

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

Māra RĒPELE
Doktora studiju programmas „Vides zinātne” doktorante

BIOMETĀNA RAŽOŠANAS UN PIEGĀDES SISTĒMAS EKODIZAINS

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
profesors *Dr. sc. ing.*
G. BAŽBAUERS

RTU Izdevniecība
Rīga 2017

Rēpele M. Biometāna ražošanas un
piegādes sistēmas ekodizains.
Promocijas darba kopsavilkums. –
R.: RTU Izdevniecība, 2017. –
42 lpp.

Iespiests saskaņā ar Vides
aizsardzības un siltuma sistēmu
institūta 2016. gada 22. septembra
lēmumu, protokols Nr. 73.

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

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai programmā „Vides zinātne” tiek publiski aizstāvēts 2017. gada 8. jūnijā plkst. 14.00 Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Āzenes ielā 12/1, 115. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Dr. sc. ing. Ritvars Sudārs
Latvijas Lauksaimniecības universitāte

Dr. sc. ing. Francesco Romagnoli
Rīgas Tehniskā universitāte

Dr. sc. ing. Visvaldas Varžinskas
Kauņas Tehnoloģiju universitāte

APSTIPRINĀJUMS

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

Māra Rēpele (paraksts)

Datums

Promocijas darbs ir izstrādāts latviešu valodā, tajā ir ievads, četras nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, astoņas tabulas, 49 attēli, astoņi pielikumi, kopā 166 lapaspuses. Literatūras sarakstā ir 157 nosaukumi.

SATURS

DARBA VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS.....	5
Tēmas aktualitāte.....	5
Darba mērķis un uzdevumi.....	5
Izpētes metodika.....	6
Darba zinātniskā novitāte un galvenie rezultāti.....	7
Darba praktiskā nozīme.....	7
Darba rezultātu aprobācija.....	8
Aizstāvēšanai izvirzāmās tēzes.....	9
Darba struktūra un apjoms.....	9
1. DABASGĀZI IZMANTOJOŠAS RAŽOTNES IETEKMES UZ VIDI RAKSTUROJUMS EKODIZAINA VAJADZĪBĀM.....	10
1.1. Mērķa un jomas definēšana, funkcionālā vienība un references plūsma, sistēmas robežas.....	10
1.2. Dzīves cikla inventarizācija.....	11
1.3. Ietekmes novērtējums un secinājumi.....	11
2. KURINĀMĀ ALTERNATĪVU IZVĒRTĒJUMS DABASGĀZES AIZSTĀŠANAI AR ATJAUNOJAMU ENERGORESURSU ALTERNATĪVU.....	12
2.1. Mērķa un jomas definēšana, funkcionālā vienība, references plūsma, sistēmas robežas un dzīves cikla inventarizācija.....	13
2.2. Dzīves cikla ietekmju novērtējuma metodika.....	13
2.3. Datu avoti un veidi.....	14
2.4. Rezultāti un diskusija.....	15
2.5. Secinājumi.....	16
3. BIOMETĀNA RAŽOŠANAS UN PIEGĀDES SISTĒMAS, IZMANTOJOT DABASGĀZES INFRASTRUKTŪRU, DZĪVES CIKLA UN TEHNISKI EKONOMISKAIS NOVĒRTĒJUMS.....	16
3.1. Dzīves cikla analīze.....	17
3.2. Biogāzes attīrīšanas metožu un biometāna ražošanas un ievadīšanas dabasgāzes tīklā tehniski-ekonomiskais novērtējums.....	18
4. BIOMETĀNA RAŽOŠANAS UN PIEGĀDES ATBALSTA MEHĀNISMA SISTĒMDINAMIKAS MODELIS.....	20
4.1. Dinamiskā problēma un modeļa mērķis.....	21
4.2. Dinamikas hipotēze.....	22
4.3. Modeļa formulēšana un imitācijas aprēķini.....	24
4.4. Modeļa validācija.....	31
4.5. Scenāriju analīze.....	32
4.6. Nenoteiktības novērtējums.....	35
SECINĀJUMI.....	37
IZMANTOTO AVOTU SARAKSTS.....	38

DARBA VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS

Tēmas aktualitāte

Atjaunojamie energoresursi (AER), kas ir fosilā kurināmā alternatīva, palīdz samazināt siltumnīcas efektu izraisošo gāzu emisiju negatīvo ietekmi uz klimatu un, samazinot atkarību no fosilā kurināmā nepastāvīgā tirgus, dažādot energoapgādi, kas Latvijas ģeopolitiskajos apstākļos ir īpaši būtiski. Izmantojot AER, nozīmīgi ir arī tas, ka cikls sākas un beidzas vienā valstī, papildinot gan valsts, gan pašvaldību budžetus, radot gan tiešās, gan netiešās darbavietas. Pašlaik atjaunojamo energoresursu nozarē Eiropas Savienībā ir nodarbināti aptuveni 1,2 miljoni cilvēku [1]. AER izmantošanas socioekonomiskie ieguvumi ir saistīti gan ar tehnoloģiju izstrādi un pilnveidošanu, ražošanu, uzstādīšanu, ekspluatāciju un uzturēšanu, gan arī tiek veicināta ne tikai uzņēmējdarbība, bet arī izglītība un zinātne. Eiropas Savienība, paplašinot tiesisko regulējumu, veicina atjaunojamo energoresursu izmantošanu [1] un cenšas panākt, ka Eiropā visām dalībvalstīm būtu vienota izpratne par būtiskākajiem aspektiem pārejā uz zema oglekļa dioksīda emisiju līmeņa sistēmām, nodrošinot nepieciešamo noteiktību un stabilitāti [2]. Eiropas Komisija, nosakot jomas, kurām būtu jāpievērš lielāka uzmanība nākotnē, cenšas arī panākt, ka atjaunojamo energoresursu tehnoloģijas kļūst konkurētspējīgākas un lētākas, kā arī cenšas panākt, ka, pakāpeniski atsakoties no subsīdijām fosilajam kurināmajam, tiek stimulētas investīcijas atjaunojamajos energoresursos [1]. Ir norādes par iespēju ietaupīt pat ceturtdaļu no nepieciešamajām izmaksām, ja visā Eiropā, nevis katrā dalībvalstī atsevišķi, būtu vienota pieeja atjaunojamo energoresursu efektīvai izmantošanai [2]. Eiropas Savienība ir izdevusi Enerģētikas ceļvedi laikposmam līdz 2050. gadam [2], lai savlaicīgi sāktu informēt potenciālos investorus par politiku, kas tiks īstenota pēc 2020. gada. Šajā ceļvedī ir izstrādāti vairāki scenāriji, kuru analīzes rezultātā secināts, ka vislielākais īpatsvars energoapgādes tehnoloģijās nākotnē būs atjaunojamajiem energoresursiem [2]. Ir norādīts, ka līdz 2030. gadam ir jāpanāk, ka no AER iegūtajam enerģijas īpatsvaram ir jābūt vismaz 30 % [1] un 2050. gadā jāsasniedz vismaz 55 % enerģijas bruto galapatēriņā [2]. Tajā pat laikā ir arī atzīts, ka Eiropai būs sarežģīts uzdevums – nodrošināt tirgus dalībniekiem iespēju samazināt AER izmaksas, uzlabojot pētniecību un paplašinot piegādes sistēmas, pilnveidojot tehnoloģijas, lai samazinātu to izmaksas, modernizējot un ieviešot efektīvāku politiku un atbalsta mehānismus [2].

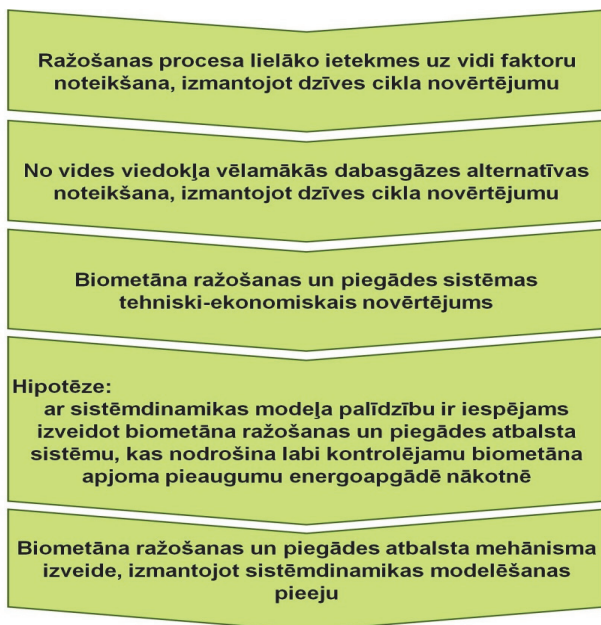
Darba mērķis un uzdevumi

Promocijas darba mērķis ir veikt biometāna ražošanas un piegādes sistēmas ekodizainu, lai samazinātu dabasgāzi izmantojošo ražošanas procesu ietekmi uz vidi un sekmētu atjaunojamo energoresursu izmantošanas pieaugumu Latvijas energoapgādē. Lai sasniegtu darba mērķi, tika izvirzīti šādi uzdevumi:

- raksturot būvmateriālu rūpniecības nozares produkta ietekmi uz vidi ekodizaina vajadzībām, lai noteiktu dzīves cikla posmus un procesus, kas rada lielāko ietekmi uz vidi;
- izvērtēt dabasgāzes atjaunojamo energoresursu alternatīvu ietekmes uz vidi aspektus, veicot to dzīves cikla analīzi;
- veikt biometāna ražošanas un piegādes sistēmas dzīves cikla analīzi un tehniski ekonomisko novērtējumu;
- izveidot biometāna ražošanas un piegādes sistēmas atbalsta mehānisma sistēmdinamikas modeli un veikt scenāriju analīzi, lai noteiktu optimālo atbalsta mehānisma risinājumu.

Izpētes metodika

Promocijas darbā izmantoto pētījuma metožu vispārīgā struktūra ir parādīta 1. attēlā. Darbā izmantotas šādas kvalitatīvās un kvantitatīvās zinātniskās pētniecības metodes: literatūras analīze, datu vākšana un analīze, dzīves cikla analīze un sistēmdinamikas modelēšanas pieeja, izmantojot *SimaPro* dzīves cikla analīzes datorprogrammu un *ReCiPe* ietekmes novērtēšanas metodi, *GEMIS* datubāzi, ĢIS un *Powersim Studio* datorprogrammu.



1. attēls. Biometāna ražošanas un piegādes sistēmas ekodizaina īstenošanas metodika.

Darba zinātniskā novitāte un galvenie rezultāti

Promocijas darbam ir augsta zinātniskā vērtība, jo ir veikts biometāna ražošanas un piegādes ekodizains, izmantojot dzīves cikla analīzi, tehniski ekonomisko novērtējumu un sistēmdinamikas modelēšanu, iegūstot pētījuma rezultātus, kas izmantojami Latvijā un citās valstīs, veidojot atjaunojamo energoresursu atbalsta sistēmas.

Veikta Latvijā ražoto keramikas būvmateriālu dzīves cikla analīze, noteikti ražošanas posmi un procesi, kas rada lielāko ietekmi uz vidi, un aprēķināts ietekmes uz vidi indikators. Aprēķinu rezultātā secināts, ka ražošanas procesā $> 75 \%$ no kopējās ietekmes uz vidi rodas dabasgāzes izmantošanas dēļ.

Veikta dabasgāzes, biometāna, biosintētiskās dabasgāzes, kā arī pirmās un otrās paaudzes biodegvielas dzīves cikla analīze un izvērtēti vides aspekti, dabasgāzi aizstājot ar atjaunojamajiem energoresursiem. Iegūtie rezultāti norāda, ka visnozīmīgākais ietekmes uz vidi samazinājums būtu panākams, ja ražošanā dabasgāzi aizstātu ar biometānu.

Veikts dzīves cikla un tehniski ekonomiskais novērtējums, lai noteiktu biometāna ražošanas, ievadīšanas dabasgāzes tīklā, transportēšanas un izmantošanas radīto ietekmi uz vidi, izmantojot dabasgāzes infrastruktūru. Secināts, ka gāzes piegādes infrastruktūra ir nozīmīgs faktors, kas būtu jāņem vērā, plānojot un ierīkojot biometāna ražošanas un piegādes sistēmas. Tehniski ekonomiskā novērtējuma rezultāti norāda, ka biometāna ražošanas un piegādes vienības izmaksas šobrīd nav konkurētspējīgas ar dabasgāzes cenu, tādēļ, lai investīcijas biometāna ražošanas un piegādes sistēmā būtu ekonomiski pamatotas, biometāna ražotnēm ir nepieciešams finansiāls atbalsts.

Ir izveidots sistēmdinamikas modelis biometāna ražošanas un piegādes atbalsta sistēmas dinamisko aspektu analīzei, kas atšķirībā no līdz šim izstrādātajiem modeļiem ļauj analizēt atbalsta mehānisma sistēmas struktūras ietekmi uz atbalstāmā resursa pieauguma raksturu. Modeļa nenoteiktības novērtējuma rezultāti parāda, ka ar modeļa palīdzību iespējams iegūt rezultātus ar relatīvi mazu izkliedi, neraugoties uz galveno rezultātu ietekmējošo faktoru būtiskām izmaiņām. Tādēļ var uzskatīt, ka izstrādātais modelis ir piemērojams biometāna ražošanas un piegādes atbalsta mehānisma izveidē un analīzē.

Promocijas darbā veiktās izpētes kopums veido ekodizainu sistēmiskiem energoapgādes uzlabojumiem, kas ietver arī uzlabojumu praktiskas ieviešanas metodi – sistēmdinamikas modeli, panākot ievērojamu ietekmes uz vidi samazinājumu. Tādējādi pētījums dod ieguldījumu arī ekodizaina un sistēmdinamikas modelēšanas pētījumu nozares attīstībā.

Darba praktiskā nozīme

Pirmo reizi Latvijas apstākļiem izstrādāta un ar sistēmdinamikas modeļa palīdzību pielāgota biometāna ražošanas un piegādes atbalsta sistēma, ar kuru iespējams panākt labi kontrolētu saražotā un piegādātā biometāna apjoma

pieaugumu. Izstrādātā metode ļauj aizstāt esošo elektroenerģijas atbalsta mehānismu ar biometāna atbalsta sistēmu, kā arī tā ir izmantojama citu atjaunojamo energoresursu atbalsta sistēmu izveidē Latvijā un ārpus tās.

Darba rezultātu aprobācija

Promocijas darbā definēto uzdevumu pētījuma rezultāti ir iekļauti septiņās starptautiskajās zinātniskajās publikācijās (izvirzīto pētniecības uzdevumu secībā):

Šķēle A., **Rēpele M.**, Bažbauers G. Characterization of Environmental Impact of Building Materials for the Purpose of Ecodesign. *Environmental and Climate Technologies*. Vol. 6, 2011, pp. 106–111. ISSN 1691-5208.

Rēpele M., Dudko M., Rusanova J., Valters K., Bažbauers G. Environmental Aspects of Substituting Bio-Synthetic Natural Gas for Natural Gas in the Brick Industry. *Agronomy Research*, 2013, Vol. 11, No. 2, pp. 367–372. ISSN 1406-894X. (indeksēta SCOPUS)

Rēpele M., Paturska A., Valters K., Bažbauers G. Life cycle assessment of bio-methane supply system based on natural gas infrastructure. *Agronomy Research*, 2014, Vol. 12, No. 3, pp. 999–1006. ISSN 1406-894X. (indeksēta SCOPUS)

Rēpele M., Bažbauers G. Life cycle assessment of renewable energy alternatives for replacement of natural gas in building material industry. *Energy Procedia*, 2015, Vol. 72, pp. 127–134. ISSN 1876-6102 (indeksēta Web of Science un SCOPUS)

Paturska A., **Rēpele M.**, Bažbauers G. Economic assessment of biomethane supply system based on natural gas infrastructure. *Energy Procedia*, 2015, Vol. 72, pp. 71–78. ISSN 1876-6102 (indeksēta Web of Science un SCOPUS)

Rēpele M., Ramanis M., Bažbauers G. Biomethane supply support policy: system dynamics approach. *Energy Procedia* 2016, Vol. 95, pp. 393–400. ISSN 1876-6102 (indeksēta Web of Science un SCOPUS)

Rēpele M., Udrene L., Bažbauers G. Support mechanisms for biomethane production and supply. *Energy Procedia (in print)* (indeksēta Web of Science un SCOPUS)

Ar promocijas darba tēmu saistīta publikācija:

Porubova, J., Klemm, M., Kiendl, I., Valters, K., Markova, D., **Rēpele, M.**, Bažbauers, G. Influence of Temperature and Pressure Change on Adiabatic and Isothermal Methanation Processes. *Environmental and Climate Technologies* 2012, Vol. 9, pp. 22–27. ISSN 16915208 (indeksēta SCOPUS)

Aizstāvēšanai izvirzāmās tēzes

- Dabaszāzi izmantojošajās rūpniecības nozarēs lielākais ietekmes uz vidi faktors ir kurināmā patēriņš.
- Raugoties no dzīves cikla ietekmes viedokļa, biometāns, salīdzinot ar biodegvielu, ir labākā atjaunojamo energoresursu alternatīva dabasgāzes aizstāšanai.
- Biometāna ražošanu un piegādi var nodrošināt, izmantojot esošos biogāzes reaktorus un dabasgāzes infrastruktūru, bet nepieciešams ekonomisks atbalsts.
- Ar sistēmdinamikas modeļa palīdzību izstrādātā atbalsta plānošanas metode spēj nodrošināt stabilu un kontrolējamu biometāna ražošanas apjoma pieaugumu.
- Piemaksas pie saražotās biometāna enerģijas ar 15 gadu atbalsta periodu ir optimālākais atbalsta modelis, salīdzinot ar pārējām izvērtētajām alternatīvām.

