

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
BOLONIJOS UNIVERSITETAS  
VYTAUTO DIDŽIOJO UNIVERSITETAS  
LIETUVOS ENERGETIKOS INSTITUTE

SEMIH OGUZDJAN

**PAVOJINGŲ CHEMINIŲ MEDŽIAGŲ PAKAITIMO MAŽIAU  
PAVOJINGOMIS MEDŽIAGOMIS POVEIKIO APLINKAI  
VERTINIMO MODELIS TAIKANT BŪVIO CIKLĄ**

Daktaro disertacijos santrauka  
Technologijos mokslai, Aplinkos inžinerija (T 004)

2019, Kaunas

Disertacija rengta 2015-2019 m. Kauno technologijos universitete (Aplinkos inžinerijos institute), bei Bolonijos universitete, pagal dvigubo laipsnio sutartį.

### **Moksliniai vadovai:**

Prof. dr. Jolanta DVARIONIENĖ (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija, T 004),

Doc. dr. Alessandro TUGNOLI (Bolonijos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija, T 004).

**Redagavo:** Eglė Dumskytė (Leidykla „Technologija“).

### **Aplinkos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:**

Prof. dr. Žaneta STASIŠKIENĖ (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija, T 004) – pirmininkė;

Dr. Jūratė KRIAUCIŪNIENĖ (Lietuvos energetikos institutas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija, T 004);

Dr. Alessandro DAL POZZO (Bolonijos universitetas, Italija, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija, T 004);

Dr. Valeria Casson MORENO (Bolonijos universitetas, Italija, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija, T 004);

Prof. habil. dr. Arvydas POVILAITIS (Vytauto Didžiojo universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija, T 004);

Doc. dr. Francesco SCORZA (Bazilikatos universitetas, Italija, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija, T 004).

Disertacija bus ginama viešajame Aplinkos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje 2020 m. sausio 9 d. 14 val. Kauno technologijos universiteto disertacijų gynimo salėje.

Adresas: K. Donelaičio g. 73 (73-403), 44249 Kaunas, Lietuva. Tel. nr. (+370) 37 300 042; faks. (+370) 37 324 144; e. paštas doktorantura@ktu.lt.

Disertacijos santrauka išsiųsta 2019 m. gruodžio 9 d. Su disertacija galima susipažinti internete <http://ktu.edu>, Kauno technologijos universiteto (K. Donelaičio g. 20, Kaunas), Vytauto Didžiojo universiteto (K. Donelaičio g. 52, Kaunas) bibliotekose ir Lietuvos energetikos institute (Breslaujos g. 3, Kaunas).

## IVADAS

### Tyrimo aktualumas

Su pramonine veikla susijęs aplinkos poveikis (pvz., šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas, didelio toksiškumo cheminių medžiagų išleidimas į aplinką ir kt.) kelia susirūpinimą dėl aplinkos ir žmonių gerovės. Ieškant mažiau toksiškų cheminių alternatyvų, susijusių su gaminių gyvavimo ciklu, reikia atsižvelgti į bendros gamybos sistemos pokyčius, atsirandančius atlikus įmonės cheminio pakeitimo sprendimus.

Eksponentiškai padidėjus šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijai atmosferoje (Keeling, Keeling 2017), daroma išvada (proporcingai naudojant energiją ir darant poveikį aplinkai (Huijbregts ir kt., 2010; Huijbregts ir kt., 2006)), kad pavojingų cheminių medžiagų, kurios nepakeičiamos ar laipsniškai nebetaikomos, aplinkoje taip pat eksponentiškai daugėja. Dabartinė pakeitimo praktika, kurią lemia ES reglamentai, mažose ir vidutinėse įmonėse (MVI) pirmiausia yra skirta kancerogeninėms, mutageninėms ir reprodukcijai toksiškoms (CMR), patvarioms, bioakumuliacinėms ir toksiškoms (PBT) arba labai patvarioms ir labai bioakumuliacinėms (vPvB) medžiagoms mažinti nesigilinant į šių sprendimų poveikį gyvenimo ciklui. Tačiau turėtų būti aišku, kad vietiniai sprendimai nėra pats geriausias būdas sumažinti bendrą poveikį. Tai tik galbūt sumažina pakaitalų efektyvumą (suvartotų išteklių poveikį aplinkai), ir ištekliai yra eikvojami iš esmės nemažinant poveikio aplinkai. Būvio ciklo vertinimas (BCV) yra metodas, taikomas poveikiui aplinkai, susijusiam su visais produkto gyvavimo ciklo etapais, įvertinti. Į šiuos etapus įeina žaliavų gavyba, medžiagų perdirbimas, gamyba, paskirstymas, naudojimas, perdirbimas (jei yra) ir šalinimas. BCV yra naudojama įvairiems tikslams: ekologiniam ženklinimui, gaminių tobulinimui ir produktų palyginimui, atsižvelgiant į poveikį aplinkai (EU, 2010; Lehtinen ir kt., 2011; Borghi, 2013). BCV įgyvendinimas kaip pažangiausias lygis tam tikru mastu buvo standartizuotas plėtojant ISO 14040/44 standartus ir vėliau paskelbiant gaires – Tarptautinės referencinio gyvavimo ciklo duomenų sistemos (ILCD) vadovas (EU, 2010). Nepaisant to, beveik kiekviename BCV taikymo etape yra daug spręstinių problemų. Viena iš šių problemų yra kompetencija, reikalinga tradiciniams BCV tyrimams atlikti (Iraldo ir kt., 2015). Todėl įmonėse, kuriose trūksta patirties, priimant sprendimus dėl alternatyvų įvertinimo dažnai nepaisoma poveikio aplinkai, susijusio su visu produkto gyvavimo ciklu. Tai ypač svarbu, nes mažos ir vidutinės įmonės sudaro didžiąją pasaulinės produkcijos dalį (Hussey, Egan, 2007; Baranova, Paterson, 2017), o norminiai reikalavimai skirti tik pagrindinėms problemoms, kai nepaisant daugelio mažų poveikių gali kilti didelis poveikis, spręsti.

Tai ypač sudėtinga, kai dėl norminių įgaliojimų reikia atlikti cheminių alternatyvų vertinimus. Vienas iš tokių įgaliojimų ES yra REACH reglamentas. Įsigaliojo 2007 m. Tai pagrindinis cheminių medžiagų pakeitimo Europos Sąjungoje variklis, kai esant ne tokiai žalingai pavojingų medžiagų (labai didelį

susirūpinimą keliančių medžiagų) alternatyvai šios medžiagos neišvengiamai keičiamos (Europos cheminių medžiagų agentūra [ECHA], 2007). Norint sukurti sistemą, apibūdinančią, kaip tobulėti vertinant alternatyvas, literatūroje pateikiama daug galimybių įvairių tipų vertintojams (nuo MVĮ iki vyriausybinių organų), turintiems skirtingus išteklius. Šiose cheminių alternatyvų vertinimo sistemose BCV metodas yra neprivalomas ir paprastai taikomas vertintojų, turinčių pakankamai laiko ir išteklių. Taip pat dažnai neatsižvelgiama į darbo saugą, atsitiktinį ir neorganizuotą šalinimą per visą gyvavimo ciklą. Neorganinis šalinimas yra nenumatytas šalinimas, pavyzdžiui, dujų nutekėjimas iš vamzdinių jungčių.

Todėl būtina tinkamai integruoti naujas metodikas į jau turimas cheminių alternatyvų vertinimo sistemas, kurios leistų ribotus išteklius turintiems vertintojams įvertinti savo sprendimų poveikį aplinkai ir darbuotojams bent jau gaminių gyvavimo ciklo metu. Be to, jei įmanoma, trūkstant informacijos ar esant klaidoms, turėtų būti taikomi klaidų mažinimo metodai. Darbo metu „ekspertas“ reiškia vertintoją, kuris pasirenka tinkamus parametrus, susijusius su poveikiu aplinkai ar žmonių sveikatai, atsižvelgdamas į technikos pažangą.

Šiuo darbu siekiama sukurti poveikio aplinkai vertinimo modelį, kuris leistų integruoti gyvavimo ciklo poveikį aplinkai ir gyvenimo ciklo darbo saugos aspektus į alternatyvias vertinimo sistemas, kurias naudotų skirtingų išteklių lygių įmonės.

### **Tyrimo tikslas ir uždaviniai**

Tyrimo tikslas – taikant gyvavimo ciklo metodą, sukurti pavojingų medžiagų pakeitimo poveikio aplinkai modelį.

### **Uždaviniai:**

1. Išanalizuoti esamus pavojingų medžiagų pakeitimo poveikio aplinkai vertinimo tyrimus.
2. Parengti pavojingų cheminių medžiagų pakaitalų poveikio aplinkai vertinimo modelį pramonės įmonėse.
3. Taikyti sukurtą modelį pasirinktiems įmonės atvejams ir įvertinti jo pagrįstumą.
4. Iširti galimus patobulinimus, leisiančius plačiau taikyti MVĮ įvertinimo metodus.

### **Pagrindinė darbo tezė**

Sukurtas poveikio aplinkai vertinimo modelis įmonėms leidžia įvertinti gyvavimo ciklo poveikį aplinkai, atsižvelgiant į supaprastintą taikymo sritį, įskaitant medžiagas keliančias didelį susirūpinimą, atsitiktinius teršalus, taip pat gyvavimo ciklo darbo saugos klausimus.

## **Tyrimo objektas ir metodika**

**Tyrimo objektas** – pavojingos medžiagos.

**Tyrimo etapai** yra šie: sisteminė literatūros apžvalga, siekiant išsiaiškinti problemas ir priemones (metodus), taikomas vertinant chemines alternatyvas; atitinkamų literatūroje pateiktų metodų tinkamumo ir jų integracijos į siūlomą poveikio aplinkai vertinimo modelį ištyrimas; klaidų mažinimo metodo ir ekspertų sistemų metodo, kurį galėtų taikyti MVĮ, pasiūlymas.

### **Mokslinė naujovė**

Pagrindinė šio tyrimo mokslinė naujovė yra sukurtas poveikio aplinkai vertinimo modelis, kai pirmą kartą įmonės, turinčios ribotų išteklių, gali atlikti supaprastintus gyvavimo ciklo poveikio aplinkai ir darbo saugai vertinimus ir į šių vertinimų tyrimą įtraukti gyvavimo ciklo atsitiktinio ir difuzinio išmetamųjų teršalų poveikį. Taip pat pirmą kartą poveikio aplinkai vertinimo literatūroje buvo pasiūlytas klaidų mažinimo ir duomenų spragos valdymo metodas, pagrįstas „minios efekto išmintimi“. Sukurtas modelis buvo taikomas atliekant realių atvejų tyrimus dėl pavojingų medžiagų pakeitimo. Be to, siekiant padidinti modelio pritaikymą nepatyrusiems vertintojams, pirmą kartą buvo pasiūlyta tarp bendrovių veikianti ekspertų sistema su nauja „bendra funkcinė paklausa“.

### **Praktinė vertė**

Sukurtą modelį gali naudoti bet kuri pramonės įmonė, siekdama sumažinti gamybos grandinių poveikį aplinkai ir darbuotojų saugos riziką. Siūlomas modelis taip pat suteikia MVĮ kompetenciją vertinti gyvavimo ciklo poveikį aplinkai. Siūlomas klaidų mažinimo metodas gali būti naudojamas siekiant sumažinti poveikio aplinkai rezultatų klaidas, taip pat užpildyti duomenų spragas tam tikrose srityse, tokiose kaip būvio ciklo aprašai.

### **Daktaro disertacijos tvirtinimas**

Žurnaluose, nurodytuose „Clarivate analytics-Web of Science“ duomenų bazėje, buvo paskelbti keturi straipsniai, kuriuose minimi poveikio veiksniai. Vienas straipsnis paskelbtas žurnale, įtrauktame į „Clarivate analytics-Web of Science“ duomenų bazę ir turinčiame citavimo indeksą, kuriame neminimas dabartinio poveikio veiksnys (paskutinis poveikio veiksnys buvo minimas nuo 2010 m.), ir vienas straipsnis paskelbtas kituose tarptautiniuose mokslo žurnaluose. Iš viso buvo paskelbti šeši darbai, visiškai atitinkantys šios disertacijos temą.

### **Disertacijos struktūra ir turinys**

Disertaciją sudaro įvadas, penki pagrindiniai skyriai, išvados, literatūros sąrašas ir papildoma medžiaga.

