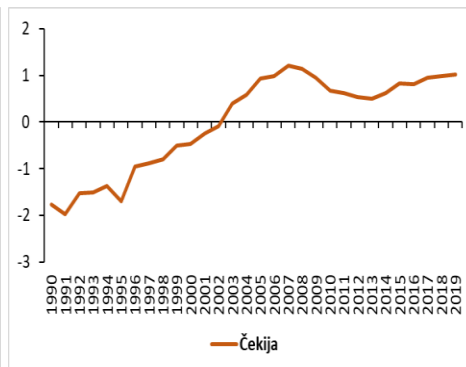
6



7



8



14 pav. Aštuonis klasterius reprezentuojančių šalių standartizuotos transporto sektoriaus emisijų tendencijos vienam gyventojui 1990-2019 metais.

Penktojo klasterio reprezentacinė šalis – Žaliasis Kyšulys. Tai nedidelė salų valstybė Vakarų Afrikoje. Jos trendas augo sistemingai ir ypač nuo 2012 metų iki pat nagrinėjamo diapazono pabaigos. Būtent nuo 2012 metų šioje valstybėje pradėta labiau investuoti į transporto sektorių, ypač į šalies pasiekiamumą oru. Visi keturi šios valstybės oro uostai padidino keleivių apimtis, buvo modernizuoti terminalai, praplatinti nusileidimo takai. Žaliojo Kyšulio vyriausybė siekė padidinti pasiekiamumą oru iš Europos, Afrikos ir Šiaurės bei Pietų Amerikų. 2017 metais buvo dalinai privatizuota nacionalinė oro vežėja, kontrolinį akcijų paketą įsigijo islandai, taip ypač praplėsdami Žaliojo Kyšulio pasiekiamumą. Šios šalies vyriausybė taip pat padažnino vandens transporto tarp salų reisu, praplėtė pagrindinius uostus. Į šį klasterį pateko ir Lietuva, nuo 2011 metų patyrusi panašų trendo augimą. Lietuvos priklausomybė nuo asmeninio transporto automobilių tik augo, o automobilių parkas jaunėjo nepakankamai.

Portugalija reprezentuoja šeštajam klasteriui priskirtų šalių emisijas. Šių emisijos augo ganėtinai staigiai ir pasiekė trendo viršūnę 2004 m., po kurių palaipsniui mažėjo. 2005-2009 m. intervale emisijos buvo ganėtinai pastovios, po 2010 m. pradėjo mažėti. 2011-2016 m. laikotarpyje emisijos siekė 1998 m. lygį, tačiau 2018 m. jos vėl pradėjo kilti. Klasteryje yra 18 šalių, iš kurių 10 yra turtingos Vakarų ir Pietų Europos šalys, taip pat yra stiprių ekonominių šalių, tokių kaip: Kanada, Izraelis, Kuveitas bei Naujoji Zelandija. Tačiau į klasterį pateko ir neturtingos valstybės, tokios kaip: Belizas, Jamaika, Dominikos Respublika ir Malis. Ankstyvaisiais 2000 m. Portugalijos ekonomika smarkiai augo, atitinkamai didėjo ir privačių automobilių kiekis. 2005 m. emisijų sumažėjimas sietinas su ES ETS politikos išleidimu. 2010-2014 m. Portugalijoje siautė didelė finansinė krizė, kuri itin sumažino šalies ekonominę veiklą. Po 2014 m. Portugalijos ekonomika atsistatė ir augo. Nuo 2018 m. fiksuotas emisijų pakilimas gali būti siejamas su intensyvesniu turizmu Portugalijoje po 2015 m. Tais pačiais 2015 m. Portugalija adaptavo žaliųjų mokesčių įstatymą, kas galėjo sulėtinti augančias emisijas. Portugalijos transporto elektrifikacijos programa „Mobi.E“ (išleista 2008 m.) nebuvo labai sėkminga, tad šalis vis dar atsilieka transporto žalinimo srityje (Silva, 2025).

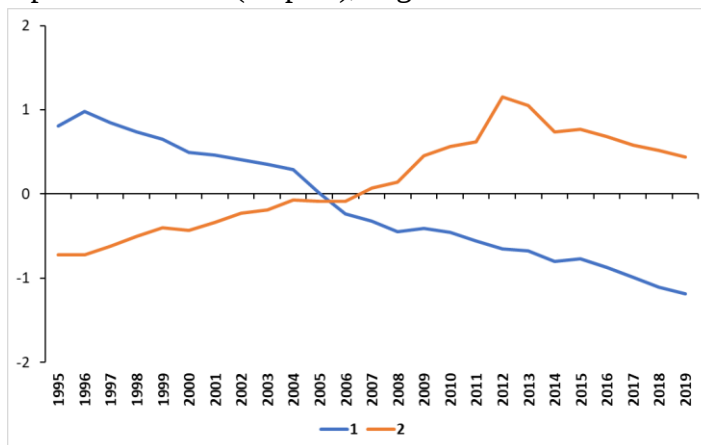
Septintojo klasterio transporto emisijos vienam gyventojui geriausiai sutampa su Maroku. Pastebimas intensyvus emisijų didėjimas 1990-2006 m. laikotarpiu, po 2006 m. emisijos ir toliau augo, tačiau trendas nebuvo lygus, nuo 2009 m. matomas emisijų vienam gyventojui trendo lėtesnis augimas. Didžiausiam septintajam klasteriui buvo priskirta net 61 valstybė, iš kurių vos trys yra Europoje (Bosnija ir Hercegovina, Rumunija bei Lenkija). Kinija ir Indija taip pat yra šio klasterio šalys. Klasterio absoliuti dauguma šalių yra „Globalių Pietų“ tipo valstybės, besivystančios Afrikos, Azijos bei Vidurio ir Pietų Amerikos šalys. Šiame klasteryje priskirtos šalys gali būti siejamos su intensyvėjančia ekonomine veikla, siekiu gerinti sąlygas, mažesne (jei išvis egzistuojančia) reguliacine aplinka transporto emisijoms. Šalyse augo populiacija, kartu vartojimas ir ekonomika.

Aštuntasis klasteris išreikštas per Čekijos pavyzdinę kreivę. Kampuotas emisijų trendo augimas stebimas nuo pat 1990-ųjų iki 2007 m. ekonominės krizės. 2007-2012 m. laikotarpiu stebimas emisijų vienam gyventojui mažėjimas, kuris vėliau atsistato ir pereina į augimą, 2019 m. beveik siekiantį 2007 m. emisijų trendo piką. Šiame klasteryje iš 26 šalių 10 yra iš Europos (centrinė dalis ir Balkanų pusiasalis bei Islandija), 4 iš Artimųjų Rytų, 5 priklauso Lotynų Amerikai, 6 – Afrikai. Taip pat klasteriui priskirtos Pietų Korėja ir Australija.

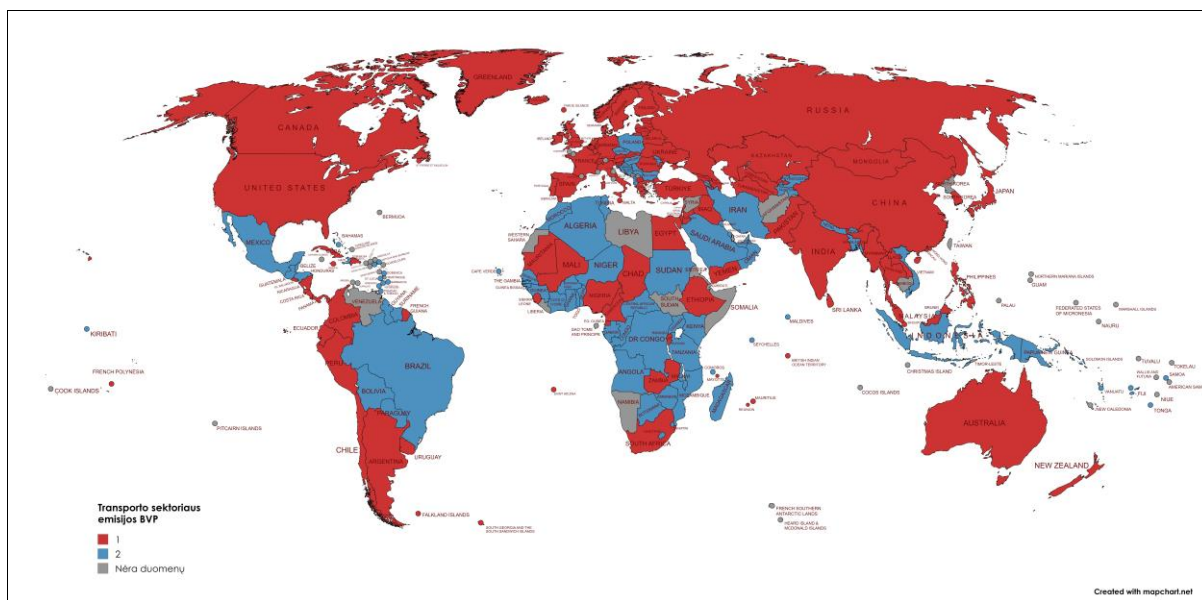
6. TRANSPORTO SEKTORIAUS EMISIJOS PAGAL BVP

Šiame skyriuje analizuojamos šalių grupių transporto sektoriaus emisijos pagal bendrąjį vidaus produktą.

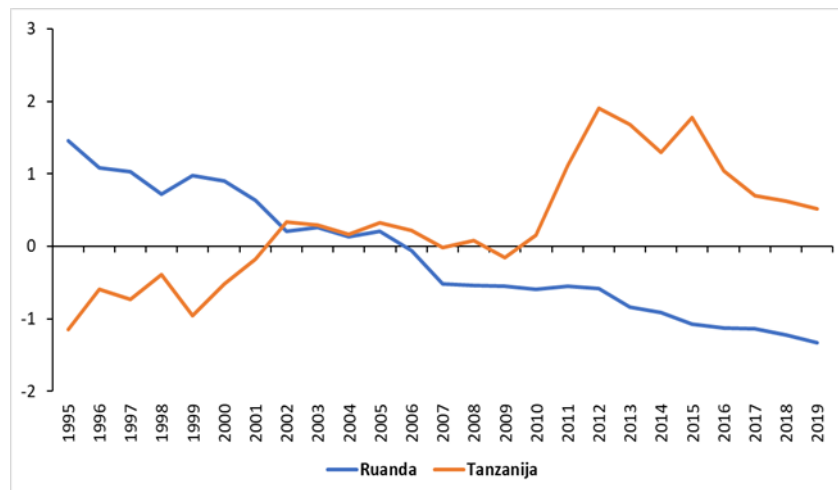
Dviejų pagrindinių klasterių standartizuotos transporto sektoriaus emisijų santykio su BVP tendencijos 1990-2019 metais (15 pav.; 16 pav.) atskleidžia, jog stiprus BVP augimas bei intensyvesnė ekonominė veikla įmanomi neintensyvinant transporto sektoriaus emisijų. Tad galima spekuliuoti, jog transporto sektoriaus reikšmė ekonomikai, nors ir nepaneigiamai ryški, išsivysčiusiose šalyse pereinant prie paslaugų teikimo ekonomikos poindustrinėje skaitmeninėje visuomenėje transporto emisijos mažės, o šalių BVP toliau augs. Grafikas rodo, jog stipriau ekonomiškai išsivysčiusios pirmojo klasterio šalys nuo 1996 metų stipriai augino BVP ir palaipsniui mažino emisijas. Tuo tarpu antrojo klasterio šalys, savo BVP augino taršiau, pats BVP augo silpniau. Kai kurių pirmojo klasterio šalių BVP augo greičiau nei jų emisijos. Atsižvelgiant į ankstesnį grafiką (1 pav.) galima teigti, jog emisijos ir taip mažėjo, tačiau augantis šalių BVP leido kreivėms susikirsti ankstesniu laikotarpiu: apie 2005 metus (15 pav.), negu 2009 metais kalbant apie emisijas (2 pav.).



15 pav. Dviejų pagrindinių klasterių standartizuotų transporto sektoriaus emisijų santykio su BVP tendencijos 1995-2019 metais.



16 pav. Šalių, suskirstytų į du klasterius pagal standartizuotas transporto sektoriaus emisijų santykio su BVP, žemėlapis.