Darba struktūra un apjoms

Promocijas darbs ir izstrādāts latviešu valodā, tajā ir ievads, četras nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, astoņas tabulas, 48 attēli, astoņi pielikumi, kopā 166 lapaspuses. Literatūras sarakstā ir 157 nosaukumi.

Promocijas darba ievadā akcentēta darba novitāte un pētījuma aktualitāte, definēts pētījuma mērķis un noteikti darba uzdevumi, kā arī sniegta informācija par atjaunojamo energoresursu nozīmi nākotnē. Darba pirmajā nodaļā veikta dzīves cikla analīze vienai no Latvijas tautsaimniecībā nozīmīgas rūpniecības nozares ražotnēm, kam ir raksturīgs relatīvi liels energoresursu patēriņš, lai noteiktu ražošanas posmus un faktorus, kuriem ir lielākā ietekme uz vidi, un izvirzītu ekodizaina uzdevumus. Otrajā nodaļā veikts kurināmā alternatīvu novērtējums rūpniecībā izmantojamās dabasgāzes aizstāšanai – analizēts un salīdzināts biosintētiskās dabasgāzes, biometāna, pirmās un otrās paaudzes biodegvielas un dabasgāzes vides sniegums. Trešajā nodaļā aprakstīti rezultāti, kas iegūti, veicot dzīves cikla analīzi biometāna piegādei rūpnieciskajiem patērētājiem, izmantojot dabasgāzes infrastruktūru. Novērtēta biometāna transportēšanas, ietverot pieslēguma infrastruktūras izbūvi, ietekme uz vidi, kā arī noteiktas decentralizētā biogāzes ražotnē iegūta un dabasgāzes tīklā ievadīta biometāna izmaksas. Ceturtajā nodaļā aprakstīta Eiropas valstu pieredze atjaunojamo energoresursu atbalsta mehānismu ieviešanā un izmantošanā. Izvērtējot šo pieredzi, izstrādāts biometāna ražošanas un piegādes atbalsta mehānisma sistēmdinamikas modelis, kas ir pārbaudīts Latvijas apstākļos. Veikts atbalsta mehānisma modeļa nenoteiktības novērtējums. Promocijas darba noslēgumā akcentēti galvenie pētījuma rezultāti un sniegtas atbildes uz pētījuma uzdevumiem, iekļauts literatūras saraksts un pielikumi.

1. DABASGĀZI IZMANTOJOŠAS RAŽOTNES IETEKMES UZ VIDI RAKSTUROJUMS EKODIZAINA VAJADZĪBĀM

Šajā nodaļā aprakstīti tautsaimniecībai nozīmīgas būvmateriālu rūpniecības nozares ražotnes, kurā kā kurināmo izmanto dabasgāzi, produktu ietekmes uz vidi raksturojuma rezultāti. Būvmateriālu ražošanas nozarei ir raksturīgs liels fosilā kurināmā resursu patēriņš. Kā minēts ziņojumā, ko sagatavojusi Ilgtspējīgas būvniecības darba grupa, sadarbojoties ar dalībniekiem no Eiropas Komisijas, dalībvalstu un industrijas pārstāvjiem [3], un Eiropas pārmaiņu uzraudzības centra (*European Monitoring Centre on Change*) ilgtspējīgas būvniecības gala ziņojumā: “Būvniecības nozare ir Eiropas lielākais rūpnieciskais darba devējs. Šajā nozarē patērē vairāk izejvielas nekā jebkurā citā rūpniecības nozarē, turklāt būvniecības nozarē tiek radīta lielākā daļa no enerģijas galapatēriņa siltumnīcefekta gāzu emisijām. Līdz ar to būvniecības nozare saskaras ar ievērojamu vides izaicinājumu, lielāku nekā jebkurā citā rūpniecības nozarē” [4]. Ietekmes uz vidi aprēķini veikti ķieģeļiem, kas ražoti vienā no AS "Lode" rūpnīcām [5].

Šajā nodaļā saskaņā ar ISO standartiem [6, 7] ir analizēta produkta ietekme uz vidi, sākot no materiālu ieguves vietas, līdz ražošanas procesa beigām. Dzīves cikla inventarizācijas dati ir iegūti ražotnē, kā arī no A kategorijas atļaujas piesārņojošai darbībai [8]. Lai veiktu būvmateriālu vides raksturojumu un iegūtu kopējo ietekmes uz vidi rādītāju, izmantotas *ReCiPe* metodē [16] aprakstītās trīs kultūras tipu perspektīvas. Perspektīvu apraksts sniegts arī *DeSchryver* [11] un *Marceau, VanGeem* [12] darbos. Produkta dzīves cikla laikā radīto vides ietekmju modelēšanai un analizēšanai izmantota dzīves cikla analīzes (DCA) datorprogramma “*SimaPro 8.1*” [14, 15]. Pētījumā izmantotas datubāzes: *EcoInvent* (v2.2), *European Life Cycle Database* (ELCD v2.0) un *U.S. Life Cycle Inventory* (USLCI).

1.1. Mērķa un jomas definēšana, funkcionālā vienība un references plūsma, sistēmas robežas

Galvenais mērķis, veicot DCA, ir aprēķināt, novērtēt un noteikt būvmateriāla ražošanas posmu ietekmi uz vidi, īpašu uzmanību pievēršot ražošanas posmam, kurā ietekme uz vidi ir vislielākā, lai varētu meklēt risinājumus šā posma uzlabojumiem.

Produkta sistēmai ir dažādas sistēmā izejošas un izejošas plūsmas. Ķieģeļu ražošanā tiek izmantoti dažādi izejmateriāli (galvenokārt māls) un izdegošās piedevas, piemēram, salmi vai skaidas, kā arī dabasgāze, ko izmanto kā kurināmo nepieciešamā siltuma nodrošināšanai, un elektrība. No produkta sistēmas izejošās plūsmas pārsvarā ir emisijas gaisā, kas rodas dabasgāzes degšanas procesā. Ražošanas procesā rodas arī neliels daudzums sadzīves atkritumu, ūdens un cietie atkritumi. Ņemot vērā šo atkritumu apjomu un salīdzinoši nenozīmīgo ietekmi uz vidi, šajā pētījumā tie netika iekļauti.

Pētījumā funkcionālā vienība ir viena tonna noteikta veida ķieģeļu. References plūsma ir viena tonna ķieģeļu.

Ķieģeļu dzīves cikls ir iedalīts šādās apakšsistēmās: māla ieguve un uzglabāšana, mālu pārstrāde, ķieģeļu formēšana, žāvēšana, apdedzināšana un iepakšana.

1.2. Dzīves cikla inventarizācija

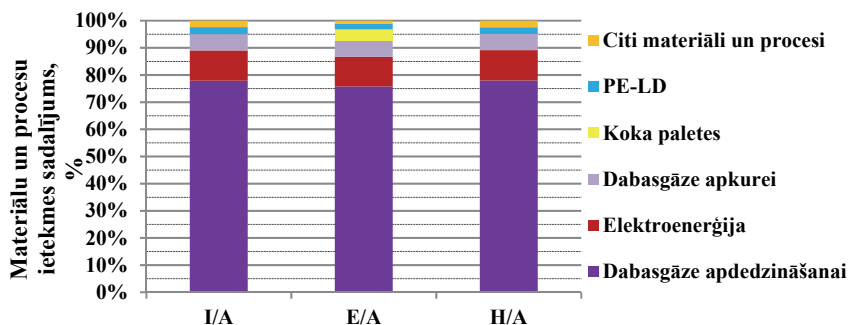
Datu avoti par sistēmā ieejošajām un izejošajām plūsmām gada griezumā ir ražotne un tās piesārņojošās darbības atļauja [8]. Apdedzināšanas posmā vienas tonnas ķieģeļu apdedzināšanai patērē 338,28 kWh dabasgāzes, kā arī 25,46 kWh elektroenerģijas. Mālu pārstrādes posmā patērē apmēram 40 % no visā ražošanas ciklā patērētās elektroenerģijas. Ķieģeļu rūpniecībā galvenais enerģijas avots ir dabasgāze. Kurināmā un izdegošo piedevu izmantošana rada SO, CO un NO emisijas.

1.3. Ietekmes novērtējums un secinājumi

Galvenais šā pētījuma posma uzdevums bija aprēķināt un novērtēt produkta, kura ražošanas procesā kā kurināmo izmanto dabasgāzi, dažādu ražošanas posmu ietekmi uz vidi ar mērķi noteikt posmu, kurā tiek radīta lielākā ietekme, un rast risinājumus šā posma uzlabojumiem. Ņemot to vērā, bija jāsalīdzina ražošanas procesu relatīvās atšķirības, tātad radītās ietekmes novērtējuma absolūtajai punktu vērtībai nebija būtiskas nozīmes. Līdz ar to ietekmes novērtējums veikts, rezultātus izsakot procentos.

Rezultāti parāda (skat. 1.1.attēlu), ka:

- vislielākā no kopējās radītās ietekmes neatkarīgi no perspektīvas (I, E vai H) rodas apdedzināšanas procesā, izmantojot dabasgāzi: ~78 % I un H, un ~76 % E perspektīvas gadījumā;
- elektroenerģijas izmantošana ražošanas procesā rada lielāku ietekmi uz vidi, salīdzinot ar dabasgāzes izmantošanu apkurei: visās perspektīvās attiecīgi ~11 % un ~6 %;



1.1. attēls. Materiālu un procesu radītā ietekme uz vidi.

- materiālu, ko izmanto produkta iepakojšanas posmā (polimērmateriāla plēve un koka paletes), kā arī citu materiālu un procesu radītā ietekme uz vidi (piemēram, mālu ieguve un transportēšana līdz rūpnīcai, iekārtu apkopē nepieciešamo smērvielu ietekme uz vidi u. c.) ir ~1–4 % robežās no kopējās ietekmes uz vidi.

Veiktās būvmateriālu ražošanas procesa, sākot no materiālu ieguves vietas, līdz ražošanas procesa beigām, izpētes, aprēķinu un novērtēšanas rezultāti apstiprina (skat. 1.1. attēlu), ka būvmateriālu ražošana ir energointensīvs process – vislielāko ietekmi uz vidi (>75 % no kopējās radītās ietekmes) rada dabasgāzes izmantošana būvmateriālu apdedzināšanas posmā. Lielākā daļa no radītajām emisijām ir tieši saistīta ar kurināmā (dabasgāzes) izmantošanu rūpniecībā. Kaut arī dabasgāze tiek uzskatīta par vidi mazāk ietekmējošu kurināmo, salīdzinot ar ogleņiem un naftas produktiem, atjaunojamo energoresursu izmantošana varētu samazināt ražošanas procesā radīto ietekmi uz vidi. Vietējo atjaunojamo resursu izmantošana samazinātu arī Latvijas energoatkarību, samazinot dabasgāzes importu.

2. KURINĀMĀ ALTERNATĪVU IZVĒRTĒJUMS DABASGĀZES AIZSTĀŠANAI AR ATJAUNOJAMU ENERGORESURSU ALTERNATĪVU

Zinātnieki ir veikuši dažādus pētījumus par krāšņu un rūpnīcu optimizācijas iespējām [16–18], ir arī veikti pētījumi, kas saistīti ar energoefektivitātes uzlabojumiem vai atjaunojamo energoresursu izmantošanu [19, 20] ar mērķi produkcijas vienībai samazināt siltumnīcas efektu izraisošo gāzu emisijas. Tomēr šķiet, ka mazāka uzmanība tikusi pievērsta pētījumiem, lai novērtētu ietekmes uz vidi izmaiņas, ko varētu radīt kurināmā nomaina. Labāko pieejamo tehnoloģiju atsauces dokumentā (*Reference Document on Best Available Technologies*), kas izstrādāts keramikas rūpniecībai, ir minēts, ka ķieģeļu apdedzināšanai pārsvarā tiek izmantota dabasgāze, šķidrinātā naftas produktu gāze un šķidrās krāšņu kurināmais. Norādīts, ka krāšņu kurināšanai tiek izmantoti arī citi energoresursi, piemēram, šķidrinātā dabasgāze, biogāze, biomasa, elektroenerģija, mazuts un cietais kurināmais (piemēram, ogles, kokss) [21]. Šajā atsauces dokumentā ir minēts, ka ietekmi uz vidi varētu samazināt kurināmā nomaina, piemēram, ja mazuts vai cietais kurināmais tiktu aizstāts ar dabasgāzi (vai arī ar šķidrināto naftas produktu gāzi vai šķidrināto dabasgāzi). Tiek arī norādīts, ka atjaunojamajiem energoresursiem varētu būt nozīme kā kurināmajam, ko izmanto krāsnīs, taču joprojām trūkst informācijas par emisiju un patēriņu datiem [21].

Sakarā ar vides un ģeopolitiskajiem apstākļiem jautājums par fosilo kurināmo aizstāšanu ar atjaunojamo energoresursu alternatīvām kļūst arvien aktuālāks. Turklāt rūpniecības nozarēs, kurās kā kurināmo izmanto dabasgāzi, tās izmantošana ir tieši saistīta ar vislielāko ietekmi uz vidi. Līdz ar to neatjaunojamo energoresursu aizstāšana ar atjaunojamajiem tiek uzskatīta par vienu no efektīvākajām pieejām ietekmes uz vidi samazināšanā un enerģētiskās neatkarības veicināšanā. 2014. gada

pētījumā *Ellersdorfer* un *Weiß* ir aprakstījuši biogāzes stacijas integrāciju cementa rūpniecībā no enerģētiskā un ekonomiskā skatupunkta [20]. Tomēr ir nepieciešams precizāks ar DCA datiem pamatots pētījums, ietverot arī citas kurināmā alternatīvas, piemēram, biodegvielas.

Šajā nodaļā ir analizēts, kā mainās ietekme uz vidi, ja ražošanā tiek variēti izmantotie energoresursi, tas ir, kurināmais siltuma nodrošināšanai un dažādi elektroenerģijas avoti. Iegūtie rezultāti galvenokārt izmantojami ekodizaina ieviešanai ražošanas nozarē, kurā kā kurināmo izmanto dabasgāzi, kā arī ietekmes uz vidi samazināšanai. Šajā nodaļā aprakstītais turpina iepriekš publicētos pētījumus [22–24], kuros raksturota būvmateriālu ietekme uz vidi ekodizaina vajadzībām (1. nodaļa), analizēti vides aspekti, dabasgāzi aizstājot ar biosintētisko dabasgāzi (promocijas darba 2.1. apakšnodaļa) un veikta dzīves cikla analīze biometāna ražošanas un piegādes sistēmai (aprakstīts 3. nodaļā), izvērtējot vairākas kurināmā alternatīvas ražošanas vajadzībām un izmantojot DCA metodiku ar *ReCiPe* ietekmes novērtējuma metodi [14, 15].

2.1. Mērķa un jomas definēšana, funkcionālā vienība, references plūsma, sistēmas robežas un dzīves cikla inventarizācija

Pētījuma mērķis ir novērtēt izmaiņas ietekmē uz vidi, ja ražošanas procesā izmantoto dabasgāzi aizstāj ar biometānu vai biodegvielām. Papildus analizēta un novērtēta arī dažādu elektroenerģijas avotu ietekme uz vidi.

Šajā pētījuma posmā, tāpat kā iepriekš, funkcionālā vienība un references plūsma ir viena tonna ķieģeļu. Pētījumā aplūkotā sistēma, ietverot galvenās sistēmā iesaistītās un izejošās plūsmas, aprakstītas 1.2. apakšnodaļā. Rūpnīcas būvniecība šajā pētījumā netiek izvērtēta. Dzīves cikla inventarizācijas dati ir aprakstīti 1.2. apakšnodaļā.

2.2. Dzīves cikla ietekmju novērtējuma metodika

Lai modelētu un analizētu produkta dzīves cikla ražošanas posma ietekmi uz vidi, izmantota DCA programmatūra “*SimaPro 8.1.*” (*Faculty version*) [14, 15] un šādas datubāzes: *EcoInvent* (v2.2), *European Life Cycle Database (ELCD v2.0)* un *U.S. Life Cycle Inventory (USLCI)*. Ražošanas procesu “no šūpuļa līdz vārtiem” vides novērtējuma raksturojums tika veikts, izmantojot *ReCiPe* novērtējuma metodi.

