

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

Jelena PUBULE

Doktora studiju programmas “Vides zinātne” doktorante

**TĪRĀKA RAŽOŠANA BIOĻOGISKO
ATKRITUMU APSAIMNIEKOŠANĀ**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskie vadītāji
Dr. habil. sc. ing., profesore
D. BLUMBERGA

Dr. sc. ing., profesore
M. ROŠĀ

Rīga 2014

UDK 628.4(043.2)

Pu 040 t

Pubule J. Tīrāka ražošanas bioloģisko atkritumu apsaimniekošanā. Promocijas darba kopsavilkums. – Rīga: RTU, 2014. – 34 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta 2014. gada 6. marta lēmumu, protokols Nr. 44

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, satur ievadu, 5 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 49 attēlus, 13 tabulas un kopā 96 lappuses. Literatūras sarakstā apkopoti 183 nosaukumi.

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā “Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai”, Eiropas Sociālā Fonda atbalstu projektā “Cilvēkresursu piesaiste integrētas atjaunojamo energoresursu enerģijas ražošanas sistēmas izstrādei”. Darbs izstrādāts, pateicoties Eiropas Komisijas septītās ietvarprogrammas FP7-REGIONS-CT2012 projektam “COOLSWEEP”.



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

ISBN 978-9934-507-62-5

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

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2014. g. 27. jūnijā Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1, 21. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Dr. geogr., profesore Agrita Briede
Latvijas Universitāte

Dr. habil. sc. ing., profesors Ģintaras Denafas
Kauņas Tehnoloģiskā Universitāte, Lietuva

Dr. sc. ing., profesors Gatis Bažbauers
Rīgas Tehniskā universitāte

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Jeļena Pubule

Datums:

SATURA RĀDĪTĀJS

Darba aktualitāte	5
Darba mērķis un uzdevumi	6
Pētījuma metodika	7
Darba zinātniskā novitāte.....	7
Darba praktiskais lietojums.....	8
Aprobācija.....	8
Publikācijas	9
Darba struktūra un apjoms	11
1. Metodoloģija.....	12
1.1. Tīrākas ražošanas indikatoru inventarizācija	12
1.2. Multikritēriju analīze.....	12
1.3. Korelācijas un regresijas analīze.....	12
1.4. Sistēmdinamika.....	12
2. Tīrākas ražošanas indikatoru identifikācija un analīze.....	14
2.1. Bioatkritumu apsaimniekošana Baltijas valstīs.....	15
2.1. Bioatkritumu apsaimniekošanas indikatori	17
3. Rezultāti un tīrākas ražošanas principu integrēšanas bioloģisko atkritumu apsaimniekošanā metodes aprobācija	18
3.1. Multikritēriju analīzes rezultāti	18
3.2. Multifaktoru empīriskā modeļa rezultāti.....	20
3.3. Sistēmdinamikas modelēšanas rezultāti.....	29
Secinājumi	33

Darba aktualitāte

Šobrīd pasaules uzmanība, tajā skaitā Latvijā, ir pievērsta diviem enerģijas krīzes aspektiem – enerģijas atkarībai un klimata izmaiņām. Pasaules pieredze rāda, ka, pieaugot enerģijas patēriņam, pieaug enerģētisko resursu deficīts. Šādā situācijā valsts amatpersonas tā vietā, lai veicinātu enerģijas lietderīgu izmantošanu, palielina enerģijas resursu importu. Rezultātā valsts kļūst vēl vairāk atkarīga no importētiem enerģijas resursiem. Tajā pat laikā zinātnieki strādā pie alternatīvu enerģijas resursu izpētes un jauno tehnoloģiju izstrādes.

Resursu trūkums ir pirmais problēmas aspekts. Otrais problēmas aspekts ir enerģētiskā atkarība. Enerģētika ieņem stabilu vietu Latvijas valsts ekonomikā. Pāreja no fosilā kurināmā ekonomikas uz atjaunojamo enerģijas resursu (AER) ekonomiku ir sarežģīts process, kam nepieciešama ilgtermiņa attīstības stratēģija un saskaņoti pasākumi, lai nodrošinātu tās īstenošanu.

Saskaņā ar ES direktīvu 2009/28/EK par atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšanu Latvijā no atjaunojamās enerģijas saražotas enerģijas īpatsvaram 2020. gadā ir jāsasāda 40% no bruto enerģijas.

Joprojām daudzās Eiropas valstīs, to skaitā Latvijā, galvenā nešķirotā sadzīves atkritumu apsaimniekošanas prakse ir atkritumu apglabāšana cieto sadzīves atkritumu poligonos. Tikai attīstītākās valstis izmanto organiskos atkritumus biogāzes ražošanai. Eiropas Savienības dalībvalstīm ir jāievēro ES direktīvas par atkritumu poligoniem 1999/31/EK un ES direktīvas 2008/98/EK par atkritumiem nosacījumus, kas paredz ievērojami samazināt atkritumu poligonos apglabājamus bioloģiski noārdāmos atkritumus. Diemžēl Eiropas Savienības mērķu īstenošana daudzās dalībvalstīs nenotiek tik raiti, kā vajadzētu. Bioloģisko atkritumu izmantošana enerģijas ieguvei ļaus sasniegt iepriekš minētos mērķus attiecībā uz atjaunojamās enerģijas īpatsvara palielināšanu un ļaus sasniegt atkritumu apglabāšanas poligonos apglabāto bioloģiski noārdāmo atkritumu apjoma samazinājumu.

Bioloģisko atkritumu kā resursa izmantošana ļaus Latvijai pietuvoties ES kopīgajiem mērķiem un samazināt atkritumu poligonos noglabāto atkritumu apjomu. Bioatkritumus iespējams izmantot enerģijas ieguvei Latvijas apstākļos. Problēmas trešā dimensija ir neattīstīta bioloģiski noārdāmo atkritumu apsaimniekošana Latvijā. Problēmas ceturrtā dimensija ir saskaņotas metodoloģijas trūkums ietekmes novērtēšanai un tīrākas ražošanas principu identificēšanai atkritumu apsaimniekošanā.

Darba galvenā motivācija ir ietverta iepriekš minētās problēmas četrās dimensijās. Tā kā ir tikai viena planēta un resursi uz tās – ierobežoti, ir svarīgi darīt visu iespējamo, lai saglabātu šo zemi piemērotai dzīvošanai

nākamajām paaudzēm. Atkritumu apstrādes nozares attīstības līmenis dažādās Eiropas valstīs ir ļoti atšķirīgs. Tā, piemēram, Baltijas valstīs bioatkritumu apsaimniekošana ir mazattīstīta, bet Vācijā iekārtu operatori ir gatavi importēt atkritumus no citām Eiropas valstīm, jo vietējais tirgus nespēj apgādāt lielās, jaudīgās iekārtas ar pietiekamu apstrādes produktu daudzumu. Atkritumu sadedzināšanas iekārtas tiek vērtētas pretrunīgi, tajā pat laikā, ņemot vērā to, ka primārās enerģijas izejvielas kļuvušas dārgākas, atkritumu kā enerģijas avota izmantošanas popularitāte pieaug.

Bioloģisko atkritumu kā resursu izmantošana nepieciešama tādēļ, lai sasniegtu ES kopējos atkritumu apsaimniekošanas mērķus. Bioloģisko atkritumu apsaimniekošana būtu jāaplūko no ekonomiskā, vides un sociālā viedokļa. Sarežģītais iznākums ir būtisks šķērslis bioloģisko atkritumu plānošanas projektu īstenošanā. Bioloģiskos atkritumus iespējams izmantot dažādos veidos, piemēram, biogāzes ražošanā, anaerobajā pārstrādē un kompostētu materiālu dedzināšanā. Lai sekmētu atjaunojamo energoresursu izmantošanu, jāizvērtē iespējamais bioloģisko atkritumu daudzums un, balstoties uz to, jāatrod optimālā metode to pārvēršanai enerģijā.

Ir jāizstrādā jauna novērtēšanas metode, kuru veido dažādu atkritumu apsaimniekošanas nozares ietekmes novērtējumu kombinācija, kā arī bioloģisko atkritumu apsaimniekošanā ir jāīsteno tīrāka ražošana.

Šī pētījuma izstrādi veicinājuši šādi faktori:

1. Problēmas enerģētikas nozarē saistībā ar resursu trūkumu un atkarību no elektroenerģijas.
2. Ir jāsasniedz ES mērķi attiecībā uz uzkrātā bioloģiski noārdāmo atkritumu daudzuma samazināšanu un atjaunojamajiem energoresursiem.
3. Atkritumu apsaimniekošanā jāīsteno tīrākas ražošanas princips.

Ir jāizstrādā efektīvs kvantitatīvs mehānisms, kā izvērtēt, salīdzināt un pārbaudīt bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas alternatīvas, kuras ieinteresētās puses var izmantot atbilstoši konkrētajai situācijai.

Darba mērķis un uzdevumi

Šā darba mērķis ir izstrādāt, piemērot un izvērtēt metodiku tīrākas ražošanas principu iekļaušanai bioloģisko atkritumu apsaimniekošanā. Īpaša uzmanība šajā darbā pievērsta metodikas izstrādei tieši attiecībā uz politikas jomu izstrādātājiem un lēmumu pieņēmējiem, lai: 1) izvērtētu bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas iespējas, 2) novērtētu bioenerģijas projektu ilgtspējību, 3) atrastu optimālu bioloģisko atkritumu apstrādes risinājumu, ņemot vērā apstākļus konkrētā reģionā. Šajā darbā tiek izmantota modelēšanas pieeja, kas balstīta uz multikritēriju analīzi (MKA),

korelācijas un regresijas analīzi (KRA), kā arī MKA un sistēmdinamikas (SD) kombināciju.

Lai sasniegtu pētījuma mērķi, tika izvirzīti šādi uzdevumi:

1. Noteikt un izanalizēt rādītājus dažādu bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas metožu izvērtēšanai.
2. Izstrādāt metodisko pieeju, kas balstīta uz MKA un KRA metodes kombināciju.
3. Definēt regresijas vienādojumu, kas raksturo tīrākas ražošanas principus bioloģisko atkritumu apsaimniekošanā.
4. Izstrādāt metodisko pieeju, kas balstīta uz MKA un SD metodes kombināciju.
5. Izstrādāt metodiku tīrākas ražošanas principu iekļaušanai bioloģisko atkritumu apsaimniekošanā.
6. Pārbaudīt ieteikto metodiku atbilstoši situācijai Baltijas valstīs – Latvijā, Lietuvā un Igaunijā.

Papildus iepriekš minētajiem uzdevumiem šī darba mērķis ir pārbaudīt šādu hipotēzi: tīrāku ražošanu atkritumu apsaimniekošanas nozarē iespējams panākt, izmantojot jaunu bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas ietekmes novērtējuma metodiku.

