

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS  
LIETUVOS ENERGETIKOS INSTITUTAS

JUSTINA BANIONIENĖ

**INVESTICIJŲ Į TECHNOLOGIJAS VERTINIMAS  
EKONOMIKAI TRANSFORMUOJANTIS Į ŽIEDINĘ TAIKANT  
DINAMINĮ STOCHASTINĮ BENDROSIOS PUSIAUSVYROS  
MODELĮ**

Daktaro disertacijos santrauka  
Socialiniai mokslai, ekonomika (S 004)

2024, Kaunas

Disertacija rengta 2013–2023 metais Kauno technologijos universiteto Ekonomikos ir verslo fakultete, Verslo skaitmeninės transformacijos tyrimų centre, Skaitmenizavimo mokslo grupėje.

**Mokslinis vadovas:**

prof. dr. Lina DAGILIENĖ (Kauno technologijos universitetas, socialiniai mokslai, ekonomika, S 004).

**Redagavo:** anglų kalbos redaktorius dr. Armandas RUMŠAS (leidykla „Technologija“), lietuvių kalbos redaktorė Aurelija Gražina RUKŠAITĖ (leidykla „Technologija“).

**Ekonomikos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:**

prof. dr. Daiva DUMČIUVIENĖ (Kauno technologijos universitetas, socialiniai mokslai, ekonomika, S 004) – **pirmininkė**;

prof. dr. Rytis KRUŠINSKAS (Kauno technologijos universitetas, socialiniai mokslai, ekonomika, S 004);

prof. habil. dr. Joanna KULCZYCKA, (Naudingųjų iškasenų ir energetikos ekonomikos institutas Krokuvoje, Lenkija, ekonomika, S 004);

prof. dr. Vytautas SNIEŠKA (Kauno technologijos universitetas, socialiniai mokslai, ekonomika, S 004);

prof. dr. Jelena STANKEVIČIENĖ (Vilniaus universitetas, socialiniai mokslai, ekonomika, S 004).

Disertacija bus ginama viešame Ekonomikos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje 2024 m. vasario 5 d. 13 val. Kauno technologijos universiteto Rektorato salėje.

Adresas: K. Donelaičio g. 73-402, Kaunas, LT-44249, Lietuva.

Tel. +370 608 285 27; el. paštas [doktorantura@ktu.lt](mailto:doktorantura@ktu.lt)

Disertacijos santrauka išsiųsta 2024 m. sausio 5 d.

Su disertacija galima susipažinti interneto svetainėje <http://ktu.edu> ir Kauno technologijos universiteto bibliotekoje (Gedimino g. 50, Kaunas, LT-44239, Lietuva), Klaipėdos universiteto bibliotekoje (H. Manto g. 84, Klaipėda, LT-92294, Lietuva) ir Lietuvos energetikos instituto bibliotekoje (Breslaujos g. 3, Kaunas, LT-44403, Lietuva).

## SANTRUMPŲ IR TERMINŲ SĄRAŠAS

### Santrumpos:

ŽE – žiedinė ekonomika

DSGE – dinaminė stochastinė bendroji pusiausvyra

ES – Europos Sąjunga

R&D – moksliniai tyrimai ir plėtra

MAE – maža atvira ekonomika

EBPO – Ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacija

JAV – Jungtinės Amerikos Valstijos

JT – Jungtinės Tautos

### Terminai:

**Žiedinė ekonomika** – pramoninė ekonomika, kurioje išteklių naudojimas, išmetamųjų teršalų kiekis, atliekų sąnaudos ir energijos nuostoliai mažinami tinkamai valdant ir integruojant į uždara energijos ir medžiagų grandinę (Geissdoerfer, Savaget, Bocken, & Hultink, 2017).

**Žiediškumas** – ŽE sinonimas.

**Investicijos į technologijas** – finansinių išteklių paskirstymas technologijoms įsigyti ir pritaikyti, siekiant sukurti technologinę pažangą.

**Linijinė ekonomika** – priešprieša ŽE (Homrich, Galvão, Abadia, & Carvalho, 2018), jos pagrindinis tikslas yra gaminti daugiau produkcijos, vartoti daugiau ir pigesnių produktų ir uždirbti daugiau pelno nesirūpinant aplinka.

## ĮVADAS

### Tyrimo temos aktualumas

Abipusės naudos tarp ekonominės veiklos ir aplinkos apsaugos idėja jau buvo išdėstyta Brundtlando ataskaitoje (WCED, 1988), o aplinkos problemos ir iššūkiai apibūdinami kaip ekonominė galimybė. Vienas iš požiūrių į darnų vystymąsi yra žiedinė ekonomika (ŽE), kuri dažnai laikoma praktine tvarumo įgyvendinimo strategija. ŽE yra pripažinta Europos Sąjungos (ES) strategija, įtraukta į pagrindinius strateginius dokumentus, tokius kaip Žiedinės ekonomikos veiksmų planas, Europos žaliasis kursas ir Europos pramonės strategija (European Commission, 2020a, 2020b, 2023). Šių strateginių dokumentų tikslas – skatinti visuomenės spęsti aplinkosaugos problemas ir pereiti nuo linijinės ekonomikos prie ŽE. Pagal Stahel (2016), linijinės ekonomikos pagrindas yra „*didesnis-geresnis-greitesnis-saugesnis*“ sindromas, kurį skatina principas „*imti, gaminti, vartoti ir išmesti*“. O ŽE turėtų naudoti natūralius ciklus, kad išsaugotų medžiagas, energiją ir maistines medžiagas ekonominiam naudojimui (Korhonen, Honkasalo, & Seppälä, 2018). ŽE yra pramoninė ekonomika, kurioje išteklių naudojimas, išmetamųjų teršalų kiekis, atliekų sąnaudos ir energijos nuostoliai sumažinami tinkamai valdant ir integruojant juos į uždara energijos ir medžiagų grandinę (Geissdoerfer et al., 2017). Galiausiai ŽE laikoma priešingu poliui linijinei ekonominei sistemai (Homrich et al., 2018), daugiausia dėmesio skiriant ekodizaino produktams ir švaresnei gamybai.

ŽE įgyvendinimui didelę įtaką daro ES strateginė darbotvarkė ir teisinė sistema. ES valstybės narės įgyvendina įvairias politikos priemones, kad paskatintų perėjimą prie ŽE: dabartiniai aplinkos mokesčių tarifai didėja (Famulska, Kaczmarzyk, & Grząba-Włoszek, 2022), įvedami papildomi mokesčiai (Delgado, Freire-González, & Presno, 2022), skatinama ekonominė veikla, susijusi su ŽE tikslų įgyvendinimu. Nepaisant to, dauguma įmonių vis dar nėra motyvuotos diegti ŽE sprendimus gamyboje ir kurti ekodizaino produktų, nes tai padidina jų gamybos sąnaudas (Dagilienė, Varaniūtė, & Banionienė, 2021; Guldmann & Huulgaard, 2020; Kirchherr et al., 2018; Masi, Kumar, Garza-Reyes, & Godsell, 2018). Nepakankamai išvystyta naudotų produktų ir susigrąžintų išteklių antrinė rinka trukdo įgyvendinti ŽE (Kirchherr et al., 2018).

Žvelgiant į žiediškumą iš makroekonominės perspektyvos, vienas iš ŽE katalizatorių yra investicijos į technologijas. Be to, investicijos į technologijas kaip pagrindinis technologinės pažangos šaltinis yra neoklasikinės teorijos objektas. Žvelgiant iš neoklasikinės teorijos perspektyvos, darbas, kapitalas ir technologinė pažanga yra pagrindiniai veiksniai, lemiantys ilgalaikį šalies ekonomikos augimą (Acemoglu, 2012; Aghion & Howitt, 1992; Grossman & Helpman, 1991; Lucas, 1988; McArthur & Sachs, 2001; Romer, 1990; Solow, 1956). Tačiau investicijų į technologijas rezultatai matomi tik ateityje, o ekonominės aplinkos pokyčiai ir palūkanų normų svyravimai daro didelį poveikį verslo vertei ir viešojo sektoriaus

investicijoms į technologijas (Banionienė & Valančienė, 2014; Pellens, Peters, Hud, Rammer, & Licht, 2018). Atitinkamai verslo investicijos į technologijas, kurios skatina ŽE pertvarką, trumpuoju laikotarpiu mažina įmonių pelną. Tačiau ilguoju laikotarpiu didesnę žiedišumą užtikrinančios technologijos galėtų padėti įmonėms sutaupyti kaštų ir sumažinti reinvestavimo riziką (Velenturf & Purnell, 2021), o tolesnis išteklių naudojimas sukelia priešingą efektą (Zink & Geyer, 2017). Įmonės investuoja į technologijas, jei pagal teisės aktus ar reikalavimus visoje vertės grandinėje jos įpareigojamos pakeisti savo gamybos metodus į mažiau taršius; įmonės yra rinkos lyderiai, ir tokios investicijos gerina jų reputaciją (Dagilienė, Varaniūtė, et al., 2021). Taigi, ekonominės sąlygos ir teisinis reguliavimas yra ypač svarbūs veiksniai sėkmingiems pokyčiams ŽE link. Trūksta teorinio ekonominio pagrindimo, kuriuo būtų galima vadovautis pereinant nuo vyraujančio neoklasikinio modelio prie ekonominio modelio, skatinančio perėjimą prie tvarios ŽE (Velenturf & Purnell, 2021). Visų pirma, trūksta makroekonominių modelių, pagal kuriuos būtų galima kiekybiškai įvertinti investicijų į technologijas vaidmenį ir poveikį pereinant prie ŽE. Dinaminiai stochastiniai bendrosios pusiausvyros (DSGE) modeliai turi mikroekonominį pagrindą, yra orientuoti į ateitį, teoriškai nuoseklūs ir skirti dinaminėms sistemoms modeliuoti (Blazquez, Galeotti, Manzano, Pierru, & Pradhan, 2021; He & Xia, 2020). Šie modeliai yra naudojami tiriant galimą reformų (įskaitant aplinkos apsaugos) ir stochastinių šokų poveikį, taip pat ieškant dinaminių ryšių tarp ekonominių kintamųjų (Banionienė & Dagilienė, 2021).

Didžioji dalis ŽE mokslinės literatūros yra skirta didelėms ekonomikoms, būtent ES, Kinijai, JAV, Vokietijai ir Jungtinei Karalystei (Cainelli, D'Amato, & Mazzanti, 2020; Robaina, Murillo, Rocha, & Villar, 2020). Didelės atviros ekonomikos turi galią daryti įtaką pasaulinėms žaliavų kainoms, keisti vidaus palūkanų normas ir tiesiogiai paveikti išmetamų teršalų kiekius (Annicchiarico & Di Dio, 2015; Bems, Dedola, & Smets, 2007; Wang, Hou, & Jiang, 2021). Be to, didelių šalių ekonominė politika valdoma lengvai, palyginti su mažomis šalimis, kurioms reikia koreguoti savo politiką prisitaikant prie globalių perspektyvų ir kurios susiduria su palankiais ir žalingais užsienio politikos primetamais impulsais (Damijan, 2001). Be to, įvairūs autoriai (Amin, Jamasb, Llorca, Marsiliani, & Renström, Thomas, 2019; Devarajan, Dissou, Go, & Robinson, 2017; McNelis & Yoshino, 2018; Melina, Yang, & Zanna, 2016; Sayadi & Khoshkalam, 2020; Suescun, 2020) tyrė vyriausybės politikos priemonių poveikį šalies augimui ir tvarumui daug išteklių turinčiose atvirose šalyse. Mažų atvirų ekonomikų (MAE), turinčių ribotus gamtinius ir finansinius išteklius ir ribotus politinius sprendimus, tyrimai nėra išplėtoti. Tačiau tokios šalys susiduria su klausimais, kaip įgyvendinti suderintą makroekonominę politiką su integruotomis ekonominėmis ir aplinkos apsaugos priemonėmis.

Be to, MAE galėtų įgyti konkurencinį pranašumą ir padidinti ekonomikos augimą pirkdamos ir pritaikydamos technologijas iš užsienio. O didelės

ekonomikos, tokios kaip JAV, Japonija ir Vokietija, yra išplėtojusios technologijų kūrimo infrastruktūrą ir yra pagrindinės technologijų kūrėjos pasaulyje (Banionienė & Valančienė, 2014). Technologijas galima suskirstyti į dvi grupes: produktyvumą didinančias technologijas (ne aplinkosauginės, orientuotas į pelną) ir ŽE skatinančias technologijas (aplinkosauginės, skirtas taršos mažinimui, ekodizaino produktams, perdirbimui ir kt.) (Banionienė, Dagilienė, Donadelli, Grüning, & Jüppner, 2021). Ne aplinkosauginių technologijų poveikis ŽE gali turėti priešingą, neigiamą poveikį.

### **Empirinio objekto pasirinkimas**

Lietuva yra viena iš ES valstybių narių, kurioje pastaruoju metu sukurtas pramonės perėjimo prie žiedinės ekonomikos veiksmų planas (Lietuvos Respublikos ekonomikos ir inovacijų ministerija, 2022). Vienas didžiausių Lietuvos pramonės trūkumų – vieningos vizijos ir veiksmų plano, kaip pereiti prie klimatu neutralios ŽE, nebuvimas (Dagilienė, Bruneckienė, Varaniūtė, & Banionienė, 2023).

Būdama maža ekonomika ir ES narė, Lietuva turi su ES suderintą politiką ir didelį prekybos atvirumą, palyginti su kitomis išsivysčiusiomis ES ekonomikomis. Aplinkos politikos požiūriu ŽE įgyvendinimas yra įtrauktas į nacionalines strategijas. Lietuvos nacionalinis pažangos planas (NPP) yra skėtinis dokumentas, kuriuo siekiama įgyvendinti Valstybės pažangos strategiją (Lietuva 2030) ir Jungtinių Tautų iškeltus tikslus iki 2030 m. (integruojant darnaus vystymosi tikslus). Todėl horizontalieji NPP principai yra šie: darnus vystymasis; inovacijos; lygios galimybės visiems. Šis dokumentas gali būti laikomas viena iš pirmųjų pastangų plėtoti ŽE šalyje. Todėl kaštai siekiant ŽE yra nepakankamai įvertinti ir neaišku, kokį poveikį galėtų turėti ekonominei pusiausvyrai. Lietuvos ekonomikai sukurti ir sukalibruoti DSGE modeliai (Ajevskis & Vitola, 2011; Karmelavičius & Ramanauskas, 2019; Karpavičius, 2008) pristato įvairias pinigų ir fiskalinės politikos priemones ir jų poveikį bendrai pusiausvyros dinamikai, tačiau aplinkos apsaugos ir ŽE veiksmų neapima. Be to, Lietuva susiduria su struktūriniais iššūkiais mokslinių tyrimų ir verslo sektoriuose, tokiais kaip mažos verslo išlaidos MTEP, palyginti su investicijomis į ne MTEP inovacijas (OECD, 2021), vidaus finansavimo mechanizmų trūkumas ir priklausomybė nuo ES finansavimo (Paliokaitė, Petraitė, & Gonzalez Verdesoto, 2018). Lietuva pagal Europos inovacijų diegimo (European Commission, 2021) rezultatų suvestinę vertinama kaip nuosaiki inovatorė (18 vieta), nes ji susiduria su neveiksmingos MTTP struktūros, nepakankamos technologijų sklaidos ir pernelyg didelės priklausomybės nuo užsienio finansavimo šaltinių problemomis. Galiausiai, Lietuvos ekonomika yra tik 3,3 proc. žiedinė (Lietuvos Respublikos ekonomikos ir inovacijų ministerija, 2021).

Atsižvelgiant į pirmiau minėtas spragas, šia disertacija siekiama įvertinti investicijų į technologijas poveikį ŽE, kuri apibrėžiama kaip etapų rinkinys, išreikštas skirtingais rodikliais.

Mokslinėje literatūroje ŽE dažnai siejama su R strategijomis, arba R kilpomis (Reike, Vermeulen, & Witjes, 2018; Winans, Kendall, & Deng, 2017), kurios grindžiamos atliekų hierarchijos sistema. Calisto Friant, Vermeulen, & Salomone (2021) pabrėžė holistinį žiediškumą, kurį galima pasiekti peržiūrėjus ekodizaino taisykles, pagal kurias reikalaujama geresnio produktų patvarumo, daugiafunkciškumo, atnaujinamumo ir moduliškumo. O „segmentuotas“ žiediškumas orientuotas į perdirbimo ir atliekų tvarkymo tikslus (Calisto Friant et al., 2021).

