

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

Anna KUBULE

Doktora studiju programmas „Vides zinātne” doktorante

**JAUNAS METODES INDUSTRIĀLĀS SIMBIOZES
UN RŪPniecības ENERGOEFektivitātes
VIENOTAM NOVĒRTĒJUMAM**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskā vadītāja
Profesore *Dr. sc. ing.*
M. ROŠĀ

**RTU Izdevniecība
Rīga 2016**

Kubule A. Jaunas metodes industriālās simbiozes un rūpniecības energoefektivitātes vienotam novērtējumam. Promocijas darba kopsavilkums. – Rīga: RTU Izdevniecība, 2016. – 46 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta 2016. gada 6. maija lēmumu, protokols Nr. 64.

ISBN 978-9934-10-843-3

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA VIDES INŽENIERZINĀTNĒ IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora zinātniskā grāda Vides zinātnes nozares apakšnozarē „Vides inženierzinātne” iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2016. g. 25. augustā plkst. 14.00 Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Rīgā, Āzenes ielā 12/1, 115. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Dr. sc. ing. Ritvars Sudārs
Latvijas Lauksaimniecības universitāte

Dr. sc. ing. Elīna Dāce
Rīgas Tehniskā universitāte

Dr. sc. ing. Žaneta Stasiškienė
Kauņas Tehnoloģiju universitāte

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda Vides zinātnes nozares apakšnozarē „Vides inženierzinātne” iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Anna Kubule (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, satur ievadu, trīs nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 55 zīmējumus un ilustrācijas, 36 tabulas, četrus pielikumus, kopā 148 lappuses. Literatūras sarakstā ir 163 nosaukumi.

PATEICĪBAS

Jāatzīst, ka šī bija viena no vieglāk uzrakstāmajām promocijas darba sadaļām, taču arī viena no būtiskākajām. Bez tās iedvesmas, motivācijas, kritikas, dzīves gudrībām un ikdienas atbalsta, ko man snieguši zinātniskie vadītāji, kolēģi un man tuvie cilvēki, šis darbs nebūtu tapis tāds, kāds tas ir tagad, un es nebūtu tas cilvēks, kas esmu tagad.

Vēlos pateikties ikvienam, kurš man šo četru gadu laikā ir palīdzējis, bet īpaši man jāpateicas mana darba zinātniskajai vadītājai, profesorei Marikai Rošā, kuras pragmatisms ļāva piezemēt manu impulsivitāti un atrast īsto ceļu no idejām līdz to īstenošanai. Liels paldies Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta direktorei, profesorei Dagnijai Blumbergai par korektīvām darbībām manā plānā tieši tad, kad tās bija nepieciešamas.

Vārdos neizsākamu pateicību esmu parādā Līgai Žoglai par virzīšanu, motivēšanu un praktisko īstenošanu, par sarunām un neskaitāmo teoriju apspriešanu daudzo stundu garumā, ciemojoties dažādās Latvijas daļās, dažādos uzņēmumos, kā arī par priekšzīmīgu piemēru disertācijas sarakstīšanā un aizstāvēšanā.

Īpašs paldies Ilzei Burmistrei un Jeļenai Ziemelei par ikdienas uzmundrinājumu un līdzās būšanu, kā arī Tatjanai Kuzņecovai par spilgto dzīves redzējumu, ieteikumiem un daudzajām recenzijām.

Miļš paldies laboratorijas kolēģiem, kuri mani ievirzīja zinātnes jomā. Paldies Jānim Ikauniekam par ikdienas jokiem, kā arī tehnisko atbalstu elektroenerģijas monitoringa nodrošināšanā. Paldies Francesco Romagnoli par kafijas pauzēm ar idejām, par itāļu mierīgo dzīves redzējumu un manu dalību divos starptautiskos projektos, kas veicināja manu pasaules redzējumu. Paldies Leldei par sniegtajiem zinātniskajiem padomiem. Paldies Kristai par līdzāsarbošanos, sarunām un tehnisko palīdzību.

Paldies Zanei Galindomai par būšanu manā dzīvē un Ievai Gailītei par īstajiem vārdiem īstajā brīdī. Paldies Oskaram, manai mammai Agitai un mātai Aijai par to, ka man esat un atbalstāt. Paldies vecmāmiņai Intai par dzīves gudrībām un vectētiņam Laimonim par visiem āķīgajiem jautājumiem manu studiju laikā.

Šis promocijas darbs izstrādāts Nacionālās Pētījumu projekta „Ilgtspējīga klimata politika un inovatīvi, energoefektīvi tehnoloģiski risinājumi (LATENERGI)” ietvaros.



SATURS

IEVADS	6
Darba mērķis	7
Pētījuma metodika.....	7
Darba zinātniskā nozīme	9
Darba praktiskā nozīme.....	9
Darba aprobācija	9
Darba struktūra un apjoms	13
1. RESURSU EFEKTIVITĀTE RŪPNIECĪBĀ	14
2. RESURSU EFEKTIVITĀTES PASĀKUMI LATVIJAS RŪPNIECĪBĀ	15
2.1. Mazās alusdarītavas piemēra analīze	16
2.2. Rūpniecības sinerģiju noteikšana un novērtējums	20
2.2.1. Industriālās simbiozes kvalitatīvā novērtējuma metodes izstrāde	20
2.2.2. Piemēru analīze dažādās rūpniecības nozarēs	22
2.3. Vienotā novērtējuma metode	24
2.3.1. Vērtību ķēdes pieeja	24
2.3.2. Metodes lietojums: piemēra analīze	25
3. RESURSU EFEKTIVITĀTES ŠĶĒRŠĻI LATVIJAS RŪPNIECĪBĀ	27
3.1. Rūpniecības uzņēmumu aptaujas.....	28
3.2. Energoefektivitātes aptaujas rezultāti	29
3.2.1. Šķēršļu novērtējums	30
3.2.2. Aptaujas rezultātu matemātiskā modelēšana	32
3.3. Industriālās simbiozes aptaujas rezultāti	34
3.3.1. Šķēršļu novērtējums	35
3.3.2. Aptaujas rezultātu matemātiskā modelēšana	38
3.3.3. Šķēršļu pārvarēšanas mehānismu matemātiskā modelēšana	39
SECINĀJUMI	42
LITERATŪRAS SARAKSTS	45

IEVADS

Valsts labklājība un tautsaimniecības attīstība ir atkarīga no vairāku nozaru izaugsmes: ieguves un apstrādes rūpniecības, pakalpojumu, transporta sektora u.c. No otras puses, tautsaimniecības izaugsme ir atkarīga no resursu, enerģijas, atbilstošo tehnoloģiju un intelektuālā kapitāla pieejamības. Strauja tautsaimniecības izaugsme ievērojami palielina resursu patēriņu, enerģijas pieprasījumu un radīto atkritumu apjomu. Tas savukārt rada spiedienu uz ekosistēmām, veicina dabas resursu noplicināšanu, palielina atkritumu apglabāšanai nepieciešamās platības, palielina gaisa, ūdens un augsnes piesārņojumu un apdraud ilgtspējību.

Latvijas galvenais mērķis tautsaimniecības izaugsmes veicināšanai ir palielināt apstrādes rūpniecības īpatsvaru kopējā iekšzemes kopproduktā (IKP) līdz 20 % 2020. gadā (12,2 % īpatsvars 2014. gadā) [1, 2]. Šo mērķi sasniedzot, tiktu palielināts kopējais resursu un enerģijas patēriņš, kā arī pieaugtu radītais atkritumu apjoms. Lai nodrošinātu ilgtspējīgu attīstību, nepieciešams nodalīt jeb atsaistīt (angļu val. *decoupling*) ekonomiskās attīstības un resursu patēriņa tendences, t.i., uzlabot tautsaimniecības izaugsmi, vienlaicīgi nepalielinot resursu patēriņu un radīto ietekmi uz vidi.

Šo divu mainīgo lielumu atsaiste ir viens no būtiskākajiem izaicinājumiem arī starptautiskajā un Eiropas Savienības (ES) līmenī. Īpaši tāpēc, ka ES stratēģijās ir uzsvērts resursu izmantošanas efektivitātes un aprites ekonomikas ieviešanas nozīmīgums ilgtspējīgas ražošanas un patēriņa veicināšanai. Lai gan resursu efektivitāte ir viens no ES galvenajiem mērķiem, *Rohn* u.c. [3] norāda, ka joprojām trūkst zināšanas par resursu efektivitātes pasākumu īstenošanu un to efektivitāti. Raizes par rūpniecības nozares ilgtspēju stiprinājušas starptautisko zinātnisko izpēti par resursu un enerģijas efektivitāti rūpniecībā, kā arī izpēti par jauniem un efektīvākiem rūpniecības blakusproduktu izmantošanas veidiem. Tomēr resursu efektivitātes pasākumu īstenošana ir ļoti atkarīga no konkrētajiem apstākļiem. Tāpēc, lai nodrošinātu pāreju uz ilgtspējīgu, atsaistītu un resursu ziņā efektīvu tautsaimniecību, nepieciešams veikt izpēti un novērtējumu par vietējiem apstākļiem atbilstošiem resursu efektivitātes paaugstināšanas pasākumiem, ņemot vērā daudzpusīgus šo pasākumu ieviešanas aspektus (tehniskos, ekonomiskos, uzvedības un organizatorisko šķēršļu aspektus).

2015. gadā publicētā ES līmeņa pētījumā [4] norādīts, ka Latvijā tiek īstenoti tikai trīs no desmit analizētajiem resursu efektivitātes pasākumu veidiem (resursu efektivitātes finansējuma uzlabošana, resursu efektivitāte informācijas un konsultāciju nodrošināšana un ražotāja paplašinātā atbildība) un šie pasākumi ieviesti tikai ierobežotā skaitā. Tomēr Latvijā jau iepriekš pētīti dažādi resursu efektivitātes jautājumi. Dāce E. [5] novērtēja dažādu politikas mehānismu ietekmi uz primārā iepakojuma atkritumu pārstrādes veicināšanu mājsaimniecību sektorā. Pubule J. [6] pētīja tīrākas ražošanas principu ieviešanu atkritumu apsaimniekošanas sektorā. Ruģele K. [7] veica izpēti, lai identificētu konkrētus veidus piensaimniecības blakusproduktu atkārtotai izmantošanai. Pieejamās zinātniskās

literatūras izpēte liecina, ka neviens no iepriekš veiktajiem pētījumiem neietver rūpniecības blakusproduktu apmaiņu jeb industriālās simbiozes identificēšanu Latvijas uzņēmumos. Žogla L. [8] analizēja rūpniecības energoefektivitāti, precīzāk, pašreiz izmantoto energoefektivitātes indikatoru atbilstību un izveidoja jaunu līmeņatzīmes pieeju. Šī metode tika aprobēta teorētiskā, tehniskā un ekonomiskā energoefektivitātes potenciāla noteikšanai alus ražošanas nozarei.

Lai novērstu konstatēto zināšanu iztrūkumu un papildinātu pieejamo izpētes kopumu, šajā promocijas darbā plašāk pētītas divas resursu efektivitātes jomas – industriālā simbioze un energoefektivitāte rūpniecībā.

Darba mērķis

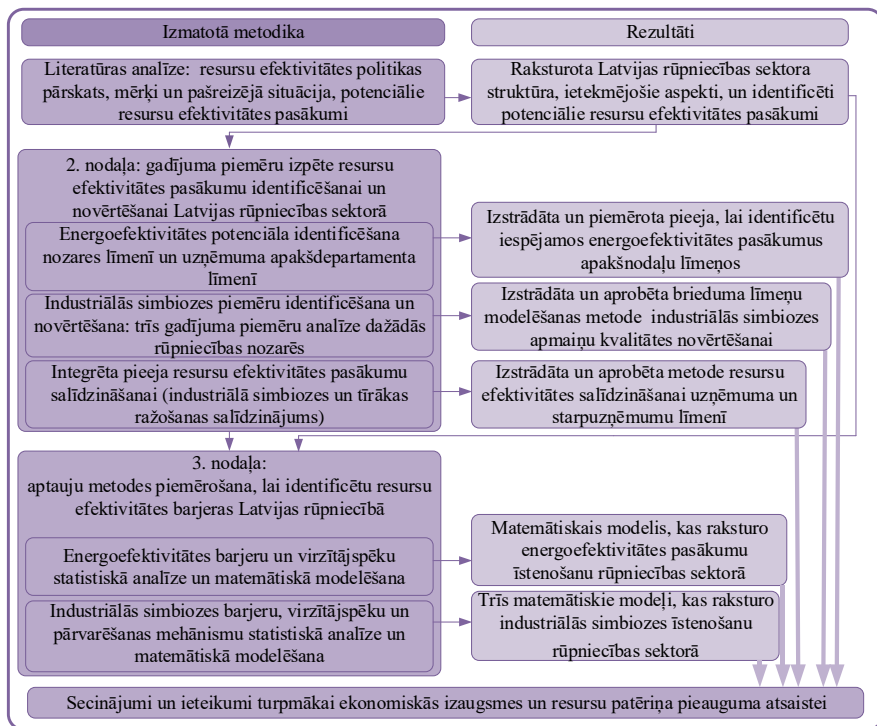
Promocijas darba mērķis ir papildināt un pilnveidot esošo pētniecības ietvaru, izstrādājot un aprobējot jaunas metodes resursu efektivitātes novērtēšanai rūpniecības sektorā. Promocijas darba praktiskais mērķis ir apkopot jaunu empīrisku informāciju par Latvijas rūpniecības uzņēmumos faktiski ieviestajiem resursu efektivitātes pasākumiem, to ietekmi un pastāvošajiem resursu efektivitātes šķēršļiem, kas turpmāk var tikt izmantoti resursu efektivitātes politikas plānošanā. Lai sasniegtu darba mērķi, tika izvirzīti šādi uzdevumi:

- izpētīt Latvijas un ES līmeņa stratēģijas un mērķus resursu efektivitātes, rūpniecības attīstības, atkritumu apsaimniekošanas jomās un novērtēt pašreizējo resursu efektivitātes stāvokli Latvijā;
- identificēt potenciālos resursu efektivitātes pasākumus, īpaši energoefektivitātes un industriālās simbiozes pasākumus un to radītos ietaupījumus;
- noteikt potenciālos energoefektivitātes pasākumus rūpniecības uzņēmumā, veicot enerģijas patēriņa analīzi uzņēmuma apakšstruktūru līmenī;
- noteikt, kādi industriālās simbiozes pasākumi jau ieviesti Latvijas rūpniecības uzņēmumos, un novērtēt to kvalitāti;
- identificēt resursu efektivitātes šķēršļus un virzītājspēkus Latvijas rūpniecības uzņēmumos, izmantojot statistisko analīzi un matemātisko modelēšanu, kā arī novērtēt savstarpējās sakarības starp resursu efektivitātes šķēršļiem, virzītājspēku un šķēršļu pārvarēšanas mehānismiem un resursu efektivitātes pasākumu ieviešanu.

Pētījuma metodika

Promocijas darbā izmantoto pētījuma metožu vispārīgā struktūra ir sniegta 1. attēlā. Promocijas darbā izmantotas kvalitatīvās un kvantitatīvās zinātniski pētnieciskās metodes: literatūras analīze, datu vākšana un analīze, eksperimentālo datu iegūšana, gadījumu izpēte, rūpniecības uzņēmumu pārstāvju aptaujas, datu statistiskā analīze un matemātiskā modelēšana.

Vispirms, lai novērtētu pašreizējo situāciju, veikta zinātniskās literatūras analīze, ES un nacionālo plānošanas dokumentu izpēte, Latvijai saistošo direktīvu un esošās likumdošanas analīze. Rūpniecības energoefektivitātes novērtējumam nepieciešamie dati tika iegūti tieši no rūpniecības uzņēmumiem, kā arī tika veikts salīdzinājums ar zinātniskajā literatūrā pieejamajām līmeņatzīmēm. Lai identificētu īstenotos industriālās simbiozes pasākumus un novērtētu to kvalitāti, darbā izmantota brieduma modelēšanas metode (angļu val. *maturity modelling*). Sākotnējā informācija pētījuma vajadzībām tika iegūta no 11 uzņēmumu piesārņojošās darbības atļaujām, kas papildināta un precizēta, sazinoties ar uzņēmumu pārstāvjiem un uzņēmumu apmeklējuma laikā. Lai identificētu resursu efektivitātes barjeras un virzītājspēkus Latvijas rūpniecības uzņēmumos, tika izmantota aptaujas metode. Pētījuma ietvaros tika veiktas 73 padziļinātas rūpniecības uzņēmumu pārstāvju aptaujas, to starpā gan ar uzņēmuma vadību, gan atbildīgajiem vides speciālistiem. Aptauju rezultātā iegūtie dati par šķēršļiem un virzītājspēkiem tika izvērtēti ne tikai kvalitatīvi, bet tie pirmo reizi ir raksturoti arī kvantitatīvi. Piemērotā statistiskā analīze un matemātiskā modelēšana apraksta sakarības starp dažādiem identificētajiem mainīgajiem un var tikt izmantota arī turpmāk citos līdzvērtīgos pētījumos.



1. att. Pētījumā izmantotās metodikas vispārīgs raksturojums.