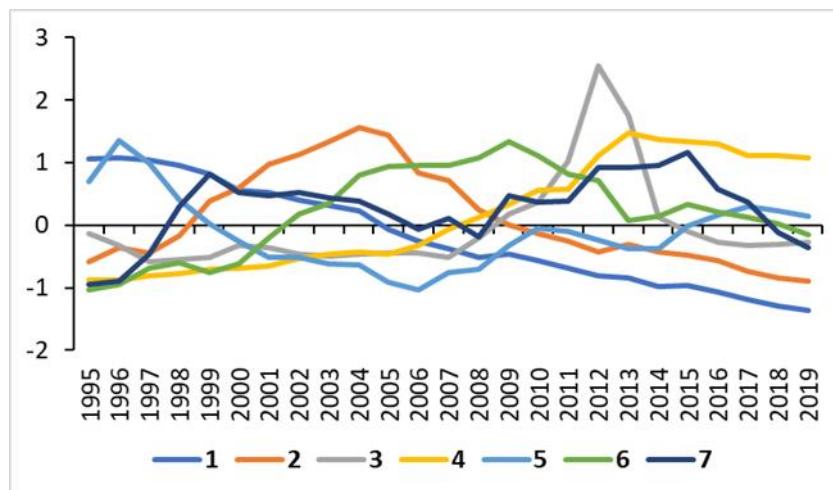


17 pav. Dviejų pagrindinių klasterių šalių standartizuotų transporto sektoriaus emisijų santykio su BVP tendencijos 1995-2019 metais.

Pirmąją klasterį geriausiai reprezentuoja Ruanda, antrąją – Tanzanija (17 pav.). Abi yra Afrikos žemyno valstybės, priskiriamos besivystančioms šalims. Ruanda yra vargingesnė nei Tanzanija, tačiau jos BVP nagrinėjamame laikotarpyje augo greičiau (7,7 proc. ir 6,5 proc. per metus atitinkamai). Palyginimui, Ruandos BVP 1995 metais siekė 1,7 milijardo JAV dolerių, 2019 – 10,4 mlrd. tai reiškia bene 10 kartų augimą. Tuo tarpu Tanzanijos BVP 1995 metais siekė 10,4 mlrd., o 2019 – 63,2 mlrd. JAV dolerių. 1995 metais Ruanda atsigavinėjo po genocido ir jo sukeltų ekonominių padarinių – 65 procentus siekiančios infliacijos, kuri 2019 metais buvo stabilizuota iki 2,4 proc. Abiejų šalių populiacijos 1995-2019 metais padvigubėjo. Nors 1995 metais didžioji dalis Ruandos ekonomikos jėgos atėjo iš ŠESD intensyvaus agrikultūrinio sektoriaus (intensyvus transporto sektoriaus panaudojimas), kuris sudarė virš 50 proc. šalies BVP, 2019 metais ji turėjo labiau balansuotą ekonomikos modelį, kur net 48 procentus BVP sudarė paslaugų sektorius (neintensyvus transporto sektoriaus panaudojimas). Ruandos politinė situacija po genocido ir kryptingas infliacijos mažinimas galėjo lemti šalies atsiradimą pirmajame klasteryje. Ši valstybė nagrinėjamame laikotarpyje sugebėjo sumažinti skurdą nuo 77 procentų 1995 metais iki 38 procentų 2019 metais. Tuo tarpu kiek turtingesnės Tanzanijos populiacija 1995 metais turėjo 49 procentus skurstančių, 2019 – 26,4 procentus. Žinoma, jog turint aukštesnį BVP ir mažesnį skurdą, pirmąją padidinti, o antrąją sumažinti yra sunkiau, nei turėti žemą BVP ir didelį skurdą, kadangi kiekvienas BVP ūgtelėjimas ir skurdo mažinimas bent procentine dalimi reikalauja didesnių ir intensyvesnių investicijų. Ruandai padėjo perėjimas prie informacinių ir ryšių technologijų sektoriaus, Tanzanija tuo tarpu gavo dosnių tiesioginių užsienio investicijų.

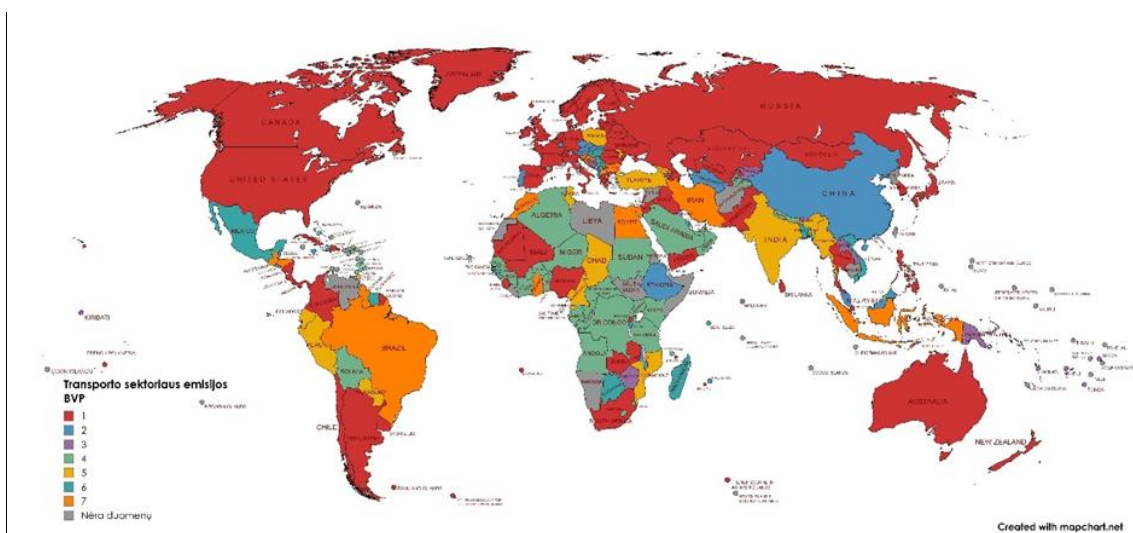
Toliau analizuojamos šalys pagal išplėstinį klasterizavimą į septynias grupes (18 pav.; 19 pav.). Pirmas klasteris yra reprezentuojamas Prancūzijos (20 pav.). Nagrinėjamuoju laikotarpiu emisijų trendas nuo 1995 m. iki 2019 m. laipsniškai judėjo žemyn. Iš esmės tai yra didžiausias klasteris, jam priklauso net 60 šalių, tarp jų ir Lietuva. Galima teigti, jog šioms šalims sėkmingai pavyko auginti šalies ekonomiką labiau nei transporto emisijas. Daliai šalių tas pavyko todėl, kad jų emisijos mažėjo natūraliai (daugiau žmonių pradėjo naudotis viešuoju transportu, transportas tapo ekonomiškėnis technologijų ir teisinių apribojimų dėka ir t.t.). Žinant, jog Prancūzijos transporto sektoriaus emisijos ir taip mažėjo, galima išskirti, jog Prancūzijos ekonomika jau buvo perėjusi į kitą Kuznets kreivės pusę, kai jos BVP augo ir kartu mažėjo emisijos. Pastebėtina, jog į šį klasterį pateko ir tokios šalys, kurios dažnai yra laikomos taršiomis. Pavyzdžiui: Azerbaidžanas, Baltarusija, Kolumbija, Jemenas, Irakas, Kazachstanas, Malis, Mauritanija, Pakistanas, Rusija, Siera Leonė, JAV,

Uzbekistanas ir Zambija. Keletas šalių klasteryje yra buvusios Sovietų bloko narės, tad persiformuojant rinkai jų BVP ir eksportas augo greičiau, nei jų transporto emisijos. Galbūt tam galėjo pasitarnauti ir jų geografinė padėtis, intensyvesnis geležinkelių naudojimas, mažas jūrinių kelių naudingumas arba jūros pakrantės nebuvimas. Vienas įdomesnių atvejų – Pietų Korėja. Bendrinių transporto emisijų nagrinėjime ji pateko į trečią klasterį, kuris rodo tolygų emisijų transporte augimą. Šiuo atveju Pietų Korėjos emisijos vienam BVP yra mažėjančios, tad šalies ekonominis produktyvumas stipriai viršijo taip pat augančias transporto emisijas.

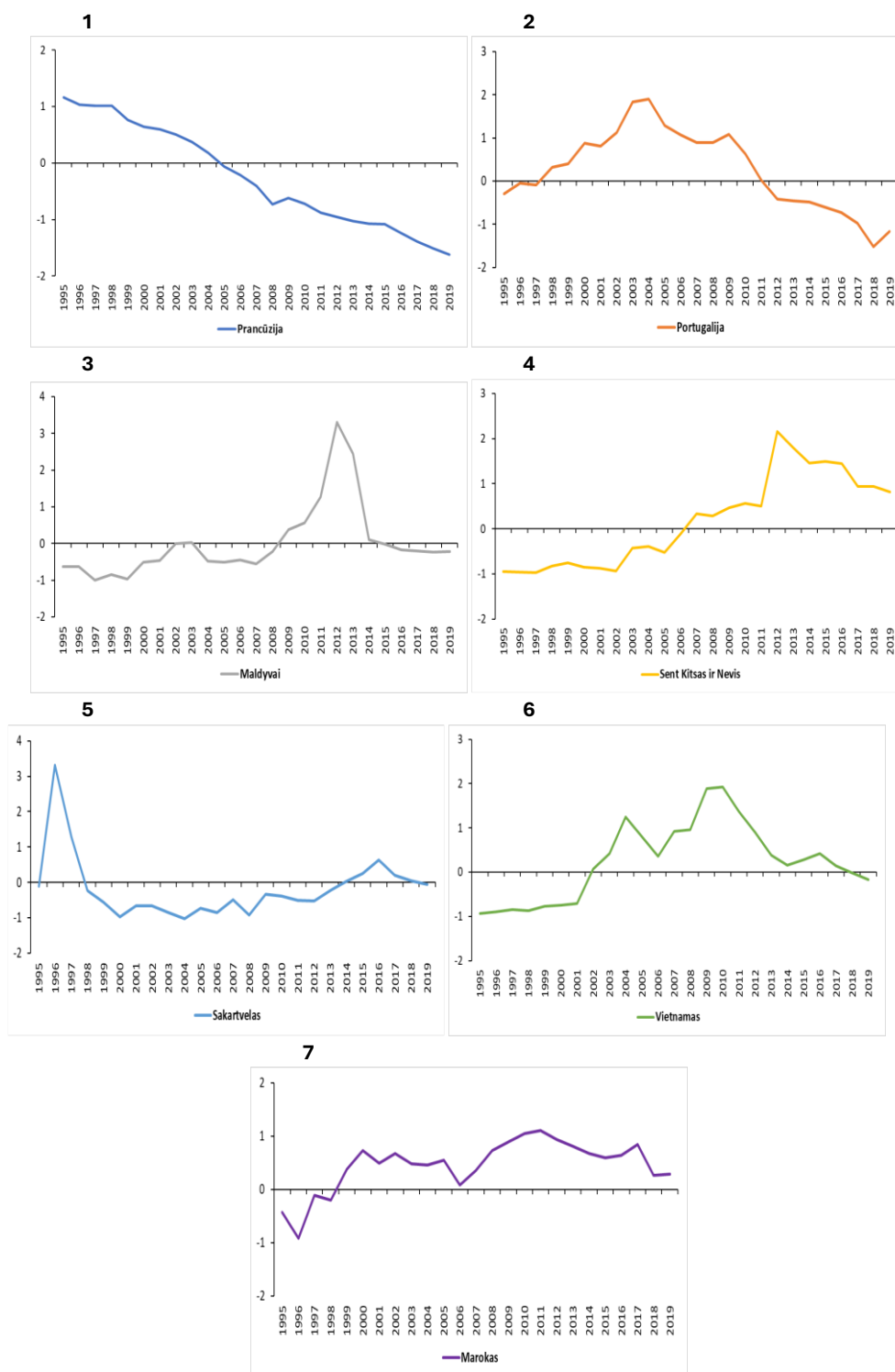


18 pav. Septynių pagrindinių klasterių standartizuotų transporto sektoriaus emisijų santykio su BVP tendencijos 1995-2019 metais.

Antras klasteris yra išreikštas Portugalijos. Šio klasterio šalys didino emisijas transporte sparčiau nei augo šalies BVP, Portugalijos atveju tai vyko iki 2003-2004 m. Po to emisijos mažėjo, tačiau laiptuotai. 2018 m. vėl fiksuotas jų pakilimas. Antrajame klasteryje yra 16 valstybių, tarp kurių yra ir Kinija. Grafikas rodo, jog Portugalijos transporto emisijos mažėjo, o BVP sugebėjo augti. Drastiškesnis kreivės nuolydis rodo, jog Portugalijos emisijos ir taip sėkmingai mažėjo.