Pirmame skyriuje pateikiama sisteminė literatūros apžvalga, susijusi su teisės aktais, pavojingų medžiagų sukeltomis aplinkos problemomis, cheminių

alternatyvų vertinimu, gyvavimo ciklo darbo sauga, kancerogeninių medžiagų sinergetiniu poveikiu, statistiniais klaidų mažinimo būdais ir ekspertinėmis sistemomis, naudojamomis atliekant poveikio aplinkai vertinimą. Po literatūros apžvalgos buvo nustatytos tyrimų spragos. Antrame skyriuje pateikiama tyrimo metodologija ir pagrindžiamos taikomų tyrimų metodologijos. Trečiame skyriuje preliminariai įvertinami gyvenimo ciklo darbo saugos metodai. Ketvirtame skyriuje aiškinamas siūlomo poveikio aplinkai vertinimo modelis, pateikiamas statistinis klaidų mažinimo metodas ir ekspertų sistemų metodas. Penktame skyriuje aprašomi keturi skirtingi Baltijos regiono šalių įmonių atvejai ir pagrindiniai modelio taikymo audinių balinimo įmonėje, poliuretano putų gamybos įmonėje, metalo apdirbimo įmonėje ir grindų dangų įmonėje rezultatai, aptariamas statistinio klaidos rezultatų sumažinimo metodas. Galiausiai pateikiamos išvados ir rekomendacijos. Disertaciją sudaro 184 puslapiai, iš jų 26 paveikslai ir 84 lentelės. Literatūros sąrašą sudaro 218 šaltinių.

## I SKYRIUS. LITERATŪROS APŽVALGA

Šiame skyriuje analizuojami moksliniai tyrimai disertacijos tema: ES pramonės teisės aktai dėl pavojingų medžiagų, pavojingų medžiagų sukeltų aplinkos problemų, atsitiktinių ir neorganizuotų išmetamųjų teršalų, pavojingų medžiagų gamybos kiekiai, būvio ciklo poveikio vertinimo metodai, cheminių alternatyvų vertinimo sistemos, profesinio gyvenimo ciklo saugos metodai, kancerogeninių medžiagų sinergetinis poveikis, statistinis požiūris į „minios išminties efektą“ ir ekspertų sistemų požiūris į poveikio aplinkai vertinimą.

Literatūros apžvalgos rezultatai rodo, kad ES teisės aktai, susiję su pavojingomis cheminėmis medžiagomis, sukuria aiškiai apibrėžtą prioritetinių probleminių medžiagų pagal toksiškumą ir fizinį pavojų arba kai kurių cheminių medžiagų, atsižvelgiant į pavojų aplinkai, vartotojams ir darbuotojams, pagrindą.

Nepaisant to, kad BCV metodika įtraukta į cheminių alternatyvų vertinimo sistemas, ji praktikoje nėra plačiai įgyvendinama dėl išteklių problemų. Daugelyje sistemų taip pat priimamas preliminarus alternatyvų filtravimas, pagrįstas pavojaus įvertinimu, siekiant sumažinti įvestų BCV tyrimų skaičių; galbūt panaikinant geresnes alternatyvas (1.2 lentelė).

Cheminių alternatyvų įvertinimo sistemoms, nors ir apimančioms plačią taikymo sritį, atsižvelgiant į gyvenimo ciklą trūksta kiekybinių metodų, susijusių su darbuotojų sauga ir neorganizuotomis ir atsitiktinėmis emisijomis (1.1 lentelė). Be to, pagrindų sistemos nevertina pradinės situacijos tuo pačiu požiūriu kaip ir alternatyvios situacijos. Kaip minėta, dėl to gali atsirasti paslėpta labai prasta alternatyva – nors mažesnis tikslinio SVHC naudojimas ar pašalinimas, tačiau didesnis bendras CMR kiekis. Apžvelgus literatūrą paaiškėjo, kad kumuliacinis CMR medžiagų poveikis arba jų kiekis turėtų būti pagrindinis rodiklis, kadangi sinergetinis poveikis daugeliu atvejų nepakankamai įvertina poveikį, ir tai greičiausiai taikoma mutagenams ir reprodukcijai kenksmingoms cheminėms medžiagoms. Tačiau šiuo metu nėra metodikos, leidžiančios įvertinti šį sinergetinį poveikį. Geriausia praktika – apibendrinti jų individualų poveikį viso gyvavimo ciklo metu. Šiuo metu plačiojoje visuomenėje trūksta šios struktūros, išskyrus numatomą išmetamųjų teršalų kancerogeninį poveikį.

Sistemoms taip pat reikia aiškiau apibrėžti poveikio vertinimus, susijusius su gaminių (paslaugų) gyvavimo ciklu. Atliekant aplinkos poveikio ir darbų saugos vertinimus taip pat turėtų būti atsižvelgiama į atsitiktinius ir neorganizuotus teršalus. Apskaičiuota, kad vien JAV yra išmetama daugiau nei 300 000 tonų neorganizuotų išmetamųjų teršalų per metus, o tai sudaro apie 33 % visų chemikalų gamyklų išmetamų organinių cheminių medžiagų (Hassim ir kt., 2012). Nepaisant didelės pažangos, tokį darbą dirbančių darbuotojų vėžiniai susirgimai vis dar išlieka opi problema (EU-OSHA 2014).

**1.1 lentelė. Į pasirinktą sistemą įtraukti vertinimai (neišsamūs)**

Vertinimas	NAS	IC2	Vokiečių gidas	Biz-NVO	Ontario	LOWELL	
<b>Fizikinis ir cheminis</b>	✓ <sup>1 2</sup>	✓ <sup>1 2</sup> °	✓ <sup>1 2</sup>	✓ <sup>2</sup>	✓ <sup>1</sup>	✓ <sup>1 2</sup>	
<b>Pavojingumo žmonių sveikatai vertinimas</b>	✓*	✓*	✓*	✓*	✓*	✓*	
<b>Poveikis</b>	<b>Darbuotojas</b>	✓*	✓ <sup>3</sup> *	✓ <sup>6</sup> *	✓ <sup>3</sup> *	✓ <sup>o</sup> *	✓ <sup>4</sup> *
	<b>Žmogus</b>	✓ <sup>5</sup> *	✓ <sup>3 5</sup> *	✓ <sup>5</sup> *	✓ <sup>3 5</sup> *	✓ <sup>5 o</sup> *	✓ <sup>5</sup> *
	<b>Aplinka</b>	✓ <sup>5</sup> *	✓ <sup>3 5</sup> *	✓ <sup>5</sup> *	✓ <sup>3 5</sup> *	✓ <sup>5 o</sup> *	✓ <sup>5</sup> *
<b>Pavojus aplinkai</b>	✓*	✓*	✓*	✓*	✓*	✓*	
<b>Našumas</b>	✓ <sup>o</sup>	✓	✓	✓	✓	✓	
<b>Ekonomika</b>	✓ <sup>o</sup> *	✓*	✓	✓*	✓*	✓*	
<b>Finansai</b>	✓ <sup>o</sup>	✓	✓	✓	✓	✓	
<b>Socialinis</b>	✓*	✓ <sup>o</sup> *	✓*		✓ <sup>o</sup> *	✓*	
<b>BCV</b>	✓ <sup>o</sup> *	✓ <sup>o</sup> *	✓ <sup>o</sup> *	✓ <sup>o</sup> *	✓ <sup>o</sup> *	✓ <sup>o</sup> *	

✓ Įtraukta / minima

° Pasirenkami vertinimai

\* Įvertinamas pagal gyvenimo ciklo mąstymą (LCT)

<sup>1</sup> Fizikinės ir cheminės savybės, naudojamos netiesiogiai numatant kitas medžiagos savybes, tokias kaip išlikimas aplinkoje ir poveikis.

<sup>2</sup> Fizikinės ir cheminės savybės, tiesiogiai naudojamos siekiant pašalinti alternatyvas kaip pradinę atranką.

<sup>3</sup> Neprivaloma tik tuo atveju, jei anksčiau vertinant sistemą buvo nurodyta, kad to daryti nereikia.

<sup>4</sup> Tik fizikinės ir cheminės savybės, naudojamos vertinant poveikį.

<sup>5</sup> Poveikio modeliai, naudojami aukštesniam lygiui įvertinti (BCV apima poveikio modelius).

<sup>6</sup> Poveikio modeliai, naudojami aukštesniam lygiui įvertinti (ECETOC TRA).

**1.2 lentelė. Pagrindinės pasirinktose sistemose naudojamos savybės**

	NAS	IC2	Vokiečių gidas	Biz-NVO	Ontario	LOWELL
<b>Pašalinimo metodas</b>	Hibridas	Bet kuris	Hibridas	Hibridas	Hibridas	Bet kuris
<b>Sprendimo priemonės / metodai</b>	✓ (MCDA ir kita)	✓	✓ (Aukštinės taisyklės)	✓ (CPA, 2013)	✓ (Žaliosios chemijos principai ir MCDA)	✓
<b>Produktas / proceso keitimas</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Duomenų trūkumai</b>	✓	✓	✓	✓ (CPA, 2013)	✓ (CPA, 2013)	✓
<b>LCT</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓

✓ Paminėta



Peržiūrėtose gyvenimo ciklo darbo saugos metodikose atsižvelgiama į fizikinę ar cheminę riziką viso gyvenimo ciklo metu. Kai kurias iš šių metodikų galima taikyti tam, kad būtų panaikintos dabartinių cheminių alternatyvų vertinimo sistemų spragos (1.3 lentelė). LCIT metodas yra ypač tinkamas modifikavimui, nes jis pagrįstas tarpiniais cheminių medžiagų srautais tiekimo grandinėje. Šie srautai gali būti naudojami atsitiktiniams ir neorganizuotiems teršalų kiekiams generuoti.

**1.3 lentelė.** Pagrindinės pasirinktų gyvenimo ciklo darbo saugos metodikų ypatybės

<b>Metodas</b>	<b>LCIT metodas (Eckelman, 2016)</b>	<b>WE-CFs metodas (Scanlon et al., 2015)</b>	<b>LCRA metodas (Aissani et al., 2012)</b>
<b>Lyginamasis / slenkstis</b>	Lyginamasis	Lyginamasis	Lyginamasis
<b>AoP</b>	Darbininkai	Darbininkai	Darbininkai / žmonės
<b>Aprėptis</b>	Vietoje	Vietoje	Objekto teritorijoje arba už jos ribų
<b>Kiekybinė ar kokybinė</b>	Kiekybinė	Kiekybinė	Kokybinis
<b>Mirtina avarija (neatidėliotina)</b>	Taip	Taip	Taip
<b>Nemirtina avarija (neatidėliotina)</b>	Taip	Taip	Ne
<b>Mirtina avarija (atidėta)</b>	Taip	Taip	Ne
<b>Nemirtina avarija (neatidėliotina)</b>	Taip	Taip	Ne
<b>Mirtina liga (neatsitiktinai)</b>	Taip	Ne	Ne
<b>Nemirtina avarija (neatidėliotina)</b>	Taip	Ne	Ne
<b>Medžiaga<sup>1</sup></b>	Organiniai chemikalai	Daug	Daug
<b>Duomenų rūšys</b>	Teorinis	Eksperimentinis	Teorinis

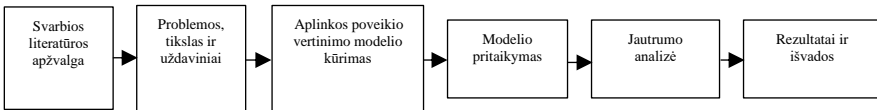
<sup>1</sup> „Sukėlėjas“: poveikio priežastis

Šiose sistemose taip pat trūksta klaidų mažinimo metodų, tokių kaip „minios išminties efektas“, kurie galėtų būti naudingi tiek nepatyrusiems vertintojams, tiek ekspertams.

Trūksta ekspertų sistemų, skirtų įmonėms keisti informacija, kad būtų galima taikyti poveikio aplinkai vertinimus.

## 2 SKYRIUS. METODIKA

Pagrindiniai disertacijos darbo etapai pavaizduoti metodinėje sistemoje (2.1 pav.). Remiantis disertacijos tikslu ir uždaviniais, kuriuos lemia apžvelgus literatūrą nustatytos problemos, buvo sukurtas ir realių atvejų tyrimais iširtas poveikio aplinkai vertinimo modelis. Buvo atlikta jautrumo analizė, nes atsirado vertintojo įvestų duomenų netikslumų dėl klaidų. Pasiūlytas klaidų mažinimo metodas, taikytinas kartu su sukurtu modeliu.