### **Mokslinių tyrimų problema**

Kaip skirtingos investicijos į technologijas daro įtaką mažai atvirai ekonomikai, pereinančiai prie ŽE?

Perėjimas prie ŽE apima laiko aspektą, todėl žiediškumui apibūdinti pagal pasirinktus rodiklius naudojami skirtingi etapai.

### **Tyrimo objektas**

Investicijos į technologijas mažoje atviroje ekonomikoje.

### **Tyrimo tikslas**

Tyrimo tikslas – įvertinti skirtingų investicijų į technologijas poveikį mažai atvirai ekonomikai, pereinančiai prie žiedinės ekonomikos.

### **Mokslinių tyrimų tikslai:**

1. Konceptualizuoti investicijų į technologijas vaidmenį mažoje atviroje ekonomikoje, pereinančioje į žiedinę ekonomiką;
2. Argumentuoti bendrosios pusiausvyros modeliavimo tinkamumą ir peržiūrėti DSGE modeliavimo sistemas, naudojant neoklasikinę augimo teoriją ir žiedinės ekonomikos prielaidas;
3. Sukurti DSGE modelį, skirtą investicijų į technologijas poveikiui įvertinti mažai atvirai ekonomikai pereinant į žiedinę;
4. Kalibruoti parametrus ir empiriškai patikrinti DSGE modelio pritaikomumą imituojant dinامينius sukrėtimus;
5. Atlikti scenarijų analizę rengiant rekomendacijas politikos formuotojams.

### **Tyrimo metodai:**

1. Sisteminga ir lyginamoji mokslinės literatūros analizė buvo naudojama siekiant iširti investicijų į technologijas vaidmenį ekonomikos teorijose ir ŽE bei nustatyti MAE problemas. Šis metodas buvo naudojamas įvairiems

makroekonominiais modeliams palyginti ir DSGE modeliui sukurti įtraukiant investicijų į technologijas ir ŽE elementus.

2. Modelio parametų kalibravimas buvo atliktas remiantis empiriniais tyrimais ir konstruktyvistine koncepcija, naudojant statistinių duomenų analizės metodus.

3. Taikant kokybinę analizę, atrinkti makroekonominiai rodikliai buvo sistemingai tikrinami, siekiant nustatyti bendras charakteristikas ir savybes. Vėliau šie rodikliai buvo suskirstyti į penkias atskiras dimensijas – gamybos, ŽE, aplinkos, technologijų ir valstybės biudžeto. Šis skirstymas į dimensijas palengvino lyginamąjį įvairių ekonominių šokų ir scenarijų poveikio bendrai MAE pusiausvyrai analizę.

4. Koreliacijos metodas buvo naudojamas vertinant ryšį tarp sukurto ŽE-DSGE modelio ir Lietuvos makroekonominių rodiklių, investicijų į technologijas rodiklių ir ŽE rodiklių.

### **Naudoti duomenų šaltiniai**

Sukurtas ŽE-DSGE modelis buvo sukalibruotas naudojant Eurostato, EBPO, Lietuvos statistikos departamento ir „Zenodo“ duomenų bazėje (Dagilienė, Nedzinskienė, Banionienė, & Varaniūtė, 2021a) esančius statistinius duomenis.

### **Disertacijos mokslinis naujumas ir teorinė reikšmė**

1. Sukurtas ŽE-DSGE modelis yra nauja priemonė, skirta įvertinti investicijų į technologijas poveikį MAE pokyčiams dėl įgyvendintų politikos veiksmų. Be to, jis skirtas tipišku ūkio subjektų (namų ūkių, galutinių prekių ir tarpinių prekių įmonių ir vyriausybės) ir naujos – žiedinių prekių įmonės – elgsenai analizuoti. Įtraukiami vartojimo, gamybos, aplinkos kokybės ir vyriausybės politikos kintamieji. Svarbu tai, kad modelis turi naujų ŽE elementų, kurie nebuvo įtraukti į ankstesnius DSGE modelius. Nauji ŽE elementai, naudojami žiediškumui įvertinti ar įgyvendinti, yra žiedinių prekių gamybos produkcija, darbo jėga žiedinių prekių sektoriuje, atliekų žalos funkcija (turinti įtakos galutinių prekių įmonės gamybai), ekodizaino technologija ir išteklių atgavimo technologija.

2. Remiantis daugiapakope perspektyva ir nuolat vertinant besikeičiančią aplinką, perėjimas prie ŽE apima šiuos etapus: 1) perdirbamų atliekų dalies didinimą, 2) atliekų mažinimą vienam produkcijos vienetui (ar gyventojui), 3) siekį, kad nebūtų atliekų (įskaitant ciklines pramonines atliekas, nulinį atliekų kiekį sąvartynuose ir nulinį išmetamųjų teršalų kiekį) ir 4) viso ciklo ekonomikos sukūrimą (kai visos vartojimo atliekos panaudojamos naujai gamybai). Šie naujai apibrėžti etapai leidžia nuodugnai įvertinti laipsnišką MAE perėjimą prie ŽE ir suteikia galimybę palyginti skirtingų ekonomikų pažangą siekiant žiediškumo.

3. Empiriniai rezultatai patvirtina, kad skirtingų rūšių investicijos į technologijas gali turėti skirtingą poveikį šaliai pereinant prie ŽE. Investicijos į ne aplinkosaugines technologijas didina įmonių našumą ir dėl išaugusios gamybos



lemia didesnę vartojimą bei atliekų kiekį. Tačiau investicijos į žiedinių prekių technologijas leidžia patobulinti procesus ir gaminti daugiau žiedinių prekių, naudojant tuos pačius gamybos išteklius. Investicijos į taršos mažinimo technologijas sumažina į aplinką išmetamos taršos lygį. Be to, investicijos į ekodizaino technologijas leidžia pakeisti galutinių prekių gamybos technologijas, kurios padeda sumažinti pakuočių atliekų kiekį ekonomikoje. Pagaliau investicijos į išteklių atkūrimo technologijas padidina išteklių atkūrimo pajėgumus ir išteklių žiediškumo lygį. Taigi, šie investiciniai sprendimai turi tiesioginį poveikį bendrajai ekonominei pusiausvyrai ir ŽE.

4. Modeliavimo prielaidos pasirinktos MAE ir apima ŽE bei investicijų į technologijas elementus. Kadangi pagrindinėje ŽE ir DSGE mokslinėje literatūroje pateikiama didelių atvirų ekonomikų analizė, šis modelis sukurtas siekiant įvertinti investicijų į technologijas poveikį mažai atvirai ekonomikai. Todėl pasirinkta vertinti investicijas į ne aplinkosaugines ir aplinkosaugines technologijas (žiedines prekes, taršos mažinimą, ekodizainą ir išteklių atgavimą), kurias patiria verslo įmonės ir vyriausybė.

Kiek man žinoma, atskirai nagrinėti technologijų sklaidos ir vyriausybės išlaidų šokų poveikį MAE, kuri pereina į žiedinę ekonomiką, yra nauja ekonominėje literatūroje.

### **Praktinis rezultatų taikymas**

Naujasis ŽE-DSGE modelis buvo pritaikytas Lietuvai kaip reprezentatyviam MAE atvejui. Sukurtas ŽE-DSGE modelis:

1. apima kintamuosius ir duomenis, kad būtų galima įvertinti Lietuvos žiediškumą ir investicijas į technologijas;
2. gali padėti įvertinti fiskalinės politikos pokyčių efektyvumą ir racionalumą;
3. gali padėti politikos formuotojams numatyti poveikį aplinkos politikai imituojant pasirinktus perėjimo prie ŽE scenarijus;
4. leidžia imituoti su aplinkosauga susijusių ir nesusijusių technologijų pokyčius ir įvertinti poveikį MAE pusiausvyrai;
5. naudingas vertinant politinių sprendimų poveikį ŽE pokyčiams ir investicijoms į technologijas;
6. gali padėti įvertinti atliekų tvarkymo ir efektyvumo problemų sprendimus bei spręsti išteklių naudojimo problemą makrolygiu, įvertinti aplinkos kokybės pokyčius.

Sukurtas ŽE-DSGE modelis gali būti naudojamas ilgalaikiams pokyčiams įvertinti ir imituoti, todėl jo rezultatai yra naudingi rengiant ilgalaikes politikos strategijas.

### **Disertacijos struktūra**

Disertaciją sudaro įvadas, keturi pagrindiniai skyriai ir baigiamasis skyrius, kuriame aptariami mokslinių tyrimų rezultatai ir sukurto ŽE-DSGE modelio apribojimai. Nuorodų ir priedų sąrašas pateikiamas disertacijos pabaigoje.

### **Rezultatų sklaida**

Disertacijos tema paskelbti 7 moksliniai straipsniai, dalis mokslinių tyrimų rezultatų publikuoti monografijoje ir knygos skyriuje. Tyrimų rezultatai pristatyti 7-iose tarptautinėse mokslinėse konferencijose.

## 1. INVESTICIJŲ Į TECHNOLOGIJAS VERTINIMO EKONOMIKAI TRANSFORMUOJANTIS Į ŽIEDINĘ TEORINIAI ASPEKTAI

Skyriuje pateikiamas teorinio požiūrio į mokslinę problemą pasirinkimas. Kadangi tyrimo tema yra tarpdisciplininė, ji vienija šių tarpusavyje susijusių mokslinių tyrimų sričių teorinius aspektus:

- aplinkos ekonomikos (Autoriai: Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2016; Pearce & Turner, 1989; Reike et al., 2018; Velenturf & Purnell, 2021);
- sistemų ekologijos (Autoriai: Braungart & McDonough, 2002; Graedel & Allenby, 1995; Stahel, 2010);
- ekologinės ekonomikos (Autoriai: Bauwens, Hekkert, & Kirchherr, 2020; Figge & Thorpe, 2019; Figge, Thorpe, Givry, Canning, & Franklin-Johnson, 2018; Fraccascia, Giannoccaro, & Albino, 2021; Korhonen et al., 2018);
- neoklasikinės augimo teorijos (Autoriai: Acemoglu, 2012; Aghion & Howitt, 1992; Grossman & Helpman, 1991; Romer, 1990; Solow, 1957).

Taigi ŽE koncepcija atitinka tam tikrus aplinkos ekonomikos ir ekologinės ekonomikos principus ir tikslus ir remiasi sistemų ekologijos (kuri apima pramoninę ekologiją) išvalgomis (Bauwens et al., 2020). Aplinkos ekonomikos, ekologinės ekonomikos ir sistemų ekologijos mokslinių tyrimų sritys yra tarpusavyje susijusios ir remiasi kai kuriais neoklasikinės ekonomikos tikslais.

2019 m. Jungtinių Tautų aplinkos asamblėja apibūdino ŽE kaip modelį, kai produktai ir medžiagos yra sąmoningai suprojektuoti taip, kad palengvintų jų pakartotinį naudojimą, perdarymą, perdirbimą ar naudojimą, leidžiant juos kuo ilgiau išlaikyti ekonomikoje.

Aplinkos ekonomistai Pearce & Turner (1989) apibūdino perėjimą nuo tradicinės prie ŽE sistemos, nustatydami aplinkos funkcijas ekonominiu požiūriu: aplinka suteikia išteklių gamybai, tai yra paramos sistema gyvybei, aplinka yra atliekų ir išmetamųjų teršalų absorbentas.

ŽE koncepcija siūlo ekonominį modelį, sukurtą pagal gamtos dėsnius: turinčių panašią išteklių konstrukciją komponentų tinklus, medžiagų ir energijos srautų mainus, perdirbimo modelius ir aplinkos imitaciją (Ghisellini et al., 2016).

ŽE šalininkai naudoja tvaraus vystymosi požiūrį, kad paskatintų pokyčius, galinčius užtikrinti naujausio ekonominio pasaulio poreikius nepakenkiant tvarumui. Pagal Reike ir kt. (2018), ŽE yra pertvarkyta koncepcija, bet ne nauja. Dėl ekonominių tikslų ŽE jau yra įgyvendinama šimtus metų (Velenturf & Purnell, 2021), o pramonės simbiozė yra geras šio tikslo pavyzdys.

Sistemų ekologijos literatūroje yra ir kitų panašių sąvokų į ŽE: pramoninė ekologija (Graedel & Allenby, 1995); produktų ir paslaugų sistemų optimizavimas ir „inercijos principas“ (Stahel, 2010); bei principas „nuo lopšio iki lopšio“ (angl. *cradle-to-cradle*), kai vertė susidaro iš atliekų (Braungart & McDonough, 2002). Nors pramonės ekologija sprendžia tvarumo iššūkius, ji orientuota į labiau

techninius ir fizinius pramonės pokyčių aspektus, o rinkos dinamiką ir nesėkmes, vyriausybės sprendimus ir politiką analizuoja aplinkos ekonomistai.

Ekologinės ekonomikos mokslinių tyrimų sritis orientuota į ekologinių ir ekonominių sistemų integraciją ir dažnai prisideda prie ŽE diskurso. Ekologinė ekonomika pabrėžia būtinybę ekologiškai naudoti išteklius (Figge, Givry, Canning, Franklin-Johnson, & Thorpe, 2017; Figge, Thorpe, & Manzhynski, 2021) sukuriant uždaras naudojimo kilpas ir didinant išteklių pakartotinio naudojimo veiklą (Figge et al., 2018), nes ekonomika turi savo biofizines ribas. Be to, ekologijos ekonomistai analizuoja perėjimą prie darnaus vystymosi (Bauwens et al., 2020; Korhonen et al., 2018) ir pramoninės simbiozės sukūrimo (Fraccascia et al., 2021). Ekologinė ekonomika taip pat apima socialinio teisingumo aspektus, atitinkančius ekologinius principus, ir poreikį pertvarkyti ekonomiką, visuomenę ir aplinką, kad būtų pasiektas tvarumas.

Neoklasikinė augimo teorija yra mokslinių tyrimų sritis, kurioje technologiniai pokyčiai pripažįstami įtakingu ilgalaikio ekonomikos augimo veiksniumi. Ekonomistai atkreipė dėmesį, kad technologinės inovacijos kartu su santaupomis, investicijomis ir kapitalo kaupimu yra pagrindinis ekonominės plėtros veiksnys (Aghion & Howitt, 1992; Grossman & Helpman, 1991; Lucas, 1988; Romer, 1990).

Be to, teorinė technologijų ir (arba) inovacijų analizė ŽE yra viena iš dominuojančių temų ŽE literatūroje. Geng, Fu, Sarkis, & Xue (2012), Stahel (2016) ir Jawahir ir Bradley (2016) teigia, kad labai svarbi ŽE sąlyga yra technologijų ir technologinių naujovių pakankamumas. Pasak Škrinjari (2020), ekonominis našumas vienam gyventojui, infrastruktūra, švietimas ir išlaidos investicijoms į technologijas yra pagrindiniai veiksniai, lemiantys geresnius rezultatus pereinant prie ŽE. Todėl augimą skatinantys technologiniai šokai gali lemti prastesnius ekonominės veiklos rezultatus MAE ir dar mažesnę žiediško lygį (Banionienė et al., 2021).

MAE tiriantys autoriai teigia, kad ekonomikos dydis yra svarbus veiksnys įgyvendinant pokyčius ekonomikoje (Alouini & Hubert, 2019; Armstrong, De Kervenoael, Li, & Read, 1998; Corbo & Di Casola, 2022; Damijan, 2001). MAE empirinių tyrimų srautas apibūdina ekonominės elgsenos ir ekonominių tendencijų skirtumus dėl šalies dydžio ir prekybos atvirumo. Pasak Carlin ir Soskice (2003), MAE laikomos per mažomis, kad galėtų daryti įtaką užsienio ekonominiams kintamiesiems, todėl jos vertina kainas taip, kaip nurodyta, ir stebi didesnių pasaulinės ekonomikos rinkos dalyvių veiksmus.

Taigi MAE turi ribotus išteklius gamybai ir ribotas galimybes pakeisti pasaulinės taršos lygį. Tačiau MAE būdinga tai, kad jos yra labiau dinamiškos išorės ekonominiams šokams, kuriuos daugiausia sukelia užsienio ekonomikos (Alouini & Hubert, 2019; Armstrong et al., 1998; Chen, Chu, & Lai, 2018; Kim, Lim, & Sohn, 2020).