Darba zinātniskā nozīme

Promocijas darbam ir augsta zinātniskā vērtība gan Latvijas, gan starptautiskā mērogā, jo šķēršļu pārvarēšanas mehānismu izpēte un modelēšana šobrīd ir starptautiskā mērogā aktuāla energoefektivitātes un resursu efektivitātes zinātniskās izpētes joma. Darba ietvaros ir izstrādātas un aprobētas trīs dažādiem mērķiem piemērojamas inovatīvas resursu efektivitātes novērtējuma metodes. Pirmā metode ir paredzēta industriālās simbiozes kvalitātes novērtējumam (brieduma modelēšanas metode), savukārt otrā metode ir izstrādāta, lai salīdzinātu industriālās simbiozes un tīrākas ražošanas pasākumus (kumulatīvās intensitātes novērtējums). Papildus darbā ir izveidota un aprobēta jauna metode energoefektivitātes un resursu efektivitātes šķēršļu analīzei. Šīs metodes ietvaros, lai iegūtu šķēršļus raksturojošos mainīgos, ir lietota faktoru analīze, bet, lai raksturotu sakarības starp resursu efektivitātes pasākumu ieviešanu, dažādiem konkrēto situāciju raksturojošiem mainīgajiem un uzņēmumam raksturīgajiem šķēršļiem ir izmantota matemātiskā modelēšana. Izveidotā metode ļauj modelēt arī šķēršļu pārvarēšanas mehānismus un sasaistīt tos ar uzņēmuma nākotnes nodomu ieviest resursu efektivitātes pasākumus.

Darba praktiskā nozīme

Promocijas darbam ir augsta praktiskā vērtība gan Latvijas, gan Eiropas mērogā. Promocijas darba rezultāti sniedz jaunu informāciju par reāliem resursu efektivitātes pasākumu piemēriem Latvijas rūpniecības uzņēmumos, tādējādi atspēkojot iepriekšējos pieņēmumus [4], ka industriālās simbiozes pasākumi Latvijā nav ieviesti. Turklāt darba ietvaros veiktā mazās alusdarītavas energoefektivitātes analīze aprobē padziļinātu un starptautiski nozīmīgu pieeju potenciālo energoefektivitātes pasākumu identificēšanai mazo un vidējo uzņēmumu (MVU) apakšstruktūru līmenī. Iegūtie rezultāti sniedz gan zinātnisku, gan praktisku pamatojumu enerģijas patēriņa monitoringa nozīmīgumam un nepieciešamībai rūpniecības uzņēmumos ieviest energopārvaldību. Pamatojoties uz 73 Latvijas apstrādes rūpniecības uzņēmumu pārstāvju intervijām, promocijas darbs sniedz jaunus rezultātus par energoefektivitātes un resursu efektivitātes šķēršļiem Latvijas rūpniecības uzņēmumos. Promocijas darba rezultāti var tikt tālāk izmantoti, lai veicinātu rūpniecības uzņēmumu informētību un motivāciju ieviest resursu efektivitātes pasākumus. Promocijas darba rezultāti var tikt izmantoti nacionālās un arī starptautiskās politikas pilnveidošanai un atbilstošu resursu efektivitātes veicināšanas mehānismu izvēlei rūpniecības sektorā.

Darba aprobācija

Darba rezultāti apspriesti un prezentēti zinātniskajās konferencēs un semināros.

1. Zinātniskajā konferencē „Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne: Latvijas Universitātes 74. zinātniskā konference” ar referātu „Bioresursu izmantošanas tehnoloģiju klimata adaptācijas aspekti” – 2016. gada 3. februāris, Rīga, Latvija.
2. Starptautiskajā zinātniskajā konferencē „Global Cleaner Production Conference” ar referātu „Barriers and bridges: establishing the pathway to industrial energy efficiency” – 2015. gada 1.–4. novembris, Sitges, Spānija.
3. Starptautiskajā zinātniskajā konferencē „CONNECT 2015” ar referātu „Resource and energy efficiency in small and medium breweries” – 2015. gada 14.–16. oktobris, Rīga, Latvija.
4. Starptautiskajā zinātniskajā konferencē „17th European Roundtable on Sustainable Consumption and Production” ar referātu „Efficient Use of Energy in Small Size Brewery” – 2014. gada 14.–16. oktobris, Portorož, Slovēnija.
5. Starptautiskajā zinātniskajā konferencē „CONNECT 2014” ar referātu „The Use of Performance Indicators for Analysis of Resource Efficiency Measures” – 2014. gada 14.–16. oktobris, Rīga, Latvija.
6. Starptautiskajā zinātniskajā konferencē „CONNECT 2014” ar referātu “Process Benchmark for Evaluation Energy Performance in Breweries” – 2014. gada 14.–16. oktobris, Rīga, Latvija.
7. Starptautiskajā zinātniskajā konferencē „Science – Future of Lithuania” ar referātu „Identification of industrial symbiosis flows in Valmiera region, Latvia” – 2014. gada 10. aprīlis, Viļņa, Lietuva.
8. Starptautiskajā zinātniskajā konferencē „Biosystems Engineering 2013” ar referātu „Availability of Herbaceous Resources for Production of Solid Biomass Fuels in Latvia” – 2013. gada 9.–10. maijs, Tartu, Igaunija.
9. Starptautiskajā zinātniskajā konferencē „17th International Scientific Conference “EcoBalt 2012”” ar referātu „Promoting the Development of Industrial Symbiosis in Latvia” – 2012. gada 18.–19. oktobris, Rīga, Latvija.
10. Starptautiskajā zinātniskajā konferencē „Riga Technical University 53rd International Scientific Conference: Dedicated to the 150th Anniversary and the 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnical Institute” ar referātu „The Development of Industrial Symbiosis Networks in Latvia” – 2012. gada 11.–12. oktobris, Rīga, Latvija.
11. Starptautiskajā zinātniskajā konferencē „9th International Conference of Young Scientists on Energy Issues (CYSENI 2012)” ar referātu „Advantages and Obstacles for the Development of Industrial Symbiosis in Latvia” – 2012. gada 24.–25. maijs, Kauņa, Lietuva.
12. Starptautiskajā zinātniskajā konferencē „Science – Future of Lithuania” ar referātu „The Modelling of Wood Material Flows in Order to Reduce Environmental Impact” – 2012. gada 12. aprīlis, Viļņa, Lietuva.
13. RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta rīkotā seminārā „Biotautsaimniecība. Dabas resursi un to izmantošanas iespējas” ar referātu „Bioresursu atlikumi. To apsaimniekošanas ideju krātuve” – 2016. gada 17. februāris, Rīga, Latvija.

14. SIA *Demarsch* EEZ projekta „Ilgtspējīgas vides politikas pārvaldības veicināšana MVU sektorā” ietvaros rīkotā seminārā „Vides politikas ieviešana MVU sektorā” ar referātu „Rūpniecības uzņēmumu sadarbība resursu efektīvai izmantošanai” – 2015. gada 24. septembris, Rīga, Latvija.
15. RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta rīkotā vasaras skolā „Ticket to the Future” ar referātu „How to consume less energy in industry” – 2015. gada 18. augusts, Rīga, Latvija.

Monogrāfijas

1. Blumberga, D., Barisa, A., Kubule, A., Kļaviņa, K., Lauka, D., Muižniece, I., Blumberga, A., Timma, L. *Biotehonomika. Mācību grāmata.* Rīga: RTU Izdevniecība, 2016, 338 lpp.
2. Blumberga, D., Gedrovičs, M., Kirsanovs, V., Timma, L., Kļaviņa, K., Kubule, A., Kļaviņš, J., Muižniece, I., Kauls, O., Barisa, A., Bāliņa, K., Lauka, D., Ziemele, J., Kārklīņa, I. *Laboratorijas darbu krājums vides inženierzinātņu studentiem. 3. daļa.* Rīga: RTU Izdevniecība, 2016. 92 lpp.
3. Blumberga, D., Veidenbergs, I., Valtere, S., Gedrovičs, M., Bažbauers, G., Blumberga, A., Žandeckis, A., Žogla, G., Kalniņš, S., Laicāne, I., Beloborodko, A., Kirsanovs, V., Timma, L., Muižniece, I., Kļaviņa, K., Lauka, D. *Laboratorijas darbu krājums vides inženierzinātņu studentiem. 2. daļa.* Rīga: RTU Izdevniecība, 2015. 118 lpp.
4. Blumberga, D., Veidenbergs, I., Gedrovičs, M., Žandeckis, A., Žogla, G., Kamenders, A., Kirsanovs, V., Beloborodko, A., Cīnis, A., Kļaviņa, K., Dzikēvičs, M. *Laboratorijas darbu krājums vides inženierzinātņu studentiem.* Rīga: RTU Izdevniecība, 2013. 101 lpp.

Zinātniskās publikācijas

1. Kubule, A., Zogla, L., Rosa, M. Resource and energy efficiency in small and medium breweries. *Energy Procedia*, 2016, In press.
2. Kubule, A., Zogla, L., Ikaunieks, J., Rosa, M. Highlights on energy efficiency improvements: a case of a small brewery. *Journal of Cleaner Production*, 2016, Available online 12 March 2016.
3. Rosa, M., Beloborodko, A. A decision support method for development of industrial synergies: Case studies of Latvian brewery and wood-processing industries. *Journal of Cleaner Production*, 2015, volume 105, pp. 461–470. Citēts 4 reizes.
4. Beloborodko, A., Rosa, M. The Use of Performance Indicators for Analysis of Resource Efficiency Measures. *Energy Procedia*, 2015, volume 72, pp. 337–344.

5. Zogla, L., Zogla, G., Beloborodko, A., Rosa, M. Process Benchmark for Evaluation Energy Performance in Breweries. *Energy Procedia*, 2015, volume 72, pp. 202–208. Citēts 3 reizes.
6. Beloborodko, A., Romagnoli, F., Rosa, M., Disanto, C., Salimbeni, R., Næss Karlsen, E., Reime, M., Schwab, T., Mortensen, J., Ibarra, M., Blumberga, D. SWOT Analysis Approach for Advancement of Waste-to-energy Cluster in Latvia. *Energy Procedia*, 2015, volume 72, pp. 163–169. Citēts 1 reizi.
7. Beloborodko, A., Rosa, M., Romagnoli, F., Blumberga, D. Overview of the waste-to-energy sector in Latvia: Driving forces for a cluster creation. *Agronomy Research*, 2014, volume 12 (3), pp. 979–988.
8. Žandekis, A., Romagnoli, F., Beloborodko, A., Kirsanovs, V., Blumberga, D., Menind, A., Hovi, M. Briquettes from Mixtures of Herbaceous Biomass and Wood: Biofuel Investigation and Combustion Tests. *Chemical Engineering Transactions*, 2014, volume 42, pp. 67–72. Citēts 4 reizes.
9. Podniece, I., Beloborodko, A., Vasarevicius, S., Rosa, M. Identification of industrial symbiosis flows in Valmiera region, Latvia. *Environmental Protection Engineering: Proceedings of the 17th Conference for Junior Researchers “Science – Future of Lithuania”*, Vilnius: Technika, 2014, pp. 135–141.
10. Beloborodko, A., Klavina, K., Romagnoli, F., Kenga, K., Rosa, M., Blumberga, D. Study on availability of herbaceous resources for production of solid biomass fuels in Latvia. *Agronomy Research*, 2013, volume 11 (2), pp. 283–294. Citēts 5 reizes.
11. Beloborodko, A., Timma, L., Žandekis, A., Romagnoli, F. The regression model for the evaluation of the quality parameters for pellets. *Agronomy Research*, 2012, volume 10 (SPEC. ISS. 1), pp. 17–24. Citēts 4 reizes.
12. Ozoliņa L., Rošā M., Beloborodko A., Paturaska A. Green investment scheme for Latvian industries. *Proceedings of eceee Industrial Summer Study*, 2012, pp. 123–128.
13. Beloborodko, A., Rošā, M., Ozoliņa, L. Advantages and Obstacles for the Development of Industrial Symbiosis in Latvia. *9th International Conference of Young Scientists on Energy Issues (CYSENI 2012): Conference Proceedings*, Kaunas: Lithuanian Energy Institute, 2012, pp. 279–288.
14. Beloborodko, A., Rošā, M., Blumberga, D. The Modelling of Wood Material Flows in Order to Reduce Environmental Impact. *Environmental Engineering: Proceedings of the 15th Conference of Junior Researchers “Science – Future of Lithuania”*, Vilnius: Technika, 2012, pp. 194.–200.
15. Beloborodko, A., Rošā, M. Promoting the Development of Industrial Symbiosis in Latvia. *17th International Scientific Conference “EcoBalt 2012”: Book of Abstracts*, Riga: University of Latvia Press, 2012, pp. 16.–16.
16. Beloborodko, A., Rošā, M. The Development of Industrial Symbiosis Networks in Latvia. *Riga Technical University 53rd International Scientific Conference: Dedicated to the 150th Anniversary and the 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnical Institute / RTU Alumni: Digest*, Riga: RTU, 2012, pp.175–175.

Darba struktūra un apjoms

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, satur ievadu, trīs nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 55 zīmējumus un ilustrācijas, 36 tabulas, četrus pielikumus, kopā 148 lappuses. Literatūras sarakstā ir 163 nosaukumi. Promocijas darba ievadā pamatota tēmas aktualitāte, noteikts darba mērķis, tā īstenošanai veiktie uzdevumi un izmantotās pētniecības metodes, aprakstīta pētījuma zinātniskā un praktiskā nozīme. Darba pirmajā nodaļā analizētas Latvijas un ES līmeņa stratēģijas un mērķi resursu efektivitātes un saistītajās jomās, kā arī novērtēts pašreizējais resursu efektivitātes stāvoklis Latvijā. Darba otrajā nodaļā ir aprakstīti promocijas darba izstrādes laikā veiktie empīriskie pētījumi par Latvijā ieviestajiem resursu efektivitātes pasākumiem. Darba trešajā nodaļā identificēti resursu efektivitātes šķēršļi un virzītājspēki Latvijas rūpniecības uzņēmumos un veikta to matemātiskā modelēšana. Promocijas darba noslēgumā apkopoti darba galvenie secinājumi, sniegts literatūras saraksts un pielikumi. Promocijas darba kopsavilkumā nav iekļauts literatūras apskats.

1. RESURSU EFEKTIVĪTĀTE RŪPNIECĪBĀ

Resursu efektivitāte kļūst par arvien izplatītāku ilgtspējas stratēģiju gan pasaules, gan ES, gan arī Latvijas mērogā. Resursu efektivitātes uzlabošana ir viens no galvenajiem ES attīstības mērķiem, kas iekļauti „Eiropa 2020” stratēģijā [9]. Rūpniecības sektors rada būtisku resursu un enerģijas patēriņu, tādēļ tas varētu sniegt nozīmīgu ieguldījumu ES mērķu sasniegšanā [10, 11].

Resursu efektivitāte aptver daudz dažādas tehnoloģijas, uzņēmējdarbības modeļus un uzvedības izmaiņas, kas balstās uz principu „saražot vairāk vai labāk, izmantojot mazāk” [12]. Resursu efektivitāte uzlabo resursu izmantošanas produktivitāti, palielina rūpnieciskās ražošanas kumulatīvo ekonomisko vērtību, samazina resursu izmantošanas ietekmi uz vidi, samazina neaizsargātību pret resursu pieejamības un cenu pārmaiņām, nodrošina izmaksu samazināšanu, radot uz produktivitāti balstītus ietaupījumus, un veicina siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanu [12].

Kā ES dalībvalsts Latvija ir apņēmusies pārņemt kopējās ES prasības un mērķus dažādās politikas jomās, tāpēc nacionālā politika balstās uz vietējo un ES līmeņa saistošo mērķu integrāciju. Šobrīd pārņemtās resursu efektivitātes prasības Latvijā attiecas uz energoefektivitāti, atjaunojamo energoresursu īpatsvara palielināšanu enerģijas ražošanā, prasībām drošai atkritumu apglabāšanai u.c. [1]

Nacionālais attīstības plāns [1] nosaka valsts vidēja termiņa attīstības prioritātes, mērķus un paredz virkni indikatoru progresa novērtēšanai (skat. 1.1. tabulu). Viens no būtiskākajiem mērķiem ir palielināt apstrādes rūpniecības ieguldījuma īpatsvaru kopējā iekšzemes kopproduktā līdz 20 % 2020. gadā. Lai arī pirmajos gados pēc ekonomiskās krīzes tika novērots šī indikatora vērtības pieaugums, kopš 2013. gada tas samazinās (2012. gadā – 13 %, 2013. gadā – 12,6 %, 2014. gadā – 12,2 % [2]).