2.1 pav. Disertacijos metodinė bazė

Metodai, kurie turi būti įtraukti į siūlomą poveikio aplinkai vertinimo modelį tiesiogiai arba modifikuota forma, parinkti pagal šiuos kriterijus:

- 1) siekiant užkirsti kelią naštos pokyčiams, papildyti vienas kito atžvilgiu apimamu poveikiu (t. y. AOP, pavojaus kilmė, pavojaus tipai ir apimami poveikio būdai);
- 2) papildyti viena kitos atžvilgiu erdvine (t. y., vietine, regionine ir pasauline) prasme;
- 3) racionalizuoti naudojimą MVĮ;
- 4) spręsti literatūros apžvalgoje pateiktas problemas.

### *Gyvavimo ciklo išmetamųjų teršalų ir išteklių gavybos poveikis*

ISO 14044 standartas, priimtas kaip bendroji gyvavimo ciklo vertinimo sistema. Bendrąjį BCV sudaro keturios fazės (ISO, 2006):

1. Tikslu ir apimties apibrėžimo etape apibrėžiamas BCV tikslas ir aprašomos pagrindinės vertinimo prielaidos ir sistemos ribų pasirinkimas.
2. Gyvavimo ciklo aprašo (LCI) etape išmetamųjų teršalų kiekis ir išteklių kiekybiškai įvertinami atsižvelgiant į pasirinktos sistemos ribas.
3. Gyvavimo ciklo poveikio vertinimo (LCIA) etape šie išmetamųjų teršalų ir išteklių duomenys paverčiami rodikliais, atspindinčiais aplinkos ir sveikatos daromą žalą, taip pat išteklių trūkumą. Šis skaičiavimas grindžiamas veiksniais, atspindinčiais numatomą indėlį į išmetamojo teršalų vieneto ar išteklių sunaudojimo vienetą. Šie veiksniai paprastai apskaičiuojami taikant jau parengtus mokslinius modelius.
4. Interpretacijos etape kiekvienai iš minėtų fazių rezultatas aiškinamas atsižvelgiant į tyrimo tikslą ir apimtį.

## ***NELAIMINGI ATSTITIKIMAI DARBE***

Ir darbuotojai, ir žmonės turėtų būti laikomi aplinkos dalimi. Nors viso darbo metu aplinka, žmonės ir darbuotojai buvo paminėti kaip atskiri subjektai, autorius pripažįsta, kad šis skirstymas yra dirbtinis, o žmonės, kaip žinduoliai, yra aplinkos dalis.

Tam tikromis aplinkybėmis buvo įrodyta, kad nelaimingi atsitikimai darbe yra tokie pat svarbūs kaip ir cheminių medžiagų išmetamų teršalų poveikis (Scanlon ir kt., 2015), todėl šiam klausimui spręsti buvo pasirinktas WE-CF metodas.

Tolesnis gyvenimo ciklo darbo saugos metodikų tyrimas ir jų pasirinkimo pagrindimas išsamiau atliktas 3 skyriuje.

### ***Tarpinės cheminės medžiagos***

Reikėtų atkreipti dėmesį į tarpinio gyvenimo ciklo cheminių medžiagų poveikį darbuotojams. Todėl buvo būtina taikyti LCIT metodą. Tolesnis gyvenimo ciklo darbo saugos metodikų tyrimas ir jų pasirinkimo pagrindimas išsamiau atliktas 3 skyriuje.

### ***Atsitiktiniai ir neorganiniai teršalai***

Turėtų būti įvertintas nepageidaujamų ir atsitiktinių išmetimų gyvavimo ciklo poveikis aplinkai, nes apžvelgus literatūrą nurodomi dideli išmetamųjų teršalų kiekiai. Supaprastintas BCV metodas nagrinėja numatomus išmetamuosius teršalus, todėl norint pakeisti šią poveikio aplinkai spragą, reikia modifikuoti LCT metodą.

### ***Naudojimo kiekiai***

Supaprastintas BCV metodas neapima tarpinio gyvavimo ciklo cheminių medžiagų ir jos poveikio darbuotojams. Taip pat WE-CFs metodas, susijęs su fizinėmis avarijomis, neapima cheminių pavojų. LCIT metodas skirtas tik žinomoms kancerogeninėms medžiagoms ir tradiciniam kenksmingumui. Taigi būtina įtraukti chemikalų, kuriems netaikomi kiti šiame darbe taikomi metodai, poveikį darbuotojams. Pageidautina, kad papildomi atitinkami cheminiai pavojai apimtų reprodukcijai kenksmingą, labai degų (sprogstamąjį ar reaktyvų) pavojų. Taip pat reikia atsižvelgti į įtariamą kancerogeniškumą ir mutageniškumą. Minėtoms pavojaus kategorijoms šiuo metu nėra taikytinų poveikio vertinimo metodų, todėl kaip pavojaus rodiklį galima naudoti tik kiekius.

### ***Išmetamųjų teršalų kiekis***

Supaprastintas BCV netaikomas būtinoms žmonėms išmetamų medžiagų kiekiams. Supaprastintas BCV metodas šiuo metu neatsižvelgia į įtariamus kancerogenus ar mutagenus, reprotoksinius ar bioakumuliacijos pavojus.

### ***Vietinis ir regioninis poveikis aplinkai***

RA metodas būtinas siekiant pašalinti pavojingų medžiagų riziką įmonės darbuotojams ir produkto vartotojams, taip pat riziką vietinėms ir regioninėms ekosistemoms.

### ***Reprezentacinių procesų pasirinkimas***

Reprezentacinių procesų pasirinkimas būtinas dėl rankinio vertinimo apribojimų, kuriuos atliekant LCI metodu reikia įvertinti tūkstančius procesų vienetų (kiekvieniu atveju 6037 procesų vienetus) (pvz., klasifikavimas į ekonominę veiklą, USEtox efekto koeficientų gavimas ir kt.).

### ***Sisteminis klaidų įvertinimas „nepatikimo rezultato“ būdu***

Norint įvertinti pasiūlyto poveikio aplinkai vertinimo modelio tinkamumą nepatyrusiems vertintojams, reikia sistemiškai įvertinti jų klaidas.

### ***„Netikėto rezultato“ atsitiktinių klaidų įvertinimas***

„Išminties minios efektas“ pasiūlytas kaip nepatyrusių vertintojų atsitiktinių klaidų įvertinimo pagrindas. Tai būtina norint įvertinti galimų atsitiktinių klaidų poveikį vertinimo rezultatams ir ištirti galimus klaidų mažinimo strategijų patobulinimus, taikant statistinius metodus.

### ***Kelių kriterijų sprendimų analizės taikymas***

Dėl neskaidrių MCDA metodo aspektų, susijusių su jo taikymu siūlomam poveikio aplinkai vertinimo modeliui, daugiakriterė sprendimų analizė (MCDA) nebuvo taikoma. Tačiau, remiantis turimais moksliniais duomenimis, kiekvienam metodui (išskyrus rizikos vertinimą) buvo nustatyti normalizavimo koeficientai.

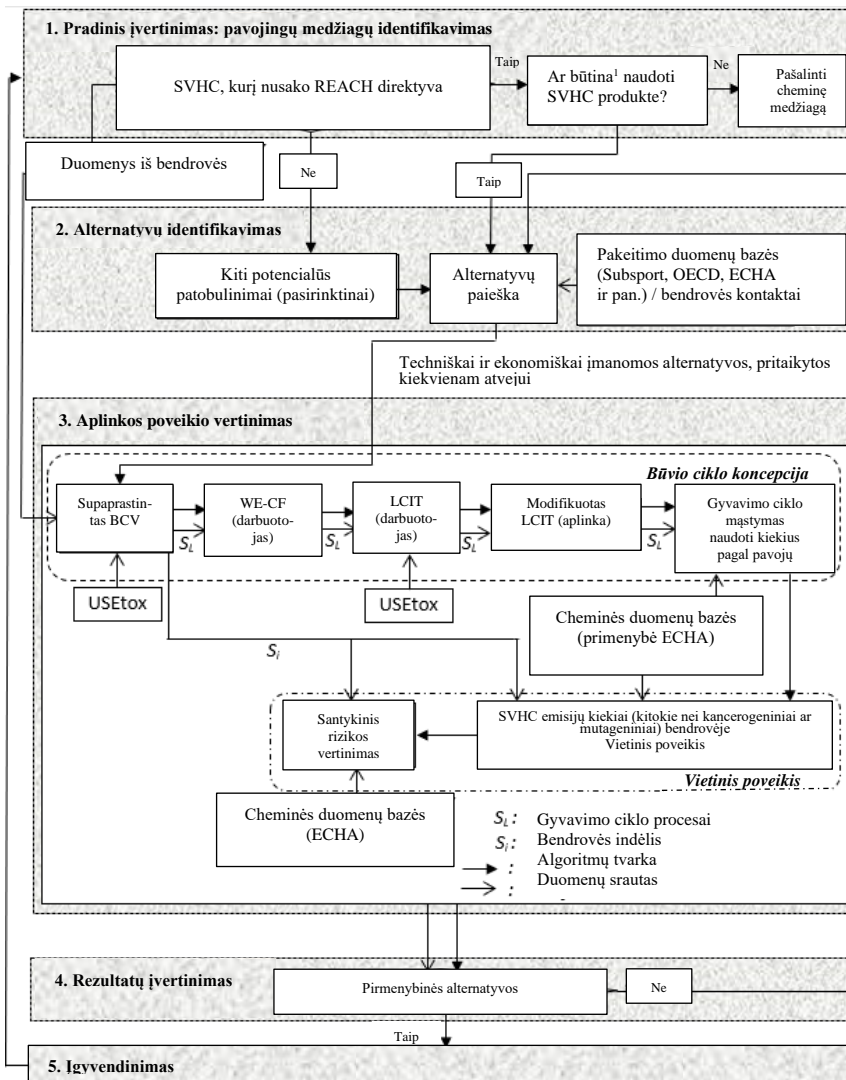
## **III SKYRIUS. GYVENIMO CIKLO DARBO SAUGOS METODIKŲ ĮVERTINIMAS**

Šiame skyriuje vertinami gyvenimo ciklo darbo saugos metodai – pateikiama atvejo analizė. Du metodai (WE-CFs ir LCIT) buvo pripažinti tinkamais ir jie įtraukti į sukurtą poveikio aplinkai vertinimo modelį. LCIT metodas buvo tinkamas modifikuoti, kad apimtų atsitiktinių ir neorganizuotų teršalų poveikį aplinkai.

## **IV SKYRIUS. PAVOJINGŲ MEDŽIAGŲ PAKEITIMO POVEIKIO APLINKAI VERTINIMO PAVYZDYS**

Šiame skyriuje aptariamas siūlomas poveikio aplinkai vertinimo modelis (4.1 pav.), taikomi metodai ir jų taikymo sritis.

Įtraukti supaprastintą BCV metodą būtina, nes tai vienintelė nusistovėjusi metodika, atspindinti slėgio poveikį aplinkai ir žmonių sveikatai per visą gyvavimo ciklą. Pasak Jacobso ir kitų, „<...> reikia racionalesnio požiūrio į gyvavimo ciklo padarinių nustatymą. Tačiau reikia didesnio metodinio aiškumo apie tai, kas įtraukiama į gyvenimo ciklo vertinimą, alternatyvų vertinimo srityje“ (Jacobs et al., 2016). Taip pat supaprastintas BCV metodas taikomas kancerogeninėms medžiagoms, taigi tiesiogiai taikomas tam tikrai SVHC daliai. WE-CF metodas buvo priimtas dėl to, kad jis apima nelaimingų atsitikimų darbe poveikį žmonių sveikatai viso gyvenimo ciklo metu. Šiuo metu alternatyviose vertinimo sistemose nepaisoma darbuotojų sveikatos ir saugos klausimų, kylančių už bendrovės ribų. LCIT metodas taip pat apima profesinį pavojų, atsirandantį dėl neorganizuotų ar atsitiktinių teršalų išmetimo per visą gyvavimo ciklą. Pakeistas LCIT metodas buvo pasiūlytas siekiant pašalinti kitų trijų metodikų taikymo spragą būtent dėl galimo neorganizuotų išmetamųjų teršalų ir išmetamųjų teršalų, atsirandančių ankstesniame gyvavimo cikle, kuriems šiuo metu netaikomas esamas alternatyvų vertinimas, poveikio žmonių sveikatai ir aplinkai. Paprastai sistemose daugiausia dėmesio skiriama santykinio poveikio vertinimams, siekiant sumažinti riziką, ir tokiems parametrams kaip fizinės ir cheminės savybės, naudojimo savybės, išmetimai ir išlikimas ir pramoninės higienos priemonės. Pripažinta, kad vertinant riziką (tam naudojama „ECETOC TRA“ programinė įranga) dabartiniai poveikio vertinimai – santykinės rizikos vertinimai – nebus sudėtingesni. Rizika vertinama (ECETOC TRA, kaip ECHA pasiūlė ES regionui) ne siekiant užtikrinti, jog cheminio toksiškumo rizika priimtina, o santykiniam palyginimui atlikti. Nors gauti rezultatai taip pat rodo nepriimtina riziką, kai rizikos apibūdinimo santykio (RCR) vertės viršija 1. Įtrauktas papildomas medžiagų naudojimo ir išmetamųjų teršalų kiekių įvertinimo etapas, siekiant pašalinti kitų siūlomų vertinimo tipų spragas (pakartotinis toksiškumas, endokrininės sistemos sutrikimas, labai degios (sprogstamosios ar reaktyviosios), kancerogeninės (mutageninės) medžiagos). Visi vertinimai buvo surinkti kartu, o jų apimtis yra pateikiama 4.1 lentelėje.