19 pav. Šalių, suskirstytų į septynis klasterius pagal standartizuotą transporto sektoriaus emisijų santykį su BVP, žemėlapis.



20 pav. Septynis klasterius reprezentuojančių šalių standartizuotos transporto sektoriaus emisijų santykio su BVP tendencijos vienam gyventojui 1995-2019 metais.

Ramiojo vandenyno salų valstybė Maldyvai reprezentuoja trečiąjį klasterį. Tai 15 valstybių klasteris, kuriame iš Europos žemyno tėra Bosnija ir Hercegovina, vyrauja Okeanijos salų valstybės, tačiau yra ir prie jūros prieigos neturinčių valstybių: Armėnija, Butanas, Kirgizija, Laosas, Zimbabvė. Klasterio pavyzdinis Maldyvų grafikas rodo pastovumą, t.y. emisijų su BVP santykis didžiają nagrinėjamo periodo dalimi išliko nepakitęs. Išskirtinas 2011-2013 m. periodas, kai BVP nepasivijo

emisijų. Tikėtina tai galėtų būti susiję su po kriziniu bendru ekonominiu atsigavimu, kai į šalį sugrįžo turistai, tačiau jos transporto sektorius išliko taršus.

Ketvirtas klasteris iliustruojamas dar vienos mažos salų valstybės – Sent Kristoferio ir Nevio Federacijos (Sent Kitsas ir Nevis). Vis dėlto šis klasteris vienas didesnių, jį sudaro 37 įvairaus tipo valstybės. Vos daugiau nei 50 tūkst. gyventojų turinčio Sent Kitso ir Nevio trendas kilo, dėl augančių emisijų ir nedidėjančio BVP. 2012 m. Sent Kitse ir Nevyje transporto sektoriaus išmetamųjų teršalų kiekis smarkus padidėjimas sietinas su keletu veiksnių: atsigavo turizmo sektorius, kuriame 5,3% padaugėjo lankytojų, kartu padaugėjo skrydžių, kruizų ir antžeminio transporto. Dėl didelės šalies priklausomybės nuo importuojamo iškastinio kuro padidėjo transporto sektoriaus veiklos apimtis, padidėjo išmetamųjų CO₂ teršalų kiekis. Neatmestina, kad prie to prisidėjo ir vyriausybės taikomos ekonomikos skatinimo priemonės, pvz., padidėjusios išlaidos infrastruktūrai, kurios paskatino prekių ir paslaugų judėjimą. Atsigavus šalies BVP pastebimas trendo žemėjimas.

Tikėtina, jog observuojant statistinę analizę gali pasitaikyti klaidų, netikslingų nuokrypių, tad Sakartvelo atveju – 5 klasteris, galima būtų atmesti 1995 metų rezultatą dėl pernelyg staigaus pakilimo. Penktajam klasteriui priskiriama 17 šalių. Tai ganėtinai įvairios valstybės, klasteryje yra Indija, Lenkija, Ekvatorinė Gvinėja, Čadas, Trinidadas ir Tobagas ir kt. Šio klasterio valstybės sugebėjo padidinti savo BVP ir išlaikyti transporto emisijas palyginti nepakitusias arba net jas sumažinti.

Šešto klasterio pavyzdžiu yra Vietnamas. Šioje grupėje 12 valstybių (Afrikos 4, Azijos 3, Lotynų Amerikos ir Karibų 3, Europos 2). Vietnamo emisijos pagal BVP iki pat 2001 m. išliko gana stabilios. Nuo 2001 m. Vietnamo emisijos kilo staigiau iki 2004 m., kai pasiekė pirmąjį piką, 2006 m. jos siekė 2003 m. lygį, po to sekė staigus kilimas ir emisijos pagal BVP pasiekė antrąjį piką apie 2010 m. Nuo to laiko emisijų ir BVP santykis palaipsniui mažėjo, kol buvo sugrįžta į 2001 m. lygmenį.

Septintas klasteris mažiausias – 11 šalių. Dauguma šalių iš Lotynų Amerikos ir Karibų (4), Afrikos žemyno – 3, o Europa ir Azija turi po dvi. Klasterį reprezentuoja Maroko kreivė. Ši rodo sąlyginį pastovumą vis dėlto emisijos augo intensyviau nei šalies BVP, ypač nuo 2006 m., kai pasaulinės krizės įtaka palietė nuo turizmo stipriai priklausomą šalį.

7. ISTORINIS POLITIKOS PRIEMONIŲ TAIKYMAS TRANSPORTO EMISIJŲ MAŽINIMUI IR JŲ EFEKTYVUMAS

Pasauliui tampant vis turtingesniam ir vis labiau urbanizuotam, dažna šalies vyriausybė susiduria su blogėjančia eismo situacija urbanizuotose vietovėse, prastėjančia oro kokybe ar dėl didelės priklausomybės nuo įvežtinio iškastinio kuro – grėsmės nacionaliniam saugumui. Besivystančiose valstybėse privačių transporto priemonių naudojimas parodo besikeičiantį statusą ir įtaką. Išsivysčiusiose ekonomikose asmeninis transportas jau tapo įprastu reiškiniu, ypač dažnai suvokiant viešąjį transportą kaip nepatikimą ir nepatogų. Politinių priemonių taikymas emisijų mažinimui pasiekti yra labai įvairus ir spalvingas apžvelgiant istorinius laikotarpius ir skirtingus pasaulio regionus. Svarbu pažymėti, jog ankstesniaisiais dešimtmečiais transporto sektoriaus kuro suvartojimo efektyvinimas buvo daug svarbiau politiškai ir energetinio saugumo prasme nei žalinimas, bet netiesiogiai itin pasitarnavo žalinimo idėjai. Šiame skyriuje bus aptariama kelių, vandens ir oro transporto rūšys bei tam tikrų valstybių, kurios taikė arba tebetaiko iki šiol tam tikras politinio pobūdžio gaires, siekdami dekarbonizuoti transporto sektorių, taikomos priemonės. Šiuo atveju siekiant išplėsti ir kontekstualizuoti bus apžvelgiamas ilgesnis periodas nei 1990-2019 m. Pažymėtina, jog skyrius skirtas kelių transporto taršos politikos apžvalgai yra ilgesnis, taip atsižvelgiama į jo svaresnį indėlį ŠESD emisijoms tarp kitų transporto rūšių. Atitinkamai skyriuje prisiliečiama prie geležinkelių ŠESD politikos bei laivybos ir aviacijos, vidinės ir tarptautinės. Pažymėtina, jog istorinis politikos priemonių taikymas transporto emisijų mažinimui (tiesioginiam ar netiesioginiam) galėtų būti atskira mokslinio darbo tema, šiuo atveju tai naudingas įvadas į kontekstą.

Kelių transportas

Jungtinių Amerikos Valstijų Aplinkos apsaugos agentūros pateikiamais duomenimis transporto sektorius sudaro apie 28% viso šalies ŠESD ir yra didžiausias emisijų skleidėjas (U.S. Environmental Protection Agency, n.d. - a). JAV kuro naudojimo efektyvinimu susirūpino apie 1970-uosius, kai 1973 m. Naftą eksportuojančių arabų šalių organizacija (OAPEC) paskelbė naftos embargą visoms šalims palaikančioms Izraelį. Nors 1974 m. organizacija draudimą atšaukė, naftos kaina JAV jau buvo pakilusi net 300%. Šis embargas sukėlė „pirmąją naftos šoką“. 1979 m. įvykusi Irano revoliucija sukėlė antrąją (Office of the Historian, n.d.). Siekiant užsitikrinti energetinį saugumą ir sumažinti kuro kainų įtaką ekonomikai bei gyvenimo standartams, kaip vieną iš būdų JAV pasirinko siekti efektyvinti automobilių kuro suvartojimą. 1975 m. JAV priima vadinamuosius CAFE – Vidutinius degalų ekonomiško kompanijoms (*Corporate Average Fuel Economy*) standartus, kurie galioja iki šiol. CAFE standartai remiasi Energetikos politikos ir taupymo akto (*Energy Policy and Conservation Act*) 1978 m. nustatytomis degalų taupymo taisyklėmis, kurios reikalavo, jog automobiliai nuvažiuotų 18 mylių sunaudojant vieną amerikietišką galoną (mpg) degalų. Apytiksliai 1mpg yra lygus 0,354006 km/l. Kuo aukštesnė mpg arba km/l vertė tuo transporto priemonė yra efektyvesnė kuro atžvilgiu. Vėliau CAFE reikalavimai griežtėjo siekdami užtikrinti dar efektyvesnį kuro vartojimą, kuris apytiksliai pasiekė 39,4 mpg, tačiau realus JAV automobilių parkas 2019 m. siekė vos 24,9 mpg (Shepardson, 2021). Numatyti standartai išskiria keleivinius automobilius, lengvuosius ir sunkiuosius sunkvežimius, jiems taiko skirtingus normatyvus. CAFE standartai keitėsi ir buvo modernizuojami, o formulės, skirtos apskaičiuoti taikytiniams automobilio normatyvams, buvo tobulinamos. Automobiliai, kurių kuro efektyvumas neatitinka nustatytų standartų yra atitinkamai apmokestinami. Paraleliai su CAFE standartais buvo sukurtas „Kuro rijimo“ mokestis (*Gas Guzzler Tax*), kaip Energetikos mokesčio akto dalis. CAFE standartai yra prižiūrimi JAV

Transporto sekretoriaus per Nacionalinę greitkelių eismo saugumo administraciją (*National Highway Traffic Safety Administration*). Iš pradžių CAFE standartais siekta skatinti naujoves automobilių rinkoje, siekiant sumažinti degalų sąnaudas, šiais laikais tai išsivystė į galimybes kurti naujas darbo vietas šalyje ir pažaboti globalinį atšilimą. Griežti CAFE standartai ir vyriausybės paskatos taupiai degalus naudojančioms transporto priemonėms Jungtinėse Valstijose bent teoriškai turėtų paspartinti elektromobilių paklausą. Dabartiniai automobiliai JAV ant priekinio stiklo turi lipdukus su mpg indikatoriumi (U.S. Department of Energy, n.d. -a). Vis dėlto šie standartai nebūtinai padeda JAV automobilių rinkai būti švaresne. 2007 m. NBC žiniasklaida aprašė, jog vos 2 automobilių markės, kurių mpg viršija 40, yra siūlomos JAV vartotojui. Tuo tarpu Europoje tokių automobilių markių yra virš 113, dauguma jų gamintojų yra įkūrę bazes Amerikoje arba aktyviai pardavinėja kitus savo automobilius JAV rinkoje. Europoje, kur degalai yra brangesni automobilių ekonomiškas kuro atžvilgiu yra bene dvigubai didesnis nei JAV (atitinkamai 40 mpg ir 20,4 mpg) (Jones, 2007). Tačiau europietiški dyzeliniai automobiliai neatitinka JAV emisijų standartų, o automobilių rinkos liberalizavimui priešinasi didieji vietiniai JAV gamintojai. 2005 metais JAV paskelbė Atsinaujinančių degalų standarto aktą (*Renewable Fuel Standard Act* - RFS) išeinantį iš Švaraus oro akto (*Clean Air Act*). RFS programa - tai nacionalinė politika, pagal kurią reikalaujama, kad tam tikras atsinaujinančio kuro kiekis būtų naudojamas vietoj iškastinio kuro arba siekiant sumažinti iškastinio kuro kiekį transporto degaluose, namų šildymo alyvoje ar reaktyvinių variklių degaluose. RFS programa vadovautis turi kompanijos, kurios importuoja arba gamina degalus. Degalų perdirkėjai arba importuotojai kasmet turi pasiekti tam tikrus JAV Aplinkos apsaugos agentūros (*United States Environmental Protection Agency* - EPA) atsinaujinančių degalų tikslus. Tikslų įgyvendinimą įrodo kreditų, vadinamų RIN (atsinaujinimo identifikacinis numeris) (*Renewable Identification Number*) kiekis, nustatomas EPA. RIN įrodo, jog buvo pagamintas galonas transportui JAV skirtų atsinaujinančių degalų etanolio pagrindu, t.y. kreditai gaunami pagaminant tokio tipo degalus. Šie kreditai gali būti parduodami arba perkami. Taip pat kiekvienais metais EPA nustato prievolę kiek kiekviena kompanija, remiantis EPA procentiniais standartais, turi pagaminti atsinaujinančio kuro – RVO (*Renewable Volume Obligation*). Pagal RFS programą yra išskiriamos keturios degalų kategorijos: iš biomasės pagamintas dyzelinas, celiuliozės pagrindu sukurti biodegalai ir pažangieji biodegalai. RFS duomenimis lyginant su 2005 m. naftos baziniu rodikliu (*petroleum baseline*) atsinaujinantis kuras sumažina taršą ŠESD 20%, pažangieji ir biodyzelio degalai – 50%, celiuliozės pagrindo kuras – 60% (U.S. Environmental Protection Agency, n.d.-b).

