



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Klimato kaitos mažinimo priemonių energetikoje kaštų vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Miglė Janikūnaitė

Projekto autorė

Doc. Inga Konstantinavičiūtė

Vadovė

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Klimato kaitos mažinimo priemonių energetikoje kaštų vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Energijos technologijos ir ekonomika (6211EX073)

Miglė Janikūnaitė

Projekto autorė

Doc. Inga Konstantinavičiūtė

Vadovė

Lekt. Aistija Vaišnorienė

Recenzentė

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Miglė Janikūnaitė

Klimato kaitos mažinimo priemonių energetikoje kaštų vertinimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Miglė Janikūnaitė

Patvirtinta elektroniniu būdu

Janikūnaitė, Miglė. Klimato kaitos mažinimo priemonių energetikoje kaštų vertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Inga Konstantinavičiūtė; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): energijos inžinerija, inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: klimato kaita, šiltnamio efektą sukeliančios dujos, išmetamųjų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio mažinimo priemonės, ribinių mažinimo kaštų kreivė.

Kaunas, 2023. 54 p.

Santrauka

Šiame darbe apžvelgta energetikos sektoriaus įtaka klimato kaitai. Išanalizavus klimato kaitos mažinimo priemones ir jų klasifikavimo būdus pasirinktas klasifikavimas, priemones išskirstant į tris sritis: atsinaujinančių energijos išteklių kiekio didinimas, efektyvumo didinimas energetikos sektoriuje ir elektra varomų transporto priemonių integravimas. Įvertinus išmetamųjų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio mažinimo kaštų vertinimo metodikas, tyrimui atlikti pasirinktas ribinių kaštų mažinimo kreivės metodas. Apskaičiuoti pasirinktų klimato kaitos mažinimo priemonių ribiniai mažinimo kaštai ir pateiktas jų vertinimas. Pagal gautus rezultatus sudaryta ribinių mažinimo kaštų kreivė ir atlikta priemonių jautrumo analizė.

Janikūnaitė, Miglė. Assessment of Climate Change Mitigation Measures in Energy Sector. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. dr. Inga Konstantinavičiūtė; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): power engineering, engineering science.

Keywords: climate change, greenhouse gas, greenhouse gas emission reduction measures, marginal abatement cost curve.

Kaunas, 2023. 54 p.

Summary

This paper reviews the impact of the energy sector on climate change. After analysing the climate change mitigation measures and their classification methods, the classification was chosen by dividing the measures into three areas: increasing the amount of renewable energy resources, increasing efficiency in the energy sector and integrating electric vehicles. After evaluating the cost estimation methodologies for reducing greenhouse gas emissions, the marginal abatement cost curve method was chosen for this research. The marginal abatement costs of the selected climate change mitigation measures are calculated and their evaluation is presented. According to the obtained results, the marginal abatement cost curve was drawn up and a sensitivity analysis of the measures was carried out.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Santrumpų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Energetikos sektoriaus įtaka klimato kaitai.....	12
2. Klimato kaitos mažinimo priemonės	16
2.1 Teisinė bazė	17
2.2 Ekonominės priemonės	18
2.2.1. Ekonominės priemonės elektromobilių integravimui	18
2.2.2. Ekonominės priemonės atsinaujinantiems energijos ištekliams.....	19
2.3 Fiskalinės priemonės	21
2.4 Technologinės priemonės	22
2.5 Energetikos sektoriaus klimato kaitos mažinimo priemonių klasifikavimas	25
3. Klimato kaitos mažinimo priemonių kaštų vertinimo metodika	26
3.1. Taršos mažinimo kaštų įvertinimo metodai	27
3.1.1. Modeliai iš apačios į viršų	27
3.1.2. Modeliai iš viršaus į apačią	28
3.1.3. Hibridinis modelis	28
3.1.4. Metodų palyginimas	29
3.2. Ribinių kaštų mažinimo kreivės modelis	29
3.3. Ribinių kaštų mažinimo kreivės sudarymo įvesties duomenys.....	30
3.3.1. Projekto gyvavimo trukmė	30
3.3.2. Bendri projekto kaštai.....	30
3.3.3. Numatomi projekto sutaupymai	31
3.3.4. Sutaupyta ŠESD kiekis per projekto gyvavimo laikotarpį	31
3.3.5. Projekto grynoji dabartinė vertė (NPV)	31
3.3.6. Ribiniai mažinimo kaštai.....	32
3.4. Metodikos privalumai ir trūkumai.....	32
4. Klimato kaitos mažinimo priemonių kaštų vertinimas.....	33
4.1. Atsinaujinančių energijos išteklių kiekio didinimas.....	33
4.2. Efektyvumo didinimas energetikos sektoriuje	36
4.3. Elektra varomų transporto priemonių integravimas	38
4.4. Visų priemonių palyginimas.....	41
4.5. Jautrumo analizė	43
Išvados	48
Literatūros sąrašas	49

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Energijos poreikių prognozės atsižvelgiant į esamą energijos vartojimo efektyvumo politiką, priemones ir programas [21]	24
2 lentelė. Pagrindiniai metodų „iš apačios į viršų“ ir „iš viršaus į apačią“ skirtumai [35].....	29
3 lentelė. Atsinaujinančių išteklių energijos kiekio didinimo priemonių duomenys ir rezultatai	34
4 lentelė. Efektyvumo didinimo energetikos sektoriuje priemonių duomenys ir rezultatai	36
5 lentelė. Elektra varomų transporto priemonių integravimo priemonių duomenys ir rezultatai.....	39
6 lentelė. Atsinaujinančių išteklių energijos kiekio didinimo priemonių ekonominiai rodikliai prie skirtingų diskonto normos verčių	43
7 lentelė. Efektyvumo didinimo energetikos sektoriuje priemonių ekonominiai rodikliai prie skirtingų diskonto normos verčių	45
8 lentelė. Elektra varomų transporto priemonių integravimo priemonių ekonominiai rodikliai prie skirtingų diskonto normos verčių	46

Paveikslų sąrašas

1 pav. Klimato kaitos mažinimo priemonių klasifikavimas	17
2 pav. Ekonominės priemonės.....	18
3 pav. Fiskalinės priemonės.....	21
4 pav. Technologinės priemonės	22
5 pav. Nagrinėjamų klimato kaitos mažinimo priemonių klasifikacija energetikos sektoriuje	25
6 pav. MACC modeliavimo metodų klasifikacija	26
7 pav. Ribinių kaštų mažinimo kreivės pavyzdys [42].....	30
8 pav. Atsinaujinančių išteklių energijos kiekio didinimo priemonių ribiniai mažinimo kaštai	35
9 pav. Efektyvumo didinimo energetikos sektoriuje priemonių ribiniai mažinimo kaštai.....	37
10 pav. Elektra varomų transporto priemonių integravimo priemonių ribiniai mažinimo kaštai	40
11 pav. Klimato kaitos mažinimo priemonių energetikoje ribiniai mažinimo kaštai.....	41
12 pav. Ribinių mažinimo kaštų priklausomybė nuo diskonto normos (Atsinaujinančių išteklių energijos kiekio didinimas)	44
13 pav. Ribinių mažinimo kaštų priklausomybė nuo diskonto normos (Efektyvumo didinimas energetikos sektoriuje).....	45
14 pav. Ribinių mažinimo kaštų priklausomybė nuo diskonto normos (Elektra varomų transporto priemonių integravimas).....	47

Santrumpų sąrašas

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai

ATL – apyvartinis taršos leidimas

BRICS – penkios pirmaujančios kylančios ekonomikos šalys: Brazilija, Rusija, Indija, Kinija ir Pietų Afrika

BVP – bendrasis vidaus produktas

CGE – skaičiuojamoji bendroji pusiausvyra

CO₂ – anglies dioksidas

EAA – Europos aplinkos agentūra

ES – Europos Sąjunga

ES ATL – Europos Sąjungos apyvartiniai taršos leidimai

EV – elektrinė transporto priemonė

G7 – tarptautinė grupė, susidedanti iš septynių pasaulyje pirmaujančių išsivysčiusių šalių: Kanados, Prancūzijos, Vokietijos, Italijos, Japonijos, Jungtinės Karalystės, JAV

I/O – įvestis/išvestis

JAV – Jungtinės Amerikos Valstijos

JTBKKK – Jungtinių Tautų Bendroji klimato kaitos konvencija

MTEP – moksliniai tyrimai ir eksperimentinė plėtra

NT – nekilnojamasis turtas

MAC – ribiniai taršos mažinimo kaštai

MACC – ribinių taršos mažinimo kaštų kreivė

PVM – pridėtinės vertės mokestis

ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos

t CO₂ ekv. – tona anglies dvideginio ekvivalento

TKKK – Tarpvyriausybė klimato kaitos komisija

Įvadas

Temos aktualumas. Per pastaruosius 150 metų vidutinė pasaulinė oro temperatūra pakilo apie 1 °C, o 2016 ir 2020 m. buvo stebimi karščio rekordai. Pasaulio sveikatos organizacija skelbia, kad dėl klimato kaitos kiekvienais metais miršta apie 1700 tūkst. žmonių. 2019 m. Europoje fiksuota karščio banga nusinešė 2500 žmonių gyvybių. Remiantis pasaulio meteorologijos organizacijos duomenimis 2021 m. vidutinė temperatūra buvo 1,11 °C didesnė lyginant su priešindustriniu laikotarpiu, o jų prognozės rodo, kad nesiimant veiksmų 2024 m. temperatūra pasieks 1,5 °C daugiau nei 1850–1900 metais fiksuotos temperatūros [1].

Klimato šilumą paprasčiausiai galima paaiškinti kaip didėjantį saulės šilumos absorbavimą. Įprastai apie 30 % saulės radiacijos Žemės nepasiekia – ją iš karto atspindi debesys, atmosfera ir kai kurie paviršiai, o likę 70 % šildo žemynus ir vandenynus taip užtikrindami tinkamas gyvybei sąlygas. [2] Tačiau problema kyla iš to, kad perteklinė šiluma šiuo metu nebegali būti išspinduliuojama atgal į kosmosą dėl ją reabsorbuojančių anglies dioksido, metano, ozono ir kitų dujų, dažnai vadinamų tiesiog šiltnamio efektą sukeliančiomis dujomis (ŠESD).

Būtent energetikos sektorius yra vienas didžiausių ŠESD šaltinių. Europos Sąjungos šalyse jis yra atsakingas net už 78 % visų ŠESD [3]. To priežastis yra didelis kasdienis energijos vartojimas, pagaminamas deginant iškastinį kurą. Siekiant sumažinti klimato kaitą yra būtina įvesti priemones, kurios skatintų suvartojamos energijos mažinimą bei iškastinio kuro keitimą atsinaujinančiais energijos ištekliais (AEI).

Pagrindinė priežastis kodėl šiuo metu yra svarbu analizuoti klimato kaitos priežastis, tai Europos Sąjungos (ES) ir visų jos valstybių narių pasirašytas ir ratifikuotas Paryžiaus susitarimas. Europos Sąjungos šalys įsipareigojo, kad bendrai siekas jog iki 2050 m. ES taptų pirmąją neutralaus poveikio klimatui ekonomika [4]. Šio tikslo siekimui kiekviena valstybė turi pateikti išsamius nacionalinius kovos su klimato kaita veiksmų planus ir juose tiksliai apibrėžti priemones, kurių pagalba bus siekiama sumažinti išmetamų teršalų kiekį. Lietuva šį veiksmų planą atnaujino 2021 m. pateikdama esamas ir planuojamas priemones bei numatomus rezultatus. Šiuo tyrimu bus siekiama išanalizuoti ir įvertinti dalį išsikeltų Lietuvos klimato kaitos mažinimo priemonių kaštus.

Šio darbo pirmajame skyriuje išanalizuota energetikos sektoriaus įtaka klimato kaitai ir išmetamųjų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio pokyčiui. Antrajame skyriuje išanalizuotos klimato kaitos mažinimo priemonės ir pateikiamas jų klasifikavimas. Trečiajame skyriuje sudaryta klimato kaitos mažinimo priemonių kaštų vertinimo metodika remiantis ribiniais CO₂ mažinimo kaštais. Paskutiniame ketvirtajame skyriuje apskaičiuojami pasirinktų priemonių, susijusių su AEI kiekio didinimu, elektra varomų automobilių integravimu bei efektyvumo didinimu energetikos sektoriuje, ribiniai mažinimo kaštai. Remiantis gautais rezultatai įvertinamas priemonių ekonomiškumas vienam sumažinto CO₂ vienetai.

Darbo tikslas – atlikti klimato kaitos mažinimo priemonių kaštų energetikoje vertinimą.

Uždaviniai:

1. išanalizuoti energetikos įtaką klimato kaitai ir tai sąlygojančius veiksnius;
2. išanalizuoti ir suklasifikuoti klimato kaitos mažinimo priemones energetikoje;
3. sudaryti klimato kaitos mažinimo priemonių kaštų vertinimo metodiką;
4. atlikti atrinktų klimato kaitos mažinimo priemonių ribinių mažinimo kaštų vertinimą.

Tyrimo metodai. Atliktame tyrime analizuojamos lietuvių ir užsienio autorių mokslinės literatūros šaltiniai. Atliekama klimato kaitos mažinimo priemonių klasifikavimo analizė ir pasirenkamas tinkamiausias klasifikavimo būdas. Analizuojami priemonių kaštų vertinimo metodai ir atrinktas šiam tyrimui tinkamiausias metodas. Remiantis pasirinktu kaštų vertinimo metodu apskaičiuojami pasirinktų priemonių ribiniai mažinimo kaštai. Atliekama gautų rezultatų analizė.

Magistro darbo struktūra. Magistro darbas susideda iš santraukos, turinio, lentelių, paveikslų, santrumpų ir literatūros sąrašų ir pagrindinių 6 dalių: įvado, 4 dėstymo skyrių ir išvadų. Darbą sudaro: 54 puslapiai, 14 paveikslų ir 8 lentelės. Literatūros sąraše yra 64 šaltiniai.

1. Energetikos sektoriaus įtaka klimato kaitai

Tarpvyriausybė klimato kaitos komisija (toliau –TKKK, angl. *IPCC*) savo vertinimo ataskaitoje nurodė, kad šiuo metu didžiausią įtaką klimato pokyčiams daro žmonių sukurtos antropogeninės kilmės medžiagos [5]. Žmonių ūkinė veikla didina atmosferos taršą: auganti ŠESD koncentracija stiprina šiltnamio efektą ir lemia vidutinės pasaulio oro temperatūros kilimą. Pagrindinis ŠESD šaltinis – iškastinio kuro deginimas, pramoniniai ir žemės ūkio produkcijos gamybos procesai, transportas, atliekos ir kt.

ŠESD išmetimą skirtinguose ekonomikos sektoriuose palygino Lambas ir kt. [6] savo tyrime lygindami energetikos, pramonės, pastatų, transporto ir žemės ūkio sektorius. Įvertinus 1990–2018 metais surinktus duomenis bei atlikus ateities analizę buvo nustatyta, kad visuose sektoriuose auga produktų ir paslaugų, kuriais grindžiamas pasaulinis išmetamųjų teršalų kiekis, paklausa. Iš dalies taip yra dėl pasaulio ekonomikos plėtros, kai įdiegiama daugiau infrastruktūros, transporto priemonių, pastatų, tiekimo grandinių ir kitų medžiagų atsargų, kurių gamybai ir naudojimui reikia energijos. Paminėta kad, vyraujantys vartojimo modeliai taip pat didina energijos naudojimą ir išmetamųjų teršalų kiekį. Gyvenamųjų pastatų aukštis padidėjo, juose gyvena mažiau gyventojų, šildomi ir vėsinami iki aukštesnių komforto standartų. Motorinių transporto priemonių skaičius taip pat didėjo, nuvažiuojama su jomis didesni atstumai. Didėjant energijos vartojimo efektyvumui ir perėjus prie mažiau anglies dioksido į aplinką išskiriančių paslaugų skirtinguose sektoriuose gaunama naudą panaikino išaugusi paklausa. Viena išimtis yra Europos energetikos sistemų tarša, kuri dėl stabilios paklausos, energijos vartojimo efektyvumo gerinimo, kuro keitimo ir atsinaujinančių energijos šaltinių skaičiaus padidėjimo išmetamųjų teršalų kiekį visiškai sumažino.

„Švaresnės gamybos“ žurnale (angl. *Cleaner Production*) publikuotame straipsnyje [7] buvo siekiama palyginti G7 (tarptautinė grupė, susidedanti iš septynių pasaulyje pirmaujančių išsivysčiusių šalių: Kanados, Prancūzijos, Vokietijos, Italijos, Japonijos, Jungtinės Karalystės, JAV) ir BRICS (penkios pirmaujančios kylančios ekonomikos šalys: Brazilija, Rusija, Indija, Kinija ir Pietų Afrika) šalių šiltnamio efektą sukeliančių dujų profilius. Šios valstybės yra atsakingos už daugiau nei 60 % viso pasaulio išmetamųjų ŠESD kiekį. Atlikus tyrimą buvo pastebėta, kad beveik visos šalys yra ratifikavusios Paryžiaus susitarimą. BRICS šalių įsipareigojimai sumažinti išmetamųjų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį 2020 ir 2030 yra susiję su ŠESD emisijų padidėjimu nuo 1990 m. Atlikus palyginimus buvo nustatyta, kad ŠESD emisija vienam gyventojui sumažėjo G7 šalyse ir padidėjo BRICS šalyse. Energijos intensyvumas, ekonomikos augimas ir anglies dioksido faktorius yra pagrindiniai šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo vienam gyventojui augimo veiksniai abiejose šalių grupėse. Energijos intensyvumas buvo pagrindinis veiksnys, lėmęs ŠESD emisiją vienam gyventojui abiejose grupėse, tačiau ekonomikos augimas viršijo energijos intensyvumo indėlį BRICS šalyse ir ŠESD emisija tiriamuoju laikotarpiu padidėjo. Anot tyrimo autorių dėl didelio ŠESD kiekio, mažų šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimo įsipareigojimų ir nepakankamo klimato kaitos švelninimo vykdymo abiejose grupėse kyla pavojus, kad Paryžiaus įsipareigojimų įgyvendinimas ir klimato atšilimo ne daugiau kaip 1,5 °C tikslas nebus pasiektas.

Energetikos sektoriaus dekarbonizacijai jau keletą metų yra skiriamas didžiausias dėmesys vykdant įvairius tyrimus. Yra įvertinta, kad akivaizdžiausias būdas pasiekti dekarbonizacijos tikslus, tai atsinaujinančių energijos išteklių (AEI) naudojimas. Todėl dauguma šalių deda visas pastangas nuolat didinti AEI dalį savo elektros energijos gamyboje. Kai kurios šalys, tokios kaip Norvegija (99 %), Naujoji Zelandija (80,9 %), Brazilija (78,4 %) [8] jau pasiekė didelę atsinaujinančios energijos dalį

daugiausia naudodamos hidroenergią. 2019 m. Kinija ir JAV turėjo didžiausią vėjo energijos ir saulės fotovoltinės energijos pajėgumą pasaulyje [9].

Anot E. Papadis ir G. Tsatsaronis atlikto tyrimo [10], energetikos sektoriaus išmetamo anglies dioksido kiekio mažinimas susijęs su keliais iššūkiais ir nereikėtų nuvertinti antrinių energijos šaltinių ir galutinio vartojimo energijos sektorių tarpusavio priklausomybės. Analizuojant praėjusio šimtmečio energetines krizes buvo pastebėta, kad kylant energijos kainoms energijos suvartojimas vienam gyventojui mažėjo, bet kartu didėjo energetinių sistemų efektyvumas ir mokslininkų kūrybiškumas. Visi šie aspektai yra būtini energetikos sektoriaus dekarbonizavimui, todėl autoriai padarė išvadą, kad energija ateityje turi brangti, nesukeldama politinio nestabilumo pasaulyje.

D. Liu, X. Guo ir B. Xiao publikuotame straipsnyje [11] buvo siekiama nustatyti kas sukelia pasaulinį ŠESD išmetimą. Darbe buvo panaudoti 40 valstybių duomenys, kurių analizė parodė, kad investicijų poveikis besivystančiose šalyse yra didesnis nei išsivysčiusiose šalyse. Todėl grynasis eksporto poveikis ekonomiškai stipresnėse šalyse yra didesnis nei vis dar augančių šalių, tai reiškia, kad teršalai keliauja į besivystančias šalis. Dvi pagrindinės besivystančios šalys, Indija ir Kinija, pasižymi dideliu gamybos augimo tempu, kuris lemia kartu didėjantį anglies emisijos kiekį. Tačiau atkreipiamas dėmesys, kad kai kurių šalių CO₂ emisijų augimo tempai yra neigiami ir visos jos yra išsivysčiusios Europos šalys.

Atlikus tyrimą autoriai padarė išvadas, kad nors spartus pasaulio ekonomikos augimas yra pagrindinė varomoji jėga, didinanti išmetamo CO₂ kiekį, energijos vartojimo efektyvumo didinimas ir technologijų naujovės gali labai sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą. Energijos intensyvumo mažėjimas vis dar yra didžiausias išmetamųjų teršalų mažinimo veiksnys ateityje. Viso pasaulio vyriausybės gali greitai ir santykinai pigiai sumažinti ŠESD išmetimą gerindamos energijos vartojimo efektyvumą, vietoj ambicingesnių, bet brangių technologinių išmetamųjų teršalų mažinimo metodų.