4.1 pav. Pavojingų medžiagų pakeitimo poveikio aplinkai vertinimo modelis, taikant gyvavimo ciklo metodą

<sup>1</sup>„Būtinai“: cheminės medžiagos, atliekančios privalomą funkciją iš tikrųjų reikalinguose produktuose (paslaugose); produktai (paslaugos), kurių neigiama įtaka žmonių gerovei atsirastų dėl alternatyvaus kultūrinio (techninio) sprendimo nebuvimo.

Taikant šį metodą, naudojamos ir medžiagos, įtrauktos į medžiagų, dėl kurių labai susirūpinta, sąrašą, ir visi gaminiai ar mišiniai, turintys daugiau kaip 0,1 masės % SVHC medžiagų, yra laikomi būtinais.

**4.1 lentelė.** Atskirų vertinimų, kaip siūlomo poveikio aplinkai vertinimo modelio, apimtis

	Supaprastintas BCV	LCIT	Modifikuotas LCIT	WE-CF	RA	Naudojimo kiekiai	Išmetamų teršalų kiekis
Gyvavimo ciklo principas	✓	✓	✓	✓		✓	
Aplinka	✓		✓		✓		✓
Plačioji visuomenė	✓		✓		✓		✓ <sup>1</sup>
Vartotojai					✓	✓	
Darbininkai		✓		✓	✓	✓ <sup>2</sup>	
Fiziniai pavojai				✓		✓ <sup>3</sup>	
Neorganiniai / atsitiktiniai išmetimai			✓				

<sup>1</sup>Reprotoksiškas / endokrininę sistemą ardantis / įtariamasis kancerogenas / įtariamasis mutagenas / PBT / vPvB

<sup>2</sup>Reprotoksiškas / endokrininę sistemą ardantis / įtariamasis kancerogenas / įtariamasis mutagenas

<sup>3</sup>Labai degus / sproguos / reaktyvus

Buvo sukurtas būvio ciklo etapų tipinių procesų nustatymo metodas.

Siūlomi klaidų mažinimo („minios išminties efekto“) ir ekspertų sistemų požiūrio („suderintos interneto sistemos“) metodai, papildantys siūlomą poveikio aplinkai vertinimo modelį, kad MVĮ galėtų jį pritaikyti.

Šiame skyriuje taip pat aprašyti įmonių atvejai, kaip pritaikyti siūlomą poveikio aplinkai vertinimo modelį.

## V SKYRIUS. REZULTATAI IR DISKUSIJOS

Šiame skyriuje aptarti sukurto poveikio aplinkai vertinimo modelio taikymo aprašytais įmonių atvejais (audinių baliklis, metalo lakštų gruntavimas, PU putų gamyba, grindų danga) rezultatai.

*Audinių baliklis.* Pagrindiniai rezultatai pateikti 5.1, 5.2 ir 5.3 lentelėse.

**5.1 lentelė.** Visi normalizuoti ir svertiniai audinių baliklio atvejai, išskyrus modifikuotus LCIT „vandens išmetimus“, RA ir naudojimo (išmetimo) dydžius

	Supaprastintas BCV			Modifikuotas LCIT „išmetimas į orą“			
Situacija	Žmonių sveikata	Ekosistemos	Ištekliai	Žmonių sveikata	Ekosistemos	WE-CF	Iš viso <sup>1,2</sup>
Komponentas	DALY	Rūšis per m.	\$	DALY	rūšys per m.	DALY	-
Pradinė būklė	1.36E-5	2.13E-8	0,06	0	0	1.01E-8	<b>2.00E-1</b>
Alternatyva	3.79E-5	4.71E-8	0,07	1.52E-10	2.83E-12	9.69E-9	<b>4.81E-1</b>

<sup>1</sup>Išskyrus modifikuotą LCIT „vandens išmetimą“

<sup>2</sup>Itraukti LCIT metodo rezultatai

**5.2 lentelė.** Naudojimo (išmetimo) kiekių rezultatai, atsižvelgiant į pradinę audinių baliklio atvejo situaciją

Pradinė būklė	Pavojaus tipas	Ištariama (kg)	Tyrimai su gyvūnais (kg)	Žinoma (kg)
<b>Bendras naudojimas viso gyvenimo ciklo metu (poveikis darbuotojui)</b>	<i>Toksinis poveikis reprodukcijai</i>	0	0,55	0
	<i>Endokrininės sistemos veiklos trikdymas</i>	0	0	0
	<i>Labai degus / sproguš / reaktyvus</i>	Nėra duomenų	Nėra duomenų	0,55
	<i>Kancerogeninis / mutageninis</i>	0	Nėra duomenų	Nėra duomenų
<b>Bendras įmonės išmetamų teršalų kiekis (poveikis žmonių sveikatai ir aplinkai)</b>	<i>Toksinis poveikis reprodukcijai</i>	0	0,55	0
	<i>Endokrininės sistemos veiklos trikdymas</i>	0	0	0
	<i>PBT ir vPvB</i>	Nėra duomenų	Nėra duomenų	0
	<i>Kancerogeninis / mutageninis</i>	0	Nėra duomenų	Nėra duomenų



**5.3 lentelė.** Naudojimo (išmetimo) kiekių rezultatai alternatyvios audinių baliklio situacijos atveju

Alternatyva	Pavojaus tipas	Įtariama (kg)	Tyrimai su gyvūnais (kg)	Žinoma (kg)
<b>Bendras naudojimas viso gyvenimo ciklo metu (poveikis darbuotojui)</b>	<i>Toksinis poveikis reprodukcijai</i>	0	0	0
	<i>Endokrininės sistemos veiklos trikdymas</i>	0	0	0
	<i>Labai degus / sproguos / reaktyvus</i>	Nėra duomenų	Nėra duomenų	0,50
	<i>Kancerogeninis / mutageninis</i>	0	Nėra duomenų	Nėra duomenų
<b>Bendras įmonės išmetamų teršalų kiekis (poveikis žmonių sveikatai ir aplinkai)</b>	<i>Toksinis poveikis reprodukcijai</i>	0	0	0
	<i>Endokrininės sistemos veiklos trikdymas</i>	0	0	0
	<i>PBT ir vPvB</i>	Nėra duomenų	Nėra duomenų	0
	<i>Kancerogeninis / mutageninis</i>	0	Nėra duomenų	Nėra duomenų

Bendrovė nusprendė įgyvendinti alternatyvią situaciją dėl to, kad mažėja reprotoksiškumas ir rizika vartotojams. Tačiau padidėjus poveikiui gyvenimo ciklui kilo klausimų apie pakeitimo sėkmę. Jei būtų naudojami naudojimo (išmetamųjų teršalų) kiekių normalizavimo koeficientai, šių teršalų kiekių (išskyrus fizinius pavojus) (8.00E – 7 DALY) poveikio žmonių sveikatai rezultatai būtų nereikšmingi, palyginti su gyvenimo ciklo poveikio rezultatais (1.36E – 5 DALY), pateiktais 5.1 lentelėje. Normalizavus poveikio žmonių sveikatai ir ekosistemų rezultatus, galima teigti, kad ekosistemų poveikis sudaro maždaug ketvirtadalį–penktadalį bendro poveikio žmonių sveikatai. Taigi geresnė pradinė padėtis.

WE-CF metodo indėlis į žmonių sveikatos rodiklius nebuvo reikšmingas, palyginti su supaprastinto BCV metodo rezultatais (5.1 lentelė). Tačiau kitais atvejais tai ne visada gali būti taikoma. Pasak Scanlon ir kt. (2015), atliekų tvarkymo etape taip nėra. Tas pats ir taikant naudojimo (išmetimo) metodą. Manoma, kad taip yra dėl daugiau visuomenės narių, palyginti su aptariamaisiais darbuotojais šiuo konkrečiu atveju. Taikant WE-CF (nelaimingų atsitikimų darbe) metodą, darbuotojų sveikatos rezultatai buvo panašūs į modifikuoto LCIT metodo poveikį žmonių sveikatai (dėl neorganizuotų ir atsitiktinių teršalų). Be to, WE-CF metodu labiau atsižvelgiama į avarijas, kurias galima tiesiogiai susieti su gamybos procesu, pavyzdžiui, fizines avarijas. BCV metodu atsižvelgiama į skirtingą poveikio būdų rinkinį. Esant alternatyviam scenarijui pagrindinis poveikis žmonių sveikatai ir ekosistemoms buvo natrio perkarbonato gamyba.

Įtraukus natrio metaborato išmetimus, padidėjo ir toksiškumo, ypač reprotoksiškumo, poveikis. Chloro išmetimai labiausiai prisidėjo prie gėlo vandens ekotoksiškumo, o berilio – prie jūrinio ekotoksiškumo. Pagrindinis natrio perkarbonato gamybos proceso poveikis žmonių sveikatai yra seleno, mangano ir chloro išmetimas į vandenį. BCV metodu nesvarstoma, kokia yra mikroelementų, būtinų nedideliais kiekiais, bet toksiškų dideliais kiekiais, nauda. Daroma prielaida, kad toksiškumas net esant mažoms dozėms yra tiesinis. Tačiau dėl šių faktų negalima daryti išvados apie toksiškumo žmonėms pagrįstumą. Taikant BCV metodą toksiškumo žmonėms rezultatai negalėjo būti patvirtinti dėl to, kad ReCiPe metodikoje nebuvo atsižvelgiama į mikroelementus ir reprotoksiškumą ir trūko svarbių duomenų LCI duomenų bazėje.

LCIT metodo darbo saugos dalis nebuvo rezultatyvi, nes duomenų apie tam tikras chemines medžiagas, kurios nėra laikomos labai toksiškomis, USEtox duomenų bazėje trūko.

Supaprastinti BCV metodo rezultatai padarė didesnę ekologinį poveikį dėl cheminių medžiagų EDTA ir etileno diamino gamybos.

CAS numeriai buvo naudojami labiau nei EB numeriai, nes naudojant EB numerius neatskiriamos cheminių medžiagų hidratacijos (pvz., monohidrato, tetrahidrato) formos.