Kaut arī, lai novērtētu potenciālo kaitējumu videi, metodei ir izveidotas trīs dažādas kultūras perspektīvas (aprakstītas 1. nodaļā): individuālista, egalitārista un hierarhista [14], šajā apakšnodaļā ir izmantota tikai viena – hierarhista (H) – perspektīva, kas ir aprakstīta [9–12] kā perspektīva, kas vidi uztver kā līdzsvarotu vērtību. Hierarhista perspektīva nereti tiek uzskatīta kā pamata (noklusējuma) modelis.

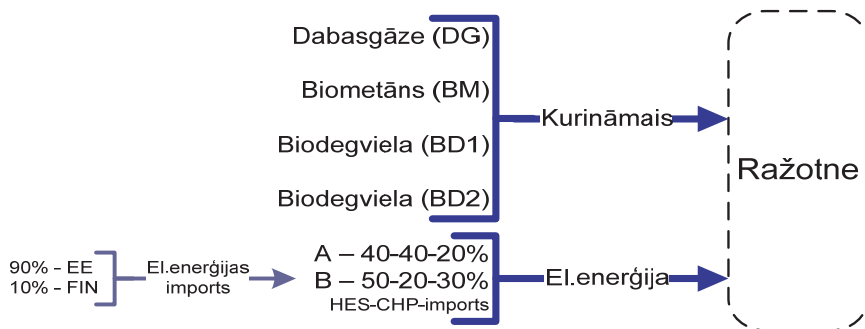
Tālākai analīzei tika izvēlētas un rezultātu izvērtējumā iekļautas tikai tās ietekmes kategorijas, kas rada vismaz 2 % no kopējās ietekmes uz vidi. Līdz ar to

izvērtētas šādas septiņas *ReCiPe* metodes ietekmju kategorijas: (1) fosilo resursu noplicināšana, (2 un 3) klimata izmaiņas, kas ietekmē gan cilvēku veselību, gan ekosistēmas, (4) cieto daļiņu veidošanās, (5) toksiskums, (6) lauksaimniecības zemju izmantošana un (7) augsnes ekotoksiskums.

2.3. Datu avoti un veidi

Pētījumā izmantoti rūpnīcas viena gada darbības dati, kas iegūti, apmeklējot ražotni, un dati, kas publicēti ražotnei izsniegtajā piesārņojošās darbības atļaujā [8].

Pētījuma posma sākuma daļā, lai noskaidrotu to, kā izvēlētie elektroenerģijas avoti maina potenciālo ietekmi uz vidi, tika izvērtēti divi elektroenerģijas avotu kombināciju varianti, kas turpmāk apzīmēti kā scenārijs “A” un “B” (skat. 2.1. attēlu). Kad ziemas periodā elektrības cenas “*NordPool*” tirgū ir relatīvi augstas, iekšzemes dabasgāzes koģenerācijas stacijas ir konkurētspējīgas ar elektrības cenām tirgū, un ir pieņemts, ka nodrošina aptuveni 40 % no kopējā ikgadējā elektroenerģijas patēriņa (scenārijs “A”). Vēl ir pieņemts, ka 40 % no kopējā ikgadējā elektroenerģijas patēriņa saražo iekšzemes hidroelektrostacijas un pārējie 20 % ir importētā elektroenerģija. Tomēr, ja tirgus elektroenerģijas cenas ir zemākas, ir pieņemts, ka iekšzemes siltumapgādi nodrošina vienīgi ar ūdenssildāmajiem katliem un koģenerācijas stacijās saražotās elektrības daļa samazinās par 20 %, savukārt importētās elektroenerģijas daļa palielinās līdz 30 % (scenārijs “B”), attiecīgi atlikušo elektroenerģijas daļu nodrošina hidroelektrostacijas. Liela daļa iepirkās elektroenerģijas Latvijā tiek importēta no Igaunijas, tāpēc pētījumā tika pieņemts, ka 90 % no elektroenerģijas importa veido Igaunijas Narvas elektrostacijās ražotā elektroenerģija un 10 % piegādā pārējās Ziemeļvalstis.



2.1. attēls. Scenāriju shematiskais attēlojums. DG – dabasgāze; BM – biometāns; BD1 – pirmās paaudzes biodegviela; BD2 – otrās paaudzes biodegviela; A un B – elektroenerģijas avotu kombināciju varianti.

Nolūkā analizēt produkta dzīves cikla ietekmi uz vidi atkarībā no izmantotā kurināmā, tika izstrādāti četri dažādi kurināmā scenāriji, kas attiecīgi apzīmēti kā “DG”, “BM”, “BD1” un “BD2” (skat. 2.1. attēlu). Scenārijs “DG” attiecināms uz pašreizējo situāciju, kurā apdedzināšanas krāsnīs izmanto dabasgāzi. Scenārijs “BM” attiecināms uz situāciju, ja dabasgāzi aizstāj ar biometānu. Attiecīgi pirmās un otrās paaudzes biodegvielas izmantošana ražošanas procesā ir apzīmēta kā “BD1” un “BD2” scenārijs. Biodegvielu ražotņu būvniecības laikā radītā ietekme uz vidi šajā pētījumā nav iekļauta un nav izvērtēta.

2.4. Rezultāti un diskusija

Rezultāti, kas iegūti, ar *ReCiPe* metodi analizējot “A” un “B” scenāriju (dažādu elektroenerģijas avotu ietekmi uz vidi), ir attiecīgi 13,8 mPt/MJ un 13 mPt/MJ. “A” scenārija rezultāti un *ELCD* datubāzē [14] pieejamie indikatori Latvijas vidēja sprieguma elektroenerģijas avotam ir gandrīz vienādi. Ja scenārija “A” vietā tiek izmantots elektroenerģijas “B” scenārijs, funkcionālās vienības ietekme uz vidi, kas ir izteikta skaitliski, samazinās tikai par ~0,6 %. Šādas abu scenāriju atšķirības ir nenozīmīgas, tāpēc turpmākajos aprēķinos izvēlēts un izmantots tikai “A” elektroenerģijas scenārijs.

Ietekmes uz vidi novērtējums vienas tonnas keramikas celtniecības būvmateriāla saražošanai, norāda, ka lielākā daļa vides ietekmes visiem scenārijiem ir saistīta ar ražošanas procesā izmantoto kurināmo un elektroenerģiju (skat. 2.1. tabulu).

2.1. tabula

Ražošanas procesu radītā ietekmes uz vidi īpatsvars funkcionālajai vienībai, %				
Scenārijs	DG	BM	BD1	BD2
Kurināmais	84	68	92	62
Elektroenerģija	11	21	6	26
Mālu iegūšana	1	2	0	2
Iepakojšana	4	9	2	10

Ja dabasgāzi aizstāj ar biometānu (scenārijs “BM”), kopējā ietekme uz vidi samazinās par ~48 %. Ja dabasgāzes vietā tiek izmantota otrās paaudzes biodegviela (scenārijs “BD2”), ietekme uz vidi attiecīgi samazinās par ~56 %. Bet, izmantojot pirmās paaudzes biodegvielu (scenārijs “BD1”), ietekme uz vidi ir daudzkārt lielāka, t. i., ietekme uz vidi palielinās par ~97 %, salīdzinot ar dabasgāzes izmantošanas scenāriju. Ietekmes uz vidi pieaugums, iespējams, ir saistīts un skaidrojams galvenokārt ar rapšu audzēšanas laikā radīto ietekmi uz vidi, izmantojot lauksaimniecības zemes un minerālmēslus.

2.5. Secinājumi

Pētījuma rezultāti norāda, ka visnozīmīgākais ietekmes uz vidi samazinājums vērojams, ja ražošanā, neveicot degļu tehniskās izmaiņas, dabasgāzi aizstātu ar biometānu. Nākamā labākā alternatīva no ietekmes uz vidi skatupunkta ir otrās paaudzes biodeģvielas izmantošana, bet šādā gadījumā ir nepieciešamas krāsns degļu tehniskās korekcijas. Vislielāko negatīvo ietekmi uz vidi rada pirmās paaudzes biodeģvielas izmantošana, daudzkārt pārsniedzot scenārija, kurā kā kurināmo izmanto dabasgāzi, ietekmes uz vidi rezultātus. Ievērojamā ietekme uz vidi šajā gadījumā varētu būt skaidrojama ar augsnes izmantošanu un lauksaimniecības aktivitātēm, t. sk. minerālmēslu izmantošanu. Elektroenerģijas avotu izvēlei, ņemot vērā elektroenerģijas tirgus apstākļus, nav būtiskas nozīmes un ietekmes uz kopējo ražošanas procesā radīto ietekmi uz vidi: funkcionālās vienības ietekme uz vidi samazinās tikai par ~0,6 %.

Industrijas apgādei ar biometānu var izmantot esošo dabasgāzes apgādes infrastruktūru. Ir nepieciešams veikt novērtējumu alternatīvām biometāna ražošanas un piegādes sistēmām, izmantojot dabasgāzes apgādes tīklu, analizējot tehniskos, ekonomiskos un ietekmes uz vidi kritērijus, lai atrastu piemērotākos risinājumus.

3. BIOMETĀNA RAŽOŠANAS UN PIEGĀDES SISTĒMAS, IZMANTOJOT DABASGĀZES INFRASTRUKTŪRU, DZĪVES CIKLA UN TEHNISKI EKONOMISKAIS NOVĒRTĒJUMS

Latvijā biogāzes ražotnes pārsvarā ir decentralizētas un atrodas relatīvi tālu no lieliem siltuma patērētājiem, līdz ar to tām nav pietiekamas siltuma slodzes, lai strādātu efektīvā koģenerācijas režīmā. Alternatīva salīdzinoši neefektīvai enerģijas ražošanai būtu attīrītas biogāzes jeb biometāna ražošana. Biometāns, atšķirībā no vēja enerģijas, ir labi pārvaldāms energoresurss, ko var uzglabāt, izplatīt un izmantot tādā pašā veidā kā dabasgāzi un, izmantojot esošo labi attīstīto infrastruktūru, piegādāt patērētājiem. Tāpēc biometāns ir atzīts kā viens no svarīgākajiem un visdzīvotspējīgākajiem atjaunojamajiem resursiem dabasgāzes aizstāšanai [25]. Turklāt AER izmantošana ir svarīga enerģijas atkarības no importētiem resursiem samazināšanai, un tā ir arī daļa no Eiropas Savienības (ES) izvirzītajiem mērķiem, līdz ar to saistoša arī Latvijai [26]. Latvija ir apņēmusies līdz 2020. gadam palielināt AER īpatsvaru enerģijas galapatēriņā līdz 40 % [27], un biometāna ražošana var palīdzēt sasniegt šo mērķi. Kaut arī Eiropā biogāzes attīrīšanas staciju skaits katru gadu palielinās [28], Latvijā nav nevienas biogāzes attīrīšanas stacijas.

Pašreizējos tirgus apstākļos biometāns vēl nevar konkurēt ar dabasgāzi pārdošanas cenas ziņā [26, 27, 29]. Tāpēc tiek veikti pētījumi, lai salīdzinātu biogāzes attīrīšanas tehnoloģijas [30–32], kā arī, lai atrastu ekonomiski izdevīgāko un tehniski piemērotāko izmantošanas veidu, ņemot vērā arī ietekmes uz vidi aspektus, biogāzes vai biometāna izmantošanu [33–37], tostarp ievadīšanu tīklā un izplatīšanu [38–41], vai biogāzes ražotņu integrēšanu rūpniecībā [20, 42]. Pētījumi

par biometāna ražošanu tehnisko un ekonomisko potenciālu un ievadīšanu dabasgāzes tīklā ir veikti arī Latvijā [24, 43, 44].

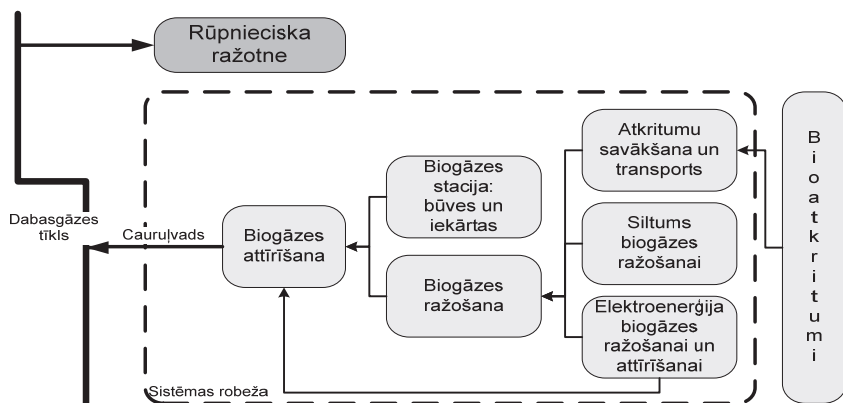
Šajā nodaļā aprakstīti rezultāti, kas iegūti, veicot dzīves cikla analīzi biometāna piegādei rūpnieciskajiem patērētājiem, izmantojot dabasgāzes infrastruktūru, lai novērtētu biometāna transportēšanas ietekmi uz vidi. Analizētā sistēma ietver biometāna ražošanu un transportu, ietverot pieslēguma infrastruktūras izbūvi, līdz dabasgāzes tīklam. Kopējās ražošanas izmaksas ir noteiktas trīs dažādiem biometāna ražošanas scenārijiem un piecām biogāzes attīrīšanas metodēm.

3.1. Dzīves cikla analīze

Novērtējumam izvēlētas septiņas biogāzes stacijas, kas ir izvietotas vistuvāk vienam no brīvi izvēlētajiem rūpniecības uzņēmumiem Latvijā. Sistēmas robežās ir ietverta bioatkritumu savākšana un transportēšana līdz ražotnei, biometāna ražošana un transports līdz dabasgāzes tīklam, iekļaujot transportēšanai nepieciešamo infrastruktūru (skat. 3.1. attēlu). DCA veikta funkcionālajai vienībai 1 MWh biometāna enerģijas, kas ievadīta dabasgāzes tīklā. Pētījumā izmantotie dati iegūti no biogāzes stacijām izdotajām A kategorijas piesārņojošās darbības atļaujām [45–51] un agrāk veiktajiem pētījumiem [52]. Biometāna ražošanas un transportēšanas (no biometāna ražotnes līdz dabasgāzes tīklam, izmantojot pieslēguma cauruļvadu) laikā radītās ietekmes uz vidi modelēšanai un novērtēšanai izmantota DCA programma “*SimaPro 8.1*” [14] ar *EcoInvent* (v2.2) datubāzi [53]. Pētījumā izmantota *Europe ReCiPe H/A* metode [9, 54]. Aprēķini labākā scenārija biometāna ievadīšanai dabasgāzes tīklā izvēlei veikti, ņemot vērā katras stacijas biometāna ražošanas jaudu un stacijas attālumu līdz dabasgāzes tīklam, kas noteikts ar *ArcGIS* [55] programmu.

Pētījumam izvēlētas darbībā esošas biogāzes ražotnes, kurās ir uzstādītas elektroenerģijas ražošanas iekārtas ar atšķirīgām jaudām un kas atrodas dažādos attālos (ražotne Nr. 1 atrodas ~0,8 km attālumā, ražotne Nr. 7 ~19 km attālumā) līdz dabasgāzes tīklam. Pētījumā, kas aprakstīts šajā apakšnodaļā, tiek noteikts, kāda būtu ietekme uz vidi, ja saražoto biogāzi izmantotu nevis elektrības ražošanai, bet to attīrītu, iegūstot nepieciešamās kvalitātes biometānu, un ievadītu dabasgāzes tīklā. Pētījumam izvēlētajās ražotnēs biogāzes iegūšanai izmanto dažādus bioatkritumus. Saražotās biogāzes un iespējamais biometāna apjoms ražotnēm ir atšķirīgs, jo atšķiras arī to jaudas, izejošo plūsmu daudzums un sastāvs, kā arī citi faktori.

Saskaņā ar veiktajiem aprēķiniem ietekme uz vidi funkcionālajai vienībai (1 MWh biometāna enerģijas, ietverot infrastruktūras radīto ietekmi uz vidi), kas saražota stacijā Nr. 1, ir 9,92 Pt MWh⁻¹. Radītā ietekme, palielinoties attālumam līdz dabasgāzes tīklam, pieaug līdz 10,38 Pt MWh⁻¹ biometānam, kas saražots stacijā Nr. 7. Salīdzinājumam ir jāmin, ka 1 MWh dabasgāzes enerģijas ietekme uz vidi ir 15,3 Pt MWh⁻¹ [14].



3.1. attēls. Sistēmas robežās iekļautie procesi.