1.1. tabula

Kvantitatīvie indikatori prioritārās jomas Latvijas tautsaimniecības izaugsmes veicināšanas novērtējumam [1]

Indikators	Pašreizējā vērtība 2014. gadā	Mērķa vērtība 2020. gadā**
Apstrādes rūpniecības ieguldījuma daļa IKP	12,2 %***	20 %
Preču un pakalpojumu eksports procentos no IKP	63 %*	70 %
Darbaspēka produktivitāte apstrādes rūpniecībā, pievienotā vērtība EUR uz vienu nodarbināto	16 759*	15 794
Ieguldījumi pētniecībā un attīstībā procentos no IKP	0,68 %***	1,5 %
Dabas resursu izmantošanas produktivitāte	512 EUR/tonnu*	600 EUR/tonnu

* [13]; ** [1]; *** [2]

Pieņemot, ka Latvija sasniedz plānoto rūpniecības pieaugumu, tas izraisītu arī būtisku kopējo resursu, enerģijas patēriņa un rūpniecisko atkritumu pieaugumu. Tādēļ, ja ekonomiskās attīstības pieauguma gadījumā netiks ieviesti papildinoši resursu efektivitātes uzlabošanas pasākumi un cirkulārās ekonomikas principi, tiks apdraudēta citu saistošo un indikatīvo mērķu sasniegšana (piemēram, atkritumu apsaimniekošanas jomā).

Lai novērtētu pašreizējo resursu efektivitātes situāciju Latvijā, valsts un rūpniecības nozares līmenī, tika analizēts resursu patēriņš un produktivitāte, radītā atkritumu apjoma dinamika un energoefektivitāte. Pēdējo divu desmitgažu laikā Latvijas resursu produktivitāte ir pieaugusi 1,7 reizes. Augstākais resursu produktivitātes līmenis (586 EUR par tonnu) tika sasniegts ekonomiskās krīzes laikā, norādot, ka šāda veida negatīvie apstākļi var veicināt resursu produktīvāku izmantošanu rūpniecībā un privātajā sektorā. Tomēr, analizējot jaunākos datus, redzams, ka sistēma ir atgriezusies iepriekšējā (pirms ekonomiskās krīzes) stāvoklī un resursu produktivitāte ir samazinājusies. Salīdzinājumā ar augstāko resursu produktivitātes līmeni 2009. gadā, 2014. gadā resursu produktivitāte bija par 12 % zemāka, lai gan IKP kopš 2010. gada pieaug.

Lai arī pēckrīzes periodā bija vērojams izteikts radīto atkritumu apjoma samazinājums, pieauguma tempu ātrā atjaunošanās norāda, ka atkritumu rašanās un IKP joprojām ir cieši saistīti. Lai izpildītu indikatīvo rūpniecisko atkritumu samazinājuma mērķi, īpaši plānotās tautsaimniecības izaugsmes gadījumā, nepieciešams nodrošināt radīto atkritumu apjoma un IKP pieauguma atsaisti.

Līdzīgi resursu produktivitātes izmaiņām arī enerģijas produktivitāte Latvijā kopš 1995. gada ir pamazām pieaugusi. Līdz ar strauju IKP samazināšanos krīzes laikā enerģijas produktivitāte ievērojami samazinājās, kas liecina par stingru saistību starp šiem mainīgajiem.

Kopumā pēckrīzes periodā vērojams, ka kopējais valsts enerģijas patēriņš ir diezgan stabils, kamēr IKP pieaug, tādējādi valsts enerģijas produktivitātes indikators uzlabojas. Taču rūpniecības enerģijas patēriņš kopš 2008. gada ir pieaudzis par 20 %, savukārt ražošanas nozares produkcijas vērtība un pievienotā vērtība ir palielinājusies par attiecīgi 7 % un 4,5 % [14], līdz ar to joprojām nepieciešams būtiski veicināt rūpniecības sektora enerģijas produktivitāti.

2. RESURSU EFEKTIVITĀTES PASĀKUMI LATVIJAS RŪPNIĒCĪBĀ

Lai gan zinātniskajā literatūrā tie ir retāk aprakstīti, Latvijas rūpniecības uzņēmumos ir ieviesti dažādi efektivitātes pasākumi, kā arī atbildīgas saimniekošanas principi. Ieviesto resursu efektivitātes pasākumu novērtēšana un salīdzinājums var sniegt atbalstu, plānojot turpmāku resursu efektivitātes uzlabošanu un veidojot nacionālo politiku. Lai apkopotu empīriskos datus un piemērus par rūpniecības uzņēmumos īstenotajiem resursu efektivitātes pasākumiem, šajā promocijas darba nodaļā tiek izmantota gadījuma piemēru izpētes metode. Gadījumu izpētes metode tiek plaši izmantota gan industriālās simbiozes [15, 16], gan

energoefektivitātes pētījumos [17, 18]. Identificēto pasākumu novērtēšanai un salīdzināšanai tiek izmantota arī regresijas analīze, brieduma modelēšanas metode un vērtību ķēdes pieeja.

Lai izvirzītu energoefektivitātes mērķus, vispirms nepieciešams novērtēt uzņēmuma vēsturisko enerģijas patēriņu un noteikt uzlabojumu iespējas. Uzņēmuma veiktspējas raksturošanai izmanto īpatnējā enerģijas patēriņa indikatoru [19]. Īpatnējo siltumenerģijas un elektroenerģijas patēriņu aprēķina, ikmēneša patēriņa datus attiecinot pret saražotās produkcijas apjomu (skat. vienādojumu (2.1)).

$$SEC_{i,t} = \frac{E_{i,y}}{Y_{i,y}} \quad (2.1)$$

kur

$SEC_{i,t}$ – īpatnējais enerģijas patēriņš uzņēmumā i gadā t ;

$E_{i,y}$ – enerģijas patēriņš uzņēmumā i gadā t ;

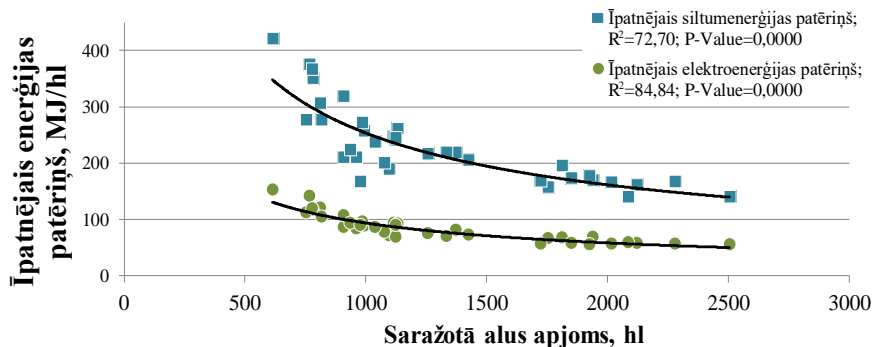
$Y_{i,y}$ – saražotās produkcijas apjoms uzņēmumā i gadā t .

Ozoliņas un Rošā [20] pētījums, kā arī promocijas darba ietvaros, padziļināti veiktā deviņu rūpniecības uzņēmumu empīrisko datu analīze norāda, ka atsevišķu Latvijas rūpniecības uzņēmumu enerģijas veiktspēja ir sliktāka, salīdzinot ar starptautiskajām līmeņatzīmēm. Lai izpētītu šīs situācijas cēloņus, veikta padziļināta mazās alusdarītavas piemēra analīze. Šī piemēra analīzes mērķis ir pilnveidot esošo MVU energoefektivitātes analīzes pieeju, padziļināti analizējot enerģijas patēriņu un energoefektivitāti dažādos uzņēmuma departamentos.

2.1. Mazās alusdarītavas piemēra analīze

Alusdarītavas izpēte tika uzsākta ar vēsturiskā enerģijas patēriņa datu analīzi, kas uzrādīja, ka uzņēmuma īpatnējais elektroenerģijas un siltumenerģijas patēriņš laikposmā no 2011. līdz 2013. gadam ir samazinājies. Šī samazinājuma iemesli ir jaunu un efektīvāku tehnoloģiju uzstādīšana (piemēram, efektīvāku dzesētāju uzstādīšana) un produkcijas apjoma pieaugums, kas radīja nozīmīgu enerģijas ietaupījumu. Īpatnējais siltumenerģijas un elektroenerģijas patēriņš pa mēnešiem atkarībā no saražotā alus apjoma atspoguļots 2.1. attēlā. Abu matemātisko modeļu P vērtība ir mazāka par 0,05, tādēļ starp enerģijas patēriņu un saražotās produkcijas apjomu ir vērojama statistiski nozīmīga sakarība (95,0 % ticamības līmenis).

Iegūtie rezultāti (skat. 2.1. attēlu) rāda arī ar alus ražošanas apjomu saistītos ietaupījumus, piemēram, vasaras sezonā, kad vērojams lielāks produkcijas pieprasījums, īpatnējais enerģijas patēriņš samazinās (uzņēmums darbojas efektīvāk). Taču ziemas mēnešos sakarā ar zemāku ražošanas jaudu un siltumenerģijas patēriņu apkurei (kurināmā uzskaites sistēmas dēļ apkures siltumenerģijas patēriņu nevar izdalīt no kopējiem datiem) īpatnējais enerģijas patēriņš pieaug.



2.1. att. Īpatnējais enerģijas patēriņš atkarībā no saražotā alus apjoma.

Analizētās alusdarītavas īpatnējais siltumenerģijas un elektroenerģijas patēriņš ir augsts, salīdzinot to ar labāko pieejamo tehnoloģiju pamatnostādņēs un citos jaunākajos pētījumos noteiktajām līmeņatzīmēm (skat. 2.1. tabulu). Īpatnējā enerģijas patēriņa atšķirību iemesli var būt, piemēram, labāku tehnoloģiju pieejamība, atšķirīgas ražošanas jaudas, atšķirības starp nepārtrauktas un pārtrauktas darbības alusdarītavām, kā arī produkcijas veidu atšķirības. Lai analizētu iemeslus, kādēļ alusdarītavas īpatnējais enerģijas patēriņš ir augstāks nekā citos piemēros, turpmākā izpēte vērsta uz divu alusdarītavu departamentu analīzi: (1) novērtējot siltumenerģijas patēriņa efektivitāti vārītavā (veicot siltuma zudumu aprēķinus) un (2) novērtējot pildīšanas departamenta elektroenerģijas patēriņu.

2.1. tabula

Īpatnējā enerģijas patēriņa salīdzinājums ar literatūrā pieejamām līmeņatzīmēm

	Īpatnējais siltumenerģijas patēriņš, MJ/hl	Īpatnējais elektroenerģijas patēriņš, MJ/hl
Liela alusdarītava [19]	85–120	37,8–43,2
Vidēja alusdarītava [21]	160–180	45–60
Vidēja alusdarītava [22]	43,6	-
Maza alusdarītava [22]	104,5	-
[23]	110	45,7
[24]	141*	
Analizētais piemērs (maza alusdarītava)	219–245	81–92

*dati par kopējo enerģijas patēriņu (siltumenerģija un elektroenerģija)

Siltumenerģijas zudumu aprēķins katram ražošanas posmam vārītavā tika veikts, pamatojoties uz metodi, ko izmantojuši *Sturm* u.c. [21]. Tika noteikti visu tvertņu izmēri (pieņemot, ka vārīšanas tvertnes ir cilindriskas formas), šķidruma uzpildes augstums aprēķināts, balstoties uz tvertnēs iepildīto izejmateriālu apjomu,

informāciju par katra ražošanas posma temperatūras režīmiem sniedza alusdarītavas pārstāvis. Kopējie vārītavas siltuma zudumi ir 22,22 MJ/hl un 93 % no šiem zudumiem rodas, ūdenim iztvaikojot misas vārīšanās laikā. Atsauces pētījumā [21] kopējie siltuma zudumi ir divreiz mazāki – 9,68 MJ/hl, galvenokārt zemāku iztvaikošanas siltuma zudumu dēļ. Šos siltumenerģijas zudumus varētu samazināt, uzstādot papildu siltummaini, lai atgūtu ūdens iztvaikošanas enerģiju un to izmantotu ūdens uzsildīšanai. Šādā veidā varētu atgūt līdz 21,5 MJ/hl saražotā alus, tostarp gan ūdens iztvaikošanas siltumu, gan papildus siltuma starpību starp akumulācijas tvertni un tvaiku. Tādējādi varētu samazināt arī nepieciešamo dabas gāzes patēriņu un izmaksas par 10 %. Ņemot vērā nepieciešamos ieguldījumus un dabasgāzes ietaupījumu, pasākuma atmaksāšanās laiks ir 1,1 gadi (līdzīgu atmaksāšanās laiku norādījuši arī *Sturm* u.c. [21]).

Lai noteiktu īpatnējo elektroenerģijas patēriņu alus pildīšanai dažādiem iepakojuma veidiem, tika veikts elektroenerģijas patēriņa monitorings. Mērījumi tika veikti piecos elektroenerģijas ievados, izmantojot *CTV-A* maiņstrāvas sensorus un *U12-006* četru kanālu datu logerus (skat. 2.2. attēlu). Monitoringa laikā visiem logeriem reģistrēšanas laiks tika iestatīts 5 minūtes. Vienlaicīgi ar elektroenerģijas patēriņu tika reģistrēts arī papildītā alus apjoms. Lai no izmērītajiem un reģistrētajiem datiem aprēķinātu iekārtu jaudu, tika izmantots vienādojums (2.2.)



2.2. att. Datu logeris un tā novietojums elektroenerģijas ievadā.

$$P = \sqrt{3} I_{\text{avg}} U_{\text{avg}} \cos\varphi \quad (2.2.)$$

kur

P – jauda, W;

I_{avg} – strāvas stipruma vidējā vērtība, A;

U_{avg} – sprieguma vidējā vērtība ievadā, V;

$\cos\varphi$ – jaudas faktors.

Iegūtie rezultāti atbilst citos literatūras avotos sniegtajiem secinājumiem – enerģijas patēriņš pildīšanai pudelēs var būt līdz pat trīs reizes lielāks nekā pildīšanai mucās [21]. Analizētajā piemērā vērojamas vēl lielākas atšķirības. Pildot metāla mucās, īpatnējais enerģijas patēriņš (3,72 kJ/l) ir daudz zemāks nekā pildot stikla

pildīšanas pudelēs (27 kJ/l) un plastmasas pudelēs (56,5 kJ/l). Pētītajā alusdarītavā īpatnējais enerģijas patēriņš uz vienu litru alus visiem pakošanas veidiem ir zemāks nekā atsauces pētījumā [21].

Iegūtie patēriņa grafiki norādīja, ka elektroenerģija pildīšanas iekārtās tiek patērēta arī laikā, kad nenotiek alus pildīšana. Tādēļ 2.2. tabulā norādītajos piecos mērījumu punktos iegūtie elektroenerģijas patēriņa dati apskatīti dažādu darbības režīmu griezumā (pildīšanas/apkopes/cits patēriņš). Pētījumā tika noteikts, ka stikla pudeļu pildīšanas iekārtas patēriņš palielinās, kad tiek veikta iekārtas apkope. Taču 15 % no stikla pudeļu etiķēšanas līnijas elektroenerģijas patēriņa tiek patērēts laikā, kad nenotiek ne ražošana, ne apkopes. Turklāt šis patēriņš tika reģistrēts kā ikdienas bāzes patēriņš 0,4–0,6 kWh. Pēc apspriešanās ar alusdarītavas pārstāvjiem tika konstatēts, ka šajā ievadā ir pieslēgts papildus enerģijas patērētājs – individuālais apgaismes ķermenis. Lai novērstu lieku elektroenerģijas patēriņu, alusdarītavas pārstāvjiem tika rekomendēts pārbaudīt, vai šis apgaismojums ir nepieciešams. Gan plastmasas pudeļu pildīšanas, gan pakošanas līnijā vērojams, ka vairāk nekā 10 % elektroenerģijas tiek patērēts periodos, kad nenotiek ražošana. Ņemot vērā, ka plastmasas pudeļu iepakojšanas iekārtai ir augstākais īpatnējais enerģijas patēriņš no apskatītajām pildīšanas līnijām, liekā patēriņu samazināšana varētu sniegt lielāko patēriņa samazinājumu.

2.2. tabula

Elektroenerģijas patēriņš pildīšanas departamentā

	Patēriņš pildīšanai, %	Patēriņš tīrīšanai vai labošanai, %	Cits patēriņš, %
Metāla mucu pildīšana	86,4	7,8	5,8
Stikla pudeļu pildīšana	84,8	11,8	3,4
Stikla pudeļu etiķēšana	85,1	-	14,9
Plastmasas pudeļu pildīšana	64,8	21,5	13,6
Plastmasas pudeļu pakojšana	42,1	46,2*	11,7

*patēriņš, lai iepakotu nefiltrēto alu, kas tiek pildīts manuāli

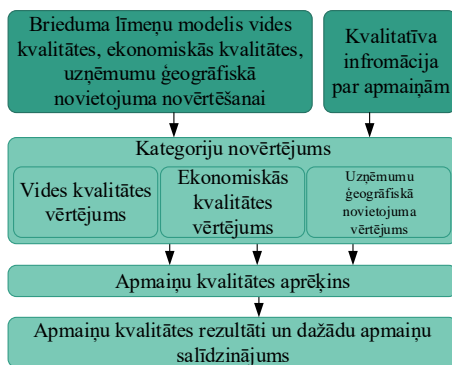
Pildīšanas departamenta enerģijas patēriņu varētu samazināt, uzlabojot enegopārvaldību un ražošanas plānošanu. Reizēm ilgāku dīkstāvju vai pusdienu pārtraukumu laikā iekārtas tiek atstātas gaidīšanas vai tukšgaitas režīmā, lai gan tām tāpat nepieciešams nozīmīgs enerģijas apjoms, lai nodrošinātu ātru darbības atsākšanu. Enerģijas patēriņa samazinājumu var arī panākt, mainot iekārtu operatoru paradumus, apmācot pamanīt nelietderīgu enerģijas patēriņu, nepieciešamību izslēgt liekās ierīces u.c. Taču, no otras puses, rezultāti liecina, ka pildīšanas departaments nav galvenais augstā enerģijas patēriņa iemesls, un turpmākai izpētei būtu padziļināti jāapzina citi elektroenerģijas patērētāji, piemēram, kompresori alus dzesēšanai.