**Metalo lakštų grunto paruošimo atvejis.** Pagrindiniai rezultatai pateikti 5.4, 5.5 ir 5.6 lentelėse.

**5.4 lentelė.** Visi normalizuoti ir svertiniai metalo lakštų grunto paruošimo atvejai, išskyrus modifikuotus LCIT „vandens išmetimus“, RA ir naudojimo (išmetimo) dydžius

Situacija	Supaprastintas BCV			Modifikuotas LCIT „išmetimas į orą“			
	Žmonių sveikata	Ekosistemos	Ištekliai	Žmonių sveikata	Ekosistemos	WE-CF	Iš viso <sup>1,2</sup>
Komponentas	DALY	rūšys per m.	\$	DALY	rūšys per m.	DALY	–
Pradinė būklė	1.28E-7	2.95E-10	0,00135	4.26E-10	1.94E-13	1.68E-10	<b>2.59E-3</b>
Alternatyva	4.78E-8	1.89E-10	0,00136	8.44E-13	2.34E-17	1.21E-10	<b>1.62E-3</b>

<sup>1</sup>Išskyrus modifikuotą LCIT „vandens išmetimą“

<sup>2</sup>Įtraukti LCIT metodo rezultatai

5.5 lentelė. Naudojimo (išmetimo) kiekių rezultatai, atsižvelgiant į pradinę metalo lakštų grunto dangos situaciją

Pradinė būklė	Pavojaus tipas	Įtariama (kg)	Tyrimai su gyvūnais (kg)	Žinoma (kg)
<b>Bendras naudojimas viso gyvenimo ciklo metu (poveikis darbuotojui)</b>	<i>Toksinis poveikis reprodukcijai</i>	0	7.16E-6	0
	<i>Endokrininės sistemos veiklos trikdymas</i>	0	0	0
	<i>Labai degus / sproguos / reaktyvus</i>	Nėra duomenų	Nėra duomenų	8.76E-3
	<i>Kancerogeninis / mutageninis</i>	4.80E-4	Nėra duomenų	Nėra duomenų
<b>Bendras įmonės išmetamų teršalų kiekis (poveikis žmonių sveikatai ir aplinkai)</b>	<i>Toksinis poveikis reprodukcijai</i>	0	0	0
	<i>Endokrininės sistemos veiklos trikdymas</i>	0	0	0
	<i>PBT ir vPvB</i>	Nėra duomenų	Nėra duomenų	0
	<i>Kancerogeninis / mutageninis</i>	0	Nėra duomenų	Nėra duomenų

5.6 lentelė. Naudojimo (išmetimo) kiekių rezultatai alternatyvios metalo lakštų grunto paruošimo situacijos atveju

Alternatyva	Pavojaus tipas	Įtariama (kg)	Tyrimai su gyvūnais (kg)	Žinoma (kg)
<b>Bendras naudojimas viso gyvenimo ciklo metu (poveikis darbuotojui)</b>	<i>Toksinis poveikis reprodukcijai</i>	2.11E-3	0	0
	<i>Endokrininės sistemos veiklos trikdymas</i>	0	0	0
	<i>Labai degus / sproguos / reaktyvus</i>	Nėra duomenų	Nėra duomenų	7.01E-3
	<i>Kancerogeninis / mutageninis</i>	0	Nėra duomenų	Nėra duomenų
<b>Bendras įmonės išmetamų teršalų kiekis (poveikis žmonių sveikatai ir aplinkai)</b>	<i>Toksinis poveikis reprodukcijai</i>	2.11E-3	0	0
	<i>Endokrininės sistemos veiklos trikdymas</i>	0	0	0
	<i>PBT ir vPvB</i>	Nėra duomenų	Nėra duomenų	0
	<i>Kancerogeninis / mutageninis</i>	0	Nėra duomenų	Nėra duomenų

Ekosistemų poveikis žmonių sveikatai sudaro maždaug nuo trečdaliao iki pusės bendro poveikio žmonių sveikatai. Pagerėjus visam poveikiui (išskyrus padidėjusį medžiagų, kurių įtariamasis reprodukcinis toksiškumas, naudojimą (išmetimą)), paaiškėjo, kad pakeitimas buvo sėkmingas. Gavus įtariamą reprotoksinių medžiagų poveikio alternatyvioms situacijoms naudojimo (išmetamųjų teršalų) kiekių metodo rezultatą (3.07E-9 DALY), išvada tokia pati. Taip pat buvo toleruojami didesni įtariamos reprotoksinės medžiagos (tolueno) naudojimo kiekiai – ECHA patikino, kad pramoninėse sąrankos vietose toluenas yra saugus. Beveik visais aplinkos poveikio aspektais buvo pageidautina alternatyvi situacija; buvo susirūpinta dėl pakeitimo sėkmės, išskyrus dėl padidėjusio cheminių medžiagų, kurioms galbūt būdingas reprodukcinis toksiškumas ir vietinė rizika kai kurioms aplinkos dalims, naudojimo ir išmetimo. Reprotoksiškumo padidėjimą lėmė tolueno, kaip pakaitalo, komponentai.

**PU putų gamybos atvejis.** Pagrindinius rezultatus galima pamatyti 5.7, 5.8 ir 5.9 lentelėse.

**5.7 lentelė.** Visi normalizuoti ir svertiniai PU putų gamybos atvejai, išskyrus modifikuotus LCIT „vandens išmetimus“, RA ir naudojimo (išmetimo) dydžius

Situacija	Supaprastintas BCV			Modifikuotas LCIT „išmetimas į orą“		WE-CF	Iš viso <sup>1,2</sup>
	Žmonių sveikata	Ekosistemos	Ištekliai	Žmonių sveikata	Ekosistemos		
Komponentas	DALY	rūšys per m.	\$	DALY	rūšys per m	DALY	-
Pradinė būklė	2.22E-9	6.64E-12	9.44E-6	2.15E-12	5.85E-15	7.68E-13	<b>3.75E-5</b>
Alternatyva	8.39E-10	2.51E-12	1.49E-5	1.47E-12	3.12E-16	4.24E-13	<b>2.17E-5</b>

<sup>1</sup>Išskyrus modifikuotą LCIT „vandens išmetimą“

<sup>2</sup>Įtraukti LCIT metodo rezultatai

5.8 lentelė. Panaudojimo (išmetimo) kiekių rezultatai atsižvelgiant į pradinę PU putų gamybos atvejo situaciją

Pradinė būklė	Pavojaus tipas	Įtariama (kg)	Tyrimai su gyvūnais (kg)	Žinoma (kg)
<b>Bendras naudojimas viso gyvenimo ciklo metu (poveikis darbuotojui)</b>	<i>Toksinis poveikis reprodukcijai</i>	0	0	0
	<i>Endokrininės sistemos veiklos trikdymas</i>	0	0	0
	<i>Labai degus / sproguš / reaktyvus</i>	Nėra duomenų	Nėra duomenų	1.82E-5
	<i>Kancerogeninis / mutageninis</i>	7.24E-5	Nėra duomenų	Nėra duomenų
<b>Bendras įmonės išmetamų teršalų kiekis (poveikis žmonių sveikatai ir aplinkai)</b>	<i>Toksinis poveikis reprodukcijai</i>	0	0	0
	<i>Endokrininės sistemos veiklos trikdymas</i>	0	0	0
	<i>PBT ir vPvB</i>	Nėra duomenų	Nėra duomenų	0
	<i>Kancerogeninis / mutageninis</i>	1.14E-5	Nėra duomenų	Nėra duomenų

5.9 lentelė. Naudojimo (išmetimo) kiekių rezultatai alternatyvios PU putų gamybos situacijos atveju

Alternatyva	Pavojaus tipas	Įtariama (kg)	Tyrimai su gyvūnais (kg)	Žinoma (kg)
<b>Bendras naudojimas viso gyvenimo ciklo metu (poveikis darbuotojui)</b>	<i>Toksinis poveikis reprodukcijai</i>	5.74E-6	2.04E-6	0
	<i>Endokrininės sistemos veiklos trikdymas</i>	0	0	0
	<i>Labai degus / sproguš / reaktyvus</i>	Nėra duomenų	Nėra duomenų	1.15E-4
	<i>Kancerogeninis / mutageninis</i>	3.20E-5	Nėra duomenų	Nėra duomenų
<b>Bendras įmonės išmetamų teršalų kiekis (poveikis žmonių sveikatai ir aplinkai)</b>	<i>Toksinis poveikis reprodukcijai</i>	0	0	0
	<i>Endokrininės sistemos veiklos trikdymas</i>	0	0	0
	<i>PBT ir vPvB</i>	Nėra duomenų	Nėra duomenų	0
	<i>Kancerogeninis / mutageninis</i>	0	Nėra duomenų	Nėra duomenų

Ekosistemų poveikis žmonių sveikatai sudarė maždaug nuo trečdaliao iki pusės bendro poveikio žmonių sveikatai. Metodais gauti priešingi rezultatai. Pakaitalai buvo sėkmingi, kai svarstomas poveikis gyvavimo ciklui. Jei, kaip siūloma, būtų normalizuotas naudojimo (išmetamųjų teršalų) kiekių metodas, šių kiekių poveikis gyvavimo ciklo rezultatams būtų nereikšmingas. Todėl ši išvada tokia pati.

Rezultatai rodo, kad alternatyvaus scenarijaus atveju, kai nebuvo atsižvelgiama į pakartotinį toksiškumą, poveikis aplinkai, įskaitant numatomo ir atsitiktinio (neorganizuoto) išmetimo poveikį žmonių sveikatai, buvo mažesnis. WE-CF rezultatai taip pat rodo, kad paskesniojo darbuotojo sauga nuo fizinių nelaimingų atsitikimų buvo pagerinta, o naudojimo (išmetamųjų teršalų) kiekis rodo, kad pateiktų degiųjų (sprogiųjų ar reaktyviųjų) medžiagų padaugėjo. Rizikos vertinimo rezultatai nesiskyrė, išskyrus neapibrėžtumą dėl rizikos darbuotojams, nes Tiofeno keliami rizika buvo neaiški.

**Grindų dangalo atvejis.** Pagrindiniai rezultatai pateikti 5.10, 5.11 ir 5.12 lentelėse.

**5.10 lentelė.** Visi normalizuoti ir svertiniai grindų dangalo atvejai, išskyrus modifikuotus LCIT „vandens išmetimus“, RA ir naudojimo (išmetimo) dydžius

Situacija	Supaprastintas BCV			Modifikuotas LCIT „išmetimas į orą“		WE-CF	Iš viso <sup>1,2</sup>
	Žmonių sveikata	Ekosistemos	Ištekliai	Žmonių sveikata	Ekosistemos		
Komponentas	DALY	rūšys per m.	\$	DALY	rūšys per m	DALY	–
Pradinė būklė	2.25E-5	6.53E-8	0,25	4.29E-8	3.96E-11	7.47E-9	<b>4.76E-1</b>
Alternatyva	3.92E-5	1.20E-7	0,44	3.28E-8	7.65E-11	6.24E-9	<b>8.44E-1</b>

<sup>1</sup>Išskyrus modifikuotą LCIT „vandens išmetimą“

<sup>2</sup>Ištraukti LCIT metodo rezultatai

5.11 lentelė. Naudojimo (išmetimo) kiekių rezultatai atsižvelgiant į grindų dangos atvejo pradinę situaciją

Pradinė būklė	Pavojaus tipas	Įtariama (kg)	Tyrimai su gyvūnais (kg)	Žinoma (kg)
<b>Bendras naudojimas viso gyvenimo ciklo metu (poveikis darbuotojui)</b>	<i>Toksinis poveikis reprodukcijai</i>	0,22	0,04	0,01
	<i>Endokrininės sistemos veiklos trikdymas</i>	0	0	0
	<i>Labai degus / sprogas / reaktyvus</i>	Nėra duomenų	Nėra duomenų	0,50
	<i>Kancerogeninis / mutageninis</i>	0,03	Nėra duomenų	Nėra duomenų
<b>Bendras įmonės išmetamų teršalų kiekis (poveikis žmonių sveikatai ir aplinkai)</b>	<i>Toksinis poveikis reprodukcijai</i>	0	0	0
	<i>Endokrininės sistemos veiklos trikdymas</i>	0	0	0
	<i>PBT ir vPvB</i>	Nėra duomenų	Nėra duomenų	0
	<i>Kancerogeninis / mutageninis</i>	0	Nėra duomenų	Nėra duomenų

5.12 lentelė. Naudojimo (išmetimo) kiekių rezultatai alternatyvios grindų dangos situacijos atveju

Alternatyva	Pavojaus tipas	Įtariama (kg)	Tyrimai su gyvūnais (kg)	Žinoma (kg)
<b>Bendras naudojimas viso gyvenimo ciklo metu (poveikis darbuotojui)</b>	<i>Toksinis poveikis reprodukcijai</i>	0,41	0,03	0
	<i>Endokrininės sistemos veiklos trikdymas</i>	0	0	0
	<i>Labai degus / sprogas / reaktyvus</i>	Nėra duomenų	Nėra duomenų	0,55
	<i>Kancerogeninis / mutageninis</i>	0,03	Nėra duomenų	Nėra duomenų
<b>Bendras įmonės išmetamų teršalų kiekis (poveikis žmonių sveikatai ir aplinkai)</b>	<i>Toksinis poveikis reprodukcijai</i>	0	0	0
	<i>Endokrininės sistemos veiklos trikdymas</i>	0	0	0
	<i>PBT ir vPvB</i>	Nėra duomenų	Nėra duomenų	0
	<i>Kancerogeninis / mutageninis</i>	0	Nėra duomenų	Nėra duomenų

Jei būtų taikoma normalizacija, naudojimo išmetamųjų teršalų metodo rezultatai būtų nereikšmingi, palyginti su supaprastintais BCV metodais. Pradinė padėtis yra geresnė visais aspektais, išskyrus vietinę riziką aplinkai. Dėl šios priežasties nebuvo galima padaryti aiškios išvados.

