

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Anna VOLOŠČUKA

**MAZU KOĢENERĀCIJAS STACIJU DARBĪBAS
ANALĪZE. JAUDAS IZVĒLES OPTIMIZĀCIJA**

Promocijas darba kopsavilkums

Rīga 2008

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte
Enerģētikas institūts

Anna VOLOŠČUKA
Enerģētikas programmas doktorante
(stu.apl.Nr. 991REB017)

**MAZU KOGENERĀCIJAS STACIJU DARBĪBAS
ANALĪZE. JAUDAS IZVĒLES OPTIMIZĀCIJA**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskā vadītāja
Dr. Habil. Sc. Ing., profesore
D.BLUMBERGA

Rīga 2008

Vološčuka A. Mazu koģenerācijas staciju darbības analīze.
Jaudas izvēles optimizācija Promocijas darba kopsavilkums.-
R.:RTU, 2008.-28 lpp.

Iespiests saskaņā ar Enerģētikas institūta 2008.gada 14.aprīļa
lēmumu, protokols Nr 1.

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS RĪGAS TEHNISKĀS UNIVERSITĀTES INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2008.g. 27.jūnijā 14.00. Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1, aktu zālē.

OFICIĀLIE OPONENTI

Dr.habil.Phys., profesors, Juris Ekmanis,
Latvijas Zinātņu akadēmija, Fizikālās enerģētikas institūts

Dr.habil.sc.ing., profesors Viktors Zēbergs,
Fizikālās enerģētikas institūts

Dr.sc.ing., profesors Jānis Gerhards
Rīgas Tehniskā universitāte

APSTIPRINĀJUMS

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

Anna Vološčuka(Paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 5 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 26 tabulas, 69 attēlus un ilustrācijas, kopā 139 lapas. Literatūras sarakstā ir 58 nosaukumi.

Šis darbs ir izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu Nacionālās programmas „Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai un pēcdoktorantūras pētījumiem” projekta „Atbalsts RTU doktorantūras attīstībai” ietvaros.

Satura rādītājs

Darba aktualitāte	5
Darba mērķi.....	6
Izpētes metodika	6
Darba zinātniskā nozīme.....	7
Darba praktiskā nozīmē	7
Darba aprobācija	7
Autores publikācijas.....	8
Darba struktūra un apjoms	9
1. Kļiedētas energosistēmas vērtēšana. Indikatoru izpēte.....	9
2. Mazas jaudas koģenerācijas stacijas darbināšanas datu apstrāde un analīze	10
2.1. Stacijas mērījumu parametru apstrāde un rezultāti	10
2.2. Stacijas primāro resursu ietaupījumu izvērtējums un to nenoteiktību analīze	15
2.3. Latvijas mazas jaudas koģenerācijas staciju darbības analīze	16
2.4. Koģenerācijas staciju jaudu izvēles optimizācija.....	18
3. Mazas jaudas koģenerācijas stacijas ekonomiskā un ekoloģiskā analīze	21
4. Metodikas aprobācija	23
Secinājumi.....	25

Darba aktualitāte

Latvijā arvien aktuālāka kļūst elektroenerģijas deficīta problēma. Valsts energoapgāde ir atkarīga no bāzes režīmā strādājošajām kaimiņvalstu elektrostacijām. Lai samazinātu starpību starp elektroenerģijas ražošanu un elektroenerģijas patēriņu, Latvijā ir jāizmanto valsts iekšējās iespējas.

Viena no iespējām ir kļiedētas energosistēmas izveide, kas paredz elektroenerģijas ģenerēšanu tās patērētāja tuvumā. Kļiedētas elektroenerģijas ražošanas tehnoloģijas iekļauj koģenerācijas tehnoloģijas, fotoelementus, vēja turbīnas, nelielas hidroelektrostacijas. Šobrīd Latvijā darbojas vairāk nekā simts kļiedēto energoavotu, kuru kopējais īpatsvars šobrīd ir ap 5% no Latvijas elektriskās jaudas. Lai iegūtu kļiedētas enerģijas ražošanas priekšrocības salīdzinājumā ar centralizēto elektroenerģijas ražošanu, tādās kā energopatērētāju un energosistēmas ietaupījumi, elektroenerģijas pakalpojumu drošuma un energoefektivitātes palielināšanās, jāpalielina kļiedēto energoavotu īpatsvars Latvijas enerģētikā.