Teorijų pasirinkimą šiam tyrimui paskatino tarpdisciplininis temos pobūdis ir užduotis įvertinti ekonomikos judėjimą link ŽE. Remiantis teoriniais aplinkos ekonomikos, sistemos ekologijos, ekologinės ekonomikos, neoklasikinio augimo teorijos ir MAE veiksniais, šiuo tyrimu siekiama suteikti holistinį supratimą apie susijusius ekonominius, aplinkos ir politikos aspektus. Nors pramonės ekologijos, ekologinės ekonomikos ir aplinkos ekonomikos teorijos suteikia įžvalgų apie žiedinės ekonomikos ir tvaraus išteklių naudojimo koncepciją, aplinkos ekonomikoje daugiau dėmesio skiriama ekonominiams aspektams, tokiems kaip rinkos dinamika ir nesėkmės, vyriausybės sprendimai ir politika. Neoklasikinėje augimo teorijoje pabrėžiamas technologinių pokyčių ir investicijų į technologijas vaidmuo ilgalaikiam ekonomikos augimui, kuris yra labai svarbus skatinant žiedišumą. Galiausiai, MAE literatūroje išryškunami iššūkiai, su kuriais susiduria ribotus išteklius ir didelį prekybos atvirumą turinčios šalys. Įtraukiant neoklasikines augimo ir aplinkos ekonomikos teorijas, šiuo tyrimu siekiama suteikti įžvalgų renkantis tiek įmonės lygmens sprendimus, tiek vyriausybės politiką, galiausiai skatinant perėjimą prie ŽE.

Neoklasikinės augimo teorijos aspektai, ŽE sąvoka ir ŽE politikos aspektai plačiau išdėstyti disertacijos 1 dalyje.

## **2. NEOKLASIKINĖS AUGIMO TEORIJS IR ŽIEDINĖS EKONOMIKOS PRIELAUDŲ ARGUMENTAVIMAS MODELIOJANT BENDRĄJĄ PUSIAUSVYRĄ**

Disertacijos tema siejasi su neoklasikinės augimo teorijos ir aplinkos ekonomikos tyrimų kryptimis. Skyriuje nagrinėtos metodikos, kurios leistų identifikuoti metodus, leisiančius išspręsti disertacijoje iškeltą mokslinio tyrimo problemą.

Neoklasikinė ekonomika apima daugybę ekonominių modelių ir metodų, atitinkančių jos pagrindinius principus. Šie modeliai skirti ekonominei elgsenai ir rezultatams analizuoti remiantis racionalumo, optimizavimo ir rinkos pusiausvyros principais. Neoklasikinė teorija išsivystė iš neoklasikinių gamybos funkcijų modelių (Lucas, 1988; Solow, 1957) į realius verslo ciklo modelius (Barro, 1984; Kydland & Prescott, 1980; Prescott, 1988) ir bendrosios pusiausvyros modelius (Arrow & Debreu, 1954; Kydland & Prescott, 1982; McKenzie, 1959; Smets & Wouters, 2003). Pastarieji modeliai, tokie kaip Arrow ir Debreu modelis, yra pamatiniai ir analizuoja visą ekonomiką kaip holistinę sąveikaujančių rinkų sistemą. Bendrieji pusiausvyros modeliai nagrinėja bendrą pasiūlos ir paklausos pusiausvyrą tarp skirtingų prekių ir gamybos veiksnių ir suteikia pagrindą ekonominiam efektyvumui įvertinti. Šie modeliai naudojami imituojant politikos intervencijų poveikį įvairioms ekonomikos šakoms ir ūkio subjektams.

Aplinkos ekonomika yra atskira neoklasikinės ekonomikos šaka, arba tam tikra specializacija, daugiausia dėmesio skiriant dviem tarpusavyje susijusiems klausimams: išorinių aplinkos veiksnių šalinimui ir veiksmingos išteklių kainodaros nustatymui, siekiant sumažinti susijusias aplinkos apsaugos išlaidas (Morrissey, 2020). Aplinkos ekonomika naudoja daugybę įprastų neoklasikinių ekonominių priemonių (Neo, 2009). Konkrečiai, ekonominiai modeliai, atstovaujantys aplinkos ekonomikos tyrimų sričiai, turi integruotas ekologines ir aplinkosaugos sistemas (Smith, 2001). Analizėje nagrinėjamas abipusis ryšys tarp aplinkos ir ekonomikos augimo rodiklių, įvertinant dvigubą grįžtamąjį poveikį, kurį jie daro vienas kitam. Priešingai, ekologinės aplinkosaugos šalininkai teigia, kad pagrindinės neoklasikinės aplinkos ekonomikos prielaidos nepastebi sudėtingų žmonių vaidmenų ir įtakos platesnėje tarpusavyje susijusioje ekologinėje sistemoje. Be to, jis kritikuojamas dėl to, kad nepakankamai atsižvelgia į teisingumo ir teisingumo problemas, susijusias su aplinkos ir gamtos išteklių naudojimu ir netinkamu valdymu (Morrissey, 2020).

Atsižvelgiant į tai, kad šiuo darbu siekiama įvertinti visos ekonomikos sistemos perėjimą iš linijinės į ŽE ir išnagrinėti investicijų į technologijas poveikį, pasirinkti nagrinėti bendrosios pusiausvyros modeliai. Iš nagrinėtų modelių pasirinktas taikyti DSGE modelis, atsižvelgiant į jo mikroekonominę teoriją pagrindą, dinamišką pobūdį, neapibrėžtumo traktavimą ir suderinamumą su trumpalaikių svyravimų analize. Modelio privalumas jį pritaikyti politikos vertinimui bei simuliuoti ir lyginti rezultatus, platus modelio naudojimas centriniams bankams prognozuojant ir analizuojant politiką lėmė šio metodo pasirinkimą. Svarbu tai, kad ši metodika leidžia įtraukti investicijų į technologijas ir ŽE veiksmus, pasirinkti politikos priemonių derinį ir vertinti jų efektus.

Lietuvos ekonomikai buvo sukurti ir kalibruoti keli DSGE modeliai (Karpavičius, 2008; Proškutė, 2013), daugiausia dėmesio skiriant fiskalinės ir pinigų politikos priemonėms ir jų įtakai bendrosios pusiausvyros dinamikai. Tačiau šioje literatūroje pastebima aplinkosaugos klausimų tyrimo spraga. Be to, literatūroje nenagrinėjamas investicijų į technologijų struktūrą pokyčių ir naujų technologijų atėjimo iš užsienio ekonomikų poveikis. Todėl šios disertacijos tikslas – pateikti specialiai sukurtą Lietuvos ekonomikai modelį, skirtą makroekonominę dinamiką analizuoti, daugiausia dėmesio skiriant aplinkosaugos klausimams.

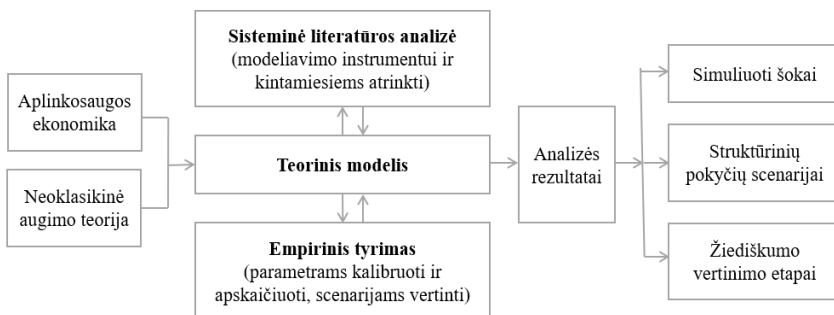
Daugumoje aplinkosaugos mokslinių tyrimų dėmesys skiriamas išmetamųjų teršalų mažinimui, (ne)atsinaujinančios energijos naudojimui, energijos vartojimo efektyvumo didinimui ir aplinkosauginių mokesčių įgyvendinimui. Tačiau trūksta DSGE modelio, skirto ŽE, kuris apimtų keletą ciklų (apimančių išteklius, prekes, produktus ir atliekas), kartu įtraukiant ir į vyriausybės politikos kintamuosius. Analizuotuose modeliuose taikomų vyriausybės politikos priemonių įvairovė išryškina fiskalinių ir monetarinių priemonių svarbą vyriausybės sprendimų priėmimui skatinant ekonomikos

transformaciją. Disertacijoje plačiau aprašoma sisteminė teorinė DSGE modelių, susijusių su disertacijos tema, analizė ir jos pagrindu parinkti kuriamo modelio ūkio subjektai, kintamieji ir šokai.

### 3. BESITRANSFORMUOJANČIOS Į ŽIEDINĘ MAŽOS ATVIROS EKONOMIKOS INVESTICIJŲ Į TECHNOLOGIJAS VERTINIMO METODIKA

Skyriuje aprašomi kuriamo modelio formulavimo principai, pristatoma modelio schema, skirta vizualiai iliustruoti ekonominės sistemos tarpusavio ryšius.

3.1 pav. parodyta empirinio tyrimo schema, vaizduojanti ryšius tarp pasirinktų ekonominių teorijų, naudotus tyrimo metodus ir numatomus empirinius rezultatus.



3.1 pav. Empirinio tyrimo schema

Remiantis 1 ir 2 skyriuose pateiktos literatūros apžvalgos rezultatais buvo įvertintos MAE ypatybės ir aprašyti pereinančios prie ŽE ekonomikos, modeliavimo elementai (3.1 lentelė).

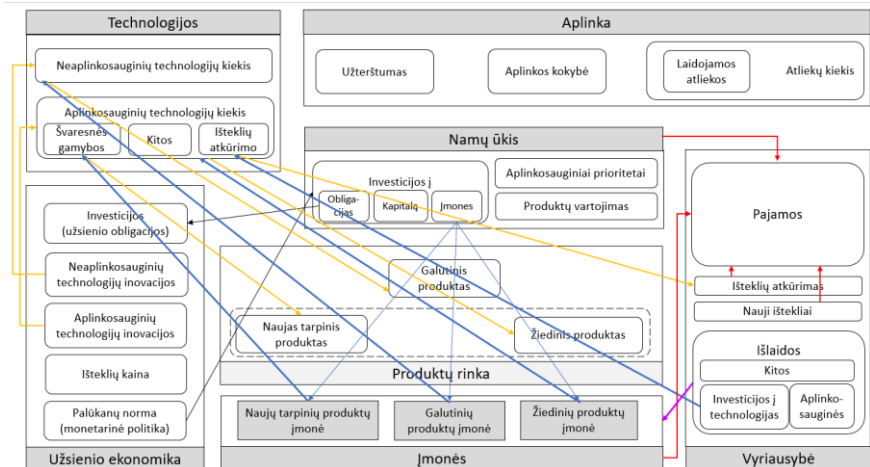
3.1 lentelė. Modeliavimo elementai MAE, pereinančioms prie ŽE

MAE savybės	Modeliavimo elementai, pagrįsti DSGE prieiga			
	Alternatyvos	Ūkio subjektai	Šokai	Valstybės instrumentai
Mažos verslo investicijos į technologijas (OECD, 2021)	Didinti verslo investicijų į technologijas dalį	Visų tipų įmonės	Palūkanų norma	Fiskalinė politika (subsidiijos technologijoms)
ES struktūrinių fondų	Didesnė verslo investicijų į	Visų tipų įmonės	-	Fiskalinė politika

MAE savybės	Modeliavimo elementai, pagrįsti DSGE prieiga			
	Alternatyvos	Ūkio subjektai	Šokai	Valstybės instrumentai
<b>dominavimas</b> investicijų į technologijas struktūroje (Paliokaitė et al., 2018)	technologijas dalis lems mažesnę ES finansavimo dalį			(subsидijos technologijoms)
<b>Žema technologijų sklaida</b> (European Commission, 2021)	Padidintas vidaus technologijų pritaikymas gamyboje	Visų tipų įmonės	Technologijų atvykimo rodiklis	Fiskalinė politika (subsидijos technologijoms; valdžios sektoriaus MTTP išlaidos)
<b>Žemas ŽE veiklos lygis įmonėse</b> (Dagilienė, Varaniūtė, et al., 2021)	Didinti investicijas į taršos mažinimo technologijas	Tarpinių prekių įmonė	Aplinkosaugos mokesčiai	Aplinkosaugos mokesčiai
	Didinti žiedinės veiklos produktyvumą	Žiedinių prekių įmonė	Žiedinių prekių įmonės produktyvumas	Aplinkosaugos mokesčiai; Subsидijos technologijoms
<b>Didelės ŽE diegimo išlaidos įmonėms</b> (Kirchherr et al., 2018)	ŽE išlaidų mažinimas	Tarpinių prekių įmonė, ŽE prekių įmonė	Valdžios sektoriaus išlaidos	Subsидijos ŽE technologijoms
<b>Antrinės rinkos trūkumas</b> (Circular economy roadmap, 2022)	Naujo ūkio subjekto steigimas ir veiklos plėtojimas	ŽE prekių įmonė, Išteklių susigrąžinimas	Valdžios sektoriaus išlaidos	Aplinkosaugos mokesčiai; Subsидijos ŽE technologijoms

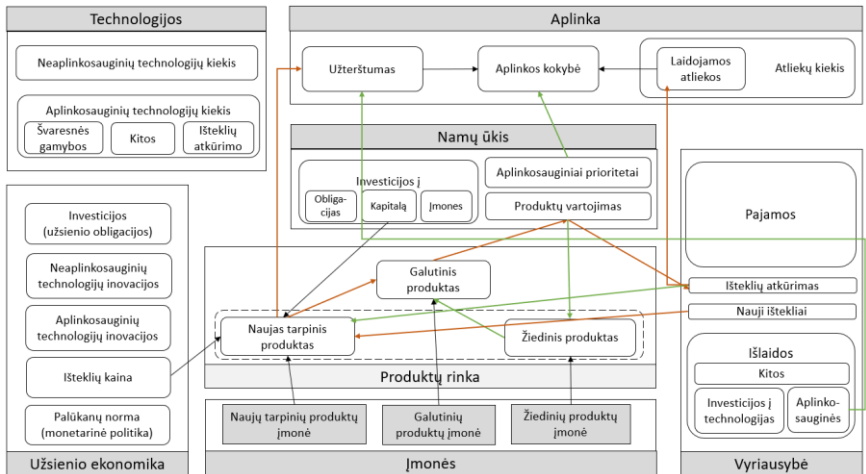
Sujungus minėtas MAE ir DSGE modeliavimo elementų savybes į vieną sistemą, sukuriama koncepcinė schema (3.2 pav.), kuri iliustruoja MAE struktūrą, vaizduodama technologijų srautus, investicijas, investicijas į technologijas, valdžios sektoriaus pajamas ir išlaidas. Be to, išteklių, prekių, taršos ir atliekų srautai atskirai pateikti 3.3 pav., siekiant parodyti linijinės ir ŽE skirtumus.





\*Geltonos linijos žymi technologijas. Namų ūkių investavimas į įmones žymimas mėlynomis linijomis. Vyriausybės investicijos į technologijas žymimos violetine spalva. Vyriausybė generuoja pajamas, pažymėtas raudonomis linijomis.

**3.2 pav.** Teorinio modelio schema, apimanti technologijas, investicijas, investicijas į technologijas, valdžios sektoriaus pajamas ir išlaidas



\*Rudos linijos vaizduoja išteklių, prekių, taršos ir atliekų srautus linijinėje ekonomikoje. Žalios spalvos linijos vaizduoja išteklių, prekių ir atliekų judėjimą, mažina taršą ekonomikai judant link ŽE.

**3.3 pav.** Teorinio modelio schema, apimanti išteklių, prekių, taršos ir atliekų srautus linijinėje ir žiedinėje ekonomikoje

Sukurtas ŽE-DSGE modelis susideda iš vidaus ir užsienio ekonomikos, siekiant įvertinti užsienio veikslių poveikį MAE. Vidaus ekonomikoje susideda keturi moduliai: namų ūkiai, įmonės, aplinka ir vyriausybė.

Ekonomiką apibūdina standartinis modelis, kurį sukūrė (Smets & Wouters, 2003), išplėstas siekiant įvertinti aplinkos rodiklius ir aplinkos politiką panašiai kaip Annicchiarico & Diluiso (2019), Annicchiarico & Di Dio (2015), Chan (2019), Xiao, Fan, & Guo (2021) ir įvertinti šios politikos poveikį ŽE ciklams / elementams.