Pētījuma metodika

Pētījuma metodikas pamatā ir trīs savstarpēji saistītas modelēšanas daļas. Pirmajā daļā izmantota multikritēriju analīze, lai novērtētu bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas iespējas no vides, ekonomiskā, tehniskā un sociālā viedokļa. Lai noteiktu un izvērtētu optimālas apstrādes metodes, tika izmantots TOPSIS (Primaritātes kārtības metode pēc līdzības ideālajam risinājumam) modelis. Otrajā daļā izmantotas divas datu apstrādes metodes: korelācijas un regresijas analīze. Divu lielumu savstarpējās sakarības un to līdzība ir noteikta ar korelācijas analīzi. Datu statistiskā analīze un vairāku faktoru empīriskā modeļa izstrāde tika veikta ar datorprogrammu *STATGRAPHICS*. Regresijas analīze tika izmantota, lai noteiktu vairāku faktoru regresijas modeļi un tā koeficientu statistisko nozīmīgumu. Trešajā daļā izmantota SD modelēšana. Lai programmā *Powesim* simulētu problēmas, tika izveidots vienkāršots bioloģiski noārdāmo atkritumu apsaimniekošanas dinamiskās sistēmas modelis. Vienkāršots modelis ir izveidots ar nolūku, lai to varētu izmantot kombinācijā ar MKA un SD un atkritumu apsaimniekošanas nozarē.

Darba zinātniskā novitāte

Šī darba zinātniskais nozīmīgums ir balstīts uz šādiem faktoriem:

1. Modelēšanā izmantotā metode, lai pievērstu politikas jomu izstrādātāju un lēmumu pieņēmēju uzmanību, lai: 1) izvērtētu bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas iespējas, 2) novērtētu bioenerģijas projektu ilgtspējību, 3) atrastu optimālu bioloģisko atkritumu apstrādes risinājumu, ņemot vērā apstākļus konkrētā reģionā.
2. Rādītāju ieviešana tīrākas ražošanas principu iekļaušanai bioloģisko atkritumu apsaimniekošanā.
3. Metodes izstrāde, tajā iekļaujot MKA un SD, kā arī VKA un KRA, kas noder, lai novērtētu, salīdzinātu un izvēlētos optimālas bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas alternatīvas, kuras ieinteresētās puses var izmantot atbilstoši konkrētajai situācijai.
4. Pateicoties VKA, SD un KRA iekļaušanai, ir gūti ievērojami panākumi – tas palīdz strukturēt sarežģītās daudznozaru problēmas bioloģisko atkritumu apsaimniekošanā, atbilst dažādu ieinteresēto pušu interesēm, novērš katrai atsevišķai modelēšanas pieejai raksturīgos trūkumus un nodrošina vispārīgu šīs sarežģītās problēmas novērtējumu.

Darba praktiskais lietojums

Šī darba praktisko nozīmīgumu iespējams attiecināt uz ieinteresētajām pusēm dažādos līmeņos, jo īpaši:

1. Valdības un reģionālā līmenī – darba rezultāti noder dažādu bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas iespēju izvērtēšanai Latvijā, Lietuvā un Igaunijā. Tā rezultāti ļauj politikas jomu izstrādātājiem un lēmumu pieņēmējiem salīdzināt dažādas alternatīvas no vides, ekonomiskā, tehniskā un sociālā viedokļa.
2. Atkritumu apsaimniekošanas un enerģētikas nozarē – ieteiktā metodika ļauj izvērtēt bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas iespējas, novērtēt bioenerģijas projektu ilgtspējību un atrast optimālu bioloģisko atkritumu apstrādes risinājumu, ņemot vērā konkrētos apstākļus.
3. Vides aizsardzības jomā – šī darba rezultāti noder bioloģisko atkritumu projektu novērtēšanai to plānošanas posmā, novērtējot to ietekmi uz vidi, kā arī īstenošanas un uzlabošanas posmā.
4. Zinātniskā līmenī – šeit piedāvāto MKA un SD kombināciju iespējams izmantot ne tikai atkritumu apsaimniekošanā, bet arī citās nozarēs, kurās lēmumi tiek pieņemti sarežģītās un dinamiskās sistēmās. Turpmākos pētījumos, kas tiks balstīti uz šo pētījumu, būtu jāņem vērā valstu robežas un pieejamās informācijas daudzums.

Aprobācija

Disertācijas darbā ietvertie rezultāti tika apspriesti un prezentēti sekojošās starptautiskās konferencēs:

1. Pubule, J., Kamenders, A., Valtere, S., Blumberga, D. Cleaner production in biowaste management // 5th International Conference “Biosystems Engineering 2014”, Igaunija, Tartu, 08.–09. maijs, 2014.
2. Pubule, J., Veidenbergs, I., Valtere, S., Kalnins, S.N., Eihvalde, D. Indicators for the assessment of biowaste treatment through anaerobic digestion // The 9th International Conference “Environmental Engineering”, Lietuva, Viļņa, 22.–23. maijs, 2014.
3. Pubule, J., Blumberga, D. An assessment of the potential and optimal method for biowaste energy production in Latvia // “Energy and Sustainability 2013”, Rumānija, Bukareste, 19.–21. jūnijs, 2013.
4. Pubule, J., Romagnoli, F., Blumberga, D. Finding an Optimal Solution for Biowaste Management System in the Baltic States // 8th Conference on “Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems”, Horvātija, Dubrovnikā, 22.–27. septembris, 2013.
5. Pubule, J., Blumberga, D., Romagnoli, F. An Assessment of the Potential and Finding the Optimal Method of Biowaste Treatment in Latvia. // 21st European Biomass Conference and Exhibition, Dānija, Kopenhāgena, 3.–7. jūnijs, 2013.
6. Pubule, J., Bergmane, I., Blumberga, D., Rošā, M. Development of an EIA Screening Phase for Biogas Projects in Latvia // “Environmental impact 2012”, Anglija, New Forest, 3.–7. jūlijs, 2012.
7. Pubule, J., Blumberga, D. Implementation and Impact Assessment of Biological Waste Management System in Latvia // The 53rd International Scientific Conference of RTU, Latvija, Rīga, 12. oktobris, 2012.
8. Pubule, J., Romagnoli, F., Blumberga, D. Improvement of Environmental Impact Assessment in the Baltic States // The 8th International Conference “Environmental Engineering” // Lietuva, Viļņa, 19.–20. maijs, 2011.
9. Pubule, J., Romagnoli, F., Blumberga, D. Analysis of Environmental Impact Assessment of Power Energy Projects in Latvia // 8th Annual Conference of Young Scientists on Energy Issues CYSENI 2011, Lietuva, Kauņa, 26.–27. maijs, 2011.

Publikācijas

1. Pubule, J., Blumberga, A., Romagnoli, F., Blumberga, D. Finding an Optimal Solution for Biowaste Management in the Baltic States // Journal of Cleaner Production (2014), doi:10.1016/j.jclepro.2014.04.053.
2. Pubule, J., Blumberga, D., Rošā, M., Romagnoli, F. Analysis of the Environmental Impact Assessment of Power Energy Projects in Latvia //

- Management of Environmental Quality: An International Journal. – Vol. 23, No. 2 (2012), p. 190-203.
3. Pubule, J., Blumberga, D. Impact Assessment of Biogas Projects in Latvia. International Journal of Sustainable Development and Planning, – Vol. 9, No. 2 (2014), p. 251-262.
 4. Pubule, J., Kamenders, A., Valtere, S., Blumberga, D. Cleaner production in biowaste management // Agronomy research. – Vol. 12, No. 2. (2014), p. 575-588.
 5. Pubule, J., Veidenbergs, I., Valtere, S., Kalnins, S.N., Eihvalde, D. Indicators for the assessment of biowaste treatment through anaerobic digestion // Proceedings of the 9th International Conference “Environmental Engineering”: Selected Papers. Vol. I: Environmental Protection, Lietuva, Viļņa, 22.–23. maijs, 2014 CD proceedings, 45 (enviro.2014.045)..
 6. Pubule, J., Blumberga, D. An assessment of the potential and optimal method for biowaste energy production in Latvia // WIT Transactions on Ecology and the Environment. – Vol. 190 (2014), p. 1067-1078.
 7. Laivina, L., Pubule, J., Rošā, M. A multi-factor approach to evaluate Environmental Impact Statements // Agronomy research. – Vol. 12, No. 1 (2014), p. 967-976.
 8. Pubule, J., Bergmane, I., Blumberga, D., Rošā, M. Development of an EIA Screening Phase for Biogas Projects in Latvia // WIT Transactions on Ecology and the Environment. – Vol. 162 (2012), p. 75-86.
 9. Pubule, J., Romagnoli, F., Blumberga, D. Finding an Optimal Solution for Biowaste Management System in the Baltic States // Conference Proceedings of the 8th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Horvātija, Dubrovnik, 22.–27. septembris, 2013. Dubrovnik, p. 0213-1.-0213-13.
 10. Pubule, J., Blumberga, D., Romagnoli, F. An Assessment of the Potential and Finding the Optimal Method of Biowaste Treatment in Latvia // Proceedings of 21st European Biomass Conference and Exhibition, Dānija, Kopenhāgena, 3.–7. jūnijs, 2013, p. 1860-1864.
 11. Rutz, D., Janssen, R., Ramanauskaite, R., Hoffstede, U., Hahn, H., Kulisic, B., Bosnjak, R., Kruhek, M., Ribic, B., Surowiec, M., Nogueira, M.A., Martins, A.S., Duarte, F., Albuquerque, M., Martins, M., Dzene, I., Niklass, M., Pubule, J., Schinnerl, D., Kalandyk, K., Zapora, D. The use of bio-waste for biomethane production in European cities // Proceedings of 20th European Biomass Conference & Exhibition, Itālija, Milāna, 18.–22. jūnijs, 2012, p. 1481-1491.
 12. Pubule, J., Romagnoli, F., Blumberga, D. Improvement of Environmental Impact Assessment in the Baltic States // Proceedings of

- the 8th International Conference “Environmental Engineering”: Selected Papers. Vol. I: Environmental Protection, Lietuva, Viļņa, 19.-20. maijs, 2011, p. 300-307.
13. Pubule, J., Romagnoli, F., Blumberga, D. Why Biodiesel is Environmentally Better than Traditional, Fossil-Based Diesel: an LCA Approach // Environmental and Climate technologies. – Vol. 7 (2011), p. 93-99.
 14. Pubule, J., Blumberga, D. Use of Benchmark Methodology in Environmental Impact Assessment // Environmental and Climate technologies. – Vol. 4 (2010), p. 91-96.
 15. Romagnoli, F., Pubule, J., Blumberga, D. Generation of Algal Biomass for Biogas Production: Energetic and And Environmental from a Life Cycle Assessment (LCA) Perspective // Progress in Biogas II – Biogas Production from Agricultural Biomass and Organic Residues, Vācija, Štutgarte, 30. marts – 1. aprīlis, 2011, p. 142-148.
 16. Pubule, J., Romagnoli, F., Blumberga, D. Analysis of Environmental Impact Assessment of Power Energy Projects in Latvia // Proceedings of 8th Annual Conference of Young Scientists on Energy Issues CYSENI 2011, Lietuva, Kauņa, 26.–27. maijs, 2011, p. 230-238.
 17. Romagnoli, F., Pubule, J., Blumberga, D. Life cycle assessment of biogas production with algae substrate // Proceedings of the 19th European biomass conference & Exhibition, Vācija, Berlīne, 6.–10. jūnijs, 2011.
 18. Romagnoli, F., Pubule, J., Blumberga, D. Life Cycle Assessment for Biodiesel Production under Latvian Climate Conditions // Proceedings of Life Cycle Management Conference (LCM 2011), Vācija, Berlīne, 28.–31. augusts, 2011, p. 1-12.
 19. Pubule, J., Zušmane, A., Bergmane, I., Rošā, M. Analysis and Improvement Facilities of Environmental Impact Assessment of Wind Energy Projects in Latvia // Environmental Protection Engineering: The 15th Conference of Lithuanian Junior Researchers “Science – Future of Lithuania: A Collection of Articles”, Lietuva, Viļņa, 12. aprīlis, 2012, p. 224-230.