No visiem kļiedētajiem energoavotiem par Latvijas apstākļiem vispiemērotākajām var uzskatīt koģenerācijas tehnoloģijas, par ko liecina vairāki faktori. Pirmkārt, Latvijā pastāv bāzes jaudu deficīts un šo deficītu var nodrošināt tikai prognozējamie energoavoti, bet starp visiem kļiedētajiem energoavotiem tikai koģenerācijas stacijas var uzskatīt par prognozējamiem avotiem. Otrkārt, Latvijā ir raksturīga centralizēta siltumapgādes sistēma, tāpēc apdzīvotajās vietās ir pietiekami lielas siltuma slodzes, lai uzstādītu efektīvu koģenerācijas iekārtu. Treškārt, koģenerācijas energoefektivitāte ir augstāka, salīdzinot ar dalītu elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošanu. Ceturtkārt, koģenerācijas enerģijas avots ir tuvu siltuma slodzei, t.i., enerģijas patērētājam, kas vienlaikus patērē arī elektroenerģiju. Tas nozīmē, ka koģenerācijas tehnoloģijām ir visas priekšrocības, kas saistītas ar energoavota atrašanos tuvu patērētājam, tādās kā elektroenerģijas pārvades un sadales zudumu samazināšanās un elektroapgādes stabilitātes paaugstināšanās.

Uzstādot jaunu koģenerācijas staciju, enerģijas ražotājs saskaras ar pamatjautājumu, cik lielai jābūt stacijas uzstādītajai jaudai. Tā kā koģenerācija paredz siltumenerģijas un elektroenerģijas vienlaikus ražošanu, ir svarīgi, lai abi enerģijas veidi tiktu lietderīgi izmantoti. Elektroenerģiju ir iespējams izmantot gan uz vietas, gan pārvadot lielos attālumos, bet siltumenerģiju ir iespējams izmantot tikai uz vietas. Tāpēc koģenerācijas stacijas jaudas izvēlē par noteicošo faktoru tiek uzskatīts siltumenerģijas patērētājs. Koģenerācijas uzstādītās jaudas izvēles riski ir saistīti ar to, ka, izvēloties lielāku jaudu par optimālo, stacija nevarēs strādāt visa gadā garumā, jo siltuma slodze nebūs pietiekama, bet, izvēloties mazāku jaudu par optimālo, siltuma slodzes potenciāls netiks izmantots maksimāli.

Koģenerācijas staciju darbības pamatā ir fizikāli procesi, taču reālajās iekārtās procesu realizācija nav brīva, tos ierobežo tehniski, ekonomiski, vides aizsardzības, likumdošanas nosacījumi. Lai panāktu koģenerācijas plašu ieviešanu Latvijā, ir jāpēta jaunā metodika, kas noteiktu, kādai jābūt koģenerācijas stacijas jaudai, ņemot vērā gan fizikālus procesus, gan dažāda rakstura ierobežojumus. Metodikas pamatā jābūt siltuma slodzes indikatoriem, jo tādā veidā, izvēloties optimālo jaudu, tiks ņemts vērā galvenais faktors, kas ietekmē koģenerācijas stacijas veiksmīgu darbību.