Analizējot biometāna ražošanas, infrastruktūras (cauruļvadu) un biometāna transportēšanas radīto ietekmi uz vidi, jāsecina, ka gadījumā, ja ražotne atrodas nepilna kilometra attālumā no dabaszgāzes tīkla (ražotne Nr. 1), biometāna ražošana rada ~99,78 % no kopējās radītās ietekmes uz vidi, cauruļvadi ~0,2 %, savukārt biometāna transportēšana rada tikai ~0,004 % no kopējās radītās ietekmes uz vidi. Ja ražotne atrodas gandrīz 20 kilometru attālumā no dabaszgāzes tīkla (ražotne Nr. 7), biometāna ražošana rada ~95,36 % no kopējās radītās ietekmes uz vidi, cauruļvadi un biometāna transportēšana rada attiecīgi ~4,56 % un ~0,08 % no kopējās radītās ietekmes uz vidi. Līdz ar to var secināt, ka biometāna infrastruktūras un transportēšanas radītā ietekme uz vidi, kas ietver enerģijas patēriņu un radītās emisijas, ir samērā neliela daļa no kopējās radītās ietekmes uz vidi gadījumā, ja ražotne ir tuvu dabaszgāzes tīklam, bet pieaug līdz ar attālumu no tā. Pētījumā tika aprēķināts, ka infrastruktūras un transportēšanas ietekme var radīt ~10 % no kopējās biometāna ražošanas un ievadīšanas tīklā ietekmes uz vidi, ja attālums no ražotnes līdz tīklam ir ~45 km. Tomēr – pat, ja šī ietekme, kas izteikta procentos, būtu mazāka vai lielāka atkarībā no attāluma līdz dabaszgāzes tīklam – ir jāatzīst, ka gāzes piegādes infrastruktūra ir samērā nozīmīgs faktors, kas noteikti būtu jāņem vērā, plānojot un ierīkojot energoapgādes sistēmas.

3.2. Biogāzes attīrīšanas metožu un biometāna ražošanas un ievadīšanas dabaszgāzes tīklā tehniski ekonomiskais novērtējums

Šajā apakšnodaļā ir veikta piecu dažādu biogāzes attīrīšanas metožu un trīs biometāna ražošanas un ievadīšanas dabaszgāzes tīklā scenāriju tehniski ekonomiskā analīze un novērtējums. 2014. gadā Latvijā darbojās 54 biogāzes stacijas ar kopējo uzstādīto jaudu 54,92 MW [56]. 2013. gadā, strādājot ar vidēji 75 % noslodzi, saražots vairāk nekā 275,22 GWh elektroenerģijas [56]. Lai noteiktu optimālo biometāna ražošanas un ievadīšanas dabaszgāzes tīklā risinājumu, brīvi tika izvēlētas

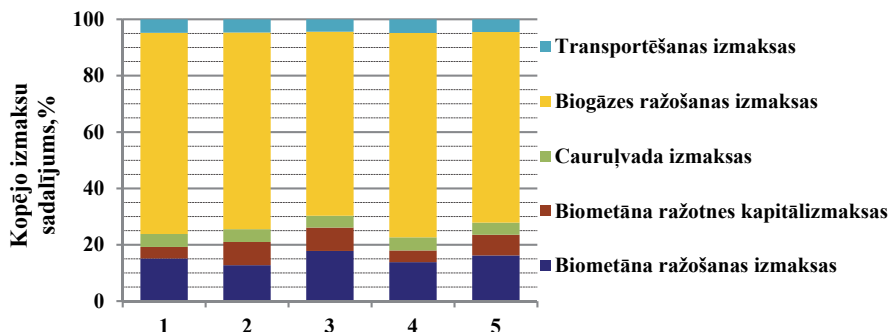
trīs biogāzes stacijas. Lai aprēķinātu biometāna ražošanas izmaksas, tika salīdzinātas piecas komerciāli pieejamas biogāzes attīrīšanas tehnoloģijas: (1) slapjā attīrīšana ar ūdeni; (2) attīrīšana ar amīniem; (3) atdalīšana ar membrānām; (4) attīrīšana ar organiskajiem šķīdinātājiem un (5) spiediena maiņas adsorbēcija [57]. Lai rastu ekonomiski izdevīgāko veidu biometāna ražošanai un ievadei dabasgāzes tīklā, tika izskatīti trīs dažādi iespējamie scenāriji:

- a) katra biogāzes ražotne ierīko savas attīrīšanas iekārtas un saražoto biometānu ievada dabasgāzes tīklā;
- b) katra ražotne biogāzi transportē uz vienu attīrīšanas staciju, un no tās biometāns tiek ievadīts dabasgāzes tīklā. Šajā scenārijā attīrīšanas izmaksas ir zemākas nekā tad, ja biogāze tiek attīrīta tur, kur tā tiek ražota (*a* scenārijs), pateicoties zemākām attīrīšanas iekārtu kopējām īpatnējām investīcijām;
- c) izejvielas, kas nepieciešamas trīs atsevišķu biogāzes staciju ražošanas jaudas nodrošināšanai, transportē uz vienu lielāku biometāna ražotni, izmantojot esošo ceļu infrastruktūru. Biometānu ievada dabasgāzes tīklā. Šajā scenārijā biometāna ieguves izmaksas ir tādas pašas kā *b* scenārijā, bet atšķiras biogāzes ražošanas izmaksas un gāzes transportēšanas izmaksas.

Veikto aprēķinu rezultāti parāda, ka ekonomiski visizdevīgākais biometāna ražošanas scenārijs – neatkarīgi no izvēlētajām attīrīšanas metodes – būtu, ja vairāku mazu biogāzes ražotņu vietā, biometāns tiktu ražots vienā lielākā ražotnē (*c* scenārijs). Scenārijā, ja biogāze no atsevišķām ražotnēm tiktu transportēta uz vienu attīrīšanas staciju (*b* scenārijs), kopējās izmaksas būtu par aptuveni 2 % līdz 4 % zemākas (atkarībā no izmantotām attīrīšanas metodes) nekā *a* scenārija kopējās izmaksas. Savukārt *c* scenārija kopējās izmaksas ir par aptuveni 22 % līdz 27 % zemākas (atkarībā no izvēlētajām biogāzes attīrīšanas metodes un ekonomiskā dzīves ilguma) nekā *b* scenārijā. Tāpēc var secināt, ka viszemākās izmaksas būtu *c* scenārija gadījumā, lai gan to nav iespējams īstenot jau darbībā esošajām biogāzes ražotnēm. Tomēr tas varētu būt ekonomiski visizdevīgākais risinājums jaunajām ražotnēm. Esošajām biogāzes ražotnēm vēlamākais risinājums varētu būt *b* scenārijs.

Veicot aprēķinus, var secināt, ka lētākā biogāzes attīrīšanas metode ir attīrīšana, izmantojot amīnus un fiziskā attīrīšana ar organiskajiem šķīdinātājiem. Visas piecas izvērtētās biogāzes attīrīšanas metodes ir komerciāli pieejamas [33].

Vislielākais īpatsvars biometāna ražošanas kopējās izmaksās (~65 % līdz ~73 % – atkarībā no biogāzes attīrīšanas metodes) visiem scenārijiem ir biogāzes ražošanas izmaksām (skat. 3.2. attēlu). Biogāzes attīrīšanas izmaksas ir ~13–18 % robežās no kopējām izmaksām. Savukārt cauruļvada izbūves un izejvielu transportēšanas izmaksas ir ~4–5 % robežās, bet biometāna ražotnes kapitālizmaksas atkarībā no izvēlētajām attīrīšanas metodes ir ~4–8 % robežās no kopējām izmaksām.



3.2. attēls. Biometāna kopējo izmaksu sadalījuma salīdzinājums visām izvēlētajām biogāzes attīrīšanas metodēm. Biogāzes attīrīšanas metodes: 1 – slapjā attīrīšana ar ūdeni; 2 – attīrīšana ar amīniem; 3 – attīrīšana ar membrānām; 4 – fiziskā attīrīšana ar organiskajiem šķīdinātājiem; 5 – spiediena maiņas adsorbcija.

Aprēķinu rezultāti parāda, ka kopējās biometāna ražošanas, transportēšanas un ievadišanas dabasgāzes tīklā izmaksas, ja izmanto ekonomiski izdevīgāko attīrīšanas metodi un ekonomiskos aprēķinus veic 20 gadiem, ir aptuveni divas reizes augstākas nekā dabasgāzes importa cena. Līdz ar to var secināt, ka biometāna ražošanai ir nepieciešams finansiālais atbalsts, lai biometāna cena būtu konkurētspējīga ar dabasgāzes cenu.

4. BIOMETĀNA RAŽOŠANAS UN PIEGĀDES ATBALSTA MEHĀNISMA SISTĒMDINAMIKAS MODELIS

Energoapgādes sistēmu attīstības un enerģētikas politikas plānošana ir sarežģīta, ievērojot to, ka sistēmu ietekmē daudzi faktori. Lai plānotu atbalsta mehānismu un dažādu to scenāriju sekas, ir nepieciešams izmantot analītisku instrumentu, kas ļauj analizēt kompleksas un dinamiskas sistēmas. Tādēļ atbalsta mehānisma izpētei tika izvēlēta starpdisciplinārā sistēmdinamikas (SD) [58–60] pieeja. SD pieeja kā līdzeklis energosistēmu plānošanai un formulēšanai ir veiksmīgi izmantota, lai risinātu dažādus enerģētikas politikas jautājumus [61–67]. SD pieeja ir izmantota arī vairāku ar Latvijas enerģētiku saistītu jautājumu risināšanā [68–70].

Ar SD pieeju ir analizēta biometāna ražošanas ķēdes dinamika Nīderlandē, un pētījuma autori atzīst, ka ir vairāki faktori, kas sarežģī biometāna ražošanas nozares attīstību, piemēram, resursu pieejamība, pieprasījums, jaudu uzstādīšana, rentabilitāte, kā arī konkurence starp biometāna un elektroenerģijas ražošanas nozari, sadalot pieejamo biogāzes un biomasas apjomu [65]. Pētījuma rezultātā secināts, ka atbalsta mehānisms ar relatīvi zemām subsīdiu izmaksām šādos apstākļos var pastāvēt, ja tas tiek ieviests uz pietiekami ilgu laiku, bet ir jāņem vērā, ka atbalsta mehānisma rezultātus ietekmē ražotāju vēlme investēt, ko var mazināt šaubas par investīciju ekonomisko izdevīgumu [65]. Arī Vācijas biometāna tirgus ir

modelēts, izmantojot SD pieeju [71]. Ar modeļa palīdzību novērtētas vēsturiskās enerģijas un klimata politikas sekmes un ietekme uz elektroenerģijas un siltumenerģijas nozari, kā arī modelētas un izvērtētas jaunas politikas, ko nākotnē ieteikt politikas veidotājiem ilgtspējīga un efektīva biometāna tirgus nodrošināšanai [71].

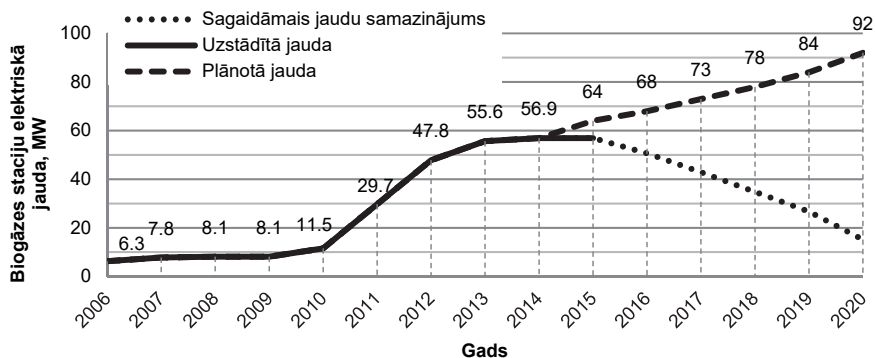
Izmantojot SD pieeju, izveidots un šajā nodaļā aprakstīts modelis, ar kuru, atšķirībā no iepriekš aprakstītajos pētījumos izveidotajiem modeļiem, var detalizēti analizēt biometāna ražošanas un piegādes atbalsta mehānismu un tā struktūru, tajā skaitā, novērtējot gan atļauju piešķiršanas dinamikas ietekmi uz atbalsta mehānismu, gan Latvijā iegūstamo maksimālo biometāna apjomu, kā arī ietverot ar biometāna stacijas būvniecību un pieslēgumu dabasgāzes tīklam saistītās izmaksas, dabasgāzes cenu dinamiku u. c. aspektus. Nozīmīgākā šā pētījuma un SD modeļa novitāte ir tā, ka ar lielāku detalizācijas pakāpi tiek analizēts tieši pats atbalsta piešķiršanas mehānisms un tā rezultātā sekojošā fiziskā biometāna ražošanas jaudu attīstības dinamika. Modelēšanas galvenais izpētes jautājums ir, kā nodrošināt vēlamo biometāna ražošanas pieauguma dinamiku, nepārsniedzot paredzēto finansiālo atbalsta apjomu. Tādējādi modelis ir politikas dizaina instruments, kas nosaka parametrus un to vērtības, kas politikas veidotājiem ir jāņem vērā, lai izveidotu ilgtspējīgu biometāna (un arī citu AER tehnoloģiju) atbalsta politiku.

4.1. Dinamiskā problēma un modeļa mērķis

Nozīmīgākie vietējie energoresursi Latvijā ir koksnes biomasa un hidroenerģija. 2012. gadā aptuveni vienu trešdaļu no kopējā primārās enerģijas patēriņa nodrošināja ar vietējiem energoresursiem (tajā skaitā 1,1 % ar biogāzi). Pārējie nepieciešamie energoresursi tiek importēti no dažādām Baltijas reģiona valstīm, Eiropas Savienības (ES) un arī no trešajām valstīm, tajā skaitā no Krievijas [72]. Kaut arī Latvijā atjaunojamo energoresursu (AER) īpatsvars kopējā enerģijas patēriņā ir samērā augsts (2014. gadā – 35,8 %), Latvija joprojām ir ļoti atkarīga no dabasgāzes piegādes no Krievijas [73, 74], kas 2014. gadā veidoja 26,7 % no kopējā primārās enerģijas patēriņa [72].

Latvija ir izvirzījusi mērķi palielināt AER īpatsvaru bruto enerģijas galapatēriņā līdz 40 % un 50 % attiecīgi līdz 2020. un 2030. gadam un samazināt enerģijas importu no pašreizējiem trešo valstu piegādātājiem par 50 %, salīdzinot ar 2011. gada patēriņu [75]. Lai nākotnē palielinātu biogāzes lomu Latvijas enerģētikā, būs jārisina vairākas problēmas, piemēram, (1) valstī nav noteiktas prasības biogāzes ievadīšanai dabasgāzes tīklā [75]; (2) nav definētas dabasgāzes tīklā ievadāmās biogāzes kvalitātes prasības; (3) spēkā esošā valsts atbalsta shēma rada papildu slogu galalietotājiem.

Šā pētījuma dinamiskā problēma ir sagaidāmā jaudu attīstība, kas atšķirsies no plānotā (skat. 4.1. attēlu), ievērojot to, ka jaunu atļauju izsniegšana ir pārtraukta uz ilgāku laika periodu. Šāda situācija ir radusies, jo politikas veidotāji nebija veikuši atbalsta sistēmas dinamisko procesu analīzi.

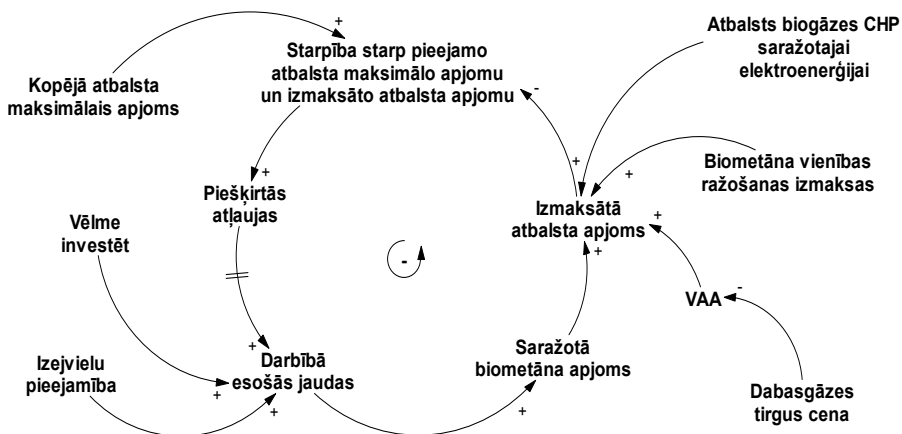


4.1. attēls. Faktiskās (līdz 2015. gadam) un plānotās [76] biogāzes koģenerācijas staciju kopējās uzstādītās elektriskās jaudas un sagaidāmais jaudu samazinājums normatīvo aktu izmaiņu rezultātā. Jaudu samazinājuma līkne parāda iespējamo izmaiņu raksturu nevis aprēķinātas skaitliskās vērtības.