Darba struktūra un apjoms

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, satur ievadu, 5 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 49 attēlus, 13 tabulas un kopā 96 lappuses. Literatūras sarakstā apkopoti 183 nosaukumi. Šajā kopsavilkumā netiek aplūkots promocijas darbā sniegtais literatūras apskats, kā arī netiek iekļauts literatūras saraksts.

1. METODOLOĢIJA

Lai sasniegtu šī pētījuma mērķi, proti, piedāvāt efektīvu kvantitatīvu mehānismu, kā izvērtēt, salīdzināt un pārbaudīt bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas alternatīvas, kuras ieinteresētās puses var izmantot atbilstoši konkrētajai situācijai, tika izveidota MKA un SD modelēšanas un MKA un KRA kombinācija.

Izstrādātā metodika bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas metožu novērtēšanai un tīrākas ražošanas principu īstenošanai bioloģisko atkritumu apsaimniekošanā ir pētīta, simulējot dažādas bioloģisko atkritumu apstrādes metodes. Pētījumā aprakstīts bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas plānošanas, ietekmes novērtējuma, īstenošanas un uzlabošanas posms.

1.1. Tīrākas ražošanas indikatoru inventarizācija

Ir svarīgi piedāvāt tādu vērtēšanas instrumentu, kas no praktiskā viedokļa atspoguļo piemērotības, konsistences, uzticamības un efektivitātes kritērijus. Šā darba ietvaros tika veikta pašreiz īstenotās atkritumu apsaimniekošanas kvantitatīvā un kvalitatīvā analīze, tika novērtēta tās ietekme uz vidi, kā arī enerģijas iegūšanas projekti tika izmēģināti praktiski. Darbā noteikti rezultātu nozīmīguma kvalitatīvie un kvantitatīvie rādītāji. Uzskaites posmā iekļauti izvēlētie kritēriji tīrākas ražošanas principu novērtēšanai bioloģisko atkritumu apsaimniekošanā.

1.2. Multikritēriju analīze

Metodikas otrajā posmā ir izmantota MKA, lai izvērtētu bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas iespējas. Lai noteiktu un izvērtētu optimālas apstrādes metodes, tika izmantots TOPSIS modelis.

1.3. Korelācijas un regresijas analīze

Inventarizācijas posmā iegūtie empīriskie dati un MKA ir apstrādāti, izmantojot divas statistikas datu apstrādes metodes: korelācijas un regresijas analīzi. Divu lielumu savstarpējās sakarības un to līdzība ir noteikta ar korelācijas analīzi. Regresijas analīze tika izmantota, lai noteiktu vairāku faktoru regresijas modeli un tā koeficientu statistisko nozīmīgumu.

Datu statistiskā analīze un vairāku faktoru empīriskā modeļa izstrāde tika veikta ar datorprogrammu *STATGRAPHICS*.

1.4. Sistēmdinamika

Lai izvērtētu bioloģisko atkritumu apstrādes iespējas, pētījumā tika izmantota sistēmas dinamikas metode.

Pētījuma gaitā tika izveidota gan MKA, gan SD modelēšanas kombinācija. Vairāku kritēriju (ilgtspējības) analīze ļauj novērtēt un noteikt

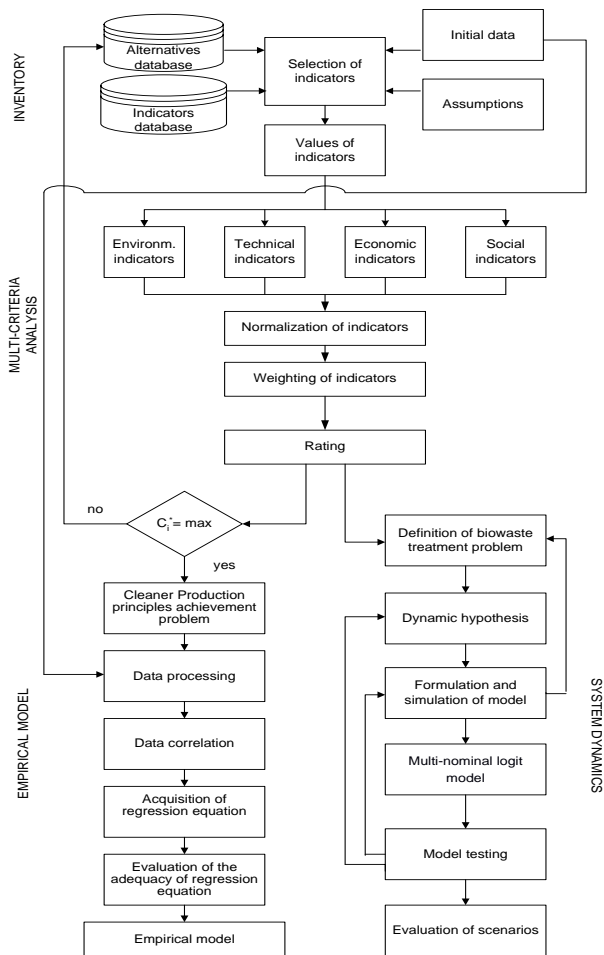
dažādu tehnoloģiju prioritātes no tehniskā, ekoloģiskā, ekonomiskā un sociālā viedokļa.

MKA pamatā ir lēmumi, kas ietekmē vietēja mēroga problēmas. Ar to netiek novērtēta šo lēmumu ietekme uz sistēmu kopumā, turklāt MKA nav iespējams izmantot, lai izteiktu prognozes vai paredzējumus. Tā kā šajā metodē netiek ņemtas vērā sistēmas dinamiskās izmaiņas laika gaitā, to (sistēmu) nav iespējams kontrolēt. Pētāmās problēmas uzbūves analīze ir svarīga, lai izprastu sistēmas darbības iemeslus un izstrādātu darbības plānu situācijas pārvaldībai. Šajā brīdī priekšrocības MKA sniedz SD modeļēšanas pieeja.

Tā kā lēmumu pieņēmējiem parasti jāizskata liels daudzums sarežģītu datu, MKA ir ļoti vērtīga metode lēmumu pieņēmējiem un citiem, jo tā ļauj izveidot optimālo darbības plānu. SD modeļēšana palīdz lēmumu pieņēmējiem saprast šīs sistēmas.

MKA un SD metožu iekļaušana var palīdzēt strukturēt sarežģītas problēmas, atbilst dažādu ieinteresēto pušu interesēm, ļauj novērst katrai atsevišķai modeļēšanas pieejai raksturīgos trūkumus un veikt vispārīgu sarežģītu problēmu novērtējumu. Sistēmas dinamika pārvērš MKA iegūtos rezultātus matemātiskā atkritumu apsaimniekošanas modelī, kas ļauj paredzēt sistēmas darbību laika gaitā.

Izstrādātā metodika bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas metožu novērtēšanai un tīrākas ražošanas principu īstenošanai bioloģisko atkritumu apsaimniekošanā ir pētīta, simulējot dažādas bioloģisko atkritumu apstrādes metodes. Darbā izmantotais algoritms ir redzams 1. attēlā (sk. nākamo lpp.).



1. att. Metodoloģiskais algoritms

2. TĪRĀKAS RAŽOŠANAS INDIKATORU IDENTIFIKĀCIJA UN ANALĪZE

Lai izstrādātu bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas iespējas, tika izmantota citu valstu pieredze, kā arī analizētas dažādas bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas metodes. To vidū bija mehāniski bioloģiskā

apstrāde, sadedzināšana, biogāzes ražošana, atkritumu bioloģiskā noārdīšana reaktoros, anaerobā pārstrāde, kompostēšana un pirolīze.

Pētījuma gaitā tika analizētas septiņas metodes, kas tika uzskatītas par piemērotām situācijai Baltijas valstīs:

1. Dalīti savākto bioatkritumu anaerobā pārstrāde.
2. Dalīti savākto bioatkritumu kompostēšana.
3. Mehāniski bioloģiskā pārstrāde ar mehāniski bioloģisko pirmsapstrādi un anaerobo pārstrādi.
4. Mehāniski bioloģiskā pārstrāde ar mehāniski bioloģisko pirmsapstrādi un kompostēšanu.
5. Sadedzināšana ar enerģijas atgūšanu.
6. Sadedzināšana bez enerģijas atgūšanas.
7. Atkritumu apglabāšana poligonos, iegūstot un izmantojot atkritumu gāzi.

Piecos minētajos gadījumos tiek izmantota esošā atkritumu savākšanas un transportēšanas sistēma nešķirotiem sadzīves atkritumiem un reģionāla mēroga atkritumu poligoniem. Pašlaik atsevišķās teritorijās joprojām nav izveidota dalīta bioloģisko atkritumu savākšanas sistēma no mājāsaimniecībām. Lai bioloģisko atkritumu apstrādes procesā saražotu tīru materiālu, jāizstrādā dalīta bioloģisko atkritumu savākšanas sistēma. Divi no piedāvātajiem scenārijiem paredz dalītu bioatkritumu savākšanas un transportēšanas sistēmu.

2.1. Bioatkritumu apsaimniekošana Baltijas valstīs

Eiropas Savienība ir noteikusi mērķi samazināt atkritumu poligonos apglabāto bioloģiski noārdāmo atkritumu daudzumu. Eiropas Savienības valstīm jāievēro nosacījumi, kas minēti Direktīvā 1999/31/EK par atkritumu poligoniem un Direktīvā 2006/12/EK par atkritumiem, lai samazinātu bioloģiski noārdāmo atkritumu īpatsvaru attiecībā pret cieto sadzīves atkritumu daudzumu. Dalībvalstīm jāievēro arī nosacījumi, kas minēti Direktīvā 2009/28/EK par atjaunojamajiem energoresursiem.