Darba mērķi

Promocijas darba galvenie mērķi ir šādi:

1. vispusīgi analizēt jaunu koģenerācijas staciju uzstādīšanas iespējas Latvijā, nosakot situāciju raksturojošos rādītājus, t.i., inženiertehniskus, ekonomiskus un ekoloģiskus indikatorus. Pamatojoties uz noteiktajiem indikatoriem, izstrādāt esošo koģenerācijas staciju darbības vērtējuma metodiku;
2. balstoties uz izstrādātu koģenerācijas vērtējuma metodiku, novērtēt esošo staciju darbības rādītājus un nenoteiktības ietekmi uz darbības vērtējuma rezultātiem un aprēķinu sakarībām;
3. pamatojoties uz Latvijā esošo koģenerācijas staciju vērtējumu, izstrādāt jaunas koģenerācijas stacijas optimālās jaudas noteikšanas metodiku, lai būtu iespējams izvēlēties iekārtu ar optimālu jaudu pirms koģenerācijas stacijas uzstādīšanas;
4. balstoties uz inženiertehnikajiem, ekonomiskajiem un vides moduļiem, izstrādāt optimālās jaudas noteikšanas metodikas rezultātu aprobācijas algoritmu, ar kura palīdzību pārbaudīt metodiku reālajos apstākļos.

Izpētes metodika

Pamatojoties uz promocijas darba izstrādes laikā iegūtajiem vienas mazās koģenerācijas stacijas darbības parametru datiem, ir veikta to matemātiskā analīze, izmantojot matemātiskās statistikas metodi - regresijas analīzi, ir analizētas elektriskās slodzes, α , elektroenerģijas un siltumenerģijas izstrādes daļu uz stacijā patērēto kurināmā vienību, kurināmā ietaupījuma un citu rādītāju izmaiņas atkarībā no koģenerācijas stacijas relatīvās siltuma slodzes. Veikta regresijas analīzes pareizas piemērošanas nosacījumu pārbaude, veicot korelācijas pārbaudi, adekvātuma pārbaudi un autokorelāciju. Veikts primāras enerģijas ietaupījuma nenoteiktības novērtējums. Iegūtās empīriskās

sakarības izmantotas jauno koģenerācijas staciju uzstādītās jaudas optimizācijai.

Darba zinātniskā nozīme

Darbā ir izstrādāta esošo mazo koģenerācijas staciju darbības parametru novērtējuma metodika.

Pamatojoties uz Latvijā spēkā esošajiem normatīvajiem tiesību aktiem ir izstrādāta un aprobēta koģenerācijas stacijas primāro resursu ietaupījuma daudzuma noteikšanas un nenoteiktības novērtēšanas metodika.

Darbā ir piedāvāta un aprobēta koģenerācijas stacijas optimālas jaudas noteikšanas metodika, kur par optimalitātes kritēriju ir izvēlēts siltuma daudzums, kas saražots koģenerācijas stacijā gada laikā, ja stacija strādā ar pilnu slodzi. Optimalitātes kritērija noteikšanas pamatā ir siltuma patēriņģa slodzes ilguma grafiks. Balstoties uz inženiertehnisko, ekonomisko un vides moduli, ir izstrādāts optimālģas jaudas noteikšanas metodikas rezultģtu aprobģcijas algoritģms.

Darba praktiskģ nozģmģ

Darba laikā izstrģdģtģs un darbģ aprakstģtģs metodikas var izmantot gan iestģdes, gan uzģģmumi, gan investori.

Valsts iestģdes: par enerģģtikas plģnoģšanu atbildģģ valsts institģcija (Ekonomikas ministrijas Enerģģtikas departaments) varģs izmantot jaudas noteikšanas metodiku energosektora plģnoģšanai un kļiedģtas energosistģmas izveidei. Iegģtģs sakarģbas par esoģo staciju parametru darbģbas novģrtģjumu ir ņemamas vģrģ, izstrģdģģģot vai mainot normatģvos tiesģbu aktus.

Energoapgģdes uzģģmumi: energoapgģdes uzģģmumiem bģs iespģģja piemģrot gan esoģo staciju novģrtģjuma metodiku, vģrtģģģot strģdģģoģo staciju parametrus, gan optimģlas jaudas noteikšanas metodiku, plģnoģģģt uzstģdģģt jaunas koģenerģcijas stacijas.