Vyriausybės gali atlikti gyvybiškai svarbų vaidmenį taupant energiją ir mažinant emisijas. Išsivysčiusiose šalyse ekonomikos augimą lemia vartojimas, o ne investicijos. Besivystančiose šalyse investicijų skatinamos ŠESD emisijos vis dar sudaro didesnę dalį. Viso pasaulio vyriausybės turėtų paspartinti pramonės struktūros pertvarką ir atnaujinimą. Tiksliau, vyriausybės turėtų skatinti energiją tausojančių ir aplinką tausojančių technologijų plėtrą, kad būtų skatinamos naujos augimo zonos ir ryžtingai panaikinti atsilikusius gamybos įrenginius šiame procese, siekiant palengvinti išteklių ir aplinkos apribojimus.

Viso pasaulio vyriausybės galėtų įgyvendinti administracines energijos taupymo ir emisijų mažinimo priemones. Anglies dioksido mokesčių politika ir apyvartinių taršos leidimų prekybos sistema yra dvi pagrindinės išmetamųjų teršalų mažinimo politikos rūšys, pagrįstos rinkos mechanizmais, kurios gali padėti pasiekti išmetamųjų teršalų mažinimo tikslus, įtraukiant išorines CO₂ emisijų sąnaudas.

Šiuo metu kyla daug diskusijų dėl energetikos sistemos perėjimo nuo iškastinio kuro prie AEI. Būtent Energijos strategijos apžvalgos žurnale (angl. *Energy Strategy Reviews*) publikuotame straipsnyje [12] išreiškiama kitokia nuomonė apie Europos energetikos sistemos perėjimą. Didelis pajėgumų padidėjimas per pastaruosius kelerius metus kartu su kapitalo ir kuro sąnaudų pokyčiais, energijos vartojimo efektyvumo padidėjimu ir skirtingu įprastinės energijos vaidmeniu lėmė tai, kad energijos sistemoje jau yra perteklinių pajėgumų. Tyrimo nagrinėtų scenarijų rezultatai rodo, kad, jei į klimato tikslus bus žiūrima rimtai, ateinančiais metais Europoje gali likti didžiulis kiekis nepanaudotų ir dėl

to įstrigusių pajėgumų (apie 85 GW galios, kuri atitinka maždaug 50 milijardų eurų investicijų nuostolius). Mažėjantis tradicinės energijos gamybos konkurencingumas kelia sunkių iššūkių investuotojams, savininkams ir politikos formuotojams, nes iškyla tokių problemų kaip perteklinis turtas ir darbo vietų saugumas. Be to, priverstinis priešlaikinis gamybos įrenginių uždarymas dažnai sukelia teisinių ginčų dėl žalos, kurią patiria gamintojai. Tačiau papildomi socialinių sąnaudų analizės rezultatai rodo, kad žala aplinkai ir sveikatai daro didelę įtaką iškastinį kurą naudojančių elektrinių sąnaudų konkurencingumui.

Taip pat A. Bluščiaus ir A. Manovskos publikuotame straipsnyje [13] atkreipiamas dėmesys į energetikos transformacijos problemos sudėtingumą Europos Sąjungos šalyse. Tyrimai parodė, kad energijos išteklių naudojimo struktūra valstybėse narėse labai skiriasi. Energetikos struktūros pertvarkos procesas yra ilgalaikis procesas ir energijos gamybai naudojamų šaltinių bei technologijų pokyčiai priklauso nuo turimų finansavimo šaltinių ir energijos išteklių prieinamumo Europos Sąjungoje, o tai turi įtakos energijos gamybai. Energijos rinkų šalių įvairovės lygis neabejotinai turi įtakos pokyčių ir sisteminės transformacijos tempui ir mastui. Todėl numatoma, kad užsibrėžtus ekologinius tikslus šalys narės gali pasiekti skirtingu laiku.

Skirtingus Europos Sąjungos narių pajėgumus nagrinėjo ir T. Skrukanis, M. Kendras ir kt. [14]. Straipsnyje nagrinėjama elektromobilių eksploatavimo problema elektros energijos gamybos poveikio aplinkai požiūriu, konkrečiai – jos gamybos energetinis efektyvumas panaudojant pirminius energijos gamybos šaltinius. Nors eksploatuojant elektra varomas transporto priemones ŠESD neišsiskiria tiesiogiai, elektros energijos gamyba elektrinėse išmeta didelius ŠESD kiekius.

Neefektyvios elektros energijos gamybos iš pirminių šaltinių, kai gaminamas didelis ŠESD kiekis, ir didelio masto elektros perdavimo sistemos naudojimo derinys gali sumažinti elektromobilių naudojimo ekologiškumą – transporto priemonės eksploatavimo požiūriu. Kai kuriose Vidurio Europos regiono šalyse energijos vartojimo iš pirminių šaltinių efektyvumas galutiniams vartotojams yra perpus mažesnis, palyginti su šalimis, kuriose efektyvumas didžiausias. Transporto politikos, kuri teikia pirmenybę elektromobilumo plėtrai, įgyvendinimas kiekvienoje šalyje neturėtų vienodo ekologinio poveikio. Elektromobilių įkrovimas iš tinklo, pvz., Lenkijoje, nėra toks ekologiškas kaip Austrijoje įkraunamas elektromobilis. Todėl svarbu, kad šalies vadovai susikoncentruotų ne tik į paties elektromobilumo įgyvendinimą, bet ir plėtotų ekologišką elektros energijos gamybos formą bei didintų elektros perdavimo efektyvumą.

Klimato kaitos problema tapo pasauline, todėl ją privaloma spręsti šalims bendradarbiaujant globaliu mastu. Dėl šios priežasties tarpvalstybiniu lygiu pasirašyta daug susitarimų, sukurta nemažai programų ir mokslinių projektų.

Pagrindinis šiuo metu galiojantis tarptautinis susitarimas klimato kaitos srityje yra 1992 m. pasirašyta Jungtinių Tautų Bendroji klimato kaitos konvencija (toliau – JTBBKK). Tačiau tik 1997 m. ši konvencija buvo papildyta Kioto protokolu, kuriame nustatytos išsikeltos tikslo įgyvendinimo priemonės ir nustatyti konkretūs įsipareigojimai mažinant išmetamųjų teršalų kiekį. Reikia paminėti, kad net ir surinkus būtiną ratifikavusių šalių 55 % ribą, artėjant pirmojo susitarimo laikotarpio pabaigai didžiosios šalys, tokios kaip Kanada, Rusija, Japonija [15], nesugebėdamos įvykdyti įsipareigojimų pradėjo trauktis. Dėl šios priežasties Kioto antrajame periode (2013–2020 m.) liko dalyvauti 37 ekonomiškai stiprios šalys, kurios išmetė vos 14 % pasaulinio ŠESD kiekio.

Toliau stipriai didėjant ŠESD emisijų kiekiui buvo patvirtintas naujas teisiškai privalomas visuotinis klimato kaitos susitarimas – Paryžiaus susitarimas, kurio pagrindinis tikslas išlaikyti pasaulinės temperatūros augimą iki 2°C lyginant su ikipramoniniu laikotarpiu (1750 m.).

Paryžiaus susitarimas paskatino Europos Sąjungos vadovus įsipareigoti Europą paversti energiją taupančia ir mažo anglies dioksido ekonomika. Buvo priimtas tikslas iki 2050 m. sumažinti išmetamųjų ŠESD kiekį 80–95 %, lyginant su 1990 m. lygiu.

2008 m. buvo priimtas pirmasis ES klimato ir energetikos priemonių rinkinys [16]. Jame nustatyti vadinamieji „20–20–20“ tikslai, kurių buvo siekiama iki 2020 m.:

- 20 % sumažinti ŠESD emisijas;
- 20 % padidinti atsinaujinančiųjų išteklių energijos dalį;
- 20 % padidinti energijos vartojimo efektyvumą.

2021 m. Europos aplinkos agentūra (EAA) paskelbė šių tikslų rezultatus [17]:

- Remianti agentūros skaičiavimais 2020 m. ŠESD emisija buvo 31 % mažesnė nei 1990 m., tai rodo, kad pirmasis tikslas buvo įgyvendintas ir lūkesčius viršijo 50%. Tačiau, remiantis išankstiniais duomenimis, šį tikslą pasiekė tik 21 Europos Sąjungos narė. Daugiausia išmetamųjų teršalų kiekį sumažino ekonomikos sektoriai, kuriems taikoma ES apyvartinių taršos leidimų prekybos sistema, įskaitant elektros gamybą ir sunkiąją pramonę.
- 2020 m. Europos Sąjungoje 21,3 % elektros energijos pagamino atsinaujinantys energijos ištekliai. EAA atlikta analizė parodė, kad bendrą teigiamą pažangą stipriausiai lėmė padidėjęs atsinaujinančių išteklių naudojimas elektrai, šildymui ir vėsinimui.
- Energijos suvartojimo sumažinimas 20 % ilgą laiką atrodė neįgyvendinamas tikslas, tačiau dėl COVID–19 pandemijos pirminės ir galutinės energijos suvartojimas buvo sumažintas iki užsibrėžto tikslo. Norint pasiekti ilgalaikius tikslus, yra būtina ir toliau mažinti energijos suvartojimą.

Pasibaigus išsikeltų tikslų laikotarpiui buvo būtina pasirinkti tolimesnę judėjimo kryptį, norint išlaikyti pasiektus rezultatus. Dėl šios priežasties Europos Sąjunga savo klimato ir energetikos programoje išsikėlė naujų tikslų, kuriuos pasiekti yra tikimasi iki 2030 m. [18]:

- sumažinti išmetamųjų teršalų kiekį 55 % (lyginant su 1990 m.);
- atsinaujinančių energijos šaltinių pagaminama energija turi sudaryti ne mažiau 32 % visos pagaminamos energijos;
- mažiausiai 32,5 % padidinti energijos vartojimo efektyvumą.

Šie siekiai sudaro sąlygas pasiekti 2019 m. užsibrėžtą tikslą – klimato neutralumą Europos Sąjungoje iki 2050 m.

2. Klimato kaitos mažinimo priemonės

Anglies dioksido lygis atmosferoje jau yra toks, kad klimato kaitos negalima sustabdyti vien sumažinus CO₂ emisiją. Nors šiuo metu didžiausią susirūpinimą kelia CO₂, daugiausia dėl iškastinio kuro deginimo, metano dujos netolimoje ateityje gali tapti ne mažiau svarbios dėl vadinamojo teigiamo grįžtamojo ryšio kilpos: dėl visuotinio atšilimo tirpsta daugiametis Arkties įšalas, metanas išskiriamas į aplinką, atmosfera ir klimatas toliau šyla, todėl dar labiau tirpsta įšalas, susidaro daugiau metano ir pan. Itin svarbu suvokti, kad kuo ilgiau bus atidedamos klimato kaitos švelninimo ir prisitaikymo prie jos priemonės, tuo daugiau pastangų reikės ateityje sumažinti neigiamą poveikį visose srityse.

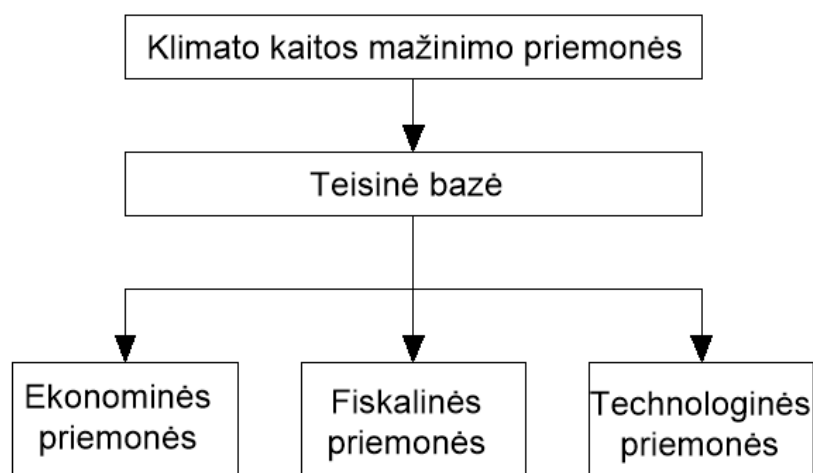
„Nacionalinių išmetamų į atmosferą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio prognozių rengimo metodinių gairių parengimo“ galutinėje ataskaitoje pateikiamas išmetamųjų ŠESD kiekio mažinimo politikos ir priemonių (angl. *policy and measures*) apibendrinimas pagal Europos Parlamento ir Tarybos Reglamentuose išskirtus kriterijus. [19]

Politika ir priemonės 2021-2030 m. laikotarpiui yra apibrėžiami kaip visi instrumentai, kurie prisideda prie integruotų nacionalinių energetikos ir klimato kaitos planų tikslų pasiekimo. Skirtingi kriterijai yra skirti tikslesniam priemonės apibrėžimui nurodant jos informacijos apimtį, struktūrą bei teikimo tvarką, tačiau taip pat padeda identifikuoti kokios priemonės dalyvauja ar gali dalyvauti ŠESD kiekio prognozių rengimo sistemoje.

Pagrindiniai išskiriami klasifikavimo kriterijai yra:

- pagal aprėptį – tai aktualu įvertinant informacijos (ne)prireiamumą pagal skirtingas priemones bei šios informacijos įtaką išmetamųjų ŠESD kiekio prognozių rengimui;
- pagal ryšį su ES lygmens dokumentų paketu – priemonės suskirstomos pagal tai ar yra daroma įtaka sektoriams, kurių įrenginiai dalyvauja ES ATL prekybos sistemoje;
- pagal ryšį su skirtingais ekonomikos sektoriais – rekomenduojama vertinti tik tuos ekonomikos sektorius, kurie pagal JTBKKK ir ES teisės aktus yra įtraukti į nacionalinę išmetamųjų ŠESD kiekio apskaitą;
- pagal įtaką skirtingoms ŠESD arba jų grupėms – identifikavus ŠESD ir jų grupes svarbu įvertinti jų kiekio sumažėjimą įgyvendinus pasirinktą priemonę;
- pagal ryšį su energetikos sąjungos dimensija (dekarbonizacija, energijos vartojimo efektyvumas, vidaus energijos rinka, tyrimai, energetinis saugumas) – priemonės privalo atitikti vieną iš penkių dimensijų;
- pagal ekonomikos sektorių ir tikslą (pvz., energijos tiekimas, energijos vartojimas, transportas ir pan.);
- pagal prigimtį (pvz., ekonominės, fiskalinės, reguliavimo, informacinės, švietimo ir pan.) – šis klasifikavimas suteikia daugiau informacijos apie priemonę įgyvendinamumą, instrumentų įtaką ŠESD išmetimų mažinimui;
- pagal ryšį su ES klimato kaitos ir energetikos politika – ši klasifikacija parodo ES klimato kaitos ir energetikos politikos įtaką išmetamųjų ŠESD kiekiui konkrečioje šalyje;
- pagal priemones įgyvendinančios institucijos lygmenį – tai parodo valstybės institucijų veiksmus į išmetamųjų ŠESD kiekio mažinimą;
- pagal priemonės įgyvendinimo būklę (suplanuota, priimta, įgyvendinama, nebegaliojanti) – ŠESD išmetimų prognozių scenarijai remiasi būtent šia klasifikacija.

Toliau darbe nagrinėjamos jau esamos bei planuojamos klimato kaitos mažinimo priemonės bei nagrinėjamas klasifikavimo būdas – pagal priemonės prigimtį (1 pav.). Šis klasifikavimas padeda nustatyti efektyviausias (reikšmingiausiai prisidedančias prie ŠESD išmetimų mažinimo) priemones.



1 pav. Klimato kaitos mažinimo priemonių klasifikavimas

2.1 Teisinė bazė

Jau 30 metų yra priimami įvairūs tarptautiniai susitarimai, kuriais siekiama sustabdyti dideliu greičiu šiltėjantį klimatą bei sumažinti žmogaus veiklos sukeltą taršą. 1992 m. buvo pasirašyta Jungtinių Tautų Bendroji klimato kaitos konvencija, kuri yra pagrindinis tarptautinis susitarimas klimato kaitos srityje galiojanti šiuo metu. Ši konvencija nustatė pagrindinius kovos su klimato kaita principus, tačiau neįvardino visų galimų mechanizmų ir priemonių. Dėl šios priežasties 1997 m. Japonijoje pasirašytas Kioto protokolas, kuriame nustatytos konkrečios konvencijos tikslo įgyvendinimo priemonės ir nustatyti įsipareigojimai mažinti išmetamus teršalus. Šis protokolas numatė tris mechanizmus, kurių pagrindu valstybės turėtų siekti savo įsipareigojimų:

- Prekyba apyvartiniais taršos leidimais (ATL) – tai dviejų valstybių susitarimas, kurio metu viena valstybė ne investuoja lėšų į kitos valstybės projektus, o perka iš jos leidimus;
- Bendro įgyvendinimo projektai – valstybė, kurios įmonės taršos sumažinimo kaštai yra labai dideli, investuodama į kitoje valstybėje įgyvendinamus projektus, gauna atitinkama kiekį taršos mažinimo vienetų;
- Švarios plėtos mechanizmas – valstybės investuoja į kitas valstybes, kurios yra neįtrauktos į Kioto protokolo I-ąjį priedą, taip paremdamos įgyvendinamus projektus [20].

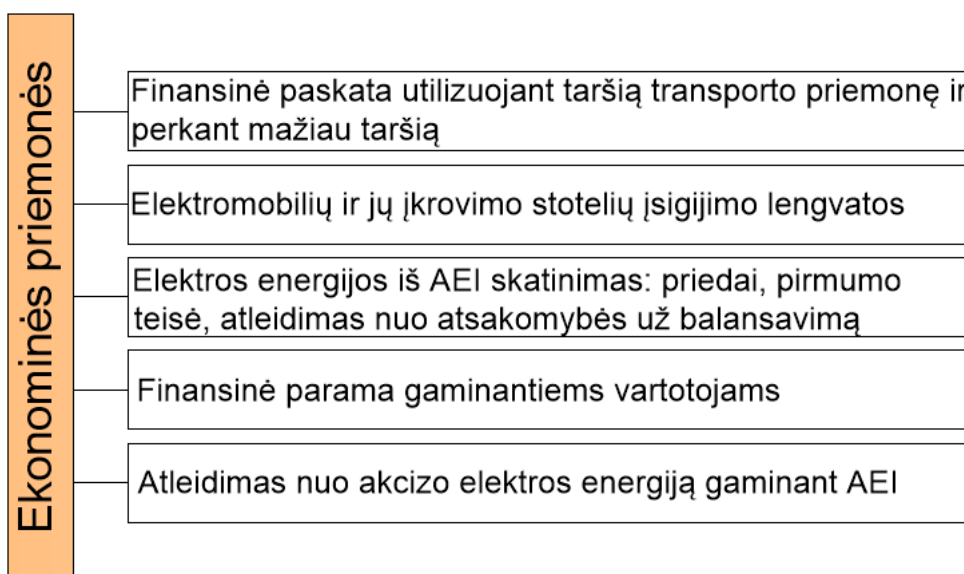
Pagrindinis Kioto protokolo trūkumas – buvo neatsižvelgta į mokslinius tyrimus bei istorinius ir dabartinius klimato reiškinius. Protokolo mechanizmus privalėjo taikyti tik išsivysčiusios ekonomikos šalys, tačiau mokslininkų prognozės teigė, kad būtent besivystančios šalys ateityje taps didžiausiomis teršėjomis. 2012 m. pasibaigus pirmajam Kioto protokolo įsipareigojimų laikotarpiui buvo priimtas Dohos pakeitimas, kurį privalėjo pasirašyti 75 % Kioto protokolo šalių. Šis skaičius nebuvo pasiektas ir antrajame protokolo etape liko 37 ekonomiškai stiprios šalys, kurios buvo atsakingos vos už 14 % pasaulinį išmetamą ŠESD kiekį.

2015 m. Paryžiuje 21-osios Jungtinių Tautų Bendrosios klimato kaitos konvencijos konferencijos metu buvo priimtas Paryžiaus susitarimas, kuris yra teisiškai privalomas visuotinis klimato kaitos dokumentas. Jis apima išsivysčiusių ir besivystančių šalių išmetamų ŠESD kiekio mažinimo, prisitaikymo prie klimato kaitos ir įgyvendinimo priemonių įsipareigojimus. Šį susitarimą yra ratifikavusios visos Europos Sąjungos šalys, tarp kurių yra ir Lietuva. Siekdama įgyvendinti Europos Sąjungos išsikeltus klimato kaitos tikslus ir tarptautinius susitarimus Lietuva parengė Nacionalinę klimato kaitos valdymo politikos strategiją [21]. Šios strategijos tikslas – siekti, kad šalies ekonomika augtų sparčiau nei didėtų išmetamas ŠESD kiekis. Strategijos vertinimo kriterijus pasirinktas išmetamas ŠESD kiekis, tenkantis BVP vienetui. Įgyvendinus visus klimato kaitos politikos valdymo tikslus ir uždavinius Lietuvoje būtų užtikrintas ŠESD kiekio mažėjimas bei prisitaikymas prie klimato kaitos pokyčių.

