

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ALEKSANDRO STULGINSKIO UNIVERSITETAS
LIETUVOS ENERGETIKOS INSTITUTAS

MILDA MALINAUSKIENĖ

**SPRENDIMŲ PRIĖMIMO PARAMOS SISTEMOS
MODELIS EFEKTYVESNIAM IŠTEKLIŲ NAUDOJIMUI,
INTEGRUOJANTIS IŠTEKLIŲ KRITIŠKUMO
VERTINIMĄ**

Daktaro disertacijos santrauka
Technologijos mokslai, aplinkos inžinerija (04T)

2016, Kaunas

Disertacija rengta 2012–2016 metais Kauno technologijos universiteto Aplinkos inžinerijos institute. Mokslinius tyrimus rėmė Lietuvos mokslo taryba.

Mokslinis vadovas:

Prof. habil. dr. Jurgis Kazimieras STANIŠKIS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija – 04T).

Aplinkos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:

Prof. dr. Žaneta STASIŠKIENĖ (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija – 04T) – **pirmininkė**;

Prof. dr. Olga ANNE (Klaipėdos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija – 04T);

Prof. dr. Gintaras DENAFAS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija – 04T);

Prof. dr. Jolanta DVARIONIENĖ (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija – 04T);

Prof. dr. Donald HUISINGH (Tenesio universitetas (JAV), technologijos mokslai, aplinkos inžinerija – 04T).

Lietuvių kalbos redaktorė:

Ilona Petrovė

Leidykla „Technologija“

Anglų kalbos redaktorius:

UAB „Synergium“

Disertacija bus ginama viešame Aplinkos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje 2016 m. rugsėjo 28 d. 10 val. Kauno technologijos universiteto centrinių rūmų disertacijų gynimo salėje.

Adresas: K. Donelaičio g. 73-403, 44249 Kaunas, Lietuva.

Tel. +370 37 300 042, el. paštas doktorantura@ktu.lt

Disertacijos santrauka išsiųsta 2016 m. rugpjūčio 26 d.

Su disertacija galima susipažinti interneto svetainėse <http://ktu.edu>, <http://asu.lt>, <http://www.lei.lt> ir Kauno technologijos universiteto (K. Donelaičio g. 20, 44239 Kaunas), Aleksandro Stulginskio universiteto (Studentų g. 11, Akademija, 53361 Kauno r.) ir Lietuvos energetikos instituto (Breslaujos g. 3, 44403 Kaunas) bibliotekose.

KAUNAS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
ALEKSANDRAS STULGINSKIS UNIVERSITY
LITHUANIAN ENERGY INSTITUTE

MILDA MALINAUSKIENĖ

**DECISION SUPPORT SYSTEM MODEL FOR RESOURCE
EFFICIENCY IMPROVEMENT INTEGRATING
ASSESSMENT OF RESOURCE CRITICALITY**

Summary of Doctoral Dissertation
Technological Sciences, Environmental Engineering (04T)

2016, Kaunas

Doctoral dissertation was prepared in Kaunas University of Technology, Institute of Environmental Engineering during the period of 2012–2016. The studies were supported by Research Council of Lithuania.

Scientific Supervisor:

Prof. Dr. Habil. Jurgis Kazimieras STANIŠKIS (Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T).

Dissertation Defence Board of Environmental Engineering Science Field:

Prof. Dr. Žaneta STASIŠKIENĖ (Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T) – **chairwoman**;

Prof. Dr. Olga ANNE (Klaipėda University, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T);

Prof. Dr. Gintaras DENAFAS (Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T);

Prof. Dr. Jolanta DVARIONIENĖ (Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T);

Prof. Dr. Donald HUISINGH (University of Tennessee, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T).

Lithuanian Language Editor:

Ilona Petrovė

Publishing house “Technologija”

English Language Editor:

UAB “Synergium”

The official defence of the dissertation will be held at 10 a.m. on September 28, 2016 at the public meeting of Dissertation Defence Board of Environmental Engineering Science Field in the Dissertation Defense Hall at the Central Building of Kaunas University of Technology.

Address: K. Donelaičio St. 73-403, LT44249 Kaunas, Lithuania.

Tel. no. (+370) 37 300 042, e-mail doktorantura@ktu.lt.

Summary of doctoral dissertation was sent on 26th of August, 2016.

The doctoral dissertation is available on the internet <http://ktu.edu>, <http://asu.lt>, <http://www.lei.lt> and at the libraries of Kaunas University of Technology (K. Donelaičio St. 20, LT44239 Kaunas, Lithuania), Aleksandras Stulginskis University (Studentų St. 11, Akademija, LT53361 Kaunas dist.) and Lithuanian Energy Institute (Breslaujos St. 3, LT44403 Kaunas).

ĮVADAS

Darbo aktualumas

Pastaruoju metu publikacijų, kuriose nagrinėjamas išteklių kritiškumas, mokslinėje literatūroje pastebimai padaugėjo. Tai verčia manyti, kad užtikrintas apsirūpinimas gamtiniais ištekliais darosi vis aktualesnė tema. Gamtinių išteklių prieinamumas visuomet buvo viena iš svarbiausių sąlygų, užtikrinančių sėkmingą pramoninę veiklą, tačiau pastaruoju metu nepatikimas ir politinį atspalvį įgaunantis (1,2) apsirūpinimas ištekliais, ypač neatsinaujinančiais, kartu su nuolat kintančiomis jų kainomis (3–5) reikalauja vis daugiau dėmesio.

Žaliavų kritiškumas – sąlyginė sąvoka (6), todėl šios srities tyrimuose taikomi įvairūs sistemos ribų apibrėžimai, tikslai ir metodikos. Jei visos šiame kontekste paminėtos medžiagos būtų apibendrintos, kritinių žaliavų sąrašą sudarytų dauguma, naudojamų pramoniniams tikslams (5). Išteklių prieinamumas dažniau nagrinėjamas regioniniu, nacionaliniu ar net pasauliniu mastu, tačiau neužtikrinto jų tiekimo padariniai pirmiausia pastebimi vietiniu. Tai leidžia daryti prielaidą, kad apsirūpinimas ištekliais yra kritinė sąlyga kiekvienos gamybinės įmonės veiklai. Kita vertus, įmonės yra svarbūs ekonomikos subjektai, kurių sprendimai daro įtaką ne tik jų pačių veiklai, bet ir bendram pramonės šakos ar regiono konkurencingumui.

Siekiant patenkinti didėjančius šiuolaikinės visuomenės poreikius ir mažinti su jų augimu susijusį poveikį aplinkai, efektyvus išteklių naudojimas tapo strateginiu ekonomikos vystymosi uždaviniu, kuris pabrėžiamas daugelyje Europos Sąjungos dokumentų, pirmiausia Europos Komisijos paskelbtame „Tausiai išteklius naudojančios Europos veiksmų plane“ (7) bei komunikate „Uždaro ciklo kūrimas. ES žiedinės ekonomikos veiksmų planas“ (8). Šiuo požiūriu svarbu, kad pramonės įmonės įgyvendintų išteklių naudojimo efektyvumą didinančias priemones. Taigi tiek išteklių naudojimo efektyvumo didinimas, tiek kritiškumo mažinimas pirmiausia turėtų būti skatinamas pramonės įmonėse.

Remiantis šiais samprotavimais buvo iškelta idėja, kad į sprendimų, susijusių su išteklių naudojimo efektyvumo didinimu, priėmimą galima integruoti išteklių kritiškumą. Iki šiol mokslinėje literatūroje buvo vos keli bandymai tai padaryti. Kaip daugiausia žadantis galėtų būti pasiūlymas į būvio ciklo vertinimą (BCĮ) integruoti kritiškumo vertinimą (9, 10). Vis dėlto kol kas yra tik šių pasiūlymų koncepcijos ir jų autoriai pripažįsta, kad juos praktiškai įgyvendinant būtų susiduriama su reikšmingais sunkumais. Taigi siekiant, kad pramonės įmonės, priimdamos sprendimus, visapusiškai atsižvelgtų į išteklių tiekimo riziką, kritiškumo vertinimą reikėtų integruoti į paplitusias inovacijų diegimo procedūras.

Disertacijoje siekiama užpildyti šią mokslinių tyrimų nišą – integruoti išteklių kritiškumo vertinimą į švaresnės gamybos diegimo metodiką.

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – sudaryti efektyvaus išteklių naudojimo sprendimų priėmimo paramos sistemos modelį, integruojantį išteklių kritiškumo vertinimą.

Uždaviniai:

1. apžvelgti mokslinius tyrimus, susijusius su išteklių kritiškumo vertinimu ir mažinimu, išanalizuoti, kaip juose paisoma aplinkosauginių aspektų, bei nustatyti kritiškumo vertinimo problemas;
2. išanalizuoti efektyvaus išteklių naudojimo sprendimų priėmimo paramos metodus ir modelius, nustatyti ir įvertinti esamus pasiūlymus integruoti kritiškumo vertinimą;
3. išanalizuoti Lietuvos pramonės apsirūpinimą neatsinaujinančiais gamtos ištekliais, įskaitant kritiškumo bei efektyvaus išteklių naudojimo įvertinimą, nustatyti išteklių tiekimo rizikai jautrias pramonės šakas;
4. sudaryti efektyvaus išteklių naudojimo sprendimų priėmimo paramos sistemos modelį, integruojantį išteklių kritiškumo vertinimą;
5. apbruoti modelį nustatytų jautrių pramonės šakų įmonėse.

Ginamasis disertacijos teiginys

Integruojant išteklių kritiškumo vertinimą pagal geostrateginę tiekimo riziką ir ekonominę svarbą į švaresnės gamybos diegimo metodiką, galima sistemškai nustatyti pramonės įmonėms reikšmingus išteklių naudojimo aspektus bei taikyti kritiškumo rodiklius kaip papildomus kriterijus išteklių naudojimo efektyvumą didinančioms priemonėms vertinti ir prioritetams nustatyti.

Tyrimo objektas ir metodika

Tyrimo objektas – pramonės įmonė.

Tyrimo metodika apima sisteminę literatūros ir kiekybinę statistinę analizę. Išanalizuoti valstybės medžiagų srautai, duomenys apdoroti statistinės analizės programine įranga „PC-Axis“. Rodikliams apskaičiuoti sudaryta duomenų bazė „Excel“ programoje.