Namų ūkiai vartoja galutines prekes ir siūlo darbo jėgą vietos įmonėms. Modelis apima naujausią namų ūkio naudingumo funkciją (Wang et al., 2021), kuri pasižymi aplinkos kokybe, įtraukta į namų ūkio komunalinių paslaugų funkciją, kartu su darbo jėgos ir komunalinių paslaugų nenaudingumu iš vartojimo. Be to, namų ūkiai priima investicinius sprendimus, turi įmones, nuomojasi kapitalą ir laiko užsienio obligacijas.

Ekonomikoje veikia galutinių prekių įmonė, dviejų tipų tarpinių prekių įmonės (nauja tarpinių prekių įmonė, žiedinių prekių įmonė) ir organizuojama išteklių atkūrimo veikla, kurią valdo vyriausybė.

Yra trys įmonių investicijų rūšys:

1. Galutinių prekių įmonės perka technologijas ir keičia savo ekodizaino lygį.
2. Naujos tarpinių prekių įmonės investuoja į mažiau taršias technologijas, kad sumažintų taršos mažinimo išlaidas.
3. Žiedinių prekių įmonės perka žaliąsias technologijas ir siekia padidinti žiedinių prekių gamybos našumą.

Įmonių investicijos turi įtakos vyriausybės aplinkosaugos mokesčių pajamoms, taršos išmetimui ir atliekoms.

Dėl naujų tarpinių produktų gamybos ekonomikoje išmetamas tam tikras teršalų kiekis, kuris, remiantis (Annicchiarico & Diluiso, 2019), turi neigiamą išorinį poveikį ne tik aplinkai, bet ir gamybai. Be to, išteklių atkūrimo ir atliekų valdymo bei tvarkymo veikla priklauso vyriausybei.

Vidaus ekonomika gamina vidaus vartojimo prekes, kapitalas ir darbo jėga yra nejudrūs. Vyriausybė priima sprendimus dėl fiskalinės politikos (Annicchiarico & Di Dio, 2015; Karpavičius, 2008; Xiao, Fan, & Guo, 2018). Išsamesnis ūkio subjektų aprašymas pateikiamas disertacijoje.

Sukurtas ŽE-DSGE modelis suprogramuotas naudojant DYNARE ir MATLAB. Modelis kalibruojamas naudojant metinius statistinius duomenis ir parametrus iš mokslinių literatūros šaltinių.

Ekonominiai šokai yra netikėti pokyčiai, sukelti svyravimus, kuriuos modelyje lemia technologijų sklaida (produktyvumo pokyčiai, naujos aplinkosaugos technologijos arba ne aplinkosaugos technologijos) arba pasikeitusios paklausos sąlygos (pvz., namų ūkio vartojimas, valdžios sektoriaus išlaidų ar išorinių kainų pokyčiai) (Milani & Rajbhndari, 2020).

Atrinkti šie šokai MAE pokyčiams analizuoti:

1. Naujos tarpinių prekių įmonės produktyvumas;
2. Žiedinių prekių įmonės produktyvumas;
3. Vyriausybės išlaidos aplinkos apsaugos subsidijoms ir (arba) dotacijoms;
4. Išteklių atkūrimo technologijos atsiradimas;
5. Palūkanų norma;
6. Naujų su aplinkosauga nesusijusių technologijų atėjimo rodiklis;
7. Naujų aplinkosaugos technologijų atėjimo procentas.

Kitame skyriuje sukurtas ŽE-DSGE modelis empiriškai išbandomas naudojant konkrečios MAE atvejį.

#### **4. INVESTICIJŲ Į TECHNOLOGIJAS MAŽOJE ATVIROJE EKONOMIKOJE VERTINIMAS, EKONOMIKAI TRANSFORMUOJANTIS Į ŽIEDINĘ**

Šiame skyriuje aprašomi empirinio tyrimo rezultatai, gauti konkrečiu atveju naudojant sukurtą ŽE-DSGE modelį. Lietuva empiriniam tyrimui pasirinkta kaip MAE atstovė.

Empirinio tyrimo pradžioje buvo atliekama parametrų atranka, parametrai įkeliami į modelį ir atliekami skaičiavimai. Tyrimui naudoti 1995–2019 metų statistiniai duomenys iš Eurostato, OECD ir Zenodo duomenų bazių. Detali parametrų verčių atranka modelio kalibravimui ir Lietuvos statistinių rodiklių aprašymas pateikiamas disertacijos 4.1 poskyryje. ŽE-DSGE modeliu apskaičiuoti rezultatai lyginami su realiais Lietuvos ekonomikos statistiniais duomenimis.

Šiame santraukos skyriuje pateikiami simuliuotų šokų ir scenarijų analizės rezultatai.

##### **4.1. Imituotų šokų analizės rezultatai**

Simuliuotus šokus sukurtame modelyje rezultatai buvo apibendrinti skirstant juos į skirtingas dimensijas: gamybos, technologijų, ŽE, aplinkos ir valstybės biudžeto. Dimensijos pasirinktos dėl sistemos sudėtingumo ir skirtingų šokų sukeltų efektų įvairiems sistemos kintamiesiems. Pavyzdžiui, norint pasiekti aukštesnį ŽE lygį MAE, vartojimas ir gamyba gali labai sumažėti. Kita vertus, smarkiai padidėjus valstybės investicijoms į technologijas, gali stipriai sumažėti namų ūkių pajamos dėl mažėjančių socialinių pervedimų ir sumažėti vartojimas bei gamybos apimtis. Remiantis moksline literatūra, kiekvienam iš šių aspektų apibūdinti buvo naudojamas kiekybinių rodiklių rinkinys.

4.1 lentelėje pateikiama modeliuojama situacija Lietuvoje, kai pokyčius sukelia netikėti ekonominiai šokai, kurių ūkio subjektai negali numatyti. Laiko horizontai buvo suskirstyti į šias kategorijas: trumpalaikis (0–20 m.), vidutinės trukmės (21–40 m.) ir ilgalaikis (daugiau nei 41 m.). Naudojami simboliai turi šias

reikšmės: "+" rodo teigiamą poveikį kintamajam, "0" neturi poveikio, "-" turi neigiamą poveikį, "~0" reiškia, kad ryšys tarp kintamųjų artimas nuliui. Pasvirieji brūkšniai naudojami poveikio trukmei parodyti (trumpas / vidutinis / ilgas). Pavyzdžiui, "+ / 0 / 0" rodo teigiamą poveikį trumpuoju laikotarpiu, bet vidutiniu laikotarpiu poveikis išnyksta. "+-" pažymėti pokyčiai per trumpą laikotarpį iš pradžių rodo teigiamą poveikį, po kurio seka neigiamas poveikis kintamajam, palyginti su pastoviaja kintamojo būsena.

#### 4.1 lentelė. Šokų poveikis MAE

Dimensija / Šokas	Gamyba	Technologijos		ŽE	Aplinka	Valstybės biudžetas
		Neaplinkos auginės	Aplinko sauginės			
Naujų tarpinių prekių įmonės produktyvumas	+ / 0 / 0			- / 0 / 0	- / - / -	+ / 0 / 0
Žiedinių prekių įmonės produktyvumas	+ / 0 / 0			+ / ~0 / 0	+ - / - / -	+ / ~0 / 0
Vyriausybės išlaidos aplinkosaugos subsidijoms	+ - / 0 / 0			- / 0 / 0	- + / + / 0	+ / 0 / 0
Išteklų atkūrimo technologijų atėjimas	+ / ~0 / 0			+ / ~0 / 0	- / - / -	+ / ~0 / 0
Palūkanų norma	- / - / 0			+ / ~0 / 0	+ - / - / -	+ / ~0 / 0
Su aplinka nesusijusių technologijų atėjimas	+ / + / 0	+ / 0 / 0		- + / + / 0	- + / - / -	+ - / - / 0
Aplinkosaugos technologijų atėjimas	+ / + / 0		+ / + / 0	+ / + / ~0	+ / + / +	- + / + / ~0

ŽE dimensija į visus pasirinktus šokus reaguoja teigiamai, išskyrus šokus, susijusius su naujų tarpinių prekių įmonių produktyvumu ir valdžios sektoriaus išlaidomis aplinkos subsidijoms. Nors dauguma šokų daro teigiamą poveikį ŽE, jie taip pat daro neigiamą poveikį kitoms analizuojamoms dimensijoms. Tačiau aplinkosaugos technologijų atėjimo į rinką šokas išsprendžia konfliktus tarp dimensijų ir gali teigiamai prisidėti prie ekonominės pusiausvyros.

Šokų analizė atskleidė, kad MAE kontekste atsiranda prieštaravimų tarp ŽE ir kitų dimensijų, įskaitant gamybą, aplinką, valstybės biudžetą ir technologijas. Imitavus skirtingus šokus sąveika tarp įvairių dimensijų yra sudėtinga, nes poveikis dimensijoms kinta. Formuojant politiką svarbu atsižvelgti į įvairių šokų poveikį aplinkai, ŽE ir kitiems ekonomikos kintamiesiems, kad būtų užtikrintas tvarumas ir skatinamas aplinkai palankių technologijų naudojimas.

## 4.2. Investicijų į technologijas scenarijai siekiant ŽE

Investicijų į technologijas scenarijai siekiant ŽE yra susiję su vyriausybės strategijomis, skirtomis skatinti ŽE įgyvendinimą. Skirtingiems scenarijams palyginti pasirenkamos penkios dimensijos: gamyba, technologijos, ŽE, aplinka ir valstybės biudžetas.

Pasirinkta vertinti 10 scenarijų, susijusių su disertacijos 1 skyriaus 3 diagramoje aprašytomis vyriausybės strategijomis (žr.4.2 lentelėje).

**4.2 lentelė.** Scenarijų, vyriausybės strategijų ir ŽE-DSGE modelio pokyčių sąveika

Scenarijaus numeris	Scenarijus	Vyriausybės strategija ir priemonė	ŽE-DSGE modelio pakeitimai
[1]	Didinti investicijas į naujų tarpinių prekių firmos technologijas	Švaresnė gamyba skatinant inovacijas	Didesnės investicijos į naujų tarpinių prekių įmonės taršos mažinimą
[2]	Didinti ekodizaino technologijų kūrimą, kad būtų sumažintas pakuočių atliekų kiekis	Ekodizainas skatinant inovacijas	Didesnis ekodizaino technologijos efektyvumas
[3]	Didinti išteklių atkūrimo technologijų kieki	Ekodizainas skatinant inovacijas, antrinių išteklių naudojimas	Didesnis išteklių atkūrimo technologijų kiekis
[4]	Didinti investicijas į žiedinių prekių gamybos technologinį efektyvumą	Ekodizainas skatinant inovacijas, efektyvią gamybą	Didesnis investicijų į technologijas efektyvumas
[5]	Didinti investicijas į žiedinių prekių gamybos technologijas	Ekodizainas skatinant inovacijas; Švaresnė gamyba skatinant inovacijas	Didesnis žiedinių technologijų efektyvumas
[6]	Didinti vyriausybės investicijų į technologijas dalį	Ekodizainas skatinant inovacijas; Švaresnė gamyba skatinant inovacijas	Didesnė subsidijų suma sumokama už investicijas į technologijas
[7]	Didinti naujų aplinkosaugos technologijų dalį aplinkosaugos technologijų pakete	Ekodizainas skatinant inovacijas; Švaresnė gamyba skatinant inovacijas	Didesnis naujų aplinkosaugos technologijų prekių sklaidos lygis
[8]	Didinti galutinių prekių, tinkamų žiedinių prekių gamybai, dalį	Ekodizainas skatinant inovacijas	Didesnė dalis suvartojamų prekių, naudojamų žiedinių prekių gamybai
[9]	Didinti perdirbamų galutinių prekių dalį	Švaresnė gamyba skatinant inovacijas	Didesnė suvartotų prekių, naudojamų ištekliams atgauti, dalis
[10]	Didinti aplinkosaugos mokesčių tarifus	Švaresnė gamyba vykdoma taršos kontrolę ir pramoninių atliekų prevenciją;	Didesni aplinkosaugos mokesčių tarifai (išmetamiesiems teršalams, pakuočių

Scenarijus numeris	Scenarijus	Vyriausybės strategija ir priemonė	ŽE-DSGE modelio pakeitimai
		Ekodizainas pasitelkiant vartojimą, atliekų prevenciją ir ribotų išteklių naudojimo mažinimą	atliekoms, šalinimui sąvartynuose, prekių vartojimui)

Scenarijai parinkti norint iširti struktūrinių pokyčių, susijusių su ŽE elementais ir investicijomis į technologijas, poveikį. Poveikis matuojamas lyginant pasikeitusią modelio pusiausvyrą su modelio stochastine pastovia pusiausvyra. ŽE-DSGE modelio kintamieji scenarijuose keisti po 10 proc. Scenarijų analizės rezultatai pateikti 4.3 lentelėje.

ŽE lygis labiausiai padidėja, kai ekodizaino technologijų į ekonomiką patenka daugiau (scenarijus [2]) ir galutinių prekių įmonė gali pagaminti mažiau atliekų turinčią produkciją. ŽE teigiamą įtaką daro ir didesnė pagamintų perdirbamų galutinių prekių dalis (scenarijus [9]), nes šios prekės gali grįžti į ekonominį ciklą žiedinių prekių arba atgautų išteklių pavidalu. Mažesni, bet teigiamą poveikį ŽE turi didesnės investicijos į technologijas ir jų skaičiaus didinimas ekonomikoje ([3]–[5], [7]).

Neigiamas poveikis ŽE pasireiškia, kai valdžios sektoriaus investicijų į technologijas dalis didėja ([6] scenarijus), nes žiedinių prekių gamybos lygis mažėja ir net esant mažesnei taršai ir atliekoms ekonomikoje žiediškumo lygis gali sumažėti. Be to, aplinkosaugos mokesčių didinimas daro neigiamą poveikį ŽE dimensijai ([10] scenarijus), nes pasirinkti mokesčiai namų ūkiams perskirstomi socialinių pervedimų forma, o tai padidina vartojimo lygį. Didesnis vartojimas lemia didesnę taršą, atliekų kiekį ir mažesnę žiediškumą.

**4.3 lentelė.** Scenarijai ir pasirinktų dimensijų pasikeitimai

Scenarijus numeris	Gamyba	Technologijos	ŽE	Aplinka	Valstybės biudžetas
[1]	- (silpnas)	++	+ (silpnas)	+	-
[2]	+	++	+	+	+
[3]	+	++	+	-	+
[4]	+	++	+	0	+
[5]	- (silpnas)	0	+ (silpnas)	0	- (silpnas)
[6]	-	+	-	+	-
[7]	+	++	+	+	0
[8]	+	0	+	+	+
[9]	+	0	+	+	+
[10]	+	0	-	-	++

\* ++ reiškia teigiamą poveikį (pokyčiai yra didesni kaip 5 proc.), + reiškia vidutinį teigiamą, 0 nereikšmingą, - reiškia vidutinį neigiamą poveikį.

Scenarijų analizė parodė, kad [1] ir [5] scenarijai yra mažiausiai veiksmingi pereinant prie ŽE, o [6] ir [10] poveikis yra priešingas, nei tikėtasi. Be to, vyriausybės ŽE grindžiamos strategijos (ekodizainas ir švaresnė gamyba) galėtų turėti teigiamą poveikį žiediškimui, kai pasirenkamos inovacijų skatinimo priemonės. Tačiau didesnė perdirbamų atliekų dalis žiedinių prekių gamyboje daro teigiamą poveikį ŽE dimensijai.

Jei vyriausybė neturi galių (arba turi labai ribotas) didinti technologijų sklaidą, sprendimai dėl produktų ekodizaino reguliavimo galėtų padidinti ŽE, aplinkos kokybės ir gamybos lygį MAE. Tačiau jei vyriausybė galėtų padidinti ekodizaino ir švaresnių gamybos technologijų (arba šių technologijų efektyvumo) lygį šalyje, tai reikšmingai teigiamai paveiktų ŽE, gamybos augimo ir aplinkos kokybės dimensijas.

### 4.3. Empirinio tyrimo apibendrinimas

Sukurtas modelis yra universali priemonė, pritaikoma bet kuriai MAE, siekiant įvertinti ekonominių šokų poveikį ir modeliuoti scenarijus investicijų į technologijas pokyčiams analizuoti ir perėjimui prie ŽE vertinti.