Strategijose išsikeltų tikslų pasiekimui numatytos klimato kaitos mažinimo priemonės pagal savo pobūdį yra skirstomos į ekonomines, fiskalines ir technologines priemones. Toliau darbe aptariamos šios grupės bei pateikiami jų pavyzdžiai.

2.2 Ekonominės priemonės

Ekonominės priemonės – tai yra finansinė parama, subsidijos bei kitos ekonominės paskatos ŠESD išmetimų mažinimui. Didžioji dalis paskatų yra skirta atsinaujinančios energijos išteklių kiekio didinimui bei taršos mažinimui. 2 paveikslėlyje pateikiamos galimos ekonominės priemonės.



2 pav. Ekonominės priemonės

2.2.1. Ekonominės priemonės elektromobilių integravimui

Europos aplinkos agentūra 2022 m. vasarą paskelbė naują transporto ir aplinkos ataskaitų teikimo mechanizmo ataskaitą [22], kurioje aptariamas elektromobilių poveikis klimato kaitai ir oro kokybei. Ši ataskaita taip pat yra viena pirmųjų nagrinėjanti elektromobilius žiedinės ekonomikos aspektoje. Pagrindinė visos ataskaitos išvada – elektromobiliai yra tinkamesni nei benzininiai ar dyzeliniai automobiliai siekiant klimato kaitos mažinimo ir oro kokybės gerinimo. Tačiau vis dar išlieka daug neatsakytų klausimų apie elektromobilių ir jų sudedamųjų dalių pakartotinį naudojimą ir perdirbimą.

Dar viena šiuo metu išliekanti problema susijusi su elektra varomais automobiliais yra įkrovimo stotelių kiekis. Šiomis dienoms keliais važinėja dar nedidelis kiekis elektromobilių (2021 m. Europoje elektromobiliai sudarė 1,5 % parduoto naujų automobilių parko), tačiau tikintis iki 2050 m. pasiekti 80 % elektra varomų automobilių tikslą yra būtinas infrastruktūros plėtojimas. 2020 m. publikuotame straipsnyje [23] buvo nagrinėjamas šių automobilių įvedimas į skirtingų Europos valstybių rinkas. Atsižvelgiant į pagrindines kliūtis, galimybes ir rizikas, susijusias su e. mobilumo politika ir iniciatyvomis, kiekviena šalis turi skirtingus bruožus. Pavyzdžiui, Švedija turi daug planų ir paskatų, gerą finansinę paramą elektromobilių įkrovimo infrastruktūrai ir mokesčių mažinimo priemones EV naudotojams. Elektromobilių įkrovimo infrastruktūra ir NT sektorius jau yra gerai išvystyti, o daugelis žmonių elektra naudojami kasdien. Pagrindinės kliūtys Švedijoje būdingos kitoms šalims – brangūs elektriniai automobiliai namų ūkiams, ribotos galimybės patenkinti didelius energijos poreikius ir rizika pelningumui. Lietuva turi pasitempti, kad galėtų konkuruoti su kitomis šalimis. Dėl mažos perkamosios galios, ribotos elektromobilių įkrovimo infrastruktūros ir stiprios naudotų transporto priemonių rinkos elektromobiliai nėra tokie populiarūs. Privačios iniciatyvos, taip pat nacionalinis finansavimas ir elektromobiliams palankūs teisės aktai yra labai riboti. Nors NT sektorius yra gerai išvystytas, palyginti su kitais regionais, EV įkrovimo infrastruktūra Lietuvoje yra ribota. Todėl į daugumą savo stiprybių Lietuva reaguoja planavimo lygmens priemonėmis – aukštu valdžios sąmoningumu ir savivaldybių aktyvumu, verslo ir mokslo susidomėjimu, geru verslo ryšiu su plėtotojais, planuojama infrastruktūra. Elektros automobiliai yra naujiena Lietuvos rinkoje, todėl gali atverti naujų galimybių, tokių kaip registracijos mokesčio įvedimas dujomis/dyzelinu/benzinu varomoms transporto priemonėms, automobilių parkų ir savivaldybių kaip elektromobilių ir autonominių transporto priemonių bandomųjų zonų atnaujinimas. Ispanija ir Italija turi panašius bruožus. Abi šalys turi daug iniciatyvų, palankius teisės aktus, gerą finansinę paramą, patyrusias suinteresuotąsias šalis, gerai išvystytą NT sektorių ir tinkamas apmokestinimo priemones. Pagrindinės problemos, kurias įvardija abi šalys, yra politinių sprendimų fragmentiškumas, silpni viešojo ir privataus sektoriaus santykiai bei ribotos privačios investicijos į MTEP. Lyginant visus Europos regionus, Nyderlandai turi didžiausią su elektromobiliais susijusių projektų patirtį ir didžiausią technologijų pažangą. Po jos seka Švedija, kur valdžia ir namų ūkiai vis labiau domisi elektromobilių pritaikymu. Ispanija ir Italija turi nemažai iniciatyvų, tačiau jos patiria tam tikrų sunkumų, kurie gali pristabdyti jų ambicingus planus. Galiausiai Lietuva, turinti mažiausią perkamąją galią ir didelę naudotų transporto priemonių rinką, turi daug ko pasimokyti iš kitų, tačiau gali turėti didelį potencialą, jei ir toliau bus taikomos nacionalinio lygmens paskatos.

VĮ „Regitra“ 2022 m. sausio 1 d. duomenimis Lietuvoje lengvųjų keleivinių automobilių vidutinis amžius yra 15 metų [24], todėl labai svarbu senąjį automobilių parką pakeisti į naujesnį ir efektyvesnį, ypač varomą alternatyviuoju kuru. 2022 m. duomenimis Lietuvoje buvo užregistruoti 6956 elektromobiliai ir tai sudaro tik apie 0,5 % viso automobilių parko. Dėl šios priežasties Lietuvos susisiekimo ministerija paskelbė finansines skatinamąsias priemones naujų arba naudotų grynųjų elektromobilių įsigijimui. Taip pat yra skiriamos kompensacijos ir utilizavus seną transporto priemonę. Šiomis priemonėmis siekiama, kad iki 2025 m. bent 10 % visų naujai registruotų ar perregistruotų lengvųjų automobilių sudarytų elektromobiliai, o 2030 m. šis skaičius siektų 50 %.

2.2.2. Ekonominės priemonės atsinaujintiems energijos ištekliams

Vienas iš pagrindinių Europos Sąjungos tikslų yra priklausomybės nuo iškastinio kuro mažinimas. Būtent žalioji energija gaunama iš natūralių šaltinių, tokių kaip vėjo energija, saulės šviesa, vandens judėjimo energija ir kt., gali paspartinti naftos, anglies ir gamtinių dujų išstūmimą iš rinkos. Stiprūs

patobulėjimai atsinaujinančios energijos šaltinių sferoje suteikė galimybę elektros energiją pradėti gaminti ir individualių vartotojų kiemuose.

Kaip vienas populiariausių ir svarbiausių atsinaujinančios energijos šaltinių, vėjo energija, remiama vyriausybės veiksnu, pastaraisiais metais išgyvena didžiulį augimo sprogimą ir rodo didelį potencialą ateityje sumažinti išmetamųjų teršalų kiekį.

Vėjo energija tapo viena iš sparčiausiai augančių elektros energijos gamybos technologijų. Bendra visų pasaulyje sumontuotų vėjo turbinų galia iki 2021 m. pabaigos siekė 742,5 GW ir gali patenkinti daugiau kaip 7 % pasaulinės elektros energijos poreikio [25]. 2021 m. publikuotame straipsnyje apie vėjo energijos sąnaudas klimato kaitos švelninimui [26] pastebėta, kad vos per dešimtmetį pasaulinė instaliuota vėjo galia padidėjo 3 kartus BloombergNEF duomenimis, nuo 2010 m. iki 2019 m. vėjo energija iš viso investavo 1 trilijoną USD. Per tą laiką sausumos vėjo energijos sąnaudos sumažėjo 43 %, o jūros vėjo energijos sąnaudos sumažėjo 51 %. Nepaisant didėjančios vėjo technologijos brandos ir pasaulinių vėjo išteklių masto, vėjo energijos kainos ateities neapibrėžtumas išlieka, tačiau jis skatina politikos formuotojus investuoti į sąnaudų mažinimą ir sukurti lanksčią energetikos sistemų išdėstymo ir projektavimo politiką, kad būtų pasiekta visa nauda klimatui.

Europos Sąjungos strategijoje iki 2020 m. buvo siekiama padidinti iš atsinaujinančių energijos išteklių gaunamą energiją iki 20 %, visos sunaudojamos energijos. Oficialiais Europos statistikos duomenimis 2020 m. galutinės energijos iš atsinaujinančių išteklių dalis pasiekė 22 %, taip 2 % viršydama išsikeltą tikslą. Analizuojant visų ES narių pasiekimus buvo pastebėt, kad tik viena narė – Prancūzija nepasiekė šio tikslo. Didžiausi pasiekimai buvo pasiekti Švedijoje, Kroatijoje ir Bulgarijoje [27].

Žvelgiant į ateitį Europos Sąjungos laukia dar ilgas kelias iki siekiamo energijos neutralumo planetai 2050 m. Iki 2050 m. siūloma laipsniškai pereiti prie atsinaujinančios energijos gamybos transporto ir elektros sektoriuose, atsižvelgiant į energijos vartojimo efektyvumo didinimą, būsimas siūlomų technologijų kainas ir laipsnišką transporto sektoriaus elektrifikaciją. Elektros energijos gamybos rezultatai rodo, kad pirmaisiais metais vėjo turbinos išliks pagrindine pereinamojo laikotarpio technologija, o saulės fotoelektrinių svarba po 2030 m. padidės, taip pat dėl pagerėjusių ekonominių rodiklių. Tikimasi, kad 2050 m. saulės fotoelektrinės pagamins 43 % visos elektros energijos iš AEI. Iš viso ES per ateinančius 30 metų tikimasi sumontuoti 550 810 vėjo turbinų ir 5 636 km² fotovoltinių plokščių. Atliktas tyrimas rodo, kad norint pasiekti klimato neutralumą ES reikia nemažai papildomos žemės (apie 6 %). Todėl toliau plėtojant technologijas turėtų būti siekiama kuo labiau sumažinti žemės naudojimą, kuris leistų išsaugoti biologinę įvairovę ir pagerinti gyvenimo kokybę. Tokių technologijų pavyzdžiai galėtų būti jūrinės vėjo turbinos, fotovoltinė energija, kuriai nereikia papildomos žemės (stoginiai įrenginiai, pusiau skaidrios ir permatomos fotovoltinės plokštės), galbūt visiškas transporto sektoriaus elektrifikavimas ir branduolių sintezės pagrindu veikiančių reaktorių valdymas [28].

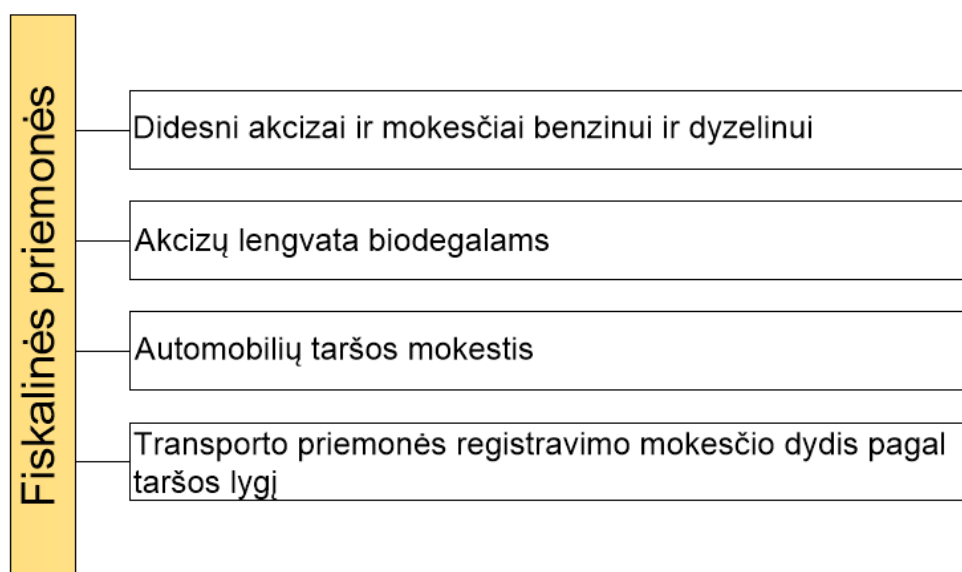
Lietuva siekdama klimato kaitos švelninimo išsikeltų tikslų taip pat įsteigė Klimato kaitos specialiąją programą, kurios lėšos yra naudojamos energijos vartojimo efektyvumo, atsinaujinančių energijos šaltinių ir kitų projektų mažinančių klimato kaitos padarinius finansavimui. Kadangi finansavimas gali būti skirtas ne tik juridiniams, bet ir fiziniams asmenims, tai tapo labai efektyvia priemone skatinant visuomenę įsitraukti į klimato kaitos švelninimo tikslus.

Finansinės paramos paskatino žmones tapti gaminančiais vartotojais, tai reiškia, kad pagamintos energijos dalį jis gali naudoti savo ūkio reikmėm, o nepanaudotą dalį kaupti elektros tinkluose. Atsiradus galimybei elektrines išsigyti pagal dvišalius kontraktus iš trečiųjų šalių arba išsigyti nutolusią saulės elektrinę gaminančiais vartotojais gali tapti ir daugiabučių gyventojai. Tuo pačiu pasinaudojus teikiama finansine parama, žmogus tampa energetiškai nepriklausomas, gauna mažesnes sąskaitas už elektros energiją, bet tuo pačiu yra skatinama žalesnė ir ekologiškesnė gyvenama [29].

Lietuvos energetikos sektoriaus analizė parodė, kad bendrasis vidaus kuro ir energijos suvartojimas Lietuvoje pasikeitė apie 10 %. Per pastaruosius 10 metų atsinaujinančios energijos dalis bendrame vidaus kuro ir energijos suvartojime išaugo nuo 15,8 iki 26,8 %, o AEI tapo viena pagrindinių šalies ekonomikos varomųjų jėgų. O 2020 m. birželio mėnesį Lietuvos Respublikos Vyriausybė pritarė 700 MW galios vėjo elektrinių plėtros Lietuvos jūrinėje teritorijoje tikslingumui. Lietuva atsinaujinančių energijos išteklių dalį bendrame galutiniame šalies energijos suvartojime iki 2030 m. yra įsipareigojusi padidinti iki 45 % ir reaguodama į ES ambicijas yra pasirengusi siekti, kad 2030 m. AEI dalis sudarytų ne mažiau kaip 50 % bendro šalies energijos suvartojimo [30].

2.3 Fiskalinės priemonės

Fiskalinės priemonės – tai priemonės susijusios su valstybės biudžetu, mokesčių didinimu arba mažinimu bei vyriausybės išlaidų keitimu. 3 paveikslėlyje pateiktos galimos fiskalinės priemonės.

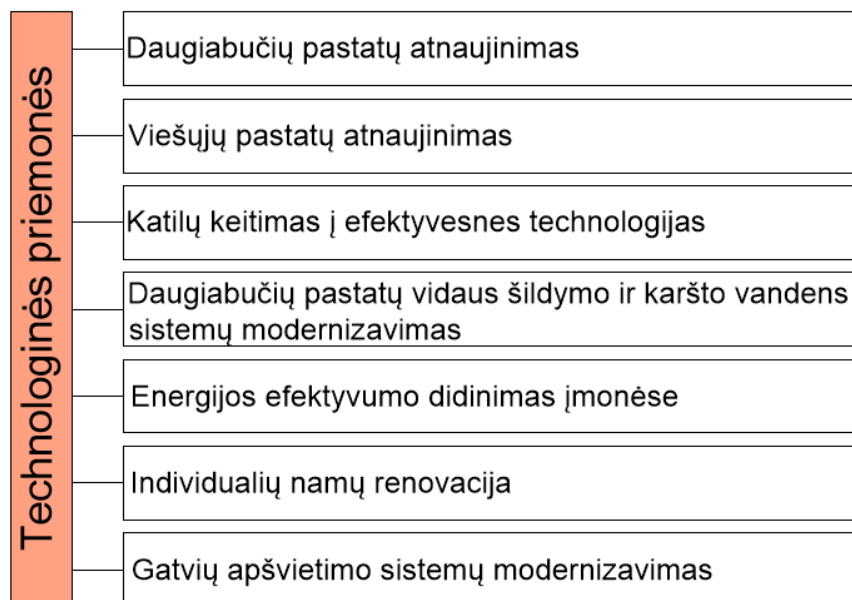


3 pav. Fiskalinės priemonės

Kalbant apie klimato kaitos mažinimo priemones pagrindinės fiskalinės priemonės yra skirtos transportui. Yra tikimasi, kad ekologiškumo mokesčio didinimas bei kasmetinis automobilio taršos mokestis, kuris nustatomas pagal emisijos lygį, skatins keisti automobilius į mažiau teršiančius. Įvedus šiuos pakeitimus Lietuvoje yra tikimasi, kad per metus bent 5 % naujai registruojamų automobilių bus pakeisti į nulines emisijos transporto priemones bei tai sumažins CO₂ emisijas 3,5 % per metus. Lietuvoje taikomi akcizai degalams 2019 m. buvo vieni mažiausių Europos Sąjungoje [31], todėl Europos Komisijos rekomendacijose pateiktas siūlymas didinti esamus į aplinkos apsaugą orientuotus mokesčius. Tuo tarpu biodegalams ir degalų mišiniam siūlomas sumažinto akcizo tarifas.

2.4 Technologinės priemonės

Technologinės priemonės – tai priemonės susijusios su naujų technologijų įrengimu ir senų technologijų atnaujinimu bei keitimu. 4 paveikslėlyje pateiktos galimos technologinės priemonės.



4 pav. Technologinės priemonės

Nuo 2007 m. Europos Sąjungos vadovai siekė sumažinti suvartojamos energijos kiekį. Šiuo metu yra vadovaujama 2018 m. priimtu dokumentų rinkiniu „Švari energija visiems europiečiams“, kuriame buvo nustatytas tikslas iki 2030 m. suvartojamos energijos kiekį sumažinti bent 32,5 %. Taip pat vis dažniau energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonėmis yra laikomos ne tik tvaraus energijos tiekimo, ŠESD mažinimo, tiekimo saugumo ir importo išlaidų mažinimo užtikrinimo, bet ir Europos Sąjungos konkurencingumo skatinimo priemonėmis. Šiuo metu energijos vartojimo efektyvumas yra strateginis energetikos sąjungos prioritetas.

2018 m. persvarsčius energijos vartojimo efektyvumo direktyvą [32] ir nustčius naująjį tikslą, kiekviena ES šalis buvo įpareigota parengti dešimties metų integruotą nacionalinį energetikos ir klimato srities veiksmų planą, kuriame būtų nurodyta, kaip ji ketina pasiekti savo 2030 m. energijos vartojimo efektyvumo tikslus. Energijos vartojimo efektyvumo didinimui Lietuvoje iki 2030 m. yra nurodomi šie principai:

- ekonominio pagrįstumo – įgyvendinant energijos vartojimo efektyvumo didinimo tikslus, pirmenybė turėtų būti teikiama ekonomiškai efektyviausioms energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonėms;
- aktyvaus energijos vartotojų mokymo ir švietimo – kadangi energijos vartotojai, keisdami savo elgseną ir įpročius, gali prisidėti prie energijos vartojimo efektyvumo didinimo tikslų, turi būti stiprinamas energijos vartotojų mokymas ir švietimas;
- konkurencijos – sudarant sąlygas investuotojams į energijos vartojimo efektyvumo didinimą konkuruoti tarpusavyje dėl ekonomiškai daugiausia naudos duodančių projektų įgyvendinimo, vykdant energijos efektyvumo didinimo įpareigojimus ar konkuruojant dėl valstybės skatinimo.

Siekiant užtikrinti priimtų įsipareigojimų vykdymą Lietuvos Respublikos energetikos ministerija parengė energijos vartojimo efektyvumo didinimo veiksmų planą. Nacionalinės energetikos veiksmų plane nurodomos jau įdiegtos bei planuojamos priemonės, kuriomis Lietuva tikisi iki 2030 m. pasiekti nustatytą tikslą.

Daugiabučiai statyti iki 1993 m. yra laikomi vieni neekonomiškiausių gyvenamųjų pastatų. Siekiant išspręsti šią problemą 2005 – 2013 buvo įsteigta daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programa [33]. Atlikti tyrimai rodo, kad vienas daugiabutis po atliktos renovacijos galėtų sumažinti apie 65 % šiluminės energijos sąnaudų. Tai yra apie 62 t CO₂ ekv. per metus. Šios programos sukūrimo pradžioje buvo išsikeltas tikslas iki 2030 m. renovuoti 5000 daugiabučių ir taip sutaupyti net 5,5 TWh energijos.

Visos Lietuvos energetikos įmonės, turinčios Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos išduotas energijos tiekimo licencijas (leidimus) ir vykdančios energijos tiekimo veiklą, su Energetikos ministerija pasirašė energijos vartotojų švietimo ir konsultavimo susitarimus. Šie susitarimai sudaro sąlygas vartotojams gauti reikiamą ir kryptingą informaciją. Vien šiuo sprendimu yra numatomas 3 TWh energijos sąnaudų sumažinimas iki 2030 m.