2.2. Rūpniecības sinerģiju noteikšana un novērtējums

Lai izveidotu stratēģiju jaunu un kvalitatīvu rūpniecības sinerģiju veicināšanai, nepieciešams izvērtēt esošos sadarbību piemērus. Lai atrastu atbilstošo metodi identificēto rūpniecības sinerģiju novērtējumam, vispirms tika veikta zinātniskās literatūras analīze. Literatūras analīzes sniegtie secinājumi liecina, ka tikai daži zinātniskie pētījumi ņem vērā industriālās simbiozes ģeogrāfisko tuvumu un pētījumos galvenokārt tiek uzskaitīti tikai ekonomiskie un/vai vides aspekti, taču netiek skatīta šo aspektu savstarpējā saikne. Šīs promocijas darba nodaļas mērķis ir papildināt esošo zināšanu kopumu, izveidojot jaunu metodi rūpniecisko sinerģiju (industriālās simbiozes) kvalitātes novērtējumam.

2.2.1. Industriālās simbiozes kvalitatīvā novērtējuma metodes izstrāde

Nozīmīgs šķērslis rūpniecības sinerģiju salīdzinājumam, īpaši Latvijā, ir apstākļi, ka uzņēmumi nevēlas sniegt kvantitatīvu informāciju par īstenotajām sadarbībām. Uzņēmumu piesardzība saistīta gan ar konkurences apsvērumiem, gan ar to, ka dažos gadījumos datu uzskaitē uzņēmumos ir nepilnīga. Kvantitatīvo datu trūkums liedz apmaiņu novērtējumam izmantot plaši pieejamās kvantitatīvās analīzes metodes. Tādēļ šajā izpētē tiek izmantota kvalitatīvā novērtējuma pieeja. Izmantotā brieduma modelēšanas metode ietver rūpniecisko sadarbību raksturojošo datu sakārtošanu noteiktās kategorijās jeb brieduma līmeņos, kur katrs nākamais vērtēšanas līmenis raksturo apmaiņu kvalitātes jeb veikspējas pakāpenisku pieaugumu. Tādēļ katrs nākamais brieduma modeļa līmenis norāda uzlabojumus, kas nepieciešami, lai sasniegtu maksimālo brieduma modeļa līmeni [25]. Šajā promocijas darbā trīs galveno industriālās simbiozes pamatprincipu (uzņēmumu ģeogrāfiskā novietojuma, vides veikspējas un ekonomiskās veikspējas) novērtējumam tika izveidots piecu brieduma līmeņu modelis (skat. 2.3. tabulu). Metodes lietošanas algoritms parādīts 2.3. attēlā.



2.3. att. Apmaiņu kvalitātes novērtēšanas algoritms.

Industriālo sinerģiju kvalitātes novērtējuma skala

Vērtējums	1. līmenis	2. līmenis	3. līmenis	4. līmenis	5. līmenis
	Sadarbību nav	Sākotnējie centieni	Aktīva sadarbība	Sadarbību veicināšana	Nākotnes veidošana
	1 punkts	2 punkti	3 punkti	4 punkti	5 punkti
Uzņēmumu ģeogrāfiskais novietojums	Apmaiņas attālums >100 km	30–100 km	3–30 km	1–3 km	<1 km
Vides kvalitāte	Materiāli Atkritumu apsaimniekošana (apglabāšana)	Enerģijas atgūšana	Materiālu atgūšana	Izmantošana par izejmateriālu (nepieciešama papildus apstrāde) vai otrreizējo materiālu	Tieša izmantošana par izejmateriālu (nav nepieciešama papildus apstrāde)
	Ūdens Notekūdeņu attīrīšana, novadīšana kanalizācijā	Ūdens izmantošana skalošanai, mazgāšana, bet ne tieši produkcijas ražošanā	Enerģijas atgūšana no tehniskā ūdens	Ūdens atkārtota izmantošana ražošanas sekundārajos procesos	Ūdens atkārtota izmantošana ražošanas procesā
	Enerģija Enerģijas izkliede apkārtējā vidē	Liekās enerģijas izmantošana pēc potenciāla paaugstināšanas	Liekās enerģijas izmantošana, novēršot tās izkliedi atmosfērā	Efektīva liekās enerģijas atkārtota izmantošana, pielāgojot citus ražošanas procesus atgūtās enerģijas izmantošanai un nodrošinot kaskādēšanu	Efektīva liekās enerģijas atkārtota izmantošana, ņemto vērā tās maksimālo potenciālu un nodrošinot kaskādēšanu
Ekonomiskā kvalitāte	Apmaiņu izmaksas vai ieguvumi Uzņēmums maksā par to, kā par atkritumu apsaimniekošanu	Apmaiņas nerada ne ienākumus, ne izdevumus	Apmaiņa rada simboliskus ienākumus vai simbolisku izdevumu samazinājumu	Apmaiņa rada mērenus ienākumus vai izdevumu samazinājumu	Apmaiņa rada nozīmīgus ienākumus

Katras kategorijas vērtējuma diapazons ir no 1 līdz 5 punktiem, kur viens punkts norāda zemāko vērtējumu un pieci punkti – augstāko. Lēmumu pieņēmēji var izmantot šo metodi, lai salīdzinātu vairākas esošas vai potenciālas rūpniecības sinerģijas, izvērtējot katru sinerģiju saskaņā ar brieduma līmeņu modeli un noteiktu apmaiņas kvalitāti atbilstoši vienādojumam (2.3.). Ņemot vērā, ka metodes

izmantošanai nav nepieciešami kvantitatīvi dati par apmaiņām, tā var tikt izmantota arī jaunu apmaiņu plānošanas posmā, lai noteiktu iespējami efektīvāko un ilgtspējīgāko blakusproduktu izmantošanas veidu.

$$EQ = GP + EnvPQ + EcoPQ \quad (2.3.)$$

kur

EQ – kopējais apmaiņas kvalitātes novērtējums;

GP – uzņēmumu ģeogrāfiskā novietojuma kategorijas novērtējums;

EnvPQ – vides veiktspējas kategorijas novērtējums;

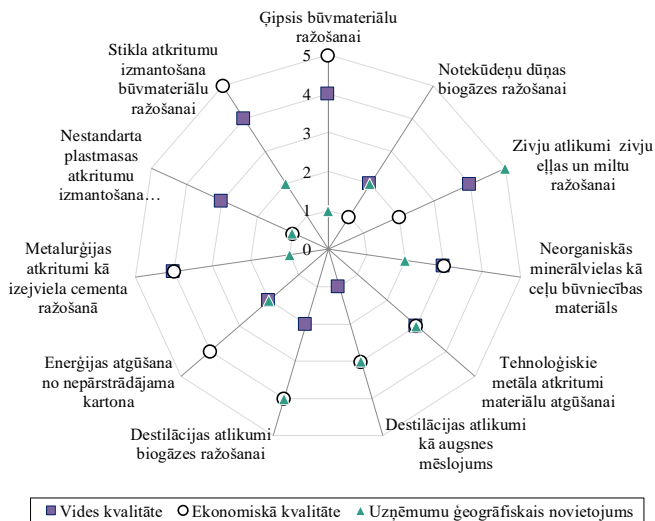
EcoPQ – ekonomiskās veiktspējas kategorijas novērtējums.

Lai izpētītu Latvijas uzņēmumu pašorganizēto blakusproduktu apmaiņu kvalitāti, tika analizēti trīs gadījuma piemēri: alus ražošanas, kokapstrādes un dažādās rūpniecības nozarēs (nemetālisko minerālu izstrādājumu, lopbarības un plastmasas ražošanas). Kvalitatīvajam novērtējumam tiek izmantota informācija par apmaiņu veidiem, blakusproduktu transportēšanas attālumiem, atkārtotās izmantošanas mērķiem un apmaiņu radītajiem ekonomiskajiem ienākumiem vai izmaksām.

2.2.2. Piemēru analīze dažādās rūpniecības nozarēs

Pamatojoties uz rūpniecības uzņēmumu aptaujā iegūto informāciju par uzņēmumos ieviestajiem industriālās simbiozes piemēriem, tika novērtēta šo pasākumu kvalitāte. Identificētās apmaiņas liecina, ka Latvijā tiek īstenotas ārvalstu labākajai pieredzei atbilstošas blakusproduktu apmaiņas (skat. 2.4. attēlu). Tika identificēti divi vispārīgi sinerģiju veicināšanas veidi: (1) sinerģijas veicina nepieciešamība apsaimniekot konkrētas nozares atkritumus un tas, ka pieejami kontakti ar atbilstošiem sadarbības partneriem, un (2) ražošanas blakusproduktu izmantošana ir saistīta ar ražošanas uzņēmuma pamatdarbību, piemēram, koksnes granululu ražošana, zivju eļļas un miltu ražošana, cementa ražošana.

Apmaiņu dažādības dēļ to novērtējums ir atšķirīgs (skat. 2.4 tabulu). Visaugstāk novērtēta stikla atlikumu atkārtota izmantošana būvmateriālu ražošanai un zivju pārstrādes blakusproduktu izmantošana lopbarības ražošanai. Zemākais vērtējums piešķirts notekūdeņu dūņu izmantošanai biogāzes ražošanai, jo šajā apmaiņā iesaistītie uzņēmumi atrodas tālu viens no otra. Apmaiņa rada papildu izmaksas par atkritumu apsaimniekošanu, un no vides viedokļa šī apmaiņa tiek vērtēta kā enerģijas atgūšana.



2.4. att. Dažādu nozaru blakusproduktu apmaiņu kvalitatīvais novērtējums.

2.4. tabula

Dažādu nozaru blakusproduktu apmaiņu kvalitatīvais novērtējums

	Gipsis būvmateriālu ražošanai	Notekūdeņu dūņas biogāzes ražošanai	Stikla atkritumu izmantošana būvmateriālu ražošanai	Zivju atlikumi zivju eļļas un miltu ražošanai	Neorganiskās minerālvielas kā ceļu būvniecības materiāls	Tehnoloģiskie metāla atkritumi materiālu atgūšanai	Destilācijas atlikumi kā augsnes mēslojums	Destilācijas atlikumi biogāzes ražošanai
Vides kvalitāte	4	2	4	4	3	3	1	2
Uzņēmumu ģeogrāfiskais novietojums	1	2	2	5	2	3	3	4
Ekonomiskā kvalitāte	5	1	5	2	3	3	3	4
Apmaiņas kvalitāte	10	5	11	11	8	9	7	10

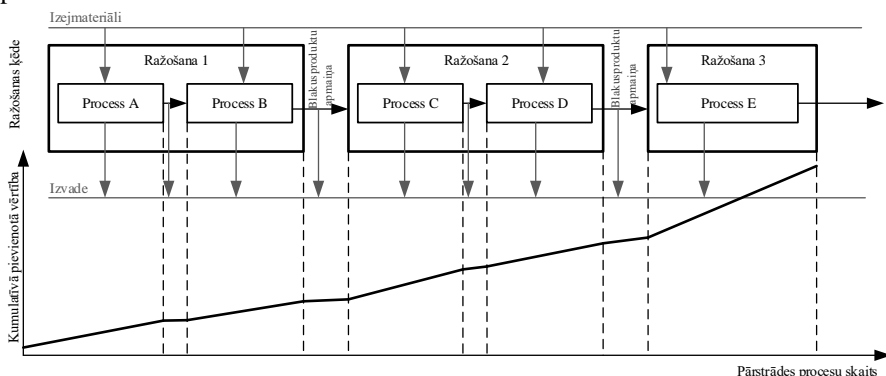
Apskatīto piemēru izpētes rezultāti liecina, ka tikai dažas no novērtētajām rūpniecības sinerģijām var saņemt augstu novērtējumu visās trīs novērtējuma kategorijās. Gadījumos, ja apmaiņām ir augstāks ekonomiskais izdevīgums, tām var būt zemāka vides kvalitāte vai tālāks uzņēmumu ģeogrāfiskais novietojums un otrādi. Var secināt, ka šīs trīs kategorijas – vides kvalitāte, ekonomiskā kvalitāte un uzņēmumu ģeogrāfiskais novietojums – rada trīskāršu ierobežojumu kvalitatīvu rūpniecības sinerģiju attīstībai. Tādēļ pirms sadarbību plānošanas būtu jāapsver katras kategorijas kvalitāte.

2.3. Vienotā novērtējuma metode

Lai arī tūrākas ražošanas un industriālās simbiozes pasākumi varētu papildināt viens otru, tie var arī traucēt. Piemēram, blakusproduktu apmaiņu radītā peļņa samazina uzņēmuma vēlni ieguldīt tūrākas ražošanas pasākumos, kas varētu uzlabot uzņēmuma resursu efektivitāti un tādējādi samazināt blakusproduktu apjomu [26]. Atšķirībā no viena uzņēmuma līmeņa industriālās simbiozes jeb starpuzņēmumu līmeņa sistēmu izpētei ir būtiski ierobežojumi. Sistēmas robežas ir plašākas, un tās iekļauj daudzus procesus ar vairākām izejvielām un produktiem. Tādēļ nav iespējams izmantot īpatnējos resursu patēriņa indikatorus, jo tos nevar salīdzināt caur dažādiem industriālās simbiozes vērtību ķēdes posmiem. Šo atšķirību dēļ ir sarežģīti salīdzināt dažādo uzlabojumu efektivitāti un izvēlieties optimālo stratēģiju. Lai izveidotu metodi uzņēmuma un starpuzņēmumu līmeņa resursu efektivitātes pasākumu salīdzināšanai, ir izveidots īpašs novērtējuma indikators.

2.3.1. Vērtību ķēdes pieeja

Hicks u.c. [27] uzsver, ka vairāki secīgi ražošanas procesi ietekmē produkta piegādes ķēdes katru posmu – palielinot tā vērtību vai radot zaudējumus. Tas ietekmē kopējo produkta kumulatīvo pievienoto vērtību. Līdzīgi *Hicks* u.c. [27] piedāvātajai pieejai industriālās simbiozes sistēma var tikt apskatīta kā virkne atsevišķu ražošanas posmu (savienoti caur blakusproduktu apmaiņām), kas ietekmē ražošanas ķēdes kumulatīvo pievienoto vērtību (skat. 2.5. attēlu). *Wen* un *Meng* [28] līdzīgā veidā izvērtē resursu produktivitāti trīs atsevišķiem ražošanas ķēdes posmiem.



2.5. att. Vispārīgs industriālās simbiozes veiktspējas novērtējuma modelis (adaptēts no *Hicks* u.c. [27]).

Balstoties uz šo līdzību starp viena uzņēmuma ražošanas procesu un vairāku uzņēmumu industriālo simbiozi, tiek piedāvāts izveidot kumulatīvo intensitātes

indikatoru. Izmantojot šādu indikatoru, ražošanas sistēmu salīdzinājums balstās uz dažādu ražošanas posmu ietekmes uz vidi attiecināšanu pret kumulatīvo pievienoto vērtību. Kumulatīvo pievienoto vērtību veido visos šajos ražošanas posmos radīto produktu un blakusproduktu vērtība.

Vispārīgais kumulatīvais intensitātes indikators ir parādīts vienādojumā (2.4.). Šo vienādojumu var pielāgot, lai noteiktu dažādu vides aspektu kumulatīvo intensitāti. Piemēram, izejmateriālu patēriņa, ūdens vai enerģijas patēriņa, atkritumu, notekūdeņu vai emisiju radīšanas, blakusproduktu apmaiņu apjoma u.c.

$$CI_F = \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{AV_i} \quad (2.4.)$$

kur

CI_F – apskatītā faktora F kumulatīvā intensitāte;

F – apskatītā faktora F vērtība konkrētajā ražošanas posmā i ;

AV – ražošanas posmā i radītā pievienotā vērtība;

i – norāde uz konkrētu ražošanas posmu;

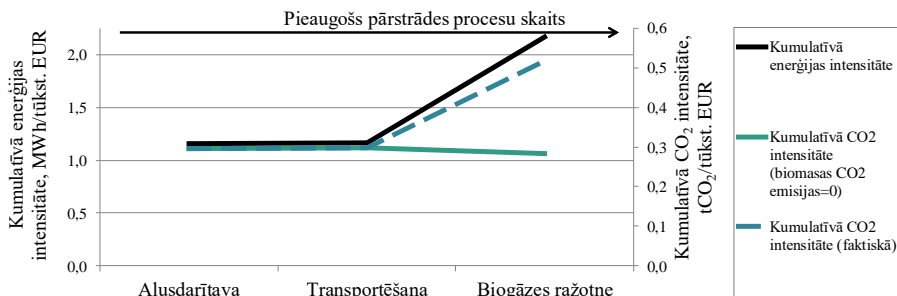
n – kopējais apskatīto ražošanas posmu skaits.