Sprendimų priėmimo paramos modelio sudarymas remiasi švaresnės gamybos diegimo principais. Jis pritaikytas dviejose pramonės įmonėse. Išanalizuoti medžiagų ir energijos srautai bei panaudota tyrimo metu sudaryta duomenų bazė „Excel“ programoje.

Mokslinis darbo naujumas

Pagrindinis mokslinio naujumo elementas – sukurtas originalus daugiatakslis sprendimų priėmimo paramos sistemos modelis, integruojantis išteklių kritiškumo vertinimą pagal geostrateginę tiekimo riziką ir ekonominę svarbą į švaresnės gamybos inovacijų diegimo procedūras. Jis papildo šią metodiką kritiškumo vertinimu ir padeda nustatyti reikšmingus aspektus, susijusius su išteklių naudojimu pramonės įmonėse, įvertinti ir reitinguoti išteklių naudojimo efektyvumą didinančias priemones. Be to, darbo rezultatai padeda įtraukti aplinkosaugos aspektus, vertinant įmonių išteklių kritiškumą.

Praktinė darbo vertė

Sukurtas sprendimų priėmimo paramos sistemos modelis gali būti taikomas pramonės įmonėse kaip įrankis nustatyti ir vertinti išteklių naudojimo efektyvumą didinančias priemones. Jis leidžia įvertinti geostrateginę išteklių tiekimo riziką bei galimą jos poveikį. Modelis gali būti naudojamas kaip sprendimų priėmimo paramos priemonė, kuri suteikia galimybę priimti pagrįstus sprendimus didinti išteklių naudojimo efektyvumą pramonės įmonėse, įtraukiant tiekimo riziką kaip papildomą kriterijų.

Sudarytas modelis apbruotas dviejose gamybos įmonėse, kurios priklauso pažeidžiamoms, nuo importuotų žaliavų priklausomoms Lietuvos pramonės šakoms.

Darbo apimtis ir struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, penki pagrindiniai skyriai, išvados, rekomendacijos, literatūros šaltinių sąrašas ir priedai. Iš viso 117 puslapių (be priedų).

1 SKYRIUS. LITERATŪROS APŽVALGA

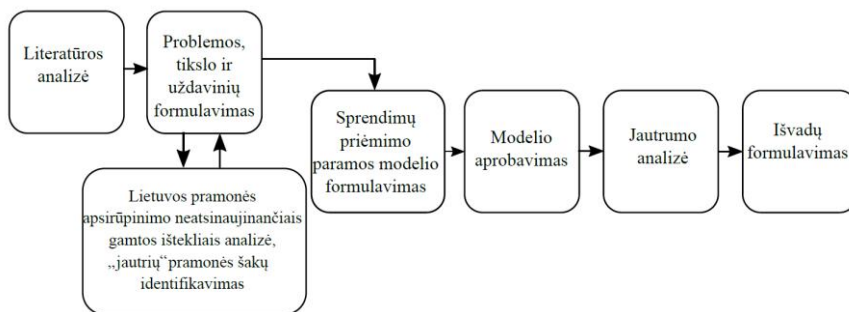
Siekiant nustatyti sąsajas tarp išteklių kritiškumo bei efektyvesnio jų naudojimo, skyriuje apžvelgti skirtingų sričių moksliniai tyrimai. Pirmiausia – mokslinė literatūra, susijusi su išteklių kritiškumo vertinimu bei mažinimu. Pateikti literatūroje vartojami apibrėžimai, priežastys, išanalizuotos naudojamos metodikos, nustatytos pagrindinės jų taikymo problemos. Pateikta analizė, kaip išteklių kritiškumą vertinančiose studijose atsižvelgiama į aplinkosauginius aspektus. Nustatyta, kokios pagrindinės strategijos, susijusios su išteklių kritiškumo mažinimu, siūlomos mokslinėje literatūroje. Toliau apžvelgtos pagrindinės išteklių naudojimo efektyvumą didinančios strategijos bei vertinimo metodai sprendimų priėmimui palaikyti. Apžvelgti tyrimai, kuriuose išteklių kritiškumo vertinimas integruotas į sprendimų priėmimo paramos modelius išteklių naudojimo efektyvumui didinti.

Skyriaus pabaigoje pateikiamos literatūros analizės išvados. Nustatyta, kad išteklių kritiškumo vertinimas yra nevienalytė mokslinių tyrimų sritis. Nėra visuotinai priimtino apibrėžimo ar metodikos, kuri leistų vienareikšmiškai įvertinti išteklių kritiškumą bei sudaryti kritinių išteklių sąrašą. Akivaizdu, kad nėra tokio reiškinio kaip absoliutus kritiškumas, kadangi vieni ištekliai yra svarbesni už kitus esant tam tikroms sąlygoms, naudotojams ir laikotarpiui (11). Mokslinių tyrimų autoriai sutinka, kad išteklių kritiškumas yra sąlyginė sąvoka, o šis reiškinys apima visapusišką daugelio kriterijų vertinimą. Kalbant apie aplinkosaugos aspektų įtraukimą, į juos tyrimuose atsižvelgiama dvejopai. Viena vertus, jie susiję su išteklių tiekimo rizika, antra vertus, poveikis aplinkai, atsirandantis dėl išteklių naudojimo, gali būti suprantamas kaip papildomas išteklių kritiškumo vertinimo matmuo.

Mokslinėje literatūroje išteklių naudojimo efektyvumo didinimas laikomas tinkama strategija kritiškumui valdyti. Nors pramonės įmonių sprendimai turi esminės įtakos darnesniai gamtinių išteklių naudojimui, apžvelgus literatūrą paaiškėjo, kad šiuo metu beveik neskiriama dėmesio kritiškumo vertinimui integruoti į įmonėse naudojamus sprendimų priėmimo procesus, kurių tikslas – naudoti išteklius efektyviau. Tuo remiantis nustatytas poreikis sukurti sprendimų priėmimo paramos sistemos modelį, kuris leistų integruoti išteklių kritiškumo vertinimą į plačiai pramonės įmonėse taikomas procedūras.

2 SKYRIUS. TYRIMO METODIKA

Šiame skyriuje aprašoma disertacijos tyrimo struktūra. Pagrindiniai etapai pateikti 1 pav.



1 pav. Disertacijos tyrimo struktūra

Skyriuje detaliai aprašoma pasirinkta valstybės išteklių kritiškumo nustatymo metodika bei teorinės prielaidos integruotam sprendimų priėmimo paramos sistemos modeliui kurti.

Valstybės išteklių kritiškumo rodiklių nustatymas

Išteklių kritiškumo nustatymas remiasi metodika, kurią sudaro penki žingsniai: išteklių atranka vertinti, geostrateginės tiekimo rizikos, ekonominės svarbos nustatymas, rezultatų apibendrinimas, išteklių naudojimo našumo įvertinimas.

Ištekliai vertinti atrenkami pagal keturis kriterijus: gamtinę kilmę, paskirtį, duomenų prieinamumą, priklausomybę nuo importo.

Geostrateginė tiekimo rizika nustatoma pagal Europos Komisijos (12) pasiūlytą metodiką, įvertinus žaliavos kilmės šalių gausumą, politinį stabilumą, perdirbtos žaliavos dalį bendrose žaliavos sąnaudose bei pakeičiamumą:

$$SR_i = \sigma_i(1 - \rho_i)HHI_{WGI}; \quad (1)$$

čia σ_i – žaliavos pakeičiamumas pagrindinėse ją naudojančiose pramonės šakose (0 – žaliava lengvai pakeičiama be papildomų sąnaudų, 0,3 – žaliava pakeičiama su nedidelėmis sąnaudomis, 0,7 – ją pakeisti reikia didelių papildomų sąnaudų arba sumažėja gaminių kokybė, 1 – žaliava nepakeičiama);

HHI_{WGI} – modifikuoto Herfindahlo ir Hirschmanno indekso vertė (nuo 0 iki 100 000);

ρ_i – perdirbtos žaliavos dalis bendrose žaliavos sąnaudose (išreikšta dalimis nuo 0 iki 1).

Rodiklio reikšmė perskaičiuojama, kad atitiktų vertes nuo 1 iki 100, kur didesnė reiškia, kad žaliava išgaunama (gaminama) „nestabilesnėje“ valstybėje ir jos perdavimo laipsnis yra mažesnis, t. y. rizika, susijusi su žaliavos tiekimu, yra didesnė.

Žaliavos kilmės šalių pasiskirstymas ir jų stabilumas HHI_{WGI} nustatomas modifikuota Herfindahlo ir Hirschmanno indekso išraiška:

$$HHI_{WGI} = \sum_c (S_{ic})^2 \cdot WGI_c; \quad (2)$$

čia WGI_c – pasaulio valdymo rodiklis (angl. *Worldwide Governance Indicator*) šaliai c pagal Pasaulio banko pateikiamą informaciją. Jo reikšmės yra nuo -2,5 iki 2,5, kur didesnė nurodo geresnį šalies valdymą. Siekiant suprantamiau išreikšti riziką, rodiklio vertės perskaičiuojamos nuo 0 iki 10, kur didesnė atitinka silpnesnį valdymą, kartu didesnę riziką.

S_{ic} – šalies c pagaminama žaliavos i dalis, išreiškiama procentais.

Modifikuoto Herfindahlo ir Hirschmanno indekso vertės yra 0–100 000. Didžiausia galima šio indekso reikšmė (100 000) gaunama tuo atveju, jei visa

žaliava (100 proc.) gaminama vienoje valstybėje, kurios į dešimtbalę sistemą perskaičiuotas WGI_c lygus 10. Rodiklio reikšmės perskaičiuojamos nuo 0 iki 10.

Žaliavos *i* ekonominė svarba (*EI_i*) nustatoma:

$$EI_i = \frac{1}{BVP} \sum_s A_s Q_s; \quad (3)$$

čia *A_s* – žaliavos *i* sąnaudų dalis pramonės šakoje *s*;

Q_s – pramonės šakoje *s* sukurta pridėtinė vertė per analizuojamus metus, mln. EUR;

BVP – bendrasis vidaus produktas, mln. EUR.