Pētījuma, kas aprakstīts šajā sadaļā, mērķis bija izveidot sākotnējo modeli, kas labi raksturotu vēsturisko biogāzes nozares situāciju valstī, un tad to izmantot biometāna piegādes (ražošanas un ievades dabasgāzes tīklā) atbalsta mehānisma izveidē. Atbilstoši mērķim izveidotā sākotnējā modeļa validācijas laikā tika noskaidrots, ka tas pietiekami precīzi spēj raksturot vēsturisko biogāzes nozares attīstību Latvijā, parādot, kādas ir sagaidāmās tendences nākotnē, ja biogāzes nozarē tiks izmantoti pašreizējie politikas instrumenti (skat. 4.1. attēlu). Savukārt ar izveidotā sistēmdinamikas modeļa palīdzību ir izstrādāts pietiekami pamatots un skaidrs biometāna ražošanas un piegādes atbalsta mehānisms, kā arī analizēti dažādi šā atbalsta mehānisma aspekti un scenāriji.

4.2. Dinamikas hipotēze

Izstrādājot biometāna ražošanas un piegādes atbalsta mehānisma modeli, tika izteikta hipotēze, ka izveidotais atbalsta mehānisms ir stabils un ilgtspējīgs, t. i., nodrošina, ka izmaksātā atbalsta kopējais apjoms nepārsniedz politiski noteikto kopējo maksimālo atbalsta apjomu, bet vienlaikus izmanto to pilnībā. Atbalsta mehānisms pozitīvi ietekmē saņemto atļauju skaitu, palielinot atļauju piešķiršanas ātrumu (skat. 4.2. attēlu [77]). Palielinās arī darbībā esošo jaudu apjoms, ko ietekmē vēlme investēt un ierobežo resursu pieejamība, un palielinās saražotā biometāna apjoms, palielinot arī izmaksājamā atbalsta apjomu. Dabasgāzes tirgus cena tieši ietekmē izmaksājamā atbalsta apjomu – dabasgāzes tirgus cenai krītoties, izmaksājamā atbalsta maksājuma summa (starpība starp biometāna ražošanas izmaksām un dabasgāzes cenu) palielinās un otrādi. Kad ir sasniegts noteiktais izmaksājamā kopējā maksimālā atbalsta apjoms, tiek ierobežota jaunu ražošanas atļauju izsniegšana.



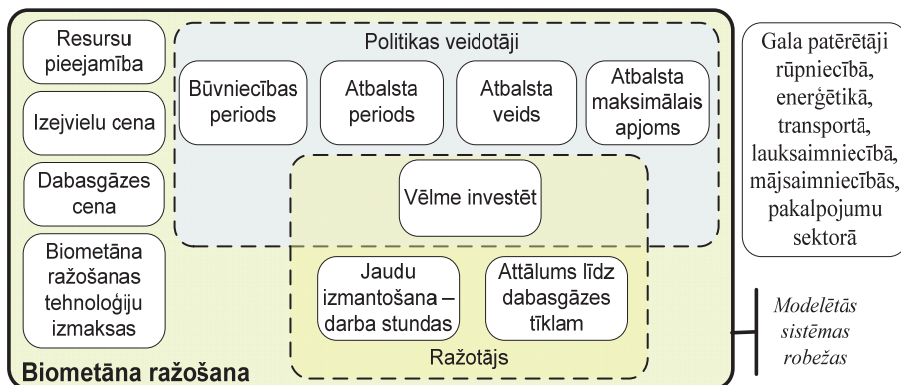
4.2. attēls. Cēlonisko cilpu diagramma, kas paskaidro biometāna ražošanas un piegādes atbalsta mehānismu struktūru [77].

Būtiskākie faktori un atzinumi, kas ņemti vērā, izstrādājot modeļa hipotēzi:

- biometāna ražošanai tiek noteikts kopējais atbalsta maksājumu maksimālais apjoms;
- gan biogāzes, gan biometāna ražošanas apjomu ietekmē un ierobežo izejvielu pieejamība;
- valsts politiskā griba un pieņemtā atbalsta mehānismu stabilitāte un ilgtspēja būtiski ietekmē investoru vēlmi iesaistīties biometāna ražošanā;
- izvēloties biometāna atbalsta mehānismu veidu un apjomu, būtu jāņem vērā arī dabasgāzes tirgus cenas līmenis, vidējās cenas pieauguma dinamika. Aprēķinot nākotnes cenas tendenci, ir ņemta vērā dabasgāzes cenas vēsturiskā dinamika. Aprēķinu rezultāti liecina par to, ka nākotnē dabasgāzes cena pieaugs. Arī Eiropas Komisijas sagatavotajā Enerģētikas ceļvedī 2050. gadam norādīts, ka enerģijas cenas paaugstinās visā pasaulē [2].

Ar izveidotā modeļa palīdzību var analizēt un paredzēt reālās sistēmas uzvedību un izmaiņas laikā un, atkarībā no dažādiem politikas instrumentiem, var pārbaudīt un noteikt faktorus, kas maina visa atbalsta mehānismu rezultātu. Piemēram, kā biometāna ražošanas un piegādes sistēmu ietekmē izejvielu pieejamība un cena vai arī kāda loma atbalsta mehānismu darbībā ir būvniecībai atvēlētajam laikam vai atbalsta maksājumu perioda ilgumam u. c. Parametri un faktori, kas iestrādāti modelī un kurus var ietekmēt politikas veidotāji un biometāna ražotāji, parādīti 4.3. attēlā. Līdz ar to ļoti svarīgi bija rūpīgi izstrādāt modeļa struktūru, kas pēc iespējas labāk raksturotu un prognozētu reāli eksistējoša atbalsta mehānismu darbību, iekļaujot visus būtiskākos sistēmas elementus un raksturīgās tiešās un atgriezeniskās savstarpējās saites, nevis izmantot precīzas skaitliskās vērtības, kas bieži vien nav

pieejamas informācijas trūkuma dēļ. Modelētā sistēma neietver biometāna gala patērētāju uzvedību – siltuma vai elektrības ražošanu no biometāna vai biometāna izmantošanu transporta sistēmā (skat. 4.3. attēlu).



4.3. attēls. Biometāna ražošanu ietekmējošie faktori un parametri un sistēmas robežas.

4.3. Modeļa formulēšana un imitācijas aprēķini

Modelī ietverta potenciālo investoru, biometāna ražotāju un politikas veidotāju rīcība un mijiedarbība, kas nosaka sistēmas dinamisko uzvedību. Modelētā sistēma sastāv no vairākām daļām:

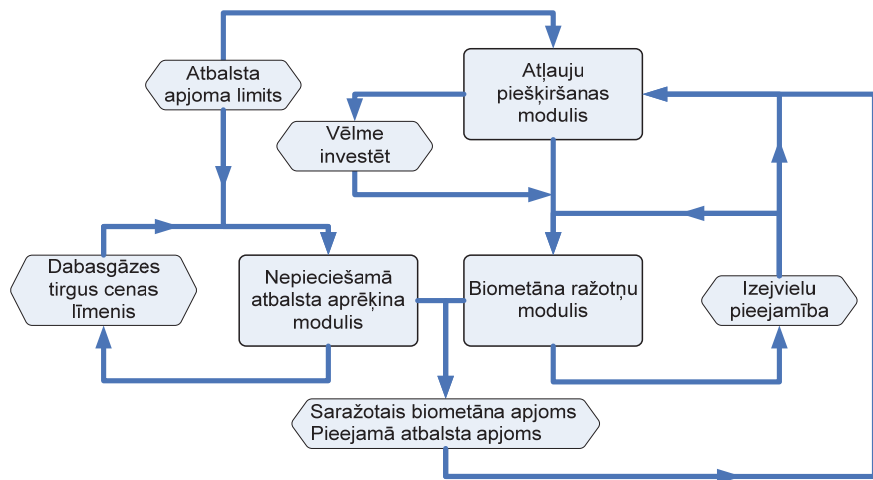
- biometāna ražošanas un piegādes atbalsta mehānisma moduļa;
- vidējā uz vienu biometāna vienību izmaksājamā atbalsta apjoma (VAA) aprēķiniem, kas ietver ar biometāna stacijas būvniecību un pieslēgumu dabagāzes tīklam saistītās izmaksas un dabagāzes cenu dinamiku;
- Latvijā maksimāli iegūstamā biometāna apjoma aprēķiniem;
- izejvielu cenu aprēķiniem un biogāzes zemākā sadegšanas siltuma aprēķiniem.

Veiksmīga biometāna nozares attīstība ir atkarīga no piemērota – stabila un pietiekami ilglaicīga – atbalsta mehānisma, līdz ar to biometāna ražošanas un piegādes atbalsta mehānisma modulis ir galvenā šā sistēmdinamikas modeļa daļa. Pārējās SD modeļa daļas – aprēķini – ir veidotas tā, lai nodrošinātu veiksmīgu atbalsta mehānisma ieviešanu. Ar šā SD modeļa palīdzību tiek novērtēts atbalsta mehānisma – VAA – ietekme uz Latvijas enerģētikas attīstību, t. i., biogāzes un biometāna nozares attīstību.

Valsts valdība izvēlas un nosaka atbalsta mehānismu un kopējo maksimālo atbalsta apjomu un, vadoties pēc šiem nosacījumiem, tiek izsniegtas atļaujas jaudu palielināšanai un jaunu jaudu ieviešanai. Ņemot vērā, ka Eiropas Komisija iesaka ieviest atbalsta sistēmu, kas mudinātu ražotājus sekot līdzi tirgus attīstībai [27],

veidojot modeli, pieņemts, ka Latvijā tiks ieviests tā saucamajām *feed-in* piemaksām (FIP) līdzīgs atbalsta mehānisms. Piemaksa pie iepirktās elektroenerģijas cenas ir uz tirgu orientēts atbalsta maksājums, kad uzņēmējs saņem piemaksu, kas kompensē ar biometāna ražošanu saistītos izdevumus, sedzot starpību līdz dabasgāzes cenai. Pētījumā ir pieņemts, ka ražotājam ir garantēti ieņēmumi un piemaksas apmērs mainās līdz ar dabasgāzes tirgus cenas izmaiņām. Vienai megavatstundai nepieciešamo atbalsta lielumu aprēķina, nosakot vienas biometāna vienības ražošanas izmaksu un dabasgāzes cenas starpību. Rēķinot ražošanas izmaksas 1 MWh biometāna, tiek ņemts vērā, ka īpatnējie kapitālieguldījumi laika gaitā varētu samazināties. Bet, rēķinot vidējo uz 1 MWh biometāna izmaksājamo atbalsta apjomu, ir pieņemts, ka dabasgāzes cena pieaugs.

Tālāk tiek noteikts, cik lielu ikgadējo biometāna ražošanas apjomu būtu iespējams atbalstīt, ņemot vērā politiski noteikto kopējo atbalsta apjoma limitu (skat. 4.4. attēlu). Zinot atbalstāmā biometāna apjomu un ņemot vērā iespējamo vēlmi investēt, kā arī rēķinoties ar laiku, kas nepieciešams kopš atļaujas saņemšanas līdz jaudu nodošanai ekspluatācijā, tiek aprēķināta nepieciešamā atļauju piešķiršanas dinamika. Veicot šos aprēķinus, vērā tiek ņemta arī atļauju termiņa izbeigšanās dinamika. Modelī tiek ņemti vērā arī biogāzes ražošanai nepieciešamo izejvielu ierobežojumi, nosakot maksimālo apjomu. Jo faktiski izmantotais izejvielu apjoms ir tuvāk maksimāli pieejamajam, jo mazāka ir potenciālo biometāna ražotāju vēlme pieteikties atļaujām jaudu palielināšanai vai jaunu jaudu ieviešanai.



4.4. attēls. Modeļa kopējās struktūras shēma.

Ieinteresētās puses (investori un ražotāji), zinot šos nosacījumus un noteikti ņemot vērā izejvielu pieejamību (lauksaimniecības zemes, lopkopības vai sadzīves atkritumus), izrāda vēlmi investēt biometāna ražotnē (skat. 4.4. attēlu). Jo atbalsta

mehānisms ir drošāks un uzņēmējam ir iespēja strādāt bez zaudējumiem, un izejvielas ir brīvāk pieejamas, jo biometāna nozare sāk attīstīties straujāk, palielinās saražotā biometāna apjoms un izmaksātā atbalsta apjoms. Samazinoties pieejamajam izejvielu daudzumam vai atbalsta mehānismam kļūstot nepastāvīgam un neprognozējamam, vēlme investēt samazinās, līdz ar to sākas arī biometāna nozares stagnācija, saražotā biometāna apjoms nepieaug, un tiek izmaksātas mazākas atbalsta summas. Savukārt noteiktais kopējā atbalsta maksimālais apjoms un izvēlētais atbalsta mehānisms ir saistīts ar nepieciešamā atbalsta aprēķina moduli, kas ņem vērā arī dabasgāzes tirgus cenas līmeni, secīgi ietekmē arī saražotā biometāna apjomu un līdz ar to arī izmaksātā atbalsta apjomu. Savukārt saražotais biometāna daudzums un līdz ar to arī izmaksātās atbalsta summas tieši ietekmē ražošanas atļauju izsniegšanas mehānismu.

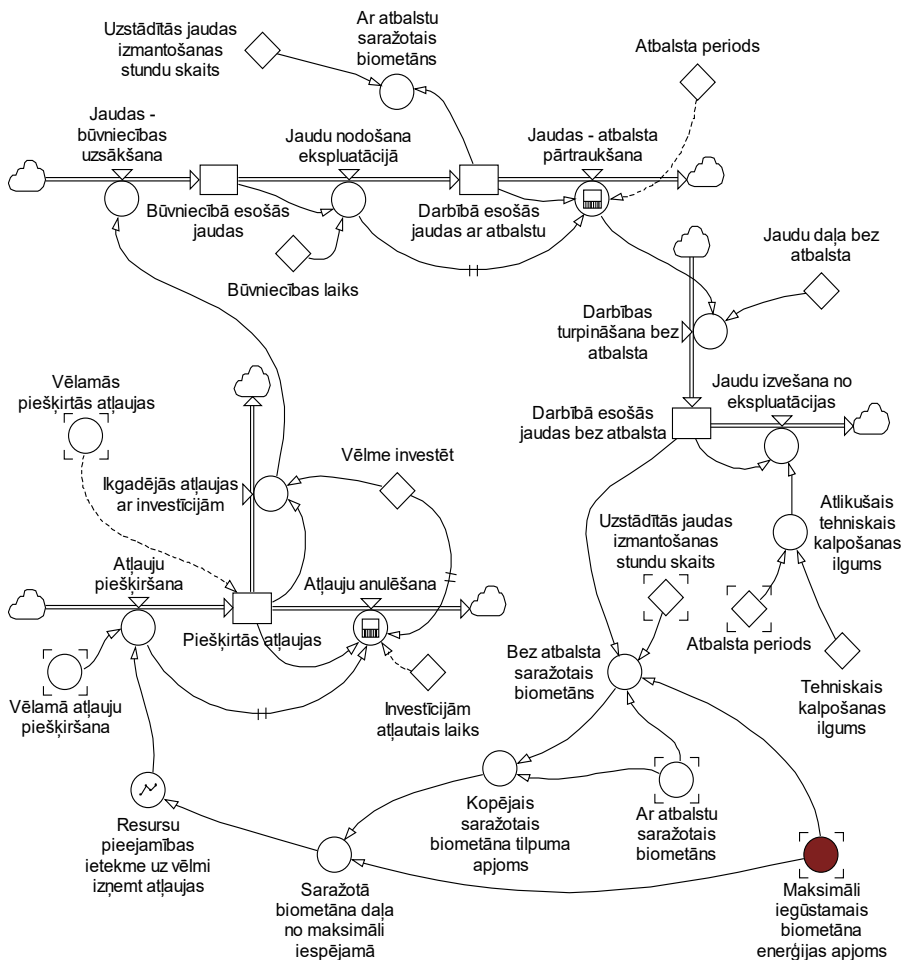
Modeļa izveidē izmantoti Ekonomikas ministrijas, Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas un statistikas dati un aprēķinu rezultāti par biogāzes CHP saražoto elektroenerģijas apjomu, izejvielu pieejamību Latvijā, par normatīvajos aktos noteiktajiem un literatūrā pieejamajiem datiem par ražotnes būvniecībai nepieciešamo laiku, par biogāzes un biometāna ražošanas izmaksām, tajā skaitā par kapitālizmaksām biogāzes un biometāna ražošanai, par cauruļvada izbūves izmaksām, dabasgāzes cenas izmaiņām laikā [27, 72–76, 78–85] u. c. Sistēmdinamikas modelis izveidots, izmantojot *Powersim Studio 8* programmatūras platformu. Modeļa imitācijas aprēķinu periods ir izvēlēts no 2017. līdz 2030. gadam, laika solis – 0,1 gads.

Izstrādātā modeļa uzdevums ir nevis aprēķināt precīzus skaitliskus rezultātus, bet pārbaudīt un noteikt, kuri no biometāna ražošanas un piegādes atbalsta mehānisma faktoriem visbūtiskāk ietekmē un sekmē veiksmīga atbalsta mehānisma (politikas) izveidi.

