


Rīgas Tehniskā Universitāte
Vides aizsardzības un siltuma sistēmas institūts

Ģirts Kuplais

Poligona klimata tehnoloģiju modelēšana

Promocijas darba kopsavilkums
Rīga 2010



UDK 628.4.02(043.2)
Ku 600 p

2

Kuplais Ģ. Poligona klimata tehnoloģiju modelēšana.
Promocijas darba kopsavilkums.-R.: RTU, 2010.-37 lpp.

Iespiests saskaņā ar Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta
2010. gada 24. augusta lēmumu, protokols Nr.01/24/08/2010

Izdevējs: Aģentūra "DUE", 2010
Makets: Aģentūra "DUE", 2010
www.due.lv

ISBN 978-9934-8017-8-5

Ģirta Kuplā promocijas darba kopsavilkums

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

3

Ģirts Kuplais

Vides zinātnes programmas doktorants

Poligona klimata tehnoloģiju modelēšana

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskā vadītāja
Dr. Hab.Sc.Ing. DAGNIJA BLUMBERGA
Dr.Sc.Ing. ANDRA BLUMBERGA

Rīga 2010

PROMOCIJAS DARBS

4 IZVIRZĪTS RĪGAS TEHNISKĀS UNIVERSITĀTES VIDES INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI

Promocijas darbs vides inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2010.gada ... decembrī Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1, aktu zālē.

OFICIĀLIE OPONENTI

Profesors, Dr.Sc.Ing. Mārtiņš Gedrovičs, Rīgas Tehniskā universitāte
 Profesors, Dr.Sc.Ing. Ritvars Sudārs, Latvijas Lauksaimniecības universitāte
 Profesors, Dr. Sc.Ing. Andres Siirde, Tallīnas Tehnoloģiskā universitāte

APSTIPRINĀJUMS

Es apstiprinu, ka esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kurš iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē vides inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Ģirts Kuplais _____

Datums _____

Satura rādītājs

Darba kopējais apraksts	6
Temata aktualitāte	6
Darba mērķis	7
Izpētes uzdevumi	7
Darba zinātniskā nozīme	7
Darba praktiskā nozīme	8
Darba aprobācija	8
Autora publikācijas	9
Darba struktūra un apjoms	9
1. Daibes poligona infiltrāta saimniecības eksperimentāla izpēte	10
1.1. Eksperimentālās izpētes shēma un parametri	10
1.2. Empīrisku datu apstrādes metodika un rezultāti	10
1.3. Reversās osmozes iekārtas īpatnējā elektroenerģijas patēriņa nenoteiktība	16
2. Poligonu apsaimniekošanas optimizācijas metodika	17
2.1. Energoavota darbības aprēķina optimizācijas metodika	17
2.2. Tehnoloģisko risinājumu aprēķinu grupa	18
2.3. Ekonomisko aprēķinu grupa	22
2.4. Klimata aprēķinu grupa	25
2.5. Optimizācijas aprēķinu grupa	26
2.6. Moduļu un apakšmoduļu apraksts	27
3. Biogāzes izmantošanas optimizācijas metodes testēšana Daibes poligonā	28
3.1. Biogāzes apjomu prognozēšana	28
3.2. Daibes poligona darbības datu izpēte	30
3.3. Optimizācijas modeļa aprobācija	31
Secinājumi	35

Darba kopējais apraksts

Temata aktualitāte

Latvija ir pievienojusies ANO konvencijai par klimata pārmaiņām, kas uzliek tai par pienākumu samazināt siltumnicefekta gāzu (SEG) izvadišanu atmosfērā. Saskaņā ar šo dokumentu valstīm ir jāpanāk, lai SEG izmešu daudzums līdz 2012. gadam samazinātos par 8% salīdzinājumā ar 1990. gada līmeni. Latvijai šis uzdevums ir paveicams un paveras jaunas iespējas pāri palikušo SEG emisiju pārdošanai un papildus investīciju iespējas no valsts izveidotā fonda kopīgi īstenojamajiem projektiem. Eiropas Savienības dalībvalstis ir vienojušās par enerģijas un klimata paketes realizāciju, kuras ietvaros Latvija ir apņēmusies līdz 2020. gadam paaugstināt energoefektivitāti par 20%, bet atjaunojamo energoresursu izmantošanas īpatsvaru par 40%. Šī mērķa sasniegšanai katrs energosektora pārstāvis, katra energosaimniecība spēlē svarīgu lomu. Tas ir jautājums par klimata tehnoloģiju izmantošanu un darbināšanu, kuras ļauj samazināt ietekmi uz globālajām klimata pārmaiņām.

Lai samazinātu siltumnicefekta gāzu emisijas, klimata tehnoloģijas plaši izmanto arī atkritumu poligonu apsaimniekošanā, un tās spēlē svarīgu lomu:

- samazinot elektroenerģijas patēriņu visu veidu iekārtu darbināšanai;
- samazinot siltumnicefekta gāzu noplūdi no atkritumu poligonu krātuvju virsmas;
- savācot un lietderīgi izmantojot biogāzi, kas veidojas poligonu krātuvēs.

Latvija izdara izvēli atkritumu apsaimniekošanā pagājušā gadsimta beigās, 1997. gadā izstrādājot un pēc tam īstenojot sadzīves cieto atkritumu apsaimniekošanas stratēģiju - programmu "500-". Tajā tika iestrādāta ideja par lielu reģionālu atkritumu poligonu izveidošanu, slēdzot mazās, dažreiz neorganizētās pagastu un pilsētu izgāztuves.

Šobrīd Latvijā ir deviņi reģionālie atkritumu poligoni, kuros izveidotas speciālas krātuves atkritumu uzglabāšanai. Atkritumu poligons ir inženiertehnisko sistēmu kopums, kurš sastāv no cauruļvadiem, palīgiekārtām un ūdens attīrīšanas tehnoloģijām. Inženiertehnisko iekārtu darbināšanai un apgāismei tiek tērēta elektroenerģija. Poligonu krātuvēs veidojas biogāze, kas sastāv galvenokārt no divām siltumnicefekta gāzēm: metāna un CO₂. Tas nozīmē, ka ir jādara viss, lai ne tikai mazinātu SEG nokļūšanu apkārtējā vidē, bet arī lietderīgi tās izmantotu. Tādēļ lielo poligonu krātuves tiek aprīkotas ar biogāzes savākšanas kolektoru sistēmu un palīgiekārtām biogāzes transportēšanai.

Lai Latvija pārvirzītos uz priekšu atkritumu poligonu energoresursu lietderīgas izmantošanas un apsaimniekošanas pārvaldības sistēmas izveidē, ir nepieciešama tos ietekmējošo faktoru izpēte, tādēļ šajā disertācijā uzmanība pievērsta tieši atkritumu poligonu energoefektīvai apsaimniekošanai. Disertācija sastāv no divām neatkarīgām daļām, kuras apvieno klimata tehnoloģiju attīstības ideja.

1. Energoefektivitātes paaugstināšanas iespēju izpēte enerģijas lietotāja pusē. Lielākā enerģijas patērētāja infiltrāta attīrīšanas saimniecības inženiertehnisko datu analīze.

2. Atjaunojamā energoresursa – biogāzes, kas veidojas poligona krātuvēs, energoefektīvas izmantošanas iespēju izpēte, lai iegūtu tehniski ekonomisku un videi draudzīgu risinājumu pamatojumu un mazinātu investīciju risku.

Darba mērķis

Disertācijā aprakstīto pētījumu mērķis ir analizēt poligona apsaimniekošanas koncepciju energoefektīvu klimata tehnoloģiju izmantošanā, lai samazinātu siltumnicefekta gāzu emisijas, samazinot elektroenerģijas patēriņu infiltrāta attīrīšanas saimniecībā un lietderīgi izmantojot biogāzi, kas veidojas poligonu krātuvēs.

Izpētes uzdevumi

Izpētes uzdevumi ietver atkritumu poligona energoefektīvas apsaimniekošanas pārvaldības optimizācijas problēmu risinājumus.

1. Poligonu apsaimniekošanas modeļa izveide, izmantojot klimata tehnoloģiju attīstības pieeju, ņemot vērā ES direktīvas un likumdošanas ierobežojumus.
2. Enerģijas patērētāju analīze, īpašu vērību veltot lielākajam enerģijas lietotājam, veicot infiltrāta attīrīšanas iekārtu enerģijas patēriņa analīzi, definējot atkarīgos un neatkarīgos mainīgos un nosakot matemātiskas sakarības starp tiem.
3. Metodikas izstrāde poligona apsaimniekošanas energoresursu izmantošanas optimizācijai, kura balstās uz līmeņatzīmes modelēšanu neatkarīgajiem mainīgajiem, kas ir gan elektroenerģijas iepirkuma cena, gan koģenerācijas tehnoloģiju kapitālieguldījumi, gan siltuma slodžu ilguma grafika aproksimācijas līknes matemātiskais apraksts, gan nodokļu un siltumnicefekta gāzu emisiju robežvērtības:
 - a. atjaunojamā energoresursa - biogāzes izmantošanas iespēju analīze divām klimata tehnoloģijām
 - i. biogāzes attīrīšana un uzlabošana, lai ar augstu energoefektivitāti izmantotu Latvijā,
 - ii. biogāzes enerģijas izmantošana elektrostaciju vai koģenerācijas staciju iekārtās;
 - b. definēt energoresursu izmantošanas optimizācijas mērķfunkciju.
4. Energoresursu izmantošanas optimizācijas metodikas testēšana viena Latvijas poligona robežās

Darba zinātniskā nozīme

Darbā izstrādāts atkritumu saimniecības atjaunojamo energoresursu izmantošanas optimizācijas modelis, kas aptver vertikālo un horizontālo moduļu sistēmu. Izvēlēti optimizācijas kritēriji. Optimizācijas mērķfunkcijas matemātiski aprakstītas tehnoloģiskajiem, ekonomiskajiem un klimata apakšmodeļiem.

Atkritumu saimniecības energoresursu optimizācijas modelis ir aprobēts Daibes poligona apstākļiem.

Analizēts enerģijas patēriņš infiltrāta attīrīšanai, un iegūts empirisks modelis ipatnējā enerģijas patēriņa noteikšanai infiltrāta attīrīšanas saimniecībā, kas balstās uz poligonā notiekošo procesu un uzstādītās infiltrāta attīrīšanas tehnoloģiskās iekārtas darbības analīzi, un noteikts neatkarīgo parametru kopums.

8

Darba praktiskā nozīme

Promocijas darbā izstrādāto metodiku lietotāju auditorija ir plaša, un optimizācijas modeli iegūto rezultātu lietojums ir atkarīgs no mērķa, kam lietotājs ir paredzējis tos izmantot:

- poligonos – ar metodikā piedāvāto kritēriju un optimizācijas metodikas palīdzību izvērtēt poligona darbības, tehniskos, ekonomiskos un ekoloģiskos aspektus;
- Vides ministrija – izpētes rezultātus par infiltrāta saimniecību iespējams izmantot normatīvo dokumentu izstrādē;
- Ekonomikas ministrija – metodika ļauj izvērtēt grantu un subsīdiju nepieciešamību biogāzes izmantošanai enerģijas ražošanā poligonos;
- investori – metodika paver iespēju investoriem veikt lietderības analīzi ieguldījumiem koģenerācijas stacijā vai biogāzes cita veida izmantošanā.

Darba aprobācija

Par darba rezultātiem tika ziņots un tie ir apspriesti:

1. Kuplais Ģ., Sadzīves atkritumu poligona infiltrāta sastāvs un tā attīrīšanas iespējas. RTU 48.starptautiskā zinātniskā konference. Rīga, 2007.gada 11.-13.oktobris.
2. Kuplais Ģ., Liepiņš M., Prols J. Infiltrāta attīrīšanas prakse atkritumu poligonos Latvijā. RTU 49.starptautiskā zinātniskā konference. Rīga, 2008.gada 13.-15.oktobris.
3. Blumberga D., Kuplais Ģ., Veidenbergs I., Dāce E., Gušča J. Poligona elektrostacijas jaudas izvēles modelēšana. RTU 50.starptautiskā zinātniskā konference. Rīga, 12.-16.oktobris.
4. Kuplais Ģ., Blumberga D., Dāce E. System analysis for integration of landfill energy production in regional energy supply. 5th International conference "Waste management 2010", 2010, 12 – 14 July, Estonia, Tallinn.
5. Blumberga D., Kuplais Ģ., Romagnoli F., Vigants E. CHP or power station? Question for Latvia. The 12th International Symposium on District Heating and cooling. 2010, 5-7 September, Estonia, Tallin.
6. Kuplais Ģ., Blumberga D., Dāce E., Romagnoli F. Optimization model of biogas use in landfills in Latvia. 7th International conference "Organic resources in the carbon economy", 2010, 29 June – 3 July, Greece, Crete, Heraklion.