Integruoto sprendimų priėmimo paramos sistemos modelio formulavimas

Sudarytas sprendimų priėmimo paramos sistemos modelis matematiškai gali būti aprašomas kaip daugiakriterio optimizavimo uždavinys, kuris išsprendžiamas pervedant jį į vieno kriterijaus optimizavimo uždavinį.

3 SKYRIUS. IŠTEKLIŲ NAUDOJIMO LIETUVOS PRAMONĖJE ĮVERTINIMO REZULTATAI

Remiantis gamtine kilme, paskirtimi, duomenų prieinamumu bei atlikus priklausomybės nuo gamtinių išteklių importo analizę, toliau vertinti pasirinktos šios žaliavos: metalai (ketus, varis, aluminis, alavas, cinkas, švinas, juodieji metalai), cheminės medžiagos (siera, kaustinė soda, kalcinuotoji soda, polietilenas, polipropilenas, polistirenas ir stireno polimerai, vinilo chlorido polimerai), gamtinės dujos ir žaliavinė nafta.

Skyriuje pateikiami geostrateginės tiekimo rizikos vertinimo (atsižvelgiant į žaliavos importo ir kilmės šalis) bei ekonominės svarbos vertinimo rezultatai. Nustatytas eiliškumas pagal kritiškumo rodiklio reikšmės bei apsirūpinimui kritiškais ištekliais jautrios pramonės šakos (1 lentelė).

1 lentelė. Išteklių, kurie įvertinti kaip turintys didžiausią kritiškumo rodiklį, naudojimas Lietuvos pramonėje 2009 m.

Žaliava	Pramonės šaka	Sunaudojimas, %
Gamtinės dujos (ne energetinėms reikmėms)	Rafinuotų naftos produktų, chemikalų ir chemijos produktų gamyba	100,00
Žaliavinė nafta	Rafinuotų naftos produktų, chemikalų ir chemijos produktų gamyba	99,99
Siera	Rafinuotų naftos produktų, chemikalų ir chemijos produktų gamyba	99,98
Kaustinė soda	Maisto produktų, gėrimų ir tabako gaminių gamyba	47,51
	Rafinuotų naftos produktų, chemikalų ir chemijos produktų gamyba	46,85

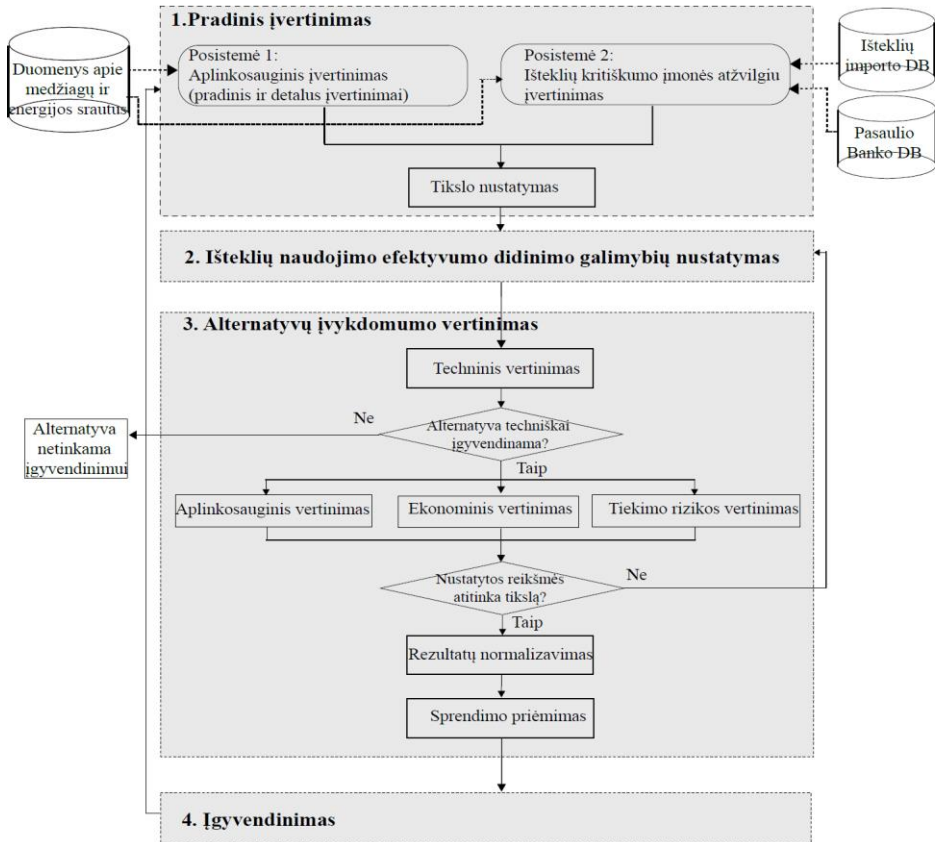
1 lentelė (tęsinys). Išteklių, kurie įvertinti kaip turintys didžiausią kritiškumo rodiklį, naudojimas Lietuvos pramonėje 2009 m.

Ketus	Mašinų įrangos remontas ir įrengimas	49,50
	Niekur kitur nepriskirtų mašinų ir įrangos gamyba	33,89
	Metalo gaminių, išskyrus mašinas gamyba	12,58
Alavas	Mašinų įrangos remontas ir įrengimas	42,86
	Kompiuterinių, elektroninių ir optinių gaminių gamyba	28,57
	Niekur kitur nepriskirtų mašinų ir įrangos gamyba	21,43
Kalcinuotoji soda	Kitų nemetalo mineralinių produktų gamyba	88,09
Varis	Elektros įrangos gamyba	55,65
	Metalo gaminių, išskyrus mašinas gamyba	29,74
Aliuminis	Maisto produktų, gėrimų ir tabako gaminių gamyba	33,23
	Tekstilės gaminių gamyba	22,44
	Metalo gaminių, išskyrus mašinas gamyba	31,00
Juodieji metalai	Pagrindinių metalų gamyba	29,00
	Kitų transporto priemonių ir įrangos gamyba	17,00

Nustatyta, kad didžioji aukščiausią kritiškumo rodiklį turinčių žaliavų (gamtinių dujų, žaliavinės naftos, sieros) dalis sunaudojama rafinuotiems naftos produktams, chemikalams ir cheminiams produktams gaminti. Kadangi tarp svarbių žaliavų yra ir pagrindiniai metalai (ketus, alavas, varis, aliuminis, juodieji metalai), įvairių metalo gaminių gamyba taip pat yra viena iš pažeidžiamiausių pramoninių veiklų.

4 SKYRIUS. SPRENDIMŲ PRIĖMIMO PARAMOS SISTEMOS MODELIS: IŠTEKLIŲ KRITIŠKUMO VERTINIMO INTEGRAVIMAS Į IŠTEKLIŲ NAUDOJIMO EFEKTYVUMĄ DIDINANČIŲ ALTERNATYVŲ VERTINIMĄ

Skyriuje aprašomas sudarytas sprendimų priėmimo paramos sistemos modelis. Modelio struktūra pateikiama 2 pav.



2 pav. Efektyvaus išteklių naudojimo sprendimų priėmimo paramos sistemos modelis, integruojantis išteklių kritiškumo vertinimą

Modelio *tikslas* – rasti įmonės išteklių naudojimo efektyvumą didinantį sprendimą, kuris būtų techniškai įgyvendinamas bei priimtinausias pagal aplinkosauginį veiksmingumą, ekonominį naudingumą bei išteklių kritiškumo mažinimą.

Modelio struktūra paremta švaresnės gamybos inovacijų diegimo metodika (13). Kritiškumo vertinimas integruotas kaip papildomas rodiklis reikšmingiems išteklių naudojimo aspektams nustatyti bei efektyvumą didinančioms priemonėms įvertinti. Sprendimų priėmimo paramos sistemos taikymas apima tris pagrindinius žingsnius:

1. pradinį įmonės įvertinimą, įskaitant įmonės ir procesų aplinkosaugos veiksmingumą (posistemė 1) bei išteklių kritiškumą (posistemė 2);
2. išteklių naudojimo efektyvumą didinančių galimybių nustatymą;
3. įvykdumo analizę, įskaitant daugiakriterio vertinimo procedūrą, kurios tikslas – nustatyti techniškai įgyvendinamus, aplinkosauginiu bei ekonominiu požiūriu naudingus sprendimus, kurių įdiegimas taip pat leistų sumažinti įmonės išteklių kritiškumą.

Priimtinausios alternatyvos nustatymas yra daugiakriterio optimizavimo uždavinys, kuris gali būti aprašytas:

$\max f_1(\vec{x})$: mažinti poveikį aplinkai;

$\max f_2(\vec{x})$: didinti ekonominį įvykdumą;

$\max f_3(\vec{x})$: mažinti geostrateginę tiekimo riziką.

Posistemės nr. 1 aprašymas: aplinkosauginis įvertinimas

Pradinis įmonės įvertinimas

Pradinio įvertinimo tikslas yra nustatyti aplinkosauginį analizuojamos įmonės veiksmingumą. Todėl žengiami šie žingsniai:

- analizuojami medžiagų ir energijos srautai;
- sudaromas medžiagų ir energijos srautų balansas (srautai įvertinami absoliučiaisiais dydžiais, vnt./m.);
- įvertinamas aplinkos apsaugos veiksmingumas (santykinis srautų įvertinimas, lyginimas su standartais). Aplinkos apsaugos veiksmingumo rodikliai vertinami, taikant formulę (14):

$$Elm_i = \frac{X_i(t)}{P_i(t)} \quad (4)$$

čia i – srautas įrenginio pradžioje arba pabaigoje;

$X_i(t)$ – sunaudotas žaliavos, energijos, vandens kiekis arba susidaręs atliekų, taršos kiekis per metus (t/m., m³/m., MWh/m.);

$P_i(t)$ – produkcijos kiekis (t/m.).

Detalus procesų įvertinimas

Po pradinio įvertinimo detalai įvertinamas pasirinktas konkretus procesas arba tam tikros žaliavos srautas. Jam sudaromas medžiagų ir energijos srautų balansas, apskaičiuojamas aplinkos apsaugos veiksmingumas. Remiantis gautais rezultatais, nustatomi reikšmingi aplinkos apsaugos aspektai bei aplinkos apsaugos veiksmingumo gerinimo galimybės. Tai gali būti švaresnės gamybos bei pramoninės ekologijos priemonės, pavyzdžiui, žaliavų pakeitimas, procesų optimizavimas, įrangos modifikavimas, technologijos pakeitimas, atliekų perdirbimas arba antrinis panaudojimas įmonėje, gaminių modifikavimas (15), pramoninės simbiozės ryšių kūrimas.