Taip pat kartu su šiuo susitarimu buvo priimtas ir dar vienas – dėl energijos taupymo. Šiame susitarime yra reikalaujama, kad energetikos bendrovės taupytų energiją pagal susitarimuose dėl energijos taupymo nurodytus energijos lygius (pačios ar per kitus asmenis), taikydamos ekonomiškai pagrįstas energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemones galutinės energijos vartotojų įrenginiuose (įrenginiuose, įrangoje, transporte). Numatoma, kad ši priemonė kasmet leis sutaupyti apie 100 GWh ir iki 2030 m. bus sutaupyta apie 5,5 TWh.

Lietuva, siekdama padidinti energijos efektyvumą transporto sektoriuje, yra nustačiusi didesnius akcizus ir PVM mokesčius kurui, t. y. benziniui, suskystintoms gamtinėms dujoms ir dyzelinui. Lietuvoje degalams taikomas 21 % pridėtinės vertės mokestis, t.y. 6 procentiniais punktais didesnis nei ES 15 %. minimalus dydis. Atsižvelgiant į Lietuvoje parduodamo kuro (benzino, dyzelino ir suskystintųjų gamtinių dujų) kiekį ir paklausos elastingumą, taip pat kitų valstybių (Švedijos, Ispanijos, Vokietijos ir Estijos) patirtį apskaičiuojant energijos vartojimo efektyvumo didinimo mokestinėmis priemonėmis poveikį kuro suvartojimui, prognozuojama, kad 2030 m. dėl didesnių mokesčių ir akcizų degalams bus sutaupyta 6 TWh energijos.

Didžiausias planuojamas energijos sutaupymas kiekis yra numatomas pakeitus katilus į efektyvesnes technologijas. Išsikeltas tikslas – iki 2030 m. namų ūkiuose pakeisti 50 000 katilų, pritaikytos kitos šilumą naudojančios energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonės, dėl kurių bus sutaupyta mažiausiai 200 GWh per metus, arba 11 TWh iki 2030 m.

Bendrai Lietuvos Respublikos nacionaliniame energetikos ir klimato srities veiksmų plane 2021–2030 m. išvardintomis planuojamomis energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonėmis žadama sutaupyti apie 45 TWh energijos.

Sudarytame veiksmų plane pateiktas prognozavimo modelis, kuriame remiamasi statistiniais duomenimis, atspindinčiais esamą energijos vartojimo situaciją, bei specialiomis prielaidomis, kurios veikia energijos vartojimo kitimo prognozes. Buvo gautos pirminės ir galutinės energijos suvartojimo prognozės iki 2040 m. (1 lentelė).

1 lentelė. Energijos poreikių prognozės atsižvelgiant į esamą energijos vartojimo efektyvumo politiką, priemones ir programas [21]

	2018 m.	2020 m.	2025 m.	2030 m.	2035 m.	2040 m.
Pirminės energijos suvartojimas, ktne	6558	6712	6587	6460	6378	6322
Galutinis suvartojimas, ktne	5566	5563	5459	5354	5286	5240
Pramonės sektorius, ktne	1061	1061	984	948	948	948
Namų ūkių sektorius, ktne	1486	1478	1413	1403	1386	1360
Paslaugų sektorius, ktne	650	650	626	601	599	596
Transporto sektorius, ktne	2215	2220	2285	2249	2202	2184
Kiti sektoriai, ktne	154	154	151	151	152	152

Scenarijaus modeliavimo rezultatai rodo, kad galutinės energijos vartojimas, lyginant jį su 2018 m. faktiniu lygiu, 2030 m. bus 22,8 %, o 2040 m. – 30,9 % mažesnis [21].

2021 m. „Sustainability“ žurnale skelbtame straipsnyje [34] nustatyta, kad galutiniai energijos vartotojai linkę tikėti (arba būti tikri), kad gali sunaudoti mažiau energijos nei suvartoja dabar, tačiau netiki (ar nesitiki), kad jų pačių energijos naudojimo ribojimas padėtų sumažinti klimato kaitą. Pastebimai didesni lūkesčiai sumažinti klimato kaitą siejami su kolektyvinio įsitraukimo rezultatais, tačiau tikėjimas daugelio žmonių gebėjimu apriboti energijos naudojimą siekiant sumažinti klimato kaitą yra daug mažesnis.

Klimato kaitos mažinimas, kaip bendras tikslas, kyla dėl to, kad galutiniai vartotojai netiki, kad klimato kaita sumažės dėl asmeninio energijos naudojimo apribojimo. Kitas iššūkis yra nepasitikėjimas kolektyvinio indėlio galimybe, o tai taip pat gali atgrasyti nuo asmeninio energijos naudojimo apribojimo.

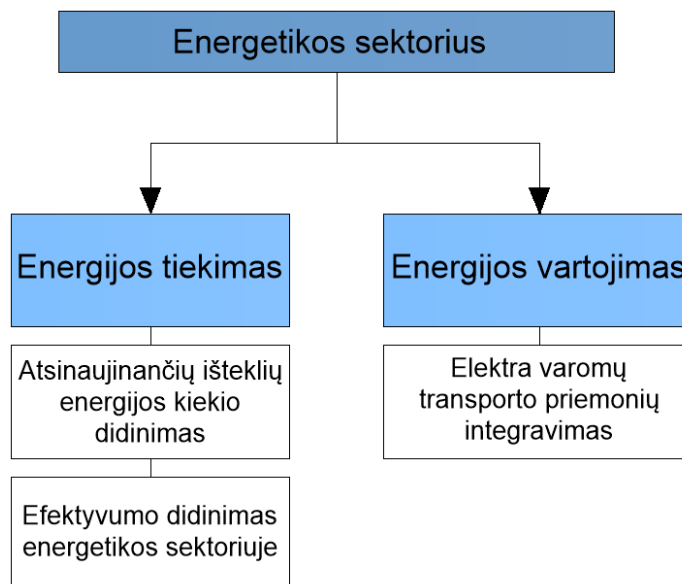
Rytų Europos šalys paprastai mažiau nei Vakarų Europos šalys tolo asmeniniais ir kolektyviniais gebėjimais prisidėti prie klimato kaitos švelninimo ribojant energijos naudojimą.

Šie iššūkiai suteikia galimybę imtis atitinkamų politikos priemonių, ypač turint daugiau įrodymų apie teigiamus klimato kaitos švelninimo rezultatus, net ir iš asmeninio indėlio, keičiant energijos vartojimo įpročius. Šios priemonės galėtų apimti švietimo kampanijas ir tvaraus vartojimo skatinimą. Plėtodami tinkamą įsitraukimą, įskaitant produktų ir paslaugų naujoves (pvz., išmaniąsias platformas, paskatas pakeisti energiją taupančius prietaisus ir verslo modelio naujoves), kad būtų galima prisidėti prie kolektyvinio indėlio, būtų galima padidinti sąmoningumą ir tikėjimą kolektyviniu įsitraukimu.

Tinkamas požiūris į galutinių vartotojų įsitikinimus ir lūkesčius galėtų atlikti svarbų vaidmenį įtraukiant visuomenę į klimato kaitos mažinimą.

2.5 Energetikos sektoriaus klimato kaitos mažinimo priemonių klasifikavimas

Darbe nagrinėjamas energetikos sektorius, todėl klimato kaitos mažinimo priemonės skirstome į dvi grupes: energijos tiekimo ir energijos vartojimo. Pasirenkamos trys pagrindinės sritys, kurioms šiuo metu yra skiriamas didžiausias dėmesys atsižvelgiant į Nacionalinius energetikos ir klimato srities planus (5 pav.): atsinaujinančių energijos išteklių kiekio didinimas, efektyvumo didinimas energetikos sektoriuje ir elektra varomų transporto priemonių integravimas. Kiekvienoje srityje pasirenkamos 4-5 konkrečios priemonės skirtos išmetamųjų ŠESD kiekio sumažinimui.



5 pav. Nagrinėjamų klimato kaitos mažinimo priemonių klasifikacija energetikos sektoriuje

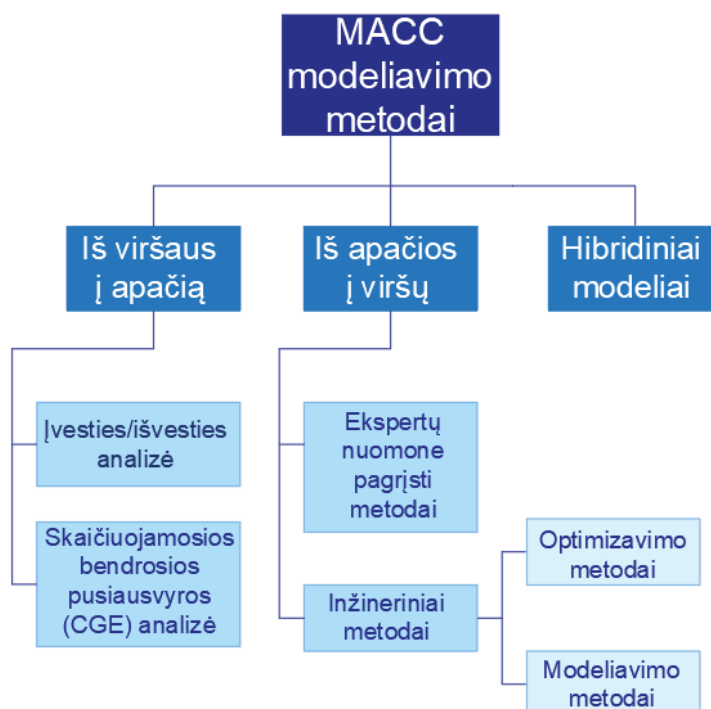
3. Klimato kaitos mažinimo priemonių kaštų vertinimo metodika

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų prognozės sudaromos atsižvelgiant į šiandienos ŠESD emisijas, kurios yra pagrįstos veiklos duomenimis ir emisijos faktoriais, ir įvertinant, kaip jie gali vystytis ateityje. Priešingai nei istoriniai, veiklos duomenys gaunami iš statistikos ir matavimų, todėl jie nėra prieinami ateityje. Ateityje išmetamųjų teršalų faktoriai gali būti tokie patys arba panašūs į buvusius, tačiau technologiniai patobulinimai gali reikšti, kad šie veiksniai gali skirtis. Tai reiškia, kad turi būti daromos kelios prielaidos, kaip veiklos duomenys ir emisijos veiksniai gali vystytis ateityje.

ŠESD prognozių rengimas gali būti sudėtingas, nes gali prireikti techninio supratimo apie platų kintamųjų rinkinį. Nėra standartizuotų metodų ar priemonių, leidžiančių apskaičiuoti ŠESD prognozes. Tačiau yra keletas modeliavimo įrankių, kurie gali padėti atlikti šią užduotį.

Norint įvertinti įvairių mažinimo priemonių sąnaudas ir naudą, siekiant apskaičiuoti ŠESD išmetimo mažinimą ir vidutines mažinimo išlaidas, išreikštas piniginiiais vienetais už toną CO₂ ekvivalento, galima naudoti ribinių taršos mažinimo kaštų kreivę (*angl. MACC – Marginal Abatement Cost Curve*), rodančią vidutines išmetamo ŠESD kiekio mažinimo išlaidas taikant skirtingas alternatyvas. Pirmąjį būsimų išmetamųjų teršalų kiekį galima lengvai nustatyti ir turint ribotus duomenis, fiksuojant informaciją apie dabartinį elektros ir degalų suvartojimą ir numatant juos ateityje, naudojant augimo veiksnius.

Nacionaliniu, įmonės ar visuomenės lygmeniu MACC gali būti kuriamas naudojant tris metodus: iš viršaus į apačią, iš apačios į viršų ir hibridinį (6 pav.). Kiekvienas metodas turi skirtingus privalumus ir trūkumus, kurie gali išspręsti įvairias problemas.



6 pav. MACC modeliavimo metodų klasifikacija

„Iš viršaus į apačią“ ir „iš apačios į viršų“ modeliuose nagrinėjami ryšiai tarp ekonomikos ir konkrečių ŠESD išskiriančių sektorių, pavyzdžiui, energetikos sistemos. „Iš viršaus į apačią“ modeliai įvertina sistemą pagal suvestinius ekonominius kintamuosius (pvz., energijos paklausą ir pasiūlą), o „iš apačios į viršų“ modeliuose atsižvelgiama į technologines galimybes arba projektui būdingą klimato kaitos mažinimo politiką. Taip pat modeliuose „iš viršaus į apačią“ naudojami apibendrinti duomenys, o „iš apačios į viršų“ – išskaidyti duomenys. Hibridiniuose modeliuose naudojamas iš viršaus į apačią ir iš apačios į viršų metodų derinys.

3.1. Taršos mažinimo kaštų įvertinimo metodai

3.1.1. Modeliai iš apačios į viršų

Metodas „iš apačios į viršų“ įvertina MACC pagal skirtingas mažinimo strategijas ir technologijas. Šis metodas yra orientuotas į energijos ir technologijų pasirinkimą ir negali imituoti energijos kainų pokyčių ir kitų tarpinių sąnaudų poveikio. Gamybos funkcijos modelis orientuotas į istorinės MAC įvertinimą, tuo tarpu jis negali imituoti politikos pokyčių [35].

Taikant „iš apačios į viršų“ metodą dėmesys sutelkiamas į technines ne visuminės ekonomikos detales. Tyrimuose paplitę du metodai, vienas iš jų yra ekspertų nuomone pagrįstas metodas [36]. Remiantis pažangiausiais technologiniais sprendimais įvertinamas įvairių taršos mažinimo variantų sušvelninimo potencialas ir taršos mažinimo kaštai, šiuo metodu, o vėliau sudaromos MACC, reitinguojant šių galimybių sąnaudas nuo mažų iki didelių. Kitas svarbus metodas „iš apačios į viršų“ yra inžinerinis modelis. MAC įvertinimas naudojant inžinerinį metodą apima konkrečius alternatyvių anglies dvideginio išmetimo mažinimo priemonių ar technologijų aprašymus. Kiekvienos technologijos kaina apskaičiuojama įvertinus skirtumą tarp įprasto verslo atvejo ir mažai anglies dioksido į aplinką išskiriančio scenarijaus, atsižvelgiant į emisijų mažinimą. Konkrečiai, šis įvertinimas išskaido esamus išmetamo anglies dioksido kiekio mažinimo matavimus į keletą atskirų švelninimo būdų, naudojant atskiras technologines priemones, ir suteikia pirmenybę šioms galimybėms, kuriomis siekiama sumažinti išmetamųjų teršalų kiekį konkrečiais metais. Naudodami ryšį tarp MAC ir anglies dvideginio išmetimo mažinimo, politikos formuotojai arba verslininkai gali nustatyti anglies išmetimo mažinimo technologijų prioritetą ir mažiausią sąnaudų pasirinkimą, kad būtų pasiektas idealus anglies išmetimo mažinimo tikslas [37]. Inžinerinis metodas taip pat gali būti skirstomas į optimizavimo ir modeliavimo metodus.

Optimizavimo metodai (arba optimalaus sprendimo metodai) identifikuoja „optimalią“ parinktį arba parinkčių rinkinį, pagrįstą tam tikro tikslo ar tikslų rinkinio pasiekimu, pavyzdžiui, mažiausiomis sąnaudomis, didžiausiu išmetamųjų teršalų mažinimu arba didžiausiu darbo vietų skaičiumi. Optimizavimo modelį galima apibūdinti kaip modelį, kuriuo siekiama sugeneruoti planą, kuris geriausiai atitiktų pasirinktus sprendimo kriterijus [38]. Pavyzdys galėtų būti tikslas sumažinti bendras energetikos sistemos išlaidas, įskaitant visus galutinio vartojimo sektorius, 40–50 metų laikotarpiu. Optimizavimo modeliams reikia labai detalios dabartinės sistemos aprašymo, apimančio didelį duomenų kiekį šiuo klausimu.

Modeliavimo metodais (arba alternatyvų vertinimo metodais) siekiama imituoti ir numatyti sistemos elgseną tam tikromis sąlygomis, t. y. jie apibūdins, kas atsitiks pagal tam tikrus pasirinktus pagrindinius parametrus (pvz., energijos suvartojimą), jei bus priimtas nurodytas planas. Jie taip pat gali būti laikomi „scenarijų modeliais“, sukurti siekiant parodyti skirtingas parinktis ir leisti vartotojui juos palyginti. Analitiniai modeliai, be kita ko, apima išsamų energijos paklausos ir tiekimo

technologijų, įskaitant galutinio naudojimo, konversijos ir gamybos technologijas, vaizdą, todėl norint tinkamai nustatyti modelį, reikia tam tikrų techninių žinių. Tačiau modeliavimo modeliai yra daug mažiau sudėtingi nei, pavyzdžiui, įvesties/išvesties modeliai. Jie geriausiai tinka trumpalaikiams ir vidutinės trukmės vertinimams.

3.1.2. Modeliai iš viršaus į apačią

Skirtingai nuo metodo „iš apačios į viršų“, kuriame pabrėžiamas visapusiškas technologijų portfelis, „iš viršaus į apačią“ pagrindinis dėmesys skiriamas tam tikro mažinimo tikslo potencialių galimybių sąnaudų įvertinimui, tuo pačiu sutrikdant gamybos procesus, reaguojant į rinkos elgesį, padengiant paslėptas gamintojų ir klientų sąnaudas ir užfiksuojant kainų atšokimo poveikį.

„Iš viršaus į apačią“ modeliai orientuoti į visuminės ekonominės elgsenos analizę. Tyrimuose yra taikomi du pagrindiniai „iš viršaus į apačią“ metodų tipai – įvesties-išvesties analizė ir skaičiuojamosios bendrosios pusiausvyros analizė [36].

Įvesties–išvesties analizė (I/O) (*angl. Input/Output*) yra makroekonominės analizės forma, pagrįsta ekonomikos sektorių ar pramonės šakų tarpusavio priklausomybėmis, pvz., kai vienos pramonės šakos produkcija perkama ir naudojama kaip žaliava kitoje šakoje. Tai leidžia įvertinti, kaip produkcijos pokyčiai vienoje pramonės šakoje paveiks kitas pramonės šakas. Tokie modeliai naudojami, kai švelninimo ar prisitaikymo veiksnių pasekmės sektoriams yra ypač svarbios. Modelio skaičiavimai pateikia atitinkamus veiklos duomenis šiltnamio efektą sukeliančių dujų įvertinimams, tačiau negali atspindėti ryšių, kuriuos sukelia ŠESD išmetimas [39]. I/O modeliai daugeliu atvejų netinka modeliuoti faktorių pakeitimą (pvz., darbo pakeitimą kapitalu), elgsenos aspektus ar technologinius pokyčius. Šie modeliai yra tinkami svarstyti pokyčius per ateinančius 5–15 metų. Įvesties / išvesties modeliai yra sudėtingi ir reikalauja išsamaus duomenų rinkinio bei didelių žinių.

Skaičiuojamosios bendrosios pusiausvyros (CGE) (*angl. Computable General Equilibrium*) analizė yra didelio masto skaitmeninis modelis, imituojantis pagrindines ekonomines sąveikas ekonomikoje. Jis naudoja duomenis apie ekonomikos struktūrą kartu su ekonomikos teorija pagrįstų lygčių rinkiniu, kad įvertintų fiskalinės politikos poveikį ekonomikai. Pagrindinis bendrosios pusiausvyros teorijos principas yra tas, kad ekonomikoje efektyvus prekių ir paslaugų paskirstymas pasiekiamas priimant sprendimus, kurie subalansuoja pasiūlą ir paklausą bei koordinuoja gamybą. Modelio išvestis yra veiklos duomenys, svarbūs ŠESD emisijai įvertinti, pvz., energijos poreikis arba pramonės gamyba. CGE modeliai tiria ekonomiką esant skirtingoms pusiausvyros būsenoms ir todėl negali suteikti informacijos apie prisitaikymo procesą (pvz., nurodyti technologijos kelią iš vienos pusiausvyros būsenos į kitą), ko gali prireikti planuojant nacionaliniu mastu nustatytus tikslus. Šių modelių privalumas – suteikiama galimybė įvertinti su ekonomika susijusią politiką, todėl šis modeliavimo įrankis dažniausiai pritaikomas įvertinant įvairių energetikos ir klimato politikos krypties poveikį ekonomikai ir aplinkai [40]. CGE modeliai yra sudėtingi ir reikalauja daug laiko, todėl jiems reikia išsamaus duomenų rinkinio ir ekonominių žinių, taip pat patirties dirbant su konkrečiu modeliu.

3.1.3. Hibridinis modelis

Hibridinių modelių kategorija neapima konkrečių įrankių ar modelių. Šis metodas apima modelių „iš viršaus į apačią“ ir „iš apačios į viršų“ derinimą, o tai gali būti ypač naudinga tyrinėjant galimus gilios dekarbonizavimo būdus arba nustatant ilgalaikius tikslus. Modelių „iš viršaus į apačią“ ir „iš

apačios į viršų“ derinys padeda modeliuoti labai neapibrėžtą ateitį [41], nes kiekvienas modelis turi savo privalumų ir apribojimų, o derinys leidžia pažvelgti į dalykus iš skirtingų perspektyvų.