Autora publikācijas

1. Blumberga D., Kuplais Ģ., Veidenbergs I., Dāce E. Benchmarking method for estimation of biogas upgrading schemes. Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. - Nr. 4 (2009), 23.-35.lpp.
2. Blumberga D., Kuplais Ģ., Veidenbergs I., Dāce E., Gušča J. Modeling of installed capacity of landfill power station. The 50th International Scientific Conference of Riga Technical University, section „Environmental Engineering”, 2009, 14 – 15 October, Latvia, Riga – Scientific Proceedings of Riga Technical University „Environmental and Climate Technologies”, Volume 3, Series 13. – Rīga: Izdevniecība „RTU”, 2009, pp. 19 – 26.
3. Kuplais Ģ., M.Liepiņš, J.Prols. Practise of leachate treatment in solid waste landfills in Latvia. The 50th International Scientific Conference of Riga Technical University, section „Environmental Engineering”, 2009, 14 – 15 October, Latvia, Riga – Scientific Proceedings of Riga Technical University „Environmental and Climate Technologies”, Volume 1, Series 13. – Rīga: Izdevniecība „RTU”, 2009, pp. 52-60.
4. Blumberga D., Kuplais Ģ., Veidenbergs I.. Analysis of use of biogas in cogeneration plant Daibe landfill. The 50th International Scientific Conference of Riga Technical University, section „Environmental Engineering”, 2009, 14 – 15 October, Latvia, Riga – Scientific Proceedings of Riga Technical University „Power and electrical engineering”, Volume 24, Series 4. – Rīga: Izdevniecība „RTU”, 2009, pp. 68-76.
5. Kuplais Ģ. The temper of solid waste landfill leachate and leachate cleaning facilities. The 50th International Scientific Conference of Riga Technical University, section „Environmental Engineering”, 2007, 11 – 13 October, Latvia, Riga – Scientific Proceedings of Riga Technical University „Power and electrical engineering”, Volume 21, Series 4. – Rīga: Izdevniecība „RTU”, 2009, pp. 19 – 26.
6. Kuplais Ģ., Blumberga D., Dāce E. System analysis for integration of landfill energy production in regional energy supply. 5th International conference "Waste management 2010", 2010, 12 – 14 July, Estonia, Tallinn - Waste Management and the Environment V - Great Britain: WIT Press, 2010, pp. 21-30.
7. Blumberga D., Kuplais Ģ., Romagnoli F., Vigants E.. CHP or power station? Question for Latvia. The 12th International Symposium on District Heating and cooling.2010, 5-7 September, Estonia, Tallin.
8. Kuplais Ģ., Blumberga D., Dāce E., Romagnoli F. Optimization model of biogas use in landfills in Latvia. 7th International conference "Organic resources in the carbon economy", 2010, 29th June – 3rd July, Greece, Crete, Heraklion - Book of Abstracts of the 7th International Conference ORBIT 2010 – Thessaloniki: Grafima Publ., 2010, pp. 115.

Darba struktūra un apjoms

Darbs sastāv no ievada, 4 nodaļām un secinājumiem. Tajā ir 120 lappuses, t.sk. 49 attēli un literatūras saraksts ar 81 literatūras avotu. Kopsavilkumā netiek aplūkots literatūras apskats.

9

1. Daibes poligona infiltrāta saimniecības eksperimentāla izpēte

Poligona lielākais elektroenerģijas patērētājs ir infiltrāta attīrīšanas saimniecība, kuras galvenais uzdevums ir poligona krātuves šķidrās fāzes piesārņojuma samazināšana. Lai paaugstinātu šo tehnoloģiju energoefektivitāti, ir jāanalizē parametri, kas ietekmē elektroenerģijas patēriņu, un jāatrod kvantitatīvas sakarības starp atkarīgo mainīgo un neatkarīgajiem mainīgajiem.

Šis nodaļas mērķis ir, izmantojot uzņēmuma darbības vairāku gadu datus, iegūt sakarības infiltrāta attīrīšanai nepieciešamās elektroenerģijas patēriņa izmaiņām atkarībā no darbības režīmiem un tos raksturojošiem parametriem.

1.1. Eksperimentālās izpētes shēma un parametri

Daibes poligonā infiltrāta attīrīšanai izmanto divpakāpju reversās osmozes (RO) iekārtu. Enerģijas patēriņa izmaiņu eksperimentāla izpēte veikta poligona infiltrāta attīrīšanas iekārtai 2006., 2007. un 2008. gadā.

Darbā izmantoti dati par iekārtas darbību 2006., 2007. un 2008. gadā. Datus personāls nolasīja reizi diennaktī, atzīmējot žurnālā un ievada datorā. Datora kļūmju dēļ ne visi dati ir pieejami iekārtas darbības analīzei. Mērījumu ceļā noteikti šādi lielumi: infiltrāta daudzums G , m^3 , attīrītā ūdens daudzums G_1 , m^3 , pirmās pakāpes darbināšanas laiks τ_1 , h, otrās pakāpes darbināšanas laiks τ_2 , h, infiltrāta elektrovadītspēja C_1 mS/cm, attīrītā ūdens elektrovadītspēja C_2 mS/cm, elektroenerģijas patēriņš W , kWh.

1.2. Empīrisko datu apstrādes metodika un rezultāti

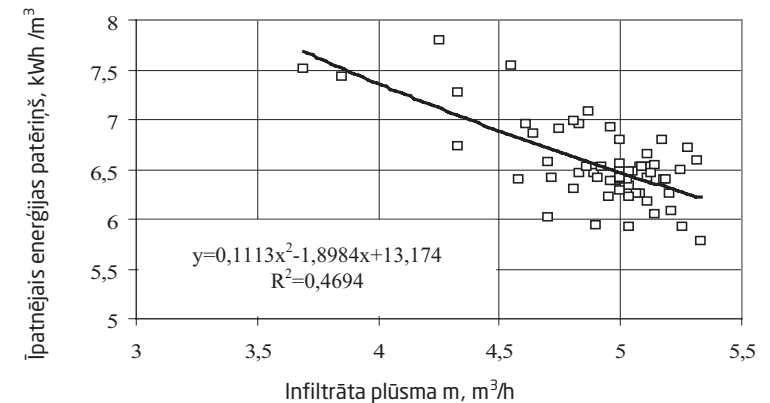
Lai iegūtu vienādojumus iekārtas enerģijas patēriņa noteikšanai, empīrisko datu apstrāde veikta, izmantojot datu statistiskās apstrādes metodes – korelācijas un regresijas analīzi. Darbā datu statistiskā apstrāde un daudzfaktoru empīriskā modeļa izveide veikta ar datorprogrammas STATGRAPHICS Plus palīdzību.

Darbā iekārtas darbības analīzei aplūkota korelācija starp:

- enerģijas patēriņu W un neatkarīgajiem parametriem: infiltrāta daudzumu G , attīrītā ūdens daudzumu G_1 , infiltrāta elektrovadītspēju C_1 , attīrītā ūdens elektrovadītspēju C_2 , infiltrāta attīrīšanas efektivitāti ΔC , ūdens reģenerācijas pakāpi r ;
- īpatnējo enerģijas patēriņu w_i un neatkarīgajiem parametriem: infiltrāta plūsmu m , infiltrāta attīrīšanas efektivitāti ΔC , ūdens reģenerācijas pakāpi r .

Kopsavilkumā parādīti tikai dažī grafiki, kuros vērojama korelācija starp atkarīgo mainīgo lielumu un neatkarīgajiem parametriem.

Augstāku eksperimentālo datu apstrādes rezultātu vispārinājumu var panākt, izmantojot īpatnējos rādītājus. Ir veikta īpatnējā elektroenerģijas patēriņa w_i un infiltrāta plūsmas m korelācijas analīze. Analīzes rezultāti redzami 1.1.attēlā.



1.1.att. Īpatnējā elektroenerģijas patēriņa uz infiltrāta m^3 izmaiņas atkarībā no infiltrāta plūsmas

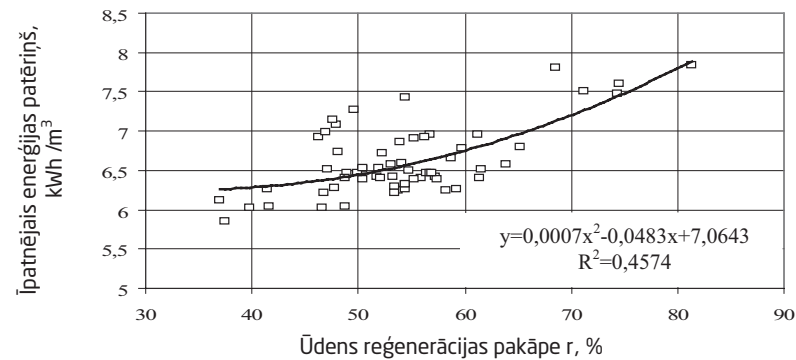
Datu izvietojumu attēlā raksturo būtiska to izkliede. Tas ir tāpēc, ka īpatnējās elektroenerģijas izmaiņas nosaka vairāki neatkarīgi parametri un vienfaktora modeļi var parādīt izmaiņu tendences tikai atkarībā no viena faktora. Analīzes rezultātā noteiktā korelācijas koeficienta kvadrāta vērtība $R^2 = 0,47$ un korelācijas koeficients $R = 0,69$. Sakarība starp lielumiem ir nelineāra, un to izsaka vienādojums:

$$w_i = 0,111 m^2 - 1,898m + 13,174 \quad (1.1)$$

Sakarība starp infiltrāta attīrīšanai patērēto enerģiju un infiltrāta attīrīšanas efektivitāti ΔC , kuru raksturo infiltrāta piesārņojuma samazinājums, kas attiecināts pret sākuma piesārņojumu, ir vāja. Sasniedzot attīrīšanas efektivitāti 0,98 – 0,99, vērojama būtiska datu izkliede, kas norāda uz papildu izpētes nepieciešamību. Papildu pētījumiem tika izmantoti RO iekārtas skaitītāja dati.

Īpatnējo enerģijas patēriņu ietekmē ūdens reģenerācijas pakāpe r . Pieaugot reģenerētā ūdens daudzumam, pieaug īpatnējais enerģijas patēriņš.

Īpatnējā elektroenerģijas patēriņa izmaiņas atkarībā no ūdens reģenerācijas pakāpes redzamas 1.2.attēlā.



1.2.att. Īpatnējā enerģijas patēriņa izmaiņas atkarībā no ūdens reģenerācijas pakāpes

Īpatnējā enerģijas patēriņa izmaiņas atkarībā no ūdens reģenerācijas pakāpes raksturo nelineāra sakarība ar ievērojamu datu izkliedi. Pieaugot ūdens reģenerācijas pakāpei, pieaug īpatnējais enerģijas patēriņš. Analīzē noteiktā korelācijas koeficienta kvadrāta vērtība $R^2 = 0,46$ un korelācijas koeficients $R = 0,68$. Starp lielumiem ir vērojama apmierinoša korelācija. Sakarība starp lielumiem ir nelineāra, un to izsaka vienādojums:

$$w_p = 00007r^2 - 0,0483r + 7,0643 \quad (1.2)$$

Īpatnējā elektroenerģijas patēriņa un neatkarīgo parametru korelācijas analīze rāda, ka ir vērojama korelācija starp īpatnējo enerģijas patēriņu w_p , infiltrāta plūsmu m un ūdens reģenerācijas pakāpi r . Tas nozīmē, ka tālākā datu regresijas analīzē ir izmantojami minētie parametri un regresijas vienādojums īpatnējā enerģijas patēriņa noteikšanai meklējams, izmantojot 2 neatkarīgos parametrus m un r .

Ar vienfaktora korelācijas analīzes palīdzību ir noskaidrota to neatkarīgo parametru kopa, kas ir jāaplūko, nosakot elektroenerģijas patēriņa un īpatnējā elektroenerģijas patēriņa aprēķina daudzfaktoru regresijas vienādojumus.

Šajā sadaļā veiktās izpētes mērķis ir iegūt daudzfaktoru empīriskus vienādojumus, kuri kvantitatīvi aprakstītu RO infiltrāta attīrīšanas iekārtas elektroenerģijas patēriņa un īpatnējā patēriņa rādītājus un kalpotu par pamatu darbināšanas režīmu rezultātu prognozei un izvērtējumam.