**Pasinaudodamos ekonominiais šokais**, MAE gali siekti pokyčių investicijų į technologijas srityje ir ŽE veiklos plėtrai. Kylant palūkanų normoms ir į šalį pritraukiant daugiau technologijų (aplinkosauginių ir ne aplinkosauginių), sudaromos palankios sąlygos ŽE sektorių plėtrai (žiedinių prekių gamyba, išteklių atkūrimas). Vyriausybės politikos priemonės gali sustiprinti ekonominio šoko poveikį, teikdamos tikslinę finansinę paramą subsidijų ir (arba) dotacijų forma pramonės įmonėms ir kitoms organizacijoms, investuojančioms į technologijas, arba sukurdamos išskirtines ekonomines sąlygas ŽE veiklai plėtoti.

Investicijų į technologijas sprendimai MAE turi dvejopą poveikį įvairiems makroekonominiams rodikliams. Kai įmonės investuoja į technologijas našumo tikslais ir per trumpą laiką padidina pelną, tai turi neigiamą poveikį aplinkai ir ŽE, bet teigiamą gamybai. Tačiau įmonės gali rinktis investuoti į aplinkosaugos technologijas ir kurti daugiau veiklos žiedinių prekių rinkoje, nes padidintų pelną kartu su žiediškimu ilgoju laikotarpiu.

Vyriausybės veiksmai yra riboti valdžios sektoriaus išlaidų forma, nes turi ypač trumpalaikį ir silpną poveikį. Tačiau aplinkosaugos technologijų sklaidos lygis turi stiprią teigiamą įtaką galutinių, žiedinių ir naujų tarpinių prekių gamybos apimčiai.

**Įtaka struktūriniais pokyčiams.** Struktūriniai pokyčiai mažoje ekonomikoje paprastai pasiekiami vyriausybės politikos priemonėmis. Scenarijų analizės rezultatai rodo, kad gali būti siūlomi šie pokyčiai:

1. tikslinės investicijos į technologijas, susijusias su ekodizainu ir švaresne gamyba;
2. išteklių, ypač iš teršiančių ir neatsinaujinančių šaltinių, naudojimo mažinimas gamyboje;

3. atliekų rūšiavimo ir išteklių pakartotinio naudojimo skatinimas;
4. išteklių atgavimo iš atliekų didinimas, inicijuojant pokyčius produkto kūrimo etape;
5. vyriausybės fiskalinių priemonių ir finansavimo šaltinių sistemų derinimas.

Lietuva vis dar žengia pirmąjį perėjimo prie ŽE etapą (žr. 4.4 lentelėje). Antrasis žingsnis galėtų būti pasiektas trumpuoju laikotarpiu, tačiau labai mažai tikėtina, kad vidutinės trukmės ar ilguoju laikotarpiu sąvartynuose šalinamų atliekų kiekis stipriai sumažėtų, jei pertvarkai būtų naudojamos tik investicijos į technologijas. Atrodo, kad trečias ir ketvirtas žingsnis yra sunkiai pasiekiami vertinant bendros pusiausvyros pokyčius sukurtu modeliu iš šiandienos perspektyvos.

**4.4 lentelė.** ŽE įgyvendinimo etapų vertinimas

ŽE įgyvendinimo etapas	Lietuvos statistinė tendencija	Paaiškinimas
1. Didinti perdirbamų atliekų dalį	68,00 ↑	Didėja perdirbamų atliekų ir pagamintos produkcijos santykis
2. Sumažinti atliekų kiekį vienam produkcijos vienetui (vienam gyventojui)	62,05 tonos ↓, (10,06 tonos, tendencija stabili, nes 10 metų vidurkis 10,4 tonos)	Mažėja sąvartynuose šalinamų atliekų ir pagamintos produkcijos santykis bei pakuočių atliekų ir pagamintos produkcijos santykis
3. Siekti nulinio atliekų lygio (angl. <i>zero waste</i> )	2,6 ↓ milijonai tonų, 13,82 milijono tonų ↓	Sąvartynuose šalinamų atliekų ir išmetamų teršalų kiekis, tenkantis vienam produkcijos vienetui, mažėja ir artėja prie nulio
4. Sukurti viso ciklo ekonomiką	4,8 proc. ↑	Žiedinės ekonomikos rodiklis didėja, kol pasiekia 100 proc.

Apibendrinant galima teigti, kad technologijų kūrimas yra ekonomikos ir aplinkosaugos technologijų kūrimo variklis. Įmonių apsisprendimas daryti ilgalaikes investicijas į technologijas, kurios trumpuoju laikotarpiu neigiamai veikia pelną, turi teigiamos įtakos ekonomikai transformuojantis ir judant link žiedinės.

Remiantis ŽE-DSGE scenarijų ir ŽE įgyvendinimo etapų analize, buvo nustatyti galimi veiksmų komponentai:

1. **Strateginis (politikos įgyvendinimo) komponentas** – integruoja investicijas, skatinančias investicijas į technologijas (ir ŽE skatinimo priemones), integruoja į valstybės strateginius dokumentus, skatina mokslo ir verslo bendradarbiavimą kuriant technologinius ir ŽE produktus bei infrastruktūrą, planuoja finansines priemones, vertinimo rodiklius ir juos stebi. Kuriamos ir tobulinamos valstybės institucijų struktūros, lemiančios sėkmingą proceso įgyvendinimą ir pažangos vertinimą.

2. **Rinkos plėtos komponentas** apima antrinių tarpinių produktų ir žiedinių galutinių produktų rinkų kūrimą ir puoselėjimą taikant fiskalinės politikos



priemonės, pavyzdžiui, aplinkosaugos mokesčius ir paramą investicijoms į technologijas.

**3. Produkto kūrimo komponentas** – kuriant daugiau ekodizaino produktų – skatinant ekodizaino technologijų sklaidą ir užsienio investicijas į technologijas.

Ateities mokslinių tyrimų kryptys ir empirinio tyrimo apribojimai aprašomi disertacijoje.

## IŠVADOS

1. Investicijų į technologijas vertinimo ekonomikai transformuojantis į žiedinę tema yra tarpdisciplininė ir jungia teorinius aplinkos ekonomikos, neoklasikinio augimo teorijos aspektus, empiriškai sutelkiant dėmesį į MAE. Neoklasikinė augimo teorija pabrėžia technologinių pokyčių ir investicijų į technologijas reikšmę ekonomikos plėtrai. O aplinkos ekonomikoje, atskiroje neoklasikinės ekonomikos šakoje, daugiausia dėmesio skiriama išoriniams aplinkos veiksniams ir su jais susijusioms aplinkosaugos sąnaudoms. Ypač daug dėmesio skiriama ekonominiams aspektams, pavyzdžiui, rinkos dinamikai, vyriausybės sprendimams ir politikos sistemoms, kartu vertinant aplinkosaugos ir ekonominių rodiklių sąveiką, įskaitant jų tarpusavio poveikį. Be to, aplinkosaugos ekonomistai nagrinėja perėjimą nuo linijinės prie žiedinės ekonominės sistemos, aprašydami aplinkosaugos funkcijas. Neoklasikinėje ekonomikoje analizuojamas ryšys tarp ekonomikos augimo ir skirtingų technologijų, kurios atsiranda dėl investicinių sprendimų. Į technologijas paprastai investuoja keturių tipų ūkio subjektai: vyriausybė, verslo įmonės, privatūs investuotojai ir užsienio investuotojai. Tarp jų verslo investicijos į technologijas labiausiai reaguoja į ekonominės aplinkos pokyčius, kuriems ypač įtakos turi palūkanų normų svyravimai. Be to, šalys susiduria su iššūkiu motyvuoti įmones investuoti į ŽE technologijas, siekiant švaresnės gamybos, ir kurti ekodizaino produktus dėl didėjančių gamybos sąnaudų. Siekdamas paskatinti transformaciją nuo linijinės prie ŽE, kaip nurodyta ES komunikatuose, vyriausybės kuria strategijas, skatinančias antrines žiedinių produktų ir atkuriamų išteklių rinkas. MAE šalys dėl savo rinkos lankstumo ir atvirumo turi galimybę pasinaudoti technologijų sklaida ir tikslingomis investicijomis į technologijas, kad palengvintų perėjimą nuo linijinės prie ŽE. Skirtingos investicijos į technologijas paprastai didina rinkos produktyvumą ir švelnina neigiamą gamybos sukeltą poveikį. Tačiau sprendžiant visos ekonomikos, o ne vienos konkrečios antrinės rinkos iššūkius, reikia įvertinti išorinius efektus ir nustatyti priimtinausius scenarijus.
2. Taikant aplinkos ekonomikos ir neoklasikinės augimo teorijos metodikas, DSGE modelis buvo pasirinktas kaip tinkamiausia metodika mokslinio tyrimo tikslams pasiekti, atsižvelgiant į tai, kad jis apima mikroekonominius pagrindus, dinamišką pobūdį, neapibrėžtumo traktavimą ir suderinamumą su

trumpalaikių svyravimų analize. DSGE modeliai, pritaikomi politiniams sprendimams vertinti, skirtingų sprendimų rezultatams lyginti, yra plačiai naudojami centrinių bankų prognozėms pagrįsti ir politiniams sprendimams analizuoti. Be to, į DSGE modelius galima įtraukti investicijas į technologijas ir ŽE elementus, taip pat konkretų fiskalinės politikos priemonių derinį. Lietuvos ekonomikai sukurti DSGE modeliai buvo skirti analizuoti vyriausybės politikos instrumentams ir jų poveikiui bendrai pusiausvyrai, išskyrus aplinkosaugos klausimus ir technologijų sklaidą. Remiantis užsienio šalims sukurtais DSGE modeliais su aplinkosaugos elementais galima įvertinti įvairius aspektus, tokius kaip išmetamųjų teršalų mažinimas, atsinaujinantys ir neatsinaujinantys energijos šaltiniai, energijos vartojimo efektyvumas ir aplinkosaugos mokesčiai. Tačiau tarp DSGE modelių, sukurtų su ŽE susijusių aspektų pokyčiams analizuoti, nebuvo modelio su keliomis antrinėmis rinkomis (įskaitant išteklių, tarpinių prekių, galutinių prekių ir atliekų rinkas) ir vyriausybės politikos kintamaisiais. Be to, DSGE literatūroje sutelkiamas dėmesys į dideles ekonomikas, o nepakankamai nagrinėjamos MAE ir jų ŽE charakteristikos.

3. Naujai sukurtas ŽE-DSGE modelis, apimantis investicijų į technologijas kintamuosius ir vertinantis ekonomikos žiedišumą, yra universali modeliavimo priemonė bet kuriai MAE, besitransformuojančiai į ŽE. Modeliu galima įvertinti ekonominių šokų ir taikomų scenarijų poveikį ekonominės pusiausvyros pokyčiams. ES šalys skatina žiedišumo iniciatyvas ir siekia ŽE strateginių tikslų, tačiau jos taip pat turi spręsti susijusias problemas, tokias kaip užterštumas, infliacija ir biudžeto deficitas. Šis modelis padeda nustatyti politikos sprendimų išorinį poveikį (ir ypač netikėtą) prieš įtvirtinant politikos nuostatas ir pasirinkti tinkamiausią politikos įgyvendinimo scenarijų. Ateityje ŽE-DSGE modelis gali būti išplėstas, kad būtų galima analizuoti įvairias politikos alternatyvas ir jų poveikį, neapsiribojant investicijomis į technologijas ir žiedišumo poveikiu. Palyginti su ankstesniais DSGE modeliais (aplinkos ekonomikos srityje), naujasis ŽE-DSGE modelis leidžia įvertinti švaresnės gamybos ir ekodizaino strategijas, apima kelias antrines rinkas (išteklių, tarpinių prekių, galutinių prekių ir atliekų), investicijas į technologijas ir vyriausybės politikos kintamuosius.
4. Modelio kalibravimas buvo atliktas pasirinkus Lietuvą kaip MAE atvejį. Ekonominių sukrėtimų analizė rodo, kad kyla tarpusavio prieštaravimai keturiose dimensijose – gamybos, ŽE, aplinkos ir valstybės biudžeto. Teigiamas poveikis žiedišumui ir kitoms dimensijoms pasireiškė reaguojant į aplinkosaugos technologijų atsiradimo greičio šoką. Priešingai, neigiamą poveikį žiedišumui sukėlė šokai, susiję su aplinkosaugos subsidijomis ir padidėjusiu naujų tarpinių prekių gamybos našumu. Lietuvos atvejis rodo, kad, norint pasiekti aukštesnį ŽE lygį, kartais reikia kompromisų su kitomis dimensijomis. MAE gali pasinaudoti atsitiktiniais ir nepriklausomais

ekonominiais svyravimais investicijoms į technologijas įsigyti ir ŽE veiklai plėtoti.

5. Buvo sudaryta ir įvertinta 10 galimų scenarijų, susijusių su vyriausybės sprendimais įgyvendinti švaresnės gamybos ir (arba) ekodizaino strategijas, susijusias su investicijomis į technologijas, siekiant paskatinti šalies transformaciją į ŽE. Buvo nustatyti scenarijai, kurie davė geriausius rezultatus sprendžiant problemas, susijusias su neigiamais išoriniais efektais gamybai, aplinkos kokybei ir valstybės biudžetui. Scenarijų analizė parodė, kad skatinamos investicijos į taršos mažinimo technologijas ir žiedines technologijas nėra ypač veiksmingos ekonomikai transformuojantis į žiedinę, o didesnės vyriausybės investicijos į technologijas ir didesni aplinkosauginiai mokesčiai turi neigiamą poveikį žiediškumui (kuris yra priešingas, nei tikėtasi). Įvertinti scenarijai leido nustatyti, kaip sušvelninti daromų sprendimų išorinį poveikį, kuris neigiamai paveikia pasirinktas analizei dimensijas. Buvo nustatyta, kad ekodizaino technologijų pritaikymo galutinių prekių gamyboje didinimas ir pagamintų perdirbamų galutinių prekių dalies didinimas daro teigiamą poveikį ŽE ir kitoms nagrinėtoms dimensijoms. Todėl yra svarbu patikrinti sprendimų alternatyvas ir išrinkti tinkamiausią scenarijų bei pagal jį parengti politikos įgyvendinimo priemones.

Siekiant paspartinti perėjimą prie ŽE, struktūriniai pokyčiai, vykdomi pasitelkiant vyriausybės politikos priemones, turėtų būti nukreipti į investicijas į technologijas, susijusias su ekodizainu ir švaresne gamyba. Pavyzdžiui, vyriausybės paramos mechanizmai turėtų būti nukreipti į investicijų į aplinkosaugos technologijas didinimą. Aplinkosaugos srities teisės aktai skatina gamybos įmones plėtoti produktų perdarymo ir atnaujinimo veiklas, taip sumažinant atliekų susidarymą. Be to, produkto kūrimo etape įmonės turėtų teikti pirmenybę pakartotinio produkto naudojimo galimybėms žiedinių prekių gamyboje ir išteklių atgavimo veikloje, mažinant žalingą poveikį aplinkai. Vyriausybė turi galimybę naudoti fiskalinių priemonių (didinti pakuočių mokesčius kartu su įmonių motyvavimo instrumentais), kurios skatintų įmones investuoti į ekodizaino technologijas, derinį.

Lietuva susiduria su iššūkiu siekdama tikslo iki 2050 m. tapti 100 proc. žiedine, kaip numatyta Nacionalinėje klimato kaitos valdymo darbotvarkėje (Lietuvos Respublikos Seimas, 2021). Modeliu simuliuoti žiediškumo lygio pokyčiai parodė, kad, vyriausybei skatinant investicijas į technologijas aplinkosaugos politikos priemonėmis ir įvedant palankius fiskalinius instrumentus, antrinė produktų rinka šiuo metu yra per maža. Didinant tik investicijas į technologijas greitas proveržis link ŽE nebūtų pasiektas. Taigi, pasiekti 100 proc. žiedinę ekonomiką iki 2050 m. vien tik skatinant investuoti į technologijas nebus įmanoma. Ateityje atliekant mokslinius tyrimus būtų galima ištirti galimą vartotojų ir namų ūkių prioritetų vaidmenį sprendžiant šį iššūkį.