Neseniai ketvirta didžiausia pasaulio ekonomika paskelbta **Kalifornijos valstija** autonomiškai nustatė savitus standartus automobiliams 1990 m., paskelbdama transporto priemonių emisijų mažinimo programą – ZEV (*Zero Emission Vehicle*). Valstija, siekdama mažinti ŠESD, iš automobilių gamintojų ėmė reikalauti, jog pasiūloje būtų nustatytas skaičius netaršių technologijų transporto priemonių. Tai galėjo būti elektromobiliai ir hibridai. ZEV reikalavimai periodiškai atnaujinami ir yra prižiūrimi Kalifornijos oro išteklių valdybos – CARB (*California Air Resources Board*). Jau 1998 m. CARB reikalavo, jog 2% didžiųjų gamintojų siūlomų automobilių atitiktų ZEV. Taip pat 1998 m. mažiau taršūs automobiliai galėjo gauti dalinius ZEV – PZEV. 2001 m. ZEV reikalavimas išplėstas iki 5%, o 2003 m. – iki 10%. Tačiau programos pakeitimai leido didiesiems gamintojams pasiekti 10% ZEV jau 2001 m. Vis dėlto toliau tokie ryškūs ZEV didinimai nevyko dėka teismo nuosprendžio prieš CARB, kuris įpareigojo ZEV didinimus sieti su technologine raida, taip buvo panaikintas priverstinio didinimo laikotarpis ir palikti 10% ZEV reikalavimas. 2012 m. CARB paskelbė apie Pažangių švarių automobilių – ACC (*Advanced Clean Cars*) – programą. ACC siekė sujungti ZEV ir reikalavimus mažiau taršiams automobiliams į bendrą paketą. 2018 m. CARB

išleido patobulintą ACC II (U.S. Environmental Protection Agency, 2023, -c; California Air Resources Board, n.d., California Energy Commission, 2024).

Brazilija turi ilgas cukranendrių etanolio ir degalų mišinio tradicijas, siekiančias 1920-uosius, o 1940-aisiais etanolio kiekis kure siekė net 50 proc. Pokariniu laikotarpiu pigus kuras leido naudoti jį gryną, tačiau 1976 m. Brazilija, taip pat kentėdama nuo 1973 m. naftos krizės, taikydama subsidijas ir teises priemones pradėjo naudoti cukranendrių etanolio mišinius (*Proálcool*). 1993 m. 22% etanolio kiekis degaluose buvo įtvirtintas federaliniu lygiu ir nuo to laiko buvo tik didinamas (Walter & Dolzan, 2014). Iki 2010 m. jis sudarė 50% benzino kiekio. Brazilija sumažino CO₂ emisijas vienam kilometrui 10%, palyginti su grynu benzinu. 2020 m. Brazilijoje pradėta įgyvendinti „RenovaBio“ sistema (išmetamųjų teršalų kreditų programa biodegalams), prognozuojama, kad iki 2030 m. ji sumažins 3% nacionalinio CO₂ kiekio. Įstatymas šiam pokyčiui priimtas jau 2017 m. „RenovaBio“ kiekvienas CBIO reiškia vieną metrinę toną CO₂ ekvivalento, kurio buvo išvengta naudojant biodegalus. Degalų platintojai įpareigojami įsigyti CBIO proporcingai jų parduodamam iškastiniam kurui, taip skatinama naudoti švaresnį kurą (Barros, 2021).

Lengvosios transporto priemonės išmeta 12% viso **Europos Sąjungos** išmetamo CO₂ kiekio. 1990-2010 m. transporto ŠESD teršalų kiekis augo 26%. ES pradžioje savanoriškai pradėjo kurti transporto ŠESD mažinti skirtas programas,. Europos Sąjungoje nuo 2009 m. vadovaujamasi emisijų standartu automobiliams skirtu riboti anglies dvideginio išskyrimą. Taisyklės taikomos tik CO₂ išmetimui, tarša kitomis šiltnamio efektą sukeliančiomis dujomis nereglamentuojama. Tarptautinė švaraus transporto taryba – ICCT (*International Council on Clean Transportation*) teigia, jog 2009 m. nustatytas tikslas iki 2015 m. palaipsniui pasiekti, jog lengvieji automobiliai neišmestų daugiau nei 130g/km CO₂ ir 95g/km iki 2020 m. (Mock & Tietge, 2020; European Commission, 2023). Lengviesiems komerciniams automobiliams standartai pirmą kartą nustatyti 2011 m. neviršyti 176g/km 2017 m., tuo tarpu 2020 m. siekta, jog šio tipo automobiliai neviršytų 146g/km (International Council on Clean Transportation, 2014). 2020 m. duomenimis reguliavimas veikė ir vidutinis naujas automobilis išleido 96g/km CO₂, o 2022 m. CO₂ tarša 27% buvo mažesnė nei 2019 m. (European Commission, 2023). Ilgainiui ES ketina visiškai atsisakyti vidaus degimo variklių. ES yra absoliuti lyderė degalų kokybės užtikrinime, tad keletas didžiųjų šalių naudoja jos sistema kuro taršai vertinti.

Jungtinė Karalystė būdama ES nare sekė ES anglies dvideginio taršos transporto ribojimo taisyklių iki 2020 m., kai galutinai paliko politinį junginį. Vis dėlto šalis ir toliau laikosi panašių CO₂ emisijų ribojimų. 2020 m. JK paskelbė uždrausianti vidaus degimo variklius iki 2030 m. Vis dėlto šalis 2018 m. sustabdė subsidijas naujiems elektromobiliams. Šalies sostinė Londonas turi žemų emisijų zonas, kurios yra itin stipriai reguliuojamos elektronine pagalba (Transport for London, n.d.).

Europos Ekonominės bendrijos (EEB) šalis **Norvegija** turi didelius akcizus degalams, bet suteikia puikias sąlygas įsigyti ir eksploatuoti elektromobilius (The Norwegian Tax Administration, n.d.). 2022 m. virš 80% naujų automobilių Norvegijoje buvo elektromobiliai (Katje, 2024). **Šveicarija** taip pat yra įtraukusi anglies mokestį, o 2023 m. patvirtino Klimato ir inovacijų įstatymą (Federal Assembly of the Swiss Confederation, 2012, Bradley, 2023).

Lenkija yra geras „pereinamojo laikotarpio ekonomikos“ pavyzdys, kur komunizmo režimo žlugimas turėjo didelį poveikį miestų transportui. Lenkijoje, kaip ir daugelyje Rytų Europos šalių, viešasis transportas sudarė daugiau kaip 80% visų kelionių mieste (buvo ribojama galimybė įsigyti automobilį), tačiau pasikeitus režimui kelionių viešuoju transportu dalis nuolat mažėjo, o bilietų kainos ir privačių automobilių skaičius augo. Vos per ketverius metus (1988-1992 m.) Lenkijos viešasis transportas prarado trečdalį keleivių (nuo 9 iki 6 mlrd. keleivių per metus) (Poudenx, 2008).

2004 m. **Kinija** nustatė pirmąsias kuro ekonomiškumo taisykles, kurias vėliau sugriežtino 2008 m., 2011 m. ir 2016 m., nustatydamą panašią sistemą kaip JAV CAFE – CAFC (*Corporate Average Fuel Consumption*). 2016 m. programa siekė išgauti 5l/100km efektyvumą iki 2020 m., vėlesnė 2019 m. programa padidino reikalavimus iki 4l/100km, kurie turėtų būti pasiekti 2025 m. Kinų reikalavimai davė tinkamų rezultatų, jų automobilių parko vidutinis degalų vartojimas pasiekė 5,9l/100km 2020 m., kai 2015 m. buvo apie 6,5l/100km (Zhou et al., 2023; International Energy Agency, 2021). 2009 m. Kinija įvedė privalomą kuro suvartojimo žymėjimą ant keleivinių automobilių (International Energy Agency, 2021). 2009-2017 m. laikotarpiu Kinija sugebėjo pagerinti automobilių efektyvumą 1,7% (Zheng et al., 2019).

Japonija 1999 m. pristatė „Geriausio bėgiko“ (*Top Runner*) strategiją, kuri išliko efektyvi iki pat 2015 m. Pagal ją automobilių gamintojai turi adaptuoti geriausias rinkos technologijas. Iki 2015 m. taikomi standartai prilygo 18km/l (130g/km CO₂). Teigiama, jog ši programa 2000-2015m. laikotarpiu pagerino automobilių efektyvumą 15% (International Energy Agency, n.d.-d). Tuo tarpu **Pietų Korėja** kuro ekonomiškumu susirūpino tik 2006 m. (pradedami taikyti apribojimai vietiniams gamintojams), 2009 m. – standartai išplėsti ir importiniams automobiliams. Nauji standartai (po 2020 m.) yra griežtinami. Sekdama JAV pavyzdžiu, **Indija** 2014 m. išleido CAFE, kurie įsigaliojo tik 2017 m. nauji automobiliai turi reikalavimą neviršyti 130g/km CO₂, 2022 m. tai turėjo sumažėti iki 113g/km (International Council on Clean Transportation, n.d.). Siekdama padidinti elektromobilių skaičių savo parke, Indija išleido „Elektromobilių greitesnio pritaikymo ir gamybos programą“ – FAME (*Faster Adoption and Manufacturing of Electric Vehicles*). Naudodama subsidijas programa siekia užtikrinti, jog 30% naujų perkamų automobilių būtų elektromobiliai. Vis dėlto Indija sumažino mokesčius dujoms, nors laiko aukštus degalų mokesčius (laikoma, jog Indijos dyzelino akcizas yra aukščiausias). Tačiau sukurtas naujas mandatas etanolio maišymui į kurą (E10 į E20 iki 2025 m.), planuoja sumažinti transporto CO₂ emisijas 2-3%. 2023 m. kuro ir etanolio mišinys bendrame naudojame pasiekė 12% (International Energy Agency, 2022, -e).

Įdomesnių transporto suvaržymų ėmėsi **Singapūras**. 4 mln. gyventojų turėjusiame 1999 m. Singapūre buvo 688 811 transporto priemonių ir vos 3122 km kelio (4,5 m vienam transporto vienetui) (Goh, 2002). Automobilių naudojimo apribojimai buvo pradėti taikyti, kai 1970-aisiais centriniame verslo rajone (CBD) atsirado eismo problemų. Buvo nustatyta „teritorijos licencijavimo zona“, siekiant apriboti įvažiavimą į CBD. Vėliau zona buvo papildyta dideliais mokesčiais ir automobilių stovėjimo rinkliavomis. Tai sumažino eismo intensyvumą piko valandomis 45%, 25% sumažino eismo įvykių skaičių ir 20% padidino eismo greitį. Tačiau ši politika kartu su dideliais importo muitais ir registracijos mokesčiais nesutrukdė bendram automobilių skaičiui toliau augti, todėl galiausiai 1990 m. vyriausybė nustatė transporto priemonių kvotų sistemą (TPKS), pagal kurią kiekvieną mėnesį aukcione buvo parduodamas tam tikras skaičius leidimų (*Certificate of Entitlement*). Ribojamų leidimų kaina išaugo ir buvo apskaičiuota, kad 1995 m. Toyota Corolla 1,3 l automobilis kainavo 64 900 JAV dolerių, tad net 2/3 gyventojų jis tapo neprieinamas (Poudenx, 2008).