Modelējot biometāna ražošanas un piegādes atbalsta mehānismu, pieņemts:

- izmaksājamā kopējā atbalsta maksimālais apjoms ir 40 miljoni eiro gadā, kas aptuveni atbilst 2013. un 2014. gadā biogāzes stacijās ražotajai elektroenerģijai izmaksātajam subsīdiju (atbalsta virs tirgus cenas) apjomam saskaņā ar Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas noteikto obligātā iepirkuma komponenti [86]. Modelis ļauj definēt arī citu kopējā atbalsta maksimālo apjomu, un tas var būt arī laikā mainīgs, un modelēt vēlamo atļauju piešķiršanas dinamiku, t. i., noteiktais kopējais atbalsta maksimālais apjoms neietekmē modeļa principiālo darbību;
- vēlme investēt (VI) ir 0,75, t. i., 75 % no izņemtajām atļaujām tiek novestas līdz reālām investīcijām ražošanas jaudās;
- investīcijām atļautais laiks (IAL) ir divi gadi;
- būvniecībai paredzētais laiks (BPL) ir 1,5 gadi;
- uzstādītās jaudas izmantošanas stundu skaits ir 7500 stundu gadā;
- iekārtu tehniskais kalpošanas ilgums (TKI) ir 20 gadu;
- atbalsts tiek maksāts 10 gadu (atbalsta periods – AtbP);
- pēc atbalsta perioda beigām puse no ražotnēm turpina ražot biometānu.

Biometāna ražošanas un piegādes atbalsta mehānisma sistēmdinamikas modeļa ražotņu modulī ir četri krājumi ar attiecīgajām plūsmām (skat. 4.5. attēlu): krājums „Piešķirtās atļaujas” un atļauju piešķiršanas un anulēšanas plūsmas, kā arī plūsma, kas raksturo katru gadu izsniegtās atļaujas ar sekojošām investīcijām; un krājums „Būvniecībā esošās jaudas” un „Darbībā esošās jaudas ar atbalstu”, kā arī krājums „Darbībā esošās jaudas bez atbalsta” ar jaudu būvniecības uzsākšanas, nodošanas ekspluatācijā, atbalsta pārtraukšanas, darbības turpināšanas bez atbalsta un jaudu izvešanas no ekspluatācijas plūsmu.



4.5. attēls. Biometāna ražošanas un piegādes atbalsta mehānisma sistēmdinamikas modeļa ražotņu modulis (krājumu-plūsmu diagramma).

Atļauju piešķiršanas sistēmu veido krājums – “Piešķirtās atļaujas”, kā arī viena ieejošā un divas izejošās plūsmas. Krājums raksturo, cik daudz atļaujas ir piešķirtas (4.1.). Ieejošā plūsma nosaka, cik daudz jaunu atļauju tiek piešķirts noteiktā laika periodā – viena gada laikā (4.2.), izejošās plūsmas nosaka, cik daudz no piešķirtajām ikgadējām atļaujām tiek realizētas ar investīcijām (4.4.) un cik daudz atļaujas tiek anulētas, ja divu gadu laikā, kas bija investīcijām atļautais laiks, netika uzsākta ražotnes būvniecība (4.3.):

$$PA(t) = \int_{t_0}^t [AP(s) - AA(s) - IAI(s)] ds + PA(t_0), \quad (4.1.)$$

kur PA – piešķirtās atļaujas, m^3/h ;
 AP – atļauju piešķiršana, m^3/h gadā;
 AA – atļauju anulēšana, m^3/h gadā;
 IAI – ikgadējās atļaujas ar investīcijām, m^3/h gadā.

Atļauju piešķiršanas plūsmu (AP) biometāna atbalsta mehānisma modeli ietekmē divi parametri: „Vēlamais atļauju piešķiršanas” lielums un tas, kā resursu pieejamība ietekmē vēlmi izņemt atļaujas:

$$AP = VAP \times RPI, \quad (4.2.)$$

kur VAP – vēlamā atļauju piešķiršana, MW gadā;
 RPI – resursu pieejamības ietekme uz vēlmi izņemt atļaujas; pieņemts, ka, samazinoties pieejamo resursu apjomam, samazinās arī vēlme saņemt atļaujas jaudu palielināšanai vai jaunu jaudu ieviešanai.

Atļauju anulēšanas plūsma parāda tās atļaujas, kas tiek atceltas, ja netiek realizētas investīcijām atļautajā laikā:

$$AA = \text{MIN}(PA; \text{DELAYPPL}(AP \times (1 - VI); IAL; 0)), \quad (4.3.)$$

kur DELAYPPL – “konvejera” veida novērojuma funkcija;
 VI – vēlme investēt, %;
 IAL – investīcijām atļautais laiks, gadi.

$$IAI = \text{MIN}(PA \times VI; PA), \quad (4.4.)$$

Krājumu “Būvniecībā esošās jaudas” ietekmē viena ieejošā un viena izejošā plūsma:

$$BEJ(t) = \int_{t_0}^t [BU(s) - JNE(ts)] ds + BEJ(t_0), \quad (4.5.)$$

kur BEJ – būvniecībā esošās jaudas, m^3/h ;
 BU – būvniecības uzsākšana, m^3/h gadā;
 JNE – jaudu nodošana ekspluatācijā, m^3/h gadā.

$$JNE = BEJ/VBL, \quad (4.6.)$$

kur VBL – izvērtējot publiski pieejamo informāciju par ekspluatācijā nodotajām ražotnēm Latvijā, vidējais būvniecības laiks ir pieņemts 1,5 gadi.

Krājumu “Darbībā esošās jaudas ar atbalstu” ietekmē viena izejošā un viena izejošā plūsma:

$$DEJaA(t) = \int_{t_0}^t [JNE(s) - JAP(s)] ds + DEJaA(t_0), \quad (4.7.)$$

kur $DEJaA$ – darbībā esošās jaudas ar atbalstu, MW;

JAP – jaudu atbalsta pārtraukšana, MW gadā.

$$JAP = \text{MIN}(DEJaA; \text{DELAYPPL}(JNE; AP; 0)). \quad (4.8.)$$

Arī krājumu „Darbībā esošās jaudas bez atbalsta” ietekmē viena izejošā un viena izejošā plūsma:

$$DEJbA(t) = \int_{t_0}^t [DTbA(s) - JIE(s)] ds + DEJbA(t_0), \quad (4.9.)$$

kur $DEJbA$ – darbībā esošās jaudas bez atbalsta, MW;

$DTbA$ – darbības turpināšana bez atbalsta, MW gadā;

JIE – jaudu izvešana no ekspluatācijas, m³/h gadā.

$$DTbA = JAP \times JDbA, \quad (4.10.)$$

kur $JDbA$ – jaudu daļa bez atbalsta, %.

$$JIE = DEJbA/ATKI, \quad (4.11.)$$

kur $ATKI$ – atlikušais tehniskais kalpošanas ilgums, gadi.

$$ATKI = TKI - AtbP, \quad (4.12.)$$

kur TKI – tehniskais kalpošanas ilgums, gadi;

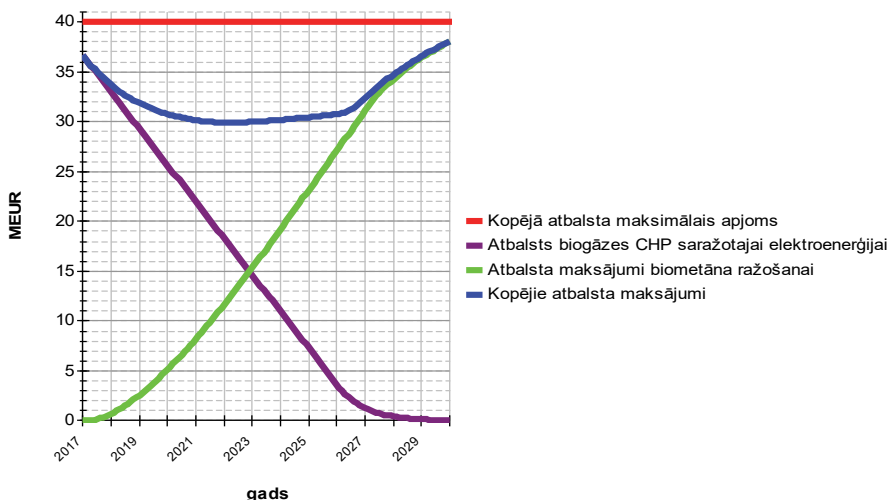
$AtbP$ – atbalsta periods, gadi.

No krājuma „Darbībā esošās jaudas bez atbalsta” veidojas atgriezeniskā saite uz atļauju piešķiršanas plūsmu (skat. 4.5. attēlu) – tiek aprēķināts kopējais (ar un bez atbalsta) saražotā biometāna apjoms un, ņemot vērā Latvijā maksimāli iegūstamā biometāna apjoma aprēķinus, tiek noteikta saražotā biometāna daļa no maksimāli iespējamā, kas savukārt veido saikni ar lielumu „Resursu pieejamības ietekme uz vēlni izņemt atļaujas” un regulē atļauju piešķiršanas plūsmu.

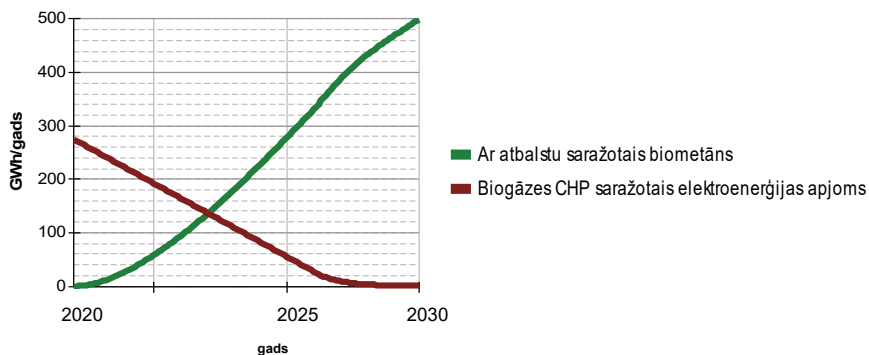
Vēlamo atļauju piešķiršanas apjomu nosaka, ņemot vērā jau piešķirto atļauju apjomu, kā arī aprēķinot vēlāmā ar atbalstu saražotā biometāna apjomu, kas atkarīgs no politiski noteiktā kopējā maksimālā atbalsta apjoma un nepieciešamā vidējā uz

vienu biometāna vienību izmaksājamā atbalsta maksājumu apjoma. Modulī ir ņemtas vērā arī esošo biogāzes koģenerācijas staciju uzstādītās elektriskās jaudas, to saražotais elektroenerģijas apjoms un līdz ar to arī šai enerģijai paredzētais un vēl noteiktu laiku izmaksājamais atbalsta apjoms.

Vidējā uz vienu biometāna vienību izmaksājamā atbalsta apjoma (VAA) aprēķinu modeļa daļa ietver ar biogāzes stacijas būvniecību, biogāzes ražošanu, attīrīšanu un ar pieslēgumu dabasgāzes tīklam saistītās izmaksas, kā arī dabasgāzes cenas dinamikas daļu.



4.6. attēls. Izstrādātā atbalsta mehānisma izmaksas.



4.7. attēls. Saražotais biometāns un elektroenerģijas apjoms.

Rēķinot VAA, ir izdarīts pieņēmums, ka īpatnējo investīciju izmaksas laika gaitā samazināsies gan biogāzes ražotnēm, gan arī biogāzes attīrīšanas procesam tehnoloģiju attīstības, izplatības un pieejamības dēļ.

Teritoriālais ražotņu izvietojums pētījumā netika ņemts vērā, bet modelī, rēķinot nepieciešamās investīcijas, biometāna ievadīšanai dabasgāzes tīklā, ir paredzēta gāzes cauruļvada būvniecība vidēji 18 km garumā (vienai stacijai), kas ir aprēķinātais vidējais attālums no ražotnes līdz dabasgāzes cauruļvadam, ņemot vērā darbībā esošo biogāzes ražotņu izvietojumu [85].

Latvijas apstākļos maksimāli iegūstamā biometāna apjoma aprēķini veikti, izmantojot Centrālās statistikas pārvaldes apkopotos datus [87] par liellopu, cūku, aitu, kazu un mājputnu kopskaitu, iedzīvotāju skaitu Latvijā 2013. gadā, platību, kādā 2014. gadā Latvijā ir audzēta zaļbarība un kukurūza, iegūto skābbarības apjomu un *Eurostat* datus [88] par 2013. gadā radīto atkritumu apjomu. Latvijā iegūstamā maksimālā apjoma novērtējums principiāli neietekmē modeļa darbību un ir maināms robežnosacījums.

Modeļa imitācijas aprēķinu rezultāti parāda, ka galvenie parametri, kas ietekmē atbalsta mehānisma stabilitāti, ir atgriezeniskās saites, kas saista kopējos biometāna atbalsta maksājumus, piešķirto atļauju skaitu, izsniegtā kopējā maksimālā atbalsta apjoma, vēlmi investēt ražotnes izveidē, resursu pieejamību, kā arī nobīdes laikā, ko izraisa atgriezeniskās saites. Rezultāti liecina, ka gadījumā, ja tiek ieviesta tā saucamā *feed-in* piemaksu (FIP) atbalsta sistēma, biometāna ražošanas nozare sākotnēji attīstītos lēnāk un atbalstā izmaksājamā summa nepārsniegtu noteikto limitu (skat. 4.6. attēlu) un neradītu sistēmā svārstības. Turklāt, pateicoties FIP atbalsta mehānisma ieviešanai, 2030. gadā saražotais biometāna apjoms var sasniegt 500 GWh (skat. 4.7. attēlu) ar izmaksājamo atbalstu ~68 EUR/MWh.

4.4. Modeļa validācija

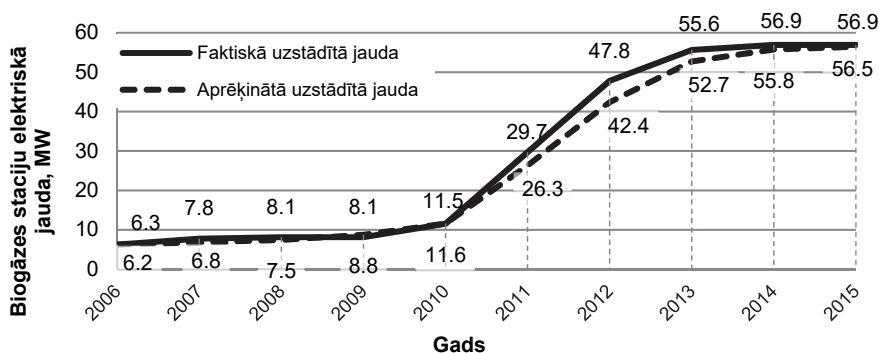
Sistēmdinamikas modeļa validācija veikta, izmantojot dažādus literatūrā aprakstītus testus [89]. Validācija veikta sākotnēji izstrādātajam biogāzes koģenerācijas staciju atbalsta sistēmas modelim, uz kura bāzes izveidots biometāna ražošanas un piegādes atbalsta mehānisms.

Saskaņā ar teoriju, sistēmas uzvedību nosaka tās struktūra [89], tāpēc sākumā veikta izstrādātā modeļa struktūras atbilstības pārbaude. Ņemot vērā, ka modeļa izstrādes laikā notika konsultācijas gan ar enerģētikas nozares pārstāvjiem, gan ar sistēmdinamikas modelēšanas ekspertiem, turklāt modeļa parametru vērtības ir salīdzinātas un pamatotas ar ekspertu pieredzi vai literatūras avotos atrodamo informāciju, var uzskatīt, ka modelī iekļautie pieņēmumi par sistēmas darbību pareizi raksturo reālās sistēmas uzbūvi un skaitliskās parametru vērtības ir pamatotas un atbilst reālās sistēmas vērtībām ticamības robežās. Modeļa parametru vērtības ir pārbaudītas tiešā ceļā, salīdzinot ar vēsturiskajiem datiem. Modelis tika validēts, izmantojot vēsturiskos datus par biogāzes koģenerācijas staciju uzstādītās elektriskās jaudas pieauguma dinamiku Latvijā no 2006. līdz 2015. gadam.

Vēsturiskie dati iegūti no LR Ekonomikas ministrijas un Centrālā statistikas biroja reģistriem [73].

Modeļa uzvedības attēlojuma tests un validācija ar vēsturiskajiem datiem parādīja, ka sākotnējais modelis pietiekami precīzi spēj reproducēt vēsturisko biogāzes koģenerācijas staciju attīstību Latvijā (skat. 4.8. attēlu), arī parādot, kādas ir sagaidāmās tendences nākotnē (skat. 4.1. attēlu), ja netiks atjaunota ražošanas atļauju izsniegšana vai netiks ieviests cits piemērots atbalsta mehānisms.