Investori: optimģlas jaudas noteikšanas metodģkas rezultģģtu ekonomiskģ analģze ļaus investoriem izvģrtģģt energoprojektus un izvģlģģģģs izdevģģģģkos, kuru pamatģ ir koģenerģcija.

Darba aprobģcija

Par darba rezultģģģiem ir ziģģots, un tie ir apspriesti:

1. starptautiskajā zinātniski praktiskajā konferencē „Future of PPI in Russia” ar referātu „Criterion Comparison of the Latvian Regions for the Installation of a New Cogeneration Plant”, 2006.gada 26.oktobrī Sanktpēterburgā.
2. 46. RTU zinātniskajā konferencē ar referātu „Criteria for Evaluation of Cogeneration Plants as Distributed Energy Resources”, 2005.gada 14.oktobrī.
3. 47. RTU zinātniskajā konferencē ar referātiem „Agrīnu energotehnoloģiju lietojuma izpētes metodika. Kļiedēta enerģijas ražošana” un „Inovatīvo koģenerācijas tehnoloģiju ekonomiskais salīdzinājums”, 2006.gada 13.oktobrī.
4. 48. RTU zinātniskajā konferencē ar referātu „Assessment of operating a small-scale CHP plant with a different heat capacity setting”, 2007.gada 13.-14.oktobrī
5. starptautiskajā konferencē “Global Energy World” 2006.gada 1.februārī Velsā, Austrijā.
6. starptautiskajā konferencē „Climate Technology Initiative”, 2006. gada 20.-24.oktobrī Leipcigā, Vācijā

Autores publikācijas

1. Vološčuka A. Jauno kļiedēto koģenerācijas staciju optimālas jaudas noteikšanas metodika, LU 66.zinātniskās konferences rakstu krājums, 2008.
2. Blumberga D., Rochas M., Vološčuka A., Veidenbergs I. Benchmarking for Energy Climate Technologies in Latvia// Climate change in Latvia, Latvijas Universitāte, 2007.
3. Blumberga D., Vološčuka A. Green electricity in Baltic States// Velsas konferences “Global Energy World” materiāli, 2006.gada 1.februāris.
4. Vološčuka A. Criterion Comparison of the Latvian Regions for the Installation of a New Cogeneration Plant, ЦПБ России-взгляд в будущее, Сборник трудов международной научно-практической конференции, 26 октября 2006 года, Санкт-Петербург, 2006.с. 133.-139.
5. Blumberga D., Veidenbergs I., Vološčuka A. Production of electrical and heat energy. Analysis of the efficiency of energy sources. // Latv. J. Phys. Tech. Sci., 2. 2007. p.25 –31.
6. Blumberga D., Rochas M., Vološčuka A. Experience from Drafting of National Allocation Plan for Second. Climate Technology Initiative Conference proceedings. October 20-24th, 2006 Leipcig, Germany p.45 – 56.

7. Blumberga D., Veidenbergs I., Vološčuka A. Assessment of operating a small-scale CHP plant with a different heat capacity setting RTU// RTU Zinātnisko rakstu krājums „Enerģētika un elektrotehnika”.
8. Blumberga D., Vološčuka A., Kuzņecova T. Inovatīvo koģenerācijas tehnoloģiju ekonomiskais salīdzinājums. RTU Zinātnisko rakstu krājums „Enerģētika un elektrotehnika”, 4.sēr., 17.sēj., R.: RTU izdevniecība, 2006, 188.-193.lpp.
9. Blumberga D., Veidenbergs I., Njakou Duomo S., Vološčuka A., Kamenders A. Agrīnu energotehnoloģiju lietojuma izpētes metodika. Kļiedēta enerģijas ražošana//RTU zinātnisko rakstu krājums, 2006.
10. Voloshchuka A. Criteria for Evaluation of Cogeneration Plants as Distributed Energy Resources//RTU zinātnisko rakstu krājums, 2005.
11. Vološčuka A., Blumberga D. Lineāras programmēšanas metodes pielietošana bioūdeņraža ražošanas procesa optimizēšanai// RTU zinātnisko rakstu krājums, 2004.