## LITERATŪROS SĀRAŠAS

1. Acemoglu, D. (2012). Introduction to economic growth. *Journal of Economic Theory*, 147(2), 545–550. [žiūrēta 2023-10-20]. Prieiga per internetu  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022053112000245>
2. Aghion, P., & Howitt, P. (1992). A Model of Growth Through Creative Destruction. *Econometrica*, 60(2), 323.
3. Ajevskis, V., & Vitola, K. (2011). *Housing and Banking in a Small Open Economy DSGE Model*. Working Papers. Latvijas Banka. [žiūrēta 2023-10-20]. Prieiga per internetu  
<https://econpapers.repec.org/RePEc:ltv:wpaper:201103>
4. Alouini, O., & Hubert, P. (2019). Country size, economic performance and volatility. *Revue de l'OFCE*, 164(4), 139–163. Paris: OFCE. [žiūrēta 2023-10-20]. Prieiga per internetu  
[https://www.cairn.info/load\\_pdf.php?ID\\_ARTICLE=REOF\\_164\\_0139](https://www.cairn.info/load_pdf.php?ID_ARTICLE=REOF_164_0139)
5. Amin, S., Jamasb, T., Llorca, M., Marsiliani, L., & Renström, Thomas, I. (2019). Combining Private and Public Resources: Captive Power Plants and Electricity Sector Development in Bangladesh. *Emerging Markets Finance and Trade*, 1–22. Routledge. [žiūrēta 2023-10-20]. Prieiga per internetu  
<https://doi.org/10.1080/1540496X.2019.1703107>
6. Annicchiarico, B., & Diluio, F. (2019). International transmission of the business cycle and environmental policy. *Resource and Energy Economics*, 58, 101112. Elsevier B.V. [žiūrēta 2023-10-20]. Prieiga per internetu  
<https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2019.07.006>
7. Annicchiarico, B., & Di Dio, F. (2015). Environmental policy and macroeconomic dynamics in a new Keynesian model. *Journal of Environmental Economics and Management*, 69(1), 1–21. Elsevier. [žiūrēta 2023-10-20]. Prieiga per internetu  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jeem.2014.10.002>
8. Armstrong, H., De Kervenoael, R. J., Li, X., & Read, R. (1998). A comparison of the economic performance of different micro-states, and between micro-states and larger countries. *World Development*, 26(4), 639–656. [žiūrēta 2023-10-20]. Prieiga per internetu  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X98000060>
9. Arrow, K. J., & Debreu, G. (1954). Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy. *Econometrica*, 22(3), 265–290. [Wiley, Econometric Society]. [žiūrēta 2023-10-20]. Prieiga per internetu  
<http://www.jstor.org/stable/1907353>
10. Banionienė, J., & Dagilienė, L. (2021). DSGE models for a circular

- economy: a literature review. *2021 IEEE International Conference on Technology and Entrepreneurship (ICTE)* (pp. 1–7).
11. Banionienė, J., Dagilienė, L., Donadelli, M., Grüning, P., & Jüppner, M. (2021). *The Quadrilemma of a Small Open Circular Economy Through a Prism of the 9R Strategies Working Paper Series of the 9R Strategies*.
  12. Banionienė, J., & Valančienė, L. (2014). Economic growth investment in technology: evaluation of tendencies. *Advances in education research : 4th International conference on applied social science (ICASS 2014), March 20-21, 2014, Singapore, 51*, 170–175. Newark, DE: IERI.
  13. Barro, R. (1984). *Macroeconomics*. Wiley.
  14. Bauwens, T., Hekkert, M., & Kirchherr, J. (2020). Circular futures: What Will They Look Like? *Ecological Economics*, *175*, 106703. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092180091931972X>
  15. Bems, R., Dedola, L., & Smets, F. (2007). US imbalances: The role of technology and policy. *Journal of International Money and Finance*, *26*(4), 523–545.
  16. Blazquez, J., Galeotti, M., Manzano, B., Pierru, A., & Pradhan, S. (2021). Effects of Saudi Arabia’s economic reforms: Insights from a DSGE model. *Economic Modelling*, *95*(August 2020), 145–169. Elsevier Ltd. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2020.12.004>
  17. Braungart, M., & McDonough, W. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things* (1st ed.). North Point.
  18. Cainelli, G., D’Amato, A., & Mazzanti, M. (2020). Resource efficient eco-innovations for a circular economy: Evidence from EU firms. *Research Policy*, *49*(1), 103827. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733319301477>
  19. Calisto Friant, M., Vermeulen, W. J. V., & Salomone, R. (2021). Analysing European Union circular economy policies: words versus actions. *Sustainable Production and Consumption*, *27*, 337–353. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352550920313750>
  20. Chan, Y. T. (2019). The environmental impacts and optimal environmental policies of macroeconomic uncertainty shocks: A Dynamic Model Approach. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(18).
  21. Chen, K.-J., Chu, A. C., & Lai, C.-C. (2018). Home production and small open economy business cycles. *Journal of Economic Dynamics and Control*, *95*, 110–135. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016518891830201X>

22. Corbo, V., & Di Casola, P. (2022). Drivers of consumer prices and exchange rates in small open economies. *Journal of International Money and Finance*, 122, 102553. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261560621002047>
23. Dagilienė, L., Bruneckienė, J., Varaniūtė, V., & Banionienė, J. (2023). *Circular Business Models in the Manufacturing Industry*. Springer Cham.
24. Dagilienė, L., Nedzinskienė, R., Banionienė, J., & Varaniūtė, V. (2021a). Žiedinės ekonomikos duomenų rinkinys mažose atvirose ekonomikose. Zenodo dataset. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://zenodo.org/records/5820423>
25. Dagilienė, L., Nedzinskienė, R., Banionienė, J., & Varaniūtė, V. (2021b). Circular Economy Indicators Database. Zenodo dataset. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://zenodo.org/records/5820423>
26. Dagilienė, L., Varaniūtė, V., & Banionienė, J. (2021). Manufacturing Companies' Motivation Leading to Decision-Making for the Circular Economy. *Academy of Management Proceedings*, 2021(1), 13047. Academy of Management. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://doi.org/10.5465/AMBPP.2021.13047abstract>
27. Damijan, J. P. (2001). Main Economic Characteristics of Small Countries: Some Empirical Evidence BT - Small Countries in a Global Economy: New Challenges and Opportunities. In D. Salvatore, M. Svetličič, & J. P. Damijan (Eds.), (pp. 91–130). London: Palgrave Macmillan UK. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą [https://doi.org/10.1057/9780230513198\\_4](https://doi.org/10.1057/9780230513198_4)
28. Delgado, F. J., Freire-González, J., & Presno, M. J. (2022). Environmental taxation in the European Union: Are there common trends? *Economic Analysis and Policy*, 73, 670–682. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0313592621001892>
29. Devarajan, S., Dissou, Y., Go, D. S., & Robinson, S. (2017). Budget Rules and Resource Booms and Busts: A Dynamic Stochastic General Equilibrium Analysis. *The World Bank Economic Review*, 31(1), 71–96.
30. European Commission. (2020a). *A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe*. Brussels. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0017.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0017.02/DOC_1&format=PDF)
31. European Commission. (2020b). *A New Industrial Strategy for Europe*. Brussels. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0102>

32. European Commission. (2021). *European Innovation Scoreboard 2021*. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/46013>
33. European Commission. (2023). *The European Green Deal*. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)
34. Famulska, T., Kaczmarzyk, J., & Grząba-Włoszek, M. (2022). Environmental Taxes in the Member States of the European Union—Trends in Energy Taxes. *Energies*, *15*(22).
35. Figge, F., Givry, P., Canning, L., Franklin-Johnson, E., & Thorpe, A. (2017). Eco-efficiency of Virgin Resources: A Measure at the Interface Between Micro and Macro Levels. *Ecological Economics*, *138*, 12–21. Elsevier B.V. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.03.016>
36. Figge, F., & Thorpe, A. S. (2019). The symbiotic rebound effect in the circular economy. *Ecological Economics*, *163*(April), 61–69.
37. Figge, F., Thorpe, A. S., Givry, P., Canning, L., & Franklin-Johnson, E. (2018). Longevity and Circularity as Indicators of Eco-Efficient Resource Use in the Circular Economy. *Ecological Economics*, *150*(April), 297–306. Elsevier. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.030>
38. Figge, F., Thorpe, A. S., & Manzhynski, S. (2021). Between you and I: A portfolio theory of the circular economy. *Ecological Economics*, *190*, 107190. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800921002494>
39. Fraccascia, L., Giannoccaro, I., & Albino, V. (2021). Ecosystem indicators for measuring industrial symbiosis. *Ecological Economics*, *183*(June 2020), 106944. Elsevier B.V. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.106944>
40. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, *143*, 757–768. Elsevier Ltd. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
41. Geng, Y., Fu, J., Sarkis, J., & Xue, B. (2012). Towards a national circular economy indicator system in China: An evaluation and critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, *23*(1), 216–224. Elsevier Ltd. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.005>
42. Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental

- and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. Elsevier Ltd. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
43. Graedel, T., & Allenby, B. (1995). *Industrial ecology*. Prentice Hall.
  44. Grossman, G. M., & Helpman, E. (1991). Trade, knowledge spillovers, and growth. *European Economic Review*, 35(2), 517–526. North-Holland. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/001429219190153A>
  45. Guldmann, E., & Huulgaard, R. D. (2020). Barriers to circular business model innovation: A multiple-case study. *Journal of Cleaner Production*, 243, 118160. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://app.dimensions.ai/details/publication/pub.1120694828>
  46. He, Y., & Xia, F. (2020). Heterogeneous traders, house prices and healthy urban housing market: A DSGE model based on behavioral economics. *Habitat International*, 96(November 2019), 102085. Elsevier Ltd. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2019.102085>
  47. Homrich, A. S., Galvão, G., Abadia, L. G., & Carvalho, M. M. (2018). The circular economy umbrella: Trends and gaps on integrating pathways. *Journal of Cleaner Production*, 175, 525–543.
  48. Jawahir, I. S., & Bradley, R. (2016). Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-loop Material Flow in Sustainable Manufacturing. *Procedia CIRP*, 40, 103–108. Elsevier B.V. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.067>
  49. Karmelavičius, J., & Ramanauskas, T. (2019). Bank credit and money creation in a DSGE model of a small open economy. *Baltic Journal of Economics*, 19(2), 296–333. Taylor & Francis. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://doi.org/10.1080/1406099X.2019.1640958>
  50. Karpavičius, S. (2008). Kalibruotas Lietuvos Ekonomikos Dinaminis Stochastinis Bendrosios Pusiausvyros Modelis. *Calibrated Dsge Model for the Lithuanian Economy*, 12(2), 22–46. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://ezproxy.lib.uconn.edu/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=43280504&site=ehost-live>
  51. Kim, Y., Lim, H., & Sohn, W. (2020). Which external shock matters in small open economies? Global risk aversion vs. US economic policy uncertainty. *Japan and the World Economy*, 54, 101011. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0922142520300128>



52. Kirchherr, J., Piscicelli, L., Bour, R., Kostense-Smit, E., Muller, J., Huijbrechtse-Truijens, A., & Hekkert, M. (2018). Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU). *Ecological Economics*, 150(April), 264–272. Elsevier. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028>
53. Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. Elsevier B.V. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
54. Kydland, F. E., & Prescott, E. C. (1980). Dynamic optimal taxation, rational expectations and optimal control. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2, 79–91. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0165188980900524>
55. Kydland, F. E., & Prescott, E. C. (1982). Time to Build and Aggregate Fluctuations. *Econometrica*, 50(6), 1345–1370. [Wiley, Econometric Society]. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <http://www.jstor.org/stable/1913386>
56. Lietuvos Respublikos ekonomikos ir inovacijų ministerija (2021). *Analysis of circularity of the Lithuanian industry*. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://eimin.lrv.lt/uploads/eimin/documents/files/Analysis of Circularity of Lithuania's Industry\\_2021.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://eimin.lrv.lt/uploads/eimin/documents/files/Analysis_of_Circularity_of_Lithuania's_Industry_2021.pdf)
57. Lietuvos Respublikos ekonomikos ir inovacijų ministerija (2022). *Lietuvos pramonės perėjimo prie žiedinės ekonomikos kelrodis*. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://eimin.lrv.lt/uploads/eimin/documents/files/ŽEK\\_FINAL.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://eimin.lrv.lt/uploads/eimin/documents/files/ŽEK_FINAL.pdf)
58. Lietuvos Respublikos Seimas (2021). *Dėl Nacionalinės klimato kaitos valdymo darbotvarkės patvirtinimo*. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/7eb37fc0db3311eb866fe2e083228059?positionInSearchResult>
59. Lucas, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3–42.
60. Masi, D., Kumar, V., Garza-Reyes, J. A., & Godsell, J. (2018). Towards a more circular economy: exploring the awareness, practices, and barriers from a focal firm perspective. *Production Planning & Control*, 29(6), 539–550. Taylor & Francis. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1449246>

61. McArthur, J., & Sachs, J. D. (2001). *Institutions and Geography: Comment on Acemoglu, Johnson and Robinson (2000)*. NBER Working Papers. National Bureau of Economic Research, Inc. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://econpapers.repec.org/RePEc:nbr:nberwo:8114>
62. McKenzie, L. W. (1959). On the Existence of General Equilibrium for a Competitive Market. *Econometrica*, 27(1), 54–71. [Wiley, Econometric Society]. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <http://www.jstor.org/stable/1907777>
63. McNelis, P. D., & Yoshino, N. (2018). Household Income Dynamics in a Lower-Income Small Open Economy: a Comparison of Banking and Crowdfunding Regimes. *Singapore Economic Review*, 63(1), 147–166.
64. Melina, G., Yang, S. C. S., & Zanna, L. F. (2016). Debt sustainability, public investment, and natural resources in developing countries: The DIGNAR model. *Economic Modelling*, 52, 630–649. International Monetary Fund. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2015.10.007>
65. Milani, F., & Rajbhadari, A. (2020). Observed expectations, news shocks, and the business cycle. *Research in Economics*, 74(2), 95–118. Elsevier Ltd.
66. Morrissey, K. (2020). Resource and Environmental Economics. In A. B. T.-I. E. of H. G. (Second E. Kobayashi (Ed.), (pp. 463–466). Oxford: Elsevier. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081022955107553>
67. Neo, C. T. H. (2009). Resource and Environmental Economics.
68. OECD. (2021). Improving Effectiveness Of Lithuania’s Innovation Policy. *OECD Science, Technology And Industry Policy Papers*, (123).
69. Paliokaitė, A., Petraitė, M., & Gonzalez Verdesoto, E. (2018). RIO Country Report 2017: Lithuania. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
70. Pearce, D. W., & Turner, R. K. (1989). *Economics of Natural Resources and the Environment*. Johns Hopkins University Press. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://books.google.lt/books?id=ex8vaG6m4RMC>
71. Pellens, M., Peters, B., Hud, M., Rammer, C., & Licht, G. (2018). Public Investment in R&D in Reaction to Economic Crises - A Longitudinal Study for OECD Countries. *SSRN Electronic Journal*, (18).
72. Prescott, E. C. (1988). Robert M. Solow’s Neoclassical Growth Model: An Influential Contribution to Economics. *The Scandinavian Journal of Economics*, 90(1), 7–12. Wiley. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <http://www.jstor.org/stable/3440145>

73. Proškutė, A. (2013). *Business cycle dynamics and its drivers in Lithuania*. Vilniaus universitetas. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://www.lituanistika.lt/content/74150>
74. Reike, D., Vermeulen, W. J. V., & Witjes, S. (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 246–264. Elsevier.
75. Robaina, M., Murillo, K., Rocha, E., & Villar, J. (2020). Circular economy in plastic waste - Efficiency analysis of European countries. *Science of The Total Environment*, 730, 139038. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720325559>
76. Romer, P. M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98(5), S71–S102. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://www.jstor.org/stable/2937632>
77. Sayadi, M., & Khoshkalam, M. (2020). Assessing Alternative Investment Policies in a Resource-Rich Capital-Scarce Country: Results from a DSGE analysis for Iran. *Energy Policy*, 146(September 2019), 111813. Elsevier Ltd. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111813>
78. Škrinjarí, T. (2020). Empirical assessment of the circular economy of selected European countries. *Journal of Cleaner Production*, 255.
79. Smets, F., & Wouters, R. (2003). An estimated dynamic stochastic general equilibrium model of the euro area. *Journal of the European Economic Association*, 1(5), 1123–1175.
80. Smith, V. K. (2001). Environmental Economics. In N. J. Smelser & P. B. B. T.-I. E. of the S. & B. S. Baltes (Eds.), (pp. 4611–4617). Oxford: Pergamon. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0080430767023147>
81. Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65–94. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://doi.org/10.2307/1884513>
82. Solow, R. M. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312–320. The MIT Press. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <http://www.jstor.org/stable/1926047>
83. Stahel, W. R. (2010). *The Prefomance Economy*. Hampshire, UK: Palgrave Macmillan.
84. Stahel, W. R. (2016). The circular economy. *Nature*, 531(7595), 435–438. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://doi.org/10.1038/531435a>

85. Suescun, R. (2020). A tool for fiscal policy planning in a medium-term fiscal framework: The FMM-MTFF model. *Economic Modelling*, 88(November 2018), 431–446. Elsevier Ltd. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.09.053>
86. Velenturf, A. P. M., & Purnell, P. (2021). Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1437–1457. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352550921000567>
87. Wang, R., Hou, J., & Jiang, Z. (2021). Environmental policies with financing constraints in China. *Energy Economics*, 94, 105089. Elsevier B.V. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.105089>
88. WCED. (1988). The Brundtland Report: “Our Common Future,” 4(1), 17–25.
89. Winans, K., Kendall, A., & Deng, H. (2017). The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(August 2016), 825–833. Elsevier. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.123>
90. Xiao, B., Fan, Y., & Guo, X. (2018). Exploring the macroeconomic fluctuations under different environmental policies in China: A DSGE approach. *Energy Economics*, 76, 439–456. Elsevier B.V. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.10.028>
91. Xiao, B., Fan, Y., & Guo, X. (2021). Dynamic interactive effect and co-design of SO<sub>2</sub> emission tax and CO<sub>2</sub> emission trading scheme. *Energy Policy*, 152(January), 112212. Elsevier Ltd. [žiūrėta 2023-10-20]. Prieiga per internetą <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112212>
92. Zink, T., & Geyer, R. (2017). Circular Economy Rebound. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 593–602.