Pēdējo desmit gadu laikā tiek izcelta nepieciešamība rast atkritumu apsaimniekošanas iespējas, kas nav saistītas ar cieto sadzīves atkritumu apglabāšanu atkritumu poligonos, tomēr 2010. gadā atkritumu poligonos apglabāto cieto sadzīves atkritumu īpatsvars 16 ES valstīs pārsniedza 50%. Eiropas valstu (un citu attīstīto valstu) atkritumu apsaimniekošanas politika tika vērsta uz bioloģisko atkritumu īpatsvara samazināšanu atkritumu poligonos. Daudzās Eiropas valstīs liela daļa bioloģisko atkritumu nonāk poligonos kopā ar nešķirotiem cietajiem sadzīves atkritumiem. Tādējādi atkritumu apsaimniekošanas rezultātā radīto siltumnīcefekta gāzu daudzums ir sasniedzis līdz šim augstāko līmeni. Tajā pašā laikā cieto sadzīves

atkritumu otrreizējā pārstrāde pēdējos gados ir ievērojami palielinājusies. Otrreizējās pārstrādes rādītāji ir pieauguši ne tikai atkritumu pārstrādes dēļ, bet zināmā mērā arī bioloģisko atkritumu pārstrādes rezultātā. Tomēr, lai ierobežotu atkritumu apglabāšanu saskaņā ar Atkritumu pamatdirektīvā minēto atkritumu apsaimniekošanas hierarhiju, bioloģisko atkritumu apsaimniekošana joprojām ir jāpilnveido.

Baltijas valstīs ir salīdzinoši līdzīgs klimats un ģeogrāfiskie apstākļi. Tās ir līdzīgas arī teritorijas lieluma un iedzīvotāju skaita ziņā. Latvija un Lietuva ir tautsaimniecības ar vidējiem ienākumiem. Igaunija 2006. gadā kļuva par tautsaimniecību ar augstiem ienākumiem. Baltijas valstīs ir līdzīgs sociālais stāvoklis un izaugsmes modeļi, taču to enerģētikas nozarēs ir nelielas atšķirības. Galvenie atjaunojamie energoresursi ir koksne un ūdens. Jaunāko ES dalībvalstu vidū elektroenerģijas patēriņa ziņā no atjaunojamajiem energoresursiem Latvijai ir visaugstākais rādītājs.

Pēdējo 20 gadu laikā visā reģionā ir ieviestas atkritumu apsaimniekošanas sistēmas. Ir izveidoti atkritumu poligoni un izstrādāts tiesiskais regulējums. Pašlaik Baltijas valstīs ir 25 atkritumu apsaimniekošanas reģioni un 27 cieta sadzīves atkritumu poligoni. Reģionā ir izstrādāta arī atkritumu apsaimniekošanas sistēma, taču tajā joprojām nepieciešami ievērojami uzlabojumi.

Latvijā lielākā daļa cieta sadzīves atkritumu joprojām nonāk atkritumu poligonos. Lietuvā šis rādītājs ir vairāk nekā 90%, bet Igaunijā – vairāk nekā 75%. Atkritumu apsaimniekošanas sistēma Lietuvā reģionālā līmenī ir mazāk attīstīta, jo cieta sadzīves atkritumu savākšanas shēma neaptver visu valsts teritoriju, un no visiem cietajiem sadzīves atkritumiem tiek pārstrādāti tikai 5%. Lietuvā 2013. gadā tika ieviests atkritumu apglabāšanas nodoklis. Iepriekšējos gados atkritumu apglabāšanas nodokļa nepiemērošana un salīdzinoši zemas atkritumu apsaimniekošanas cenas un apglabāšanas tarifi Lietuvā neveicināja otrreizēju pārstrādi un pirmsapstrādi. Latvijā 2010. gadā tika pārstrādāti tikai 9% cieta sadzīves atkritumu, bet tikai 1% bioloģisko materiālu tika pārstrādāts bioloģiski (komposts un cita veida bioloģiskā apstrāde).

Igaunijai ir labākā atkritumu apsaimniekošanas sistēma reģionā. 2010. gadā tajā tika pārstrādāti 20% cieta sadzīves atkritumu. Valstī ir izveidota liela mēroga kompostēšanas sistēma un atsevišķa bioloģisko atkritumu savākšanas kārtība.

Baltijas valstīs nav izveidota augsti attīstīta atsevišķa bioloģisko atkritumu savākšanas un apstrādes sistēma. Vienīgā Baltijas valstīs izmantotā bioloģisko atkritumu samazināšanas metode ir kompostēšana. Atkritumu apsaimniekošanas sistēmas izstrādes procesā vairāki atkritumu poligoni apsaimniekotāji Latvijā izveidoja kompostēšanas iekārtas.

Kompostēšanas iekārtu izveides mērķis bija samazināt apglabājamo bioloģisko atkritumu daudzumu. Diemžēl izrādījās, ka šo kompostēšanas vietu potenciāls netiek izmantots pilnībā. Daļēji tas ir saistīts ar to, ka sagatavotais materiāls tirgū nav pieprasīts. Tas ir arī tādēļ, ka nav noteiktas administratīvās pilnvaras, bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas iekārtas netiek pietiekami kontrolētas un netiek ievēroti noteikumi. Ņemot vērā visus šos faktorus, ir steidzami nepieciešamas alternatīvas metodes atkritumu poligonos izgāzto bioloģisko atkritumu daudzuma samazināšanai. Nesen Lietuvā un Latvijā tika pabeigta atkritumu sadedzināšanas iekārtu būvniecība.

2.1. Bioatkritumu apsaimniekošanas indikatori

Lai izvērtētu dažādas apsaimniekošanas metodes, tika noteikti tehniski, ar vides aizsardzību saistīti, ekonomiski un sociāli indikatori. Šie indikatori tika noteikti, izpētot literatūras avotus un apskatot šīs jomas speciālistu viedokļus. Bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas iespēju izvērtēšanā tika izmantoti divpadsmit galvenie indikatori.

1.tabula. Indikatori, kas tiek izmantoti bioatkritumu apsaimniekošanas scenāriju novērtēšanai

Dimensija	Indikators	Vienība	Vēlamais iznākums
Vides	SEG emisijas	t / t atkritumu	Min
	Noplūdes	m ³ /t atkritumu	Min
	Ūdens patēriņš	m ³ /t atkritumu	Min
	Fosilo resursu aizvietošana	%	Max
Tehniskie	Biogāzes izstrāde	m ³ /t atkritumu	Max
	Elektroenerģijas pašpatēriņš	kWh/t atkritumu	Min
	Elektroenerģijas izstrāde	kWh/t atkritumu	Max
	Siltumenerģijas izstrāde	kWh/t atkritumu	Max
Economiskie	Ekspluatācijas izmaksas	€/t atkritumu	Min
	Kapitālās izmaksas	€/t atkritumu	Min
	Ārējās vides degradācijas izmaksas	€/t atkritumu	Min
Sociālie	Sabiedrības līdzdalība un pieņemšana	%	Max

Vides indikatori ir siltumnīcefekta gāzes, noplūdes, ūdens izmantošana un fosilā kurināmā aizvietošana. Indikatoru vērtības iegūtas gan no literatūras avotiem, gan no Latvijas atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumiem. Tehniskie indikatori aptvēra biogāzes izstrādi, elektroenerģijas pašpatēriņu, elektroenerģijas izstrādi un siltumenerģijas izstrādi. Rādītāji tika ņemti gan no literatūras avotiem, gan no Latvijas atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumiem. Ekonomiskajiem rādītājiem tika

izmantoti Eiropas Komisijas dati par Lietuvu, Latviju un Igauniju. Sociālie rādītāji tika noteikti, balstoties uz speciālistu viedokli.

Lai atrastu vislabāko alternatīvu (sk. 2. tabulu), pētījuma laikā tika apskatītas un salīdzinātas septiņas bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas metodes.

2. tabula. Bioatkritumu apsaimniekošanas scenāriji

Apzīmējums	Bioatkritumu apsaimniekošanas prakse
A ₁	Dalīti savākto bioatkritumu anaerobā pārstrāde
A ₂	Dalīti savākto bioatkritumu kompostēšana
A ₃	Mehāniski bioloģiskā pārstrāde ar mehāniski bioloģisko pirmsapstrādi un anaerobo pārstrādi
A ₄	Mehāniski bioloģiskā pārstrāde ar mehāniski bioloģisko pirmsapstrādi un kompostēšanu
A ₅	Sadedzināšana ar enerģijas atgūšanu
A ₆	Sadedzināšana bez enerģijas atgūšanas
A ₇	Atkritumu apglabāšana poligonos, iegūstot un izmantojot atkritumu gāzi

Šie rādītāji ir jāanalizē visos projekta izstrādes posmos, sākot no plānošanas un ietekmes uz vidi novērtējuma un beidzot ar projekta īstenošanu un uzlabojumiem. Minētie indikatori ir jāanalizē nepārtraukti.

Ierosinātos indikatorus iespējams izmantot, izvērtējot bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas projektu ietekmi uz vidi, jo īpaši sākotnējā izvērtējuma posmā. Šie rādītāji palīdz noteikt galvenos nosacījumus tīrākas ražošanas principu ieviešanai bioloģisko atkritumu apsaimniekošanā.

3. REZULTĀTI UN TĪRĀKAS RAŽOŠANAS PRINCIPU INTEGRĒŠANAS BIOLOĢISKO ATKRITUMU APSAIMNIEKOŠANĀ METODES APROBĀCIJA

3.1. Multikritēriju analīzes rezultāti

Multikritēriju analīze tiek izmantota, lai atklātu kompromisus sarežģītu politikas plānošanas problēmu risināšanā, piemēram, atkritumu apsaimniekošanā. MKA metodes priekšrocība ir tāda, ka tādējādi ir iespējams izmantot vēlamo alternatīvu no vairākām noteiktajām izvēles iespējām. MKA pētīšanai ir izmantoti vairāki instrumenti, tomēr joprojām trūkst pētījumu par papildu vides izvērtēšanas instrumentu kombinēšanu atkritumu apsaimniekošanā.

Multikritēriju analīzes metode pamatā sastāv no kritēriju kopuma svērtās summas. Patiesībā šī ir diezgan ātra un vienkārša metode, kas tiek izmantota vairākos pētījumos saistībā ar enerģijas atgūšanu no dažāda veida atkritumiem un dažādu atjaunojamo energoresursu sistēmu ilgtspējības

novērtējumā. Visa procesa būtība ir optimizācija, kas balstīta uz vienkāršu vairāku mērķu kopumu. Tās ietvaros noteiktie kritēriji ir sašaurināti līdz vienam mērķim, izmantojot izvērtēšanas procedūru, ar kuru tiek noteikta tā relatīvā nozīme, katru kritēriju sareizinot ar svēršanas faktoru.

Multikritēriju analīzē šī kritēriju kategoriju izvēle ir ļoti svarīga, jo kvantitatīvais izvērtējums jāveic saskaņā ar atsaucies rādītājiem. Tikai tādā veidā iespējams noskaidrot katra kritērija ietekmi.

Lai izvērtētu un noteiktu optimālas apstrādes metodes, tika izmantots TOPSIS modelis. Šīs metodes būtība ir palīdzēt tādu lēmumu pieņemšanā, kuros jāizvērtē vairāki kritēriji, sarindojot alternatīvas pēc tā, cik ļoti tās atbilst ideālajam risinājumam.

Bioloģisko atkritumu apstrādes prakses (1. tabula) izvērtēšanai tika izvēlēti divpadsmit kritēriji no četrām ietekmes sfērām.