3.1.4. Metodų palyginimas

Pagrindiniai metodų „iš apačios į viršų“ ir „iš viršaus į apačią“ skirtumai apibendrinti 2 lentelėje.

2 lentelė. Pagrindiniai metodų „iš apačios į viršų“ ir „iš viršaus į apačią“ skirtumai [35]

Iš apačios į viršų	Iš viršaus į apačią
Sukurta remiantis ekspertiniu (moksliniu) sprendimu	Sukurta remiantis sistemos modeliavimu (MACC energijos sistemai)
Pateikiama išsami informacija apie kiekvieną švelninimo variantą/ technologiją.	Modeliuojant atsižvelgiama į energijos pasiūlos ir paklausos sistemą
Neatsižvelgiama į poveikio mažinimo galimybių arba pasiūlos ir paklausos sistemų sąveiką.	Sušvelninimo galimybių kūrimas scenarijų forma.

Ekspertais pagrįsti metodai dažnai naudojami technologijų galimybių ekonomiškumui nustatyti, todėl yra tinkami taršos mažinimo projektų sąnaudoms tirti. Dėl savo skaičiavimo paprastumo ir galimybės reitinguoti ekonomiškai efektyvias priemones, šis metodas išpopuliarėjo tarp privačių investuotojų. Inžineriniai modeliai pateikia daugybę išsamių techninių energijos sistemų charakteristikų ir yra geriausiai pritaikyti optimizuoti pasirinkimus ir sumažinti sistemos sąnaudas, kurios yra labiau susijusios su mažinimo sąnaudomis tiek energetikos sektoriuje, tiek makro lygiu. CGE modeliai maksimaliai padidina įmonių pelną ir namų ūkių naudingumą, atsižvelgiant į anglies išmetimo mažinimo tikslus, kurie gali užfiksuoti ekonomikos subjektų (pvz., namų ūkių, įmonių ir vyriausybių) tarpusavio ryšius. Todėl šiuo metodu galima analizuoti mažinimo išlaidas sektoriaus, regiono, nacionaliniu ar pasauliniu mastu.

Kalbant apie švelninimo strategijos režimą, abu metodai „iš apačios į viršų“ yra skirti išsamioms techninėms strategijoms. Dabartiniuose CGE modeliais pagrįstuose tyrimuose daugiausia dėmesio skiriama rinka pagrįstoms strategijoms, tokioms kaip nacionaliniai anglies dioksido mokesčiai ir taršos leidimų kainos tarptautinėje prekyboje apyvartiniais taršos leidimais [36].

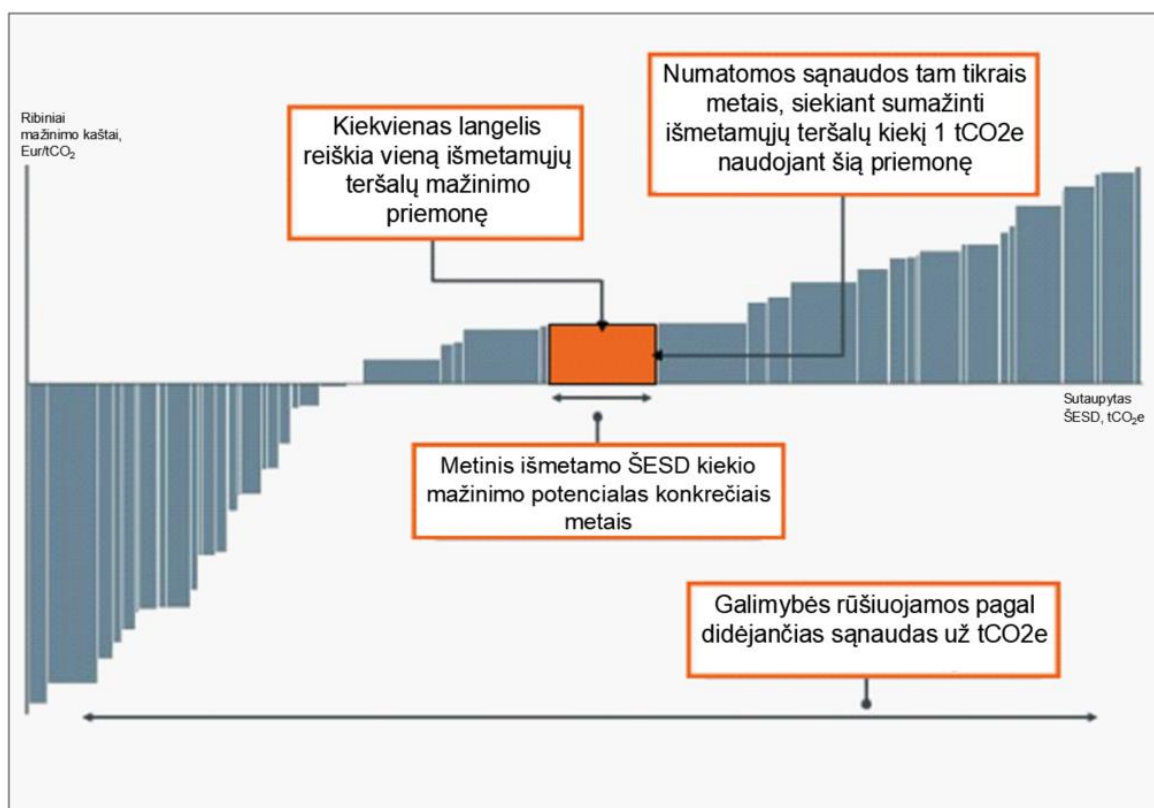
Dėl galimybės įvertinti įvairių taršos mažinimo variantų sušvelninimo potencialus ir taršos mažinimo kaštus, tyrimui atlikti pasirenkamas iš apačios į viršų modelio inžinerinis metodas.

3.2. Ribinių kaštų mažinimo kreivės modelis

Ribinių kaštų mažinimo kreivė, tai pagalbinė priemonė padedanti priimti sprendimus bei nustatyti, kurie projektai yra ekonomiškiausi vienam sumažinto CO₂ vienetui ir kurie variantai siūlo didžiausią mažinimo potencialą.

MACC kreivė suskaidoma į atskirus „blokų“. Kiekvienas blokas reiškia atskirą arba panašų anglies dioksido mažinimo priemonių rinkinį. Kiekvieno bloko plotis rodo galimą anglies dvideginio

išmetimo mažinimo kiekį (tCO_2), o aukštis – ribines anglies emisijos mažinimo išlaidas (Eur/ tCO_2). Paprastai blokai išdėstomi taip, kad kairėje pirmiausia būtų pateikiami mažiausių sąnaudų variantai, kurie gali reikšti grynujų sąnaudų sutaupymą (neigiamas Eur/ tCO_2), o vėliau dešinėje pateikiami didesnės kainos variantai. Ribinių kaštų mažinimo kreivės pavyzdys pateikiamas 7 paveiksle.



7 pav. Ribinių kaštų mažinimo kreivės pavyzdys [42]

Ši metodika leidžia lygiavertėmis sąlygomis palyginti įvairių sektorių (pvz., transporto ir energijos) priemones, o tai leidžia nustatyti, kur mažinimo galimybės yra didžiausios ir ekonomiškiausios.

3.3. Ribinių kaštų mažinimo kreivės sudarymo įvesties duomenys

Norint sukurti MACC, būtina nustatyti kai kurias finansines mažinimo projektų detales ir numatomą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį, kuris bus sumažintas per projekto gyvavimo laikotarpį. Konkrečiai, kiekvienam vertinamam projektui reikalingi konkretūs įvesties duomenys.

3.3.1. Projekto gyvavimo trukmė

Projekto gyvavimo trukmė yra laikotarpis, kurio metu tikimasi, kad projektas sumažins ŠESD kiekį. Taršos mažinimo projektams, apimantiems infrastruktūrą arba įvairius materialius komponentus, įsigyto turto eksploatavimo laikas dažnai naudojamas kaip projekto trukmė. Projektuose, kuriuose neperkamas joks turtas, investicijų laikotarpis paprastai laikomas projekto gyvavimo trukme. Nustatyti elgesio pokyčių programų trukmę gali būti sunkiau.

3.3.2. Bendri projekto kaštai

Projekto kaštai parodo visas projekto įgyvendinimui reikalingas išlaidas ir visas einamąsias veiklos išlaidas. Renkant duomenis reikėtų atsižvelgti į:

- Išankstinės kapitalo išlaidas – tai bet kokio kapitalo, reikalingo projektui įgyvendinti, kaina.
- Finansavimo sąnaudas – jei iš karto nėra pakankamai lėšų projektui finansuoti, gali būti svarstomos alternatyvios finansavimo galimybės. Kai yra šio finansavimo išlaidų, pavyzdžiui, palūkanų norma, taip pat turėtų būti įtraukta į projekto išlaidas.
- Einamosios veiklos išlaidas – einamosiomis veiklos išlaidomis turėtų būti padengtos papildomos išlaidos, atsirandančios dėl projekto tęsimu per visą jo gyvavimo laikotarpį. Tai gali apimti tiesiogines tiekėjo išlaidas arba vidines darbo valandas, reikalingas projektui valdyti.

3.3.3. Numatomi projekto sutaupymai

Dažnai dėl taršos mažinimo projekto sunaudojama mažiau išteklių (pvz., elektros ar kuro), todėl su šiais ištekliais susijusios išlaidos taip pat sumažės, tai galima pavadinti eksploatacinių sąnaudų sutaupymu. Taip pat jeigu projekto gyvavimo pabaigoje lieka turtas, kurį galima parduoti, turto liekamoji vertė turėtų būti laikoma potencialiu pajamų šaltiniu.

3.3.4. Sutaupyta ŠESD kiekis per projekto gyvavimo laikotarpį

Norint įvertinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų sutaupymą įgyvendinus pasirinktą projektą, skaičiuojamas skirtumas tarp išmetamųjų ŠESD kiekis po projekto įgyvendinimo (projektinis scenarijus) ir išmetamų kiekiu prieš projekto įgyvendinimą (bazinis scenarijus). Šis skaičiavimas pateikiamas Klimato kaitos programos lėšų naudojimo tvarkos apraše [43].

Išmetamųjų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis bazinio ir projektinio scenarijaus atveju apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\text{Išmetamų ŠESD kiekis} = \text{veiklos duomenys} * \text{taršos faktorius}. \quad (1)$$

Pasirinktos mažinimo priemonės veiklos duomenis galima rasti Klimato kaitos programos lėšų naudojimo tvarkos apraše (1 lentelėje) [43]. Atveju jeigu šioje lentelėje nėra aprašytos pasirinktos priemonės, tuomet naudojami veiklos duomenys pagal projektą atitinkančią švarios plėtros mechanizmo projekto metodiką, kuri nurodyta Jungtinių Tautų Bendrosios klimato kaitos konvencijos sektoriaus internetiniame puslapyje [44].

Vertinant išmetamus ŠESD kiekius skaičiuojami tiek tiesioginiai, tiek ir netiesioginiai išmetamųjų ŠESD kiekiai per visą projekto gyvavimo laikotarpį.

Taršos faktoriai priklauso deginamo kuro rūšies, išmetamo CO₂ kiekio bei kitų procesų metu išsiskiriančio šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio. Įvairūs taršos faktoriai pateikiami Klimato kaitos programos lėšų naudojimo tvarkos apraše [43].

3.3.5. Projekto grynoji dabartinė vertė (NPV)

Grynoji dabartinė vertė apskaičiuojama pagal formulę:

$$\text{Grynoji dabartinė vertė} = \frac{\text{Projekto išlaidos} - \text{Projekto sutaupymai}}{(1 + \text{diskonto norma})^{\text{projekto gyvavimo laikotarpis}}} \quad (2)$$

Grynoji dabartinė vertė (NPV) parodo bendrą projekto vertę, susumavus visas jo išlaidas ir sutaupytas lėšas bei pakoregavus pagal pinigų laiko vertę. Kai išlaidos viršys santaupas, NPV bus neigiamos vertės, parodydama grynąsias projekto išlaidas. Ir atvirkščiai, kai sutaupoma daugiau nei išleidžiama, NPV bus teigiamas skaičius, rodantis, kad projektas atsipirks.

3.3.6. Ribiniai mažinimo kaštai

Norint apskaičiuoti ribinius mažinimo kaštus, reikia NPV padauginti iš neigiamo vieneto (-1). Tai parodo, kad projektai, kurių ribinės mažinimo išlaidos yra neigiamos, iš tikrųjų yra ekonomiškai perspektyvūs, nes juos įgyvendinus bus sutaupoma pinigų.

$$\text{Ribiniai mažinimo kaštai} \left(\frac{\text{Eur}}{t\text{CO}_2} \right) = \frac{-1 * \text{Grynoji dabartinė vertė (Eur)}}{\text{Viso projekto metu sumažintas ŠESD kiekis}} \quad (3)$$

Surinkus ir apskaičiavus projektų ribinius CO₂ mažinimo kaštus ir bendrąją teršalų sumažinimą duomenys atvaizduojami diagramoje. Diagramoje X ašyje atidedamas viso projekto metu sumažintas ŠESD kiekis, o Y ašyje – apskaičiuotos ribiniai mažinimo kaštai.

3.4. Metodikos privalumai ir trūkumai

Ribinių kaštų mažinimo kreivės yra naudingos nustatant anglies dvideginio išmetimo mažinimo galimybes, nes tai yra tvarkingas ir prieinamas įrankis, pagal kurį nustatomos priemonės pagal paprastą ekonominę metriką (Eur/tCO₂). Tai leidžia lygiavertėmis sąlygomis palyginti įvairių sektorių (pvz., transporto ir energijos) priemones ir tokiu būdu leidžia nustatyti, kur mažinimo galimybės yra didžiausios ir ekonomiškiausios.

Nors ribinių kaštų kreivė yra efektyvi priemonė, padedanti pabrėžti mažiausias ir pigiausias taršos mažinimo galimybes, ji turi tam tikrų apribojimų, ką ji gali pasiekti, ir neturėtų būti naudojama kaip vienintelė priemonė nustatant taršos mažinimo galimybes.

Kreivė pateikia visą projekto gyvavimą trunkantį NPV ir mažinimo potencialo vaizdą, todėl gali būti sunku palyginti skirtingo eksploatavimo trukmės projektus, pvz., 3 metų eksploatacijos keitimo programą ir saulės baterijų įrengimo programą. Nors saulės baterijų projektas gali suteikti daug didesnę taršos mažinimo galimybę, reikia atsiminti, kad tai iš viso trunka daugiau nei 20 metų, todėl gali nepadėti pasiekti jokių trumpalaikių tikslų.

Panašiai gali būti sunku įtraukti kompensacijų kainą dėl kintamos rinka pagrįstos kompensacijų kainodaros. Keičiantis kompensacijų kainai, taršos mažinimo projektai gali tapti daugiau ar mažiau ekonomiškai perspektyvūs. Reikia atsiminti, kad kompensacinės kainos keičiasi laikui bėgant, todėl kreivę gali prireikti reguliariai atnaujinti naujomis kompensacinėmis kainomis.

Siekiant kovoti su kreivės laiko apribojimais, ją galima generuoti ribotam laikotarpiui (pavyzdžiui, skaičiuoti sumažinimo galimybes tik po penkerių metų) arba tam tikriems metams.

4. Klimato kaitos mažinimo priemonių kaštų vertinimas

Toliau tyrime analizuojamos klimato kaitos mažinimo priemonės, kurios patenka į pasirinktas sritis:

- atsinaujinančių išteklių energijos kiekio didinimas;
- efektyvumo didinimas energetikos sektoriuje;
- elektra varomų transporto priemonių integravimas.

Pasirinktų priemonių įgyvendinimo investicijos ir eksploatacijos išlaidos bei grynoji dabartinė vertė vertinama pagal 3 skyriuje pateiktą metodiką atsižvelgiant į energijos bei išlaidų sutaupymus įgyvendinimo laikotarpiui. Taip pat įvertinami galimi išmetamųjų ŠESD kiekių kompensavimai. Šiais duomenimis remiantis apskaičiuojami kiekvienos priemonės ribiniai mažinimo kaštai.

4.1. Atsinaujinančių energijos išteklių kiekio didinimas

Atsinaujinančių išteklių energijos kiekio didinimui nagrinėti yra pasirenkamos šios priemonės:

- finansinė parama gaminantiems vartotojams;
- finansinė parama investuojant į mažos galios elektrines;
- atsinaujinančių energijos išteklių plėtra Baltijos jūroje;
- atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimas pramonėje;
- atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimas visuomeninės ir gyvenamosios paskirties pastatuose.

Pagal pateiktą Lietuvos energetikos agentūros statistiką [45] 2023 m. pradžioje buvo fiksuotas 27 MW gaminančių vartotojų suminės galios padidėjimas lyginant su 2022 metais, tačiau per pirmus 2023 metų mėnesius ši galia išaugo 75 MW, todėl tyrime priimama, kad kas metus gaminančių vartotojų skaičius vidutiniškai padidės 100 MW. Skaičiuojamos investicijos, reikalingos šiai priemonei, susideda iš valstybės skiriamos paramos gyventojams, norintiems įsirengti nuosavas saulės elektrines [46] bei vidutinės elektrinės įsirengimo kainos 1000 Eur/kW. Taip pat įvertinami elektrinių eksploataavimo fiksuoti kaštai, kurie prilyginami 15 Eur/kW [47].

Įvertinus aplinkos projektų valdymo agentūros paskelbtus duomenis [48] 2021 metais parama buvo suteikta 27 projektams mažos galios elektrinėms, kurios elektros energiją gamina iš atsinaujinančių energijos išteklių, šių projektų bendra galia buvo 23 MW, tačiau 2022 metais nebuvo paskelbtas kvietimas šiai paramai. Todėl tyrime priimama mažesnis metinis mažų elektrinių galingumų augimas – 14 MW. Investicijos skaičiuojamos taip pat kaip gaminantiems vartotojams, tik įvertinant šiai priemonei skirtą valstybės paramą. [49]

AEI finansavimo dydis visuomeninės, gyvenamosios bei pramonės srityse, priimamas pagal Klimato kaitos programos lėšų naudojimo 2021 m. sąmatą detalizuojantį planą [50] bei įvertinami elektrinių įsirengimo ir eksploataavimo kaštai.

Vėjo parko Baltijos jūroje projekto investicijos grindžiamos Energetikos ministerijos ir Centrinės projektų valdymo agentūros pasirašyta finansavimo iš ES lėšų sutartimi. [51] Taip pat įvertinamos reikalingos išorės partnerių investicijos ir vėjo parko metiniai eksploataavimo kaštai.

Vėjo parko energijos sutaupymai priimami remiantis Energetikos ministerijos skaičiavimais, kad 700 MW parkas galėtų pagaminti iki 2 TWh elektros energijos per metus. Saulės elektrinių energijos

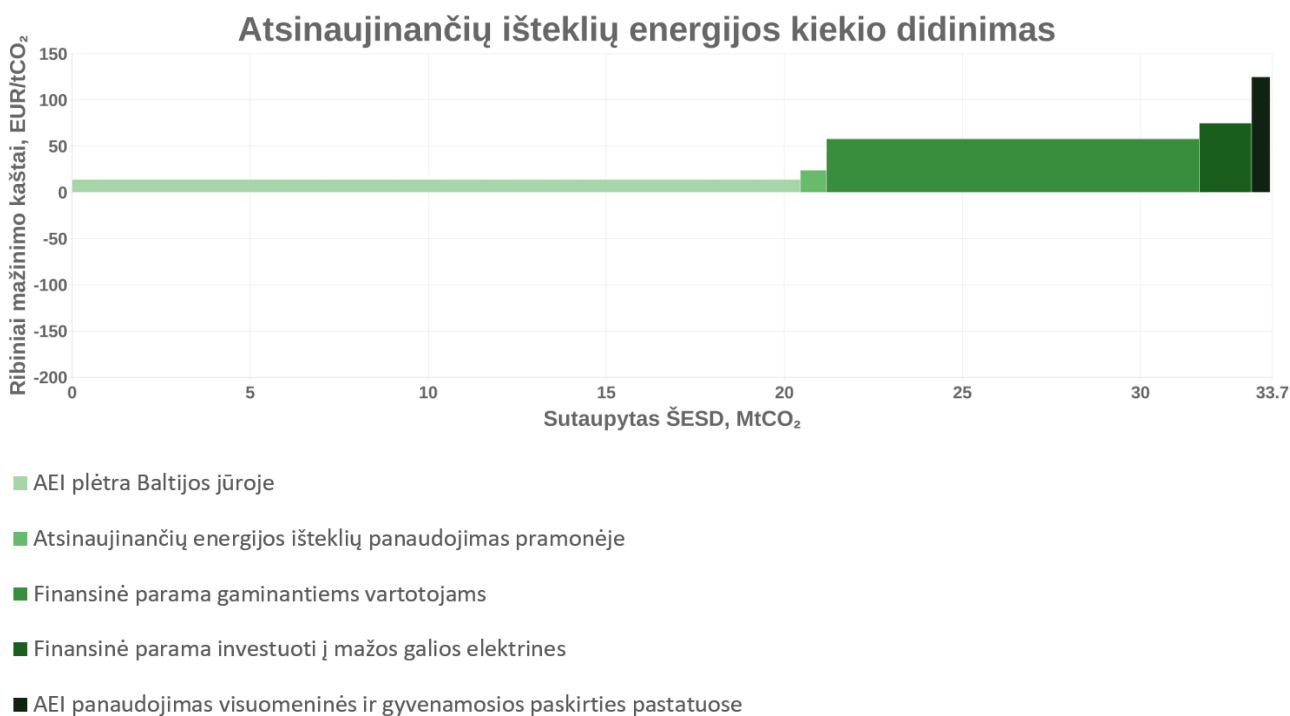
sutaupymas per metu apskaičiuojamas priimant, kad 1 kW galios saulės elektrinė per metus generuoja 850 kWh energijos [52]. Priimama, kad gyvavimo laikotarpiu elektros energijos kaina už kilovatvalandę bus: saulės energijos – 0,12 EUR/kWh, vėjo energijos – 0,041 EUR/kWh. [53]

Sutaupyta šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetamas kiekis apskaičiuojamas remiantis „Išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio sumažinimo vertinimo metodika“ [54] įvertinant koks kiekis būtų išmetamas prieš priemonės įgyvendinimą ir iš jo atimant ŠESD kiekį, kuris būtų išmetamas naudojant saulės/vėjo (priklausomai nuo priemonės) elektros energiją. Išmetamas ŠESD nustatomas pagal formulę (1), o taršos faktoriai parenkami: Lietuvoje vykdomiems projektams iš elektros energijos – 0,42 t CO₂e/MWh [54], vėjo – 11 gCO₂/kWh, saulės – 41 gCO₂/kWh [55].