Posistemės nr. 2 aprašymas: išteklių kritiškumo įvertinimas

Kartu su aplinkosauginiu veiksmingumu įvertinami išteklių kritiškumo rodikliai.

Ištekliaus i ekonominė svarba įmonei:

$$EI_i = \left[(1 + (d_i \cdot PT_i)) \frac{p_i}{TC} \right] \cdot 100; \quad (5)$$

čia d_i – ištekliaus i kainos pasikeitimas nagrinėjamais metais (t), palyginti su pasirinktais metais ($t-1$): $d_i = (\text{kaina}_t - \text{kaina}_{t-1}) / \text{kaina}_{t-1}$;

PT_i – galimybė perkelti padidėjusias sąnaudas vartotojams; galimos reikšmės (adaptuota iš (16, 17): 0 – santykinai lengvai perkeliama padidėjusios sąnaudos (kaina nedidėjo / produkcijos kainos gali būti tikslinamos pagal žaliavų kainas); 0,3 – įmanoma; 0,7 – sudėtinga; 1,0 – beveik neįmanoma (konkurencija rinkoje labai didelė, produkcijos kainų nebegalima kelti, todėl įmonė turi padengti išaugusias kainas savo pelno sąskaita); jei $d_i > 0$, tai $PT_i = [0; 1]$, jei $d_i \leq 0$, tai $PT_i = 0$;

p_i – metinės sąnaudos ištekliui i įsigyti, EUR;

TC – metinės gamybos sąnaudos, EUR.

Geostrateginė ištekliaus i tiekimo rizika įmonei:

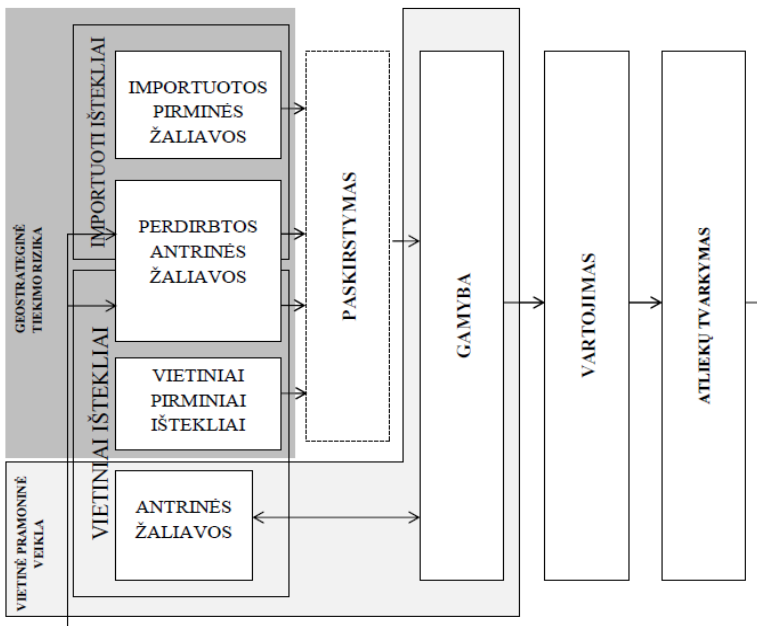
Geostrateginės tiekimo rizikos vertinimui naudojamas modifikuotas Hirschmano ir Herfindahlo indeksas (HHI):

$$SR_i = ((a_{i,1} - \rho_{i,1})^2 \cdot WGI_1 + \sum_{c=2}^n ((a_{i,c})^2 \cdot WGI_c) / 1000; \quad (6)$$

čia WGI_c – pasaulio valdymo rodiklis (angl. *Worldwide Governance Indicator*) šaliai c . Kasmet jų reikšmės kiekvienai pasaulio valstybei nustato Pasaulio bankas. Šiuo atveju indikatorius apibūdina žaliavą tiekiančių valstybių stabilumą. Jį sudaro šeši rodikliai: *žodžio laisvės ir politinės atskaitomybės indeksas; politinis stabilumas; valstybės valdymo efektyvumas; reglamentavimo kokybė; teisinės valstybės indeksas; korupcijos kontrolės užtikrinimas*. WGI_c reikšmės yra nuo -2,5 iki 2,5, tačiau aiškumo dėlei yra perskaičiuojamos nuo 0 iki 10, kur didesnė reikšmė rodo didesnę riziką. WGI_1 – rodiklio reikšmė valstybei, kurioje yra nagrinėjamas objektas;

$a_{i,c}$ – valstybės c pagaminama žaliavos i dalis, išreiškiama procentais, įskaitant valstybę ($c=1$), kurioje yra nagrinėjamas objektas;

$\rho_{i,1}$ – perdirbtos žaliavos dalis vietinės kilmės žaliavos sąnaudose, kai ji perdirbta toje pačioje įmoneje arba taikant pramoninės simbiozės ryšius. Šiuo atveju antrinis arba perdirbimas kitoje valstybėje yra siejamas su tokia pačia rizika kaip ir pirminis žaliavos šaltinis (3 pav.).



3 pav. Išteklių srantai tiekimo grandinėje ir geostrateginės tiekimo rizikos vertinimo sistemos ribos

Pagrindinės prielaidos:

- priimta prielaida, kad efektyvesnis žaliavų tiekiančios valstybės valdymas ir politinis stabilumas, išreikštas žemesniu WGI, lemia didesnę atsparumą vidiniams bei išoriniams trikdžiams (politiniams neramumams arba stichinėms nelaimėms);
- kadangi antrinių žaliavų rinka taip pat dinamiška ir gali būti rizikinga dėl kainų svyravimo bei tiekimo trikdžių (18), priimta prielaida, kad antrinio perdirbimo žaliavų kilmė susijusi su tokia pačia rizika kaip ir pirminių. Tačiau įmonė teigiamai mažinti išteklių kritiškumą gali tik tokiu atveju, jei perdirbtos žaliavos kaina yra mažesnė už pirminės arba perdirbama valstybėje, kurioje yra nagrinėjamas pramonės objektas ir kuri yra politiškai stabilesnė;
- priimta prielaida, kad „naujai“ perdirbtos, t. y. perdirbtos iki patekdamo galutiniam vartotojui, žaliavos naudojimas nedidina geostrateginės tiekimo rizikos ir todėl ją apibūdinantis rodiklis gali būti atitinkamai sumažintas.

Apskaičiuotų ekonominės svarbos bei geostrateginės tiekimo rizikos rodiklių reikšmės apibendrinamos dviejų dimensijų matrica. Ištekliai reitinguojami pagal gautas reikšmes bei jų pokytį.

Daugiakriterio optimizavimo funkcijų aprašymas

Optimizavimo tikslas nr. 1: Didinti aplinkosauginį veiksmingumą

$$\max f_1(\vec{x}) = \max \vec{w}_{plan}; \quad (7)$$

$$\text{kai } \vec{w}_{plan} = \begin{cases} w_{plan 1} \\ w_{plan 2} \\ \dots \\ w_{plan n} \end{cases}$$

Aplinkosauginis pasirinktų išteklių naudojimo efektyvumą didinančių sprendimų veiksmingumas nustatomas apskaičiuojant aplinkosauginio veiksmingumo rodiklius įdiegus inovacijas bei palyginus juos su rodiklių reikšmėmis prieš įdiegimą:

$$W_{plan i}(t) = EIm_{before RE i} - EIm_{after RE i} = \frac{X_{i(t-1)}}{P(t-1)} - \frac{X_{i(t)}}{P(t)}; \quad (8)$$

$$\text{kai } EIm_{after RE i} \leq EIm_{max};$$

čia $EIm_{before RE i}$ ir $EIm_{after RE i}$ – aplinkos apsaugos rodikliai prieš ir po išteklių naudojimo efektyvumą didinančios inovacijos įdiegimo (t/t , m^3/t , MWh/t),

EIm_{max} – lyginamojo rodiklio reikšmė nagrinėjamam srautui i (pvz.: reikšmė, atitinkanti geriausius prieinamus gamybos būdus (GPGB), jei tokią reikšmę galima nustatyti).

Optimizavimo tikslas nr. 2: Didinti ekonominį įvykdumą

$$\max f_{21}(x) = \max\{-P\}; \quad (9)$$

$$\max f_{22}(\vec{x}) = \max \vec{EI}_{plan}; \quad (10)$$

$$\text{kai } \vec{EI}_{plan} = \begin{cases} EI_{plan 1} \\ EI_{plan 2} \\ \dots \\ EI_{plan n} \end{cases}$$

Investicijų atsipirkimo trukmė yra pagrindinis ekonominio įvertinimo rezultatas ir yra apskaičiuojama:

$$P = \frac{I}{S}; \quad (11)$$

čia I – bendros investicijos, EUR,

S – sutaupymai dėl sumažėjusių proceso gamybos kaštų bei pajamos įgyvendinus projektą, EUR/m.

Ekonominės svarbos rodiklio pokytis apskaičiuojamas:

$$EI_{plan\ i} = EI_{before\ RE\ i} - EI_{after\ RE\ i}; \quad (12)$$

čia $EI_{before\ RE\ i}$ – ekonominė išteklių i svarba prieš įgyvendinant išteklių naudojimo efektyvumą didinančią inovaciją;

$EI_{after\ RE\ i}$ – ekonominė išteklių i svarba įdiegus išteklių naudojimo efektyvumą didinančias inovacijas.

Optimizavimo tikslas nr. 3: Mažinti geostrateginę tiekimo riziką pramonės įmonei:

$$\max f_3(\vec{x}) = \max \overline{SR}_{plan\ i}; \quad (13)$$

$$\text{kai } \overline{SR}_{plan\ i} = \begin{cases} SR_{plan\ 1} \\ SR_{plan\ 2} \\ \dots \\ SR_{plan\ n} \end{cases}$$

Geostrateginės tiekimo rizikos pokytis prieš ir po išteklių naudojimo efektyvumą didinančios inovacijos įdiegimo apskaičiuojamas:

$$SR_{plan\ i} = SR_{before\ CP\ i} - SR_{after\ CP\ i}; \quad (14)$$

čia $SR_{before\ RE\ i}$ – geostrateginė rizika, susijusi su išteklių i tiekimu prieš įgyvendinant išteklių naudojimo efektyvumą didinančią inovaciją;

$SR_{after\ RE\ i}$ – geostrateginė rizika, susijusi su išteklių i tiekimu įgyvendinus išteklių naudojimo efektyvumą didinančias inovacijas.