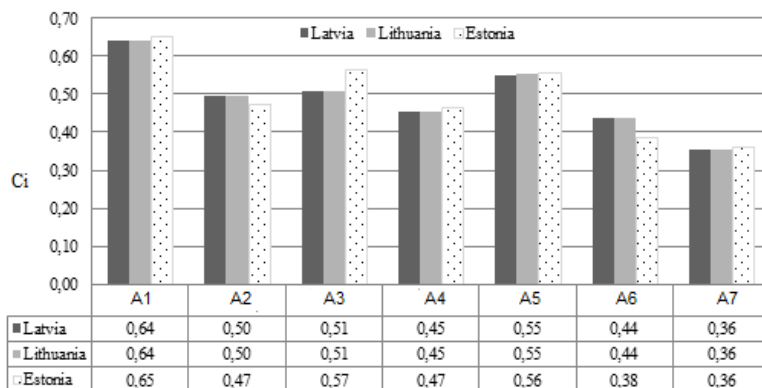
Kritēriju svērtās vērtības (w_1, w_2, \dots, w_m) visām trijām Baltijas valstīm ir vienādas, un tās noteikuši speciālisti. Normalizētās un svērtās vērtības lēmumu pieņemšanas procesā bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas iespēju izvērtēšanai Latvijā, Lietuvā un Igaunijā attēlotas 3. tabulā.

3. tabula. Normalizēta un svērtā lēmumu pieņemšanas matrica

Criterion	Environmental dimension				Technical dimension			
	GHG emissions	Leakage	Fossil fuel substitution	Water usage	Biogas production	Energy consumption	Energy production	Heat production
Altern.	w_1b_{1i}	w_2b_{2i}	w_3b_{3i}	w_4b_{4i}	w_5b_{5i}	w_6b_{6i}	w_7b_{7i}	w_8b_{8i}
A ₁	0.0234	0	0.0563	0.07	0	0.0124	0.0444	0.075
A ₂	0.0234	0	0.1	0	0.1	0.0357	0.1	0.1
A ₃	0.0613	0	0.0753	0.025	0.0318	0.0267	0.0678	0.086
A ₄	0.0613	0	0.1	0	0.1	0.01236	0.1	0.1
A ₅	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0
A ₆	0	0	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.1
A ₇	0.2	0.07	0.0847	0.026	0.0818	0	0.0949	0.098

Criterion	Economical dimension						Social dimension			
	Operational costs $w_{10}b_{10}$			Capital costs $w_{11}b_{11}$			External environ. damage costs $w_{12}b_{12}$	Social participation and acceptance $w_{13}b_{13}$		
Altern.	Latvia	Lithuania	Estonia	Latvia	Lithuania	Estonia	$w_{12}b_{12}$	Latvia	Lithuania	Estonia
A ₁	0.1	0.1	0.1	0.0476	0.0479	0.0481	0.0305	0.0333	0.0333	0.02
A ₂	0.013	0.013	0.0125	0.001	0.001	0.001	0	0.0167	0.0167	0.06
A ₃	0.1	0.1	0.1	0.0476	0.0479	0.0481	0.0305	0.0833	0.0833	0
A ₄	0.0391	0.0391	0.0396	0.0107	0.0109	0.011	0	0.0667	0.0667	0.04
A ₅	0.0652	0.0652	0.0667	0.1	0.0963	0.0961	0.0089	0.05	0.05	0.04
A ₆	0.0696	0.0739	0.0708	0.0962	0.1	0.1	0.0254	0	0	0.1
A ₇	0	0	0	0	0	0	0.12	0.1	0.1	0.08

Bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas iespējas Latvijā, Lietuvā un Igaunijā tika izvērtētas, izmantojot TOPSIS metodi. Iegūtie rezultāti liecina, ka optimālais risinājums visās trijās Baltijas valstīs ir dalīta atkritumu savākšana ar anaerobo pārstrādi (A_1) un šis ir relatīvi tuvākais variants ideālajam risinājumam (C_i). Saskaņā ar TOPSIS analīzes rezultātiem Latvijā un Lietuvā pastāv vēl divas iespējas. Tā ir sadedzināšana ar enerģijas atgūšanu un mehāniski bioloģiskā apstrāde ar anaerobo pārstrādi. Otrs labākais risinājums Igaunijā ir mehāniski bioloģiskā apstrāde ar anaerobo pārstrādi, kurai tūlīt seko sadedzināšana ar enerģijas atgūšanu (sk. 2. attēlu). Visām šīm metodēm ir visaugstākais vērtējums. Piemērotāko no šīm metodēm iespējams izvēlēties atkarībā no dažādiem vietēja mēroga faktoriem, tostarp lēmumu pieņēmēju izvēles un nepieciešamajām prasmēm īpašas bioloģisko atkritumu apstrādes prakses ieviešanai. Atkritumu apglabāšana poligonos ir visnevēlamākais variants visās trijās valstīs.



2. att. Iegūto vērtību salīdzinājums

3.2. Multifaktoru empīriskā modeļa rezultāti

Pētījuma gaitā tika analizēta tīrākas ražošanas principu ievērošanas problēma un izveidots multifaktoru empīriskais modelis. Galvenais vairāku faktoru empīriskā modeļa izveides mērķis bija noteikt regresijas vienādojumu, ar ko pēc tam varētu noteikt siltumnīcefekta gāzu samazinājumu.

Ņemot vērā esošas bioloģisko atkritumu apstrādes iekārtas, tika izveidota un izanalizēta arī datubāze. Pētījuma laikā esošajās iekārtās tika apskatīti iepriekš minētie tīrākas ražošanas rādītāji un parametri.

Darba izstrādes laikā tika analizēti indikatori dalīti savāktu bioatkritumu anaerobās pārstrādes novērtēšanai. SEG emisiju samazinājums ir viens no būtiskākajiem ieguvumiem, kas saistīts ar atjaunojamo enerģijas resursu un atkritumu izmantošanu. Tādēļ jāveic datu par SEG emisiju samazinājumu statistiskā analīze un jānosaka būtiskākie raksturojošie faktori un neatkarīgie parametri. Jādefinē regresijas vienādojums, kas raksturo sakarību starp SEG emisiju samazinājumu un parametriem, kas to ietekmē.

Mērķis ir, ar vienfaktora lineāru modeļu palīdzību veicot korelācijas analīzi, noskaidrot parametru saistību, lai izvēlētos regresijas vienādojuma veidu. Neatkarīgo un atkarīgo gadījuma mainīgo lielumu savstarpējās saites ciešumu (korelāciju) var novērtēt ar korelācijas koeficienta palīdzību. Viena faktora matemātiskā modeļa gadījumā tā aplēsēm izmanto Pīrsona izteiksmi,

$$r = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(m-1)S_x * S_y}, \quad (1)$$

kur

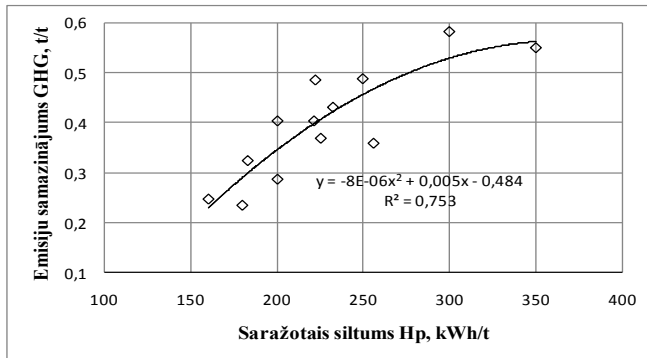
- x_i, y_i – neatkarīgie un tiem atbilstoši atkarīgo lielumu pāri;
- \bar{x}, \bar{y} – neatkarīgo un atkarīgo lielumu vidējās aritmētiskās vērtības;
- S_x, S_y – lielumu izlases dispersijas.

Ar korelācijas koeficientu palīdzību darbā vērtēts, cik precīzi ir korelācijas ciešumu raksturojošie matemātiskie modeļi. Pieņemts, ka korelācija ir laba, ja korelācijas koeficienti ir robežās no 0,8 līdz 0,9. Jāatzīmē, ka datu statistiskās apstrādes datorprogrammās parasti rēķina korelācijas koeficienta kvadrātu. Ja R^2 vērtību reizina ar 100, tad iegūst lielumu (procentos), kurš raksturo ar iegūto empīrisko vienādojumu aprakstītas analizējamo atkarīgo mainīgo lielumu izmaiņas. Piemēram, $R^2 = 0,9$ norāda, ka aplūkojamais regresijas vienādojums raksturo 90% no atkarīgo gadījuma lielumu izmaiņām.

Darbā iekārtas darbības analīzei aplūkota korelācija starp siltumnīcefekta gāzu samazinājumu GHG un parametriem.

- Biogāzes izstrāde B_g uz tonnu bioloģisko atkritumu, m^3/t ;
- Elektroenerģijas pašpatēriņš E_{ec} uz tonnu bioloģisko atkritumu, kWh/t;
- Elektroenerģijas izstrāde E_{ep} uz tonnu bioloģisko atkritumu, kWh/t;
- Siltumenerģijas izstrāde H_p uz tonnu bioloģisko atkritumu, kWh/t;
- Fosilā kurināmā (dabas gāzes) aizvietošana, izmantojot biogāzi F_{fs} , %.

Zemāk parādīti tikai tie grafiki, kuros vērojama korelācija starp atkarīgo mainīgo lielumu un neatkarīgiem parametriem. Siltumnīcefekta gāzu samazinājuma GHG izmaiņas atkarībā no ar biogāzi saražotās siltumenerģijas atspoguļotas 3. attēlā.



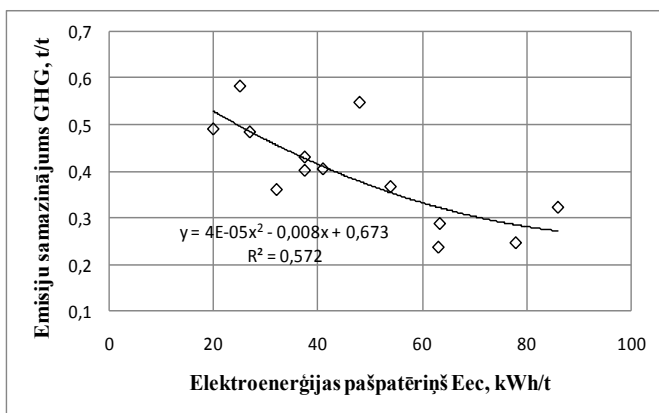
3. att. Siltumnīcefekta gāzu samazinājums atkarībā no saražotās siltumenerģijas

Attēlā ir redzams, ka vērojama laba aplūkojamo lielumu savstarpējā korelācija. Analīzē noteiktā korelācijas koeficienta kvadrāta vērtība $R^2 = 0,75$ un korelācijas koeficients $R = 0,87$. Sakarība starp lielumiem ir nelineāra, un to izsaka vienādojums:

$$GHG = -8E - 06.Hp^2 + 0,005.Hp - 0,484 \quad (2)$$

Vienādojums (2) skaidro 75% no aplūkojamo datu izmaiņām, un to var izmantot aptuveni aprēķiniem. 25% no siltumnīcefekta gāzu samazinājuma skaidrojamas ar citu parametru ietekmi.