Veidojot empīriskus modeļus regresijas vienādojuma veidā, vienmēr ir jārisina vairāki būtiski jautājumi - vai modelī ir iekļauti visi neatkarīgie mainīgie, kas raksturo aplūkojamo parādību, un vai modelī nav iekļauti lieki, mazsvarīgi mainīgie lielumi, tā padarot modeli nevajadzīgi sarežģītu. Daļēju atbildi uz šiem jautājumiem sniedz iepriekš veiktā datu korelācijas analīze. Tā palīdzēja noskaidrot modelī iekļaujamus lielumus. Taču iekļauto lielumu statistiskās nozīmības novērtējumi ir nepieciešams procesus aprakstošs regresijas vienādojums.

Izpētes rezultātā ir iegūts regresijas vienādojums, kas nosaka infiltrāta attīrīšanas RO iekārtas elektroenerģijas patēriņu:

$$W = 132,38 + 5,47G + 0,75r \quad (1.3)$$

Izveidotā empīriskā modeļa datu statistiskās apstrādes rezultātā noteiktā R^2 vērtība ir 0,85. Tas nozīmē, ka izveidotais modelis (1.3) skaidro 85 % no analizējamo datu izmaiņām. Pārējie 15 % attiecināmi uz vienādojumā neiekļautajiem vai darbā nedefinētajiem neatkarīgajiem mainīgajiem vai to savstarpējās iedarbības efektu. Vienādojuma (1.3) adekvātuma pārbaude veikta, izmantojot Fišera kritēriju ($F = 199,5$), kura tabulas vērtība ir $F_{tab.} = 1,4$. Tas nozīmē, ka sakarība $F > F_{tab.}$ ir spēkā un vienādojums (1.3) ir adekvāts un lietojams analizējamo datu aprakstam to izmaiņu robežās:

- attīrāmā infiltrāta daudzuma G izmaiņas no 30 līdz 340 m^3 ;
- ūdens reģenerācijas pakāpes r izmaiņas no 35 līdz 80 %.

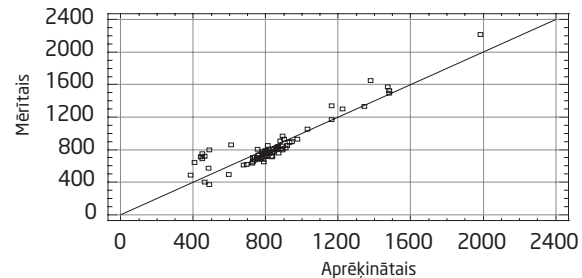
Autokorelācijas pārbaude. Izmantojot Durbinā - Vatsona testu, datu statistiskās apstrādes un datu analīzes gaitā ir noteikts DW kritērijs. Tā vērtība ir tuva lielam 1,4, un tas nozīmē, ka nav vērojama būtiska atlikumu autokorelācija un analīzes gaitā ar mazāko kvadrātu metodi veiktie lielumu novērtējumi nav izkropļoti.

Multikolinearitātes pārbaude. Darbā pārbaude veikta, analizējot regresijas vienādojuma aprēķināto koeficientu korelācijas matricu: starp koeficientiem un tāpat arī neatkarīgajiem mainīgajiem lielumiem korelācija ir nebūtiska un novērtējums ir korekts.

Heteroscedasticitātes pārbaude darbā veikta, pārbaudot atlikumu sadalījumu atkarībā no novērojamās ūdens reģenerācijas pakāpes. Darbā ir veikta atlikumu sadalījuma izpēte atkarībā no citiem faktoriem. Secinājums visos gadījumos ir tāds, ka nav vērojama heteroscedasticitāte un standarta kļūda ir noteikta korekti.

Viens no regresijas vienādojuma pārbaudes veidiem ir saistīts ar tā locekļu zīmju pārbaudi un to, vai noteiktām vienādojuma izmaiņām ir loģisks skaidrojums no aprakstīto procesu fizikālās būtības viedokļa. Elektroenerģijas patēriņa noteikšanas regresijas vienādojumā (1.5) abu locekļu zīmes ir pozitīvas. Tas norāda, ka, pieaugot attīrāmā infiltrāta un attīrītā ūdens daudzumiem, pieaug attīrīšanas procesā patērētā elektroenerģija. Redzamā tendence atbilst procesu būtībai un ir loģiski skaidrojama.

Viens no būtiskākajiem empīrisku vienādojumu lietojuma jautājumiem ir - vai un cik pilnīgi ar regresijas vienādojumu aprēķinātie rezultāti korelē ar empīriskajiem datiem. Vienīgi apmierinošas korelācijas gadījumā var apgalvot, ka modelis adekvāti apraksta praksē vērojamu situāciju un tā lietojums situācijas modelēšanai ir korekts. Empīriskā vienādojuma adekvātuma pārbaudei ir salīdzināti empīriskie un aprēķinātie dati. Datu salīdzinājums grafiski parādīts 1.3.attēlā.



14

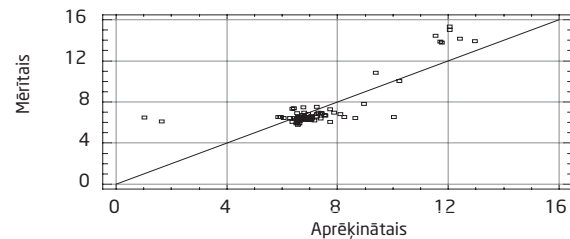
1.3. att. Elektroenerģijas empīrisko un aprēķinu datu salīdzinājums

Kā redzams 1.3. attēlā, vērojama laba korelācija starp abām datu kopām. Ja mērījumu rezultātam precīzi atbilstu aprēķinātā vērtība, punkti atrastos uz attēlā redzamās taisnes. Vērojama lielāka punktu izkliede pie enerģijas patēriņa augstām un zemām vērtībām.

Izpētes rezultātā iegūts regresijas vienādojums, kas nosaka infiltrāta attīrīšanas RO iekārtas īpatnējo elektroenerģijas patēriņu:

$$w_i = 5,17 - 1,62m + 0,057r \quad (1.4)$$

Izveidotā empīriskā modeļa datu statistiskās apstrādes rezultātā noteiktā R^2 vērtība ir 0,673. Tas nozīmē, ka izveidotais modelis (3.13) skaidro 67,3 % no analizējamo datu izmaiņām. Pārējie 32,7 % attiecināmi uz vienādojumā neiekļautajiem vai darbā nedefinētajiem neatkarīgajiem mainīgajiem vai to savstarpējās iedarbības efektu.



1.4.att. Īpatnējā elektroenerģijas patēriņa aprēķinu un eksperimentālo vērtību salīdzinājums

Vienādojuma (1.4) adekvātuma pārbaude veikta, izmantojot Fišera kritēriju, kura noteiktā vērtība ir $F = 48$. Tas nozīmē, ka sakarība $F > F_{tab}$ ir spēkā un ka vienādojums (1.4) ir adekvāts un lietojams analizējamo datu aprakstam to izmaiņu robežās:

- attīrāmā infiltrāta plūsmas m izmaiņas no 3,6 līdz 5,4 m^3/h ;
- ūdens reģenerācijas pakāpes r izmaiņas no 35 līdz 80 %.

Autokorelācijas pārbaudes rezultātā ir konstatēts, ka lielumu novērtējumi nav izkropļoti. Multikolinearitātes pārbaudes rezultātā ir konstatēts, ka vienādojuma koeficientu novērtējums

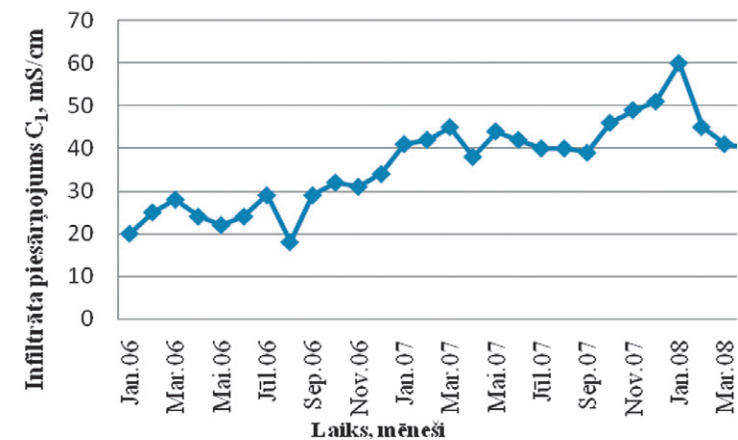
ir korekts. Heteroscedasticitātes pārbaudes rezultātā ir konstatēts, ka nav vērojama heteroscedasticitāte un standarta kļūda ir noteikta korekti. Empīriskā vienādojuma adekvātuma pārbaudei ir salīdzināti empīriskie un aprēķinātie dati. Datu salīdzinājums grafiski parādīts 1.4.attēlā.

Attēlā ir redzams, ka aprēķinu un eksperimentālo datu sakritība ir laba grafika vidusdaļā un ir vērojamas atšķirības mazu un lielu īpatnējo vērtību gadījumā. Viens no atšķirības iemesliem varētu būt mērījumu precizitāte. Parādības izpētei un atšķirību skaidrojumam ir nepieciešami papildu mērījumi.

Infiltrāta RO attīrīšanas ietaises darbojas ar attīrīšanas efektivitāti līdz 80% tīrā ūdens, un pārējais ir koncentrētas nogulsnes. Nogulsnes tiek nogādātas atpakaļ atkritumu krātuvē pa spiedvadu ar esošajiem infiltrāta sūkņiem. Ievadot koncentrātu atkritumu virsējā slānī, tas mitrina atkritumus, tajā pašā laikā darbojas kā katalizators un piedalās atkritumu sadalīšanās ķīmiskajos un bioloģiskajos procesos. Tas veicina ātrāku atkritumu sadalīšanos. Infiltrāta attīrīšanas ietaises vienmēr tiek aprīkotas ar ienākošā neattīrītā infiltrāta un izejošā attīrītā ūdens kvalitātes kontroles ierīcēm. Infiltrāta un attīrītā ūdens piesārņojumu nosaka, mērot to elektrovadītspēju. Plūsmas mērīšanas ierīces fiksē ienākošā infiltrāta, koncentrēto nogulšņu un attīrītā ūdens daudzumus.

Lai noteiktu infiltrāta piesārņojuma ilgtermiņa izmaiņas, tika aplūkoti kopā 2006., 2007. un 2008. gada dati par infiltrāta piesārņojuma izmaiņām. Aprēķinātie mēneša vidējie piesārņojumi gadu griezumā redzami 1.5. attēlā.

1.8.attēlā ir redzams, ka infiltrāta piesārņojums ir svārstīgs mēnešu laikā, taču tas pieaug ilgtermiņā. Tas nozīmē, ka krātuve tiek piesārņota ar infiltrāta attīrīšanas procesa koncentrātu, kuru atbilstoši shēmai atgriež krātuvē.



1.5.att. Infiltrāta elektrovadītspējas izmaiņas ilgtermiņā

15

Pieaugot piesārņojumam, proporcionāli paaugstinās infiltrāta osmozais spiediens un samazinās spiediena starpība starp sūkņa spiedienu un infiltrāta osmozo spiedienu. Samazinoties spiediena starpībai RO iekārtā, samazinās infiltrāta plūsma caur iekārtu. Tā kā RO iekārtas sūkņa spiediens ir nemainīgs un spiediena regulators to notur 60 bar līmenī, tad palielinās infiltrāta attīrīšanas laiks, un tā rezultātā pieaug elektroenerģijas patēriņš, kas nepieciešams noteikta apjoma infiltrāta attīrīšanai.

1.3. Reversās osmozes iekārtas īpatnējā elektroenerģijas patēriņa nenoteiktība

Aplūkoto lielumu standarta nenoteiktību, jutības koeficientu un ieguldījuma indeksu aprēķini veikti vidējam infiltrāta diennakts daudzumam. Aplūkotajā gadījumā īpatnējā elektroenerģijas patēriņa relatīvā paplašinātā nenoteiktība ir 0,0383 jeb 0,64 %. Tas nozīmē, ka šajā poligona darbības režīmā īpatnējais elektroenerģijas patēriņš ir $6 \pm 0,04$ kWh/m³.

Redzams, ka infiltrāta daudzuma mērījumu nenoteiktības indekss ir 97 % un elektroenerģijas patēriņam - ap 3 %. Tas nozīmē, ka būtiskākais ieguldījums nenoteiktību bilancē ir infiltrāta daudzumu mērījumu nenoteiktībai un tālākā kopējās nenoteiktības samazināšanā ir pirmām kārtām jāvelta uzmanība šim lielumam.