Rezultāti liecina, ka galvenie parametri, kas ietekmē atbalsta mehānisma stabilitāti, ir atgriezeniskās saites, kas saista piešķirto atļauju skaitu un kopējo atbalsta maksājumu obligātā iepirkuma ietvaros, kā arī vēlmi investēt ražotņu izveidē. Modeļa rezultātu atbilstība vēsturiskajiem datiem apstiprināja pārliecību, ka izveidotā modeļa struktūra un uzvedība atbilst reālajai vēsturiskajai situācijai Latvijā un ka modeļa rezultāti ir stabili, bez svārstībām. Līdz ar to šis sākotnējais modelis, saglabājot tā pamatstruktūru (kas ataino reālās sistēmas uzvedību), tika izmantots biometāna ražošanas un piegādes atbalsta mehānisma analīzes modeļa veidošanai.



4.8. attēls. Faktisko (līdz 2015. gadam) un aprēķināto biogāzes koģenerācijas staciju kopējo uzstādīto elektrisko jaudu salīdzinājums.

Pārbaudot modeli, var secināt, ka vēlme investēt modelī ir atgriezeniski saistīta un secīgi ietekmē galvenos parametrus – būvniecībā un darbībā esošās jaudas, kā arī saražoto biogāzes apjomu, apstiprinot izvirzīto hipotēzi, ka biogāzes nozares attīstība Latvijā ir tieši atkarīga no uzņēmēju vēlmes investēt ražotņu izveidē. Un ar ekstrēmu apstākļu, ekstrēmas politikas testa palīdzību novērtēts, ka izstrādātā modeļa uzvedība ir atbilstoša šādiem apstākļiem.

4.5. Scenāriju analīze

Lai noteiktu, kā saražoto biometāna un kopējā izmaksātā atbalsta apjomu, kā arī vidējo atbalsta apjomu uz 1 MWh biometāna ietekmē investīcijām atvēlētais laiks (t. i., laika periods kopš atļaujas piešķiršanas, kurā jābūvē ražotnes būvniecība; ja

šajā laika periodā ražotnes būvniecība netiek uzsākta, atļauja tiek anulēta), atbalsta periods (t. i., laika periods kopš ražotnes nodošanas ekspluatācijā, kurā tiek maksāts atbalsts par saražoto biometānu) un atbalsta maksimālais apjoms (kopējā naudas summa gadā, kas tiek maksāta kā atbalsta maksājums par saražoto biometānu un esošajās biogāzes elektrostacijās saražoto elektroenerģiju), tika analizēti astoņi atbalsta mehānisma scenāriji. Scenāriju analīze veikta, lai izvēlētos atbalsta mehānismam piemērotākos apstākļus – pēc iespējas lielāks saražotā biometāna apjoms, mazāks kopējais izmaksājamā atbalsta apjoms un mazāks vidējais atbalsta apjoms uz 1 MWh biometāna. Bāzes scenārijā pieņemts, ka investīcijām atvēlētais laiks ir divi gadi un laika periods, kurā uzņēmējam ir tiesības pārdot saražoto elektroenerģiju obligātā iepirkuma ietvaros, ir 10 gadu (šie abi laika periodi ir noteikti spēkā esošajos normatīvajos aktos [76, 90, 91]), un kopējā atbalsta maksimālais apjoms ir 40 miljonu eiro gadā. Mainot šos trīs parametrus, ir izstrādāti pārējie atbalsta mehānisma scenāriji. Atbalsta mehānisma scenāriju parametru vērtību diapazoni un scenāriju rezultāti apkopoti 4.1. tabulā.

Analizējot atbalsta mehānisma scenāriju rezultātus, jāsecina, ka investīcijām atvēlēta laika perioda ilgumam – divi vai trīs gadi – nav būtiskas ietekmes ne uz saražotā biometāna apjomu, ne uz izmaksātā atbalsta apjomu, ne uz vidējo izmaksāto atbalstu uz biometāna enerģijas vienību. Ja investīcijām atvēlētais laika periods ir trīs, nevis divi gadi, aprēķinu periodā kopējais saražotais biometāna apjoms pieaug par aptuveni 0,3 %, kopējais izmaksātais atbalsta apjoms ir tikai par aptuveni 0,4 % lielāks un vidējais izmaksātais atbalsta apjoms uz biometāna enerģijas vienību (VAA) ir par aptuveni 0,05 % lielāks. Šos trīs parametrus vairāk ietekmē atbalsta perioda ilgums un noteiktais maksimālais kopējā atbalsta apjoms. Jo atbalsta periods ir lielāks, t. i., 15, nevis 10 gadu, jo lielāks ir saražotā biometāna apjoms (kopējais saražotais biometāna apjoms palielinās par ~21 %) un zemāks izmaksājamais VAA (tas samazinās par ~15,6 %). Turklāt, ja kopējā atbalsta maksimālais apjoms katru gadu tiek palielināts, saražotā biometāna apjoms pieaug par ~39 % un izmaksājamais VAA samazinās par ~15,8 %, salīdzinot 15 gadu ar 10 gadu ilgu atbalsta periodu ar nemainīgu un pieaugošu kopējā atbalsta apjomu.

Ar izstrādātā SD modeļa palīdzību aprēķināts, ka, ja atbalsta periods būtu 20 gadu, kas ir arī pieņemtais iekārtu tehniskais kalpošanas laiks, un kopējā atbalsta maksimālais apjoms ir nemainīgs, 2030. gadā saražotā biometāna apjoms, salīdzinot ar 15 gadu atbalsta periodu, palielinātos par ~10 %, laika periodā līdz 2030. gadam kopējais saražotais biometāna apjoms pieaugtu par ~9 %, 2030. gadā atbalsta maksājumiem būtu jātērē par ~0,6 % vairāk, bet visā aprēķinu laika periodā līdz 2030. gadam kopumā atbalsta maksājumu summa palielinātos par ~0,2 %, un vidējais izmaksājamais atbalsta apjoms uz 1 MWh biometāna samazinātos par ~8 %. Savukārt, ja kopējā atbalsta maksimālais apjoms katru gadu tiktu palielināts, tad 2030. gadā saražotā biometāna apjoms pieaugtu par ~10 %, salīdzinot ar scenāriju, kad atbalsta periods ir 15 gadu, laika periodā līdz 2030. gadam kopējais saražotais biometāna apjoms palielinātos par ~9 %, 2030. gadā atbalsta maksājumiem būtu jātērē par ~0,5 % vairāk, bet visā aprēķinu laika periodā līdz 2030. gadam kopumā

atbalsta maksājumu summa palielinātos par ~0,2 % un vidējā izmaksājamā atbalsta apjoms samazinātos par ~8 %.

4.1. tabula

Atbalsta mehānisma scenāriji un to rezultāti

Scenārija Nr.	0	1	2	3	4	5	6	7
Laiks investīcijām, gadi	2				3			
Atbalsta periods, gadi	10		15		10		15	
Kopējais maksimālais atbalsta apjoms, MEUR gadā	40	40+(*)	40	40+	40	40+	40	40+

Rezultāti

2030. gadā saražotais biometāna apjoms, GWh gadā	499,3	587,2	630,1	740,1	498,9	586,9	629,9	740,0
Aprēķinu periodā kopējais saražotais biometāna apjoms, GWh	2845	3269	3436	3945	2854	3278	3447	3958
2030. gadā atbalsta maksājumi biometāna ražošanai, MEUR gadā	38,03	44,68	41,05	48,05	38,02	44,68	41,07	48,07
Aprēķinu periodā kopējais izmaksātais atbalsts biometāna ražošanai, MEUR	231,7	265,7	236,2	270,6	232,5	266,7	237,1	271,6
Vidējais uz biometāna enerģijas vienību izmaksātais atbalsts, EUR/MWh	81,43	81,28	68,76	68,58	81,47	81,31	68,79	68,61

(*) – Ikgadējs kopējā atbalsta maksimālā apjoma pieaugums.

Rezultāti liecina par to, ka, nosakot garāku atbalsta maksājumu periodu un palielinot kopējā atbalsta maksājumu apjomu, saprotams, palielinās saražotā biometāna apjoms, turklāt samazinās vidējais atbalsta apjoms uz 1 MWh biometāna. Lemjot par atbalsta mehānisma nosacījumiem – investīcijām atvēlēto laiku, atbalsta maksājumu perioda ilgumu un kopējā izmaksājamā atbalsta apjomu – jāņem vērā, ka:

- investīcijām atvēlētajam laika posmam ir jābūt pietiekami garam, lai uzņēmējs paspētu nokārtot visas nepieciešamās formalitātes un uzsākt būvniecību, tomēr tam ir jābūt arī pietiekami īsam, lai tas būtu viegli pārredzams un varētu sekot projekta attīstībai. Tāpēc viens gads būtu pārāk īss periods, bet, atvēlot investīciju realizēšanai un būvniecības uzsākšanai trīs nevis divus gadus, netiek panākts būtiski lielāks saražotā biometāna

apjoms, turklāt ne kopējais izmaksāto atbalsta apjoms, ne arī vidējais izmaksājamais atbalsta apjoms būtiski nesamazinās;

- atbalsta maksājumu perioda ilgumam ir būtiskākā loma gan vidējā izmaksājamā atbalsta apjoma samazināšanā, gan saražotā biometāna apjoma palielināšanā. Turklāt garāks atbalsta maksājumu periods uzņēmējos vieš lielāku uzticību un rada lielāku vēlmi investēt, kas ir būtisks nozares attīstības faktors. Tomēr jāņem vērā, ka atbalsta maksājumu perioda ilgumu ierobežo iekārtu tehniskais kalpošanas laiks, kā arī tas, ka, tehnoloģijām attīstoties, tās kļūst aizvien izplatītākas un līdz ar to arī pieejamākas (samazinās nepieciešamie kapitālieguldījumi uz vienu jaudas vienību), un vienlaikus arī energoefektīvākas. Saprota, ka garākā atbalsta maksājumu periodā ir iespējams saražot vairāk biometāna par zemāku vidējo izmaksājamo atbalsta apjomu uz 1 MWh biometāna, tāpēc ieteicamais atbalsta maksājumu perioda ilgumam varētu būt 15 vai pat 20 gadu, kas atbilst atbalsta maksājumu perioda ilgumam arī citās ES valstīs (piemēram, Vācijā un Lielbritānijā atbalsta periods ir 20 gadu, Nīderlandē – 12 gadu);
- valsts ekonomiskā situācija nosaka, kāds būs iespējamais kopējais maksimālais atbalsta maksājumu apjoms. Ja valsts ekonomiskā situācija ir stabila, bet tomēr nav vērojama pozitīva attīstība, arī kopējais ikgadējais izmaksājamais atbalsta apjoms būtu nemainīgs. Bet, ja valsts ekonomiski attīstās, tad, lai veicinātu gan nozares attīstību, gan mazinātu energoatkarību no ārējiem piegādātājiem, palielinot biometāna ražošanas apjomus, ikgadējo maksimālo atbalsta maksājumu apjomu ir vēlams pakāpeniski palielināt. Tomēr jāpiebilst, ka tam, vai kopējais maksimālais atbalsta maksājumu apjoms ir nemainīgs jeb tiek palielināts, nav būtiskas nozīmes, ja tiek vērtēts vidējais uz 1 MWh biometāna izmaksājamais atbalsta apjoms.

Nemot vērā visus iepriekš minētos argumentus, vēlamākais atbalsta mehānisma scenārijs būtu pie šādiem nosacījumiem: investīcijām atvēlētais laika posms – divi gadi, atbalsta maksājumu perioda ilgums – vismaz 15 gadu vai vairāk un kopējā atbalsta maksimālais apjoms, ja tas ir iespējams, katru gadu tiek palielināts.

4.6. Nenoteiktības novērtējums

Lai novērtētu modeļa galveno rezultātu atkarību no svarīgāko neatkarīgo parametru vērtībām, ievērojot to nenoteiktību, veikts izstrādātā atbalsta mehānisma nenoteiktības novērtējums ar jutības analīzi. Ar jutības analīzes palīdzību novērtēta būtiskākā modeļa parametra, ko politikas veidotāji nevar tieši ietekmēt, – vēlmes investēt – ietekme uz šādiem modeļa galvenajiem rezultātiem:

- kopējo aprēķinu periodā izmaksāto atbalsta apjomu;
- kopējo saražotā biometāna apjomu;
- vidējo uz 1 MWh biometāna izmaksāto atbalsta apjomu;
- piešķirto atļauju skaitu.

Lai pārbaudītu izstrādātā atbalsta mehānisma noturīgumu, veikts noturības tests, izmantojot *Powersim Studio 8* programmatūras platformā pieejamo *Latin Hypercube* metodi ar maksimālo izšķirtspēju 40 atkārtojumos. Ar šo metodi iegūtajam rezultātam ir tāds pats ticamības faktors, kā *Monte Carlo* metodei 400 atkārtojumos [92]. Aprēķinu periods ir no 2017. līdz 2030. gadam, laika solis 0,1 gads, izejas parametram “Vēlme investēt” pieņemts vienmērīgs sadalījums diapazonā no 0,1 līdz 0,8, jo nav zināms iespējamais vērtību sadalījuma veids. Pieņemta parametra “Vēlme investēt” bāzes vērtība ir 0,75.

Novērtējot parametru – “Kopējais aprēķinu periodā izmaksātais atbalsta apjoms”; “Kopējais saražotā biometāna apjoms” un “Vidējais uz 1 MWh biometāna izmaksātais atbalsta apjoms” jutību, var secināt, ka varbūtību sadalījuma diapazons ir ļoti šaurs, kas liecina par augstu izstrādātā atbalsta mehānisma modeļa noturīgumu. Tas nozīmē, ka uzņēmēju vēlme investēt biometāna ražotnes izveidē, kas nav prognozējams un ir mainīgs parametrs, atbalsta mehānisma galvenos rezultātus ietekmē nebūtiski un izstrādātais atbalsta mehānisms spēj nodrošināt stabilu atbalsta apjomu arī tad, ja vēlme investēt atšķiras no prognozētā.

Savukārt, novērtējot piešķirto atļauju parametra jutību, var secināt, ka varbūtību sadalījuma diapazons ir ļoti plašs, kas norāda, ka biometāna atbalsta mehānisma modeļa mehānisma noturīgums tiek sasniegts ar atļauju piešķiršanas moduli, samazinot izkliedi pārējo parametru jutības analīzes rezultātos.

Nenoteiktības novērtējuma rezultāti parāda, ka izstrādātā atbalsta mehānisma modeļa sistēma ir ar samērā augstu noturīgumu, tāpēc ar modeļa palīdzību iegūtos rezultātus var uzskatīt par ticamiem un izstrādāto modeli – par piemērojamu biometāna ražošanas un piegādes atbalsta mehānisma izveidē un analīzē.

SECINĀJUMI

1. Būvmateriālu ražošanas ir energointensīvs process. To apstiprina veiktā būvmateriālu ražošanas procesa, sākot no materiālu ieguves vietas līdz ražošanas procesa beigām, izpētes, aprēķinu un novērtēšanas rezultāti – vislielāko ietekmi uz vidi rada dabasgāzes izmantošana būvmateriālu apdedzināšanas posmā (>75 % no kopējās radītās ietekmes). Lielākā daļa no radītajām emisijām ir tieši saistīta ar kurināmā (dabasgāzes) izmantošanu rūpniecībā.
2. Pētījuma rezultāti norāda, ka visnozīmīgākais ietekmes uz vidi samazinājums vērojams, ja ražošanā, neveicot tehnoloģiskas izmaiņas pašā ražotnē, dabasgāzi aizstātu ar biometānu. Jāuzsver, ka šā risinājuma īstenošanai nebūtu jāveic krāsns degļu piemērošana. Nākamā labākā alternatīva no ietekmes uz vidi skatupunkta ir otrās paaudzes biodeģvielas izmantošana, bet šādā gadījumā ir nepieciešama krāsns degļu piemērošana.
3. Ekonomiski visizdevīgākais biometāna ražošanas scenārijs neatkarīgi no izvēlētās biogāzes attīrīšanas metodes būtu, ja vairāku mazu biogāzes ražotņu vietā biometāns tiktu ražots vienā lielākā ražotnē. Lai gan to nav iespējams īstenot jau darbībā esošajām biogāzes ražotnēm, tomēr tas varētu būt ekonomiski visizdevīgākais risinājums jaunām ražotnēm. Esošajām biogāzes ražotnēm ieteicamākais risinājums varētu būtu, ja biogāze no atsevišķām ražotnēm tiktu transportēta uz vienu attīrīšanas staciju.
4. Kopējās biometāna ražošanas, transportēšanas un ievadīšanas dabasgāzes tīklā izmaksas, rēķinot uz vienu vienību, ir augstākas nekā dabasgāzes importa cena (2017. gadā – aptuveni 1,6 reizes; 2030. gadā – par aptuveni 20 %). Līdz ar to var secināt, ka biometāna ražošanai ir nepieciešams finansiālais atbalsts, lai biometāna ražošana, to pārdodot par dabasgāzes cenu, būtu ekonomiski pamatota.
5. Vēlamākais atbalsta mehānisma scenārijs, lai panāktu lielāku kopējā saražotā biometāna apjomu, maksājot mazāku vidējo atbalsta apjomu uz 1 MWh biometāna, būtu pie šādiem nosacījumiem: investīcijām atvēlētais laika posms – divi gadi, atbalsta maksājumu perioda ilgums – vismaz 15 gadu vai vairāk. Un lielāku kopējā saražotā biometāna apjomu var iegūt, kopējo atbalsta maksimālo apjomu katru gadu palielinot.
6. Nenoteiktības novērtējuma rezultāti parāda, ka izstrādātā atbalsta mehānisma modeļa sistēma ir ar samērā augstu noturīgumu, t. i., izstrādātajā atbalsta sistēmas modelī ir iekļauts elastīgs atļauju piešķiršanas mehānisms, kas nodrošina mazu galveno parametru (kopējā izmaksājamā atbalsta apjoma, kopējā saražotā biometāna apjoma un vidējā uz 1 MWh biometāna izmaksājamā atbalsta apjoma) izkliedi ap vidējo vērtību. Tāpēc ar modeļa palīdzību iegūtos rezultātus var uzskatīt par ticamiem un izstrādāto modeli – par piemērojamu biometāna ražošanas un piegādes atbalsta mehānisma izveidē un analizē.