2008 m. **Naujojoje Zelandijoje** taikoma prekybos apyvartiniais taršos leidimais sistema apima transporto priemonių degalus (degalų platintojai moka anglies dioksido kainą). Priemonė: anglies dioksido kainos nustatymas. Rezultatai: kuklūs, nes ATLPS anglies dioksido kaina buvo nedidelė (mažiau nei 35 JAV doleriai už toną) (Hasan, Frame, Chapman, & Archie, 2019). Vis dėlto transporto sektoriuje išmetamų teršalų kiekis sumažėjo apie 10% 1990-2020 m. laikotarpyje, daugiausia dėl efektyvumo kituose sektoriuose. **Australija** 2014 m. panaikino anglies dioksido mokesťį ir nepadidino degalų mokesčio (viena iš nedaugelio EBPO šalių, kurioje netaikomas dyzelino

akcizas), todėl transporto išmetamo CO₂ kiekis 2000-2020 m. padidėjo apytiksliai 7% (Australian Government Treasury, 2011; BBC News, 2014).

Geležinkelių transportas

Geležinkelių transportu paprastai išmetama maždaug 1-2 proc. viso pasaulio CO₂. Vykdamas taršos mažinimo politiką daugiausia dėmesio skiriama efektyvumui ir modaliniam perėjimui.

Europos Sąjungoje nėra specialaus lokomotyvų CO₂ emisijų standarto. Klimato politiką siekiama vykdyti per elektros energijos dekarbonizavimo ir modalinio perkėlimo tikslus (pavyzdžiui, „80% keleivių vežimo geležinkeliais“ tikslai pagal ES Žaliąjį susitarimą). 2021 m. paskelbtoje „Fit for 55“ iniciatyvoje mažinti ŠESD skatinama keleivius keisti kelių transportą į geležinkelius. Skatinama socialiai (pvz., Lietuvos geležinkeliai išleido komercinę kampaniją – „traukiniautojai“), tačiau tiesioginių investicijų į dyzelinių lokomotyvų efektyvumą nėra. Bendru ES valstybių narių lygmeniu sutariama eiti link geležinkelio elektrifikacijos. Rezultatas: ES geležinkeliais nuvažiuojamų keleivių kilometrų dalis padidėjo nežymiai; traukinių gyvavimo ciklo CO₂ vienam kilometrui tenka apie 90% mažiau nei lengvųjų automobilių ir (arba) sunkvežimių (įvertinant, kad didžioji dalis ES geležinkelių yra elektriniai) (European Environment Agency, 2021).

JAV lokomotyvams taikomos EPA teršalų išmetimo taisyklė, tuo tarpu ŠESD kiekio ribos dar nenustatytos. 2020 m. Kalifornijos priimtas „Naudojamų lokomotyvų reglamentą“, kuris nurodo pereiti prie grynojo nulio emisijų (pvz., akumuliatorinių ir (arba) elektrinių) lokomotyvų (CARB reglamentas). JAV taikomas technologinis įgaliojimas privertė keletą geležinkelių kompanijų bandyti akumuliatorinius lokomotyvus (California Air Resources Board, 2022).

Tolimojoje Azijoje, Japonija, Kinija ir Indija intensyviai siekia elektrifikuoti geležinkelius. Japonijos greitasis „Shinkansen“ stipriai sumažina geležinkelių išmetamo CO₂ kiekį (Central Japan Railway Company, n.d.). Kinijos geležinkelių elektrifikacija buvo aptarta jau anksčiau. Ambicingus tikslus elektrifikacijoje išsikėlė Indija, kuri iki 2030 m. planuoja 100% elektrifikaciją (Indian Ministry of Railways, 2023).

Apžvelgiant pasaulinius krovinių vežimo standartus pastebima, jog nėra tarptautinio geležinkelių degalų standarto. Kai kurios šalys dyzeliniam kurui taiko anglies dioksido mokesčius arba prekybos apyvartiniais taršos leidimais sistemą (pavyzdžiui, Kanada lokomotyvų dyzeliną įtraukia į provincijų anglies dioksido rinkas, o Kinija taiko kuro mokestį) (Transport Canada & Railway Association of Canada, 2023; International Energy Agency, n.d. -e).

Tarptautinė aviacija

Tarptautinė (ICAO) CORSIA (*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*) - priimta ICAO asamblėjos 2016 m. ir įgyvendinama nuo 2021 m. Visos dalyvaujančios oro transporto bendrovės privalo kompensuoti CO₂ kiekį, viršijantį bazinį lygį (iš pradžių 2019 m. lygį; po 2023 m. bazinis lygis nustatytas 85% 2019 m. lygio) (International Air Transport Association, 2024). Tikimasi kompensuoti maždaug 2,5 Gt CO₂ 2021-35 m. Vis dėlto ši sistema susilaukia pelnytų kritikų. Sistemoje ribojamas grynojo CO₂ kiekio augimas, tačiau neribojamas degalų naudojimas, o susitarimo veiksmingumas priklauso nuo kompensacijos sąžiningumo. Nuo 2023 m. dalyvauti įsipareigojo >130 šalių, apimančių >90% aviacijos veiklos (su skirtingais prisijungimo etapais) (International Civil Aviation Organization, 2019).

2012 m. ES išplėtė savo apyvartinių taršos leidimų prekybos sistemos taikymą visiems skrydžiams EEE. Aviakompanijos turi atsakyti leidimų, susijusių su išmetamu CO₂ kiekiu. Taip oro linijų išmetamo CO₂ kiekis ES iš dalies apribotas (paveikta 40% tarptautinių skrydžių). Dėl to ES

skrydžiai padengia bene 50% išmetamųjų teršalų (pusė vis dar neapmokestinama skrydžiams į/iš už ES ribų). Tai pastebimai nesumažino skrydžių paklausos, tačiau sukuria kainų augimą. 2023 m. išleistas naujas ES reglamentas - ReFuelEU, pagal kurį reikalaujama didinti tvariųjų aviacinių degalų (SAF) dalį reaktyviniuose degaluose: 2% iki 2025 m., 6% iki 2030 m., iki 70% iki 2050 m. (European Commission, n.d.). Pirmasis SAF įsisavinimas buvo <0,1%, taigi tai svarbus žingsnis, tačiau šių degalų gamintojai itin skundžiasi, jog avialinijos nėra griežčiau įpareigosios pirkti šio tipo degalų, tad tai gali trikdyti produkciją, ją ypatingai išbranginti (Financial Times, 2024; Lecca, 2025)

Kaip papildomą reguliacinę priemonę daugelis šalių apmokestina oro linijų bilietus (JK APD, Vokietija - ATLPS, Prancūzija - kelionės oro transportu mokestis), kad gautų pajamų ir iš dalies internalizuotų CO₂. JK APD padvigubėjo (2015-2022 m.) ir per metus surinko beveik 3 mlrd. svarų sterlingų, tačiau, palyginti su augančia pakausa, jo poveikis CO₂ emisijoms yra nedidelis (Seely, 2019; Sloan et al., 2024). JAV vidaus skrydžiams skirti reaktyviniai degalai apmokestinami (19ct už galoną federalinis mokestis ir valstijų mokesčiai, kurie gali siekti iki 30ct už galoną). Nėra federalinio kompensavimo mechanizmo ar nustatyto anglies dioksido taršos mokesčio. 2021 m. Infrastruktūros įstatyme SAF plėtrai skirta 1 mlrd. dolerių. Aviakompanijos yra savanoriškai įsipareigojusios iki 2050 m. pasiekti grynąjį nulinį išmetamųjų teršalų kiekį. Tačiau JAV aviacijos išmetamo CO₂ kiekis 2022 m. pasiekė rekordinį lygį, taigi politika dar nesustabdė ir negebėjo paveikti emisijų augimo (American Airlines, 2021; Euronews, 2023). 2009 m. Kinija įvedė 3 proc. degalų mokestį vietiniams reaktyviniams degalams. Rezultate – vos minimalus poveikis pakausai (Energy Intelligence, 2009). Brazilijos vidaus reaktyvinių degalų mokestis šiuo metu siekia 12%. 2022 m. Brazilija įsipareigojo naudoti 5% SAF mišinį (Curi, 2025). Kai kurios šalys, kaip antai Norvegija ir Švedija, svarsto galimybę uždrausti ir (arba) apmokestinti vidaus skrydžius. Tuo tarpu, Prancūzija draudžia vidaus skrydžius, jei egzistuoja geležinkelio alternatyva, kurios kelionės trukmė telpa į ne daugiau kaip 2,5 val. (BBC News, 2023).

Tarptautinė laivyba

Tarptautinėje laivyboje naudojamas Energijos vartojimo efektyvumo projektinis indeksas (EEDI, 2013 m.) - IMO privalomas efektyvumo standartas naujiems laivams (įvestas MARPOL konvencijos VI priede). Jis reikalauja, kad laivai, pastatyti po 2013 m., būtų palaipsniui efektyvesni kuro atžvilgiu (nuo 2015 m. - 30%, o iki 2025 m. - 50%, palyginti su 2008 m.). Tai dalinai pasiteisino, nes šiuolaikiniai dideli krovininiai laivai yra bene 15% efektyvesni nei 2008 m. statyti laivai. Laikoma, jog pasaulinis laivybos CO₂ kiekis beveik nepakito (2018-2023 m.), iš dalies dėl lėto laivybos augimo, tačiau visas EEDI poveikis atsiskleis ateityje. Taršai mažinti taip pat naudojamas Energijos vartojimo efektyvumo esamų laivų indeksas (EEDI) ir anglies dioksido intensyvumo rodiklis (CII, 2023 m.). Nuo 2023 m. sausio mėn. visi laivai turi įrodyti, kad atitinka minimalų EEDI rodiklį, arba jiems bus taikomi techniniai pertvarkymai (pvz., greičio apribojimai) (International Maritime Organization, n.d.; U.S. Environmental Protection Agency, n.d. -c).

2023 m. Tarptautinė Jūrų organizacija (TJO; angl. *International Maritime Organization*) atnaujino 2018 m. ŠESD strategiją. 2018 m. strategijoje buvo siekiama iki 2050 m. 50 proc. sumažinti išmetamo CO₂ kiekį (atskaitos metais imant 2008 m.). 2023 m. liepą TJO patikslino šį tikslą ir nustatė tarpinius tikslus: iki 2030 m. išmetamųjų teršalų kiekis bus sumažintas 20%, iki 2040 m. -70%, o iki 2050 m. - visiškai nulinis (International Maritime Organization, 2023; Laffineur, Spiegelenberg, Sidenvall Jegou, Smith, & Bonello, 2023). 2025 m. balandžio mėn. buvo susitarta dėl priemonių „krepšelio“ (kuro standartas + mokestis): privalomas mazuto CO₂ standartas ir visuotinė ŠESD kainų sistema laivams, kurių BT > 5 000 GT, nuo 2027 m. Prognozuojama, kad jos apims maždaug 85%

laivų išmetamo CO₂ kiekio ir iki 2050 m. galėtų sumažinti ~0,7 Gt CO₂. Tai pirmasis privalomas viso sektoriaus anglies dioksido mokestis. TJO mokestis nuo 2027 m. bus visuotinis (International Maritime Organization, 2025). Tačiau neaišku kas ir kaip šį mokestį administruos, taip pat siūlytina žiūrėti skeptiškai į apribojimus laivybai dėl didelės reguliacinių priemonių stokos.

Patikslinta ES ATLPS šiuo metu apima ir ES vidaus laivybą: 2024 m. laivai turi pirkti ATL už 40 proc. išmetamųjų teršalų (2025 m. - už 70 proc., o 2026 m. - už 100 proc.). Į ES uostus įplaukiantiems laivams bus taikoma 80-100 EUR/tCO₂ kaina. Prognozuojama, kad tai padės iki 2030 m. sumažinti apie 2% ES jūrų transporto išmetamo CO₂ kiekio (sulėtinant emisijų augimą ir pereinant prie švaresnio kuro). Taip pat išleistas FuelEU Maritime (2023 m.) ES reglamentas, kuriuo reikalaujama, kad ES uostuose plaukiojantys laivai, kurių talpa didesnė nei 5000 GT, sumažintų degalų būvio ciklo metu išmetamų ŠESD intensyvumą: nuo 2 proc. sumažinimo (2025 m.) iki 80 proc. iki 2050 m. Skatinama naudoti amoniaką, vandenilį, metanolį, biodegalus; faktinis sumažinimas įvyks po 2025 m., kai padidės degalų pasiūla (European Commission, 2025).