2. Poligonu apsaimniekošanas optimizācijas metodika

Nešķirotu atkritumu poligona biogāzes izmantošanas tehnoloģiskie risinājumi atšķiras ar biogāzes kvalitāti, lietotāju mērķgrupām, investīciju apjomiem un citiem faktoriem. Neattīrītas biogāzes izmantošana ir iespējama māsaimniecībā, katlu mājā, elektrostacijā, koģenerācijas stacijā. Attīrīta un uzlabota biogāze šobrīd pasaulē tiek lietota transportlīdzekļos, kā arī padevei dabasgāzes sistēmā. Latvijas atkritumu poligonos šobrīd vispopulārākais ir biogāzes izmantošanas variants, kas saistīts ar tās izmantošanu poligona tuvumā izvietotā koģenerācijas stacijā (ar augstu energoefektivitāti) vai elektrostacijā (ar salīdzinoši zemu efektivitāti) gadījumos, kad trūkst siltumenerģijas lietotāja.

2.1. Energoavota darbības aprēķina optimizācijas metodika

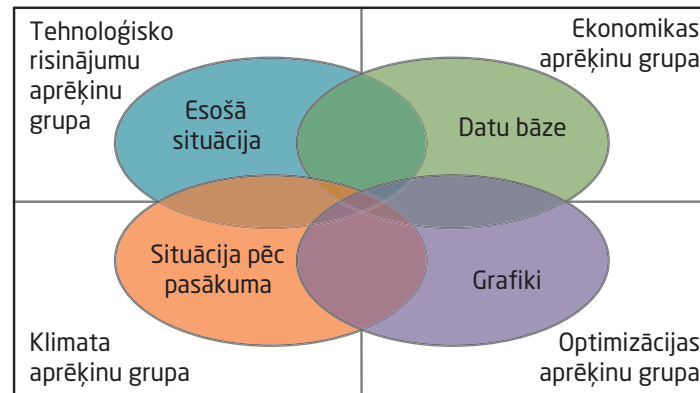
Darbā visdetalizētāk ir attīstīta Latvijā šobrīd vispopulārākā atkritumu poligona biogāzes apsaimniekošanas organizatoriskā shēma, kad poligona teritorijā tiek uzstādīts energoavots ar elektroenerģijas ražošanu un, iespējams, arī ar siltumenerģijas ražošanu. Tas nozīmē koģenerācijas stacijas uzstādīšanas optimizācijas variantu poligonā neattīrītas biogāzes izmantošanai. Poligons tiek aplūkots kā noslēgta sistēma, kurā, veicot tehnoloģiskus pasākumus, tiek samazināta ietekme uz vidi un klimatu un tiek iegūti papildu līdzekļi atkritumu apsaimniekošanai.

Optimizācijas modelis veidots, moduljus un modeļus apvienojot divās plaknēs:

- a) horizontālajā dimensijā, kas aptver aprēķinu grupu modeļus:
 - tehnoloģisko risinājumu aprēķinu grupa,
 - ekonomikas aprēķinu grupa,
 - klimata aprēķinu grupa,
 - optimizācijas aprēķinu grupa;
- b) vertikālajā dimensijā ietverti šādi moduļi:
 - esošās situācijas modulis,
 - pēcpasākuma situācijas modulis,
 - datu bāzes modulis,
 - grafiku modulis.

Savstarpējā saikne starp aprēķinu grupām un moduļiem ilustrēta 2.1.attēlā.

Poligons tiek aplūkots kā sarežģīts dažādu savstarpējā mijiedarbībā esošu procesu kopums. Izmaiņas vienā sistēmā ietekmē pārējās sistēmas. Poligonā saražotais enerģijas daudzums ir būtiski atkarīgs no visu sistēmu mijiedarbības, tādēļ ir svarīgi noteikt faktorus, kas to ietekmē, kā arī noteikt šo faktoru ietekmi uz atsevišķām poligona apsaimniekošanas sistēmām.



2.1.att. Savstarpējā saikne starp aprēķinu grupām un moduļiem

Galvenais optimizācijas mērķis ir atrast optimālu risinājumu, izmantojot enerģijas ražošanas tehniski ekonomisko kritēriju, kas izteikts ar izmaksām un CO₂ emisiju līmeni, t.i., kad ekonomiskie ieguvumi un CO₂ emisiju samazinājums ir maksimāls.

Uz enerģijas ražošanu attiecināmās izmaksas ir saistītas ar biogāzes veidošanās procesu, tās daudzuma pieaugumu un tam sekojošu samazināšanos poligona krātuvē, turklāt šīs izmaiņas nenotiek vienā laika brīdī – tās eksistē tik ilgi, cik ilgi kalpos poligona krātuve. Izmaksas ir jāaplūko, ņemot vērā laika faktoru, tādēļ optimizācijā tiek izmantota pašreizējās vērtības metode.

Izvērtējot tehnoloģiskos risinājumus, tiek izmantoti izejas dati, kurus nosaka ar matemātisku vienādojumu vai empīrisku modeļu palīdzību. Ir jāveic dažādi pieņēmumi, un jāuzliek ierobežojumi. Pēdējos dēvē par līmeņatziņēm, kuras nosakot, tehnoloģiskie risinājumi atšķiras ar iekārtu uzstādīto jaudu, energoefektivitāti, darbības parametriem, t.i., visi optimizācijas modeli izmantotie neatkarīgie parametri ir diskreti lielumi. Tādēļ par matemātiskās programmēšanas metodi optimizācijas veikšanai tiek izvēlēta variantu caurskatīšanas metode.

2.2. Tehnoloģisko risinājumu aprēķinu grupa

Aprēķini balstīti uz tādu vienādojumu sistēmu, kas apraksta biogāzes veidošanās procesu un koģenerācijas stacijā saražotās enerģijas daudzuma noteikšanu. Promocijas darba kopsavilkumā parādītas galvenās aprēķinu sakarības.

Tehnoloģisko risinājumu aprēķinu grupā integrēti 2 grupu vienādojumi, kas ir saistīti ar biogāzes iegūšanu no poligona krātuves un tās izmantošanu koģenerācijas stacijā.

A grupas tehnoloģiskie parametri ir saistīti ar biogāzes iegūvi koģenerācijas stacijas darbināšanai.

1. Biogāzes apjomus, kurus iespējams iegūt poligona krātuvē, nosaka ar LandGEM modeli, kura pamatā ir pirmās pakāpes atkritumu sadalīšanās vienādojums:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_{oi} \left(\frac{M_{i-1}}{10} \right) e^{-kt_{ij}} \quad (2.1)$$

kur:

- Q_{CH₄} - ikgadējais metāna veidošanās apjoms, (m³/gadā);
- n - aprēķina gads (sākotnējais atkritumu pieņemšanas gads);
- k - metāna veidošanās koeficients, (gads⁻¹);
- L₀ - metāna veidošanās apjoma potenciāls, (m³/t);
- M_i - poligonā noglabātais atkritumu daudzums i gados, (t);
- t_{ij} - atkritumu šūnas vecums.

Vairāk informācijas sniegts promocijas darba literatūras apskatā.

2. Biogāzes izmantošanas parametru noteikšanas sākums ir ar biogāzi koģenerācijas stacijai pievadītais enerģijas daudzums, kas tiek sadalīts divos periodos:

- pirmajā periodā pieaugs, definējot laika robežas $0 < \tau < \tau_{1/2}$,

$$dQ_{piev} / d\tau = k_3 * B_1 \quad (2.2)$$

kur:

- k₃ - enerģijas ražošanas intensitātes koeficients pirmajā periodā;
- B₁ - biogāzes apjomi pirmajā periodā, tūkst m³;

- otrajā periodā ar biogāzi pievadītās enerģijas daudzums samazināsies, definējot laika robežas $\tau > \tau_{1/2}$,

$$dQ_{piev} / d\tau = k_4 * B_2 \quad (2.3)$$

kur:

- k₄ - enerģijas ražošanas intensitātes koeficients otrajā periodā;
- B₂ - biogāzes apjomi otrajā periodā, tūkst m³.

Enerģijas ražošanas intensitātes koeficienti gan pirmajā, gan otrajā periodā ir atkarīgi no metāna sastāva biogāzē, no atkritumu sastāva, no izvēlētajās tehnoloģijās koģenerācijas stacijā, no siltuma slodzes, koģenerācijas iekārtu jaudas, stacijas darbināšanas lietderības koeficientiem, stacijas elektriskās un siltuma jaudas attiecības un citiem parametriem.

2. Biogāzes kvalitāte A ir atkarīga no savstarpēji saistītiem parametriem, no kuriem enerģijas ražošanas gadījumā vissvarīgāko lomu spēlē Vobbes indekss vai biogāzes sadegšanas siltums Q₂^d, kas ir atkarīgs no biogāzes sastāva, un to nosaka ar vienādojumu:

$$Q_2^d = (127CO + 358CH_4 + 230H_2S + 0CO_2) / 3600, \text{ MWh/ tūkst m}^3 \quad (2.4)$$

kur:

- CH₄^{bg} - metāna saturs biogāzē, %;
- CO₂^{bg} - ogļskābā gāze biogāzē, %;
- CO^{bg} - tvana gāze biogāzē, %;
- H₂S^{bg} - sērūdeņraža saturs biogāzē, %.

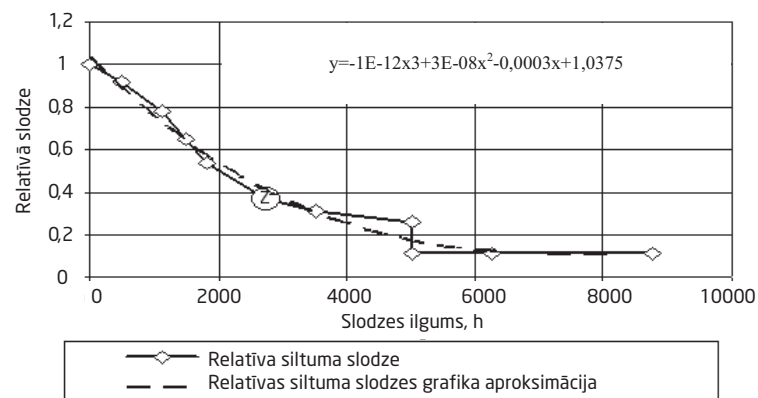
3. Biogāzes zudumi B_z (tūkst. m^3) no poligona krātuves virskārtas tiek noteikti atkarībā no uzglabājamo atkritumu kvalitātes, pārsega materiāla un poligona virskārtas laukuma.

B grupas tehnoloģiskie parametri. Tehnoloģisko iekārtu - koģenerācijas stacijas darbības rādītāji, kuri ietekmē iekārtu ekonomisku un videi draudzīgu darbību, ir saistīti ar iekārtu tehnoloģisko risinājumu, piemēram, uzstādītā elektriskā jauda N_{uzst} , MW, elektroenerģijas un siltumenerģijas attiecība α , enerģijas ražošanas energoefektivitāte $\eta_{koģ}$, kopējais koģenerācijas režīmā saražotās elektroenerģijas daudzums $E^{koģ}$, siltumenerģijas pieprasījums Q_{sar} , kas ietver savstarpēji saistītus parametrus: siltumenerģijas patērētāja optimālā siltuma slodzes Q_{sp} , siltuma slodzes ilgumu - darbināšanas stundu skaitu τ , likni no siltuma slodzes ilguma grafika Q_{sig} , grāddienu skaitu gadā DGD.

4. Jebkuras koģenerācijas stacijas izveide sākas ar patērētāja siltuma slodzes novērtēšanu. Balstoties uz patērētājam nepieciešamo siltumenerģijas daudzumu, tiek izvēlēta optimāla koģenerācijas tehnoloģija un iekārtas jauda. Siltuma slodzes lielumus siltumapgādes sistēmu vajadzību nodrošināšanai un to pastāvēšanas ilgumu gada laikā stundās raksturo slodzes ilguma grafiks. Metode optimālās koģenerācijas stacijas jaudas noteikšanai ir izstrādāta Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūtā. Optimāla koģenerācijas iekārta būs tāda, kura, balstoties uz slodžu ilguma grafiku, gada laikā izstrādās maksimāli iespējamo siltumenerģijas daudzumu, strādājot ar pilnu izvēlēto jaudu. Tas nozīmē, ka iekārtas jaudu noteiks taisnstūris ar maksimāli iespējamo laukumu (maksimāls taisnstūris), kas ierakstīts slodžu ilguma grafikā. Dabot katras stundas slodžu vērtības ar slodzes maksimālo vērtību, iegūst normalizētu jeb relatīvās slodzes ilguma grafiku. Relatīvās slodzes ilguma grafika piemērs ir parādīts 2.2.attēlā. Attēlā ir parādīta arī grafika aproksimācijas līkne.