LCI duomenų bazėje trūko daugelio procesų, todėl reikėjo pasirinkti tipines chemines medžiagas. Tačiau šis procesas nėra gerai žinomas ir tikimasi, kad tai sukels daug abejonių, todėl šiuo atveju rezultatai bus beveik beprasmiški. Tokiomis aplinkybėmis galima siūlyti taikyti „minios išminties efekto“ metodą, įrodžius, kad jis sumažins klaidas, atsirandančias dėl vertintojų ar trūkstančių procesų šio konkretaus produkto duomenų bazėse, kaip dažų tirpiklių atveju.

Autorių žiniomis, siekiant aptarti modelį apskritai, nėra egzistuojančios reprotoksinų (endokrininę sistemą ardančių) medžiagų poveikio kiekybinio įvertinimo metodikos, o tokius klausimus spręsti galima tik įvertinus naudojimo ir išmetamųjų teršalų kiekį. Naudojamų kiekių metodu buvo išspręstas reprodukcinės toksinės (endokrininę sistemą ardančias) medžiagas sukkeliantis priedų poveikis, atsižvelgiant į naudojimą visoje tiekimo grandinėje. Nei esamose sistemose, nei pakeitimo praktikoje (Subsport, 2016) ši problema nėra aptariama. Pvz., vykstant metalo lakštų gruntavimui buvo toleruojami didesni įtariamose reprotoksinės medžiagos (tolueno) naudojimo kiekiai – ECHA patikino, kad toluenas saugus pramoniniuose įrenginiuose (ECHA, 2007). Šis rezultatas labai skiriasi nuo panašių tyrimų naudojant metileno chlorido alternatyvas dažų nuėmikliuose. Atliekant šiuos tyrimus buvo padaryta išvada pašalinti alternatyvas, kuriose naudojamas toluenas (Jacobs ir kt., 2015; Morose ir kt., 2017). Be to, daugeliu skirtingų produktų pakeitimo atvejų toluenas buvo pakeistas tik įvertinus pavojų (Subsport, 2016). Autorius pabrėžia, kad siūlomame modelyje gali būti atsižvelgiama į RA metodą priimant sprendimus, o pavojaus įvertinimu pagrįstiems metodams šis aspektas neaktualus. Kadangi šio modelio rezultatai priklauso nuo reguliavimo institucijų atliekamo rizikos įvertinimo, sukurto modelio rezultatai skirtinguose pasaulio regionuose gali būti nevienodi. Tolueno atveju norminis skirtumas susidarė tarp Kalifornijos pasiūlymo 65 (Jacobs et al., 2015) ir ES REACH reglamento. Vienintelis atvejis, kai reprotoksiškumas nebuvo svarbus, tai PU putų gamybos atvejis.

Techninių ir ekonominių reikalavimų vertinimas yra labai panašus į daugelį esamų alternatyvių vertinimo schemų (Ontarijo toksikų naudojimo mažinimo programa, 2012; IC2, 2013), todėl autoriai pabrėžia, kad ši struktūra yra tinkamesnė gyvavimo ciklo fiksavimui. Autoriai pabrėžia, kad, skirtingai nei kai kuriose sistemose (Rossi et al., 2011; NRC, 2014), būvio ciklo vertinimas turėtų būti pagrindinis aplinkos problemų sprendimas.

Nauji svarbūs aspektai, kuriems taikomas siūlomas modelis, apima sistemingą ir kiekybinį gyvenimo ciklo vertinimą, susijusį su darbuotojų sauga ir tarpinių cheminių medžiagų bei fizinių avarių padariniais, neorganizuotomis ir atsitiktinėmis emisijomis, reprotoksiškumu / endokrininės sistemos ardymu / PBT / vPvB / cheminių medžiagų keliamu fiziniu pavojumi.



Skirtingai nuo kitų nustatytų schemų (Rossi ir kt., 2006; Rossi ir kt., 2011; Ontarijo toksikų naudojimo mažinimo programa, 2012; IC2, 2013; NRC, 2014), visi rezultatai (išskyrus RA) buvo pagrįsti funkciniais vienetais. Tiksliau taikyti kiekybinius metodus, kurių rezultatai normalizuojami pagal funkcinį vienetą.

Taikomų metodų techninis sudėtingumas skiriasi: nuo sudėtingų (pvz., supaprastintas BCV metodas) iki paprastų (pvz., naudojimo apimtį) metodų. Tai panašu į visas kitas nustatytas sistemas, apimančias BCV metodą (Rossi et al., 2006; Rossi et al., 2011; „Ontario Toxics“ naudojimo mažinimo programa, 2012; IC2, 2013; NRC, 2014). Nepaisant BCV metodo sudėtingumo, jis buvo priimtas dėl daug mažesnio metodo išteklių intensyvumo, palyginti su visu BCV metodu (dėl bendrųjų verčių naudojimo) (EC, 2012). Tas pats yra ir dėl RA priėmimo. WE-CFs, LCIT, modifikuoto LCIT naudojimo ir išmetamųjų teršalų kiekių metodai yra ne tokie sudėtingi. Sukurto modelio ištekliai naudojami menkai atsižvelgiant į jo sudėtingumą, nes sudėtingesnius metodus palaiko programinė įranga. Šie metodai naudoja bendrąsias duomenų bazių reikšmes.

WE-CF metodą galima patobulinti išsamesnėmis ES duomenų bazėmis. Tai gali būti labai sudėtingų modeliavimų pagrįstų profesinių RA metodų, taikomų plačiai naudojamiems produktams (procesams), paprastesnė alternatyva. Pasak Scanlon ir kt. (Scanlon et al., 2015), dėl to taip pat galima gauti palyginamus BCV ir WE-CF metodo poveikio rezultatus. Be to, kartu modelis įvertina pagrindinį ir alternatyvius scenarijus, apimdamas minėtą „paslėptą apgailėtiną pakeitimą“. Siūlomas poveikio aplinkai vertinimo modelis galėjo apimti ir kitas minėtas svarbias ne tik įmonės, bet ir visos tiekimo grandinės problemas. Siūlomame modelyje atsižvelgiama į poreikį supaprastinti pakeitimo procesą ir dvigubo skaičiavimo klausimus (Jacobs ir kt., 2016; Winnebeck ir Bawden, 2016). Šie patobulinimai, tikimasi, padės praktiškai netaikyti BCV ir kitų gyvavimo ciklo problemų (Winnebeck and Bawden, 2016). Tai ypač svarbu siekiant priimti sprendimą, kad būtų sėkmingas pakeitimas.

Dėl baliklio audiniuose naudojamų chemikalų toksiškumo vertės LCIT metodas nebuvo rezultatyvus, nes šios cheminės medžiagos laikomos palyginti netoksiškomis.

Grindų dangos atveju dėl LCI metodo duomenų spragų kilo didelių problemų, kurias gali pašalinti „minios išminties efektas“.

Modelio tikslumą galima padidinti atsižvelgus į reprezentatyvesnius procesus. Tačiau programinė įranga yra naudinga ir reikalinga išteklių intensyvumo požiūriu. Kadangi modelio taikymo sritis yra supaprastinta, MVI ir vertintojams, turintiems ribotus išteklius, būtų naudinga sukurti patogią vartotojui programinę įrangą, automatiškai iš duomenų bazių ir BCV programinės įrangos išrenkant chemines savybes ir kiekius (Say et al., 2007).

Manoma, kad nanomedžiagų poveikis žmonių ir aplinkos sveikatai ir šių medžiagų poveikio modeliavimas, kurie įtraukti į cheminių alternatyvų vertinimo sistemas, bus sudėtinga tyrimų sritis (Walker et al., 2015).

Perdirbimo požiūriu, siekiant sumažinti pavojingas medžiagas atliekų srautuose, siūlomas modelis šiuo metu neturi jokių sprendimų.

Taip pat buvo aptarti siūlomo klaidų mažinimo metodo rezultatai („minios išminties efektas“). Nustatyta, kad, vertinant atskirai aprašytų keturių tirpikliais pagrįstų dažų korpusų gyvavimo ciklo rezultatus, nepatyrusių vertintojų geometrinis vidurkis yra gana tikslus (neviršijantis 3,5 % paklaidos) pusei šių atvejų (5.13 lentelė).

**5.13 lentelė.** 40 nepatyrusių (imituotų) vertintojų rezultatų geometrinio vidurkio procentinė paklaida galutinėms taškų pažeidimų kategorijoms

	<b>1 atvejo paklaida (%)</b>	<b>2 atvejo paklaida (%)</b>	<b>3 atvejo paklaida (%)</b>	<b>4 atvejo paklaida (%)</b>
<b>Žmonių sveikata (DALY)</b>	-2,7	-12	-3,5	12,8
<b>Ekosistemos (rūšys per m.)</b>	1,3	-7,8	3,1	50,3
<b>Ištekliai (2013 m. USD)</b>	2,2	-21,6	0,0	13,6

## **IŠVADOS**

1. Šiuolaikinė keitimo praktika nėra plačiai paplitusi vertinant gyvavimo ciklo poveikį, nekreipiama dėmesio į reprodukcijai kenksmingas medžiagas, endokrininę sistemą ardančias medžiagas, taip pat į neorganizuotų (atsitiktinių) išmetimų ir darbuotojų sveikatos poveikį tiekimo grandinėje.

2. Sukurtas pavojingų medžiagų pakeitimo poveikio aplinkai modelis, taikant gyvavimo ciklo metodą, buvo pritaikytas skirtingose įvairių pramonės šakų pramonės įmonėse. Modelis:

- a) supaprastintas ir suderintas poveikio aplinkai vertinimo metodų taikymas atsižvelgiant į poveikio apimtį ir aprašą;
- b) reprotoksinių, endokrininę sistemą ardančių, bioakumuliacinių ir įtariamų kancerogeninių medžiagų įvertinimas viso gyvenimo ciklo metu;
- c) neorganizuotų ir atsitiktinių išmetimų vertinimas per visą gyvavimo ciklą;
- d) darbuotojų saugos užtikrinimas per visą gyvenimo ciklą;
- e) pradinės situacijos įvertinimas.

3. Sukurtas pavojingų medžiagų pakeitimo poveikio aplinkai vertinimo modelis, taikant gyvavimo ciklo metodą, buvo išbandytas keturiais pasirinktais pramonės įmonių atvejais:

- a) Audinių baliklio atvejis, kai esant alternatyviai situacijai gyvavimo ciklo poveikis aplinkai padidėjo 140 %, nors visoje tiekimo grandinėje buvo pastebėta mažesnė rizika vartotojams ir mažesni reprotoksinių medžiagų kiekiai.
- b) Metalų lakštų gruntavimo atvejis, kai dėl pakeitimo gyvavimo ciklo poveikis aplinkai sumažėjo 37 %, nekeičiant vietinės (regioninės)

rizikos. Medžiagų, turinčių įtariamų reprodukcinio toksiškumo savybių, buvo naudojama daugiau, o kancerogeninių (mutageninių) medžiagų tiekimo grandinėje naudojama mažiau.

- c) PU putų gamybos atvejis, kai, nepaisant 42 % sumažėjusio poveikio aplinkai ir 56 % sumažėjusio kancerogeninių (mutageninių) medžiagų naudojimo tiekimo grandinėje, daugiau buvo naudojama reprodukcijai kenksmingų ir labai degių (sprogių ar reaktyvių) medžiagų. Taip pat buvo pašalintos kancerogeninių ar mutageninių medžiagų emisijos iš bendrovės.
- d) Grindų dangos atvejis, kai aplinkos būvio ciklo poveikis padidėjo 77 %. Įtariamo reprodukcinio toksiškumo naudojimo grandinė tiekimo grandinėje padidėjo beveik dvigubai, žinomas reprodukcinio toksiškumo poveikis buvo pašalintas, o kancerogeninių (mutageninių) medžiagų sumažėjo 15 %.

Naudojimo (emisijos) kiekių metodui naudojant labai neapibrėžtus normalizavimo koeficientus, dėl RA metodo nesuderinamumo nebuvo suformuluota pagrįsta išvada.