Uostų ir vidaus vandenų taršos kontrolės priemonė - ES Alternatyviųjų degalų infrastruktūros reglamentas, kuriuo įpareigojama iki 2030 m. dideliems laivams naudoti nulinės taršos uosto elektros energiją (kranto elektros energiją). Daugelis Europos uostų teikia kranto elektros energiją, kad sumažėtų kuro naudojimas tuščiąja eiga. Rezultate buvo sumažintas ES uostų išmetamas CO₂, SO₂, NO_x kiekis (European Parliament & Council of the European Union, 2023; European Commission, 2025).

Šiaurės šalys (Norvegija ir Švedija) apmokestina anglies dioksidą vidaus laivyboje (Norvegijos mokestis ~500 NOK/tCO₂); Švedija apmokestina tik vidaus fiorduose. Taip skatinama trumpųjų maršrutų laivybą pereiti prie švaresnio kuro (Norwegian Ministry of Climate and Environment, 2019, Lind et al., 2023).

Tuo tarpu JAV nacionalinės anglies dioksido politikos tarptautinei laivybai nėra. JAV taisyklės (2013 m. NOAA laivų greičio mažinimas uostuose) skirtos tik vietiniams vandens ir oro teršalams, bet ne CO₂. JAV nenustatyti tanklaivių CO₂ apribojimai, nors kai kurios valstijos (Kalifornija) skatina uostų elektrifikaciją (Selin, 2022; Financial Times, 2025)

IŠVADOS

1. ŠESD emisijos nuo 1990 metų augo visuose sektoriuose. Dėl didėjančio transporto priemonių skaičiaus bei stiprios priklausomybės nuo iškastinio kuro, transporto sektoriuje augimas vyko per visą tiriamą laikotarpį. Transporto emisijų dinamikoje matomi dideli regioniniai skirtumai: vienos šalys emisijas stabilizavo ar net mažina, tačiau dauguma šalių vis dar patiria spartų emisijų didėjimą.

2. Atlikus standartizuotų transporto emisijų analizę 1990-2019 metų laikotarpiu identifikuoti du pagrindiniai klasteriai su skirtingais raidos keliais. Pirmojo klasterio reprezentacinės šalies Švedijos emisijos transporto sektoriuje nagrinėjamoju laikotarpiu krito, tuo tarpu Kinijos reprezentuojamo antrojo klasterio šalys emisijas didino tolygiai. Pirmojo klasterio šalys buvo ekonomiškai tvirtos ir išsivysčiusios, po 2009 metų finansinės krizės diegiamos technologinės naujovės padėjo joms sistemingai mažinti ŠESD emisijas duotuoju periodu. Antrojo klasterio šalys siekdamos geresnio ekonominio išsivystymo ir ekonominio stabilumo emisijas didino, nesilaikė ar neketino riboti emisijų transporto sektoriuje.

3. Išanalizavus transporto sektoriaus emisijas vienam gyventojui nustatytas panašus trendas, kaip analizuojant transporto emisijas. Nagrinėjamos valstybės pasiskirstė į dvejus pagrindinius klasterius reprezentuojamus Švedijos ir Kinijos. Abejose valstybėse augo gyventojų skaičius, tačiau Švedijos technologinė adaptacija ir transporto priemonių elektrifikacija sugebėjo nustelbti kartu augančias emisijas. Kinijos augančioje ekonomikoje transporto emisijos vis dar kilo stipriau, nei augo gyventojų skaičius.

4. Nagrinėjant standartizuotas transporto emisijas pagal BVP nustatyta, jog išsivysčiusių šalių BVP augo stipriau, nei augo jų transporto sektoriaus emisijos. Taip pat paminėtina, jog daugelio išsivysčiusių šalių emisijos nagrinėjamu laikotarpiu ir taip mažėjo, tad transporto emisijos vienam BVP vienetui stipriai mažėjo. Besivystančiose valstybėse transporto sektoriaus emisijos augo labiau nei augo jų BVP, o stipriausias emisijų augimas vyko nuo 2005 metų. Remiantis aplinkosaugine Kuznets kreive, tikėtina, jog netolimoje ateityje bus stebimas ryškiau išreikštas transporto emisijų mažėjimas pagal BVP, besivystančioms šalims pasiekus tinkamus ekonominius rodiklius.

5. Siekdamos sumažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro, stiprinamos energetinę nepriklausomybę, mažindamos oro taršą ir reaguodamos į klimato kaitą šalys ėmėsi politinių priemonių riboti ŠESD emisijas, elektrifikuoti transportą ir keisti kuro sudėtį. Tokie politiniai sprendimai kurie pradėti taikyti dar XX a. antroje pusėje, pradėjo duoti tinkamų rezultatų, tad po 2015 metų Paryžiaus susitarimo valstybės ar jų sąjungos nusprendė taikyti griežtesnius apribojimus. Politinė valia padėjo tvirtus pamatus elektrifikacijai, kuro diversifikacijai ir technologiniams sprendimams efektyvinti degalų suvartojimą vidaus degimo varikliuose. Kartu tai jau atspindėjo šalių transporto emisijų kiekyje, tačiau esminiam lūžiui dar reikia daugiau laiko.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- American Airlines. (2021-07-16). *American Airlines commits to setting science-based target for reducing greenhouse gas emissions*. <https://news.aa.com/news/news-details/2021/American-Airlines-Commits-to-Setting-Science-Based-Target-for-Reducing-Greenhouse-Gas-Emissions-CORP-OTH-07/>, žiūrėta: 2025-05-22.
- Ankathi, S., Lu, Z., Zaimes, G. G., Hawkins, T., Gan, Y., & Wang, M. (2022). Greenhouse gas emissions from the global transportation of crude oil: Current status and mitigation potential. *Journal of Industrial Ecology*, 26(6), 2045–2056. <https://doi.org/10.1111/jiec.13262>
- Australian Government Treasury. (2011, July 10). Chapter 4 – Australia without carbon pricing. In *Strong Growth, Low Pollution – Modelling a Carbon Price*. <https://treasury.gov.au/publication/p2011-sglp-report/chapter-4-australia-without-carbon-pricing>, žiūrėta: 2025-05-14
- Australian Government Treasury. (2011, July 10). Chapter 4 – Australia without carbon pricing. In *Strong Growth, Low Pollution – Modelling a Carbon Price*. <https://treasury.gov.au/publication/p2011-sglp-report/chapter-4-australia-without-carbon-pricing>, žiūrėta: 2025-05-20
- Barros, S. (2021, February 25). Implementation of RenovaBio – Brazil’s National Biofuels Policy (Report No. BR2021-0008). United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, Global Agricultural Information Network. <https://www.fas.usda.gov/data/brazil-implementation-renovabio-brazils-national-biofuels-policy>
- BBC News. (2014, July 17). Australia votes to repeal carbon tax. <https://www.bbc.com/news/world-asia-28339663>, žiūrėta: 2025-05-11
- BBC News. (2023-05-23). *France bans short-haul flights to cut carbon emissions*. <https://www.bbc.com/news/world-europe-65687665>, žiūrėta: 2025-05-22.
- Bilgili, F., Koçak, E., & Bulut, Ü. (2016). The dynamic impact of renewable energy consumption on CO2 emissions: A revisited Environmental Kuznets Curve approach. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 54, pp. 838–845). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.080>
- BP. (2006). Quantifying energy BP Statistical Review of World Energy. www.BP.com/statisticalreview.
- BP. (2010). BP Statistical Review of World Energy. www.BP.com/statisticalreview.
- BP. (2011). Statistical Review of World Energy June 2011. www.BP.com/statisticalreview.
- BP. (2019). Full report – BP Statistical Review of World Energy 2019.
- Bradley, S. (2023, June 18). Swiss approve net-zero climate law. SWI swissinfo.ch. <https://www.swissinfo.ch/eng/politics/swiss-to-decide-on-net-zero-climate-law/48593158>. Žiūrėta 2025-05-21
- Butcher, L. (2017). Rail electrification. www.parliament.uk/commons-library/intranet.parliament.uk/commons-library/papers@parliament.uk/@commonslibrary
- California Air Resources Board. (2022, June 21). CARB fact sheet: Class I locomotive operators. <https://carbstage.arb.ca.gov/resources/fact-sheets/carb-fact-sheet-class-i-locomotive-operators>
- California Air Resources Board. (n.d.). About the Zero-Emission Vehicle Program. <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/zero-emission-vehicle-program/about>
- California Energy Commission. (2024, May 1). Zero-emission vehicle sales remain strong in California. <https://www.energy.ca.gov/news/2024-05/zero-emission-vehicle-sales-remain-strong-california>

Central Japan Railway Company. (n.d.). Contribution to global environment preservation. <https://global.jr-central.co.jp/en/company/environment/contribution.html>

Charlton Lucy. (2019). Rail Emissions 2018-19 Annual Statistical Release.

Creutzig, F. (2016). Evolving Narratives of Low-Carbon Futures in Transportation. *Transport Reviews*, 36(3), 341–360. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1079277>

Curi, J. (2025-04-02). *Brazil SAF industry set to take off in 2027*. Argus Media. <https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/latest-market-news/2674362-brazil-saf-industry-set-to-take-off-in-2027>, žiūrėta: 2025-05-22.

Dai, J., Alvarado, R., Ali, S., Ahmed, Z., & Meo, M. S. (2023). Transport infrastructure, economic growth, and transport CO2 emissions nexus: Does green energy consumption in the transport sector matter? *Environmental Science and Pollution Research*, 30(14), 40094–40106. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-25100-3>

Energy Intelligence. (2009). *China*. Energy Intelligence. <https://www.energyintel.com/0000017b-a7b9-de4c-a17b-e7fb6a470000>, žiūrėta: 2025-05-22.

Euronews. (2023-03-02). *Coal, air travel and extreme weather: Global CO₂ emissions reached a record high in 2022*. <https://www.euronews.com/green/2023/03/02/coal-air-travel-and-extreme-weather-global-co2-emissions-reached-a-record-high-in-2022>, žiūrėta: 2025-05-22.

European Commission. (2025-01-10). *Decarbonising maritime transport – FuelEU Maritime*. Directorate-General for Mobility and Transport. https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/maritime/decarbonising-maritime-transport-fueleu-maritime_en, žiūrėta: 2025-05-22.

European Commission. (n.d.). Reducing emissions from the shipping sector. European Commission. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/reducing-emissions-shipping-sector_en, žiūrėta: 2025-05-20.

European Commission. (n.d.). *ReFuelEU Aviation*. Mobility and Transport. https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/air/environment/refueleu-aviation_en, žiūrėta: 2025-05-22.

European Environment Agency. (2021, March 24). *Rail and waterborne — best for low-carbon motorised transport* (Briefing No. 01/2021). <https://www.eea.europa.eu/publications/rail-and-waterborne-transport>, žiūrėta: 2025-05-22.

European Parliament and Council of the European Union. (2023, September 13). *Regulation (EU) 2023/1804 on the deployment of alternative fuels infrastructure and repealing Directive 2014/94/EU*. Official Journal of the European Union, L 234, 1–47. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1804/oj>; žiūrėta: 2025-05-22.

Evans, D., Evans, D., & Williamson, A. (2020). *The Road to Zero Emissions: The Future of Trucks, Transport and Automotive Industry Supply Chains*. Kogan Page, Limited. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/viluniv-ebooks/detail.action?docID=6336494&query=transport%20emissions>

Federal Assembly of the Swiss Confederation. (2012). Federal Act on the Reduction of CO₂ Emissions (SR 641.71). <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2012/855/en>, žiūrėta: 2025-05-20.

Financial Times. (2024-08-15). *Climate policy success needs mix of three factors, study finds*. <https://www.ft.com/content/8095afce-13eb-4b94-8ea7-1fd1a90bd99b>, žiūrėta: 2025-05-22.

Financial Times. (2025, April 15). *US to retaliate against international carbon levies on ships*. <https://www.ft.com/content/9332ac62-c116-4a84-93f3-9a5a53466f62f>; žiūrėta: 2025-05-22.

Friedrich, J., Ge, M., & Pickens, A. (2023, March 2). This interactive chart shows changes in the world's top 10 emitters. World Resources Institute. <https://www.wri.org/insights/interactive-chart-shows-changes-worlds-top-10-emitters>, žiūrėta: 2025-05-20.

Ginevičius, R., Lapinskienė, G., & Peleckis, K. (2017). The evolution of the environmental Kuznets curve concept: The review of the research. In *Panoeconomicus* (Vol. 64, Issue 1, pp. 93–112). Savez Ekonomista Vojvodine. <https://doi.org/10.2298/PAN150423012G>

Goh, M. (2002). Congestion management and electronic road pricing in Singapore. www.elsevier.com/locate/jtrangeo

Gössling, S. (2013). Advancing a clinical transport psychology. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 19, 11–21.