Grafika aproksimācija veikta, lai iegūtu to aprakstošu vienādojumu nepārtrauktas funkcijas veidā, ko varētu izmantot aprēķiniem. Piemērā iegūtais vienādojums dots attēlā ilustrētajai aproksimētajai līknei:

$$q_{sa} = -10^{-12}\tau^3 + 3 \times 10^{-8}\tau^2 - 0,0003\tau + 1,03 \quad (2.5)$$



2.2.att. Relatīvās slodzes ilguma grafiks un tā aproksimācija

Koģenerācijas stacijas optimālo siltuma slodzi nosaka:

$$Q_{sp} = Q_{sp}^{max} * q_{sa}, MW; \quad (2.6)$$

kur:

- Q_{sp} - siltumenerģijas patērētāja optimālā siltuma slodze, MW;
- Q_{sp}^{max} - siltumenerģijas patērētāja maksimālā siltuma slodze, MW;
- q_{sa} - relatīvā siltuma slodze.

Attēlā ir redzams, ka gan reālajā, gan arī aproksimētajā slodžu ilguma grafikā maksimālā enerģijas izstrāde vērojama relatīvo slodžu 0,3 gadījumā. Tas nozīmē, ka, izvēloties koģenerācijas iekārtas siltuma jaudu 0,3 no patērētājam maksimāli nepieciešamās, to iespējams darbināt ar pilnu slodzi aptuveni 5000 h gadā.

Ja izvēlas mazākas jaudas iekārtu, tad palielinās iespējamās darbināšanas stundu skaits, taču samazinās enerģijas izstrāde. Palielinot uzstādīto jaudu virs optimālās, samazinās iespējamās darbināšanas laiks un, neskatoties uz lielāku jaudu, samazinās iegūtās enerģijas daudzums.

5. Saražotās siltumenerģijas daudzumu nosaka, integrējot laukumu zem aproksimētās siltuma slodžu līknes:

$$Q_{sig} = Q_{sp}^{max} * \tau * q_{sa}, MWh/gadā \quad (2.7)$$

$$Q_{sar} = Q_{sig} / \eta_{term} \quad (2.8)$$

kur:

- τ - siltuma slodzes ilgums - darbināšanas stundu skaits, h/gadā;
- Q_{sig} - siltuma slodzes ilguma grafikā noteiktais siltuma daudzums, MWh/ gadā;
- Q_{sar} - saražotais siltuma daudzums, MWh/gadā;
- η_{term} - termiskais lietderības koeficients.

6. Uzstādītā elektriskā jauda tiek noteikta ar vienādojumu:

$$N_{uzst} = Q_{sp} * \alpha, MWe, \quad (2.9)$$

kur:

- N_{uzst} - uzstādītā elektriskā jauda, MWe;
- α - elektroenerģijas un siltumenerģijas attiecība;
- $E^{koģ}$ - kopējais koģenerācijas režīmā saražotās elektroenerģijas daudzums, MWh;

7. Koģenerācijas stacijas energoefektivitāte ir stacijā saražotā siltuma un elektroenerģijas, kas nodota patērētājiem tīklā, attiecība pret kurināmā enerģiju.

$$\eta_{koģ} = \frac{W_{lietd} + W_{paš} + Q_{lietd} + Q_{paš} + Q_{s.zud}}{Q_{piev}} \quad (2.10)$$

kur: $\eta_{koģ}$ - enerģijas ražošanas energoefektivitāte, %;

- W_{lietd} - tīklā nodotā elektroenerģija, MWh_{gr};
- $W_{paš}$ - koģenerācijas stacijas elektroenerģijas pašpatēriņš stacijā, MWh_{gr};
- Q_{lietd} - lietderīgā siltumenerģija siltuma patērētājam, MWh_{thr};
- $Q_{paš}$ - siltumenerģijas pašpatēriņš stacijā, MWh_{thr};
- $Q_{s.zud}$ - siltuma zudumi, MWh_{thr};
- Q_{piev} - koģenerācijas stacijā pievadītās biogāzes enerģija, MWh.

22

8. Koģenerācijas stacijā saražotās elektroenerģijas apjomu nosaka atkarībā no darba stundu skaita:

$$W = W_{lietd} + W_{paš} = N_{uzst} * \tau \quad (2.11)$$

kur:

W - koģenerācijas stacijā saražotā elektroenerģija, MWh.

9. Svarīgi ir noteikt patiesos kapitālieguldījumus, jo iekārtas tiek uzstādītas tā, lai izmantotu visu biogāzi, kas saražota cieta sadzīves atkritumu poligonā. Balstoties uz apsvērumu, ka mazu elektrostaciju vajadzēs darbināt ilgāku laika periodu un tās būs nepieciešams mainīt ik pēc 15 darbības gadiem, ir jānosaka, cik ilgi darbosies iekārta. Iekārtas darbības ilgumu nosaka ar vienādojumu:

$$\tau_{bg} = B / B_g, \text{ gadi}; \quad (2.12)$$

kur:

- τ_{bg} - biogāzes izmantošanas laiks, gadi;
- B - biogāzes apjoms poligonā, m³;
- B_g - biogāzes ikgadējais apjoms poligonā, m³.

2.3. Ekonomisko aprēķinu grupa

Ekonomiskie aprēķini ar datormodeli dod iespēju noteikt elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošanas izmaksas, kā arī kapitālieguldījumus, un izvērtēt to ekonomisko izdevīgumu. Tas tiek darīts, nosakot virkni rādītāju.

1. Ienākums par pārdoto siltumenerģiju

$$I_{se} = Q_{sp} * T_{se}, \text{ Ls/gadā}, \quad (2.13)$$

kur:

T_{se} - siltumenerģijas tarifs, Ls/MWh.

2. Ienākums par pārdoto elektroenerģiju

$$I_{ee} = W_{liet} * T_{iep}, \text{ Ls/gadā}, \quad (2.14)$$

kur:

T_{iep} - elektroenerģijas iepirkuma tarifs, Ls/MWh.

3. Siltumenerģijas tarifs

Siltumenerģijas tarifu nosaka atkarībā no dabasgāzes tarifa. Poligona teritorijā siltumenerģijas patērētāja tarifs varētu būt vienošanās tarifs un nepārsniegt 0,2-0,3 no elektroenerģijas iepirkuma tarifa.

4. Elektroenerģijas iepirkuma tarifs

Elektroenerģijas tarifu nosaka atkarībā no valsts iepirkuma politikas. Lai būtu iespējams veikt koģenerācijas stacijas izvēles optimizāciju, promocijas darbā tika modelēta līmeņatzīme elektroenerģijas iepirkuma tarifa noteikšanai atkarībā no koģenerācijas stacijas uzstādītās jaudas. Līmeņatzīmes diagrammas piemērs obligātā iepirkuma tarifiem atkarībā no uzstādītās jaudas ilustrēts 2.3. attēlā.

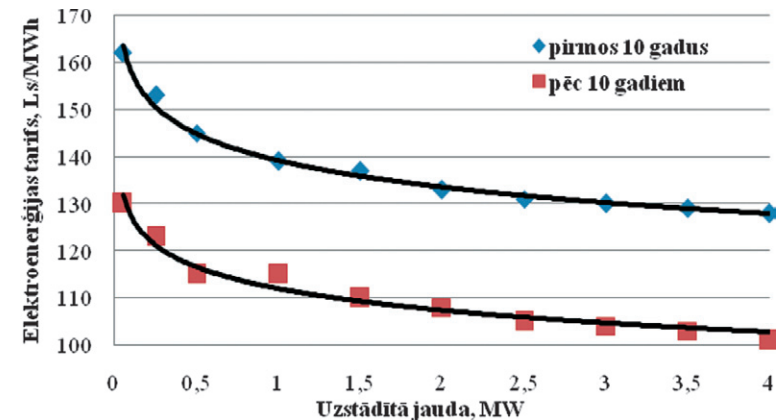
Diagrammā veikts obligātā iepirkuma tarifu grafisks salīdzinājums koģenerācijai un elektros-tacijai (ražo tikai elektroenerģiju), turklāt tika pieņemts, ka elektroenerģijas tarifs pirmos 10 darbības gadus būs augstāks nekā vēlāk.

Elektroenerģijas iepirkuma tarifa vērtība pirmajos desmit gados tiek prognozēta ar līmeņatzīmes vienādojuma palīdzību:

$$T_{iep}^{sāk} = 139,73N^{-0,0678}, \text{ Ls/MWhe} \quad (2.15)$$

Ja koģenerācijas stacija strādā vairāk nekā desmit gadus, tad elektroenerģijas iepirkuma tarifa vērtība kritīsies, un pēc desmit gadiem līmeņatzīmes vienādojums varētu būt šāds:

$$T_{iep}^{vēl} = 111,79N^{-0,0678}, \text{ Ls/MWhe} \quad (2.16)$$



2.3.att. Elektroenerģijas tarifa līmeņatzīmes atkarībā no uzstādītajām jaudām

Līmeņatzīmes veidošanas procesā veikti vairāki pieņēmumi. Viens no svarīgākajiem nosaka, ka, ražojot tikai elektroenerģiju, obligātā iepirkuma tarifs ir tāds pats, kā ražojot elektroenerģiju koģenerācijas režīmā, kur ir daudz lielāki lietderības koeficienti.

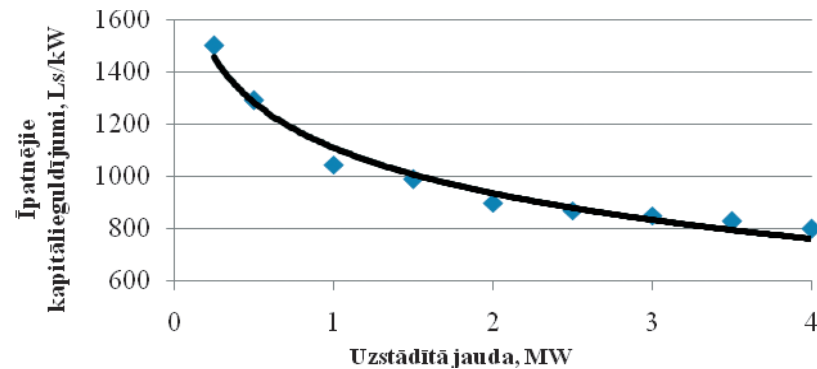
23

5. Kapitālieguldījumi koģenerācijas stacijas iekārtās un uzstādīšanas izmaksās

$$K_k = K_{\text{tehn}} + I_{\text{mont}} \quad (2.17)$$

kur:

- K_k – kopējie kapitālieguldījumi koģenerācijas stacijā, Ls;
- K_{tehn} – kapitālieguldījumi koģenerācijas stacijā, Ls;
- I_{mont} – koģenerācijas stacijas uzstādīšanas un palaišanas izmaksas, Ls.



2.4.att. Koģenerācijas staciju īpatnējo kapitālieguldījumu noteikšanas diagramma

Tā kā biogāzes un dabasgāzes koģenerācijas staciju tehnoloģiskie risinājumi ir vienveidīgi un parasti tiek uzstādīti iekšdedzes dzinēji (retāk mikroturbinas), kopējie kapitālieguldījumi šādu staciju uzstādīšanas gadījumā ir salīdzinoši labi izpētīti un ekonomiskos datus ir iespējams iegūt no istenoto projektu praktiskās pieredzes.

Īpatnējos kapitālieguldījumus k_k nosaka ar diagrammas vai ar vienādojuma palīdzību:

$$k_k = 1050 - 182 \ln(N_{\text{uzst}}, \text{Ls/kW}) \quad (2.18)$$

Kopējos kapitālieguldījumus nosaka ar vienādojumu:

$$K_k = 1000 * k_k * N_{\text{uzst}}, \text{Ls} \quad (2.19)$$

kur:

- k_k – īpatnējie kapitālieguldījumi, Ls/kW.

6. Vienkāršais atmaksāšanās laiks

$$p = K_k / (I_{\text{se}} + I_{\text{ee}}), \text{gadi} \quad (2.20)$$

kur:

- p – koģenerācijas stacijas vienkāršais atmaksāšanās laiks, gadi.