Datu korelācijas analīze rāda, ka vērojama zināma korelācija starp siltumnīcefekta gāzu samazinājumu un GHG iekārtas darbināšanas elektroenerģijas pašpatēriņu E_{ec} . Lielumu izmaiņas vērojamas 4. attēlā (sk. nākamo lpp.).



4. att. Siltumnīcefekta gāzu samazinājums atkarībā no elektroenerģijas pašpatēriņa

Aplūkojamo lielumu savstarpējo korelāciju raksturo korelācijas koeficienta kvadrāta vērtība $R^2 = 0,57$ un korelācijas koeficients $R = 0,75$. Sakarība starp lielumiem ir nelineāra, un to izsaka vienādojums:

$$GHG = 4E - 05.Eec^2 - 0,008.Eec + 0,673 \quad (3)$$

Tā kā lielumu savstarpējā korelācija ir sliktāka, tad vienādojums (3) skaidro tikai 57% no aplūkojamo datu izmaiņām. Lielāka ir arī citu parametru ietekme – 43% no vērojama siltumnīcefekta gāzu samazinājuma. Aplūkojot citu parametru korelāciju, noteikts, ka vērā ņemama korelācija vērojama vēl siltumnīcefekta gāzu samazinājumam atkarībā no saražotās elektroenerģijas Eep. Tāpēc turpmākā daudzfaktoru regresijas analīzē aplūkota atkarīgā mainīgā lieluma siltumnīcefekta gāzu samazinājuma izmaiņas atkarībā no trim faktoriem – elektroenerģijas pašpatēriņa, saražotās elektroenerģijas un saražotās siltumenerģijas.

$$GHG = f(Eec; Eep; Hp) \quad (4)$$

Veiktā datu korelācijas analīze atvieglo turpmāko regresijas analīzi, jo noskaidrota faktoru kopa, kura jāiekļauj daudzfaktoru regresijas vienādojumā.

Regresijas analīzes mērķis ir iegūt daudzfaktoru empīrisku vienādojumu, kas kvantitatīvi aprakstītu siltumnīcefekta gāzu emisiju samazinājumu atkarībā no biogāzes izmantošanas iekārtu darbībai

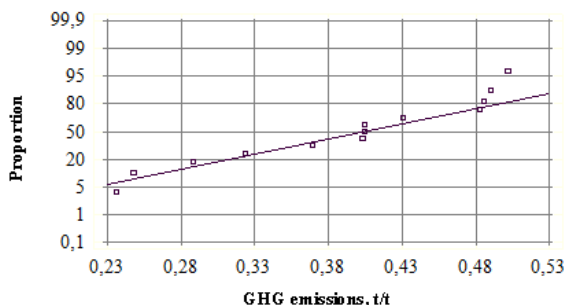
raksturīgajiem un statistiski nozīmīgajiem rādītājiem un kalpotu par pamatu emisiju samazinājuma prognozei un izvērtējumam.

Regresijas analīze nosaka gadījuma lielumu izmaiņu precīzus kvantitatīvus parametrus, t.i., ar funkcionālām sakarībām izsaka stohastiskās saites nozīmību.

Darbā regresijas analīze veikta šādā secībā:

Regresijas analīzes rezultāti ir korekti, ja tiek ievēroti tās lietojumam nepieciešamie noteikumi. Noteikumu skaits ir liels, un ne vienmēr praksē tos iespējams ievērot pilnā apjomā. Regresijas analīzes lietojuma galvenie nosacījumi ir vairāki. Regresijas analīzes lietojums ir korekts gadījumā, ja atkarīgais mainīgais lielums (siltumnīcefekta gāzu emisiju GHG samazinājums) pakļaujas normālam sadalījuma likumam. Šī prasība nav spēkā attiecībā uz neatkarīgajiem mainīgajiem lielumiem. Sacītais nozīmē to, ka analīze sākas ar atkarīgo mainīgo lielumu sadalījuma noteikšanu un analīzi var turpināt, ja sadalījums atbilst normālam sadalījuma likumam.

Sadalījuma likuma pārbaudes rezultāti redzami 5. attēlā. Normālo sadalījuma likumu logaritmiskajās koordinātēs grafiski attēlo taisne. Kā redzams 5. attēlā, analizējamie dati grafikā ir izvietoti tuvu taisnei. Ir vērojamas novirzes pie mazām un lielām jaudas vērtībām. Tas nozīmē, ka sadalījums ir tuvs normālajam sadalījuma likumam un regresijas analīzes lietojums ir pamatots.



5. att. Siltumnīcefekta emisiju vērtību sadalījums

Veidojot empīriskus modeļus regresijas vienādojuma veidā, vienmēr ir jārisina vairāki būtiski jautājumi: vai modelī ir iekļauti visi neatkarīgie mainīgie, kas raksturo aplūkojamo parādību, un vai modelī nav iekļauti lieki, mazsvarīgi mainīgie lielumi, tā padarot modeli nevajadzīgi sarežģītu. Atbildi uz šiem jautājumiem sniedz izveidotajā modelī iekļauto lielumu statistiskās nozīmības novērtējums un modeļa dispersijas analīze.

Darbā noteiktajā regresijas vienādojumā nav iekļauti neatkarīgo mainīgo dubultās un trīskāršās mijiedarbības efekti, un tā izteiksme ir:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + bx = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i, \quad (5)$$

kur

- y – atkarīgais mainīgais lielums;
- b_0 – regresijas brīvais loceklis;
- $b_1 \dots b_n$ – regresijas koeficienti;
- $x_1 \dots x_n$ – neatkarīgie mainīgie lielumi.

Izteiksmei (1) atbilstošais datu statistiskās apstrādes rezultātā iegūtais regresijas vienādojums ietver statistiski nozīmīgus neatkarīgos mainīgos:

$$GHG = b_0 + b_1.Eec + b_2.Eep + b_3.Hp \quad (6)$$

kur

- Eec – elektroenerģijas pašpatēriņš;
- Eep – saražotā elektroenerģija;
- Hp – saražotā siltumenerģija.

Regresijas vienādojuma koeficientu vērtības un to statistiskais novērtējums atspoguļots 1. tabulā.

4.tabula. Regresijas vienādojuma koeficienti un to novērtējums

Koeficienti b_i	Vērtības	t statistika	P vērtība
Constant b_0	0,2874	3,3968	0,0079
Coefficient b_1	-0,00242	-3,6296	0,0056
Coefficient b_2	0,000257	2,644	0,0998
Coefficient b_3	0,000653	2,225	0,0531

Datu apstrādē izvēlēts nozīmības līmenis $P=0,1$, kas atbilst ticamības varbūtībai 0,90. Regresijas vienādojuma (6) koeficientu $b_0 \dots b_n$ statistiskās nozīmības novērtēšanai izmanto t kritēriju, kuram ir Stjudenta sadalījums ar f brīvības pakāpēm:

$$f = m - (n + 1), \quad (7)$$

kur

- m – analizējamo datu kopas apjoms;
- n – neatkarīgo mainīgo skaits regresijas vienādojumā.

Brīvības pakāpe ir:

$$f = m - (n + 1) = 13 - (3 + 1) = 9$$

Šiem lielumiem atbilstošā t kritērija vērtība no Studenta sadalījuma tabulām ir $t_{\text{tab}} = 1,9$. Kā redzams 4. tabulā, visos gadījumos ir spēkā sakarība $I t > t_{\text{tab}}$. Tas nozīmē, ka visi parametri ir būtiski un saglabājami vienādojumā.

Izpētes rezultātā ir iegūts regresijas vienādojums, kas nosaka siltumnīcefekta gāzu emisiju GHG samazinājumu atkarībā no biogāzi izmantojošo iekārtu elektroenerģijas pašpatēriņa E_{ec} , no saražotās elektroenerģijas E_{ep} un saražotās siltumenerģijas H_p :

$$GHG = 0,2874 - 0,00241 \cdot E_{\text{ec}} + 0,000257 \cdot E_{\text{ep}} + 0,000653 \cdot H_p \quad (8)$$

Izveidotā empīriskā modeļa datu statistiskās apstrādes rezultātā noteiktā R^2 vērtība ir 0,86. Tas nozīmē, ka izveidotais modelis (8) skaidro 86 % no analizējamo datu izmaiņām. Pārējie 14% attiecināmi uz vienādojumā neiekļauto vai darbā nedefinēto neatkarīgo mainīgo vai to savstarpējās iedarbības efektu rēķina.

Vienādojuma (8) adekvātuma novērtējumu veic ar dispersijas analīzes palīdzību, izmantojot Fišera kritēriju F . Šim nolūkam aplūko atkarīgā mainīgā lieluma dispersijas attiecību pret atlikuma dispersiju:

$$F(f_1, f_2) = \frac{S_y^2(f_1)}{S_{\text{atl}}^2(f_2)}, \quad (9)$$

kur

$S_y^2(f_1)$ – atkarīgā mainīgā lieluma y dispersija;

$S_{\text{atl}}^2(f_2)$ – atlikuma dispersija.

Atlikumu nosaka kā starpību starp atkarīgo mainīgā lielumu un ar regresijas vienādojuma palīdzību aprēķināto vērtību $y_i - y_i^{\text{apr}}$.

Ar datorprogrammas veiktās dispersijas analīzes palīdzību noteiktā vērtība ir $F = 19,16$. Iegūto lielumu salīdzina ar kritērija tabulas vērtību, ko nosaka, izmantojot brīvības pakāpju vērtības:

$$f_1 = m - 1 = 13 - 1 = 12 \quad \text{un} \quad f_2 = m - n = 13 - 3 = 10$$

Fišera kritērija tabulas vērtība ir $F_{\text{tab.}} = 2,9$. Kā redzams, ir spēkā sakarība $F > F_{\text{tab.}}$, un tas nozīmē, ka vienādojums (8) ir adekvāts un lietojams analizējamo datu aprakstam to izmaiņu robežās:

- siltumnīcefekta gāzu emisiju GHG samazinājumam no 0,24 līdz 0,68 t/t bioloģisko atkritumu;
- biogāzi izmantojošo iekārtu elektroenerģijas pašpatēriņam E_{ec} no 20 līdz 86 kWh/t bioloģisko atkritumu;
- saražotās elektroenerģijas E_{ep} apjomam no 146 līdz 380 kWh/t bioloģisko atkritumu;
- saražotās siltuma enerģijas H_p apjomam no 160 līdz 350 kWh/t bioloģisko atkritumu.

Pēc regresijas vienādojuma noteikšanas ir iespējams veikt regresijas analīzes korekta lietojuma noteikumu pārbaudi ar virknes citu rādītāju palīdzību. Tie ir autokorelācija, multikolinearitāte un heteroscedasticitāte.

Autokorelācijas pārbaude. Izmantojot Durbina–Watsona testu, datu statistiskās apstrādes un datu analīzes gaitā ir noteikts DW kritērijs. Tā vērtība ir 1,7, un tā ir lielāka par robežvērtību 1,4. Tas nozīmē, ka nav vērojama būtiska atlikumu autokorelācija un analīzes gaitā ar mazāko kvadrātu metodi veiktie lielumu novērtējumi nav izkropļoti.