Gota, S., Huizenga, C., Peet, K., Medimorec, N., & Bakker, S. (2019). Decarbonising transport to achieve Paris Agreement targets. *Energy Efficiency*, 12(2), 363–386. <https://doi.org/10.1007/s12053-018-9671-3>

Government of Kiribati. (2012). Enhancing Economic Growth for Sustainable Development A vibrant economy for the people of Kiribati.

Government Offices of Sweden. (n.d.). Sweden's carbon tax. [Government.se. https://www.government.se/government-policy/taxes-and-tariffs/swedens-carbon-tax/](https://www.government.se/government-policy/taxes-and-tariffs/swedens-carbon-tax/), žiūrėta: 2025-05-13.

Graver, B., Zhang, K., & Rutherford, D. (2018). CO2 emissions from commercial aviation.

Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (n.d.). Economic growth and the environment*. <http://qje.oxfordjournals.org/>

Guan, D., Liu, Z., Geng, Y., Lindner, S., & Hubacek, K. (2012). The gigatonne gap in China's carbon dioxide inventories. *Nature Climate Change*, 2(9), 672–675. <https://doi.org/10.1038/nclimate1560>

Hasan, M. A., Frame, D. J., Chapman, R., & Archie, K. M. (2019). Emissions from the road transport sector of New Zealand: Key drivers and challenges. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(23), 23937–23957.

Hasan, M. A., Frame, D. J., Chapman, R., & Archie, K. M. (2019). Emissions from the road transport sector of New Zealand: Key drivers and challenges. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(23), 23937–23957. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05734-6>

Hertwich, E. G. (2021). Increased carbon footprint of materials production driven by rise in investments. *Nature Geoscience*, 14(3), 151–155. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00690-8>

Yin, X., Chen, W., Eom, J., Clarke, L. E., Kim, S. H., Patel, P. L., Yu, S., & Kyle, G. P. (2015). China's transportation energy consumption and CO2 emissions from a global perspective. *Energy Policy*, 82(1), 233–248. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.03.021>

Indian Ministry of Railways Press Information Bureau. (2023, March 15). Indian Railways to become Net Zero Carbon Emitter by 2030. <https://www.pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1907230> žiūrėta: 2025-05-20

International Air Transport Association. (2024). *Fact sheet: CORSIA*. <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet-corsia/>

International Civil Aviation Organization. (2019). *Chapter 6: Climate change mitigation – CORSIA*. In *ICAO environmental report 2019* (pp. 207–247). https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202019_Chapter%206.pdf

International Council on Clean Transportation. (2014). *ICCTupdate_EU-95gram_jan2014*.

International Council on Clean Transportation. (n.d.). India: Light-duty: Fuel Consumption. [TransportPolicy.net. https://www.transportpolicy.net/standard/india-light-duty-fuel-consumption/](https://www.transportpolicy.net/standard/india-light-duty-fuel-consumption/)

International Energy Agency (2020). World Energy Outlook 2020. www.iea.org/weo, žiūrėta: 2025-05-20.

International Energy Agency. (2021-12-13). Fuel economy in China. <https://www.iea.org/articles/fuel-economy-in-china>, žiūrėta: 2025-05-20.

International Energy Agency. (2022). Roadmap for Ethanol Blending in India 2020-25. <https://www.iea.org/policies/17007-roadmap-for-ethanol-blending-in-india-2020-25>, žiūrėta: 2025-05-20.

International Energy Agency. (n.d.-a). Cars and vans – Energy system. <https://www.iea.org/energy-system/transport/cars-and-vans>, žiūrėta: 2025-05-20.

International Energy Agency. (n.d.-b). Rail – Energy system. <https://www.iea.org/energy-system/transport/rail>, žiūrėta: 2025-05-20.

International Energy Agency. (n.d.-c). International shipping – Energy system. <https://www.iea.org/energy-system/transport/international-shipping>, žiūrėta: 2025-05-20.

International Energy Agency. (n.d.-d). Top Runner Programme. <https://www.iea.org/policies/1945-top-runner-programme>, žiūrėta: 2025-05-20.

International Energy Agency. (n.d.-e). *Fuel excise tax – Policies*. <https://www.iea.org/policies/16905-fuel-excise-tax>, žiūrėta: 2025-05-22.

International Maritime Organization. (2023). *2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships*. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx>, žiūrėta: 2025-05-22.

International Maritime Organization. (2025-04-11). *IMO approves net-zero regulations for global shipping*. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/IMO-approves-netzero-regulations.aspx>, žiūrėta: 2025-05-22.

International Maritime Organization. (n.d.). *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)*. [https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx); žiūrėta: 2025-05-25.

International Transport Forum. (2021). ITF transport outlook 2021. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/16826a30-en>, žiūrėta: 2025-05-20.

IPCC, SLOCAT Partnership. (2018). Transport and climate change global status report 2018. <http://slocat.net/tcc-gsr>

IPCC, SLOCAT Transport and Climate Change Global Status Report, 3rd edition. (2023).

Jain, A. K. (2010). Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognition Letters*, 31(8), 651–666. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2009.09.011>

Jiang, X., & Guan, D. (2016). Determinants of global CO2 emissions growth. *Applied Energy*, 184, 1132–1141. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.142>

Jones, Roland NBC News. (2007, February 2). Scientists: Global warming 'unequivocal'. <https://www.nbcnews.com/id/wbna17344368>, žiūrėta: 2025-05-20.

Katje, C. (2024, January 3). Tesla Model Y dominates Norway in 2023, country hits 82% electric vehicle market share: A look at the leaders, competition. Nasdaq. <https://www.nasdaq.com/articles/tesla-model-y-dominates-norway-in-2023-country-hits-82-electric-vehicle-market-share%3A-a>, žiūrėta: 2025-05-20.

Krausmann, F., Wiedenhofer, D., Lauk, C., Haas, W., Tanikawa, H., Fishman, T., Miatto, A., Schandl, H., & Haberl, H. (2017). Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(8), 1880–1885. <https://doi.org/10.1073/pnas.1613773114>

Laffineur, L., Spiegelenberg, F., Sidenvall Jegou, I., Smith, T., & Bonello, J.-M. (2023, December 1). *The implications of the IMO Revised GHG Strategy for shipping*. Global Maritime Forum. <https://globalmaritimeforum.org/insight/the-implications-of-the-imo-revised-ghg-strategy-for-shipping/>, žiūrėta: 2025-05-22.

Lamb, W. F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J. G. J., Wiedenhofer, D., Mattioli, G., Khourdajie, A. Al, House, J., Pachauri, S., Figueroa, M., Saheb, Y., Slade, R., Hubacek, K., Sun, L., Ribeiro, S. K., Khennas, S., De La Rue Du Can, S., ... Minx, J. (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. In *Environmental Research Letters* (Vol. 16, Issue 7). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abee4e>

Larsson, J., Elofsson, A., Sterner, T., & Åkerman, J. (2019). International and national climate policies for aviation: a review. In *Climate Policy* (Vol. 19, Issue 6, pp. 787–799). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1562871>

Lecca, T. (2025-03-05). *Sustainable aviation fuel boss wants more EU regulations*. POLITICO. <https://www.politico.eu/article/sustainable-aviation-fuel-boss-wants-more-eu-regulations-safs/>, žiūrėta: 2025-05-22.

Lind, A., Norn, P. A., Sørensen, T. J., Tynkkynen, O., Daviðsdóttir, B., Ásgeirsson, E. I., Stefánsson, H., Torvanger, A., Skjeflo, S. W., Möllersten, K., & Zetterberg, L. (2023). *Nordic stocktake – Pathways to climate neutrality* (TemaNord 2023:545). Nordic Council of Ministers. <https://doi.org/10.6027/temanord2023-545>

Linton, C., Grant-Muller, S., & Gale, W. F. (2015). Approaches and Techniques for Modelling CO2 Emissions from Road Transport. *Transport Reviews*, 35(4), 533–553. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1030004>

Liobikienė, G., & Butkus, M. (2019). Scale, composition, and technique effects through which the economic growth, foreign direct investment, urbanization, and trade affect greenhouse gas emissions. *Renewable Energy*, 132, 1310–1322. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.032>

Luzzati, T. (2015). Kuznets Curves. In *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences: Second Edition* (pp. 144–149). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.91046-8>

Miller, T. (2012). *China's Urban Billion: The Story Behind the Biggest Migration in Human History*. Zed Books.

Ministry of Transport and Mining. (2007). *National Transport Policy*. Government of Jamaica. <https://mtm.gov.jm/wp-content/uploads/2022/08/National-Transport-Policy-Jamaica.pdf>

Norwegian Ministry of Climate and Environment. (2019). *The Government's action plan for green shipping*. <https://www.regjeringen.no/contentassets/2ccd2f4e14d44bc88c93ac4effe78b2f/the-governments-action-plan-for-green-shipping.pdf>

Office of the Historian. (n.d.). Oil embargo, 1973–1974. U.S. Department of State. <https://history.state.gov/milestones/1969-1976/oil-embargo>, žiūrėta: 2025-05-20.

Office of the Prime Minister. (2019). *Te Kaveinga Strategy (2019–2024): Kō utu Mana Tūtara ō Te Ipukarea*. Government of the Cook Islands. <https://www.pmooffice.gov.ck/wp-content/uploads/2020/07/OPM-Strategy-2018-2024-Final-26.06.19.pdf>

Owen, B., Lee, D. S., & Lim, L. (2010). Flying into the future: Aviation emissions scenarios to 2050. In *Environmental Science and Technology* (Vol. 44, Issue 7, pp. 2255–2260). <https://doi.org/10.1021/es902530z>

Özbuğday, F. C., & Erbas, B. C. (2015). How effective are energy efficiency and renewable energy in curbing CO₂ emissions in the long run? A heterogeneous panel data analysis. *Energy*, 82, 734–745. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.084>

Planning Institute of Jamaica. (2009). *Vision 2030 Jamaica: National Development Plan*. Government of Jamaica. <https://www.vision2030.gov.jm/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/Vision-2030-Jamaica-Year-in-Review-2018-Final.pdf>

Pojani, D., & Stead, D. (2017). The urban transport crisis in emerging economies: An introduction. In *Urban Book Series* (pp. 1–10). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-43851-1_1

Poudenx, P. (2008). The effect of transportation policies on energy consumption and greenhouse gas emission from urban passenger transportation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(6), 901–909. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2008.01.013>

Rapson, D. S., & Muehlegger, E. (2023). NBER working paper Global Transportation Decarbonization.

Ritchie, H. (2023, December 28). Cars, planes, trains: where do CO₂ emissions from transport come from? Our World in Data. <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport>, žiūrėta: 2025-05-20.

Ritchie, H., & Roser, M. (2024, January). CO₂ emissions: How much CO₂ does the world emit? Which countries emit the most? Our World in Data. <https://ourworldindata.org/co2-emissions> Skaityta: 2025-05-21, originalas pirmą kartą publikuotas 2020 m.

Rivera, A., & Rutkowski, E. (2024) Preliminary global GHG emissions estimates for 2023 Billion metric tons of CO₂e.

Ross, M. L., Hazlett, C., & Mahdavi, P. (2017). Global progress and backsliding on gasoline taxes and subsidies. *Nature Energy*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/nenergy.2016.201>

Sadorsky, P. (2020). Energy related CO₂ emissions before and after the financial crisis. *Sustainability (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/su12093867>

Sandalow, D., Meidan, M., Andrews-Speed, P., Hove, A., Yue, S., & Downie, E. (2022). Guide to chinese climate policy, 2022.

Santos, G. (2017). Road transport and CO₂ emissions: What are the challenges? *Transport Policy*, 59, 71–74. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.06.007>

Scott, O., & Zermoglio, F. (2018). Climate Vulnerability Assessment of Jamaica's Transport Sector. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12889.21609>

Seely, A. (2019, February 14). *Air passenger duty: Introduction* (Research Briefing No. SN00413). UK Parliament. <https://commonslibrary.parliament.uk/research-briefings/sn00413/>, žiūrėta: 2025-05-22.