7. Pašreizējā tīrā vērtība (NPV)

$$NPV = K_k \times \frac{1}{(1+R)^{T_1}} + (I_{\text{se}} + I_{\text{ee}}) \times \frac{1 - (1+R)^{-T_2}}{R}, \text{Ls}, \quad (2.21)$$

kur:

- R – reālā diskonta likme, %;
- T_1 – kapitālieguldījumu veikšanas laiks, gadi;
- T_2 – koģenerācijas stacijas kalpošanas ilgums, gadi.

8. Izlīdzinātie tīrie gada ietaupījumi

Izlīdzinātie tīrie gada ietaupījumi ir raksturlielums, kas parāda, kāds ir ikgadējais vidējais tīrais ietaupījums, veicot energoefektivitātes pasākumus. To noteikšana ir svarīgs priekšnosacījums koģenerācijas jaudas optimizācijai. Koģenerācijas staciju ieviešanas pasākuma izlīdzinātos tīros gada ietaupījumus nosaka ar vienādojumu:

$$ITGI = \frac{K_k \times \frac{1}{(1+R)^{T_1}} + (I_1 - I_2) \times \frac{1 - (1+R)^{-T_2}}{R}}{\frac{1 - (1+R)^{-T_2}}{R}}, \text{Ls / gadā}. \quad (2.22)$$

2.4. Klimata aprēķinu grupa

Siltumnīcefekta gāzu emisiju aprēķini dod iespēju izvērtēt koģenerācijas staciju ieguldījumu vides piesārņojuma un klimata izmaiņu ietekmes samazinājumā. Ekoloģisko aprēķinu grupas raksturlielumi ir saistīti gan ar klimata pārmaiņu efektu izraisīto emisiju absolūtajām vērtībām, gan ar to samazināšanas ekonomiskajiem parametriem.

Darbā ogļskābās gāzes emisijas, kas saistītas ar atkritumu poligona biogāzes koģenerācijas stacijas uzstādīšanu un darbināšanu, tiek aprēķinātas, balstoties uz apsvērumu, ka viss metāns, kas ir biogāzes sastāvā un tiek izmantots koģenerācijas stacijā, nenonāk gaisa baseinā un tādējādi viss ir CO₂ emisiju samazinājums.

1. CO₂ emisiju samazināšana

Ikgadējās CO₂ emisijas, kas saistīti ar koģenerācijas stacijas darbināšanu, izmantojot atkritumu poligona biogāzi, izsaka ar vienādojumu:

$$\text{CO}_2 = (Q_{\text{sp}} + W) * R * O / \eta_{\text{koģ}}, \text{tCO}_2/\text{gadā} \quad (2.23)$$

kur:

- CO₂ – ikgadējais CO₂ emisiju samazinājums;
- R – emisijas faktors, kg CO₂/MWh;
- O – oksidācijas faktors.

2. CO₂ emisiju samazināšanas izmaksu efektivitāte

Promocijas darbā veikts izmaksu efektivitātes vērtējums, kas faktiski ilustrē SEG emisiju samazinājuma ekonomisko vērtējumu, nosakot, cik lielas investīcijas nepieciešamas, lai samazinātu vides piesārņojumu par 1 tonnu CO₂. Ikviena energoefektivitātes pasākuma izmaksu efektivitāti var izteikt šādi:

$$E_{CO_2} = K_k / (T_3 * CO_2), Ls/tCO_2; \quad (2.24)$$

kur:

T₃ - investīciju perioda garums, gadi.

Izmaksu efektivitāte faktiski parāda klimata tehnoloģiju lietojuma efektivitāti. Iegūtos rezultātus ir iespējams salīdzināt ar emisiju tirdzniecības CO₂ vērtībām Eiropas un pasaules tirgū.

3. SEG emisiju samazinājuma vērtības līmeņatzīme

Šoreiz līmeņatzīmi var noteikt neatkarīgajiem mainīgajiem, kas var būt gan kapitālieguldījumi, gan tehnoloģisko iekārtu energoefektivitāte, gan arī citi parametri. Tomēr visprecīzāk līmeņatzīmes metode ir iegūstama no emisiju tirdzniecības datiem.

2.5. Optimizācijas aprēķinu grupa

Optimizācijas modelī plāna rādītāji ir nezināmi lielumi, kuru skaitliskās vērtības nosaka uzdevuma risināšanas gaitā. Ar šo lielumu palīdzību definē optimizācijas mērķfunkciju. Promocijas darbā mērķfunkcija ir definēta vissarežģītākajam risinājumam: poligona biogāzes koģenerācijas stacijai ar stabilu siltumenerģijas patērētāju.

Darbā izmantoti 9 plāna rādītāji: B, A, B_z, N_{uzst}, E^{koģ}, η_{koģ}, α, Q_{sa}, CO₂.

Plāna rādītājus nosaka neatkarīgie nemainīgie un mainīgie parametri. Optimizācijas modelī par neatkarīgajiem parametriem tiek uzskatīti visi tie lielumi, kas ir nemainīgi viena konkrēta poligona enerģijas ražošanas raksturojumam pirms un pēc tehnoloģiskā risinājuma ieviešanas pasākumiem.

Neatkarīgie mainīgie parametri raksturo poligonā veicamos tehnoloģisko risinājumu ieviešanas pasākumus kā no tehniskā, tā arī ekonomiskā un ietekmes uz klimata pārmaiņām viedokļa.

Veidojot optimizācijas modeļa nosacījumu sistēmu, ir jānosaka pastāvošās sakarības starp atkarīgajiem un neatkarīgajiem parametriem. Šīs sakarības nosaka modelējamā objekta ekonomiskais un tehniskais saturs. No tā izriet prasība, lai plāna rādītāji būtu veseli skaitļi. Savukārt plāna rādītājus noteicošie neatkarīgie mainīgie un nemainīgie lielumi ir diskreti ar noteiktām vērtībām, kas ir ievadītas optimizācijas modeļa datu bāzē. Datu bāze veido nosacījumu sistēmu, kuru veido ievaddati, kas balstās uz empīriskiem (siltuma slodzes ilguma grafika liknes aprakstīšana) un analītiskiem vienādojumiem (piemēram, Mendeļejeva vienādojums sadegšanas siltuma noteikšanai), datorprogrammu aprēķinu rezultātiem (piemēram, LandGEM modeļa), pieņēmumiem (piemēram, siltuma patērētāja slodzes palielinājums) un ierobežojumiem (piemēram, tehnoloģisks risinājums ierobežo attiecību elektroenerģija / siltums koģenerācijas stacijai).

Lai salīdzinātu dažādus plānus, jāizvēlas plāna efektivitātes rādītāji. Plāna efektivitātes rādītāju, kas izteikts kā nezināmo lielumu funkcija, sauc par mērķfunkciju. Mērķfunkcija ļauj katram plānam noteikt atbilstošu skaitli, kas noteiktās vienībās izsaka attiecīgā plāna efektivitāti. Tādējādi ir iespējams salīdzināt dažādus plānus no izraudzītā efektivitātes rādītāja viedokļa. Mērķfunkcijas maksimālo (minimālo) vērtību sauc par optimalitātes kritēriju. Optimalitātes kritērijs raksturo optimizācijas mērķi. Optimālais plāns ir plāns, kuram atbilst mērķfunkcijas maksimālā (minimālā) vērtība. Par plāna efektivitātes rādītājiem tiek izvēlēti divi lielumi: izlīdzinātie tīrie gada ietaupījumi, Ls/gadā un CO₂ emisiju samazinājums, tCO₂/gadā. Katrs no šiem rādītājiem tiek izteikts ar atbilstošu mērķfunkciju.

Izlīdzinātie tīrie gada ietaupījumi, Ls/gadā:

$$ITGI = f(K_k; T_{iep}; T_{se}; I_{se}; I_{ee}; I_{darb}; CH_4^{bg}; A; CO_2^{bg}; CO^{bg}; Q_z^d; N_{uzst}; W; \eta_{koģ}; \alpha; Q_{sa}; Q_{sa}; B_z; \tau; DGD) @ \max, \quad (2.25)$$

kur:

CH₄^{bg}; A; α; Q_z^d; CO₂^{bg}; CO₂^{bg} – nosacīti nemainīgie lielumi;

K_k; W; T_{iep}; T_{se}; I_{darb}; I_{se}; I_{ee}; η_{koģ}; N_{uzst}; Q_{sa}; Q_{sa}; B_z – mainīgie lielumi.

CO₂ emisiju samazinājums, tCO₂/gadā:

$$CO_2 = f(R; O; K_k; Q_{sa}; N_{uzst}; CH_4^{bg}; A; CO_2^{bg}; CO^{bg}; Q_z^d; N_{uzst}; \eta_{koģ}; \alpha; B_z; \tau) @ \max, \quad (2.26)$$

kur:

CO₂^{bg}; CO^{bg}; CH₄^{bg}; Q_z^d; A; α; R; O – nosacīti nemainīgie lielumi;

K_k; W; η_{koģ}; Q_{sa}; N_{uzst}; Q_{sa}; B_z – mainīgie lielumi.

2.6. Moduļu un apakšmoduļu apraksts

Katrs modulis un apakšmodulis ir izveidots noteikta uzdevuma veikšanai un rezultātu saņemšanai. Tādēļ būtiski ir noskaidrot tajā izmantotos raksturlielumus.

Modulis "Esošā situācija". Izmantojot šo moduli, iespējams noteikt poligona apsaimniekošanas parametrus un biogāzes veidošanos un analizēt faktorus, kas to ietekmē. Tas sastāv no 10 līdz 20 apakšmoduļiem.

Modulis "Pēcpasākuma situācija". Izmantojot šo moduli, tiek analizēti dažādi pasākumi, kurus var veikt poligonā. Papildus moduli "Esošā situācija" izmantotajiem apakšmoduļiem tiek pievienots apakšmodulis "Investīcijas", kurā tiek aprēķināti kapitālieguldījumi, pašreizējā tīrā vērtība (NPV), izlīdzinātie tīrie gada ietaupījumi un oglekļa samazināšanas izmaksu efektivitāte.

Modulis "Datu bāze". Moduli ietverti visi izejas dati, kas nepieciešami datormodeļa izmantošanai un darbināšanai.

Modulis "Grafiki". Grafiskais modulis ir izveidots, lai grafiski ilustrētu matemātisko moduļu aprēķinu rezultātus.

3. Biogāzes izmantošanas optimizācijas metodes testēšana Daibes poligonā

28

Latvija ir sadalīta 11 rūpniecības un sadzīves atkritumu apsaimniekošanas reģionos, no kuriem Ziemeļvidzemes reģions ir otrs lielākais pēc iedzīvotāju skaita.

Daibes poligons atrodas Cēsu rajona Stalbes pagastā un savu darbību uzsāka 2004. gada 1. decembrī. Daibes poligons nodrošina atkritumu noglabāšanu no Cēsu, Limbažu, Valkas un Valmieras rajona. Poligons izbūvēts atbilstoši Eiropas Savienības un Latvijas Republikas normatīvo aktu prasībām. Kopējā platība, kas rezervēta, ņemot vērā poligona attīstības perspektīvas nākotnē, ir 49,2 ha. Poligona platība – 12,96 ha (4 atkritumu apglabāšanas krātuves). Pirmās kārtas krātuves platība ir 3,6 ha (pa vaļņiem) un maksimālais noglabāto atkritumu kalna augstums atbilstoši apkārtējai ainavai ~ 20 m.

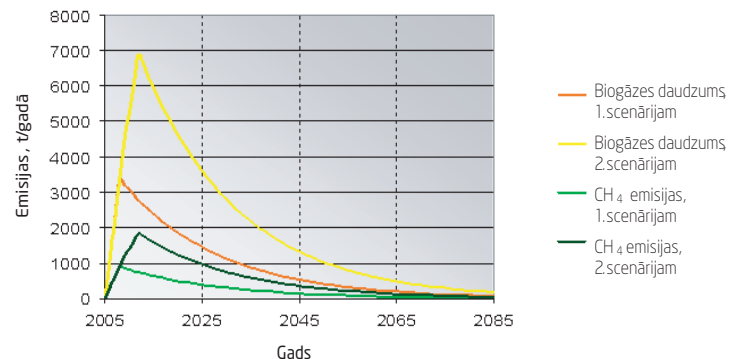
Daibes poligonā šobrīd notiek poligona biogāzes savākšana un sadedzināšana koģenerācijas iekārtā, ražojot elektroenerģiju, jo trūkst siltumenerģijas patērētāju.