Visi gauti duomenys suvedami į anksčiau aptartas formules ir gaunami pasirinktų priemonių ribiniai mažinimo kaštai. Duomenys bei gauti rezultatai pateikiami 3 lentelėje ir grafiškai atvaizduojami gauti priemonių ribiniai mažinimo kaštai (8 pav.).

3 lentelė. Atsinaujinančių išteklių energijos kiekio didinimo priemonių duomenys ir rezultatai

Priemonė	Investicijos, mln. EUR	Sutaupymai, mln. EUR	Sutaupyta ŠESD, MtCO ₂	Energijos sutaupymas, TWh	NPV, mln. EUR	Ribiniai mažinimo kaštai, EUR/tCO ₂
Finansinė parama gaminantiems vartotojams	3827,3	3315	10,4	27,6	-605,7	58
Finansinė parama investuoti į mažos galios elektrines	580,9	464,1	1,4	3,8	-110	75
AEI plėtra Baltijos jūroje	1761,5	2050	20,4	50	-276,3	14
Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimas pramonėje	220,1	232	0,7	1,9	-17,4	24
AEI panaudojimas visuomeninės ir gyvenamosios paskirties pastatuose	254,1	165,7	0,5	1,3	-65,4	125



8 pav. Atsinaujančių išteklių energijos kiekio didinimo priemonių ribiniai mažinimo kaštai

Pateiktame 8 paveiksle kiekvienas blokas nurodo skirtingą klimato kaitos mažinimui skirtą priemonę, šiuo atveju nagrinėjant atsinaujančių energijos išteklių kiekio didinimo priemones. Kiekvieno bloko plotis nurodo galimą anglies dvideginio išmetimo mažinimo kiekį, o aukštis – ribines mažinimo išlaidas. Priemonės atvaizduojamos ribinių kaštų didėjimo tvarka.

Skaičiavimo rezultatai rodo, kad AEI plėtros Baltijos jūroje ŠESD mažinimo potencialas yra 20,45 MtCO₂, kurį galima būtų pasiekti su 14 EUR/tCO₂ kaštais, vertinant tik AEI kiekio didinimo priemones tai yra priemonė turinti didžiausią potencialas už mažiausius kaštus. Pagal kompensuojamą ŠESD kiekį toliau rikiuotųsi finansinė parama gamintiems vartotojams, tačiau reikalingos investicijos yra didesnės net 4 kartus. AEI panaudojimo pramonėje ŠESD mažinimo potencialas yra 0,73 MtCO₂ ir jį būtų galima pasiekti su 24 EUR/tCO₂ kaštais,. O tuo tarpu finansinės paramos investuoti į mažos galios elektrines priemonės potencialas yra 2 kartus didesnis – 1,46 MtCO₂, tačiau jį pasiekti reikėtų net 3 kartus didesnių investicijų (75 EUR/tCO₂). Mažiausią ŠESD mažinimo potencialą garantuoja priemonė „AEI panaudojimas visuomeninės ir gyvenamosios paskirties pastatuose“, jis siekia tik 0,5 MtCO₂, kuris būtų pasiektas su 125 EUR/tCO₂ kaštais.

Analizuojant tik šios krypties priemones matyti, kad ekonomiškiausias variantas, vertinant CO₂ sumažinimo potencialą bei reikalingas investicijas yra AEI plėtra Baltijos jūroje, o projektas reikalaujantis didžiausių investicijų bei kompensuojantis mažiausią ŠESD kiekį – AEI panaudojimas visuomeninės ir gyvenamosios paskirties pastatuose.

4.2. Efektyvumo didinimas energetikos sektoriuje

Efektyvumo didinimui energetikos sektoriuje nagrinėti yra pasirenkamos šios priemonės:

- daugiabučių pastatų atnaujinimas (modernizavimas);
- viešųjų pastatų atnaujinimas;
- energijos efektyvumo didinimas įmonėse;
- individualių namų renovacija.

Kiekvienai pasirinktai priemonei numatomos investicijos yra identifikuojamos remiantis 2021–2027 metų Europos Sąjungos fondų investicijų programa [56], atsižvelgiant į programoje iškeltą konkretų uždavinį – „Skatinti energijos vartojimo efektyvumą ir mažinti išmetamųjų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį“, kuris orientuojasi į energijos vartojimo efektyvumo didinimą namų ūkiuose, viešuosiuose pastatuose, pramonės įmonėse bei gyvenamuosiuose daugiabučiuose namuose.

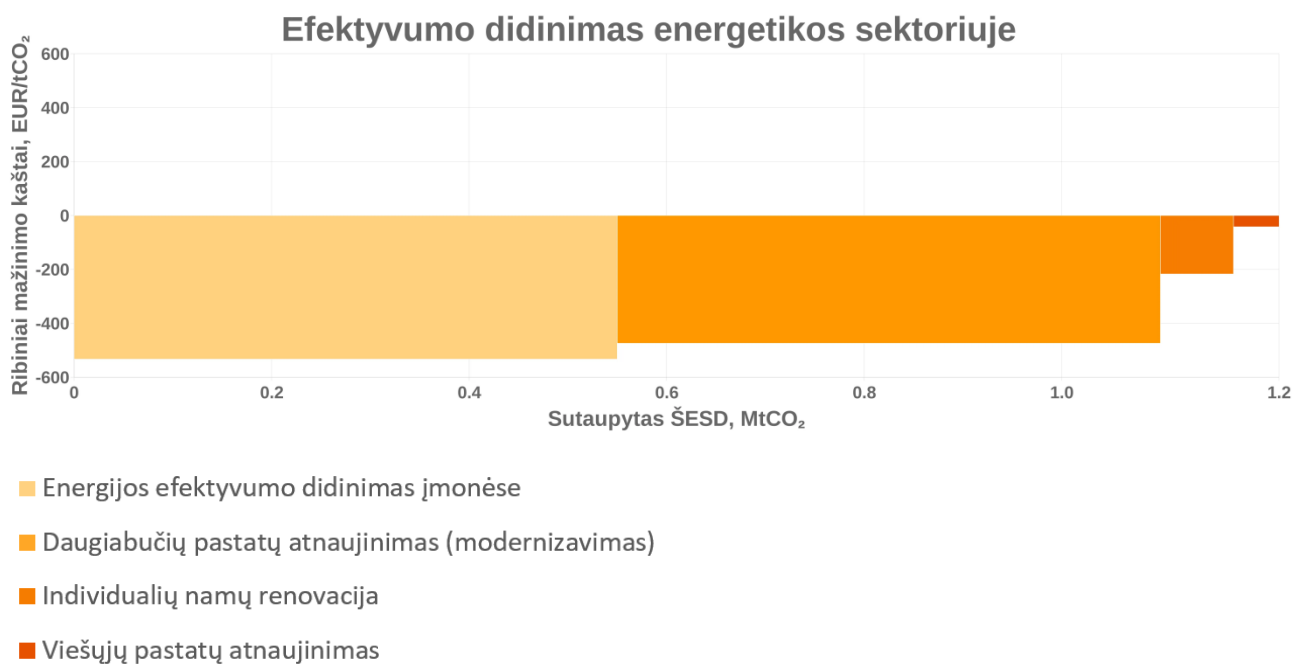
Informacija apie pasiektus energijos sutaupymus įgyvendinus pasirinktas efektyvumo didinimo energetikos sektoriuje priemones nustatoma iš Nacionalinio energetikos ir klimato srities veiksmų plano [21]. Priimama, kad šilumos kaina visų analizuojamų projektų gyvavimo laikotarpiu bus lygi 0,08 Eur/kWh [57].

Sutaupyta šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetamas kiekis apskaičiuojamas atsižvelgiant į sutaupytą energijos kiekį ir ŠESD emisijų faktorių Lietuvoje vykdomiems šiluminės energijos efektyvumo didinimo projektams 0,10 tCO₂/MWh, pateikiamą „Išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio sumažinimo vertinimo metodikoje“.[54]

Efektyvumo didinimo priemonių ribiniai mažinimo kaštai įvertinami pagal 3 sk. pateiktą metodiką atsižvelgiant į aukščiau minėtus duomenis. Duomenys bei gauti rezultatai pateikiami 4 lentelėje, o efektyvumo didinimo priemonių CO₂ mažinimo kaštai grafiškai pateikti 9 paveiksle.

4 lentelė. Efektyvumo didinimo energetikos sektoriuje priemonių duomenys ir rezultatai

Priemonė	Investicijos, mln. EUR	Sutaupymai, mln. EUR	Sutaupyta ŠESD, MtCO ₂	Energijos sutaupymas, TWh	NPV, mln.EUR	Ribiniai mažinimo kaštai, EUR/tCO ₂
Daugiabučių pastatų atnaujinimas (modernizavimas)	72,4	440	0,55	5,5	260,8	-474
Viešųjų pastatų atnaujinimas	31	44	0,055	0,55	2,3	-42
Energijos efektyvumo didinimas įmonėse	40,3	440	0,55	5,5	292,3	-533
Individualių namų renovacija	11,4	59,3	0,074	0,742	16,1	-217



9 pav. Efektyvumo didinimo energetikos sektoriuje priemonių ribiniai mažinimo kaštai

Iš gautų rezultatų matyti, kad visi efektyvumo didinimo energetikos sektoriuje priemonių ribiniai mažinimo kaštai yra neigiamos vertės, tai parodo, kad šios priemonės leidžia sumažinti ŠESD emisijas ir sutaupyti atitinkamą dydį investicijų už kiekvieną sumažintą CO₂ toną.

„Daugiabučių pastatų atnaujinimas“ ir „Energijos efektyvumo didinimas įmonėse“ priemonių ŠESD mažinimo potencialai yra lygūs – 0,55 MtCO₂, kurie atitinkamai sutaupyti 474 EUR/tCO₂ ir 533 EUR/tCO₂. Tuo tarpu individualių namų renovacija ir viešųjų pastatų atnaujinimas sumažintų apie 10 kartų mažesnę ŠESD kiekį, tačiau vis tiek sutaupyti atitinkamai po 217 EUR ir 42 EUR už toną CO₂.

Vertinant efektyvumo didinimo priemones ŠESD mažinimo kaštų atžvilgiu ekonomiškiausios yra energijos efektyvumo didinimo įmonėse priemonės, o mažiausias efektas pasiekiamas – viešųjų pastatų atnaujinimo atveju. Šis skirtumas matomas dėl skirtingo energijos intensyvumo. Didžioji dalis įmonių naudoja įvairias technologijas bei techniką, kurios reikalauja didelių energijos sąnaudų, todėl padidinus energijos efektyvumą bus matomas ypač didelis pokytis. O tuo tarpu viešuosiuose pastatuose energija reikalinga tik darbo metu ir tik nedidelio galingumo prietaisams.

4.3. Elektra varomų transporto priemonių integravimas

Elektra varomų transporto priemonių integravimui nagrinėti yra pasirenkamos šios priemonės:

- taršių lengvųjų transporto priemonių ribojimas (žaliųjų zonų sukūrimas), dviračių ir pėsčiųjų infrastruktūra;
- skatinimas naudoti atsinaujinančius energijos išteklius transporto sektoriuje;
- paskatos rinktis elektromobilius ar kitas netaršias transporto priemones;
- paskatos rinktis elektra, vandeniliu arba biodujomis varomas sunkiausias transporto priemones;
- viešojo transporto priemonių atnaujinimas ar pakeitimas netaršiomis, įkrovimo infrastruktūros sukūrimas.

Pasirinktų priemonių investicijų dydis ir energijos bei šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetamo kiekio sutapymai identifikuojami remiantis atliktu „Visų transporto sektorių (kelių, oro, vandens ir geležinkelių) svarbiausių ir didžiausių poveikį ŠESD mažinimui, energijos vartojimo efektyvumui ir AEI dalies didinimui darančių priemonių efektyvumo ekonominiu vertinimu“. [58]

Žaliųjų zonų, kuriose būtų draudžiama įvažiuoti vidaus degimo varikliais varomomis transporto priemonėmis, išlaikymo kaštai priimami pagal Škotijoje atlikto tyrimo apskaičiuotas metines vidutines išlaikymo kainas [59].

Elektra varomų automobilių metinis skaičiaus augimas įvertinamas pagal Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerijos pateiktas prognozes [60]. Tiek 2021 m., tiek ir 2022 m. Lietuvoje buvo užregistruoti 2500 grynųjų elektromobilių, vertinant didėjančią jų populiarumą ir įvedamas sankcijas vidaus degimo varikliais varomiems automobiliams, priimama, kad per metus Lietuvoje registruojamų elektromobilių skaičius vidutiniškai padidės 5000 vienetų.

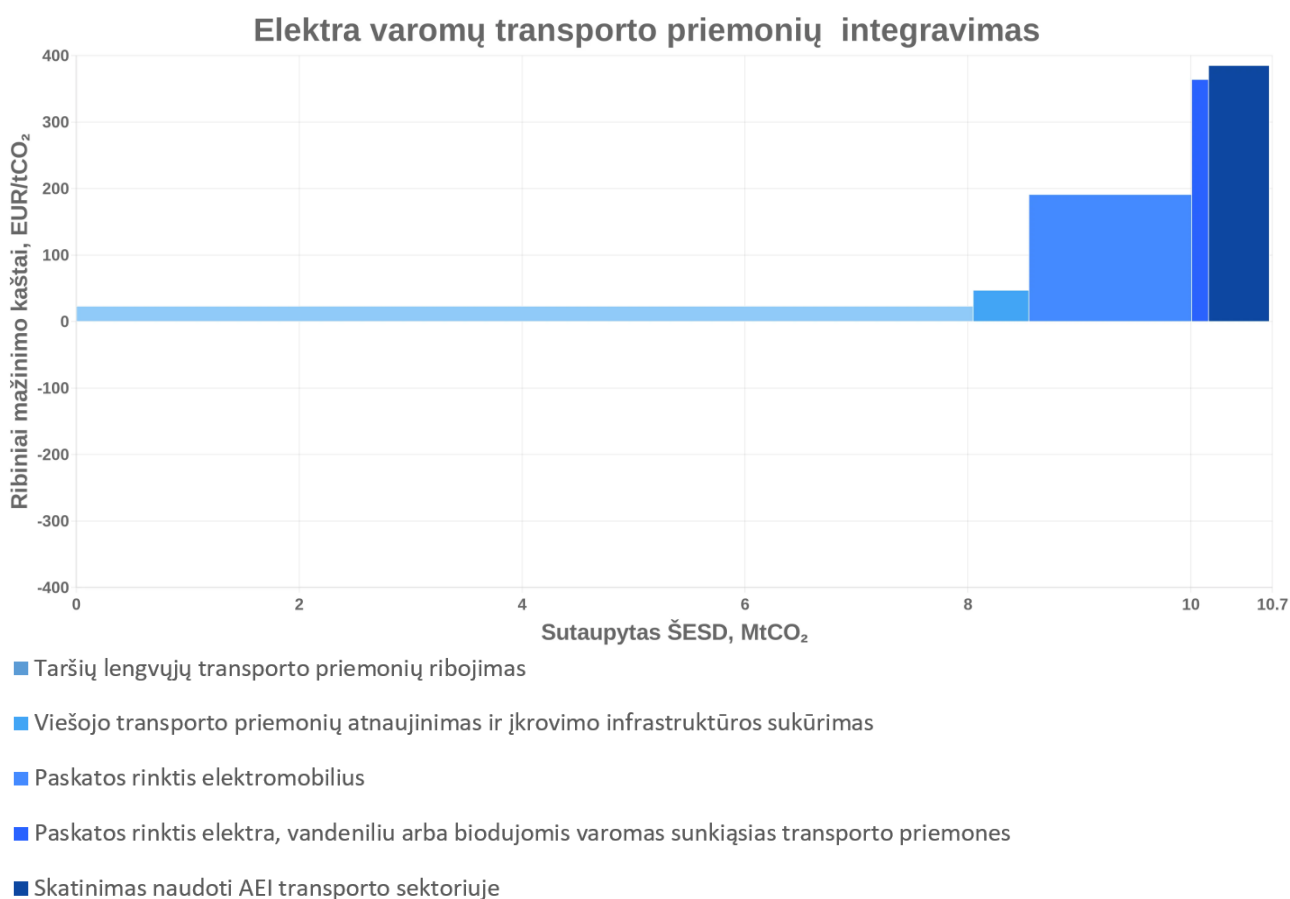
Elektra varomų automobilių investicijos susideda ne tik iš pateiktos valstybės paramos, bet ir vartotojo investicijų bei išlaikymo kainos. Šie duomenys įvertinami pagal pateiktą automobilio kainos indeksą 2022 m. [61] ir prilyginami vidutiniškai 1050 EUR per metus. Tokios pat investicijų dedamosios vertinamos ir vandeniliu varomiems automobiliams, tačiau jų išlaikymo kaštai priimami pagal pateiktą sąnaudų ir naudos analizę [62] bei prilyginami vidutiniškai 2000 EUR per metus.

Pagal Susisiekimo ministerijos infrastruktūros plėtros planus [63] viešųjų elektromobilių įkrovimo prieigų kas metus turėtų būti įrengta vidutiniškai po 700 vienetų, kad iki 2030 m. būtų pasiektas 6000 įkrovimo stotelių skaičius. Jų išlaikymui reikalingi kaštai įvertinami atsižvelgiant į JAV energijos departamento pateiktus skaičiavimus [64].

5 lentelėje pateikiami elektra varomų automobilių integravimo priemonių duomenys bei apskaičiuoti ribiniai mažinimo kaštai bei rezultatai grafiškai atvaizduojami 10 paveiksle.