Daugiakriterio optimizavimo uždavinys išsprendžiamas pervedant jį į vieno kriterijaus optimizavimo uždavinį ir taikant svertinių koeficientų sumavimo metodą (SAW). SAW yra tikslo funkcija, kurioje kiekvieno kriterijaus reikšmėms suteikiamas tam tikras svertinis koeficientas (19):

$$v(a_n) = \sum_{k=1}^m w_k \cdot v_k(f_k(a_n)); \quad (15)$$

kai

$$w_k \geq 0$$

$$\sum_{k=1}^m w_k = 1$$

čia w_k – svertinis koeficientas k , $v_k(f(a_n))$ vieno tikslo funkcija.

Vieno tikslo funkcijos normalizuojamos, kad jų reikšmės atitiktų $[0;1]$, kur didesnis rezultatas atitinka aukštesnį įvertinimą, todėl:

$$f_k(a_n) \rightarrow \max \quad (16)$$

Išsprendus daugiakriterio optimizavimo uždavinį, alternatyvos reitinguojamos.

Kadangi reikšmių suteikimas svertiniams koeficientams yra subjektyvus, atliekama jautrumo analizė. Jos tikslas – nustatyti, kaip alternatyvų įvertinimas keičiasi pagal svertinių koeficientų reikšmes.

5 SKYRIUS. MODELIO TAIKYMAS PRAMONĖS ĮMONĖSE

Sukurtas sprendimų priėmimo paramos sistemos modelis pritaikytas dviejose Lietuvoje veiklą vykdančiose įmonėse, kurios pagal išteklių kritiškumą priklauso jautrioms pramonės šakoms. Skyriuje pateikiami modelio taikymo rezultatai.

Pagrindiniai modelio taikymo azoto trąšas gaminančioje įmonėje rezultatai

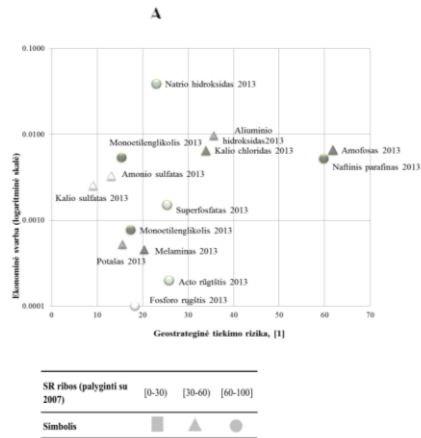
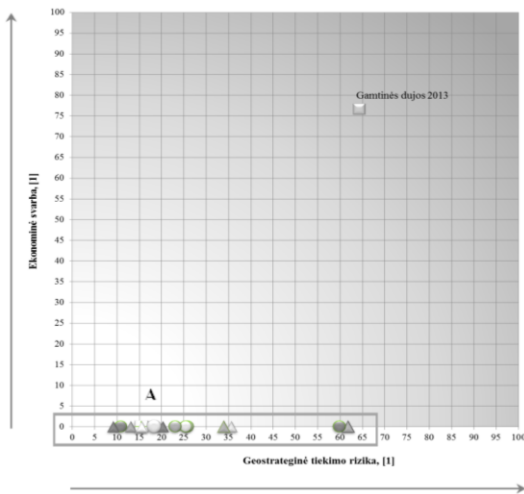
Analizuojamoje įmonėje 2013 m. buvo pagaminta apie 4,4 mln. tonų produkcijos (azoto trąšų bei kitų chemijos produktų), iš kurių 2 mln. tonų sudarė trąšos. Pagrindinė sudedamoji azoto trąšų dalis yra amoniakas, susidarantis Haberio ir Boscho sintezės metu. Reakcijai reikalingas vandenilis gaunamas iš gamtinių dujų, azotas – iš aplinkos oro. Gamtinės dujos naudojamos kaip žaliava, energijos šaltinis bei išlakoms į aplinkos orą sudeginti fakeluose. Analizuojama įmonė 2013 m. sunaudavo apie 1 084 mln. nm^3 gamtinių dujų (žaliavai – 50 %, energetinėms reikmėms – 43,4 %, išmetamosioms dujoms sudeginti fakeluose – 6,6 %), taip pat apie 60 rūšių kitų žaliavų. 2013 m. įmonėje sunaudota apie 40 % visų Lietuvoje sunaudojamų gamtinių dujų.

Aplinkosauginiu įvertinimu nustatyta, kad reikšmingiausias aplinkos apsaugos aspektas analizuojamoje įmonėje yra neefektyvus gamtinių dujų naudojimas. Energijos intensyvumas amoniako gamyboje (C1 įrenginyje – iki 36,752 GJ/t NH_3 , C2 įrenginyje – iki ~37,27 GJ/t NH_3) iki 17 % viršija šį rodiklį, pateiktą GPGB dokumente. Pagrindinės neefektyvaus energijos naudojimo priežastys:

- šilumos energijos nuostoliai pagalbinuose procesuose, pvz., su aušinimo vandeniu atvirose sistemose, su išlakomis į aplinkos orą;

- neefektyvus perteklinio garo naudojamas, pvz., šildant vandenį, patalpas;
- gamtinių dujų naudojimas išlakoms į aplinkos orą sudeginti;
- žemas paleidimo katilų naudingumo koeficientas (iki 83 proc.).

Įvertinus įmonėje naudojamų importuotų gamtinių išteklių kritiškumą nustatyta, kad gamtinių dujų naudojimas yra ir reikšmingiausias aspektas, susijęs su įmonės išteklių kritiškumu. Nustatyta gamtinių dujų ekonominės svarbos rodiklio EI reikšmė 2013 m. siekė 76,68, geostrateginės tiekimo rizikos SR – 64,24.



4 pav. Geostrateginės tiekimo rizikos (SR) ir ekonominės svarbos (EI) rodiklių reikšmės azoto trąšas gaminančioje įmonėje 2013 m., palyginti su 2007 m.

Po pirminio vertinimo suformuluotas modelio taikymo tikslas – rasti tokį techniškai ir ekonomiškai įgyvendinamą efektyvesnio išteklių naudojimo sprendimą, kuris didintų aplinkosauginį veiksmingumą, susijusį su gamtinių dujų naudojimu, bei kartu sumažintų analizuojamos įmonės išteklių kritiškumą. Nustatytos keturios techniškai įgyvendinamos alternatyvos:

1. Iš dalies gamtinės dujos pakeičiamos biodujomis iš artimiausio gyvulininkystės komplekso (taip pat iš planuojamų buitinių nuotekų valymo įrenginių dumblo) ir naudojamos oro teršalams sudeginti fakeluose (gamtinių dujų sąnaudos sumažėja 1181 tūkst. nm^3/m).
2. Perteklinės šilumos energijos naudojimas – aušinimo vandens apytakinio ciklo atliekamos šilumos energijos naudojimas patalpoms šildyti ir karštam vandeniui ruošti (gamtinių dujų sąnaudos sumažėja 260 tūkst. nm^3/m).

3. Perteklinės šilumos energijos (žemo slėgio garo) naudojimas netoliese planuojamos ūkinės veiklos technologiniuose procesuose – pavyzdžiui, kietojo atgautojo kuro bei medienos gaminių gamyboje (gamtinių dujų sąnaudos sumažėja 1874 tūkst. nm³/m).
4. Paleidimo katilinės modernizavimas, įdiegiant naują garo katilą su kondensaciniu ekonomazeriu (gamtinių dujų sąnaudos sumažėja 237 tūkst. nm³/m).

Jei būtų įdiegtos visos siūlomos alternatyvos, per metus gamtinių dujų būtų sunaudojama 3 552 tūkst. nm³ mažiau, tai sudarytų 0,33 % bendro sunaudojamo gamtinių dujų kiekio. Alternatyvai nr. 1 diegti reikalingos investicijos siektų apie 2,8 mln. EUR, tai leistų sutaupyti apie 614 tūkst. EUR per metus, atsipirkimo trukmė – 4,6 m. Priimta prielaida, kad investicijos, reikalingos alternatyvoms nr. 2 ir nr. 3 diegti, turėtų būti padengtos ūkio subjektų, vykdyšančių veiklą planuojamoje pramoninėje zonoje. Įgyvendinus alternatyvą nr. 2, per metus būtų sutaupyta apie 80 tūkst. EUR, nr. 3 – apie 576 tūkst. EUR. Alternatyvai nr. 4 diegti reikėtų apie 600 tūkst. EUR investicijų, būtų sutaupoma 100 tūkst. EUR per metus, atsipirkimo trukmė –3,6 m.

Vertinant išteklių kritiškumą priimta prielaida, jog biodujų naudojimas mažina geostrateginę tiekimo riziką (2 lentelė).

2 lentelė. Švaresnės gamybos ir pramoninės simbiozės alternatyvų poveikis geostroteginės tiekimo rizikos bei ekonominės svarbos rodikliams analizuojamoje azoto trąšas gaminančioje įmonėje

Ištekliai		Metinis suvartojimas (1000 nm ³ /m.)	Antrinės žaliavos dalis, %	Geostrateginė tiekimo rizika SR (0–100)	Ekonominė svarba EI (0– 100)
Gamtinės dujos ir biodujos	Esama situacija	1 084 265	0	64,24	76,68
	1 a.	1 084 265	0,11	64,10	76,85
	2 a.	1 084 005	0	64,24	76,67
	3 a.	1 082 391	0	64,24	76,59
	4 a.	1 084 028	0	64,24	76,61

Alternatyvos nr. 1 įgyvendinimas neturėtų įtakos kiekybiniam gamtinių dujų sunaudojimui, tačiau ekonominė svarba padidėtų dėl didesnių sąnaudų, palyginti su sąnaudomis gamtinėms dujoms įsigyti. Visų kitų alternatyvų įgyvendinimas sumažintų kiekybinį gamtinių dujų sunaudojimą, todėl ekonominė svarba sumažėtų.