Atkritumu poligona krātuvē izvietoti horizontāli gāzes savākšanas kolektori. Biogāzes izmantošanas sistēma sastāv no gāzes atsūkņēšanas un attīrīšanas sistēmas un nelielas elektrostacijas.

3.1. Biogāzes apjomu prognozēšana

Biogāzes daudzuma un sastāva modelēšana Daibes poligonam veikta ar LandGEM modeli 3 dažādiem atkritumu noglabāšanas scenārijiem:

- 1. scenārijs – situācijai uz 2007. gada beigām (pēc trīs gadu atkritumu apglabāšanas);
- 2. scenārijs – situācijai pēc pirmās kārtas krātuves aizpildīšanas uz 2011. gada beigām (pēc septiņu gadu atkritumu apglabāšanas);
- 3. scenārijs – ietvers aprēķinus, ja atkritumi tiek noglabāti bioreaktorā.

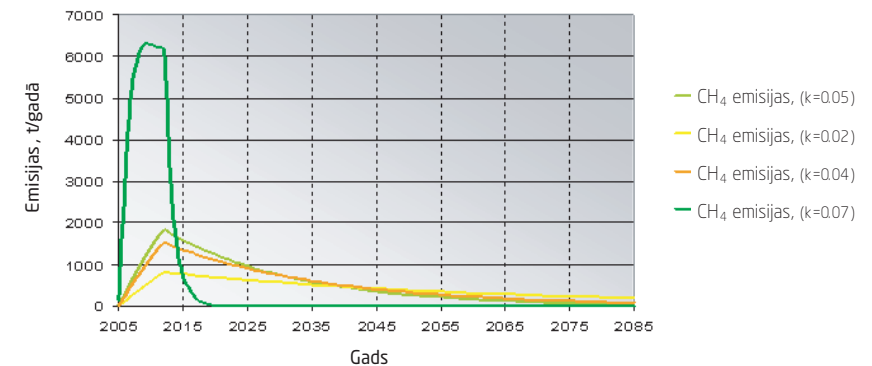


3.1.att. Biogāzes daudzuma un metāna emisiju salīdzinājums (1. un 2. scenārijam)

29

Salīdzinot pirmo un otro scenāriju (skat. 3.1. attēlu), var secināt, ka gāzes ieguves izmaiņas sākuma posmā nav būtiskas, bet tās ievērojami mainās pēc pieciem gadiem un vēlāk, kas izskaidrojams ar apglabāto atkritumu apjoma pieaugumu divas reizes. Tas pierāda, ka aprēķinu veikšana katram gadam atsevišķi nav efektīva. Iegūtie rezultāti neļauj prognozēt kopējos biogāzes apjomus poligona stabilizācijas laikā, kā arī noteikt atkritumu gāzes savākšanas sistēmas nepieciešamo kapacitāti.

Trešā scenārijā aprēķini veikti bioreaktorā, pieņemot, ka ik gadu tajā tiek noglabāti 10 tūkstoši tonnu bioloģiski noārdāmu atkritumu (dūņas no pilsētu attīrīšanas iekārtām, pārtikas atlikumi, atkritumi no dzīvnieku pārstrādes un citi tiem pielīdzināmi atkritumi). Modelēšana tiek veikta laika periodam no 2005. līdz 2011. gadam.



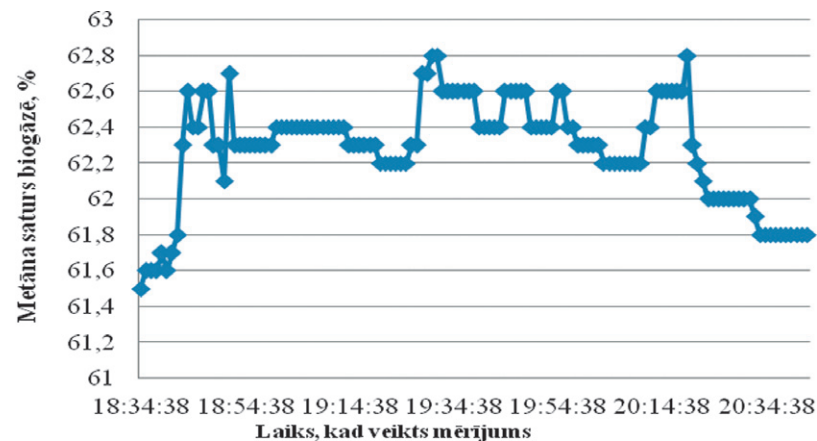
3.2.att. Metāna emisiju izmaiņas atkarībā no koeficienta k vērtības

3.2. attēls ilustrē CH_4 emisiju apjomu atkarībā no metāna veidošanās koeficienta k vērtību izmaiņām. Tradicionālos atkritumu poligonos ($k=0,05$ un $k=0,04$), kur nenotiek papildu mitruma padeve, maksimālais metāna emisiju apjoms tiek sasniegts 2012. gadā, attiecīgi 1842 tonnas un 1523 tonnas. Savukārt sausā poligonā ($k=0,02$) metāna gāzes apjoms samazinās vidēji divas reizes, 2012. gadā sasniedzot 815 tonnas. Taču palielinās poligona stabilizācijas laiks, un nozīmīgi metāna gāzes apjomi tiek emitēti arī pēc 2085. gada. Bioreaktorā iegūstamie metāna apjomi maksimālo vērtību sasniedz jau 2009. gadā – 6319 tonnas, kas ļauj secināt, ka augstāka koeficienta k vērtība nodrošina ātrāku biodegradācijas procesu norisi, samazinot atkritumu sadalīšanās laiku.

3.2. Daibes poligona darbības datu izpēte

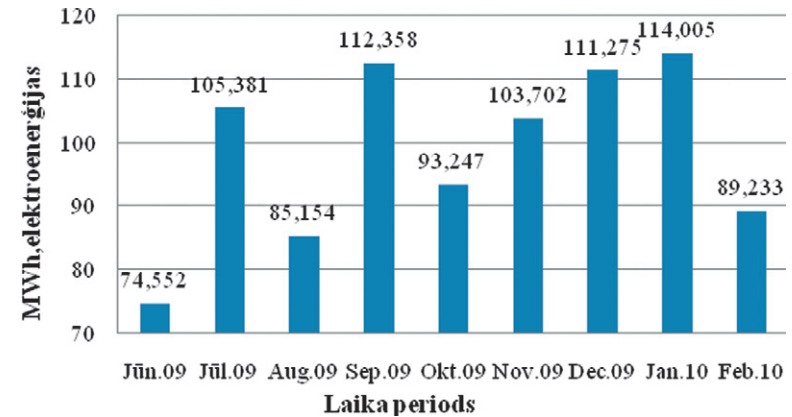
Pirmās kārtas caurules biogāzes savākšanai Daibe poligonā uzstādītas 2005.gadā. Poligona gāzes savākšanas sistēmai izlietots 281 000 latu. Poligonā izbūvēta horizontālā gāzes savākšanas sistēma, kas ietver caurules poligona gāzes savākšanai gandrīz 3 km garumā, sūkņu staciju un gāzes regulēšanas staciju. Nākamā kārta (2.cauruļu līmenis) realizēta 2010.gada otrajā pusē, bet 3.kārtu (3.cauruļu līmeni) plānots īstenot reizē ar pirmās atkritumu noglabāšanas krātuves rekultivācijas darbiem 2011.-2012.gadā.

Lai būtu iespējams īstenot tehnoloģiskos, ekonomiskos un ekoloģiskos vērtējumus, ir jānosaka ne tikai saražotās uzlabotās biogāzes daudzums B, neapstrādātas biogāzes ienākošā plūsma, bet arī metāna procentuālais sastāvs biogāzē.



3.3.att. Biogāzes metāna koncentrācija poligonā "Daibe"

2005. gadā uzsākts Daibes cieta sadzīves atkritumu poligona biogāzes monitorings. Metāna procentuālais sastāvs biogāzē noteikts, veicot nepārtrauktu monitoringu un apstrādājot datus, kas ir iegūti Daibes poligonā. Monitoringa datu piemērs ilustrēts 3.3. attēlā. Mērījuma rezultāti parādīja, ka koncentrācija ir augsta, vidēji vairāk par 62%. Tomēr vidējie dati gadu griezumā pēdējo trīs gadu laikā liecina, ka vidējā metāna koncentrācija gāzē ir aptuveni 60%.



3.4. att. Elektroenerģija, ko saražo Daibes poligona koģenerācijas stacijā

Šobrīd Daibes poligonā ir uzstādīta neliela koģenerācijas stacija, kuras uzstādītā jauda ir 0,175 MWe. Tā kā poligonā praktiski nav siltumenerģijas patērētāja (tikai nelielas administratīvās ēkas apkure apkures sezonas laikā), koģenerācijas stacija nestrādās koģenerācijas režīmā. Kā redzams 3.4. attēlā, saražotās elektroenerģijas daudzums strauji mainās. Galvenokārt tas ir atkarīgs no savāktās poligona gāzes daudzuma, taču tas ir atkarīgs arī no metāna satura gāzē.

3.3. Optimizācijas modeļa aprobācija

Optimizācijas galvenais mērķis ir atrast mainīgo lielumu vērtības, kas atbilst un nodrošina maksimālo mērķi un vienu vai vairākus minimālos vēlamos mērķus. Citiem vārdiem sakot, optimizācija ir process, lai padarītu kādu procesu pilnvērtīgāku un funkcionālāku. Tā kā Daibes poligonā nav siltumenerģijas patērētāja, koģenerācijas stacija strādās elektrostacijas režīmā. Elektroenerģijas ražošana var notikt dažādās jaudas elektrostacijās, un tas, kāda būs stacija, ir atkarīgs gan no poligona biogāzes apjomiem, gan arī no biogāzes kvalitātes. Tas ir optimizācijas modeļa aprobācijas uzdevums.

3.3.1. Dati un pieņēmumi

Optimizācijas moduli izmantojamus datus iegūst no Daibes cieta sadzīves atkritumu poligona Cēsu rajonā, Latvijā.

Aprēķins veikts, izmantojot šādus ievaddatus:

- kopējais biogāzes patēriņš enerģijas ražošanai B = 42 miljoni m³/gadā;
- biogāzes kvalitāte: aprēķinus veic trim dažādām siltuma vērtībām, piemēram, Q₂^d = 4 kWh/m³, Q₂^d = 5 kWh/m³, un Q₂^d = 6 kWh/m³;
- koģenerācijas stacijas uzstādītās īpatnējās jaudas diapazons ir η_{uzst} = 0,025 - 1;
- iekārtu darbības laiks – 7000 stundu/gadā;
- koģenerācijas stacijas lietderības koeficients η_{koģ} = 50%;

- siltumenerģijas patērētāja siltuma slodzes nav. $Q_{sa} = 0$;
- kopējais saražotais elektroenerģijas daudzums koģenerācijas stacijā ir 1 05 TWh.

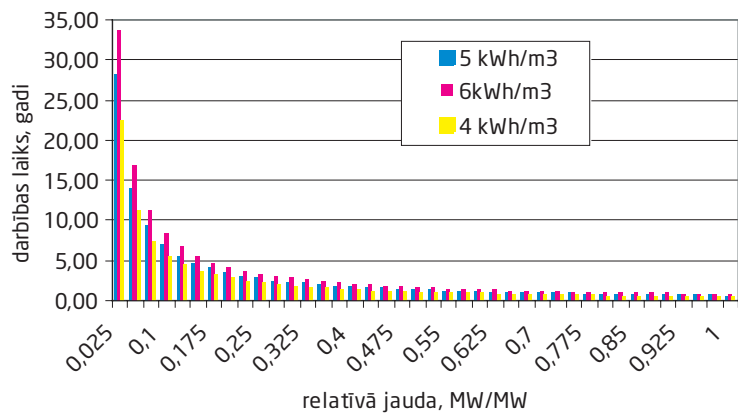
Aprēķins veikts, nosakot šādus pieņēmumus:

- kopīgie poligona biogāzes apjomi, kas veidojas 15 gadu laikā atkritumu izgāztuves kolektorā, ir nemainīgi;
- biogāzes kvalitāte, sastāvs un sadegšanas siltuma vērtība ir nemainīga;
- izmaksas par uzstādīto jaudu noteiktas, izmantojot līmeņatzīmi, balstoties uz informāciju no tehnoloģiju ražotājiem un piegādātājiem (skat. kopsavilkuma 3.nodaļu);
- koģenerācijas stacija strādās elektrostacijas režīmā, jo trūkst siltumenerģijas patērētāja;
- elektrostacijā ir uzstādīti iekšējie dzinēji biogāzes izmantošanai;
- instalētās jaudas izmaksas ņemtas, balstoties uz informāciju no tehnoloģiju ražotājiem un piegādātājiem;
- elektroenerģijas iepirkuma tarifs noteikts ar līmeņatzīmes metodi (skat. kopsavilkuma 2.nodaļu);
- lietderības koeficients ir pieņemts, balstoties uz informāciju no tehnoloģiju ražotājiem un piegādātājiem;
- metāna zudumi no poligona gāzes kolektora ir nemainīgi laika gaitā;
- darbināšanas izmaksas biogāzes iekārtām tiek pieņemtas, balstoties uz informāciju no tehnoloģiju ražotājiem un piegādātājiem.