## MOKSLO STRAIPSNIAI DISERTACIJOS TEMA

**Rezultatų sklaida:** disertacijos tema paskelbti 7 moksliniai straipsniai, dalis mokslinių tyrimų rezultatų publikuoti monografijoje ir knygos skyriuje. Tyrimų rezultatai pristatyti 7-iose tarptautinėse mokslinėse konferencijose.

### Mokslo straipsniai

#### *1.1. Straipsniai Web of Science duomenų bazėje*

1. Banionienė, J.; Dagilienė, L.. Opportunities to catch up advanced countries by investing in technologies // Montenegrin journal of economics. Podgorica: ELIT. ISSN 1800-5845. 2017, vol. 13, iss. 1, p. 111-123. DOI: 10.14254/1800-5845/2017.13-1.

#### *1.2. Straipsniai konferencijų darbų leidiniuose Web of Science duomenų bazėje*

1. Banionienė, J.; Dagilienė, L.. Investment in technology, foreign direct investment and country image: what is the relation? // ICEM-2016: 21st international scientific conference "Smart and efficient economy: preparation for the future innovative economy", May 19-20, 2016 Brno, Czech Republic: proceeding of selected papers / Edited by I. Simberova, F. Milichovsky, O. Zizlavsky. Brno: Brno University of Technology, 2016. ISBN 9788021454132. p. 337-345.

2. Banionienė, J.; Valančienė, L.. Economic growth investment in technology: evaluation of tendencies // Advances in education research: 4th International conference on applied social science (ICASS 2014), March 20-21, 2014, Singapore / Edited by Garry Lee. Newark, DE: IERI. ISSN 2160-1070. 2014, vol. 51, p. 170-175.

#### *1.3. Straipsniai konferencijų darbų leidiniuose Scopus duomenų bazėje*

1. Banionienė, J.; Dagilienė, L.. DSGE models for a circular economy: a literature review // 2021 IEEE International Conference on Technology and Entrepreneurship (ICTE), 24-27 August, 2021, Kaunas, Lithuania. Piscataway, NJ: IEEE, 2021. ISBN 9781665445986. eISBN 9781665438957. p. 1-7. DOI: 10.1109/ICTE51655.2021.9584471.

#### *1.4. Kitų tarptautinių duomenų bazių leidiniuose paskelbti straipsniai*

1. Banionienė, J.; Dagilienė, L.; Donadelli, M.; Gruning, P.; Jüppner, M.; Kizys, R.; Lessmann, K. The quadrilemma of a small open circular economy through a prism of the 9R strategies // Working paper series. Vilnius: Lietuvos bankas. ISSN 2029-0446. 2021, no. 96, p. 1-69. Prieiga per internetą: <[https://www.lb.lt/uploads/publications/docs/33751\\_7bfe2ff0219b3092d068aca05e8010b5.pdf](https://www.lb.lt/uploads/publications/docs/33751_7bfe2ff0219b3092d068aca05e8010b5.pdf)> [žiūrėta 2022-01-03].

2. Banionienė, J.; Dagilienė, L. Circular economy: technologies for circulation // 9th international conference on applied economics contemporary issues in economy, Toruń, Poland, 22-23 June, 2017 / Institute of Economic Research,

Nicolaus Copernicus University, Polish Economic Society Branch in Toruń, ... [et al.]. Toruń: Institute of Economic Research. 2017, p. 1-12. Prieiga per internetą: <[http://www.badania-gospodarcze.pl/images/Working\\_Papers/2017\\_No\\_9.pdf](http://www.badania-gospodarcze.pl/images/Working_Papers/2017_No_9.pdf)> [žiūrėta 2017-06-13].

3. Banionienė, J.; Valančienė, L. Evaluation method of the relation between the investment in technology and the economic change // Economics and management = Ekonomika ir vadyba / Kaunas University of Technology. Kaunas: KTU. ISSN 1822-6515. 2013, No. 18 (2), p. 246-255. DOI: 10.5755/j01.em.18.2.3978.

#### ***1.5. Kituose recenzuojamuose mokslo leidiniuose paskelbti straipsniai***

1. Banionienė, J.; Dagilienė, L. Investment in technology as a competitiveness factor in the circular economy perspective // Sustainable innovation 2016: Circular economy innovation & design, part of the "Towards sustainable product design": 21st international conference 7-8, November 2016, Epsom, Surrey, United Kingdom. Surrey: Centre for sustainable design. 2016, p. 33-39. Prieiga per internetą: <<http://cfsd.org.uk/events/sustainable-innovation-2016/>> [žiūrėta 2020-01-06].

#### **Monografijos ir jų dalys**

1. Dagilienė, L.; Bruneckienė, J.; Varaniūtė, V.; Banionienė, J.. Circular business models in the manufacturing industry: insights from small open economies. Cham: Springer, 2023. 174 p. (Studies in energy, resource and environmental economics, ISSN 2731-3409, eISSN 2731-3417). ISBN 9783031288081. eISBN 9783031288098. DOI: 10.1007/978-3-031-28809-8.

2. Dagilienė, L.; Bruneckienė, J.; Varaniūtė, V.; Banionienė, J.. Public sector as a catalyst for transition to a circular economy" for The Routledge Handbook of Catalyst for a Sustainable Circular Economy/ edited by Hanna Lehtimäki et al. London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003267492>.

#### **Mokslinių tyrimų rezultatų skelbimas konferencijose**

1. J. Banionienė, L. Dagilienė, V. Varaniūtė. Paradoxical dichotomy by implementing circular business model innovation. British Academy of Management, UK 31/08/2022-03/09/2022. [online]

2. J. Banionienė, L. Dagilienė, M. Donadelli, P. Gruning, M. Juppner, R. Kizys, K. Lessmann. "The Quadrilemma of a Small Open Circular Economy Through a Prism of the 9R Strategies". 3rd Baltic Economic Conference hosted by University of Tartu, June 7-8, 2021 Tartu, Estonia [online].

3. J. Banionienė, L. Dagilienė (2021). "DSGE models for a circular economy: a literature review" // 021 IEEE International Conference on Technology and Entrepreneurship (ICTE) "Leading digital transformation in business and society". Kaunas: Technologija. 2021.

4. J. Banionienė, L. Dagilienė, V. Varaniūtė. The way of manufacturing organizations towards circular economy: drivers and decision-making logics.

British Academy of Management “Recovering from Covid: Responsible Management and Reshaping the Economy”, 31/08/2022-03/09/2022. [online]

5. J. Banionienė; L. Dagilienė. Circular Economy: Technologies for Circulation. 9th International Conference on Applied Economics Contemporary Issues in Economy, Toruń, Poland, 22-23 June 2017.

6. J. Banionienė. "The Evaluation of Investment in Technology in Circular Economy" participation in the Poster session of PhD Summer School in Economics, Management, Political Science, Law and Public Administration. June 26–29, 2018, Kubija, Estonia.

7. J. Banionienė, L. Dagilienė. Investment in Technology as a Competitiveness Factor in the Circular Economy Perspective. Sustainable Innovation-2016: 21st international scientific conference "Circular Economy Innovation & Design. Towards Sustainable Product Design", November 7-8, 2016 Epsom, Surrey, Great Britain, 2016.

## INFORMACIJA APIE AUTORE

### Išsilavinimas

2013–2023	Ekonomikos mokslo krypties (S 004) doktorantūros studijos Kauno technologijos universitetas (Lietuva)
2011–2013	Apskaitos ir audito magistro laipsnis (su pagyrimu) Kauno technologijos universitetas (Lietuva)
2006–2008	Ekonomikos magistro laipsnis Mykolo Romerio universitetas (Lietuva)
2002–2006	Viešojo administravimo bakalauro laipsnis Kauno technologijos universitetas (Lietuva)

### Darbo patirtis

2022 06 iki dabar	Mokymosi visą gyvenimą projektų vadovė
2018 08 – 2022 07	Finansų vadovė
2023 09 iki dabar	Jaunesnioji mokslo darbuotoja: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ projekte „Paradoksalių prieštaravimų valdymas ir organizacinių gebėjimų vystymas žiedinės ekonomikos kontekste“ (CEPOT);</li> <li>▪ projekte „Žiedinės ekonomikos modeliavimo ir įgalinimo perspektyva mažoje atviroje ekonomikoje“.</li> </ul>
2020 07 – 2021 12	
2021 09 – 2022 06	Lektorė / jaunesnioji mokslo darbuotoja
2020 09 – 2021 06	Kauno technologijos universitetas, Ekonomikos ir verslo mokykla
2018 09 – 2018/11	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Praktinių užduočių dėstymas pagal ACCA metodiką magistrantams (dalykas: Auditas lietuvių ir anglų kalbomis).</li> <li>▪ Praktinių užduočių mokymas magistrantūros studentams (dalykas: Vertybėmis grįstas valdymas).</li> <li>▪ Dalyvavimas KTU tarpdisciplininiam projekte „Žiedinės ekonomikos diegimo galimybių analizė Lietuvos gamybos sektoriuje“.</li> </ul>
2016 11 – 2016 12	
2017–2018	Kauno apskrities skyriaus vedėja Regioninės plėtros departamentas prie Lietuvos Respublikos vidaus reikalų ministerijos
2016–2017	Vyriausioji specialistė Regioninės plėtros departamentas prie Lietuvos Respublikos vidaus reikalų ministerijos
2009–2016	Vyriausioji specialistė Lietuvos Respublikos vidaus reikalų ministerija, Regioninės politikos departamentas
2008–2009	Skyriaus vedėja Vilniaus apskrities valdytojo administracija, Regioninės plėtros departamentas, Regioninės ekonomikos ir socialinės plėtros skyrius
2006–2008	Specialistė / vyriausioji specialistė Vilniaus apskrities valdytojo administracija, Regioninės plėtros departamentas
2004–2006	Administratorė UAB „Deklitas“



## COMPREHENSIVE SUMMARY

### The relevance of the research topic

The idea of a win-win between economic activity and the environment was laid down already in the *Brundtland Report* (WCED, 1988), whereas environmental problems and challenges are described as an economic opportunity. One approach to sustainable development is circular economy (CE), which is often perceived as a practical strategy for implementing sustainability. CE is a recognised European Union (EU) strategy, embedded in such key documents as the *Circular Economy Action Plan* (2020), and the *European Green Deal*. The goal of these strategic documents is to encourage societies to cope with environmental challenges and move from a linear economy toward CE. According to (Stahel, 2016), the base of the linear economy is the syndrome of ‘*bigger-better-faster-safer*’, driven by the principle of ‘*take, produce, consume and discard*’. CE should use natural cycles to conserve materials, energy and nutrients for economic use (Korhonen et al., 2018). CE is an industrial economy in which the resource use, emissions levels, waste costs, and energy losses, are reduced through proper management and integration into a closed chain of energy and materials (Geissdoerfer et al., 2017). Finally, CE is considered as an opposition to the linear economic system (Homrich et al., 2018) with a focus on eco-design products and cleaner production.

The implementation of CE is strongly influenced by the EU’s strategic agenda and legal framework. The EU member states implement various policy instruments to encourage a transition towards CE: the already existing environmental tax rates are rising (Famulska et al., 2022), additional taxes are being introduced (Delgado et al., 2022), economic activities related to the implementation of the CE targets are being promoted. Nevertheless, the majority of companies remain non-motivated to implement CE solutions in production and to develop eco-design products, as this increases their production costs (Dagilienne et al., 2021; Guldmann & Huulgaard, 2020; Kirchherr et al., 2018; Masi et al., 2018). The underdeveloped secondary market for used products and recovered resources is hampering the implementation of CE (Kirchherr et al., 2018).

Looking at circularity from a macroeconomic perspective, one of the catalysts for CE is technology investments. Besides, technology investments are a main source of technological progress, which is the object of the *Neoclassical Theory*. From the perspective of the neoclassical theory, labour, capital, and technological progress are the key factors considering long-term economic growth in a country (Acemoglu, 2012; Aghion & Howitt, 1992; Grossman & Helpman, 1991; Lucas, 1988; McArthur & Sachs, 2001; Romer, 1990; Solow, 1956). However, the results of technology investments are only visible in the future, and changes in the economic environment and fluctuations of interest rates exert a significant impact on the value of the business and public technology investments

(Banionienė & Valančienė, 2014; Pellens et al., 2018). Specifically, business investment in the technologies driving the CE transition reduces corporate profits in the short term. Meanwhile, in the long term, those technologies which enable greater circularity could help companies save money and reduce the risk that reinvestment (Velenturf & Purnell, 2021) in the further use of resources will cause a rebound effect (Zink & Geyer, 2017). Companies invest in technologies if the regulations or requirements across the value chain oblige them to change their production methods to less polluting ones; they still maintain their position as market leaders, and such investments improve their reputation (Dagiliene et al., 2021). Consequently, economic conditions and legal regulation are especially important factors for successful changes towards circularity. There is a lack of economic theory which could guide the transition from the prevailing neoclassical model to an economic model which promotes the transition to a sustainable circular economy (Velenturf & Purnell, 2021). In particular, there is a lack of macroeconomic models to quantify the role and effects of investment in technologies in the transition to CE. *Dynamic Stochastic General Equilibrium* (DSGE) models have a microeconomic underpinning, are forward-looking, internally consistent, and designed to model dynamic systems (Blazquez et al., 2021; He & Xia, 2020). These models are useful for studying the potential effects of reforms (including environmental ones) and stochastic shocks, as well as for finding dynamic relationships between economic variables (Banioniene & Dagiliene, 2021).

Most of the CE scientific literature is focused on large economies, namely, the EU, China, the US, Germany, and the United Kingdom (Cainelli et al., 2020; Robaina et al., 2020). Large open economies have the power to influence the global prices of raw materials, operate with the domestic interest rates, and directly affect pollution (Annicchiarico & Di Dio, 2015; Bems et al., 2007; Wang et al., 2021). Besides, the economic policies of large countries are managed relatively easily compared with the smaller countries which need to adjust their policies and encounter favourable and harmful impulses forced by the foreign policies (Damijan, 2001). Moreover, (Amin et al., 2019; Devarajan et al., 2017; McNelis & Yoshino, 2018; Melina et al., 2016; Sayadi & Khoshkalam, 2020; Suescun, 2020) have investigated the effect of government policy instruments on a country's growth and sustainability in resource-rich open countries. Thus, there is a gap in the investigation of small open countries with limited natural and financial resources and limited policy decisions. Therefore, such countries should implement harmonized macroeconomic policies with integrated economic and environmental instruments.