Multikolinearitātes pārbaude. Darbā pārbaude veikta, analizējot regresijas vienādojuma aprēķināto koeficientu korelācijas matricu, kas parādīta 5. tabulā.

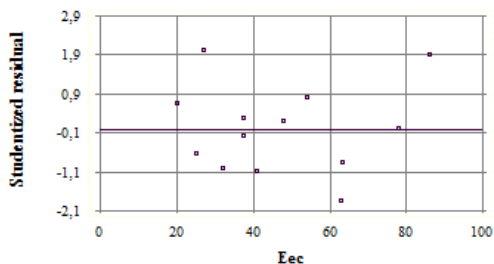
5. tabula. Regresijas vienādojuma koeficientu korelācijas matrica

Koeficients	Konstante	E_{ec}	E_{ep}	H_p
Konstante	1,0000	-0,7828	-0,1487	-0,7830
E_{ec}	-0,7828	1,000	0,0111	0,4978
E_{ep}	-0,1487	0,0111	1,000	-0,4207
H_p	-0,7830	0,4978	-0,4207	1,000

Regresijas vienādojuma koeficientu korelācijas matricas analīze rāda, ka starp koeficientiem un arī neatkarīgajiem mainīgajiem lielumiem nav būtiskas korelācijas. Par to liecina korelācijas koeficienta zemās vērtības 5. tabulā. Tabulā vērojamas vērtības ir zemākas vai tuvu 0,5, kas nozīmē, ka regresijas vienādojuma koeficientu novērtējums ir korekts.

Heteroscedasticitātes pārbaude darbā veikta, grafiski pārbaudot atlikumu sadalījumu atkarībā no biogāzi izmantojošo iekārtu elektroenerģijas pašpatēriņa E_{ec} . Ja grafikos vērojams variāciju pieaugums (punkti veido trīsstūri vai ķīli), tas nozīmē, ka eksistē heteroscedasticitāte.

Atlikumu sadalījums redzams 6. attēlā (sk. nākamo lpp.).

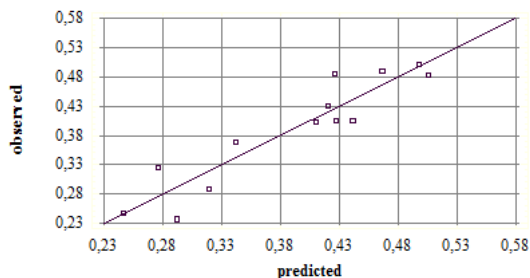


6. att. Atlikumu sadalījums atkarībā no biogāzi izmantojošo iekārtu elektroenerģijas pašpatēriņa

Attēlā ir redzams, ka datu kopai nav būtisku atlikuma sadalījuma izmaiņu atkarībā no biogāzi izmantojošo iekārtu elektroenerģijas pašpatēriņa E_{ec} . Atlikumu vērtības ir līdzīgas visā E_{ec} izmaiņu diapazonā. Darbā ir veikta atlikumu sadalījuma izpēte atkarībā no citiem faktoriem. Secinājums visos gadījumos ir tāds, ka nav vērojama heteroscedasticitāte un standarta kļūda ir noteikta korekti.

Viens no regresijas vienādojuma pārbaudes veidiem ir saistīts ar tā locekļu zīmju pārbaudi un to, vai noteiktām vienādojuma izmaiņām ir loģisks skaidrojums no aprakstīto procesu fizikālās būtības viedokļa. Siltumnīcefekta gāzu emisiju GHG samazinājuma noteikšanas regresijas vienādojumā (8) visu parametru, izņemot biogāzi izmantojošo iekārtu elektroenerģijas pašpatēriņa E_{ec} , zīmes ir pozitīvas, un to vērtību pieaugums palielina siltumnīcefekta gāzu emisiju GHG samazinājumu. Palielinot biogāzi izmantojošo iekārtu elektroenerģijas pašpatēriņu E_{ec} , samazinās lietderīgās patērētājam piegādājamās elektroenerģijas daudzums, kā rezultātā samazinās siltumnīcefekta gāzu emisiju GHG samazinājums. Redzamās tendences atbilst procesu būtībai un ir loģiski skaidrojamas.

Viens no būtiskiem empīrisku vienādojumu lietojuma jautājumiem ir – cik pilnīgi ar regresijas vienādojumu aprēķinātie rezultāti korelē ar analizējamiem datiem. Vienīgi apmierinošas korelācijas gadījumā var apgalvot, ka modelis adekvāti apraksta praksē vērojamu situāciju un tā lietojums situācijas modelēšanai ir korekts. Empīriskā vienādojuma adekvātuma pārbaudei ir salīdzināti empīriskie un aprēķinātie dati. Datu salīdzinājums grafiski parādīts 7. attēlā (sk. nākamo lpp.).

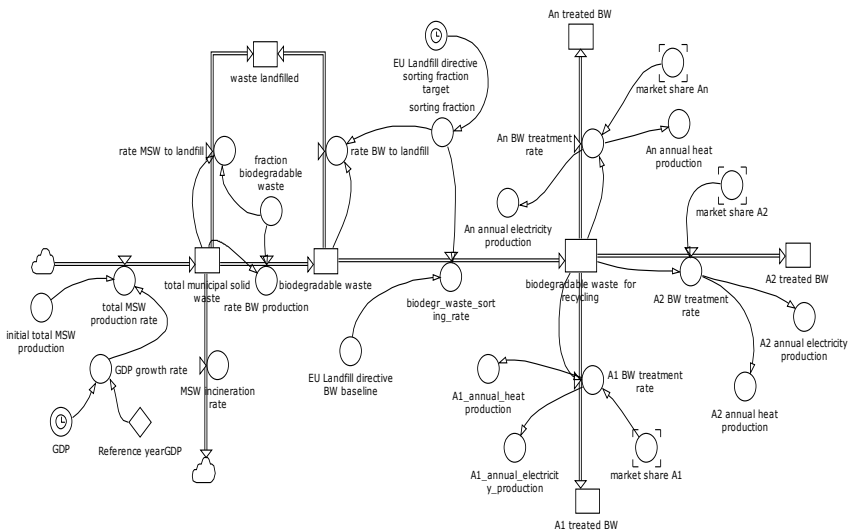


7. att. Siltumnīcefekta gāzu emisiju GHG samazinājuma analizējamo un aprēķinu datu salīdzinājums

Kā redzams 7. attēlā, vērojama laba korelācija starp abām datu kopām. Ja aplūkojamiem datiem precīzi atbilstu aprēķinātā vērtība, punkti atrastos uz attēlā redzamās taisnes. Vērojama palielināta punktu izkliede pie siltumnīcefekta gāzu emisiju GHG samazinājuma zemām vērtībām.

3.3. Sistēmdinamikas modelēšanas rezultāti

Lai programmā *Powesim* simulētu problēmas, tika izveidots vienkāršots bioloģiski noārdāmo atkritumu apsaimniekošanas dinamiskās sistēmas modelis. Modelī ņemti vērā galvenie krājumi, kā arī ienākošā un izejošā plūsma un mainīgie, kas ietekmē ienākošo un izejošo plūsmu. Galvenie krājumi ir kopējais atkritumu daudzums, bioloģiski noārdāmo atkritumu daudzums, sašķīroto bioloģiski noārdāmo atkritumu daudzums un katras alternatīvas uzkrātie apstrādātie atkritumi. Modelis ir izveidots ar nolūku, lai to varētu izmantot kombinācijā ar MKA un SD un atkritumu apsaimniekošanas nozarē. Nepieciešamības gadījumā to iespējams papildināt ar atkritumu šķīrošanu vides nodokļiem, tehnoloģiskiem mācību procesiem utt. Modeļa struktūra tika veidota, pamatojoties uz intervijām ar nozares speciālistiem. Galvenie krājumi un modeļa plūsmas diagramma ir redzama 8. attēlā (sk. nākamo lpp.). Šī diagramma tika izmantota, lai analizētu bioloģiski noārdāmo atkritumu apsaimniekošanas tirgus struktūru un darbību.



8. att. Krājumu un plūsmu diagramma

Katras alternatīvās metodes tirgus daļas TOPSIS analīzē iegūtie rezultāti ir iekļauti sistēmas dinamikas modelī, izmantojot multinominālo loģistisko regresiju:

$$MS_i = \frac{\exp^{-\alpha C_i}}{\sum_j \exp^{-\alpha C_j}} \quad (10)$$

kurā:

MS_i – alternatīvas tirgus daļa;

α – koeficients, kas nosaka alternatīvas tirgus daļas līknes slīpumu kā TOPSIS analīzes funkcija relatīvajam tuvumam ideālajam risinājumam;

C_i – relatīvais tuvums ideālajam risinājumam no TOPSIS analīzes;

Uzkrāto pārstrādājamo bioloģiski noārdāmo atkritumu daudzumu ietekmē viena ienākošā plūsma (bioloģiski noārdāmo atkritumu šķirošanas rādītājs) un vairākas izejošās plūsmas. Izejošo plūsmu skaits ir atkarīgs no analizēto alternatīvu skaita,

$$Q_{BWR} = \int_{t=0}^{t=1} (BL_{BW} \times SF - \sum_{i=1}^n MS_i \times Q_{BWR})(t) \times dt + Q_{BWR}^{init} \quad (11)$$

kurā:

Q_{BWR} – sašķirotu bioloģiski noārdāmo atkritumu uzkrātais daudzums, t;

BL_{BW} – Direktīva 1999/31/EK bioloģiski noārdāmo atkritumu sākotnējais daudzums, t/gadā;

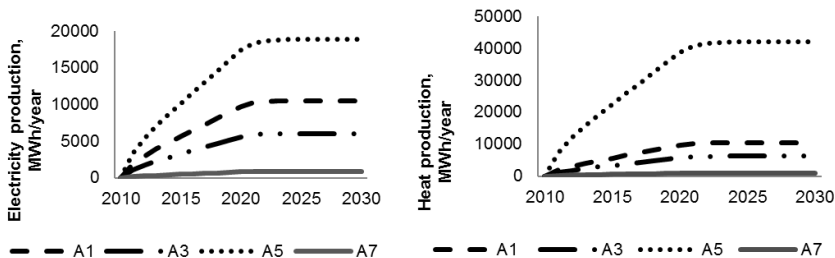
SF – šķiroto bioloģiski noārdāmo atkritumu daļa, %;

Q_{BWR}^{init} – sašķiroto bioloģiski noārdāmo atkritumu sākotnējais uzkrātais daudzums, t.

Kopējais gadā saražotais cieto sadzīves atkritumu daudzums ir atkarīgs no IKP izaugsmes rādītāja. Cieto sadzīves atkritumu un bioloģiski noārdāmo atkritumu daudzums ir nosakāms atkarībā no kopējā uzkrātā sadzīves atkritumu daudzuma un bioloģiski noārdāmo atkritumu īpatsvara. Padomes Direktīvā 1999/31/EK teikts, ka no bioloģiski noārdāmo atkritumu sākotnējā daudzuma un šķiroto atkritumu daļas ir atkarīgs bioloģiski noārdāmo atkritumu daudzums, kas nonāk poligonos un tiek pārstrādāts. Sašķiroto atkritumu daļa ir atkarīga no Padomes Direktīvā 1991/31/EK noteiktā šķirošanas mērķa. Katras metodes saražotās elektroenerģijas un siltumenerģijas saražotais daudzums ir aprēķināts, ņemot vērā apstrādāto atkritumu daudzumu un saražoto īpatnējo enerģiju.