Atsevišķi iespējams novērtēt arī kopējā ražošanas procesa apakšprocesus, lai salīdzinātu konkrētus tīrākas ražošanas pasākumus ar citām alternatīvām.

2.3.2. Metodes lietojums: piemēra analīze

Piecu Latvijas alus darītavu apmeklējumu laikā rūpnīcu pārstāvji norādīja uz nepieciešamību pēc ekonomiski un ekoloģiski efektīvāka alus drabiņu atkārtotas izmantošanas veida. Lai parādītu izveidotā kumulatīvās intensitātes indikatora lietojumu, tika izveidoti divi alternatīvi drabiņu atkārtotas izmantošanas scenāriji. Pirmais scenārijs ietver apmaiņu starp alus darītavu un biogāzes ražotni (industriālā simbioze), kur drabiņas tiek izmantotas biogāzes ražošanai. Otrais scenārijs ietver žāvētāja uzstādīšanu alus darītavā, lai palielinātu drabiņu kvalitāti un tās varētu izmantot kā uztura bagātinātāju (tīrāka ražošana). Turpmāk tiks izvērtēti abu scenāriju enerģijas patēriņa aspekti. Kumulatīvās intensitātes indikators tiks noteikts diviem faktoriem: enerģijas patēriņam un CO₂ emisiju radīšanai. Scenāriju ievades dati ir balstīti uz alusdarītavu apmeklējumos iegūto informāciju. Izmantotā datu kopa atspoguļo vispārinātu piemēru un izmanto vienas no alusdarītavām trīs gadu vidējos datus par 2011.–2013. gadu.

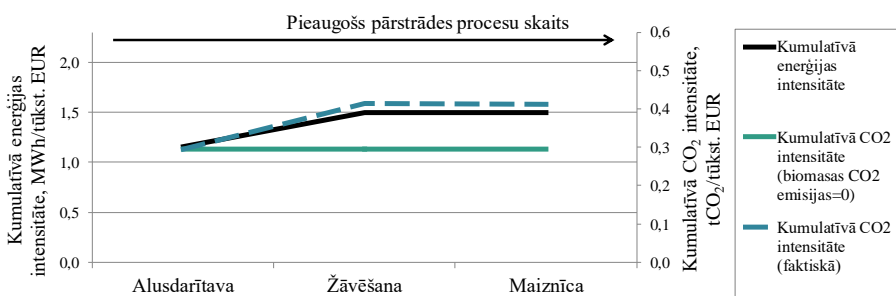
Pirmā scenārija rezultāti atspoguļoti 2.6. attēlā. Resursu intensitāte ir resursu produktivitātei apgriezti proporcionāls lielums. Atbilstoši *Kovanda* u.c. [29] secinājumiem resursu produktivitāte jāpalielina un resursu intensitāte jāsamazina.



2.6. att. Kumulatīvā intensitātes indikatora rezultāti pirmajam scenārijam.

Pirmā scenārija gadījumā gan kumulatīvā enerģijas patēriņa intensitāte, gan kumulatīvā CO₂ emisiju intensitāte pieaug visas ražošanas ķēdes garumā. Tas norāda, ka vēlāku vērtību ķēdes posmu pievienotā vērtība nepieaug tik strauji, kā pieaug enerģijas patēriņš un CO₂ emisijas. Iespējamais iemesls varētu būt atkārtota drabiņu izmantošana enerģijas ražošanai, kas nav ar augstu pievienoto vērtību. Kumulatīvās CO₂ intensitātes indikatoru var izmantot arī, lai norādītu uz atjaunojamo energoresursu izmantošanas priekšrocībām. Lai to ilustrētu, rezultāti attēloti, pieņemot gan reālās emisijas, gan „nulles CO₂ emisijas” biomasai.

Otrā scenārija rezultāti parādīti 2.7. attēlā. Abi kumulatīvās intensitātes indikatori uzrāda līdzīgu attīstību. Žāvēšanas procesa rezultātā indikators pieaug, taču zemāks enerģijas patēriņš maizes ceptuvē un augstāka saražoto cepumu pievienotā vērtība nodrošina minimālu indikatora kāpumu trešajā ražošanas ķēdes posmā. Ņemot vērā nulles CO₂ emisijas atjaunojamiem energoresursiem, kumulatīvā CO₂ intensitāte pirmajos divos ražošanas posmos paliek nemainīgā līmenī un maiznīcas etapā minimāli samazinās. Tā iemesls ir tas, ka žāvēšanas process atsevišķi vēl nerada pievienotās vērtības pieaugumu un maiznīcas etapā pievienotās vērtības pieaugums ir neliels.



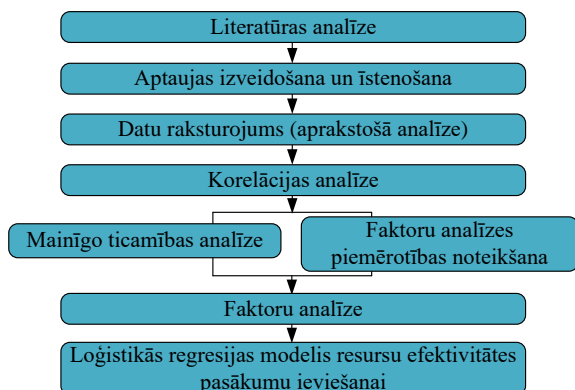
2.7. att. Kumulatīvā intensitātes indikatora rezultāti otrajam scenārijam.

Izveidotā metode ietver ražošanas veiktspējas indikatoru (parasti izmanto resursu patēriņa raksturošanai viena uzņēmuma līmenī) piemērošanu starpuuzņēmumu līmeņa industriālās simbiozes novērtējumam. Abu alternatīvo scenāriju rezultāti norāda atšķirīgu kumulatīvās intensitātes indikatora pieaugumu. Kopumā abi kumulatīvās intensitātes indikatori ir augstāki biogāzes alternatīvas gadījumā, kas norāda augstāku ietekmi uz vidi. Turpmāk būtu vēlams veikt padziļinātu cepumu ražošanas alternatīvas izpēti.

3. RESURSU EFEKTIVITĀTES ŠĶĒRŠĻI LATVIJAS RŪPNIECĪBĀ

Literatūras analīze par resursu efektivitātes potenciālu (skat. 1. nodaļu) un empīriskie pētījumi (skat. 2. nodaļu) liecina, ka rūpniecības sektorā var tikt īstenoti nozīmīgi resursu efektivitātes pasākumi. Tomēr pat racionāli balstītu efektivitātes pasākumu īstenošanu kavē dažādi netehniskie šķēršļi [30]. Lai pārvarētu šos šķēršļus, nepieciešams identificēt un analizēt esošos resursu efektivitātes šķēršļus un izpētīt šķēršļu pārvarēšanas vai mazināšanas mehānismus [31]. Līdz šim brīdim ir veikts tikai viens zinātniskais pētījums par energoefektivitātes pasākumu īstenošanas šķēršļiem Latvijā, t.i., Žogla [8] ir noteikusi energoefektivitātes šķēršļus piecās Latvijas alus darītavās. Taču līdz šim nav veikti zinātniskie pētījumi par rūpniecības simbiozes šķēršļiem Latvijas uzņēmumos.

Lai identificētu resursu efektivitātes šķēršļus Latvijas rūpniecības uzņēmumos, darbā ir izstrādāta integrēta metodika. Piemērotās metodikas algoritms ir parādīts 3.1. attēlā. Izstrādātā metodika tika apobēta uz diviem gadījumu piemēriem – energoefektivitātes pasākumu ieviešana un industriālās simbiozes īstenošana. Nepieciešamie dati tika apkopoti, veicot padziļinātas intervijas ar 73 rūpniecības uzņēmumu pārstāvjiem un atbildīgajiem lēmumu pieņēmējiem. Aptaujas anketās ietvertie jautājumi balstās uz padziļinātu literatūras analīzi par energoefektivitātes šķēršļiem, industriālās simbiozes šķēršļiem, šķēršļu klasifikāciju un šo šķēršļu pārvarēšanas mehānismiem. Katrā anketā ietverti gan vispārīgie jautājumi, kas raksturo situāciju uzņēmumā, gan specifiskie jautājumi par resursu efektivitātes šķēršļiem un virzītājspēkiem. Specifisko jautājumu novērtēšanai tiek izmantotas pāra skaitļa līmeņu Likerta skalas (1–6 un 1–4), kur zemākā vērtība atbilst „pilnīgi nepiekrītu” un augstākā – „pilnīgi piekrītu”. Likerta skalas izmantošana ļauj apkopot intervāla tipa datus jeb sakārtotus kvalitatīvus datus, kas var tikt izmantoti turpmākajā analīzē. Apkopoto datu apstrāde veikta, izmantojot statistisko analīzi, faktoru analīzi un loģistikās regresijas analīzi. Statistiskā analīze tika veikta, izmantojot statistiskās analīzes rīku *STATGRAPHICS Centurion XVI*.



3.1. att. Resursu efektivitātes šķēršļu analīzes metodikas algoritms.

Izstrādātās metodikas mērķis ir pārveidot kvalitatīvos šķēršļus raksturojošos datus, kas tiek iegūti aptauju laikā, par kvantitatīvajiem faktoriem, kas var tikt tālāk izmantoti matemātisko modeļu izstrādē. Izstrādātie matemātiskie modeļi ļauj novērtēt resursu efektivitātes šķēršļu un virzītājspēku savstarpējās sakarības, kā arī prognozēt, kuri uzņēmumi ir ieinteresēti resursu efektivitātes pasākumu īstenošanā. Pēc būtiskāko resursu efektivitātes šķēršļu un virzītājspēku identificēšanas tiek ieteikti un izvērtēti potenciālie šķēršļu pārvarēšanas mehānismi.

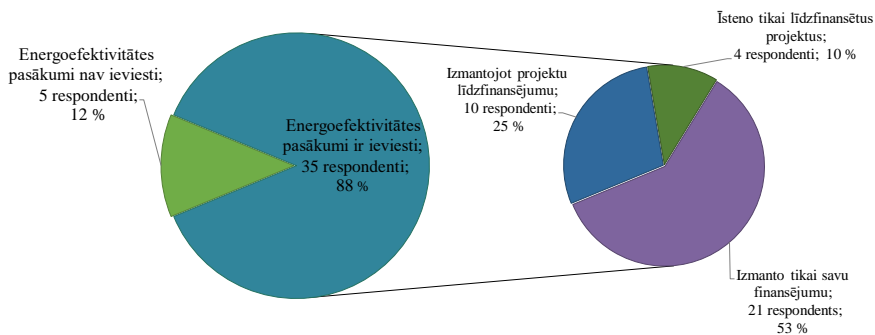
3.1. Rūpniecības uzņēmumu aptaujas

Pētījuma rezultāti ir balstīti uz datiem, kas iegūti divās rūpniecības uzņēmumu pārstāvju aptaujās. Katrai no aptaujām ir vairāki mērķi – apzināt Latvijas uzņēmumos faktiski īstenotos resursu efektivitātes pasākumus un noteikt resursu efektivitātes pasākumu šķēršļus un virzītājspēkus. Vēlamie aptauju respondenti ir gan uzņēmumu īpašnieki, gan vadītāji, gan vides speciālisti. Ņemot vērā, ka līdz šim Latvijā nav pieejami plaša mēroga pētījumi par resursu efektivitātes šķēršļiem, gadījuma izlases izmantošana ir ierobežota, jo analizējamā ģenerālkopa nav precīzi definēta un nav pieejams precīzs ģenerālkopas vienību saraksts. Tādēļ respondenti tika atlasīti, izmantojot mērķtiecīgu speciālo izlasi, jo vēlamajiem respondentiem jāatbilst noteiktiem kritērijiem (rūpniecības pārstāvji). Lai gan speciālās izlases izmantošana ir mazāk vēlama nekā gadījuma izlases izmantošana, noteiktos apstākļos tās izvēle var būt pieņemama [32]. Šajā pētījumā speciālās izlases metode izmantota, lai veicinātu vienkāršāku datu vākšanu. Speciālās izlases izmantošana ir izdevīga sākotnējās izpētes pētījuma veikšanai, lai labāk raksturotu ģenerālkopas vienības un lai tālākajos pētījumos būtu iespējams izvēlēties atbilstošu gadījuma izlases paraugu vākšanas metodi.

3.2. Energoefektivitātes aptaujas rezultāti

Energoefektivitātes aptaujas izlases lielums (n) ir 40 respondenti. Respondentu kontaktinformācija tika iegūta no publiskām datubāzēm, sazinoties ar sadarbības partneriem, kā arī no jau aptauju aizpildījušo uzņēmumu pārstāvju sniegtajiem citu uzņēmumu kontaktiem. Kopumā aptaujā piedalījās 25 uzņēmumu īpašnieki un 15 vadītāji. Energoefektivitātes pasākumi iepriekš īstenoti 88 % no analizētajiem uzņēmumiem (skat. 3.2. attēlu). Vairumā gadījumu īstenotie pasākumi tiek vērtēti pozitīvi. 25 uzņēmumos tika sasniegts gan enerģijas, gan izmaksu ietaupījums. Sešos uzņēmumos pasākumi izrādījušies daļēji apmierinoši – ir sasniegts enerģijas patēriņa samazinājums, taču projekta izmaksu efektivitāte nav bijusi cerētā. Tikai divu uzņēmumu pārstāvji norāda, ka energoefektivitātes pasākumu rezultātā netika sasniegts ne enerģijas, ne izmaksu ietaupījums.

Pēc aptaujāto uzņēmumu statusa 42,5 % respondentu pārstāv mazos uzņēmumus, 42,5 % – vidējos uzņēmumus un 15 % – lielos uzņēmumus. Lielākā daļa respondentu (40 %) pārstāv pārtikas produktu ražošanas apakšnozari, kurā tika aptaujāti gaļas pārstrādes, zivju pārstrādes, piena pārstrādes, maiznīcu, konfekšu ražotņu pārstāvji. Citi aptaujas respondenti pārstāv dzērienu ražošanas (10 %), apģērbu ražošanas (5 %), kokapstrādes (20 %), ķīmisko vielu (2,5 %), nemetālisko minerālu izstrādājumu (2,5 %), gatavo metālizstrādājumu (17,5 %) un iekārtu un mašīnu ražošanas (2,5 %) nozares.



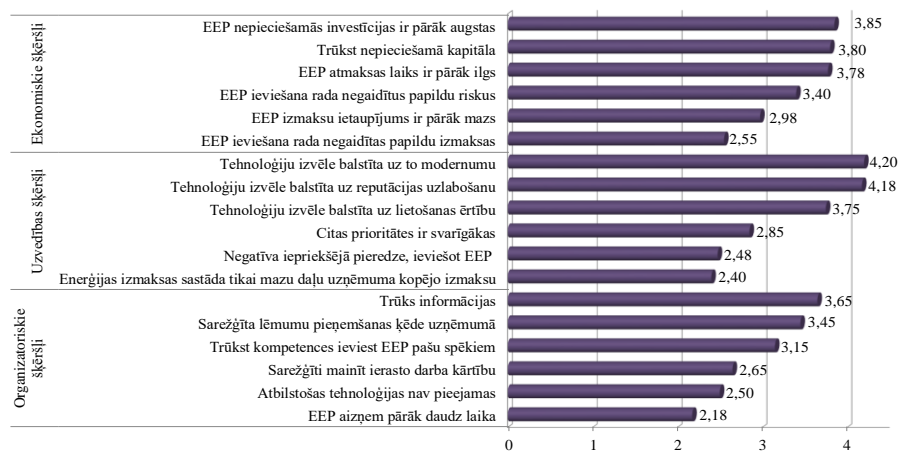
3.2. att. Energoefektivitātes pasākumu ieviešana un to finansējuma avots aptaujātajos uzņēmumos.

Kopumā 29 no aptaujātajiem uzņēmumiem (71 % no respondentiem) enerģijas izmaksas veido vairāk nekā 5 % no kopējām izmaksām. Ņemot vērā, ka 5 % enerģijas izmaksu daļa no kopējām izmaksām plaši tiek izmantota par energointensīvu un neintensīvu uzņēmumu robežšķirtni [33], lielākā daļa aptaujāto uzņēmumu jāattiecina pie energointensīviem uzņēmumiem.