IZMANTOTO AVOTU SARAKSTS

- [1] Eiropas Savienības faktu lapas. Atjaunojamie energoresursi.
http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/lv/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.7.4.html 2016.
- [2] Energētikas ceļvedis 2050. gadam. COM_COM(2011)0885(PAR01). 2011.
- [3] FWC Sector Competitiveness Studies – Competitiveness of the Ceramics Sector. ENTR/06/054. European Commission. 2008.
- [4] Loizidou M, Koroneos C, Chardas D, Bourka A, Palekithrytis T, Fatta D, et al. Sustainable construction in public and private works through IPP approach – The Suscon Project. 10th Int. Conf. Environ. Sci. Technol., 2007, p. 5–7.
- [5] Par KERATERM blokiem 2013:<http://www.lodeen.com/category/10>.
- [6] ISO 14040 Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework. 2006.
- [7] ISO 14044 Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines. 2006.
- [8] Atļauja A kategorijas piesārņojošai darbībai Nr.JE12IA0004. Jelgavas Reģionālā Vides Pārvalde, Latvijas Republikas VARAM: 2012.
- [9] Goedkoop M, Heijungs R, Huijbregts M, De Schryver A, Struijs J, Van Zelm R. ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Characterisation. 2013.
- [10] Goedkoop M, Heijungs R, Huijbregts M, De Schryver AM, Struijs J, van Zelm R. ReCiPe 2008. Report I: Characterisation. 2009.
- [11] De Schryver AM. Value choices in life cycle impact assessment. PhD-thesis. Radboud University, 2011.
- [12] Marceau ML, Vangeem MG. Life Cycle Assessment of an Insulating Concrete Form House Compared to a Wood Frame House. PCA R&D Serial No. 2571. 2002.
- [13] Pre-sustainability. All About SimaPro. <http://www.pre-sustainability.com/all-about-simapro>. 2014.
- [14] Pre-sustainability. SimaPro 8.1 (Faculty version). <http://www.pre-sustainability.com/simapro-lca-software>. 2015.
- [15] Pre-sustainability. All About SimaPro 8. www.pre-sustainability.com. 2013.
- [16] Abou-Ziyan HZ. Convective heat transfer from different brick arrangements in tunnel kilns. Appl Therm Eng 2004;24:171–91.
- [17] Kaya S, Küçükada K, Mançuhan E. Model-based optimization of heat recovery in the cooling zone of a tunnel kiln. Appl Therm Eng 2008;28:633–41.
- [18] Kaya S, Mançuhan E, Küçükada K. Modelling and optimization of the firing zone of a tunnel kiln to predict the optimal feed locations and mass fluxes of the fuel and secondary air. Appl Energy 2009;86:325–32.
- [19] ECORYS. FWC Sector Competitiveness Studies N°B1/ENTR/06/054 – Sustainable Competitiveness of the Construction Sector. Final report. Rotterdam: 2011.
- [20] Ellersdorfer M, Weiß C. Integration of biogas plants in the building materials industry. Renew Energy 2014;61:125–31.
- [21] Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry. 2007.
- [22] Skele A, Repele M, Bazbauers G, Systems E, Technical R. Characterization of Environmental Impact of Building Materials for Purpose of Ecodesign. Sci. J.

- RTU, vol. 6, Riga: Riga Technical University; 2011, p. 106–11.
- [23] Repele M, Dudko M, Rusanova J, Valters K, Bazbauers G. Environmental aspects of substituting bio-synthetic natural gas for natural gas in the brick industry. *Agron Res* 2013;11:367–72.
 - [24] Repele M, Paturska A, Valters K, Bazbauers G. Life cycle assessment of bio-methane supply system based on natural gas infrastructure. *Agron Res* 2014;12:999–1006.
 - [25] Adelt M, Wolf D, Vogel A. LCA of biomethane. *J Nat Gas Sci Eng* 2011;3:646–50.
 - [26] Strauch S, Krassowski J, Singhal A. Biomethane Guide for Decision Makers – Policy guide on biogas injection into the natural gas grid. Oberhausen: 2013.
 - [27] European Biogas Association. Biogas production in Europe. Biogas Report. 2013.
 - [28] Hahn H, Krautkremer B, Hartmann K, Washendorf M. Review of concepts for a demand-driven biogas supply for flexible power generation. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;29:383–93.
 - [29] Kovacs A. Proposal for a European Biomethane Roadmap. Brussels: 2013.
 - [30] Ryckebosch E, Drouillon M, Vervaeren H. Techniques for transformation of biogas to biomethane. *Biomass and Bioenergy* 2011;35:1633–45.
 - [31] Starr K, Gabarrell X, Villalba G, Talens L, Lombardi L. Life cycle assessment of biogas upgrading technologies. *Waste Manag* 2012;32:991–9.
 - [32] Molino A., Migliori M, Ding Y, Bikson B, Giordano G, Braccio G. Biogas upgrading via membrane process: Modelling of pilot plant scale and the end uses for the grid injection. *Fuel* 2013;107:585–92.
 - [33] Forrest F Van. Perspectives for biogas in Europe. 2012.
 - [34] Börjesson M, Ahlgren EO. Cost-effective biogas utilisation – A modelling assessment of gas infrastructural options in a regional energy system. *Energy* 2012;48:212–26.
 - [35] Igliński B, Buczkowski R, Iglińska A, Cichosz M, Piechota G, Kujawski W. Agricultural biogas plants in Poland: Investment process, economical and environmental aspects, biogas potential. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16:4890–900.
 - [36] Budzianowski WM. Sustainable biogas energy in Poland: Prospects and challenges. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16:342–9.
 - [37] Patterson T, Esteves S, Dinsdale R, Guwy A, Maddy J. Life cycle assessment of biohydrogen and biomethane production and utilisation as a vehicle fuel. *Bioresour Technol* 2013;131:235–45.
 - [38] Weidenaar TD. Designing the biomethane supply chain through automated synthesis. PhD thesis. University of Twente, 2014.
 - [39] Patterson T, Esteves S, Dinsdale R, Guwy A. Life cycle assessment of biogas infrastructure options on a regional scale. *Bioresour Technol* 2011;102:7313–23.
 - [40] Weidenaar T, Bekkering E, Becker MJ, Hoekstra S, Wolters M. Finding robust investments for the Dutch gas distribution infrastructure in 2050 by a scenario study. *Proc. ECOS 2013 - 26TH Int. Conf. Effic. COST, Optim. Simul. Environ. IMPACT ENERGY Syst.*, Guilin: 2013.
 - [41] Höhn J, Lehtonen E, Rasi S, Rintala J. A Geographical Information System (GIS) based methodology for determination of potential biomasses and sites for biogas plants in southern Finland. *Appl Energy* 2014;113:1–10.
 - [42] Martin M, Svensson N, Fonseca J, Eklund M. Quantifying the environmental performance of integrated bioethanol and biogas production. *Renew Energy*

2014;61:109–16.

- [43] Seile G. Comparison of different biogas use pathways for Latvia: biogas use in CHP vs. biogas upgrading. Riga Technical University, 2014.
- [44] Paturška A. Feasibility of biomethane supply system based on natural gas supply infrastructure. Riga Technical University, 2014.
- [45] Atļauja B kategorijas piesārņošanai darbībai Nr. JE11IB0048. Jelgavas Reģionālā Vides Pārvalde, Latvijas Republikas VARAM: 2011.
- [46] Atļauja B kategorijas piesārņošanai darbībai Nr. JE11IB0016. Jelgavas Reģionālā Vides Pārvalde, Latvijas Republikas VARAM: 2011.
- [47] Atļauja B kategorijas piesārņošanai darbībai Nr. VE13IB0009. Ventspils Reģionālā Vides Pārvalde, Latvijas Republikas VARAM: 2013.
- [48] Atļauja B kategorijas piesārņošanai darbībai Nr. JE12IB0027. Jelgavas Reģionālā Vides Pārvalde, Latvijas Republikas VARAM: 2012.
- [49] Atļauja B kategorijas piesārņošanai darbībai Nr. JE11IB0034. Jelgavas Reģionālā Vides Pārvalde, Latvijas Republikas VARAM: 2011.
- [50] Atļauja B kategorijas piesārņošanai darbībai Nr. JE11IB0018. Jelgavas Reģionālā Vides Pārvalde, Latvijas Republikas VARAM: 2011.
- [51] Atļauja B kategorijas piesārņošanai darbībai Nr. JE12IB0001. Jelgavas Reģionālā Vides Pārvalde, Latvijas Republikas VARAM: 2012.
- [52] Cinis A. Database development for biogas plants in Latvia and analysis of efficiency. Riga Technical University, 2013.
- [53] Pre-sustainability. SimaPro Database Manual. Methods library. 2013.
- [54] Goedkoop M, Spriensma R. The eco-indicator99: A damage oriented method for life cycle impact assessment. Amersfoort: 2001.
- [55] Esri. ArcGis v.10 2010.
- [56] Latvijas biogāzes asociācija. Par biogāzes attīstību Latvijā. 2015:<http://latvijasbiogaze.lv/index.php?c=3>.
- [57] Bauer F, Hultberg C, Persson T, Tamm D. Biogas upgrading-Review of commercial technologies. SGC Rapport 2013:270. 2013.
- [58] Anderson V, Johnson L. Systems Thinking Basics: From Concepts to Causal Loops. Waltham, USA: Pegasus Communications; 1997.
- [59] Ford A. Modeling the Environment. An Introduction to System Dynamics Modeling of Environmental Systems. Washington, DC, USA: Island Press; 1999.
- [60] Sterman J. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. The McGraw-Hill Companies, Inc.; 2000.
- [61] Qudrat-Ullah H, Seong BS. How to do structural validity of a system dynamics type simulation model: The case of an energy policy model. Energy Policy 2010;38:2216–24.
- [62] Shin J, Shin W-S, Lee C. An energy security management model using quality function deployment and system dynamics. Energy Policy 2013;54:72–86.
- [63] Qudrat-Ullah H. Understanding the dynamics of electricity generation capacity in Canada: A system dynamics approach. Energy 2013;59:285–94.
- [64] Aslani A, Helo P, Naaranoja M. Role of renewable energy policies in energy dependency in Finland: System dynamics approach. Appl Energy 2014;113:758–65.
- [65] Eker S, van Daalen E. A model-based analysis of biomethane production in the Netherlands and the effectiveness of the subsidization policy under uncertainty. Energy Policy 2015;82:178–96.
- [66] Robalino-López A, Mena-Nieto A, García-Ramos JE. System dynamics modeling

- for renewable energy and CO₂ emissions: A case study of Ecuador. *Energy Sustain Dev* 2014;20:11–20.
- [67] Liu X, Mao G, Ren J, Li RYM, Guo J, Zhang L. How might China achieve its 2020 emissions target? A scenario analysis of energy consumption and CO₂ emissions using the system dynamics model. *J Clean Prod* 2015.
- [68] Romagnoli F, Dzene I, Barisa A, Blumberga D, Blumberga A, Davidsen P, et al. The Use of System Dynamics Approach for Assessing the Impacts of Policy Measures and Strategies on Wood Energy Market Development in Latvia. *Proc. 3rd Int. Symp. Energy from Biomass Waste, Venice, Italy: 2010*, p. 14–26.
- [69] Romagnoli F, Barisa A, Dzene I, Blumberga A, Blumberga D. Implementation of different policy strategies promoting the use of wood fuel in the Latvian district heating system: Impact evaluation through a system dynamic model. *Energy* 2014;76:210–22.
- [70] Barisa A, Romagnoli F, Blumberga A, Blumberga D. Future biodiesel policy designs and consumption patterns in Latvia: a system dynamics model. *J Clean Prod* 2015;88:71–82.
- [71] Horschig T, Szarka N. The German biomethane market – A policy evaluation approach using System Dynamics. *Conf. Proc. 33rd Syst. Dyn. Conf., Cambridge, Massachusetts, USA: 2015*.
- [72] Enerģētikas attīstības pamatnostādnes 2014.–2020.gadam. Projekts. Ekonomikas Ministrija, Rīga, Latvija: 2014.
- [73] Latvijas enerģētika skaitļos. Ekonomikas Ministrija, Rīga, Latvija: 2013.
- [74] Smith LO, Donat L, Velten EK, Matthias D, Upatiece I. Assessment of climate change policies in the context of the European Semester. Country Report: Latvia. Berlin, Germany: 2014.
- [75] Informatīvais ziņojums. Latvijas Enerģētikas ilgtermiņa stratēģija 2030 – konkurētspējīga enerģētika sabiedrībai. Ekonomikas Ministrija, Rīga, Latvija: 2013.
- [76] Latvijas Republikas Rīcība atjaunojamās enerģijas jomā Eiropas Parlamenta un Padomes 2009. gada 23. aprīļa direktīvas 2009/28/EK par atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšanu un ar ko groza un sekojoši atceļ Direktīvas 2001/77/EK un 2003/30/EK ie. Ekonomikas Ministrija, Rīga, Latvija: 2009.
- [77] Repele M, Udrene L, Bazbauers G. Support mechanisms for biomethane production and supply. *Energy Procedia* 2016; (in print).
- [78] LBAS. Analytical report: Role of energy policy and mandatory procurement component in welfare of society. Project: To Strengthen Trade Union capacity in tripartite dialogue. Riga, Latvia: 2013.
- [79] EREC. Renewable Energy Policy Review: Latvia. 2009.
- [80] EU. Guidelines on State Aid for Environmental Protection and Energy 2014–2020. EU: 2014.
- [81] Par elektroenerģijas obligāto iepirkumu. 2014:https://www.em.gov.lv/lv/nozares_politika/atjaunoj.
- [82] Komersanti, kas saskaņā ar Ministru kabineta 2009. gada 24. februāra noteikumiem Nr.198 „Noteikumi par elektroenerģijas ražošanu, izmantojot atjaunojamās energoresursus, un cenu noteikšanas kārtību” saņēmuši tiesības pārdot saražoto elektroenerģiju obligātā. Ekonomikas Ministrija, Rīga, Latvija: 2015.
- [83] Izsniegtie lēmumi – administratīvie akti biogāzes elektrostacijām. Ekonomikas Ministrija, Rīga, Latvija: 2013.
- [84] Par gāzes infrastruktūru Latvijā. 2014:<http://www.lg.lv/>.

- [85] Paturska A, Repele M, Bazbauers G. Economic Assessment of Biomethane Supply System based on Natural Gas Infrastructure. *Energy Procedia* 2015;72:71–8.
- [86] Komersantiem obligātā iepirkuma ietvaros izmaksātās summas. 2016:https://www.em.gov.lv/lv/nozares_politika/atjaunoj.
- [87] Statistikas datubāzes. Centrālā statistikas pārvalde. <http://www.csb.gov.lv/dati/statistikas-datubazes-28270.html> 2016.
- [88] Eurostat. Atkritumi. 2016:<http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/>.
- [89] Blumberga A, Blumberga D, Bažbauers G, Davidsen P, Moxnes E, Dzene I, et al. Sistēmdinamika vides inženierzinātņu studentiem. Madona: Madonas Poligrāfists; 2010.
- [90] MK noteikumi Nr. 221 “Noteikumi par elektroenerģijas ražošanu un cenu noteikšanu, ražojot elektroenerģiju koģenerācijā.” Latvija: 2015.
- [91] MK noteikumi Nr. 883 “Noteikumi par atļaujām elektroenerģijas ražošanas jaudu palielināšanai vai jaunu ražošanas iekārtu ieviešanai” (stājās MK 695 noteikumu vietā). 2009.
- [92] Powersim. Risk Analysis 2016:www.powersim.com.