3.3.2. Tehnoloģisko parametru optimizācijas rezultāti

Jo lielāka jauda tiek uzstādīta, jo ātrāk tiek iztukšots biogāzes rezervuārs, un otrādi - jo mazāka ir jauda, jo lēnāk tiek iztukšots rezervuārs, bet lielākas ir iespējas paaugstināt iekārtas lietderības koeficientu. No otras puses, jo lēnāk iztukšo rezervuāru, jo lielāki ir biogāzes zudumi caur pārklājumu. Tas nozīmē siltumnīcefekta gāzu emisiju pieaugumu.

Tehnoloģisko iekārtu analīze veikta, balstoties uz diviem galvenajiem parametriem biogāzes izmantošanā, proti, biogāzes kvalitāti un iekārtas uzstādīto jaudu. Rezultāti attēloti 3.5.attēlā.



3.5.att. Iekārtu darbības laiks pret uzstādīto jaudu

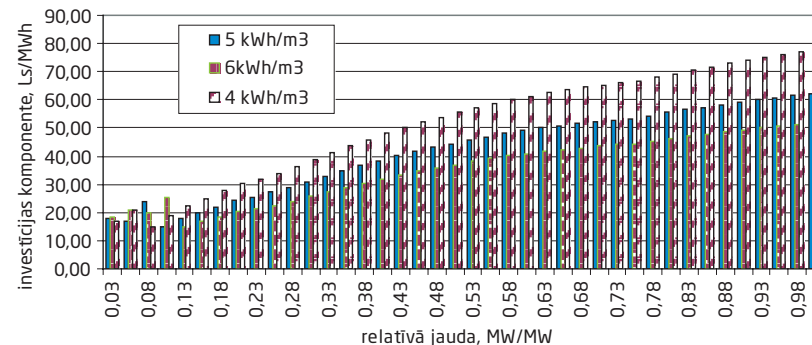
Ģirta Kuplā promocijas darba kopsavilkums

Kā liecina rezultāti 3.5. attēlā, jo lielāka uzstādītā jauda, jo īsāks iekārtas darbības laiks. Ja pieņem, ka iekārtas darbības laiks varētu būt no 5 līdz 10 gadiem, tad uzstādītā jauda varētu būt 0,5 MW un lielāka. Turklāt aprēķinu rezultāti liecina, ka, jo kvalitatīvāka ir gāze, jo ilgāku laika periodu strādās tehnoloģiskās iekārtas. Analīze rāda, ka darbības laika izmaiņām atkarībā no iekārtas uzstādītās relatīvās jaudas ir nelineārs raksturs un nav izteikta optimuma. Tas nozīmē, ka jaudas optimālās vērtības nosakāmas ar citu optimizācijas uzdevumu palīdzību, piemēram, veicot ekonomisko optimizāciju.

3.3.3. Ekonomiskās optimizācijas rezultāti

Izvērtējot kopējos ierējumus, uzstādot dažādas jaudas elektrostacijas (skat. 3.6. attēlu), vislielākie ierējumi ir iespējami pie mazām jaudām. Tikai darbinot iekārtu 187 gadu garumā, ir jāērējinās ar to nomaļu 14 reizes un arī metāna zudumi būs ievērojami. Tāpēc tāds variants ir jāuzskata par teorētisku iespēju.

Ekonomiskās optimizācijas rezultātus novērtē, izmantojot indikatorus, kas parāda īpatnējo ieguldījumu izmaksas tarifā, kā arī analizējot ieguvumus, kas rodas no starpības starp elektroenerģijas iepirkuma tarifiem. Īpatnējo ieguldījumu izmaksas elektroenerģijas tarifos ir attēlotas 3.6. attēlā.

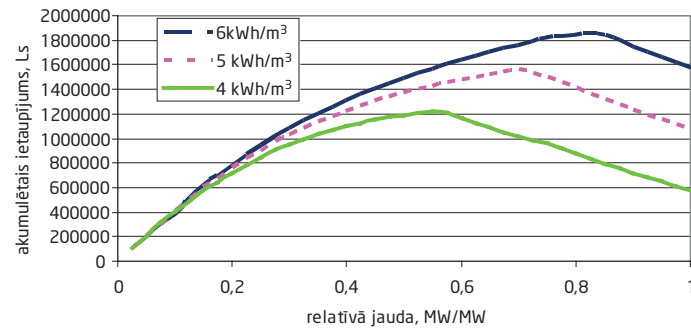


3.6.att. Īpatnējo ieguldījumu izmaksas elektroenerģijas tarifiem

Ekonomiskā optimizācija tika veikta, meklējot maksimālu labumu atkarībā no uzstādītās koģenerācijas vai elektrostacijas jaudas un biogāzes kvalitātes. 3.7.attēls ilustrē ekonomiskās optimizācijas rezultātus.

Kā redzams no ekonomiskās optimizācijas rezultātiem 3.7. attēlā, ja ir zemas kvalitātes biogāze (4 kWh/m^3), tad optimālā uzstādītā relatīvā jauda ir 0,55. Ja biogāzes kvalitāte ir vien 5 kWh/m^3 , tad optimālā uzstādītā jauda ir 0,7 un 0,85 attiecīgi pie augstas biogāzes kvalitātes (6 kWh/m^3). Tas nozīmē, ka poligonos ir iespēja atrast optimālo jaudu, kas dod vislielāko peļņu, atkarībā no biogāzes kvalitātes.

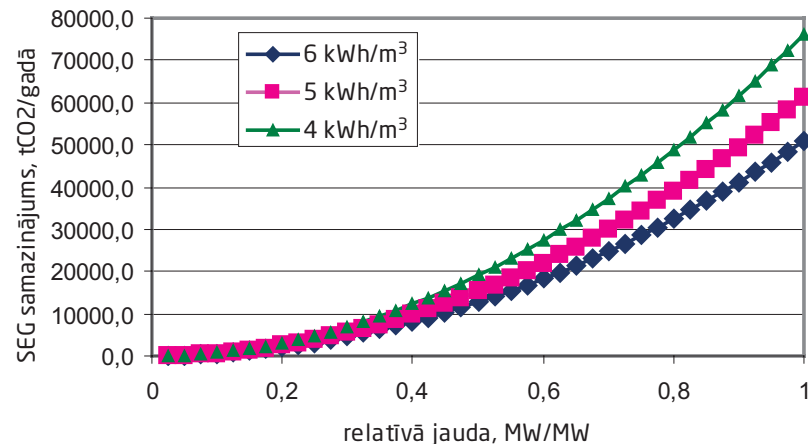
Vismazākās īpatnējo ieguldījumu izmaksas ir augstākas kvalitātes biogāzei (6 kWh/m^3). Optimālās īpatnējo ieguldījumu izmaksas būtu diapazonā ar uzstādīto tehnoloģiju relatīvo jaudu no 0,18 MW līdz 0,25 MW.



3.7. att. Ekonomiskās optimizācijas diagramma

3.3.4. Klimata tehnoloģiju parametru optimizācijas rezultāti

Klimata tehnoloģiju parametru aprēķinu rezultāti liecina, ka ar lielāku uzstādīto jaudu ir iespējams panākt lielāku siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanu (3.8.attēls).



3.8.att. Ietekmes uz klimata pārmaiņām samazinājuma diagramma

Analīze rāda, ka SEG emisiju samazinājumam atkarībā no iekārtas uzstādītās relatīvās jaudas ir nelineārs raksturs un nav izteikta optimuma. Tas nozīmē, ka relatīvās jaudas optimālās vērtības nosakāmas ar citu optimizācijas uzdevumu palīdzību, piemēram, veicot ekonomisko optimizāciju.

Secinājumi

1. Izstrādāts biogāzes izmantošanas optimizācijas modelis:
 - atrasta ekonomisko izmaksu optimizācijas mērķfunkcija, balstoties uz tehnoloģisku risinājumu biogāzes izmantošanai, lai ražotu elektroenerģiju un siltumenerģiju;
 - atrasta SEG emisiju optimizācijas mērķfunkcija, balstoties uz tehnoloģisku risinājumu biogāzes izmantošanai, lai ražotu elektroenerģiju un siltumenerģiju.
2. Izstrādāts empīrisks modelis īpatnējo elektroenerģijas patēriņu noteikšanai infiltrāta attīrīšanas iekārtu darbināšanai, kas balstās uz reversās osmozes iekārtas eksperimentālo datu statistisko apstrādi un analīzi, izmantojot korelācijas un regresijas analīzes metodes.
3. Eksperimentālo datu analīze rāda, ka infiltrāta piesāņojums ilgtermiņā pieaug. Tas nozīmē, ka krātuve tiek piesāņota ar infiltrāta attīrīšanas procesa koncentrātu, kuru atbilstoši shēmai atgriež krātuvē. Pieaugot piesāņojumam, proporcionāli paaugstinās infiltrāta osmoza spiediens un samazinās spiediena starpība starp sūkņa spiedienu un infiltrāta osmozo spiedienu. Samazinoties spiediena starpībai RO iekārtā, samazinās infiltrāta plūsma caur iekārtu, palielinās infiltrāta attīrīšanas laiks, un tā rezultātā pieaug elektroenerģijas patēriņš. Izpēte rāda, ka koncentrāta padeve atkritumu krātuvē saistīta ar infiltrāta attīrīšanas iekārtas elektroenerģijas patēriņa pieaugumu nākotnē, kas savukārt palielina poligona enerģijas pašpatēriņu un samazina tīklā padodamās elektroenerģijas daudzumu.
4. Veikta mērījumu nenoteiktību avotu apzināšana, analizēts un noteikts nenoteiktību tips un izvērtēta īpatnējā elektroenerģijas patēriņa noteikšanas nenoteiktību bilance, kā arī izvērtēts atsevišķu parametru nenoteiktību ieguldījums kopējā nenoteiktībā. Īpatnējā elektroenerģija patēriņa noteikšanas nenoteiktības samazināšanai ir vispirms jāpievērš uzmanība infiltrāta daudzuma noteikšanai, jo, kā rāda nenoteiktību bilances analīze, infiltrāta daudzuma mērījumi dod lielāko ieguldījumu (ap 97 %) nenoteiktību bilancē. Novērtēta poligona īpatnējā elektroenerģijas patēriņa noteikšanas paplašinātā nenoteiktība, un tā infiltrāta daudzuma vidējām diennakts vērtībām ir $\pm 0,04 \text{ kWh/m}^3$ jeb $\pm 0,64 \%$.
5. Ar poligona gāzu emisiju modeļa LandGEM 3.02 versijas palīdzību aprēķināti 3 scenāriji biogāzes ieguves veidošanās apjoma un sastāva aprēķiniem Daibes poligonā, ņemot vērā noglabāto atkritumu daudzumu un mitruma saturu, barības vielu nodrošinājumu un pieejamību anaerobajiem mikroorganismiem, atkritumu masas pH, temperatūru un reģiona klimatiskos apstākļus. Modelēšanas rezultāti liecina, ka pirmajos 3-5 gados biogāzes ieguves apjoms Daibes poligonā ir neliels, maksimumu sasniedzot pēc krātuves slēgšanas 2012. gadā - 5,5 milj. m³, no tiem 2,76 milj. m³ metāna. Tādējādi gāzes savākšanas sistēmas uzstādīšana poligona sākumstadijā nav ekonomiski izdevīga. Iegūtie rezultāti apliecina ekoloģiskās un ekonomiskās izpētes veikšanas nepieciešamību nākotnes darbību plānošanai un tehnoloģisko iekārtu izvēlei.
6. Optimizācijas aprēķini rāda, ka ir sasniedzams ietaupījumu optimums, kas ir atkarīgs biogāzes Vobbes indeksa un koģenerācijas iekārtas uzstādītās jaudas. Pieaugot Vobbes indeksa vērtībai, pieaug optimālā koģenerācijas iekārtas jauda.



SIA Ziemeļvidzemes atkritumu
apsaimniekošanas organizācija