3.2.1. Šķēršļu novērtējums

Identificēto šķēršļu un virzītājspēku novērtējums (ranžēšana) ir veikta, balstoties uz visu respondentu atbilžu vidējo aritmētisko vērtību. Analizējot aptaujas datus, energoefektivitātes šķēršļi tika sagrupēti atbilstoši to veidam: ekonomiskie, uzvedības vai organizatoriskie šķēršļi (skat. 3.3. attēlu). Aptaujātajos uzņēmumos būtiskākie šķēršļi ir:

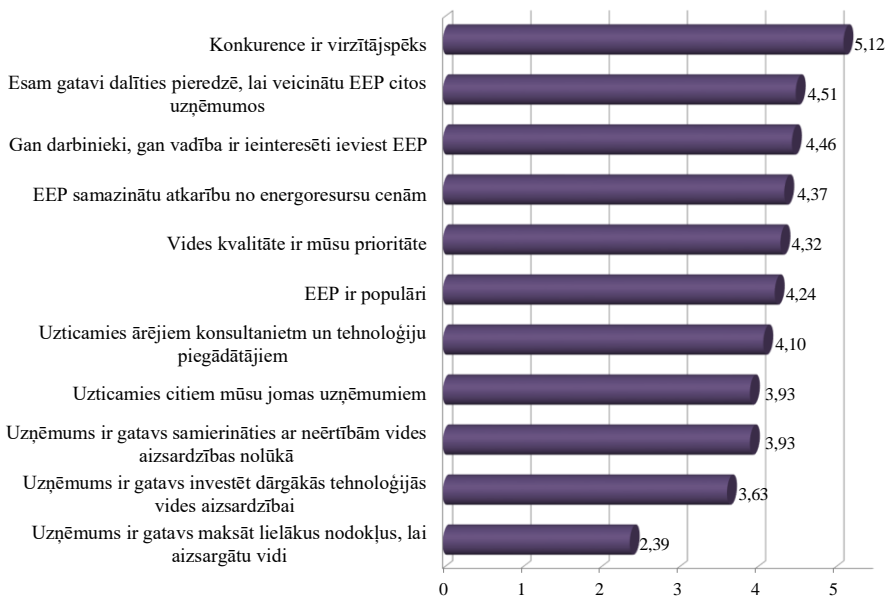
- iracionāli tehnoloģiju un pasākumu izvēles kritēriji (izvēlas pēc lietošanas ērtības, nevis energoefektivitātes);
- energoefektivitātes pasākumu ieviešanai nepieciešamās investīcijas ir pārāk lielas;
- uzņēmumi nespēj paši ieviest energoefektivitātes pasākumus (ir nepieciešams piesaistīt ārējos speciālistus un konsultantus);
- energoefektivitātes pasākumu šķietamais atmaksāšanās laiks ir pārāk ilgs;
- energoefektivitātes pasākumu ieviešana ir sarežģīta, jo jāiesaista dažādu nodaļu darbinieki.



3.3. att. Energoefektivitātes šķēršļu novērtējums.

Uzņēmumiem, kas iepriekš nav ieviešuši energoefektivitātes pasākumus, raksturīgi visi būtiskākie energoefektivitātes šķēršļi. Tikai viens no uzņēmumiem, kas iepriekš nav ieviešuši energoefektivitātes pasākumus, plāno tos ieviest tuvāko 2–3 gadu laikā. Tādēļ nepieciešami papildu mehānismi visu veidu energoefektivitātes šķēršļu pārvarēšanai uzņēmumos.

Galvenie virzītājspēki energoefektivitātes pasākumu ieviešanai ir uzņēmuma konkurētspējas nodrošināšana, vēlme dalīties ar savu pieredzi un motivēt citus uzņēmumus ieviest energoefektivitātes pasākumus, kā arī vispārīga vēlme veicināt energoefektivitāti (skat. 3.4. attēlu).



3.4. att. Energoefektivitātes virzītājspēku novērtējums.

Līdzīgi *Trianni* u.c. [34] izmantotajai pieejai, lai noteiktu sakarības starp energoefektivitātes šķēršļiem un virzītājspēkiem, tika izmantota korelācijas analīze. Analīzes rezultāti starp mainīgajiem noteica 28 savstarpējās sakarības ar korelācijas koeficientu, kas ir attiecīgi augstāks vai zemāks par $\pm 0,4$. Šīs sakarības norāda uz iespējamiem slēptiem aspektiem, kas nevar tikt identificēti, izmantojot tiešus aptaujas jautājumus. Lai izpētītu šos slēptos aspektus, tika veikta pētnieciskā faktoru analīze, izmantojot *varimax* rotāciju. Veicot faktorizāciju, iegūti pieci latentie mainīgie ar īpašvērtību virs 1 (katra faktora īpašvērtību skatīt 3.1 tabulā). Iegūtie faktori izskaidro 73,4 % no sākotnējo datu mainības. Atkarībā no katrā faktorā ietvertajiem būtiskākajiem mainīgajiem, šie faktori tika apzīmēti kā: ierastās uzvedības šķērslis, prioritāšu šķērslis, inerces šķērslis, organizatoriskais šķērslis un vides labklājības virzītājspēks. Uz empīriskiem datiem balstītā izpēte apstiprina energoefektivitātes šķēršļu un virzītājspēku savstarpējās sakarības un ļauj šīs sakarības raksturojošos kvalitatīvos datus izteikt kvantitatīvā formā. Visi pieci iegūtie faktori tiek turpmāk izmantoti matemātiskā modeļa izveidē.

Energoefektivitātes aptaujas datu pētnieciskās faktoru analīzes rezultāti

	Ierastās uzvedības skēris	Prioritātes skēris	Vides labklājības virzītājspēks	Organiza- tori skaits skēris	Inerces skēris
Sarežģīti mainīt ierasto darba kārtību	0,688	0,340	-0,325	0,205	-0,137
Tehnoloģiju izvēle balstīta uz lietošanas ērtību	0,671	-0,169	-0,241	0,282	0,219
EEP* ieviešana rada negaidītus papildu riskus	0,792	-0,057	0,208	0,042	0,278
EEP atmaksas laiks ir pārāk ilgs	0,696	0,258	-0,013	-0,041	0,128
EEP izmaksu ietaupījums ir pārāk mazs	0,478	0,568	-0,077	0,401	0,088
Enerģijas izmaksas sastāda tikai mazu daļu uzņēmuma kopējo izmaksu	0,089	0,901	-0,045	-0,030	0,167
Citas prioritātes ir svarīgākas	0,038	0,803	0,050	0,249	0,056
Uzņēmums ir gatavs maksāt lielākus nodokļus, lai aizsargātu vidi	0,116	-0,073	0,782	-0,082	0,040
Uzņēmums ir gatavs samierināties ar neērtībām vides aizsardzības nolūkā	-0,051	0,235	0,772	0,169	-0,248
Uzņēmums ir gatavs investēt dārgākās tehnoloģijās vides aizsardzības nolūkā	-0,351	-0,160	0,788	0,216	0,038
Sarežģīta lēmumu pieņemšanas ķēde uzņēmumā	0,049	0,346	0,191	0,798	0,037
Negatīva iepriekšējā pieredze, ieviešot EEP	0,159	0,019	0,032	0,835	0,184
(-1) · Konkurēnce ir virzītājspēks	0,244	0,291	-0,169	-0,031	0,812
EEP aizņem pārāk daudz laika	0,142	0,029	0,034	0,290	0,823
Īpašvērtība	4,11	2,40	1,62	1,17	1,11
KMO koeficients mainīgo kopai			0,61		
Kronbaha α mainīgo kopai			0,75		
Procentuāli izskaidrotā mainība			74,3 %		

*EEP – energoefektivitātes pasākumi

3.2.2. Aptaujas rezultātu matemātiskā modelēšana

Uzņēmuma energoefektivitātes pasākumu ieviešanas (vai neieviešanas) pieredze atkarīga no dažādu neatkarīgo mainīgo kopuma, kas raksturo vispārīgās uzņēmuma prioritātes un situāciju uzņēmumā, lēmumu pieņēmēju personiskos uzskatus, principus, pieņēmumus, informācijas pieejamību un atbilstību, kā arī citus tirgu raksturojošos faktorus. Lai raksturotu energoefektivitātes pasākumu ieviesējus un neieviesējus, tiek izmantota matemātiskā modelēšana. Atkarīgais mainīgais *Energoefektivitātes pasākumu īstenošana* tiek apzīmēts ar bināru formālo mainīgo (0 – „pasākumi nav ieviesti” un 1 – „pasākumi ir ieviesti”). Neatkarīgie mainīgie ir iepriekš iegūtie faktori (intervāla tipa dati) un uzņēmumu raksturojoši apstākļi (kategoriju tipa dati).

Matemātiskais modelis tika iegūts, izmantojot vispārējo loģistiskās regresijas vienādojumu (3.1.) un specifisko vienādojumu (3.2.), kas paredzēts mainīgā η_i aprēķināšanai. Tika izmantota pakāpeniska, atpakaļejoša mainīgo atlase. Iegūtais modelis izskaidro 65,4 % no sākotnējo datu mainības un 38,9 % no koriģētās mainības. Izskaidrotā koriģētā mainība atbilst tādai, kāda novērota citos šāda veida pētījumos [35]. Noviržu analizē noteikts, ka modeļa P vērtība ir 0,0002, kas ir mazāka par 0,05, līdz ar to starp izvēlētajiem mainīgajiem pastāv statistiski nozīmīga sakarība (95 % ticamības līmenis).

$$I = \frac{\exp(\eta_i)}{(1+\exp(\eta_i))} \quad (3.1.)$$

kur

I – atkarīgais mainīgais;

η_i – vienādojums, kas raksturo neatkarīgos mainīgos.

$$\eta_i = 21,6 - 1,3 \cdot \text{Prioritātes šķērslis} + \alpha \cdot \text{Energoadmits} + \beta \cdot \text{Respondenta loma} \quad (3.2.)$$

kur

Prioritātes šķērslis – skaitlisks mainīgais;

Energoadmits – kategoriju tipa mainīgais (koeficientu vērtības: $\alpha = 0$, ja energoadmits ir ieviests, pretējā gadījumā $\alpha = -19,6$);

Respondenta loma – kategoriju tipa mainīgais (koeficientu vērtības: $\beta = 0$, ja respondents ir uzņēmuma īpašnieks, pretējā gadījumā $\beta = 20,5$).

Iegūtais matemātiskais modelis ietver divus kategoriju tipa mainīgos no aptaujas vispārējo jautājumu sadaļas. Katrai no šo mainīgo iespējamajām vērtībām jāizvēlas atbilstošās α un β koeficientu vērtības. Mainīgais *Respondenta loma* ir binārs mainīgais, kas norāda, vai aptaujas respondents ir uzņēmuma īpašnieks vai vadītājs. Šis mainīgais matemātiskajā modelī ir nozīmīgs, jo aptaujas laikā tika novērota tendence, ka respondenti no tiem uzņēmumiem, kuros nav īstenoti energoefektivitātes pasākumi, bija uzņēmumu īpašnieki. Taču visos šajos gadījumos respondenti ir arī uzņēmuma faktiskie vadītāji, tādēļ nevarētu teikt, ka viņi nepārzina uzņēmuma ikdienas darbību.

Izmantotā datu izlases veida dēļ aptaujas rezultātus nevar vispārināt uz visu Latvijas rūpniecības sektoru. Tomēr apkopotie empīriskie dati ļauj aprobežot izstrādāto metodiku, kas modelē un raksturo energoefektivitātes pasākumu īstenošanu. Energoefektivitātes šķēršļu un virzītājspēku savstarpējā mijiedarbība sarežģī šīs jomas izpēti, tādēļ izpētes pilnveidošanai nepieciešams izmantot sistēmisku un inovatīvu pieeju. Pašlaik pieejamās zinātniskās literatūras analīze liecina, ka dažādu šķēršļu mazināšanas mehānismu ietekme joprojām ir nepietiekami izpētīta. Aprobežotā metodika sniedz nepieciešamās atziņas, lai turpinātu izpēti un matemātiski aprakstītu dažādu šķēršļu mazināšanas mehānismu ietekmi, vienlaikus ņemot vērā situāciju uzņēmumā un energoefektivitātes šķēršļus un virzītājspēkus.

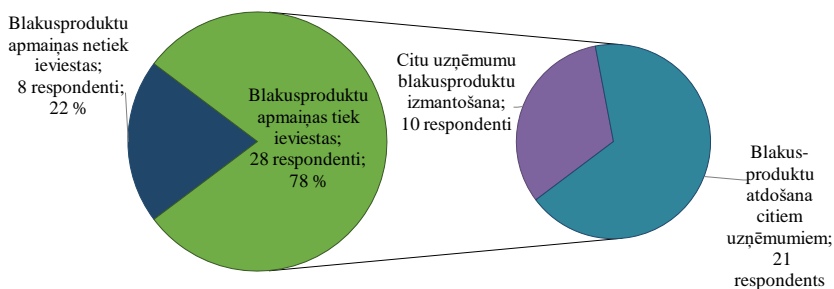
3.3. Industriālās simbiozes aptaujas rezultāti

Industriālās simbiozes aptaujas izlases lielums (n) ir 36 respondenti. Daļība aptaujā tika piedāvāta 45 uzņēmumu pārstāvjiem, taču vairāki uzņēmumi atteicās piedalīties aptaujā. Respondentu kontaktinformācija tika iegūta galvenokārt no publiskām datubāzēm (uzņēmumu piesārņojošās darbības atļauju datubāzes [36], Nacionālās statistikas pārskata „3-Atkritumi” publiskā pieeja [37] un *Lursoft* uzņēmumu datubāze [38]), kā arī no iepriekšējās saziņas ar uzņēmumiem.

Lielākā daļa aptaujāto respondentu ir uzņēmuma vides speciālisti (47 %) vai uzņēmuma īpašnieki un vadītāji (33 %). Tā kā daudzozs uzņēmumos nebija atsevišķa vides speciālista amata, tika aptaujāti citi zinoši darbinieki (piemēram, tehniskais direktors, ražošanas vadītājs, enerģētiķis, tehnologs, kvalitātes vadītājs). Lielākā daļa respondentu pārstāv vidējos (53 %) un mazos uzņēmumus (31 %), gan lielo, gan mikrouzņēmumu kategoriju pārstāv 8 % respondentu. Respondenti pārstāv desmit dažādas rūpniecības apakšnozares: pārtikas produktu ražošanas (16,7 %), dzērienu ražošanas (13,9 %), kokapstrādes (11,1 %), iespieddrukas (8,3 %), ķīmisko vielu (8,3 %), gumijas un plastmasas produktu (8,3 %), nemetālisko minerālu izstrādājumu (19,4 %), gatavo metālizstrādājumu (2,8 %), transportlīdzekļu (2,8 %) un mēbeļu (8,3 %) ražošanas nozares. Katrā uzņēmumā tika meklētas divu dažādu veidu blakusproduktu apmaiņas.

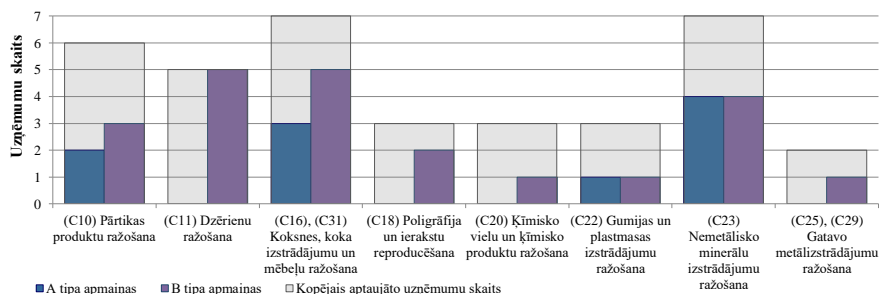
- A. Citu uzņēmumu blakusproduktu izmantošana savos ražošanas procesos.
- B. Uzņēmumā radīto blakusproduktu vai citu atlikumproduktu nodošana vai pārdošana citiem uzņēmumiem ar mērķi tos izmantot citu produktu ražošanā vai enerģijas atgūšanai.

A tipa apmaiņas tika identificētas 10 uzņēmumos, savukārt B tipa apmaiņas tika identificētas 21 uzņēmumā. Kopumā 28 uzņēmumi bija iepriekš ieviesuši vismaz viena veida apmaiņas, trīs uzņēmumi bija ieviesuši abu veidu apmaiņas un astoņi uzņēmumi nebija iepriekš ieviesuši blakusproduktu apmaiņas (skat. 3.5. attēlu).



3.5. att. Identificētās blakusproduktu apmaiņas.

Identificēto apmaiņu sadalījums atbilstoši aptaujātajām rūpniecības nozarēm parādīts 3.6. attēlā. Identificētās apmaiņas ļoti atkarīgas no katras rūpniecības nozares specifikas. Piemēram, visas piecas aptaujātās alusdarītavas nodod drabiņas zemnieku saimniecībām izmantošanai par lopbarību, daļa pārtikas produktu ražotāju nodod organiskos atlikumus tālākai apstrādei (citu produktu ražošanai) vai biogāzes ražotnēm enerģijas atgūšanai. Nemetālisko minerālu izstrādājumu ražošanas jomā identificētas četras A tipa apmaiņas, kuras ietver dažādu izejvielu aizstāšanu ar ražošanas blakusproduktiem, bet identificētās B tipa apmaiņas ietver atkritumu pārveidi enerģijā (enerģijas atgūšana no kartona, ko nav iespējams pārstrādāt, no biogāzes ražošanas notekūdeņu dūņām) un neorganisko minerālu materiālu nodošana ceļu būvniecības nozarei. Uzņēmumu būtiskākā motivācija blakusprodukts apmaiņu īstenošanai ir atvieglot blakusproduktu apsaimniekošanu, nodrošināt efektīvāku dabas resursu izmantošanu un gūt peļņu.