Katrā valstī iegūtie TOPSIS rezultāti, kas attēloti 2. attēlā, tika ievadīti sistēmas dinamikas modelī, kas redzams 8. attēlā. Aprēķinos izmantoto daudzumu sākotnējās vērtības ir ņemtas no TOPSIS modeļa un 2010. gada statistikas datiem (*Eurostat*). Bioloģiski noārdāmo atkritumu tirgus attīstība ir plānota līdz 2030. gadam. Paredzams, ka bioloģiski noārdāmo atkritumu sašķirotā daļa palielināsies, līdz 2030. gadam sasniedzot ES mērķus.

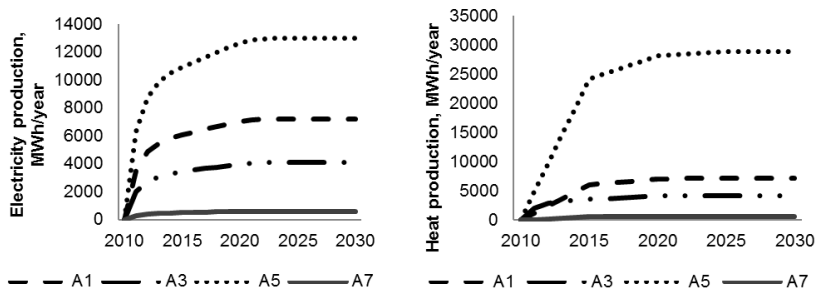
Saražotās siltumenerģijas un elektroenerģijas daudzums, izmantojot katru no septiņām bioloģiski noārdāmo atkritumu apstrādes alternatīvām. Izmantojot sistēmas dinamikas modeli, šī daudzuma izmaiņas iespējams analizēt atkarībā no laika. Sistēmas dinamikas modelēšanā iegūtie rezultāti attiecībā uz saražoto elektroenerģijas un siltumenerģijas daudzumu, izmantojot dažādas bioloģiski noārdāmo atkritumu apstrādes metodes Latvijā no 2010. līdz 2030. gadam, ir atspoguļoti 9. attēlā.



9. att. Simulētais gadā saražotais siltumenerģijas un elektroenerģijas daudzums, izmantojot dažādas bioloģisko atkritumu apstrādes metodes Latvijā

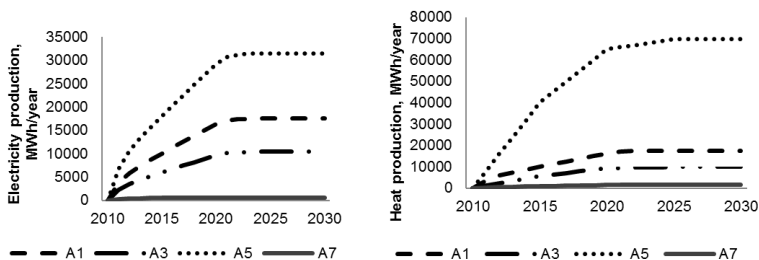
Attēlā redzams, ka visvairāk elektroenerģijas iespējams saražot, izmantojot sadedzināšanas metodi ar siltumenerģijas atgūšanu (alternatīva A5) (2030. gadā saražotā siltumenerģija – 42 GWh/gadā un elektroenerģija – 19 GWh/gadā). Tai seko atsevišķa atkritumu savākšana ar anaerobo pārstrādi (alternatīva A1), kas ļauj saražot 11 GWh siltumenerģijas un 11 GWh elektroenerģijas. Salīdzinoši mazāk enerģijas ir iespējams iegūt, izmantojot trešo alternatīvu – mehāniski bioloģisko pirmsapstrādi un anaerobo pārstrādi (2030. gadā saražotā siltumenerģija – 6 GWh/gadā, elektroenerģija – 6 GWh/gadā). Izmantojot citas metodes, saražotās enerģijas daudzums ir niecīgs. Lai arī Igaunijā un Lietuvā ir plānots būvēt sadedzināšanas iekārtas, tas nemazina vispārējo tendenci izmantot alternatīvas bioloģisko atkritumu apstrādes metodes.

Igaunijā varētu izmantot alternatīvu A5, lai 2030. gadā saražotu 29 GWh siltumenerģijas un 13 GWh elektroenerģijas. Izmantojot alternatīvu A1, gadā būtu iespējams saražot 7 GWh siltumenerģijas un elektroenerģijas. Savukārt, izmantojot alternatīvu A3, gadā tiktu saražotas 4 GWh no katra enerģijas veida (sk. 10. attēlu).



10. att. Simulētais gadā saražotais siltumenerģijas un elektroenerģijas daudzums, izmantojot dažādas bioloģisko atkritumu apstrādes metodes Igaunijā

Lietuvā līdz 2030. gadam ar alternatīvu A5 gadā būtu iespējams saražot 70 GWh siltumenerģijas un 31 GWh elektroenerģijas (sk. 11. attēlu nākamajā lpp.). Izmantojot alternatīvu A1, gadā tiktu saražotas 17 GWh no katra enerģijas veida, bet, izmantojot alternatīvu A3 – 10 GWh no katra enerģijas veida.



11. att. Simulētais gadā saražotais siltumenerģijas un elektroenerģijas daudzums, izmantojot dažādas bioloģisko atkritumu apstrādes metodes Lietuvā

SECINĀJUMI

1. Bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas alternatīvu novērtēšanai tika izveidots modelis, kurā ietverta MKA un KRA, kā arī MKA un SD modelēšanas metode, lai izvērtētu, salīdzinātu un pārbaudītu bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas alternatīvas, kuras ieinteresētās puses var izmantot atbilstoši konkrētajai situācijai.
2. Šāda modelēšanas metode galvenokārt paredzēta politikas jomu izstrādātājiem un lēmumu pieņēmējiem, lai izvērtētu bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas iespējas, novērtētu bioenerģijas projektu ilgtspējību un atrastu optimālu bioloģisko atkritumu apstrādes risinājumu, ņemot vērā apstākļus konkrētā reģionā.
3. MKA ļauj novērtēt un noteikt dažādu metožu prioritātes no tehniskā, ekoloģiskā, ekonomiskā un sociālā viedokļa, savukārt SD ir instruments, kas pētījuma ietvaros ļauj analizēt problēmas struktūru. Tas ir svarīgi, lai izprastu sistēmas darbības iemeslus un izstrādātu darbības plānu situācijas pārvaldībai. Modeļa priekšrocība ir iespēja noteikt dinamiskās un kompleksās sistēmas Multikritēriju novērtējuma rezultātu ietekmi.
4. MKA datu statistiskajā analizē, izmantojot regresijas analīzes metodi, ir noteikti aprīkojuma funkciju un atsevišķu parametru svarīgākie raksturīgie faktori. Saistība starp siltumnīcefekta gāzu samazināšanos un rādītājiem, kas to ietekmē, ļauj izveidot regresijas vienādojumu, kas iegūts šo datu apstrādes rezultātā. Regresijas analīzes gaitā tika pārbaudīta katra aspekta konkrēto soļu pareizība un iespēja pāriet uz nākamo analīzes soli.
5. Siltumnīcefekta gāzu samazinājumu nosaka trīs statistiski svarīgi rādītāji: elektroenerģijas pašpatēriņš, saražotā elektroenerģija un saražotā siltumenerģija.

6. Lai noteiktu siltumnīcefekta gāzu samazinājumu, tika iegūts vairāku faktoru regresijas vienādojums un veikts vienādojuma atbilstības tests, izmantojot Fišera kritēriju. Vienādojums raksturo 86% izmaiņu siltumnīcefekta gāzu samazinājumā. Piemērotā datu regresijas analīze ir pareiza, jo atkarīgais mainīgais lielums – siltumnīcefekta gāzu izmešu samazinājums – atbilst normāliem apstākļiem. Vismazāko kvadrātu metodes izmantošana lielumu noteikšanā ir atbilstoša, un šo lielumu vērtības nav sagrozītas, jo noteiktās DW kritērija vērtības ir lielākas par pieļaujamajiem ierobežojumiem. Regresijas vienādojuma koeficientu aprēķini ir pareizi, jo starp tiem nav novērota korelācija. Datu analīzes standartklūda ir noteikta precīzi, jo pārējais sadalījums, kas atbilst īpatnējiem atkarīgajiem un neatkarīgajiem mainīgajiem, ir vienlīdzīgs.
7. Šajā pētījumā tika analizēts Baltijas valstu reģions. Pētījumā rasta skaidrība par to, kā šajā reģionā uzlabot bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas procesu. Ar izmantoto metodi tika izvērtēti septiņi dažādi bioloģisko atkritumu apsaimniekošanas risinājumi Lietuvā, Igaunijā un Latvijā: atsevišķa savākšana ar anaerobo pārstrādi, atsevišķa savākšana ar kompostēšanas metodi, mehāniski bioloģiskā apstrāde ar mehāniski bioloģisko pirmsapstrādi un anaerobo pārstrādi, mehāniski bioloģiskā apstrāde ar mehāniski bioloģisko pirmsapstrādi un kompostēšanu, sadedzināšana ar enerģijas atgūšanu, sadedzināšana bez enerģijas atgūšanas, atkritumu apglabāšana poligonos, iegūstot un izmantojot atkritumu gāzi.
8. Trīs Baltijas valstu – Latvijas, Lietuvas un Igaunijas – gadījumu analīzē iegūtie rezultāti liecina, ka labākais risinājums visās trijās Baltijas valstīs ir atsevišķa bioloģisko atkritumu savākšana ar anaerobo pārstrādi. Citi pieņemami risinājumi ir sadedzināšana ar enerģijas atgūšanu un mehāniski bioloģiskā apstrāde ar anaerobo pārstrādi. Simulācijas laikā tika noskaidrots, ka, lai arī Igaunijā un Lietuvā ir plānots būvēt sadedzināšanas iekārtas, tas nemazina vispārējo tendenci izmantot alternatīvas bioloģisko atkritumu pārstrādes metodes.
9. Pētījums apliecina, ka pastāv dažādas alternatīvas, kā bioloģiskos atkritumus pārvērst enerģijā, kuras izmantojamas dažādās situācijās. Tomēr šo metožu ieviešana lielā mērā ir atkarīga no daudziem specifiskiem faktoriem.
10. Šī pieeja, kurā izmantota minētā metodika, sniedz ieskatu atkritumu apsaimniekošanas nozarē un ļauj to labāk izprast. MKA un SD un MKA un KRA metožu kombināciju iespējams izmantot ne tikai atkritumu apsaimniekošanā, bet arī citās nozarēs, kurās lēmumi tiek pieņemti sarežģītās un dinamiskās sistēmās.