Selin, H. (2022). CO₂ emissions from international shipping: How a global national allocation system addresses the problem. In *TR News: September–October 2022: Decarbonizing Transportation* (pp. 28–30). National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. <https://doi.org/10.17226/28218>

Shapiro, J. S. (2016). Trade costs, CO₂, and the environment. *American Economic Journal: Economic Policy*, 8(4), 220–254. <https://doi.org/10.1257/pol.20150168>

Shepardson, D. (2021, January 6). U.S. vehicle fleet fuel efficiency fell in 2019 to 24.9 mpg -- EPA. Reuters. <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/us-vehicle-fleet-fuel-efficiency-fell-2019-249-mpg-epa-2021-01-06/> žiūrėta: 2025-05-10.

Silva, J. (2025, February 25). Electric mobility in Portugal: Where are we and where are we going? CATÓLICA-LISBON. <https://clsbe.lisboa.ucp.pt/news/electric-mobility-portugal-where-are-we-and-where-are-we-going/amp>, žiūrėta: 2025-05-20.

Sloan, B., Doherty, O., Locatelli, L., Tyrer, D., Ruiz-Gauna, I., & Greno, F. (2024, December 4). *International evidence on fiscal levers to deliver reductions in greenhouse gas emissions*. ClimateXChange. <https://www.climateexchange.org.uk/publications/international-evidence-on-fiscal-levers-to-deliver-reductions-in-greenhouse-gas-emissions/>; žiūrėta: 2025-05-22.

Solaymani, S. (2019). CO2 emissions patterns in 7 top carbon emitter economies: The case of transport sector. *Energy*, 168, 989–1001. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.145>

Staples, M. D., Malina, R., Suresh, P., Hileman, J. I., & Barrett, S. R. H. (2018). Aviation CO2 emissions reductions from the use of alternative jet fuels. *Energy Policy*, 114, 342–354. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.12.007>

Steckel, J. C., Edenhofer, O., & Jakob, M. (2015). Drivers for the renaissance of coal. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(29), E3775–E3781. <https://doi.org/10.1073/pnas.1422722112>.

The Norwegian Tax Administration. (n.d.). Road tax on fuel. <https://www.skatteetaten.no/en/business-and-organisation/vat-and-duties/excise-duties/about-the-excise-duties/road-tax-on-fuel>, žiūrėta: 2025-05-20.

Transport Canada & Railway Association of Canada. (2023). *2023–2030 Memorandum of Understanding between Transport Canada and the Railway Association of Canada on Reducing Locomotive Emissions*. <https://tc.canada.ca/en/corporate-services/policies/2023-2030-memorandum-understanding-between-transport-canada-railway-association-canada-reducing-locomotive-emissions>, žiūrėta: 2025-05-22.

Transport for London. (n.d.). Ultra Low Emission Zone. Transport for London. <https://tfl.gov.uk/modes/driving/ultra-low-emission-zone>, žiūrėta: 2025-05-22

U.S. Department of Energy. (n.d.) -a. Gasoline vehicles: Learn more about the label. FuelEconomy.gov. <https://www.fueleconomy.gov/feg/label/learn-more-gasoline-label.shtml>, žiūrėta: 2025-05-20.

U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.) -a. Carbon pollution from transportation. <https://www.epa.gov/transportation-air-pollution-and-climate-change/carbon-pollution-transportation>, žiūrėta: 2025-05-15.

U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.) -b. Overview of the Renewable Fuel Standard Program. <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/overview-renewable-fuel-standard-program>, žiūrėta: 2025-05-16

U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.) -c. *MARPOL Annex VI and the Act to Prevent Pollution from Ships (APPS)*. <https://www.epa.gov/enforcement/marpol-annex-vi-and-act-prevent-pollution-ships-apps>; žiūrėta: 2025-05-22.

UK Parliament. (2019, February 27). Written question 226656: Carbon emissions data since 1990. TheyWorkForYou. <https://www.theyworkforyou.com/wrans/?id=2019-02-27.226656.h>, žiūrėta: 2025-05-20.

United Nations, FACT SHEET CLIMATE CHANGE. (n.d.), https://unfccc.int/files/press/backgrounders/application/pdf/factsheet_adaptation.pdf

Walter, A., & Dolzan, P. (2014). Country Report Brazil IEA Bioenergy Task 40.

What is the EU ETS? (https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/what-eu-ets_en). Žiūrėta: 2023-12-16.

Wiedenhofer, D., Virág, D., Kalt, G., Plank, B., Streeck, J., Pichler, M., Mayer, A., Krausmann, F., Brockway, P., Schaffartzik, A., Fishman, T., Hausknost, D., Leon-Gruchalski, B., Sousa, T., Creutzig, F., & Haberl, H. (2020). A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use

and GHG emissions, part I: Bibliometric and conceptual mapping. In *Environmental Research Letters* (Vol. 15, Issue 6). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8429>

World Bank Group. (2021). *Transport Sector Policy Note Mauritania*.

World Meteorological Organization. (2025). *State of the global climate 2024* (WMO-No. 1368).

Zheng, J., Yu, R., Liu, Y., Zou, Y., & Zhao, D. (2019). The technological progress of the fuel consumption rate for passenger vehicles in China: 2009-2016. *Energies*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/en12122384>

Zhou, B., He, L., Zhang, S., Wang, R., Zhang, L., Li, M., Liu, Y., Zhang, S., Wu, Y., & Hao, J. (2023). Variability of fuel consumption and CO₂ emissions of a gasoline passenger car under multiple in-laboratory and on-road testing conditions. *Journal of Environmental Sciences*, 125, 266–276.

Zhou, B., He, L., Zhang, S., Wang, R., Zhang, L., Li, M., Liu, Y., Zhang, S., Wu, Y., & Hao, J. (2023). Variability of fuel consumption and CO₂ emissions of a gasoline passenger car under multiple in-laboratory and on-road testing conditions. *Journal of Environmental Sciences*, 125, 266–276. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.08.024>

Zhou, D., Huang, F., Wang, Q., & Liu, X. (2021). The role of structure change in driving CO₂ emissions from China's waterway transport sector. *Resources, Conservation and Recycling*, 171. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105627>

SANTRAUKA

VILNIAUS UNIVERSITETAS CHEMIJOS IR GEOMOKSLŲ FAKULTETAS

MARIJUS ZABIELA

Globalios ir regioninės šiltnamio dujų emisijų tendencijos transporte

Darbe analizuojama globalios ir regioninės ŠESD emisijų tendencijos transporto sektoriuje. Naudojant SLOCAT TraKB duomenų bazės informaciją atrinktos 182 valstybės 1990-2019 metų laikotarpiu, kurios klasterinės analizės pagalba (naudojant k vidurkių metodą) buvo suskirstytos į klasterius pagal transporto emisijas, transporto emisijas vienam gyventojui ir transporto emisijas pagal BVP. Visais trimis atvejais valstybės buvo suskirstytos į du pagrindinius klasterius bei, siekiant atlikti išsamesnę analizę, į septynis arba aštuonis klasterius.

Atlikus standartizuotų transporto emisijų analizę 1990-2019 metų laikotarpiu identifikuoti du pagrindiniai klasteriai su skirtingais raidos keliais. Pirmojo klasterio reprezentacinės šalies Švedijos emisijos transporto sektoriuje nagrinėjamoju laikotarpiu krito, tuo tarpu Kinijos reprezentuojamo antrojo klasterio šalys emisijas didino tolygiai. Pirmojo klasterio šalys buvo ekonomiškai tvirtos ir išsivysčiusios, po 2009 metų finansinės krizės diegiamos technologinės naujovės padėjo joms mažinti ŠESD transporto emisijas. Antrojo klasterio šalys siekdamos geresnio ekonominio išsivystymo ir stabilumo emisijas didino, nesilaikė ar neketino riboti emisijų transporto sektoriuje. Išanalizavus transporto sektoriaus emisijas vienam gyventojui nustatytas panašus trendas, kaip analizuojant transporto emisijas. Nagrinėjamos valstybės pasiskirstė į dvejus pagrindinius klasterius reprezentuojamus Švedijos ir Kinijos. Abejose valstybėse augo gyventojų skaičius, tačiau Švedijos technologinė adaptacija ir transporto metodų elektrifikacija sugebėjo nustelbti kartu augančias emisijas. Kinijos augančioje ekonomikoje emisijos vis dar kilo stipriau, nei augo gyventojų skaičius. Nagrinėjant standartizuotas transporto emisijas pagal BVP nustatyta, jog išsivysčiusių šalių BVP augo stipriau, nei augo jų transporto sektoriaus emisijos. Taip pat paminėtina, jog daugelio išsivysčiusių šalių emisijos nagrinėjamu laikotarpiu ir taip mažėjo, tad transporto emisijos vienam BVP vienetui stipriai mažėjo. Besivystančiose valstybėse transporto sektoriaus emisijos augo labiau nei augo jų BVP, o stipriausias emisijų augimas vyko nuo 2005 metų. Remiantis aplinkosaugine Kuznets kreive, tikėtina, jog netolimoje ateityje bus stebimas ryškiau išreikštas transporto emisijų mažėjimas pagal BVP, besivystančioms šalims pasiekus tinkamus ekonominius rodiklius.

Siekdamos sumažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro, stiprindamos energetinę nepriklausomybę, mažindamos oro taršą ir reaguodamos į klimato kaitą šalys ėmėsi politinių priemonių riboti ŠESD emisijas, elektrifikuoti transportą ir keisti kuro sudėtį. Tokie politiniai sprendimai kurie pradėti taikyti dar XX a. antroje pusėje, pradėjo duoti tinkamų rezultatų, tad po 2015 metų Paryžiaus susitarimo valstybės ar jų sąjungos nusprendė taikyti griežtesnius apribojimus. Politinė valia padėjo tvirtus pamatus elektrifikacijai, kuro diversifikacijai ir technologiniams sprendimams efektyvinti degalų suvartojimą vidaus degimo varikliuose. Kartu tai jau atspindėjo šalių transporto emisijų kiekyje, tačiau esminiam lūžiui dar reikia daugiau laiko.

SUMMARY

VILNIUS UNIVERSITY FACULTY OF CHEMISTRY AND GEOSCIENCES

MARIJUS ZABIELA

Greenhouse gas emissions in transport sector: global and regional tendencies

This master's thesis analyses global and regional trends in GHG emissions in transport sector. Using information from the SLOCAT TraKb database, 182 countries over the period 1990-2019 were selected, and cluster analysis was performed (using the k-means method). All countries were divided into clusters based on transport emissions, transport emissions per capita, and transport emissions by GDP. In all three cases, countries were divided into two main clusters and, for a more detailed analysis, into seven or eight clusters.

The analysis of standardized transport emissions for 1990-2019 identified two main clusters with different development paths. Sweden, the representative country of the first cluster, has seen its emissions in the transport sector fall over the period under consideration, while the countries of the second cluster, represented by China, have seen a steady increase in emissions. The countries in the first cluster were economically strong and developed, and technological innovation following the financial crisis of 2009 helped them to reduce their GHG emissions systematically during the period. In the second cluster, countries, for the purpose of improving their economies, have increased emissions and have not maintained or intend to limit emissions in the transport sector.

The per capita emissions from the transport sector show a similar trend to the analysis of transport emissions. The countries analysed are divided into two main clusters represented by Sweden and China. Both countries have experienced population growth, but Sweden's technological adaptation and the electrification of methods of transportation have managed to overshadow the concomitant increase in emissions. In China's growing economy, emissions have risen more strongly than population growth.

When standardised transport emissions are analysed by GDP, GDP growth in developed countries has been stronger than their transport sector emissions growth. It should be noted that many developed countries were already experiencing declining emissions during the period of examination, therefore transport emissions per unit of GDP fell significantly. On the other hand, in developing countries, transport emissions have grown more than their GDP growth, with the strongest growth in emissions since 2005. Based on the Environmental Kuznets Curve, a more pronounced decline in transport emissions as a share of GDP will likely be observed in the near future as developing countries achieve adequate economic performance.

Countries have taken policy measures to limit GHG emissions, electrify transport, and change the composition of fuels to reduce dependence on fossil fuels, strengthen energy independence, reduce air pollution, and respond to climate change. These policies, which started in the second half of the 20th century, have begun to work, and since the 2015 Paris Agreement, countries or their alliances have decided to impose stricter limits. Political will has laid a solid foundation for electrification, fuel diversification, and technological solutions to improve fuel efficiency in internal combustion engines. At the same time, this has already been reflected in countries' transport emissions, but more time is still needed for a fundamental breakthrough.