Daugiakriteriu vertinimu nustatytas alternatyvų eiliškumas pagal penkis kriterijus (C11: gamtinių dujų sąnaudų pokytis, C21: metiniai sutaupymai, C22: investicijos, C23: ekonominė svarba, C31: geostrateginė tiekimo rizika).

3 lentelė. Normalizuotos kriterijų reikšmės ir svertiniai koeficientai, alternatyvų palyginimo rezultatai

Alternatyva	Kriterijus					Rezultatas	
	C11	C21	C22	C23	C31	SAW	Eil. nr.
1	0,630	1	0,333	0,996	1	0,802	2
2	0,139	0,130	1	0,999	0,998	0,615	3
3	1	0,938	1	1	0,998	0,992	1
4	0,126	0,163	0,500	0,999	0,998	0,559	4
Svertinis koef.	1/3	1/9	1/9	1/9	1/3		

Alternatyva nr. 3 įvertinta kaip palankiausia pagal visus analizuotus kriterijus, antroje vietoje – nr. 1, trečioje – nr. 2, ketvirtoje – nr. 4. Svertinių koeficientų parinkimas yra subjektyvus, todėl atlikta jautrumo analizė. Ji parodė, kad kritiškumo rodikliams suteiktus mažesnę svorį, vertinimo rezultatai nepasikeistų. Jei būtų vertinami tik aplinkosauginiai bei ekonominiai kriterijai, alternatyva nr. 3 taip pat būtų priimtinausia, jei būtų vertinami tik kritiškumo kriterijai – vienodai priimtinos būtų alternatyvos nr. 3 ir nr. 4.

Pagrindiniai modelio taikymo metalo apdirbimo įmonėje rezultatai

Analizuojamoje metalo apdirbimo įmonėje per metus pagaminama apie 12,7 mln. vnt. arba 1 909 tonų metalo gaminių. Tam sunaudojama apie 2 727 tonų metalo – anglinio plieno, aliuminio, nerūdijančio plieno.

Aplinkosauginiu vertinimu nustatytas reikšmingas aplinkos apsaugos aspektas: santykinai didelis gamybos metu susidarančių metalo atliekų kiekis, siekiantis 30 % (apie 818 t/m., iš kurių apie 808 t/m. yra plieno atliekos). Detaliau įvertinus procesus nustatyta, kad didelė metalo atliekų dalis susidaro pjaunant lazeriu (0,587t/ t produkcijos). Išteklių kritiškumo įvertinimas parodė, kad 2013 m. didžiausia geostrateginė tiekimo rizika bei ekonominė svarba buvo susijusi su plieno naudojimu (SR=4,45; EI=30,58).

Pasiūlytos trys techniškai įgyvendinamos alternatyvos:

1. Automatizuotas lazerinis pjovimas. Dėl tikslesnio pjūvio metalo atliekų kiekis sumažėtų apie 40 %, pjauti reikalingų dujų kiekis sumažėtų 50%, elektros energijos – 10 %, aušinimo vandens – 12 %.
2. Pjovimas aukšto slėgio vandens srove. Dėl tikslesnio pjūvio metalo atliekų kiekis sumažėtų 55 %, nereikalingos pjovimo dujos, nesusidarytų išlakos į aplinkos orą, tačiau padidėtų elektros energijos suvartojimas.
3. Vietinių antrinių žaliavų dalies didinimas iki 90 %. Sumažėtų netiesioginis poveikis aplinkai, susijęs su pirminių žaliavų gamyba bei transportavimu.

Alternatyvai nr. 1 įgyvendinti reikalingos investicijos siekia apie 317 tūkst. EUR, per metus sutaupoma 298 tūkst. EUR, atsipirkimo laikas – 1,1 metų. Alternatyvai nr. 2 įgyvendinti reikia apie 450 tūkst. EUR investicijų, per metus

sutaupoma 548 tūkst. EUR, atsipirkimo laikas – 0,8 metų. Įdiegus alternatyvą nr. 3 per metus būtų sutaupyta apie 44 tūkst. EUR, priimta prielaida, kad reikšmingos investicijos yra nereikalingos.

Analizuojamos įmonės alternatyvų poveikio išteklių kritiškumui vertinimo rezultatai pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. Analizuojamos metalo apdirbimo įmonės švaresnės gamybos ir pramoninės simbiozės alternatyvų poveikis geostroteginės tiekimo rizikos bei ekonominės svarbos rodikliams

	Reikšmė	Padidėjimas (+) / sumažėjimas(-), palyginti su esama situacija					
		Esama situacija	1 a.	2 a.	3 a.	1 a.	2 a.
SR _{aliuminis}	1,98	1,98	1,98	0,01	0	0	-1,97
SR _{plienas}	4,45	4,45	4,45	0,04	0	0	-4,41
EL _{aliuminis}	9,81	8,34	7,83	7,85	-1,47	-1,98	-1,96
EL _{plienas}	23,40	19,90	18,72	18,72	-3,50	-4,68	-4,68

Vertinimas parodė, kad alternatyvų nr. 1 ir nr. 2 įdiegimas neturėtų įtakos geostroteginės tiekimo rizikos rodikliui, kadangi nebūtų pokyčių šių žaliavų tiekimo grandinėje. Alternatyvos nr. 3 įdiegimas leistų 99,5 % sumažinti aliuminio bei 99,1% plieno tiekimo riziką.

Po daugiakriterio įvertinimo nustatytas alternatyvų eiliškumas pagal vienuolika kriterijų (5 lentelė).

5 lentelė. Normalizuotos kriterijų reikšmės ir svertiniai koeficientai, alternatyvų palyginimo rezultatai

Alt.	Kriterijai											Rezultatai	
	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C21	C22	C23	C31	SAW	Eil. nr.
1	0,18	0,12	1	1	0,50	0,75	0,35	0,77	0,50	0,75	0	0,41	3
2	1	0,12	0	0,65	1	1	1	1	0,33	1	0	0,49	2
3	0	1	0,55	0	0	0	0	0,62	1	0,99	1	0,70	1
Sv. koef.	1/21	1/21	1/21	1/21	1/21	1/21	1/21	1/9	1/9	1/9	1/3		

Alternatyva nr. 3 buvo įvertinta kaip palankiausia pagal visus analizuotus kriterijus, antroje vietoje – nr. 2, trečioje – nr. 1. Svertinių koeficientų parinkimo jautrumo analizė parodė, kad sumažinus geostroteginės tiekimo rizikos rodiklio svartinį koeficientą iki 0,1, palankiausiai būtų įvertinta alternatyva nr. 2. Jei būtų vertinami tik kritiškumo rodikliai, palankiausia būtų alternatyva nr. 3, jei šie rodikliai nebūtų vertinami – nr. 2.

IŠVADOS

1. Išanalizavus literatūrą, susijusią su kritiškumo vertinimu ir jo mažinimu, nustatyta, kad dėl apibrėžimų, įvertinimo metodikų ir jų rezultatų įvairovės bei to, kad tyrimuose nepakankamai atsižvelgiama į pramonės įmonių poreikius, neišku, kaip turėtų būti atsižvelgiama į išteklių kritiškumą įmonėms. Dėl šios priežasties pramonės įmonės neišnaudoja galimybės taikyti tinkamas priemones bei taip mažinti riziką, susijusią su išteklių tiekimu.

2. Literatūros analizė parodė, kad išteklių kritiškumo vertinimo bei mažinimo tyrimuose į aplinkosauginius aspektus atsižvelgiama dviem būdais. Viena vertus, aplinkosauginiai aspektai turi įtakos gamtinių išteklių prieinamumui, antra vertus, išteklių naudojimo efektyvumo didinimas pripažįstamas kaip veiksminga strategija kritiškumui mažinti. Nors pramonės įmonės yra svarbios, diegiant išteklių naudojimo efektyvumą didinančias priemones, šiuo metu praktiškai taikomi sprendimų priėmimo paramos metodai bei modeliai neintegruoja kritiškumo vertinimo.

3. Priklausomybės nuo išteklių importo įvertinimas parodė, kad Lietuvos pramonė yra priklausoma nuo daugumos žaliavų importo. Be to, didelė dalis importuojama ne iš Europos Sąjungos valstybių. Išteklių kritiškumo įvertinimas atskleidė, kad nagrinėjamu laikotarpiu svarbiausios žaliavos Lietuvos ūkiui buvo gamtinės dujos, žaliavinė nafta, sierra bei kaustinė soda. Tyrimas parodė, kad nagrinėjamais metais sieros bei žaliavinės naftos naudojimo našumas sumažėjo. Jautriausios pramonės šakos, kuriose naudojami nustatyti kritiniai ištekliai, yra rafinuotų naftos produktų, cheminių medžiagų bei įvairių metalo gaminių gamyba.

4. Sudarytas integruotas sprendimų priėmimo paramos sistemos modelis leidžia pramonės įmonėms:

a) nustatyti reikšmingus aspektus, susijusius su išteklių naudojimu, atsižvelgiant į aplinkosauginį efektyvumą bei kritiškumo rodiklį. Šiam tikslui sudaryta pramonės įmonės išteklių kritiškumo įvertinimo metodika;

b) įvertinti išteklių naudojimo efektyvumo didinimo alternatyvas pagal aplinkosaugos veiksmingumą, ekonominį įvykdumą bei išteklių kritiškumą bei nustatyti prioritetus. Sudarytas modelis praplečia švaresnės gamybos metodikos taikymo galimybes. Išteklių kritiškumo įvertinimas leidžia visapusiškai atsižvelgti ir įvertinti išteklių prieinamumą konkrečioje įmonėje.