5 lentelė. Elektra varomų transporto priemonių integravimo priemonių duomenys ir rezultatai

Priemonė	Investicijos, mln. EUR	Sutaupymai, mln. EUR	Sutapytas ŠESD, MtCO ₂	Energijos sutaupymas, TWh	NPV, mln.EUR	Ribiniai mažinimo kaštai, EUR/tCO ₂
Taršių lengvųjų transporto priemonių ribojimas (žaliųjų zonų sukūrimas), visuomenės švietimas ir įpročių keitimas, ekologiškas vairavimas.	293,5	122,5	8,05	12,3	-183,7	23
Skatinimas naudoti AEI transporto sektoriuje	660,8	418,2	0,55	1,05	-210,1	385
Paskatos rinktis elektromobilius ar kitas netaršias transporto priemones	971,3	644,8	1,46	1,61	-278,7	191
Paskatos rinktis elektra, vandeniliu arba biodujomis varomas sunkiasias transporto priemones	316,4	277,5	0,15	0,69	-55,3	364
Viešojo transporto priemonių atnaujinimas/pakeitimas netaršiomis ir įkrovimo infrastruktūros sukūrimas.	295,8	359	0,5	1,197	-23,3	47



10 pav. Elektra varomų transporto priemonių integravimo priemonių ribiniai mažinimo kaštai

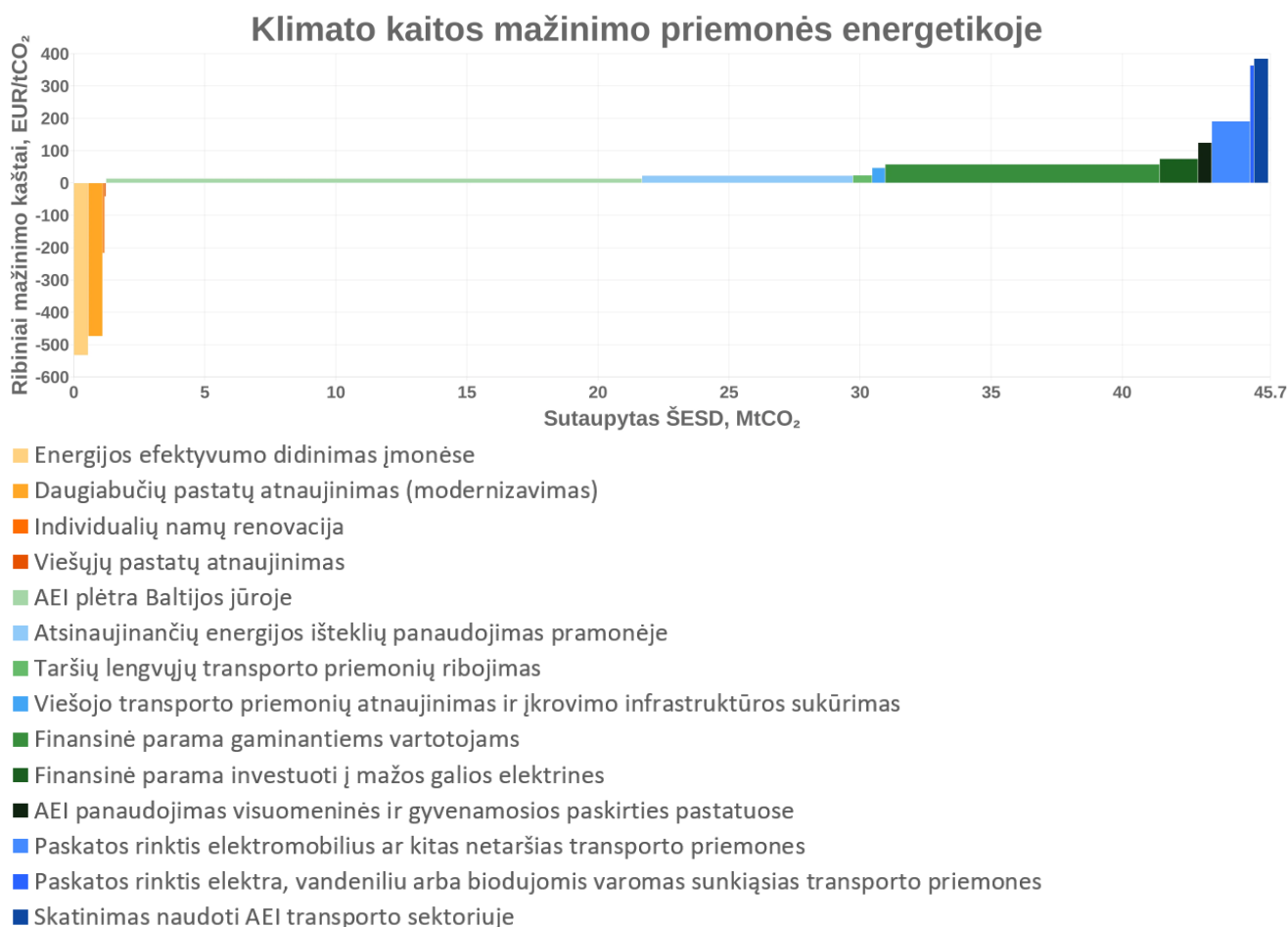
Kaip ir atsinaujinančių išteklių energijos kiekio didinimo priemonės, elektra varomų automobilių integravimo priemonių įgyvendinimas siekiant mažinti klimato kaitą reikalauja papildomų kaštų. Iš šių priemonių labai ryškiai išsiskiria taršiųjų lengvųjų transporto priemonių ribojimo projektas, jis pasiekia didžiausią ŠESD mažinimo potencialą – 8,05 MtCO₂, kuris yra net 3 kartus didesnis nei visų kitų priemonių potencialų suma. Taip pat jam reikalingi mažiausi kaštai, kurie yra lygūs 23 EUR/tCO₂.

„Viešojo transporto priemonių atnaujinimo ir įkrovimo infrastruktūros sukūrimas“ bei „Skatinimas naudoti AEI transporto sektoriuje“ priemonių potencialai yra lygūs 0,5 MtCO₂, tačiau investicijos į pirmąją priemonę yra 10 kartų mažesnės. Tuo tarpu investicijos į alternatyviais degalais varomas sunkiųjų transporto priemones yra labai panašios kaip ir AEI transporto skatinimas, tačiau jo potencialas yra 3 kartus mažesnis.

Vertinant pasirinktas elektra varomų automobilių integravimo priemones, pirmoje vietoje visais vertinimo kriterijais yra priemonė „Taršiųjų lengvųjų transporto priemonių ribojimas (žaliųjų zonų sukūrimas), visuomenės švietimas ir įpročių keitimas, ekologiškas vairavimas“. O mažiausiai ekonomiškos priemonės yra „Skatinimas naudoti AEI transporto sektoriuje“ – reikalaujanti daugiausia investicijų už sumažintą CO₂ toną (385 EUR/tCO₂) bei „Paskatos rinktis elektra, vandeniliu arba biodujomis varomas sunkiųjų transporto priemones“ – suteikianti mažiausią ŠESD mažinimo potencialą (0,15 MtCO₂).

4.4. Visų priemonių palyginimas

11 paveiksle grafiškai atvaizduota visų pasirinktų klimato kaitos mažinimo priemonių apskaičiuoti ribiniai mažinimo kaštai.



11 pav. Klimato kaitos mažinimo priemonių energetikoje ribiniai mažinimo kaštai

Įgyvendinus visas analizuotas energetikos priemones būtų galima sutaupyti apie 45,57 MtCO₂. Beveik pusė šio kiekio tenka vėjo parko įrengimui Baltijos jūroje, taip pat šio projekto investicijų klimato kaitos mažinimo kaštai yra mažiausi 14 EUR/tCO₂, neskaitant efektyvumo didinimo priemonių. Visos energijos efektyvumo didinimo priemonės jų įgyvendinimo laikotarpiu sutaupyty nuo 42 iki 533 EUR už kiekvieną sutaupyty toną CO₂. Nors šios priemonės yra ekonomiškiausios taršos mažinimo sąnaudų požiūriu, tačiau jų ŠESD mažinimo bendras potencialas yra tik 1,22 MtCO₂.

Vertinant visas priemones didžiausių investicijų reikalaujantys projektai yra parama renkantis alternatyviais degalais varomas sunkiąsias transporto priemones (364 EUR/tCO₂) ir skatinimas naudoti AEI transporto sektoriuje (385 EUR/tCO₂). Mažiausias išmetamųjų ŠESD kiekio sumažinimo potencialas tenka priemonių „Viešųjų pastatų atnaujinimas“ (0,05 MtCO₂) ir „Individualių namų renovacija“ (0,07 MtCO₂) įgyvendinimui. Apibendrinant, šių priemonių finansavimas yra mažiausiai ekonomiškai patrauklūs.

Trys priemonės, kurių kiekvienos išmetamųjų ŠESD kiekio sumažinimas sudaro 10% visų vertinamų priemonių, yra vėjo parkas Baltijos jūroje, gaminantys vartotojai bei taršių lengvųjų transporto

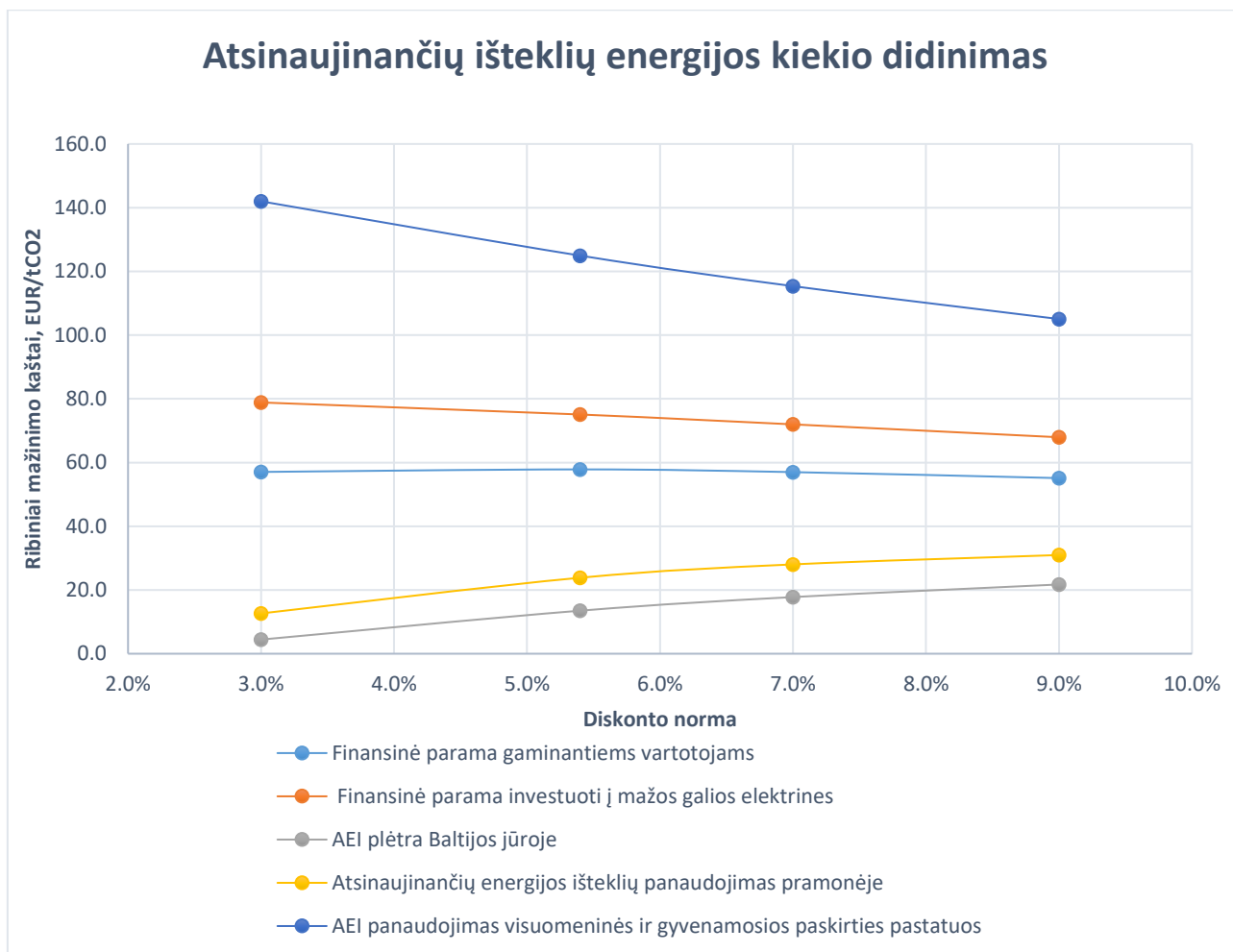
priemonių ribojimas. Dėl šios priežasties šių priemonių įgyvendinimui turėtų būti skiriamas pagrindinis dėmesys.

4.5. Jautrumo analizė

Atliekama pasirinktų klimato kaitos mažinimo priemonių jautrumo analizė, įvertinant grynosios dabartinės vertės ir ribinių mažinimo kaštų vertes esant skirtingoms diskonto normoms. Pasirinktos vertės yra 3%, 7%, 9% ir anksčiau skaičiavimuose taikyta 5,4 % vertė. Gauti rezultatai pateikiami 6, 7 ir 8 lentelėse. Gautų ribinių mažinimo kaštų priklausomybės atvaizduojamos 12, 13 ir 14 paveiksluose.

6 lentelė. Atsinaujinančių išteklių energijos kiekio didinimo priemonių ekonominiai rodikliai prie skirtingų diskonto normos verčių

Atsinaujinančių išteklių energijos kiekio didinimas			
Priemonė	Diskonto norma	NPV, mln. EUR	Ribiniai mažinimo kaštai, EUR/CO2
Finansinė parama gaminantiems vartotojams	3.0%	-597.4	57.1
	5.4%	-605.7	57.9
	7.0%	-596.8	57.0
	9.0%	-577.1	55.1
Finansinė parama investuoti į mažos galios elektrines	3.0%	-115.6	78.9
	5.4%	-110.1	75.1
	7.0%	-105.5	72.0
	9.0%	-99.6	67.9
AEI plėtra Baltijos jūroje	3.0%	-90.7	4.4
	5.4%	-276.3	13.5
	7.0%	-363.6	17.8
	9.0%	-444.4	21.7
Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimas pramonėje	3.0%	-9.3	12.6
	5.4%	-17.5	23.8
	7.0%	-20.5	28.0
	9.0%	-22.7	31.0
AEI panaudojimas visuomeninės ir gyvenamosios paskirties pastatuose	3.0%	-74.3	142.0
	5.4%	-65.4	125.0
	7.0%	-60.4	115.4
	9.0%	-55.0	105.0

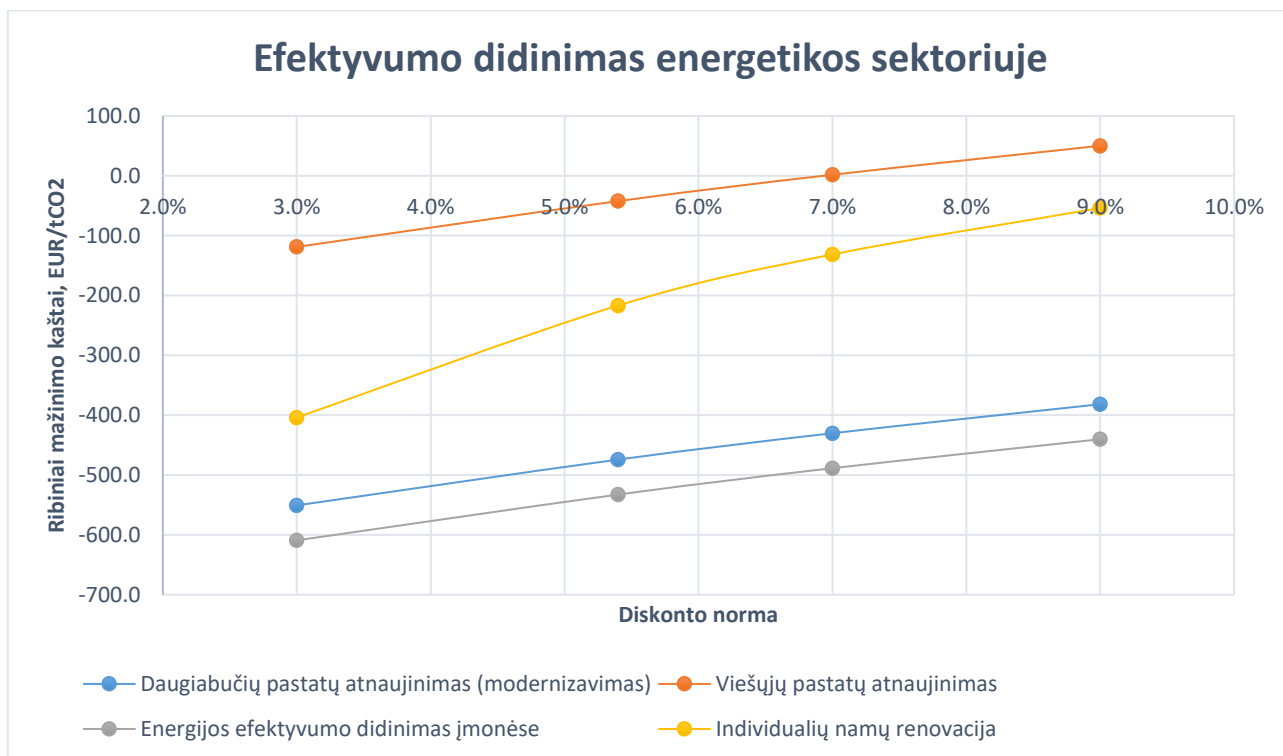


12 pav. Ribinių mažinimo kaštų priklausomybė nuo diskonto normos (Atsinaujinančių išteklių energijos kiekio didinimas)

Atlikus jautrumo analizės skaičiavimus matoma, kad kintant diskonto normai priemonių ribiniai mažinimo kaštai kinta skirtingai. Priemonių „Finansinė parama investuoti į mažos galios elektrines“ ir „Finansinė parama gaminantiems vartotojams“ ribinių mažinimo kaštų pokytis yra mažiausias (apie 15%). Abejose priemonėse matomas vertės mažėjimas. AEI panaudojimo pramonėje ir AEI plėtros Baltijos jūroje priemonių ribiniai mažinimo kaštai didėja (pirmosios priemonės – 5 kartus, antrosios – 3 kartus) kylant diskonto normai, tai lemia grynosios dabartinės vertės mažėjimą augant diskonto normai. „AEI panaudojimas visuomeninės ir gyvenamosios paskirties pastatuose“ priemonės ribiniai mažinimo kaštai, priklausomai nuo diskonto normos, kinta labiausiai – diskonto normai pakilus 30%, kaštai sumažėja 30%.

7 lentelė. Efektyvumo didinimo energetikos sektoriuje priemonių ekonominiai rodikliai prie skirtingų diskonto normos verčių

Efektyvumo didinimas energetikos sektoriuje			
Priemonė	Diskonto norma	NPV, mln. EUR	Ribiniai mažinimo kaštai, EUR/CO2
Daugiabučių pastatų atnaujinimas (modernizavimas)	3.0%	302.9	-550.6
	5.4%	260.8	-474.1
	7.0%	236.6	-430.1
	9.0%	209.9	-381.6
Viešųjų pastatų atnaujinimas	3.0%	6.5	-118.8
	5.4%	2.3	-42.3
	7.0%	-0.1	1.7
	9.0%	-2.8	50.2
Energijos efektyvumo didinimas įmonėse	3.0%	335.0	-609.1
	5.4%	292.9	-532.6
	7.0%	268.7	-488.6
	9.0%	242.1	-440.1
Individualių namų renovacija	3.0%	30.0	-403.9
	5.4%	16.1	-216.7
	7.0%	9.7	-131.4
	9.0%	4.0	-53.8

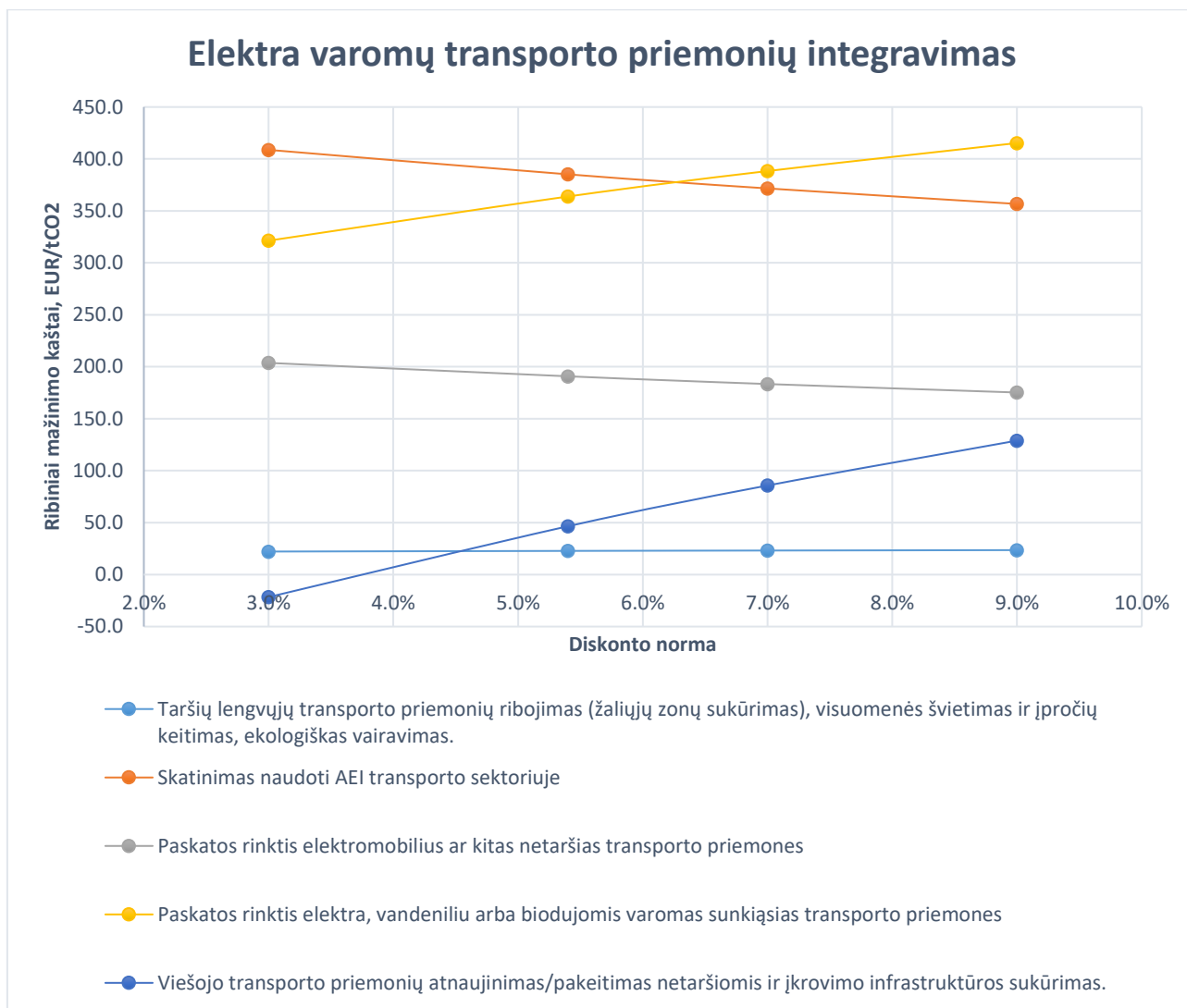


13 pav. Ribinių mažinimo kaštų priklausomybė nuo diskonto normos (Efektyvumo didinimas energetikos sektoriuje)

13 paveiksle galima matyti, kad visų efektyvumo didinimo energetikos sektoriuje priemonių ribiniai mažinimo kaštai didėja kylant diskonto normos vertei, tai lemia mažėjantis NPV. Didžiausias šuolis matomas „Individualių namų renovacija“ priemonėje, jos kaštai pakyla daugiau nei 7 kartais. „Daugiabučių pastatų atnaujinimo“ ir „Energijos efektyvumo didinimo įmonėse“ priemonių kaštai kinta panašiai, pakilus diskonto normai 30%, kaštai pakyla irgi 30%. „Viešųjų pastatų atnaujinimo“ priemonės ribiniai mažinimo kaštai, diskonto normai pakilus daugiau nei 7%, tampa teigiami, vadinasi kiekvienai sutaupytam CO₂ tonai reikalingos tam tikros investicijos.