Reguliavimo skirtumai turi įtakos modelio rezultatams.

4. Nepatyrusiems vertintojams siūlomas poveikio vertinimo modelis gali būti taikomas tuo atveju, jei trūksta duomenų arba jei vertintojui bus naudinga „minios efekto išmintis“. Tirpikliais pagrįstuose dažuose pastebima, kad 10 nepatyrusių vertintojų reikšmingai sumažėjo klaidų. 40 nepatyrusių vertintojų geometrinio vidurkio 1 ir 3 atvejais klaidų skirtumas buvo mažesnis kaip 3,5 %, o 2 ir 4 atvejais mažesnis nei 22 %, išskyrus 50 % paklaidą, nustatytą ekosistemų poveikiui 4 atveju.. Tai „minios efekto išmintis“.

Taigi siūloma ekspertų sistema (suderinta interneto sistema) reikalinga tam, kad MVĮ plačiau priimtų siūlomą poveikio aplinkai vertinimo modelį.

## LITERATŪRA

1. BARANOVA, Polina, Fred PATERSON. Environmental capabilities of small and medium sized enterprises: Towards transition to a low carbon economy in the East Midlands. *Local Economy* [online]. Sage, 2017, vol. 32(8), 835–853 [viewed on 2019-05-13]. Access via doi: 10.1177/0269094217744494
2. BORGHI, Adriana Del. LCA and communication: Environmental Product Declaration. *Int J Life Cycle Assess* [online]. Springer, 2013, vol. 18, 293-295 [viewed on 2019-05-13]. Access via doi:10.1007/s11367-012-0513-9
3. EC. Operational Guidance for Life Cycle Assessment Studies of the Energy Efficient Buildings Initiative [online]. 2012. [viewed on 2019-05-13]. Access via:<http://www.eebguide.eu/?p=922>
4. ECHA (European Chemicals Agency). *Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH)* [online]. 2007. [viewed on 2019-05-13]. Access via [echa.europa.eu:https://echa.europa.eu/regulations/reach/understanding-reach](https://echa.europa.eu:https://echa.europa.eu/regulations/reach/understanding-reach)
5. EU (European Union). *General Guide for Life Cycle Assessment-Detailed Guidance* [online]. 2010. [viewed on 2019-05-13]. Access via: [http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC48157/ilcd\\_han\\_dbook-general\\_guide\\_for\\_lca-detailed\\_guidance\\_12march2010\\_isbn\\_fin.pdf](http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC48157/ilcd_han_dbook-general_guide_for_lca-detailed_guidance_12march2010_isbn_fin.pdf)
6. EU-OSHA. Exposure to carcinogens and work-related cancer: A review of assessment methods, European Risk Observatory Report, European Agency for Safety and Health at Work [online]. 2014. [viewed on 2019-05-13]. Access via:<https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/publications/reports/report-soar-work-related-cancer>
7. HASSIM, Mimi H., Markku HURME, Paul R. AMYOTTE, Faisal I. KHAN. Fugitive emissions in chemical processes: The assessment and prevention based on inherent and add-on approaches. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* [online]. Elsevier, March 2012, 25, 820–829 [viewed on 2019-05-13]. Access via doi:10.1016/j.jlp.2012.03.004
8. HUIJBREGTS, Mark A. J., Stefanie HELLWEG, Rolf FRISCHKNECHT, Harrie W. M. HENDRIKS, Konrad HUNGERBÜHLER, A. Jan HENDRIKS. Cumulative Energy Demand As Predictor for the Environmental Burden of Commodity Production. *Environmental Science & Technology* [online]. ACS publications, January 2010, vol. 44(6), 2189-2196 [viewed on 2019-05-13]. Access via doi:10.1021/es902870s
9. HUIJBREGTS, Mark A.J., Linda J.A. ROMBOUTS, Stefanie HELLWEG, Rolf FRISCHKNECHT, A. Jan HENDRIKS, Dik van de MEENT, Ad M.J. RAGAS, Lucas REIJNDERS, Jaap STRUIJS. Is Cumulative Fossil Energy Demand a Useful Indicator for the Environmental Performance of Products?.

- Environmental Science & Technology* [online]. ACS publications, 2006, vol. 40(3), 641-648 [viewed on 2019-05-13]. Access via doi:10.1021/es051689g
10. HUSSEY, Dennis Michael, Patrick EAGAN. Using structural equation modeling to test environmental performance in small and medium-sized manufacturers: can SEM help SMEs?. *Journal of Cleaner Production* [online]. Elsevier, December 2007, vol. 15(4), 303–312 [viewed on 2019-05-13]. Access via doi:10.1016/j.jclepro.2005.12.002
  11. IC2 (Interstate Chemicals Clearinghouse). Alternatives Assessment Guide Version 1.0 [online]. 2013. [viewed on 2019-05-13]. Access via:www.theic2.org/publications
  12. IRALDO, Fabio, Francesco TESTA, Sara TESSITORE, Benedetta NUCCI, Tiberio DADDI. The “state of play” in life cycle assessments: a survey on how Italian companies perform life-cycle assessments and product footprints. *Environmental Economics. Business Perspectives*, January 2015, vol. 6(2), 6–16.
  13. ISO. International Organization for Standardization. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, ISO 14044:2006(E). 1st ed. Switzerland: International Organization for Standardization, 2006.
  14. JACOBS, Molly M., Bingxuan WANG, Mark S. ROSSI. *Alternatives to Methylene Chloride in Paint and Varnish Strippers* [online]. 2015. [viewed on 2019-05-13]. Access via:https://www.bizngo.org/images/ee\_images/uploads/resources/cpa\_bz\_methylene\_chloride\_rpt\_2015\_10\_27.pdf
  15. JACOBS, Molly M., Timothy F. MALLOY, Joel A. TICKNER, Sally EDWARDS. Alternatives assessment frameworks: research needs for the informed substitution of hazardous chemicals. *Environmental Health Perspectives* [online]. National Institute of Environmental Health Sciences (United States), March 2016, vol. 124(3), 265–280 [viewed on 2019-05-13]. Access via doi:10.1289/ehp.1409581
  16. KEELING, Ralph F., Charles D. KEELING. *Atmospheric Monthly In Situ CO2 Data - Mauna Loa Observatory, Hawaii. In Scripps CO2 Program Data. UC San Diego Library Digital Collections* [online]. 2017. [viewed on 2019-05-13]. Access via doi:http://doi.org/10.6075/J08W3BHW
  17. LEHTINEN, Hannele, Anna SAARENTAUS, Juulia ROUHIAINEN, Michael PITTS, Adisa AZAPAGIC. *A Review of LCA Methods and Tools and their Suitability for SMEs*. EU: BIOCHEM, May 2011.
  18. MOROSE, Gregory, Jason MARSHALL, Alicia MCCARTHY, Vanessa HARRIPERSAUD, Abigail GIARROSSO. Assessment of Safer and Effective Alternatives to Methylene Chloride for Paint Stripping Products. Lowell, Massachusetts: Toxics Use Reduction Institute, University of Massachusetts Lowell, June 2017.

19. NRC (National Research Council). *A Framework to Guide Selection of Chemical Alternatives*. Washington DC, US: The National Academies Press, 2014.
20. ONTARIO TOXICS USE REDUCTION PROGRAM. *Ontario Toxics Reduction Program: Reference Tool for Assessing Safer Chemical Alternatives* [online]. 2012. [viewed on 2019-05-13]. Access via: [dr6j45jk9xcmk.cloudfront.net/documents/1190/18-safer-chemical-alternatives-en.pdf](http://dr6j45jk9xcmk.cloudfront.net/documents/1190/18-safer-chemical-alternatives-en.pdf)
21. ROSSI, M., C. PEELE, B. THORPE. *Biz-NGO Chemicals Alternatives Assessment Protocol: How to Select Safer Alternatives to Chemicals of Concern to Human Health or the Environment, Version 1.1* [online]. 2011. [viewed on 2019-05-13]. Access via: [www.bizngo.org/static/ee\\_images/uploads/resources/BizNGOChemicalAltsAssessmentProtocol\\_V1.1\\_04\\_12\\_12-1.pdf](http://www.bizngo.org/static/ee_images/uploads/resources/BizNGOChemicalAltsAssessmentProtocol_V1.1_04_12_12-1.pdf)
22. ROSSI, Mark, Joel TICKNER, Ken GEISER. *Alternatives Assessment Framework of the Lowell Center for Sustainable Production, Version 1.0* [online]. 2006. [viewed on 2019-05-13]. Access via: [www.chemicalspolicy.org/downloads/FinalAltsAssess06.pdf](http://www.chemicalspolicy.org/downloads/FinalAltsAssess06.pdf)
23. SAY, N.P., M. YÜCEL, M. YILMAZER. *A computer-based system for environmental impact assessment (EIA) applications to energy power stations in Turkey: C- EDINFO*. *Energy Policy*. Elsevier, 2007, vol. 35, 6395–6401.
24. SCANLON, Kelly A., Shannon M. LLOYD, George M. GRAY, Royce A. FRANCIS, Peter LAPUMA. *An Approach to Integrating Occupational Safety and Health into Life Cycle Assessment, Development and Application of Work Environment Characterization Factors*. *Journal of Industrial Ecology* [online]. Wiley Online Library, February 2015, vol. 19(1), 27–37 [viewed on 2019-05-13]. Access via doi:10.1111/jiec.12146
25. SUBSPORT. *Case stories* [online]. 2016. [viewed on 2019-05-13]. Access via: <http://www.subsport.eu/case-stories>
26. WALKER, William C., Christopher J. BOSSO, Matthew ECKELMAN, Jacqueline A. ISAACS, Leila POURZAHEDI. *Integrating life cycle assessment into managing potential EHS risks of engineered nanomaterials: reviewing progress to date*. *Journal of Nanopart Research* [online]. Springer Nature, August 2015, vol. 17, 344 [viewed on 2019-05-13]. Access via doi:10.1007/s11051-015-3151-x
27. WINNEBECK, K., K. BAWDEN. *Decision Making in Alternatives Assessment New York State Pollution Prevention Institute Case Studies*, New York State Pollution Prevention Institute, Rochester Institute of Technology [online]. 2016. [viewed on 2019-05-13]. Access via: [https://www.rit.edu/affiliate/nysp2i/sites/rit.edu.affiliate.nysp2i/files/docs/publications/reports/decision\\_making\\_in\\_alternatives\\_assessment\\_april2016.pdf](https://www.rit.edu/affiliate/nysp2i/sites/rit.edu.affiliate.nysp2i/files/docs/publications/reports/decision_making_in_alternatives_assessment_april2016.pdf)

## MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS

### **Publikacijos, išvardytos „Web of Science“ duomenų bazėje:**

1. OGUZCAN, S., J. KRUIPIENĖ, J. DVARIONIENĖ. Approaches to chemical alternatives assessment (CAA) for the substitution of hazardous substances in small- and medium-sized enterprises (SMEs). Clean technologies and environmental policy [online]. Springer, 2017, vol. 19(2), 361–378. Doi: 10.1007/s10098-016-1291-z
2. OGUZCAN, S., A. TUGNOLI, D. KLIAUGAITĖ, J. DVARIONIENĖ. Harmonized Internet System For Life Cycle Assessment: Expert Systems Approach. Environmental Engineering and Management Journal. Gheorghe Asachi Technical University of Iasi, June 2019, vol. 18(6), 1279–1288.
3. OGUZCAN, S., J. DVARIONIENĖ, A. TUGNOLI, J. KRUIPIENĖ. Environmental Impact Assessment Model for Substitution of Hazardous Substances by Using Life Cycle Approach. Environmental Pollution Journal, 2019. Doi: 10.1016/j.envpol.2019.07.113
4. OGUZCAN, S., A. TUGNOLI, J. DVARIONIENĖ. Application of selected life cycle occupational safety methods to the case of electricity production from pyro-oil. Environmental Science and Pollution Research, 2019. Doi: 10.1007/s11356-019-06307-3
5. OGUZCAN, S., A. TUGNOLI, J. DVARIONIENĖ. Wisdom of the Crowds Effect's Application in Environmental Impact Assessment. Journal of Environmental Engineering and Science, 2019. (IF last given in 2010). Doi: 10.1680/jenes.19.00007

### **Publikacijos kituose tarptautiniuose mokslo žurnaluose:**

1. OGUZCAN, Semih, Aušra RANDĖ, Jolanta DVARIONIENĖ, Jolita KRUIPIENĖ. Comparative Life Cycle Assessment of Water-based and Solvent-based Primer Paints for Steel Plate Priming. Environmental Research, Engineering and Management Journal, Vol 72, No 2 (2016). Doi: 10.5755/j01.arem.72.2.16236

### **Publikacijos konferencijų medžiagoje:**

1. OGUZCAN, S., D. KLIAUGAITĖ, A. TUGNOLI, J. DVARIONIENĖ. Harmonized internet system for life cycle assessment: expert systems approach // Circular economy and environmental sustainability : 9th international conference on environmental engineering and management, ICEEM09, 6-9 September 2017, Bologna, Italy : conference abstracts book. Iasi : Ecozone Publishing House. ISSN 2457-7049. eISSN 2457-7049. 2017, p. 365–366. [Contribution: 0,250]
2. OGUZCAN, S., J. KRUIPIENĖ, J. DVARIONIENĖ. A methodology for the environmental impact assessment of the substitution of hazardous chemicals // Circular economy and environmental sustainability : 9th international conference

on environmental engineering and management, ICEEM09, 6-9 September 2017, Bologna, Italy : conference abstracts book. Iasi : Ecozone Publishing House. ISSN 2457-7049. eISSN 2457-7049. 2017, p. 357–358. [Contribution: 0,333] 2. Contribution During the selected period: 0,583

3. OGUZCAN, S., J. DVARIONIENE, J. KRUOPIENE. Environmental impact assessment of substitution of hazardous substances in industry. ‘SETAC Europe 29th Annual Meeting’ international conference, 28 May 2019, Helsinki.