5. Sudarytas sprendimų priėmimo paramos sistemos modelis buvo pritaikytas dviejose nustatytų jautrių pramonės šakų įmonėse:

a) azoto trąšas gaminančioje įmonėje. Nustatytas reikšmingiausias aplinkosauginis ($EIm=2,46 \cdot 10^6 \text{ m}^3/10^3 \text{ t}$) bei išteklių kritiškumo aspektas

(SR=64,2; EI=76,68) – gamtinių dujų naudojimas. Alternatyva, kurioje siūloma panaudoti perteklinę šilumos energiją naujai ūkinei veiklai netoliese suplanuotoje pramoninėje zonoje, buvo įvertinta kaip labiausiai pageidautina. Įdiegus šią alternatyvą metinis gamtinių dujų suvartojimas sumažėtų 1874 tūkst. nm³;

b) metalo apdirbimo įmonėje. Nustatytas reikšmingas aplinkosauginis bei išteklių kritiškumo aspektas – santykinai didelis gamybos metu susidarančių metalo atliekų kiekis (EIm=0,428t/t). Alternatyva, kuria siūloma didinti perdirbtos žaliavos kiekį iki 90 %, įvertinta kaip tinkamiausia. Be mažesnio poveikio aplinkai, tai leistų sumažinti ir bendrą naudojamų metalų tiekimo rizikos rodiklį iki 99 %, ekonominės svarbos – iki 20 %;

c) jautrumo analizė parodė, kad, vertinant vien pagal kritiškumo rodiklius, galutinis alternatyvų įvertinimas skirtųsi nuo to, jei į juos nebūtų atsižvelgiama.

6. Sudarytas sprendimų priėmimo paramos sistemos modelis suteikia pramonės įmonėms priemonę, kuria galima sujungti išteklių naudojimo efektyvumą didinančias inovacijas bei kritiškumo mažinimą ir taip sumažinti įmonės veiklos poveikį aplinkai bei padidinti konkurencingumą. Sukurto modelio taikymas ypač reikšmingas įmonėms, vykdančioms veiklą valstybėse, neturinčiose gausių gamtinių išteklių ir todėl priklausomoms nuo jų importo. Pasiūlytas modelis leidžia palyginti išteklių naudojimo efektyvumą didinančias alternatyvas, ypač tas, kurias vertinant tik pagal švaresnės gamybos metodiką, būtų gauti panašūs alternatyvų įvertinimo rezultatai. Sukurtas integruotas modelis įvertina išteklių naudojimą plačiau ir gali tapti papildoma motyvacija įmonėms diegti pramoninės ekologijos inovacijas, pvz., pramoninę simbiozę.

LITERATŪRA

1. ALONSO, Elisa, GREGORY, Jeremy, FIELD, Frank and KIRCHAIN, Randolph. Policy Analysis Material Availability and the Supply Chain : Risks , Effects , and Responses. *Environmental Science & Technology*. 2007. Vol. 41, no. 19, p. 6649–6656.
2. HUMPHREYS, David. New mercantilism: A perspective on how politics is shaping world metal supply. *Resources Policy*. September 2013. Vol. 38, no. 3, p. 341–349. DOI 10.1016/j.resourpol.2013.05.003.
3. ASHBY, Michael F. Resource consumption and its drivers. In : *Materials and the Environment (Second Edition)*. Elsevier Inc., 2013. p. 15–48. ISBN 978-0-12-385971-6.
4. GLEICH, Benedikt, ACHZET, Benjamin, MAYER, Herbert and RATHGEBER, Andreas. An empirical approach to determine specific weights of driving factors for the price of commodities –A contribution to the measurement of the economic scarcity of minerals and metals. *Resources Policy*. September 2013. Vol. 38, p. 350–362. DOI 10.1016/j.resourpol.2013.03.011.
5. PECK, David, KANDACHAR, Prabhu and TEMPELMAN, Erik. Critical materials from a product design perspective. *Materials & Design*. January 2015. Vol. 65, p. 147–159. DOI 10.1016/j.matdes.2014.08.042.
6. CHAKHMOURADIAN, Anton R, SMITH, Martin P and KYNICKY, Jindrich. From “strategic” tungsten to “green” neodymium : A century of critical metals at a glance. *Ore Geology Reviews*. 2015. Vol. 64, p. 455–458. DOI 10.1016/j.oregeorev.2014.06.008.
7. EUROPOS KOMISIJA. *Efektyvaus išteklių naudojimo Europos planas COM (2011) 571*. 2011.
8. EUROPOS KOMISIJA. *Uždaro ciklo kūrimas. ES žiedinės ekonomikos veiksmų planas COM (2015) 614*. 2015.
9. SCHNEIDER, Laura, BERGER, Markus, SCHÜLER-HAINSCH, Eckhard, KNÖFEL, Sven, RUHLAND, Klaus, MOSIG, Jörg, BACH, Vanessa and FINKBEINER, Matthias. The economic resource scarcity potential (ESP) for evaluating resource use based on life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 8 March 2014. Vol. 19, no. 3, p. 601–610. DOI 10.1007/s11367-013-0666-1.

10. SONNEMANN, Guido, GEMECHU, Eskinder Demisse, ADIBI, Naeem, DE BRUILLE, Vincent and BULLE, Cécile. From a critical review to a conceptual framework for integrating the criticality of resources into Life Cycle Sustainability Assessment. *Journal of Cleaner Production*. February 2015. Vol. 94, p. 20–34. DOI 10.1016/j.jclepro.2015.01.082.
11. GRAEDEL, T. E. and NUSS, Philip. Employing Considerations of Criticality in Product Design. *Jom*. 2014. Vol. 66, no. 11, p. 2360–2366. DOI 10.1007/s11837-014-1188-4.
12. EUROPEAN COMMISSION. Study on Critical Raw Materials at EU level Final Report. 2014. No. December, p. 148–151.
13. KLIPOVA, Irina and STANISKIS, Jurgis Kazimieras. The evaluation of Cleaner Production performance in Lithuanian industries. *Journal of Cleaner Production*. January 2006. Vol. 14, no. 18, p. 1561–1575. DOI 10.1016/j.jclepro.2005.04.017.
14. KLIPOVA, Irina. *Procesų valdymas švaresnėje gamyboje: analizė, metodika ir diegimas*. Daktaro disertacija. . Kauno technologijos universitetas, 2002.
15. UNIDO. Cleaner Production (CP). [online]. 1991. [Accessed 13 October 2015]. Available from: [http://www.unido.org/en/what-we-do/environment/resource-efficient-and-low-carbon-industrial-production/cp/cleaner-production.html#pp1\[g1\]/0/](http://www.unido.org/en/what-we-do/environment/resource-efficient-and-low-carbon-industrial-production/cp/cleaner-production.html#pp1[g1]/0/)
16. GRAEDEL, T E, BARR, Rachel, CHANDLER, Chelsea, CHASE, Thomas, CHOI, Joanne, CHRISTOFFERSEN, Lee, FRIEDLANDER, Elizabeth, HENLY, Claire, JUN, Christine, NASSAR, Nedal T, SCHECHNER, Daniel, WARREN, Simon, YANG, Man-Yu and ZHU, Charles. Methodology of metal criticality determination. *Environmental science & technology*. 17 January 2012. Vol. 46, p. 1063–1070. DOI 10.1021/es203534z.
17. DUCLOS, S.J, OTTO, J.P and KONITZER, D. G. Design in an Era of Constrained Resources. *Mechanical Engineering*. 2010. Vol. 132, no. 9, p. 36–40.
18. ANGUS, A, CASADO, M. Rivas and FITZSIMONS, D. Exploring the usefulness of a simple linear regression model for understanding price movements of selected recycled materials in the UK. *Resources, Conservation and Recycling*. March 2012. Vol. 60, p. 10–19. DOI 10.1016/j.resconrec.2011.10.011.

19. QIN, X.S., HUANG, G.H., CHAKMA, A., NIE, X.H. and LIN, Q.G. A MCDM-based expert system for climate-change impact assessment and adaptation planning – A case study for the Georgia Basin, Canada. *Expert Systems with Applications*. April 2008. Vol. 34, no. 3, p. 2164–2179. DOI 10.1016/j.eswa.2007.02.024.

MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS

STRAIPSNIAI

Mokslinės informacijos instituto duomenų bazės „ISI Web of Science“ leidiniuose, turinčiuose citavimo indeksą

1. Kliopova, Irina; Baranauskaitė-Fedorova, Inga; **Malinauskienė, Milda**; Staniškis, Jurgis Kazimieras. Possibilities of increasing resource efficiency in nitrogen fertilizer production // Clean technologies and environmental policy. Berlin: Springer. ISSN 1618-954X. 2016, vol. 18, iss. 3, p. 901–914. [Science Citation Index Expanded (Web of Science); SpringerLINK; Inspec] [M.kr. 04T]. [Indėlis: 0,250]. [IF (E): 1,934 (2014)]

2. **Malinauskienė, Milda**; Kliopova, Irina; Slavickaitė, Milda; Staniškis, Jurgis Kazimieras. Integrating resource criticality assessment into evaluation of cleaner production possibilities for increasing resource efficiency // Clean technologies and environmental policy. Berlin: Springer. ISSN 1618-954X. 2016, vol. 00, p. [1–12]. [Science Citation Index Expanded (Web of Science); SpringerLINK; Inspec] [M.kr. 04T]. [Indėlis: 0,250]. [IF (E): 1,934 (2014)]

3. **Malinauskienė, Milda**; Kliopova, Irina; Hugi, Christoph; Staniškis, Jurgis K. Geostrategic supply risk and economic importance as drivers for implementation of cleaner production and industrial symbiosis measures in a nitrogen fertilizer production company // Journal of Industrial Ecology. NJ: Wiley-Blackwell. ISSN 1088-1980 [priduota].

Kitų tarptautinių duomenų bazių leidiniuose

1. **Knašytė, Milda**; Kliopova, Irina; Staniškis, Jurgis Kazimieras. Economic importance, environmental and supply risks on imported resources in Lithuanian industry // Environmental research, engineering and management = Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba. Kaunas: KTU. ISSN 1392–1649. 2012, nr. 2(60), p. 40–47. [CAB Abstracts; Current Abstracts; DOAJ; INSPEC; Pollution Abstracts; TOC Premier] [M.kr. 04T]. [Indėlis: 0,333]

Tarptautinių konferencijų medžiagoje:

1. Staniškis, Jurgis Kazimieras; Kliopova, Irina; **Malinauskienė, Milda**. Industrial ecology measures in nitrogen fertilizer production: reducing dependency on fossil fuel supply by increasing resource efficiency // Global cleaner production and consumption conference: accelerating the transition to equitable post fossil-carbon societies [elektroninis išteklius] : 1–4 November 2015, Barcelona, Spain, [S.l.]: [s.n.], 2015. p. [1–8].