Besides, small open economies could get a competitive advantage and increase economic growth by buying and adapting technologies from abroad. Meanwhile, major economies, such as the USA, Japan, and Germany, have developed infrastructure for technology creation and are the main technology

generators (Banionienė & Valančienė, 2014). Therefore, technologies can be categorized into two groups: productivity-enhancing technologies (non-environmental with a strong focus on profit), and CE-enabled technologies (environmental, encompassing abatement, eco-design, recycling, etc.). The impact of non-environmental technologies on circularity may exhibit the opposite negative effect (Banionienė et al., 2021). Overall, CE can be seen as a new practical ideology lacking a theoretical framework based on quantitative evidence (Velenturf & Purnell, 2021).

**The empirical setting of the research.** Lithuania is one of the EU Member States where an EU-funded *High Impact Action* (HIA) project initiated by the Ministry of Economy and Innovation of the Republic of Lithuania has been implemented, focusing on the development of the Lithuanian Industrial Transition to the Circular Economy Roadmap. One of the biggest shortcomings of the Lithuanian industry is its lack of a unified vision and action plan for the transition to a climate-neutral circular economy (Dagilienė et al., 2023).

Due to being a small economy and a member of the EU, Lithuania has an adjusted policy and high trade openness compared with other advanced EU economies. From the environmental policy point of view, the implementation of CE is included in the national strategies. Lithuania's *National Progress Plan* (NPP) is an umbrella document aimed at implementing the *State Progress Strategy* (Lithuania 2030) and the *UN 2030 Agenda* (integrating sustainable development goals). The horizontal principles of NDP are therefore: sustainable development; innovation; equal opportunities for all. This document can be considered one of the earliest efforts towards the development of a circular economy in the country. Therefore, the costs of circularity are underestimated, and it is unclear what impact on the economic equilibrium it could have. Some of the created and calibrated DSGE models for the Lithuanian economy (Ajevskis & Vitola, 2011; Karmelavičius & Ramanauskas, 2019; Karpavičius, 2008) presented various monetary and fiscal policy instruments and their impact on general equilibrium dynamics, but there is a gap in the investigation of the environmental issue. In addition, Lithuania has been facing structural challenges in the research and business sectors, such as slow business R&D expenditure compared with the investment in non-R&D innovation (OECD, 2021), lack of domestic funding mechanisms, and reliance on EU funding (Paliokaitė et al., 2018). Lithuania is ranked as a moderate innovator (18<sup>th</sup> place) according to the *European Innovation Scoreboard* (EC, 2021) as it is facing problems of an ineffective R&D structure, insufficient technology diffusion, and over-dependence on foreign funding sources. Finally, Lithuania's economy is only 3.3% circular (Science, Innovation and Technology Agency, 2021).

Considering the above-mentioned gaps, this dissertation aims to evaluate the effects of technology investments on circularity, which is defined as a set of stages expressed with various indicators.

In the scientific literature, circularity is often associated with *R* strategies or *R* loops (Reike et al., 2018; Winans et al., 2017) which are based on the *Waste Hierarchy* system. Calisto Friant et al. (2021) have emphasized the ‘holistic’ circularity that can be achieved through revised eco-design rules requiring better product durability, multifunctionality, renewability, and modularity. Meanwhile, ‘segmented’ circularity focuses on recycling and waste management objectives (Calisto Friant et al., 2021).

## **Research problem**

How do different technology investments influence a small open economy transitioning to a circular economy?

Transitioning to a circular economy includes temporal dimensions; therefore, I shall use different stages to describe circularity with the selected indicators.

## **The object of the research**

Technology investments in a small open economy.

## **The aim of the research**

The research aim is to evaluate the effects of various technology investments for a small open economy transitioning to a circular economy.

## **Research objectives**

1. To conceptualize the role of technology investments for a small open economy transitioning to a circular economy;
2. To provide argumentation for the suitability of the general equilibrium modelling and review the DSGE modelling frameworks by using the neoclassical growth theory and assumptions of circular economy;
3. To create a DSGE model for a small open economy aimed at assessing the effects of technology investments on the transition to circular economy;
4. To calibrate the parameters and verify empirically the applicability of the DSGE model by simulating dynamic shocks;
5. To accomplish the scenario analysis for the preparation of the recommendations for policymakers.

## **Research methods**

1. Systematic and comparative analysis of scientific literature was used to investigate the role of technology investments in economic theories and CE and to identify problems in the case of a small open economy. This method was used to compare various macroeconomic models and construct a DSGE model with technology investments and CE elements.

2. The calibration of the model parameters was performed based on empirical research and the constructivist concept while using statistical data analysis methods.

3. Through the application of qualitative analysis, the selected macroeconomic indicators were systematically examined to identify the shared characteristics and patterns. Subsequently, these indicators were categorized into five distinct groups by aligning them with the dimensions of production, circularity, environment, technologies, and the government budget. This categorization facilitated a comparative analysis of the effects of diverse economic shocks and scenarios on the overall equilibrium of a small open economy.

4. The correlation method was employed to examine the relationship between macroeconomic, technology investments and CE indicators in Lithuania. The obtained results were then compared with the calculations from the developed CE-DSGE model.

### **Used data sources**

The created CE-DSGE model was calibrated by using the databases of the Eurostat, OECD, Statistics Lithuania and *Zenodo* (Dagilienė, Nedzinskienė, Banionienė, & Varaniūtė, 2021b).

### **Scientific novelty and theoretical significance of the dissertation**

1. The created CE-DSGE model is a new instrument to evaluate the effects of technology investments on changes in a small open economy due to the implemented policy actions. Besides, it was designed to analyse the behaviour of typical economic agents (households, final goods and intermediate goods firms, and government) and a new one – a circular goods firm. Consumption, production, environmental quality and the government policy variables are included. Importantly, the model has new CE elements which were not included in the previous DSGE models. The new CE elements used to evaluate or affect the circularity are the circular goods production output, the labour force in the circular goods sector, waste damage function (affecting the production of the final goods firm), eco-design technology, and resources recovery technology.

2. By adopting the multilevel perspective and continuously assessing the changing environment, the framework for transitioning to CE comprises the following progressive stages: 1) increasing the proportion of recyclable waste, 2) reducing waste per output or per capita, 3) striving for zero waste (including cyclic industrial waste, zero waste landfilled, and zero emissions), and 4) establishing a full cycle economy (where all consumption waste is utilized for new production). These newly defined stages allow for thorough evaluation of the SOE's gradual transformation to CE and facilitate comparative assessment of the progress towards circularity across different economies.

3. The obtained empirical results confirm that different types of technology investments can have distinct effects on the transition of particular countries to CE. Specifically, investment in non-environmental technologies tends to increase the productivity of the firms, which leads to higher production, consumption, and waste levels in the specific economy. Investment in circular technology, however, enhances circularity by improving the production of circular goods with the same value of production resources in the sector. In addition, investment in abatement technology enables the production of output with reduced pollution, while investment in eco-design technologies improves the final goods technologies, thereby ultimately reducing the amount of packaging waste. Furthermore, investment in the resources recovery technology enhances the capacity of recovery in the market and augments the level of resource circularity. Therefore, these investment decisions exert a direct influence on the general equilibrium, including circularity.

4. The modelling assumptions which encompass elements of circularity and investment in technologies are selected for a small open economy. As the main CE and DSGE scientific literature represents the analysis of large open economies, this model is created to evaluate the effects of technology investments on a small open economy. Therefore, special attention was focused on the flows of non-environmental and other types of investment in technologies (circular goods, abatement, eco-design, and resources recovery) from business companies and the government.

To the best of the knowledge of the author of this thesis, exploring separately the effect of technology arrival and government spending shocks on a small open economy transitioning to a circular economy is new in the economic literature.

### **Practical application of the results**

The new CE-DSGE model has been calibrated for Lithuania, as the representative case of a small open economy. The created CE-DSGE model:

- includes variables and data to estimate Lithuania's circularity and technology investments;
- can evaluate the effectiveness and rationality of the fiscal policy changes;
- can help policymakers predict environmental policy implications by running a simulation of selected scenarios for the transition to a circular economy;
- allows simulating the changes in environmental and non-environmental technologies and estimating the effect on the equilibrium of a small open economy;
- is useful for evaluating the impact of political decisions on changes in circularity and technology investments;

- can help to evaluate the solutions for waste management and efficiency problems and solve the problem of resource usage at the macro level, evaluate environmental quality changes.

The created CE-DSGE model can be used for the estimation and simulation of changes over a long period, so that its results were useful for preparing long-term policy strategies.

## **The structure of the dissertation**

The dissertation consists of an introduction, four main chapters and the concluding chapter representing the discussion of the research results and the limitation of the created CE-DSGE model. The list of references and appendices are presented at the end of the thesis.

Chapter 1 includes an extended motivation for the dissertation topic by giving theoretical reasoning and describing the main concepts and objects of the research. In Chapter 2, the literature overview is performed by presenting a broader context of the macroeconomic models used for complex economic decision-making. This section also includes literature analysis of the created models for macroeconomic analysis in Lithuania. Then, Chapter 3 continues with the description of the selected research assumptions for the creation of a macroeconomic model for a small open economy with the elements of circular economy and technology investments and the description of the created DSGE model. In Chapter 4, the calibration procedure of the parameters is described by taking the Lithuanian economy as a case of a small open economy. This section also includes detailed analysis of selected dynamic shocks of variables for the created steady state, and also a scenario analysis of the structural changes constructed to achieve higher circularity. The concluding section summarises the theoretical and practical results of the dissertation thesis, and describes the limitations of the created CE-DSGE model and directions for future research.

## **Approval of research results**

7 scientific articles have been published on the dissertation topic, part of the research results have been published in a monograph and a book chapter. The results of the research have been presented at 7 international scientific conferences.

## **Conclusions**

1. The topic of technology investment in small open economies transitioning to CE combines the theoretical aspects of environmental economics and the neoclassical growth theory, with an empirical focus on small open economies. The neoclassical growth theory emphasizes the significance of the technological change and technology investments on economic development. Meanwhile, environmental economics, a distinct branch of neoclassical

economics, focuses on environmental externalities and the associated environmental costs. It places a particular emphasis on such economic aspects as market dynamics, government decisions, and policy frameworks, while simultaneously evaluating the interaction of the environmental and economic indicators including the rebound effect they exert on each other. Besides, environmental economists are exploring the transition from a linear to a circular economic system by describing environmental functions.

Neoclassical economics analyses the relationship between the economic growth and both endogenous and exogenous technologies which result from investment decisions. Four types of subjects typically invest in technologies: the government, business companies, private investors, and foreign investors. Among them, business investments in technology are the most responsive to changes in the economic environment, due to being particularly influenced by the interest rate fluctuations. In addition, countries are facing the challenge to motivate businesses to invest in CE solutions for cleaner production and to develop eco-design products due to increased production costs. To encourage the transition from linear economy to CE as outlined in the EU communicates, governments are creating strategies which promote secondary markets for circular products and the recovered resources. Small open economies, due to their market flexibility and openness, are well-positioned to leverage technology diffusion and targeted technology investments to facilitate the transition from a linear economy to a CE. Different investments in technologies generally enhance the market productivity and mitigate their intended negative effects. However, solving the challenges of the whole economy rather than a single specific secondary market requires assessing the rebound effects and the identification of the preferable scenarios.

2. By applying the lens of environmental economics and the neoclassical growth theory, the DSGE model has been chosen as the most appropriate methodology for the research objectives, especially considering its incorporation of the microeconomic foundations, its dynamic nature, the treatment of uncertainty, and its convenient compatibility with the analysis of short-term fluctuations. Its ability to provide policy assessments, comparative results, along with its extensive use in the forecasting and policy analysis by central banks further supported its selection. Importantly, this methodology allowed us to incorporate technology investments and CE features, along with a specific mix of fiscal policies. The previously developed DSGE models for the Lithuanian economy were mostly designed to analyse the government policy instruments and their impact on the general equilibrium except for environmental issues and technology diffusion. Furthermore, the environmental research utilizing DSGE models emphasizes various aspects, such as emission reduction, renewable and non-renewable energy sources, energy efficiency, and environmental taxes. However, among the DSGE models developed to analyse



changes in CE-related aspects, there was no model considering several secondary markets (including the resource, intermediate goods, final goods and waste markets) and the government policy variables. In addition, the literature analysis has revealed a lack of sufficient examination of SOEs and their CE characteristics within the DSGE literature, particularly focusing on large economies.

3. The newly developed CE-DSGE model, incorporating investments in technology variables and estimating the circularity of the economy, serves as a universal modelling tool for any SOE transitioning to a CE. It enables the assessment of economic shocks and the applied scenarios on the changes in the economic equilibrium. As EU member states are striving to advance circularity initiatives and achieve the CE strategic goals, they must also address such challenges as pollution, inflation, and budget deficits. This model helps identify the rebound effects (and especially the unexpected ones) of the policy decisions before any particular policy has been established. Thus, the model assists in choosing the preferable scenario for implementation. The CE-DSGE model can be extended to analyse a wide range of policy alternatives and their impacts beyond the technology investments and circularity effects. In comparison to the previous DSGE models (in the topic of environmental economics), the new CE-DSGE model enables to evaluate both cleaner production and eco-design strategies, includes several secondary markets (resource, intermediate goods, final goods, and waste), technology investments and government policy variables.
4. The calibration of the CE-DSGE model was made by choosing Lithuania as the representative of a small open economy. The analysis of economic shocks reveals a quantitatively substantiated problem of contradictions across four dimensions – production, circularity, environment, and the government budget. The positive effects on circularity and other dimensions were observed only in response to the shock on the arrival rate of environmental technologies. In contrast, the negative effects on circularity resulted from the shocks related to environmental subsidies and increased productivity in the new intermediate goods production. The case of Lithuania demonstrates that transitioning to circularity may necessitate trade-offs with other dimensions. By leveraging economic shocks, small open economies can opportunistically time their investments in technology and expand their CE initiatives, thereby capitalizing on random and independent economic fluctuations.
5. 10 possible scenarios have been constructed and evaluated in relation to the government decisions to implement cleaner production and/or eco-design strategies linked to technology investments to drive a country's transition to a CE. The scenarios provide insights into mitigating the rebound effects on the production, environmental quality, and the government budget. The analysis of the scenarios shows that encouraged investment in the abatement

technology and circular technology are not significantly effective in the transition to a CE, while higher government technology investments and higher environmental taxes exert a negative effect on circularity (which is the exact opposite of whatever was being expected). It has been determined that a higher possibility to adopt an eco-design technology and a higher share of recyclable goods in the economy has the strongest positive effect on circularity and a positive effect on all other dimensions. This underscores the importance of the governmental eco-design policy instruments which would optimise the outcomes.

Also, by seeking to accelerate the transition to a CE, structural changes via the government policy instruments should be targeted on the investment in technologies associated with the eco-design and cleaner production activities. For instance, the government support mechanisms should prioritize increasing the share of environmental technologies within the overall investment landscape. The environmental legislation can incentivize manufacturing companies to engage in remanufacturing and renewing a greater number of products, thereby minimising waste generation. In the product development phase, businesses should prioritize product reusability in the circular goods production and resource recovery activities, thus minimising the harmful environmental impact. The government can consider utilizing a combination of fiscal instruments, including an increase of the packaging taxes, alongside with effective incentive schemes to motivate companies to invest in eco-design technologies as viable alternatives.

Lithuania is facing a significant challenge in achieving its goal of becoming 100% circular by 2050, as outlined in its climate change management policy. As the model allowed investigating the circularity rate and observing its long-term changes, the results indicate that even with the government encouragement through environmental policies and the supportive fiscal mechanisms, the secondary market is currently too small to achieve a rapid breakthrough with increased technology investments alone. This suggests that achieving a 100% CE by 2050 is unlikely by accelerating technological investments alone. Future research could explore the potential role of the household preferences in addressing the challenge of CE.



UDK 330.322 + 330.34](043.3)

SL344. 2024-01-05, \* leidyb. apsk. I. Tiražas 35 egz.

Išleido Kauno technologijos universitetas, K. Donelaičio g. 73, 44249 Kaunas  
Spausdino leidyklos „Technologija“ spaustuvė, Studentų g. 54, 51424 Kaunas