4. OGUZCAN, S., J. DVARIONIENE. Decision support model for Environmental Impact Assessment of Substitution of Hazardous Substances by Using Life Cycle Approach. 22nd Junior Scientists Conference, Environmental Protection Engineering, Vilnius Gediminas technical University, 20 March 2019, Vilnius.

## **INFORMACIJA APIE AUTORIŲ**

Semih Oguzdjan gimė 1987 m. balandžio 9 d. Nikosijoje (Kipras).

### **Išsilavinimas**

2001–2004 m. Turkijos Maarifo koledžas;

2004–2009 m. Ankaros universitetas, Fizikos fakultetas;

2013–2014 Birmingemo universitetas, Magistrantūra Radiioaktyviųjų atliekų tvarkymas ir eksploatavimo nutraukimas.

Kontaktinė informacija: el. paštas semih.oguzdjan@ktu.lt



## SUMMARY

### Research relevance

Environmental pressures (such as greenhouse gas emissions, release of high toxicity chemicals into the environment, etc.) related to industrial activities are a concern for the well-being of the environment and humans. Searching for less toxic chemical alternatives, as a green chemistry effort concerning the life cycle of products, needs to consider the changes in the overall production system resulting from a decision on chemical substitution in the company.

Exponential increase in global atmospheric greenhouse gas concentrations (Keeling, Keeling 2017) can be used to conclude (by using the proportionality of energy usage and environmental impacts (Huijbregts et al., 2010; Huijbregts et al., 2006)) that global emissions of hazardous chemicals that are not being substituted or phased out are also increasing exponentially in the environment. The current substitution practices in SMEs, driven by the EU regulations primarily focus on reducing the carcinogenic, mutagenic and reprotoxic (CMR), persistent, bio-accumulative and toxic (PBT) or very persistent and very bio-accumulative (vPvB) substances at the company level, without much focus on the life cycle impacts of these decisions. However, it should be clear that local decisions are not the optimum path towards reduction of the overall impacts, and potentially decreasing the substitution efficiency (reduction in environmental impacts per resources spent) and wasting resources without much reduction in environmental impacts. Life cycle assessment (LCA) is a method used to evaluate the environmental impacts associated with all the stages of a product's life cycle. These stages include raw material extraction, materials processing, manufacture, distribution, use, recycling (if any) and disposal. LCA is being used for many purposes such as ecolabelling, product improvement and product comparison in terms of environmental impact (EU, 2010; Lehtinen et al., 2011; Borghi, 2013). As the state of the art, the implementation of LCA has been standardized to some degree with the development of ISO 14040/44 standards and subsequent publication of guidance such as the International Reference Life Cycle Data System (ILCD) handbooks (EU, 2010). Nevertheless, many problems exist in almost each step of the LCA application that are waiting to be resolved. One of these problems is the expertise needed to conduct traditional LCA studies (Iraldo et al., 2015). Due to this limitation, in companies where expertise is lacking, environmental impacts associated with complete life cycle of a product are often ignored during decision making for alternatives assessment. This is particularly important, as small and medium-sized enterprises (SMEs) are a major part of the global production (Hussey, Eagan, 2007; Baranova, Paterson, 2017) and the regulatory requirements are set only for the major issues with ignoring the fact that the aggregation of many small impacts may lead to a big impact.

This is particularly problematic when chemical alternatives assessments need to be performed due to regulatory mandates. One of such mandates in EU is the REACH regulation. The REACH regulation came into force in 2007 as a major regulatory driver for the chemicals substitution in the European Union, which makes substitution of the most hazardous substances (substances of very high concern) inevitable whenever a less hazardous alternative is present (European Chemicals Agency [ECHA], 2007). To address the need for a framework describing how to progress with the alternatives assessment, the literature provides a wide range of options for a variety of assessor types (from SMEs to government bodies) with varying resources. In these chemical alternatives assessment frameworks, LCA is optional and usually served for assessors with sufficient time and resources. Occupational safety, accidental and fugitive emissions along the whole life cycle are also often neglected. Here, fugitive emissions are unintended releases, such as gas leaks from pipeline connections.

Therefore, appropriate integration of novel methodologies into already available chemical alternatives assessment frameworks, that will enable the assessors with limited resources to evaluate the impacts of their decisions on the environment and workers along at least for the part of the life cycle of their products is necessary. Also, when possible, error reduction methods should be in place in case of missing information or inexpert errors. Throughout the thesis, 'expert' means an assessor who can select the correct parameters related to the environmental/human health impacts to the extent of the state of the art.

This doctoral thesis aims to develop an environmental impact assessment model that enables the integration of life cycle environmental impacts and life cycle occupational safety considerations into alternatives assessment frameworks to be used by companies with varying degrees of resources.

### **Aim and tasks of the research**

The aim of the research is to develop an environmental impact assessment model for substitution of hazardous substances by using life cycle approach.

#### Tasks:

1. To analyze the existing research on the environmental impact assessment of the substitution of hazardous substances.
2. To develop a model for the environmental impact assessment of substitution of hazardous chemicals in industrial companies.
3. To apply the developed model to selected company cases and evaluate the feasibility.
4. To explore possible improvements on the wider use of assessments by SMEs.

## **Key thesis**

“The developed environmental impact assessment model enables companies to assess life cycle environmental impacts with a streamlined scope including substances of very high concern, fugitive and accidental emissions, as well as life cycle occupational safety concerns.”

## **Research object and methodology**

Research object is the hazardous substances.

Research steps are: systematic literature review to identify problems and tools/methods used in the area of chemical alternatives assessment, followed by the examination of the suitability of relevant methods obtained from the literature, and integration of these methods into the proposed environmental impact assessment model. Additionally, to propose an error reduction method and expert systems approach potentially to be used by SMEs.

## **Scientific novelty**

The main scientific novelty of this research is the developed environmental impact assessment model that for the first time enables companies with limited resources to perform simplified life cycle impact assessments concerning environment and occupational safety, and incorporates life cycle accidental and fugitive emission impacts in these assessments. Also, for the first time in environmental impact assessment literature, an error reduction and data gap management method based on the ‘wisdom of the crowds effect’ has been proposed. The developed model applied to real case studies concerning the substitution of hazardous substances. In addition, for the first time an inter-company expert-system has been proposed with a novel ‘combined total functional demand’ to increase the applicability of the model by inexpert assessors.

## **Practical value**

The developed model can potentially be used by any industrial company to help to reduce the environmental impacts and occupational safety risks of production chains. The proposed model also renders SMEs more competent in evaluating their life cycle environmental impacts. The proposed error reduction method can be used to reduce errors in environmental impact results, as well as to fill in the data gaps in certain areas such as life cycle inventories.

## **Approval of the Doctoral Dissertation**

Four papers have published in journals referred in ‘Clarivate analytics-Web of Science’ database with impact factors, one paper published in a journal indexed in ‘Clarivate analytics-Web of Science’ database without current impact factor (last impact factor was from 2010), and one paper has been published in other international scientific journals; in total six papers fully covering this thesis.

## **Structure and contents of the dissertation**

The dissertation consists of an introduction, five main chapters, conclusions, references and supplementary materials.

The first chapter contains the systematic literature review in the fields of regulations, environmental issues caused by hazardous substances, chemical alternatives assessment, life cycle occupational safety, synergistic effects of carcinogenic substances, statistical approaches for error reduction, and expert systems used in environmental impact assessment. Following the literature review, the research gaps have been identified. The second chapter presents the research methodology and explanation of the justification of research methodologies used. The third chapter includes the preliminary evaluation of life cycle occupational safety methods. The fourth chapter includes the explanation of the proposed environmental impact assessment model, statistical method for error reduction, and expert systems approach. The fifth chapter presents the description of the four different company cases from countries in the Baltic region and main results of model application in the fabric bleacher company, polyurethane foam production company, metal processing company and floor coating company, and the results of the statistical error reduction method. Finally, conclusions and recommendations are presented. The dissertation is comprised of 176 pages, including 26 figures and 84 tables. The list of references has 218 sources.

## **CONCLUSIONS**

1. State-of-the-art substitution practices are not widespread in terms of evaluation of the life cycle impacts and ignore life cycle concerns for reprotoxic, endocrine disruptor substances, as well as impacts from fugitive/accidental emissions and worker's health along the supply chain.
2. The developed environmental impact assessment model for substitution of hazardous substances using life cycle approach was applied in different industrial companies from various industrial branches. The model enabled:
  - a. streamlined and harmonized application of environmental impact assessment methods in terms of scope of impacts and inventory;
  - b. evaluation of reprotoxic, endocrine disruptor, bio-accumulative and suspected carcinogen substances along life cycle;
  - c. evaluation of fugitive and accidental emissions along life cycle;
  - d. consideration of worker's safety along life cycle;
  - e. consideration of the baseline situation.
3. The developed environmental impact assessment model for substitution of hazardous substances using life cycle approach was tested in the four selected industrial company cases:

- a. Fabric bleacher case, where in the alternative situation, life cycle environmental impacts increased by 140%, although a reduction in risk to consumers and reduction of reprotoxic substances along supply chain has been observed.
- b. Metal sheet priming case, where substitution resulted in 37% reduction in life cycle environmental impacts, without any change in local/regional risk. Use of substances with suspected reprotoxic properties has been increased, while carcinogenic/mutagenic substances in the supply chain showed a decrease.
- c. PU foam production case, where despite a 42% decrease in life cycle environmental impacts and 56% decrease in carcinogenic/mutagenic substances in supply chain, use of reprotoxic substances and highly flammable/explosive/reactive substances showed an increase. Emissions of carcinogenic/mutagenic substances from the company have also been eliminated.
- d. Floor coating case, where life cycle environmental impacts showed a 77% increase. Usage of suspected reprotoxics in the supply chain almost doubled and known reprotoxics has been eliminated, while carcinogenic/mutagenic substances reduced by 15%.

Use of highly uncertain normalization factors for usage/emission amounts method, and incompatibility of RA method prevented a sound conclusion.

Regulatory differences affect the model outcomes.

4. For inexpert assessors, the proposed impact assessment model can be used in case of no missing data, or if the assessor will benefit from wisdom of the crowds effect. For solvent paints, considerable error reduction has been observed at 10 inexpert assessors. For geometric average of 40 inexpert assessors, in Case 1 and Case 3, error margin was less than 3.5%, and it was less than 22% for Case 2 and Case 4, except the 50% error observed for ecosystem impacts in Case 4. Hence, 'wisdom of the crowds effect' proved to be applicable.

The proposed expert system (harmonized internet system) is necessary for the wider adoption of the proposed environmental impact assessment model by SMEs.

UDK 504.5(043.3)

SL344. 2019-12-03, 2,5 leidyb. apsk. I. Tiražas 50 egz.

Išleido Kauno technologijos universitetas, K. Donelaičio g. 73, 44249

Kaunas

Spausdino leidyklos „Technologija“ spaustuvė, Studentų g. 54, 51424

Kaunas