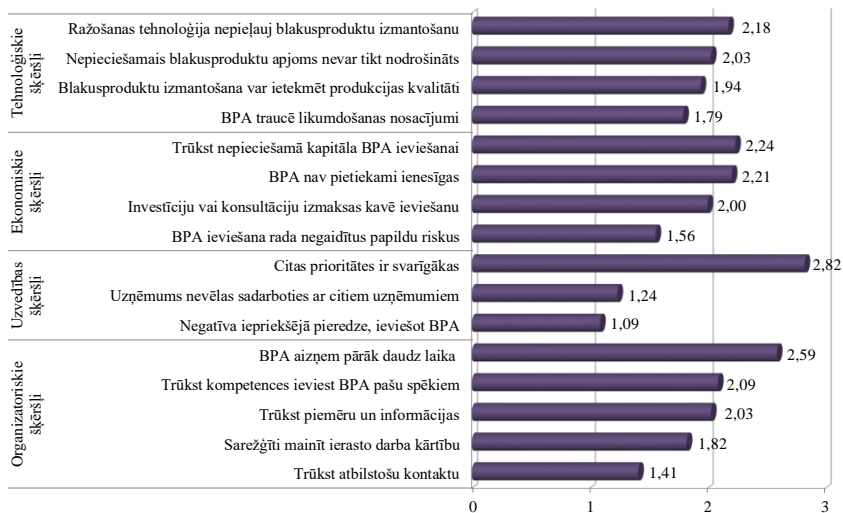
3.6. att. Identificēto blakusproduktu apmaiņu sadalījums pēc rūpniecības veida.

Tuvāko 2–3 gadu laikā uzņēmumi drīzāk plāno ieviest energoefektivitātes pasākumus (78 % respondentu), nekā blakusproduktu apmaiņu (33 % respondentu), lai gan lielākā daļa uzņēmumu minēja, ka resursu efektivitātes jautājumiem uzņēmumos ir augstāka prioritāte. Šo dažādo pasākumu īstenošana ir atkarīga no vairākiem faktoriem (gan tehnoloģiskiem, gan uzvedības), tāpēc nevar viennozīmīgi uzskatīt, ka viena veida pasākumiem būtu jābūt svarīgākiem par citiem. Bet, lai nodrošinātu ilgtspējīgu uzņēmuma attīstības stratēģiju, iekārtu modernizāciju, energoefektivitātes pasākumus, resursu efektivitātes pasākumus un industriālo simbiozi vēlams īstenot saskaņoti.

3.3.1. Šķēršļu novērtējums

Industriālās simbiozes ieviešanas būtiskākais šķērslis ir šīs jomas zemāka prioritāte uzņēmumos salīdzinājumā ar citām darbības jomām, to starpā, pamatprodukcijas ražošanu, energoefektivitātes pasākumiem (skat. 3.7. attēlu). Citi nozīmīgi šķēršļi ir: laika trūkums papildu izpētei un blakusproduktu apmaiņu ieviešanai (organizatoriskais šķērslis), trūkst nepieciešamā kapitāla, potenciālā peļņa

vai ietaupījumi ir pārāk zemi (ekonomiskie šķēršļi), kā arī tehniskie šķēršļi – uzņēmumā uzstādītās iekārtas nepieļauj blakusproduktu izmantošanu vai nav iespējams nodrošināt nepieciešamo blakusproduktu apjomu. Seši no astoņiem uzņēmumiem, kas neīsteno blakusproduktu apmaiņas, norādīja, ka to izmantotās tehnoloģijas nepieļauj rūpniecības blakusproduktu izmantošanu. Tomēr gadījumos, kad blakusprodukta atkārtota izmantošana būtu iespējama, lai veicinātu industriālo simbiozi un resursu efektivitāti, nepieciešams ieviest dažādus šķēršļu pārvarēšanas un samazināšanas mehānismus.



3.7. att. Industriālās simbiozes šķēršļu novērtējums.



3.8. att. Industriālās simbiozes šķēršļu pārvarēšanas mehānismu novērtējums.

Attiecībā uz šķēršļu pārvarēšanas mehānismiem (skat. 3.8. attēlu) lielāko daļu mehānismu respondenti novērtēja drīzāk pozitīvi. Augstāk tika novērtēti ekonomiskie mehānismi (subsīdijas un nodokļu atlaides), līdzdalība pilotprojektos un praktiskās apmācības. Zemāks novērtējums tika piešķirts lejuvērstajiem mehānismiem, piemēram, jaunas valsts institūcijas izveide blakusproduktu apmaiņu koordinēšanai vai likumdošanā noteikta obligāta prasība izmantot noteiktus ražošanas blakusproduktus.

Neatkarīgi no uzņēmumā ieņemamā amata respondenti negatīvāk novērtēja ar valdību un institūcijām saistītos mehānismus un pozitīvi vērtēja piedāvātos ekonomiskos mehānismus, tādējādi raksturojot pašreizējo uzņēmējdarbības vidi valstī. Taču, balstoties uz iepriekšējo literatūras izpēti, ir jāuzsver, ka respondenti šķēršļus spēj identificēt tikai savu zināšanu un kompetences ietvaros. Kā arī respondenti spēj identificēt tikai šķietamos šķēršļus, kas ne vienmēr atbilst patiesajai situācijai. Piemēram, respondentam ir ērtāk uzskatīt, ka resursu efektivitātes pasākumiem ir pārāk augstas izmaksas, nekā atzīt, ka patiesībā šķēršļus rada organizatoriskie un uzvedības aspekti. Līdzīgi uzņēmumi var pārvērtēt sev vēlamo šķēršļu mehānismu ietekmi.

3.2. tabula

Industriālās simbiozes aptaujas datu pētnieciskās faktoru analīzes rezultāti

	Ierastās uzvedības šķērslis	Organiza- toriskais šķērslis	Ekonomis- kais šķērslis
Trūkst piemēru un informācijas	0,606	0,508	-0,394
BPA* aizņem pārāk daudz laika	0,746	0,223	-0,023
Uzņēmums nevēlas sadarboties ar citiem uzņēmumiem	0,681	0,012	0,175
Citas prioritātes ir svarīgākas	0,734	0,037	0,242
Trūkst atbilstošu kontaktu	0,080	0,857	-0,022
BPA nav pietiekami ienesīgas	0,133	0,759	0,386
Investīciju vai konsultāciju izmaksas kavē ieviešanu	0,282	0,288	0,669
Trūkst nepieciešamā kapitāla BPA ieviešanai	0,047	-0,022	0,874
Īpašvērtība	2,79	1,46	1,09
KMO koeficients mainīgo kopai		0,6	
Kronbaha α mainīgo kopai		0,72	
Procentuāli izskaidrotā mainība		66,8 %	

*BPA – blakusproduktu apmaiņas

Korelācijas analīzes rezultāti starp mainīgajiem noteica 37 savstarpējās sakarības ar korelācijas koeficientu, kas ir attiecīgi augstāks vai zemāks par $\pm 0,35$. Veicot pētniecisko faktoru analīzi ar *varimax* rotāciju, tika iegūti trīs latentie mainīgie (skat. 3.2. tabulu). Iegūtie faktori izskaidro 66,8 % no sākotnējo datu mainības. Atkarībā no katrā faktorā ietvertajiem būtiskākajiem mainīgajiem šie

faktori tika apzīmēti kā: ierastās uzvedības šķērslis, organizatoriskais šķērslis un ekonomiskais šķērslis.

3.3.2. Aptaujas rezultātu matemātiskā modelēšana

Identificētie mainīgie tiek izmantoti divu loģistiskās regresijas modeļu izveidei, kur katrs modelis prognozē attiecīgi A tipa vai B tipa blakusproduktu apmaiņu ieviešanu. Abos modeļos atkarīgais mainīgais tiek apzīmēt ar bināru formālo mainīgo (0 – „apmaiņas nav ieviestas” un 1 – „apmaiņas ir ieviestas”).

Matemātiskais modelis A tipa apmaiņu raksturojumam izteikts ar vienādojumu (3.1.) un (3.3.). Mainīgais *Neatbilstošas tehnoloģijas* ir kategoriju tipa mainīgais, kas norāda, vai uzņēmumā izmantotās tehnoloģijas varētu pieļaut blakusproduktu izmantošanu. Izmantojot pakāpenisku, atpakaļejošu mainīgo atlasī, modelis izskaidro 86,3 % no sākotnējo datu mainības un 42,6 % no koriģētās mainības. Noviržu analizē noteikts, ka modeļa *P* vērtība ir 0,0000, kas ir mazāka par 0,05, līdz ar to starp izvēlētajiem mainīgajiem pastāv statistiski nozīmīga sakarība (95 % ticamības līmenis).

$$\eta_i = -24,01 - 2,81 \cdot \text{Ierastās uzvedības šķērslis} - 3,11 \cdot \text{Organizatoriskais šķērslis} + \alpha \cdot \text{Neatbilstošas tehnoloģijas} + \beta \cdot \text{Prioritāte} + \gamma \cdot \text{Atkritumu apsaimniekošanas izmaksas} \quad (3.3)$$

kur

Ierastās uzvedības šķērslis, *Organizatoriskais šķērslis* – skaitliski mainīgie;

Neatbilstošas tehnoloģijas – kategoriju tipa mainīgais (koeficientu vērtības: kategorijai „Pilnībā nepiekrītu” $\alpha = 0$, kategorijai „Drīzāk nepiekrītu” $\alpha = 35,316$, kategorijai „Drīzāk piekrītu” $\alpha = 42,26$, kategorijai „Pilnībā piekrītu” $\alpha = 5,85964$);

Prioritāte – kategoriju tipa mainīgais (koeficientu vērtības: kategorijai „Prioritāte – energoefektivitāte” $\beta = 0$, kategorijai “Vienādi svarīgi” $\beta = -41,5861$, kategorijai “Prioritāte – izejvielas un blakusprodukti” $\beta = -0,310106$);

Atkritumu apsaimniekošanas izmaksas – kategoriju tipa mainīgais (koeficientu vērtības: kategorijai „Izmaksas nav pārāk augstas” $\gamma = 0$, kategorijai “Izmaksas ir pārāk augstas” $\gamma = -17,182$).

Matemātiskais modelis B tipa apmaiņu raksturojumam izteikts ar vienādojumu (3.1.) un (3.4.). Tika izmantota pakāpeniska, atpakaļejoša mainīgo atlase. Iegūtais modelis izskaidro 70,6 % no sākotnējo datu mainības un 27,8 % no koriģētās mainības. Noviržu analizē noteikts, ka modeļa *P* vērtība ir 0,0001, kas ir mazāka par 0,05, līdz ar to starp izvēlētajiem mainīgajiem pastāv statistiski nozīmīga sakarība (95 % ticamības līmenis).

$$\eta_i = 3,97 + 5,44 \cdot \text{Ierastās uzvedības šķērslis} - 3,14 \cdot \text{Organizatoriskais šķērslis} + \alpha \cdot \text{ISO14001} + \beta \cdot \text{ISO50001} + \gamma \cdot \text{Atkritumu apsaimniekošanas izmaksas} + \delta \cdot \text{Dabas resursu nodoklis} + \varepsilon \cdot \text{Uzņēmuma izmērs} \quad (3.4)$$

kur

Ierastās uzvedības šķērslis, Organizatoriskais šķērslis – skaitliski mainīgie;

ISO14001 – kategoriju tipa mainīgais (koeficientu vērtības: kategorijai „Nav ieviests” $\alpha = 0$, kategorijai „Ieviests” $\alpha = -8,57$);

ISO50001 – kategoriju tipa mainīgais (koeficientu vērtības: kategorijai „Nav ieviests” $\beta = 0$, kategorijai „Ieviests” $\beta = -8,93$);

Atkritumu apsaimniekošanas izmaksas – kategoriju tipa mainīgais (koeficientu vērtības: kategorijai „Izmaksas nav pārāk augstas” $\gamma = 0$, kategorijai „Izmaksas ir pārāk augstas” $\gamma = -20,4691$);

Dabas resursu nodoklis – kategoriju tipa mainīgais (koeficientu vērtības: kategorijai „Nodoklis nav pārāk augsts” $\delta = 0$, kategorijai „Nodoklis ir pārāk augsts” $\delta = +26,97$);

Uzņēmuma izmērs – kategoriju tipa mainīgais (koeficientu vērtības: kategorijai „Mikrouzņēmums” $\varepsilon = 0$, kategorijai „Mazais uzņēmums” $\varepsilon = -17,4961$, kategorijai „Vidējais uzņēmums” $\varepsilon = -10,6185$, kategorijai „Lielais uzņēmums” $\varepsilon = -1,45718$).

Lai gan iegūtie rezultāti attiecas tikai uz analizēto izlasi, šī izpēte ir pirmais pētījums par industriālās simbiozes pasākumu īstenošanu rūpniecības sektorā Latvijā un sniedz nozīmīgu informāciju par specifiskajiem vietējiem apstākļiem, kas veicina vai kavē resursu efektivitātes pasākumu īstenošanu. Izmantotā metode ļauj raksturot neatkarīgo mainīgo savstarpējo mijiedarbību un uzņēmuma uztvertos jeb šķietamos šķēršļus un virzītājspēkus. Turpmākā izpētē šie matemātiskie modeļi var tikt validēti, izmantojot datus no plašāka rūpniecības nozares pētījuma, kas veikts, balstīts uz gadījuma izlases metodi.

3.3.3. Šķēršļu pārvarēšanas mehānismu matemātiskā modelēšana

Lai paplašinātu esošās pētniecības pieejas, izstrādātā metodika tika piemērota arī, lai matemātiski modelētu industriālo simbiozes pasākumu ieviešanu nākotnē atkarībā no esošajiem industriālās simbiozes šķēršļiem un potenciālajiem šķēršļu pārvarēšanas mehānismiem. Vispirms, veicot faktoru analīzi, tika iegūti četri latentie mainīgie, kas raksturo dažādus šķēršļu pārvarēšanas mehānismu veidus (skat. 3.3. tabulu). Iegūtie faktori līdz ar citiem mainīgajiem tika izmantoti matemātiskā modeļa izveidē (skat. vienādojumu (3.1.) un (3.5.)), kur atkarīgais mainīgais ir *Nodoms ieviest industriālās simbiozes pasākumus*. Izveidotais loģistiskās regresijas modelis izskaidro 91,8 % no sākotnējo datu mainības un 60,1 % no koriģētās mainības. Modeļa *P* vērtība ir 0,0000, kas ir mazāka par 0,05, līdz ar to starp izvēlētajiem mainīgajiem pastāv statistiski nozīmīga sakarība (95 % ticamības līmenis).

$$\eta_i = 142,1 - 43,3 \cdot \text{Ierastās uzvedības šķērslis} - 3,6 \cdot \text{Biznesa virzītājspēki} + \alpha \cdot \text{Respondenta loma} + \beta \cdot \text{ISO14001} + \gamma \cdot \text{Iepriekšējā pieredze} \quad (3.5.)$$

kur

Ierastās uzvedības šķērslis, Biznesa virzītājspēki – skaitliski mainīgie;

Respondenta loma – kategoriju tipa mainīgais (koeficientu vērtības: $\alpha = 0$, ja respondents ir vides speciālists, $\alpha = -280,5$ ja respondents ir uzņēmuma īpašnieks vai vadītājs, $\alpha = -61,6$, ja respondents strādā citā amatā);

ISO14001 – kategoriju tipa mainīgais (koeficientu vērtības: kategorijai „Nav ieviests” $\beta = 0$, kategorijai „Ieviests” $\beta = 96,3$);

Iepriekšējā pieredze – kategoriju tipa mainīgais (koeficientu vērtības: kategorijai „Nav pieredzes” $\gamma = -277,9$, kategorijai „Ir pieredze” $\gamma = 0$).

3.3. tabula

Šķēršļu pārvarēšanas mehānismu pētnieciskās faktoru analīzes rezultāti

	Biznesa virzītājspēki	Organizatoriski uzlabojumi	Likumdošanas uzlabojumi	Ārējās substārijas
Informācijas kampaņas par BPA* sniegtajiem ieguvumiem	0,775	0,250	0,150	-0,169
Sabiedrības spiediens samazināt uzņēmuma ietekmi uz vidi	0,701	0,318	0,233	0,252
Starpniekuzņēmumi, kas īsteno un koordinē BPA, piedāvājot to kā pakalpojumu	0,908	-0,109	0,032	0,063
Apmācības vai semināri ar piemēriem par BPA piemēriem un tehnoloģijām	0,368	0,827	0,077	-0,090
Vides politikas (arī pašu izstrādātas) ieviešana uzņēmumā	-0,050	0,617	0,159	0,295
Dabas resursu nodokļa atvieglojumi uzņēmumiem, kas ievieš BPA	0,073	0,891	-0,028	-0,044
Likumdošanā noteikta prasība izmantot konkrētus ražošanas blakusproduktus	0,242	0,028	0,751	0,238
Valsts institūcija, kas īsteno un koordinēs apmaiņas	0,176	0,214	0,803	-0,118
Uzlabojumi esošajā likumdošanā	-0,033	-0,028	0,774	0,060
Dalība pilotprojektā par blakusproduktu izmantošanas iespējām	0,013	-0,095	0,052	0,907
ES fondu naudas piesaistes iespējas BPA projektiem	0,045	0,180	0,068	0,857
Īpašvērtība	3,34	1,84	1,54	1,31
KMO koeficients mainīgo kopai		0,66		
Kronbaha α mainīgo kopai		0,75		
Procentuāli izskaidrotā mainība		73,0 %		

* BPA – blakusproduktu apmaiņas

Vislielākā ietekme uz industriālās simbiozes īstenošanu nākotnē ir uzņēmumu iepriekšējai pieredzei šo pasākumu ieviešanā, kā arī, ja uzņēmumā ieviesta vides pārvaldības sistēma (piemēram, *ISO14001*, *EMAS*). Uzņēmuma vides speciālisti vairāk nekā darbinieki citos amatos un uzņēmumu īpašnieki uzskata, ka uzņēmums nākotnē varētu ieviest industriālo simbiozi. Lielākas faktoru mainīgo vērtības (*Biznesa virzītājspēki* un *Ierastās uzvedības šķērslis*) norāda mazāku iespējamību, ka uzņēmumā nākotnē tiks ieviesti industriālās simbiozes pasākumi.