INFORMACIJA APIE AUTORE

<i>Vardas, pavardė</i>	Milda Malinauskienė (Knašytė)
<i>Gimimo data</i>	1987 m. vasario 2 d.
<i>Išsilavinimas</i>	2005 m. baigė Vilniaus Jono Basanavičiaus vidurinę mokyklą. 2005–2009 m. studijavo Vilniaus Gedimino technikos universitete, Aplinkos inžinerijos fakultete, įgijo Aplinkos inžinerijos bakalauro laipsnį. 2009–2011 m. studijavo Kauno technologijos universitete, Aplinkos inžinerijos institute, įgijo Aplinkos inžinerijos magistro laipsnį. 2012–2016 m. doktorantūros studijos Kauno technologijos universitete, Aplinkos inžinerijos institute, Aplinkos inžinerijos (04T) kryptis. 2014 rugsėjo mėn. – 2015 vasario mėn. stažuotė Šiaurės vakarų Šveicarijos taikomųjų mokslų universitete, Šveicarijoje pagal programą „Sciex-NMS-Ch“.
<i>Kontaktai</i>	mildakn@gmail.com

SUMMARY

The increase in the number of scientific publications concerning the analysis and assessment of resource criticality and scarcity in recent years suggests that interest in a secure and sufficient supply of natural resources has been significantly raised. This is not surprising, since, even if the availability of resources has always been one of the key factors for any successful industrial activity, nowadays, the uncertain and politicized (1, 2) supply of resources, especially non-renewable, along with volatile prices (3–5) requires substantially more attention from the decision-makers.

The concept of resource criticality is in general relative (6) and, as a result, the studies in this field tend to apply a broad range of system boundaries, purposes, and methodologies. Actually, if all the elements from all countries and regions mentioned somewhere in this context were summarized, then most elements used for industrial purposes would be listed (5). Although resource availability is more often discussed in a regional, national, or even in a global context, the influence of uncertain supply is, first of all, observed at the local level, and this suggests that resource availability should be critical for every industrial company. On the other hand, companies are important economic players who are able to make decisions that are related not only to their activities but also influencing the general competitiveness of industry branches or regions.

Keeping in mind the rate at which resources are exploited in order to meet the growing needs of modern society and the associated environmental impact, the efficient use of resources has become a strategic economic development trend, which is clearly outlined through a number of European Union documents, primarily in the Roadmap to a Resource Efficient Europe (7), and the Communication Towards a Circular Economy (8) published by the European Commission. Here too, the industrial companies play a major role in the implementation of the resource efficiency measures. This calls for the bottom-up approach to increase resource efficiency and meanwhile mitigate resource criticality.

Therefore, the question is, whether and how the concept of resource criticality could be integrated into decision-making, for an improvement in resource efficiency. There have been few attempts in the scientific literature to integrate these concepts, of which the most promising is the integration into the LCSA framework (9, 10). However, the suggestions are currently on the conceptual level, and the authors agree that the operationalization of the site-specific assessment would encounter significant difficulties. Thus, in order to provide the possibility for industrial decision-makers to holistically address the risks related to the supply of resources, the concept should be integrated into a widely applied framework.

This doctoral thesis aims to address the identified research gap by integrating the resource criticality assessments into the cleaner production (CP) implementation procedures for the evaluation and prioritization of resource efficiency improvement options.

Aim and tasks of the research

The *aim of the research*- to develop a decision support system model for resource efficiency improvement in the companies integrating assessment of resource criticality.

Tasks:

1. Carry out analysis of already performed research on resource criticality assessment and mitigation, analyse how the environmental implications are addressed in the existing studies, and identify the main problems in the field;
2. Perform the analysis of decision-making support methods and models for resource efficiency improvement, and identify existing proposals to integrate criticality assessment into decision-making support for sustainability improvement in industry;
3. Perform the analysis of resource use in the Lithuanian economy, in terms of resource criticality and resource efficiency, and identify the most vulnerable branches of industry;
4. Develop an integrated decision support system model for the evaluation of resource efficiency alternatives that integrates resource criticality;
5. Apply the developed model to selected companies in identified vulnerable branches of industry.

Key thesis

Integrating resource criticality assessment in terms of geostrategic supply risk and economic importance into the common procedures for cleaner production implementation allows for the identification of significant aspects related to the use of natural resources from a point of view of an industrial company; and using criticality as an additional criterion for the assessment and prioritization of resource efficiency improvement alternatives.

Research object and methodology

The research *object* is- the manufacturing company.

The research covers the systematic literature review and quantitative statistical analysis. An economy-wide material flow analysis was performed. The software for the statistical analysis, PC-Axis, was used for the processing of statistical data. The Excel database for the calculation of criticality indicators was created.

The development of the decision-making support system model was based on the framework of the procedures for the cleaner production implementation. The developed model was tested by applying it to two production companies. Material flow analysis was performed, and the developed Excel database was used.

Scientific novelty

The main scientific novelty of this research is the developed multi-objective decision-making support system model, which for the first time integrates the evaluation of resource criticality, in terms of the geostrategic supply risk and economic importance, into the common procedures of resource efficiency implementation. The created model extends the scope of the cleaner production implementation procedures by supplementing it with the criticality evaluation for the identification of significant aspects, and for the assessment of resource efficiency improvement alternatives.

Furthermore, the research results contribute to the inclusion of an assessment of the environmental implications into the criticality evaluation from the entrepreneurial perspective.

Practical value

The developed decision support system model can be used in production companies as a tool for identifying and evaluating resource efficiency improvement options. It allows for the identification of geostrategic supply risks related to the used resources as well as vulnerability to these risks. Meanwhile, it offers a tool for supporting decision making for resource efficiency improvement by addressing resource criticality as additional criteria for the evaluation.

The developed model was tested in two producing companies corresponding to the different industry branches of the Lithuanian economy that are vulnerable to the availability of imported natural resources.

Structure and contents of the dissertation

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

The first chapter contains the systematic literature review in the fields of criticality assessment and decision-making support for resource efficiency improvement. The possibilities to integrate concepts corresponding to different fields of research are discussed and the research gaps are identified. The second chapter presents the research methodology. In the third chapter, the results of resource criticality assessment for the Lithuanian economy are presented. The fourth chapter provides the description of the developed decision support system model for resource efficiency improvement in the industrial companies. The fifth chapter presents the main results of the model application in the nitrogen

fertilizer production company and metal processing company. Finally, conclusions and recommendations are presented. .

CONCLUSIONS

1. The analysis of the relevant research in the field of resource criticality assessment and mitigation revealed that the heterogeneity of existing definitions, evaluation methodologies and their results, as well as a lack of focus on the analysis from the entrepreneurial perspective, lead to confusion on how the decision-makers in industry should address the issue of resource criticality. Thus, producing companies miss the opportunity to mitigate the risk related to the supply of resources by implementing relevant strategies.
2. The analysis of relevant research revealed that environmental aspects in the field of criticality assessment and mitigation are addressed from two perspectives. On one hand environmental implications can have an influence on the availability of natural resources, on the other hand resource efficiency improvement is acknowledged as an adequate strategy to mitigate resource criticality. Production companies play a major role in the implementation of resource efficiency improvement measures. However, state of the art decision-making support methods and models for resource efficiency improvement do not integrate criticality assessment and recently proposed concepts encounter major difficulties to provide information about the actual resource availability on the specific production site.
3. The assessment of dependence on imported resources revealed that the Lithuanian economy is dependent on the import of the majority of industrial raw materials, and a considerable part of them are imported from non-EU countries. The assessment of resource use disclosed that during the evaluated year natural gas, crude oil, sulphur, and caustic soda were the most important resources for the Lithuanian economy. The assessment of the efficient use of resources revealed that sulphur and crude oil were also associated with the decrease in resource productivity during the evaluated year. The evaluation of the end-uses of most critical resources revealed that the most vulnerable industry branches involve the production of refined petroleum products, chemical products and manufacturing of various metal products.
4. The developed integrated decision support system model enables industrial companies to:
 - a. Identify significant aspects related to the use of natural resources in terms of environmental performance and resource criticality. For this purpose, the methodology for resource criticality evaluation from a perspective of a production company was proposed;

- b. Assess and prioritize identified resource efficiency improvement alternatives in terms of environmental performance, economic feasibility and resource criticality. The created model extends the scope of the cleaner production assessment methodology by supplementing it with the criticality evaluation and thus allows industrial decision-makers to holistically address the issue of resource availability.
5. The developed decision-making support system model was applied in two companies corresponding to identified vulnerable industry branches:
 - a. A nitrogen fertilizer production company, where the use of natural gas was identified as the most significant aspect in terms of environmental performance ($EIm = 2.46 \cdot 10^6 \text{ m}^3/10^3 \text{ t}$) and resource criticality ($SR = 64.2$; $EI = 76.68$). The alternative that suggests to use waste heat for technological purposes in the surrounding industrial zone and thus enables the consumption of natural gas to be decreased by around 1874 nm^3 per year was identified as the most preferable.
 - b. A metal processing company, where metal waste from production processes was identified as the significant environmental aspect ($EIm = 0.428\text{t/t}$). The alternative that suggests to increase the content of locally recycled materials by 90% was identified as the most preferable. In addition to the decreased environmental impact, the SR would decrease by around 99%, the EI —by around 20%;
 - c. Sensitivity analysis showed that the final ranking of alternatives would be different in both cases comparing the variant when only criticality criteria are considered and the variant when criticality criteria are eliminated.
6. The developed decision support system model provides a tool for industrial companies to merge the benefits of resource efficiency innovations and criticality mitigation and thus decrease the environmental impact and increase overall competitiveness. The application of the developed model is especially relevant for the companies that operate in the countries or regions that are dependent on the imported resources. Also, it is a beneficial approach to compare and rank the resource efficiency alternatives, especially to prioritize alternatives that would provide similar results in terms of technical, environmental and economic aspects considered in the classic cleaner production assessments. Moreover, a broader perspective of the evaluation of resource use, provides additional motivation for the implementation of industrial ecology measures such as industrial symbiosis.

UDK 502.131.1+519.816](043.3)

SL344. 2016-08-19, 2,25 leidyb. apsk. 1. Tiražas 50 egz. Užsakymas 295.
Išleido Kauno technologijos universitetas, K. Donelaičio g. 73, 44249 Kaunas
Spausdino leidyklos „Technologija“ spaustuvė, Studentų g. 54, 51424 Kaunas