8 lentelė. Elektra varomų transporto priemonių integravimo priemonių ekonominiai rodikliai prie skirtingų diskonto normos verčių

Elektra varomų transporto priemonių integravimas			
Priemonė	Diskonto norma	NPV, mln. EUR	Ribiniai mažinimo kaštai, EUR/CO₂
Taršių lengvųjų transporto priemonių ribojimas (žaliųjų zonų sukūrimas), visuomenės švietimas ir įpročių keitimas, ekologiškas vairavimas.	3.0%	-178.7	22.2
	5.4%	-183.7	22.8
	7.0%	-186.6	23.2
	9.0%	-189.8	23.6
Skatinimas naudoti AEI transporto sektoriuje	3.0%	-222.9	408.8
	5.4%	-210.0	385.2
	7.0%	-202.6	371.7
	9.0%	-194.5	356.7
Paskatos rinktis elektromobilius ar kitas netaršias transporto priemones	3.0%	-297.6	203.8
	5.4%	-278.7	190.9
	7.0%	-267.8	183.4
	9.0%	-255.9	175.2
Paskatos rinktis elektra, vandeniliu arba biodujomis varomas sunkiausias transporto priemones	3.0%	-48.8	321.4
	5.4%	-55.3	363.9
	7.0%	-59.0	388.4
	9.0%	-63.1	415.3
Viešojo transporto priemonių atnaujinimas/pakeitimas netaršiomis ir įkrovimo infrastruktūros sukūrimas.	3.0%	10.8	-21.6
	5.4%	-23.3	46.5
	7.0%	-42.9	85.8
	9.0%	-64.5	129.0



14 pav. Ribinių mažinimo kaštų priklausomybė nuo diskonto normos (Elektra varomų transporto priemonių integravimas)

Šioje priemonių grupėje matomos dvi tendencijos. Pirmoji, trijų priemonių: „Taršių lengvųjų transporto priemonių ribojimas“, „Paskatos rinktis elektromobilius“ ir „Skatinimas naudoti AEI transporto sektoriuje“, ribiniai mažinimo kaštai kinta ne daugiau 10%. Antroji tendencija, priemonių „Paskatos rinktis elektra, vandeniliu arba biodujomis varomas sunkiąsias transporto priemones“ ir „Viešojo transporto priemonių atnaujinimas/pakeitimas netaršiomis ir įkrovimo infrastruktūros sukūrimas“, ribiniai mažinimo kaštai kinta labai stipriai, matomas 40% padidėjimas. Vienintelė viešojo transporto atnaujinimo priemonė gali pasiekti neigiamą vertę, diskonto normai nukritus žemiau 3,7% vertei.

Išvados

1. Atlikta energetikos įtakos klimato kaitai analizė rodo, kad didžiausias klimato kaitą sukeliantis veiksnys yra šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos didėjimas, kurio šaltiniai – iškastinio kuro deginimo elektrinės, motorinės transporto priemonės bei pramoniniai gamybos procesai. Auganti ŠESD koncentracija stiprina šiltnamio efektą ir lemia vidutinės pasaulio oro temperatūros kilimą.
2. Atlikta klimato kaitos mažinimo būdų energetikoje analizė rodo, kad priemonės, siekiant sumažinti išmetamųjų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį gali būti klasifikuojamos pagal priemonės prigimtį ir skirstomos į ekonomines, fiskalines ir technologines priemones. Nustatyta, kad energetikos sektoriaus klimato kaitos mažinimo priemonių kaštus tikslinga analizuoti trimis pagrindinėmis priemonių grupėmis: atsinaujinančių išteklių energijos kiekio didinimas, efektyvumo didinimas energetikos sektoriuje ir elektra varomų transporto priemonių integravimas.
3. Atlikta klimato kaitos mažinimo priemonių poveikio vertinimo metodikų analizė parodė, kad norint įvertinti įvairių mažinimo priemonių kaštus ir naudą, siekiant apskaičiuoti ŠESD mažinimo kaštus už toną CO₂ ekvivalento, galima naudoti ribinių taršos mažinimo kaštų kreivės metodą. Šis metodas leidžia nustatyti vidutinius išmetamo ŠESD kiekio mažinimo kaštus ir potencialą analizuojant skirtingas alternatyvas.
4. Atliktas atrinktų klimato kaitos mažinimo priemonių ribinių mažinimo kaštų vertinimas parodė, kad įgyvendinus visas pasirinktas priemones ŠESD mažinimo potencialas būtų 45,57 MtCO₂. Ekonomiškiausia priemonė ir didžiausias ŠESD mažinimo potencialas 20,45 MtCO₂ priklauso „AEI plėtra Baltijos jūroje“, šis potencialas gali būti pasiektas su 14 EUR/tCO₂ kaštais. Energijos efektyvumo didinimo energetikos sektoriuje priemonių kaštai yra neigiami, tai rodo, kad šių priemonių įgyvendinimas gali sutaupyti nuo 42 iki 533 EUR už kiekvieną sutaupytą toną CO₂, tačiau šių priemonių bendras ŠESD mažinimo potencialas yra 1,22 MtCO₂, o tai yra tik 2,6% visų analizuotų priemonių potencialo. Mažiausias apskaičiuotas ŠESD mažinimo potencialas priklauso „Viešųjų pastatų atnaujinimo“ priemonei ir jis yra lygus 0,055 MtCO₂, o didžiausių investicijų už 1 CO₂ toną reikalauja priemonė „Skatinimas naudoti AEI transporto sektoriuje“, jos mažinimo kaštai yra lygūs 385 EUR/tCO₂.

Literatūros sąrašas

1. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. 2021 one of the seven warmest years on record, WMO consolidated data shows [interaktyvus]. 2022. no. 19012022 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/2021-one-of-seven-warmest-years-record-wmo-consolidated-data-shows>
2. NASA EARTH OBSERVATORY. Solar Radiation and Climate Experiment (SORCE) [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: https://earthobservatory.nasa.gov/features/SORCE/sorce_02.php
3. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. Energetikos sektoriaus padariniai klimato kaitai: ar įmanoma juos sušvelninti ir kaip tai padaryti? [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://klimatokaita.lt/klimato-kaitos-svelninimas/energetikos-sektoriaus-padariniai-klimato-kaitai-ar-imanoma-juos-susvelninti-ir-kaip-tai-padaryti/>
4. EUROPOS VADOVŲ TARYBA. Paryžiaus susitarimas dėl klimato kaitos [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.consilium.europa.eu/lt/policies/climate-change/paris-agreement/>
5. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2022. no. 2022/08/PR [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/resources/press/press-release>
6. LAMB, W. ir kt. A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environ* [interaktyvus]. 2021. Vol. 16, no. 7 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abee4e/meta>
7. ZHENG, X. ir kt. A review of greenhouse gas emission profiles, dynamics, and climate change mitigation efforts across the key climate change players. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2019. Vol. 234, p. 1113-1133 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S0959652619320943?via%3Dihub>
8. ENERDATA. Share of renewables in electricity production [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://yearbook.enerdata.net/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html>
9. INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. Renewable Capacity Statistics 2022 [interaktyvus]. 2022. ISBN: 978-92-9260-428-8 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022>
10. PAPADIS, E. - TSATSARONIS, G. Challenges in the decarbonization of the energy sector. *Energy* [interaktyvus]. 2020. Vol. 205, no. 118025 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220311324#bib11>
11. LIU, D. ir kt. What causes growth of global greenhouse gas emissions? Evidence from 40 countries. *Science of The Total Environment* [interaktyvus]. 2019. Vol. 661, p. 750-766 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S0048969719302165>

12. LÖFFLER, K. ir kt. Modeling the low-carbon transition of the European energy system - A quantitative assessment of the stranded assets problem. *Energy Strategy Reviews* [interaktyvus]. 2019. Vol. 26, no. 100422 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X19301142>
13. BLUSZCZ, A. - MANOWSKA, A. Differentiation of the Level of Sustainable Development of Energy Markets in the European Union Countries. *Energies* [interaktyvus]. 2020. Vol. 13, no. 18, p. 4882 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/18/4882>
14. SKRÚCANÝ, T. ir kt. Impact of the Electric Mobility Implementation on the Greenhouse Gases Production in Central European Countries. *Sustainability* [interaktyvus]. 2019. Vol. 11, no. 18, p. 4948 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/18/4948/htm>
15. THE SYDNEY MORNING HERALD. Kyoto deal loses four big nations [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.smh.com.au/environment/climate-change/kyoto-deal-loses-four-big-nations-20110528-1f9dk.html>
16. EUROPEAN COMMISSION. Climate strategies & targets [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets_en
17. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. EU achieves 20-20-20 climate targets, 55 % emissions cut by 2030 reachable with more efforts and policies [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.eea.europa.eu/highlights/eu-achieves-20-20-20>
18. EUROPEAN COUNCIL. The 2030 climate and energy framework [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/climate-change/2030-climate-and-energy-framework/>
19. KONSTANTINAVIČIŪTĖ I. Nacionalinių išmetamų į atmosferą šiltnamio efekto sukeliančių dujų kiekio prognozių rengimo metodinių gairių parengimas [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/KLIMATO%20KAITA/Studijos%20%20metodin%204%97%20med%20C5%BEiaga/Galutine_ataskaita_20170109.pdf
20. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. Jungtinių Tautų bendrosios klimato kaitos konvencijos Kioto protokolas [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.197965>
21. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. Lietuvos Respublikos nacionalinis energetikos ir klimato srities veiksnių planas 2021-2030 m. [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/KLIMATO%20KAITA/Integruotas%20planas/Final%20NECP.pdf>
22. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Decarbonising road transport — the role of vehicles, fuels and transport demand [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.eea.europa.eu/publications/transport-and-environment-report-2021>

23. PETRAUSKIENE, K. ir kt. Situation Analysis of Policies for Electric Mobility Development: Experience from Five European Regions. *Sustainability* [interaktyvus]. 2020. Vol. 12, no. 7, p. 2935 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/7/2935>
24. REGITRA. Atviri duomenys. Transporto priemonių parko duomenys pagal degalų rūšį (2022 m. lapkričio 1 d. duomenys) [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.regitra.lt/lt/atviri-duomenys/>
25. WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION. World Market for Wind Power Saw Another Record Year in 2021: 97,3 Gigawatt of New Capacity Added [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://wwindea.org/world-market-for-wind-power-saw-another-record-year-in-2021-973-gigawatt-of-new-capacity-added/>
26. KANYAKO, F. - BAKER, E. Uncertainty analysis of the future cost of wind energy on climate change mitigation. *Climate Change* [interaktyvus]. 2021. Vol. 166, no. 10 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://link-springer-com.ezproxy.ktu.edu/article/10.1007/s10584-021-03105-0>
27. EUROPEAN COMMISSION. EU overachieves 2020 renewable energy target [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220119-1>
28. POTRČ, S. ir kt. Sustainable renewable energy supply networks optimization – The gradual transition to a renewable energy system within the European Union by 2050. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2021. Vol. 146, no. 111186 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S1364032121004743?via%3Dihub>
29. LIETUVOS RESPUBLIKOS ENERGETIKOS MINISTERIJA. Gaminantys vartotojai Lietuvoje: Ilgalaikė vizija [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/ENMIN_gaminantys_vartotojai_vizija.pdf
30. LIETUVOS RESPUBLIKOS ENERGETIKOS MINISTERIJA. 2020 metų veiklos ataskaita [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/2021%2004%2021%20EM%202020%20met%C5%B3%20veiklos%20ataskaita.pdf>
31. EUROPOS KOMISIJA. 2019 m. Europos semestras. Struktūrinių reformų pažangos vertinimas, makroekonominio disbalanso prevencija ir naikinimas ir pagal Reglamentą (ES) Nr. 1176/2011 atliktų nuodugnių apžvalgų rezultatai [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/file_import/2019-european-semester-country-report-lithuania_lt.pdf
32. EUROPOS PARLAMENTAS IR TARYBA. Direktyva (ES) 2018/2002 [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2002&from=EN>
33. BŪSTO ENERGIJOS TAUPYMO AGENTŪRA. Daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programa [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://modernizuok.apva.lt/doclib/aocnemuyusxe7ec29t38n5b93dmmswe>

34. ŽIGIENĖ, G. ir kt. The Challenges of Mitigating Climate Change Hidden in End-User Beliefs and Expectations. *Sustainability* [interaktyvus]. 2021. Vol. 13, no. 5, p. 2616 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/5/2616>
35. NUR CHAIRAT A. S. ir kt. Applications of Marginal Abatement Cost Curve (MACC) for Reducing Greenhouse Gas Emissions: A Review of Methodologies. *Nature Environment and Pollution Technology. An International Quarterly Scientific Journal* [interaktyvus]. 2022. Vol 22, no. 3, p. 1317-1323 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: [https://neptjournal.com/upload-images/\(38\)D-1304.pdf](https://neptjournal.com/upload-images/(38)D-1304.pdf)
36. JIANG H. ir kt. The hotspots, reference routes, and research trends of marginal abatement costs: A systematic review. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2020. Vol. 252 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S0959652619346797?via%3Dihub>
37. WANG K. ir kt. The marginal abatement cost curve and optimized abatement trajectory of CO₂ emissions from China's petroleum industry. *Regional Environmental Change* [interaktyvus]. 2020. Vol 20, no.131 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://link.springer.com.ezproxy.ktu.edu/article/10.1007/s10113-020-01709-3>
38. LUND H. ir kt. Simulation versus Optimisation: Theoretical Positions in Energy System Modelling. *Energies* [interaktyvus]. 2017. 10 (7), 840 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/7/840/htm#:~:text=These%20decision%20variables%20are%20typically,for%20the%20optimal%20system%20design>
39. ZHANG X. ir kt. Development of an SMR-induced environmental input-output analysis model – Application to Saskatchewan, Canada. *Science of The Total Environment* [interaktyvus]. 2022. Vol. 806, part 1 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S0048969721053742?via%3Dihub>
40. RAJBHANDARI S. ir kt. The impact of different GHG reduction scenarios on the economy and social welfare of Thailand using a computable general equilibrium (CGE) model. *Energy, Sustainability and Society* [interaktyvus]. 2019. 9, Article number: 19 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://energysustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-019-0200-9>
41. VOKIETIJOS TARPTAUTINIO BENDRADARBIAVIMO ORGANIZACIJA. Methodological approach towards the assessment of simulation models suited for the economic evaluation of mitigation measures to facilitate NDC implementation [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: [https://d1v9sz08rbysvx.cloudfront.net/ee/media/assets/simmodel-methodological-approach-\(web\)_20180214.pdf](https://d1v9sz08rbysvx.cloudfront.net/ee/media/assets/simmodel-methodological-approach-(web)_20180214.pdf)
42. CLIMATEWORKS CENTRE. How to read a marginal abatement cost curve [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.climateworkscentre.org/resource/how-to-read-a-marginal-abatement-cost-curve/>
43. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. Dėl Klimato kaitos specialiosios programos lėšų naudojimo tvarkos aprašo patvirtinimo [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.369461/asr>
44. UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE. The Clean Development Mechanism [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol/mechanisms-under-the-kyoto-protocol/the-clean-development-mechanism>

45. LIETUVOS ENERGETIKOS AGENTŪRA. Gaminantys vartotojai [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.ena.lt/gaminantys-vartotojai/>
46. APLINKOS PROJEKTŲ VALDYMO AGENTŪRA. Jau galima teikti paraiškas įsirengti saulės elektrinę namų ūkiuose: parama siekia beveik 30 mln. eurų [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.apva.lt/jau-galima-teikti-paraiskas-isirengti-saules-elektrine-namu-ukiuose-parama-siekia-beveik-30-mln-euru/>
47. MY SUN What would be the annual maintenance cost for a solar PV system? [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.itsmysun.com/faqs/what-would-be-the-annual-maintenance-cost-for-a-solar-pv-system/>
48. APVIS: APLINKOS PROJEKTŲ VALDYMO INFORMACINĖ SISTEMA. Paraiškų statistika [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: https://apvis.apva.lt/statistika/paraisku-statistika?priemone=23&postinvitation=32&statistics_status%5B%5D=3027
49. APLINKOS PROJEKTŲ VALDYMO AGENTŪRA. Kvietimas mažos galios atsinaujinančios energetikos projektams [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.apva.lt/kvietimas-mazos-galios-atsinaujinancios-energetikos-projektams/>
50. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. Dėl Klimato kaitos programos lėšų naudojimo 2021 m. sąmatą detalizuojančio plano patvirtinimo [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/fc4c49e0a27a11ebb9bbd96a0c51af2c/asr>
51. LIETUVOS RESPUBLIKOS ENERGETIKOS MINISTERIJA. Vėjo parko Baltijos jūroje projektas [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/elektra/vejo-parko-baltijos-juroje-projektas>
52. ECO RENEWABLE GROUP. Solar power output [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.ecorenewablesgroup.co.uk/solar-pv/solar-power-output/>
53. VALSTYBINĖ ENERGETIKOS REGULIAVIMO TARYBA. Tarifai [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.regula.lt/atsinaujinantys-istekliai/Puslapiai/tarifai.aspx>
54. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. Dėl Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2010 m. balandžio 6 d. įsakymo Nr. D1-275 „Dėl Klimato kaitos programos lėšų naudojimo tvarkos aprašo patvirtinimo“ pakeitimo. 2 priedas [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/21576262a0d311ea51db668f0092944>
55. SOLAR.COM. What is the Carbon Footprint of Solar Panels? [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.solar.com/learn/what-is-the-carbon-footprint-of-solar-panels/>
56. LIETUVOS RESPUBLIKOS FINANSŲ MINISTERIJA. 2021–2027 m. ES fondų investicijų programa [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://2021.esinvesticijos.lt/dokumentai/2021-2027-m-es-fondu-investiciju-programa>
57. LIETUVOS ŠILUMOS TIEKĖJŲ ASOCIACIJA. Šilumos kainos [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://lsta.lt/silumos-ukis/silumos-kaina/>
58. KĖDAITIENĖ A. ir kt. Visų transporto sektorių (kelių, oro, vandens ir geležinkelių) svarbiausių ir didžiausių poveikį ŠESD mažinimui, energijos vartojimo efektyvumui ir AEI dalies didinimui darančių priemonių efektyvumo ekonominis įvertinimas [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą:

<https://sumin.lrv.lt/uploads/sumin/documents/files/Transporto%20priermonių%20ekonominio%20efektyvumo%20vertinimas%2020211230.pdf>

59. TRANSPORT SCOTLAND ENVIRONMENTAL AUDIT & ADVISORY FRAMEWORK. Task 1 - Developing Cost Estimates for Low Emission Zones in Scotland. [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.transport.gov.scot/media/43653/developing-cost-estimates-for-low-emission-zones-in-scotland-sept-2017.pdf>

60. LIETUVOS RESPUBLIKOS SUSISIEKIMO MINISTERIJA. Elektromobilių skaičius Lietuvoje [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://sumin.lrv.lt/lt/veiklos-sritis/kita-veikla/pletra-ir-inovacijos/elektromobiliu-skaicius-lietuvoje>

61. LEASEPLAN INTERNATIONAL COSULTANCY SERVICES. Car cost index 2022 [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.leaseplan.com/en-ix/blog/tco/2022-car-cost-index/>

62. CRETI A. ir kt. A cost benefit analysis of fuel cell electric vehicles. *HAL Science* [interaktyvus]. 2015. hal-01116997 [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: <https://hal.science/hal-01116997/document>

63. LIETUVOS RESPUBLIKOS SUSISIEKIMO MINISTERIJA. Lietuvos viešosios elektromobilių įkrovimo infrastruktūros plėtra iki 2030 m. [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: https://sumin.lrv.lt/uploads/sumin/documents/files/Teisine_informacija/Teises_aktai/Ekstremaliuju_situaciju_valdymas_ir_pavojinguju_kroviniu_vezimas/EV%20zemelapis%202022_05_11.pdf

64. U. S. DEPARTAMENT OF ENERGY. Charging Infrastructure Operation and Maintenance [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-17]. Prieiga per internetą: https://afdc.energy.gov/fuels/electricity_infrastructure_maintenance_and_operation.html