SECINĀJUMI

1. Statistikas datu analīze liecina, ka visaugstākais resursu produktivitātes līmenis Latvijā tika sasniegts ekonomiskās krīzes laikā (2009. gadā – 582 €/t), kas norāda uzņēmumu spēju optimizēt ražošanu. Tomēr kopš tā laika resursu produktivitāte ir pakāpeniski samazinājusies (2014. gadā – 512 €/t). Lai gan valsts mērogā ir vērojama relatīva ekonomiskās attīstības un ietekmes uz vidi atsaiste, rūpniecības nozarē vērojams tās trūkums. Pašreizējās resursu efektivitātes tendences norāda, ka ir nepieciešami mērķtiecīgi pasākumi un koordinēta politika, lai sasniegtu valsts resursu produktivitātes mērķus 2020. gadā, t.i., 600 €/t.
2. Uzņēmuma lēmums par energoefektivitātes pasākumu īstenošanu ir atkarīgs no ticamu datu pieejamības. Mazu un vidēju uzņēmumu gadījumā enerģijas patēriņa datu pieejamība ir ierobežota, piemēram, enerģijas patēriņš reti tiek uzskaitīts uzņēmuma departamentu vai ražošanas līniju līmenī. Tas apstiprinājās arī analizētajā mazajā alusdarītavā, kur, balstoties uz promocijas darba laikā aprobēto metodiku siltuma zudumu noteikšanai alusdarītavas vārītavā un elektroenerģijas efektivitātei pildīšanas līnijām, tika aprēķināts, ka, piemēram, atgūstot misas vārīšanas laikā ar tvaika emisijām zaudēto enerģiju (21,5 MJ/hl_{alus}), siltumenerģijas zudumi tiek samazināti līdz 9,8 % no kopējā patēriņa uz vienu hl saražotā alus. Šāda pasākuma atmaksāšanās laiks ir 1,1 gads.
3. Savukārt elektroenerģijas monitoringa rezultāti alusdarītavā liecina, ka īpatnējais elektroenerģijas patēriņš (MJ/hl) trim analizētajām pakošanas līnijām var atšķirties pat 14 reizes, kā arī elektroenerģija nelietderīgi tiek patērēta iekārtu gaidīšanas režīmā. Svarīgs elektroenerģijas patēriņš tika identificēts iekārtu gaidīšanas laikā (līdz 14,9 % no iekārtas enerģijas patēriņa monitoriņa periodā). Tas ļauj secināt, ka precīzākas zināšanas par dažādu iekārtu un tehnoloģisko procesu enerģijas patēriņu, ļauj uzņēmuma lēmumu pieņēmējiem uzlabot energopārvaldību un sniedz iespēju izvēlēties ekoeftīvākas ražošanas pieejas.
4. Zinātniskās literatūras analīze uzrāda blakusproduktu apmaiņu kvalitātes novērtējuma trūkumu. Lai papildinātu esošo starptautisko rūpniecības sinerģiju (un rūpniecības simbiozes) pētniecības ietvaru, promocijas darba ietvaros ir izstrādāta jauna industriālās simbiozes novērtējuma metode. Izmantotā brieduma līmeņa modelēšanas metode ļauj novērtēt trīs svarīgākos rūpniecības sinerģiju kvalitātes aspektus: vides veiktspēju, ekonomisko veiktspēju un uzņēmumu ģeogrāfisko novietojumu. Izstrādātās metodes priekšrocība ir spēja salīdzināt sinerģijas, kas ietver dažādu resursu (enerģijas, materiālu vai ūdens) apmaiņas, un tas, ka katrs pārākais brieduma modeļa līmenis var tikt izmantots kā potenciālo uzlabojumu vadlīnijas. Izstrādātā metode aprobēta uz 19 uzņēmumu sadarbības saitēm.

5. Latvijā identificētās rūpniecības sadarbības parasti ir atsevišķi gadījumi, nevis integrēti sadarbības tīkli, kā citās pasaules valstīs, piemēram, Zviedrijā, Dānijā, Apvienotajā Karalistē u.c. Darbā analizētie piemēri liecina, ka kvalitatīva resursu atkārtota izmantošana Latvijā jau šobrīd tiek īstenota – daži piemēri sasniedz augstāko novērtējumu visās trīs apskatītajās ilgtspējības dimensijās. Tomēr dažas identificētās apmaiņas atpaliek no ārzemju piemēriem – blakusprodukti tiek transportēti ļoti lielos attālumos, tie nesniedz nekādus ekonomiskus ieguvumus, vai blakusproduktu apmaiņu vides kvalitāte ir zema.
6. Lai gan Latvijā ir ieviesti enerģijas un resursu efektivitātes pasākumi, kas analizēti arī promocijas darba ietvaros, to īstenošanu kavē resursu un energoefektivitātes šķēršļi. Latvijā šie šķēršļi iepriekš nav vispusīgi identificēti. Tādēļ tika izstrādāta jauna metode, ar kuras palīdzību var tikt identificēti resursu efektivitātes pasākumu īstenošanas šķēršļi, veikta to statistiskā analīze un matemātiskā modelēšana. Izstrādātā metodika ļauj pārveidot kvalitatīvos šķēršļus raksturojošos datus, kas tiek iegūti uzņēmumu pārstāvju aptauju laikā, par kvantitatīvajiem faktoriem, kas var tikt tālāk izmantoti, lai izveidotu matemātiskos modeļus. Izmantotā pieeja ir unikāls piemērs, kā kvalitatīvus pieņēmumus (šķēršļus un virzītājspēkus) raksturot skaitliski. Izstrādātā metodika tika aprobēta diviem gadījumiem: energoefektivitātes pasākumu īstenošana un industriālās simbiozi ieviešana, tādējādi pierādot metodes piemērotību dažādā kontekstā.
7. Modelējot energoefektivitātes pasākumu ieviešanu Latvijas rūpniecības uzņēmumos, tika iegūts matemātisks modelis, kas izskaidro 65,4 % no sākotnējo datu mainības un 38,9 % koriģētās mainības. Izpētē arī identificētas būtiskas sakarības starp dažādiem energoefektivitātes šķēršļiem un virzītājspēkiem, tādēļ izveidotā metode papildināta ar faktoru analīzi. Šķēršļu un virzītājspēku savstarpējās mijiedarbības būtiski sarežģī analizētās jomas izpēti un šo jautājumu risināšanai nepieciešama sistēmiska un inovatīva pieeja. Nākotnē izveidotais matemātiskais modelis var tikt validēts, izmantojot jaunus, plašākus rūpniecības nozares pētījuma datus.
8. Modelējot industriālās simbiozes pasākumu ieviešanu Latvijas rūpniecības uzņēmumos, tika iegūti divi matemātiski modeļi, kas raksturo divus dažādus industriālās simbiozes apmaiņu veidus. A tipa apmaiņas ļauj izmantot cita uzņēmuma blakusproduktus aptaujātā uzņēmuma ražošanas procesā, B tipa apmaiņas ietver blakusproduktu atdošanu citiem uzņēmumiem ar mērķi tos izmantot cita uzņēmuma ražošanas procesā. Izmantojot loģistikas regresijas analīzi A tipa apmaiņām, tika iegūts modelis, kas izskaidro 86,3 % no sākotnējo datu mainības un 42,6 % koriģētās mainības, un modelis B tipa apmaiņām – 70,6 % no sākotnējo datu mainības un 27,8 % no koriģētās mainības. Abus modeļus iespējams nākotnē validēt, izmantojot jaunus, plašākus rūpniecības nozares pētījuma datus.

9. Trešā veida matemātiskais modelis pierāda un raksturo saikni starp uzņēmuma nākotnes nodomu īstenot industriālo simbiozi, uzņēmuma pastāvošajiem šķēršļiem un dažādiem potenciālajiem šķēršļu pārvarēšanas mehānismiem. Iegūtos rezultātus var izmantot turpmākai valsts politikas pilnveidošanai un atbilstošu resursu efektivitātei veicināšanas mehānismu izvēlei rūpniecības sektorā.
10. Resursu efektivitātes šķēršļu, virzītājspēku un pārvarēšanas mehānismu analīzes un modelēšanas rezultātā iegūtie secinājumi būtiski papildina lēmumpieņēmējiem, politikas veidotājiem un zinātniekiem pieejamo zināšanu apjomu, kas nepieciešams, pieņemot lēmumus par energoefektivitātes un resursu efektivitātes instrumentu piemērošanu rūpniecības sektorā. Modelēšanas rezultāti un sniegtie secinājumi var tikt izmantoti uzņēmumu darbības uzlabošanai, rūpniecības sektora padziļinātai izpētei, tostarp skaidrojot būtiskus socioekonomiskos aspektus, kas kavē resursu efektivitātes pasākumu ieviešanu un politikas veidošanu.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] Cross-Sectoral Coordination Centre. National Development Plan of Latvia for 2014–2020. Rīga, 2012. 70 p.
- [2] Latvijas Republikas Ekonomikas Ministrija. Ziņojums par Latvijas tautsaimniecības attīstību. 2015. g. decembris. Rīga, 2015. 156 lpp.
- [3] Rohn H., Pastewski N., Lettenmeier M., Wiesen K., Bienge K. Resource efficiency potential of selected technologies, products and strategies. *Science of The Total Environment*, Vol. 473–474, 2014. – pp. 32–35.
- [4] Hirschnitz-Garbers M., Hinzmann M., Watkins E., ten Brink P., Milios L., Soleille S. A framework for Member States to support business in improving its resource efficiency. An Analysis of support measures applied in the EU-28. 2015. 79 p.
- [5] Dāce E. Integrētās primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas modelis. Promocijas darbs. Rīga: RTU, 2013. 160 lpp.
- [6] Pubule J. Cleaner production in biowaste management. PhD Thesis, Rīga: RTU, 2014. 96 p.
- [7] Ruģele K. Pienrūpniecības atlikumu anaerobā pārstrāde un ražošanas atkritumu kompozītmateriālu izmantošana procesa uzlabošanai. Promocijas darbs. Rīga: RTU, 2015. 120 lpp.
- [8] Žogla L. Metodikas izstrāde energoefektivitātes politikas instrumentu modelēšanai rūpniecības sektorā. Promocijas darbs. Rīga: RTU, 2014. 142 lpp.
- [9] European Commission. EUROPE 2020. A strategy for smart, sustainable and inclusive growth. Brussels, 3.3.2010.
- [10] Cagno E., Worrell E., Trianni A., Pugliese G. A novel approach for barriers to industrial energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 19, 2013. – pp. 290–308.
- [11] Brunke J.-C., Johansson M., Thollander P. Empirical investigation of barriers and drivers to the adoption of energy conservation measures, energy management practices and energy services in the Swedish iron and steel industry. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 84, 2014. – pp. 509–525.
- [12] European Commission. Analysis associated with the Roadmap to a Resource Efficient Europe Part I. Brussels, 20.9.2011.
- [13] Central Statistical Bureau of Latvia. Database: Economy and Finance. Annual statistical data. Gross Domestic Product. [Online]. Available: http://data.csb.gov.lv/pxweb/en/ekfin/ekfin_ikgad_ikp/IK10_0010.px/?rxid=cdbc978c-22b0-416a-aacc-aa650d3e2ce0. [Accessed 31.05.2016].
- [14] Central Statistical Bureau of Latvia. Database: Industry, Construction, Trade and Services. Annual statistical data. Structural business statistics. [Online]. Available: http://data.csb.gov.lv/pxweb/en/rupnbuvm/rupnbuvm_ikgad_uzndarb/SB0010.px/?rxid=cdbc978c-22b0-416a-aacc-aa650d3e2ce0. [Accessed 31.05.2016].
- [15] Soratana K., Landis A. Evaluating industrial symbiosis and algae cultivation from a life cycle perspective. *Bioresource Technology*, Vol. 102, No. 13, 2011. – pp. 6892–6901.
- [16] Liu Y. Barriers to the adoption of low carbon production: A multiple-case study of Chinese industrial firms. *Energy Policy*, Vol. 67, 2014. – pp. 412–421.
- [17] Meath C., Linnenluecke M., Griffiths A. Barriers and motivators to the adoption of energy savings measures for small- and medium-sized enterprises (SMEs): the case of the ClimateSmart Business Cluster program. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 112, No. 5, 2016. – pp. 3597–3604.
- [18] Backlund S., Thollander P. Impact after three years of the Swedish energy audit program. *Energy*, Vol. 82, 2015. – pp. 54–60.
- [19] European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries. 2006. 638 p.

- [20] Ozolina L., Roša M. A review of energy efficiency policy and measures for industries in Latvia. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, Vol. 23, No. 5, 2012. – pp. 517–526.
- [21] Sturm B., Hugenschmidt S., Joyce S., Hofacker W., Roskilly A. Opportunities and barriers for efficient energy use in a medium-sized brewery. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 53, No. 2, 2013. – pp. 397–404.
- [22] . Muster-Slawitsch B., Weiss W., Schnitzer H., Brunner C. The green brewery concept – Energy efficiency and the use of renewable energy sources in breweries. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 31, No. 13, 2011. – pp. 2123–2134.
- [23] Olajire A. The brewing industry and environmental challenges. *Journal of Cleaner Production*, In press. Available online 13 March 2012, 2012.
- [24] Heuven F., van Beek T., Jackson G., Johnson A. Benchmarking der Energie- und Wassereffizienz im Brauereisektor 2012. *Brauwelt*, Vol. 29, 2013. – pp. 851–853.
- [25] Estampe D. *Supply Chain Performance and Evaluation Models*. Somerset, US: Wiley-ISTE, 2014. 160 p.
- [26] Chertow M. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. *Annu. Rev. Energy Environ.*, Vol. 25, 2000. – pp. 313–337.
- [27] Hicks C., Heidrich O., McGovern T., Donnelly T. A functional model of supply chains and waste. *Int J of Production Economics*, Vol. 89, No. 2, 2004. – pp. 165–174.
- [28] Wen Z., Meng X. Quantitative assessment of industrial symbiosis for the promotion of circular economy: a case study of the printed circuit boards industry in China's Suzhou New District. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 90, 2015. – pp. 211–219.
- [29] Kovanda J., van de Sand I., Schutz H., Bringezu S. Economy-wide material flow indicators: Overall framework, purposes and uses and comparison of material use and resource intensity of the Czech Republic, Germany and the EU-15. *Ecological Indicators*, Vol. 17, 2012. – pp. 88–98.
- [30] Sorrell S., Schleich J., Scott S., O'Malley E. Trace F., Boede U., Ostertag K. *Reducing Barriers to Energy Efficiency in Public and Private Organizations*, Brighton: Energy Research Centre-Science and Technology Policy Research (SPRU). University of Sussex, 2000. 202 p.
- [31] European Commission. *A resource-efficient Europe – Flagship initiative under the Europe 2020 Strategy*. Brussels, 21.01.2011.
- [32] Krishnaswami O., Satyaprasad B. *Business Research Methods*. Himalaya Publishing House , 2010. 205 p.
- [33] Thollander P., Ottosson M. Energy management practices in Swedish energy-intensive industries. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 18, No. 12, 2010. – pp. 1125–1133.
- [34] Trianni A., Cagno E., Farnè S. An Empirical Investigation of Barriers, Drivers and Practices for Energy Efficiency in Primary Metals Manufacturing SMEs. *Energy Procedia*, Vol. 61, 2014. – pp. 1252–1255.
- [35] Vīgants E., Blumberga A., Timma L., Ījabs I., Blumberga D. The dynamics of technological substitution: the case of eco-innovation diffusion of surface cleaning products. *Journal of Cleaner Production*, Vol. In Press, Available online 20 October 2015.
- [36] Vides pārraudzības valsts birojs. Database: Licences and associated decisions for Category A and B polluting activities. [Online]. Available: <http://www.vpvb.gov.lv/lv/piesarnojums/a-b-atlaujas>. [Accessed 31.05.2016].
- [37] LVGMC. «National statistical report "2-Air", "Water-2" and "3-Waste" public access. [Online]. Available: http://parissrv.lv/gmc.lv/public_reports. [Accessed 31.05.2016].
- [38] Lursoft. Database of all companies registered in Latvia. [Online]. Available: <https://www.lursoft.lv/en/data-bases-of-companies>. [Accessed 31.05.2016].