Darba struktūra un apjoms

Darbs sastāv no ievada, 5 nodaļām un secinājumiem. Tajā ir 136 lapas, t.sk. 69 attēli, 26 tabulas un literatūras saraksts ar 58 literatūras avotiem. Kopsavilkumā netiek aplūkots literatūras apskats.

1. Kļiedētas energosistēmas vērtēšana. Indikatoru izpēte

Lai izvērtētu aplūkojamo enerģijas izstrādes veidu, nepieciešama vispusīga jauna energoavota uzstādīšanas iespēju analīze, kurai, savukārt, ir nepieciešama indikatoru noteikšana.

Par galveno inženiertehnisko indikatoru, kas nosaka stacijas darbību, tiek noteiktas patērētāja siltuma slodzes izmaiņas gada, mēneša, diennakts griezumā. Siltuma slodzes visiem patērētājiem ir līdzīgas un mainās laika gaitā atkarībā no ārējās temperatūras. Dzīvojamajās ēkās siltumenerģija tiek patērēta apkurei un karstā ūdens sagatavošanai. Karstā ūdens patēriņš gada griezumā būtiski nemainās, bet apkures slodzei ir sezonas raksturs. Tā ir nepieciešama 6-7 mēnešus un ievērojami mainās laika gaitā. Vasaras mēnešos siltumenerģijas patēriņš ir mazs, jo enerģija tiek patērēta tikai karstā ūdens sagatavošanai. Rudens vidū, sākoties apkures sezonai, siltumenerģijas patēriņš ievērojami pieaug un turpina augt līdz gada beigām, sasniedzot maksimumu.

Balstoties uz patērētāja siltuma slodzes izmaiņām, izvēlas koģenerācijas stacijas tehnoloģiju un tās jaudu. Izvēloties ir jāņem arī par stacijas darbināšanas režīmu

Vairāki energoefektivitātes rādītāji apraksta koģenerācijas stacijas darbību: kopējais lietderības koeficients, elektroenerģijas izstrādes daļa uz stacijā patērēto kurināma vienību, siltumenerģijas izstrādes daļa uz stacijā patērēto kurināma vienību, izstrādātas elektroenerģijas un siltumenerģijas attiecības rādītājs α , ekserģētiskais lietderības koeficients, primāras enerģijas ietaupījums salīdzinājumā ar dalīto siltumenerģijas un elektroenerģijas ražošanu. Pirms vairāku energoefektivitātes rādītāju aprēķiniem tiek veikti ekserģijas aprēķini.

CO₂ emisijas, kas attiecinātas uz koģenerācijā saražoto siltumu un elektroenerģiju, tiek pieskaitītas pie ekoloģiskajiem koģenerācijas vērtējuma indikatoriem. Ir vairāki varianti, kā sadalīt CO₂ emisijas starp siltumu un elektroenerģiju: proporcionāli saražotajai enerģijai, atbilstoši izstrādātas enerģijas izstrādei, saistot ar atsevišķi ražotas siltumenerģijas kurināmā patēriņu, saistot ar atsevišķi ražotas elektroenerģijas kurināmā patēriņu, proporcionāli abu enerģijas veidu dalītas izstrādes kurināmā enerģijai, ņemot vērā siltumenerģijas un elektroenerģijas kvalitatīvo atšķirību bez enerģiju ekserģiju noteikšanas. Ir jāatzīmē, ka emisiju indikatorus būtu lietderīgi veidot uz koģenerācijas procesa analīzes bāzes, nevis iesaistot dalītas enerģijas izstrādes scenārijus. Šāda pieeja ļautu tieši vērtēt enerģijas izstrādes procesu, izslēdzot netiešos vērtējumus.

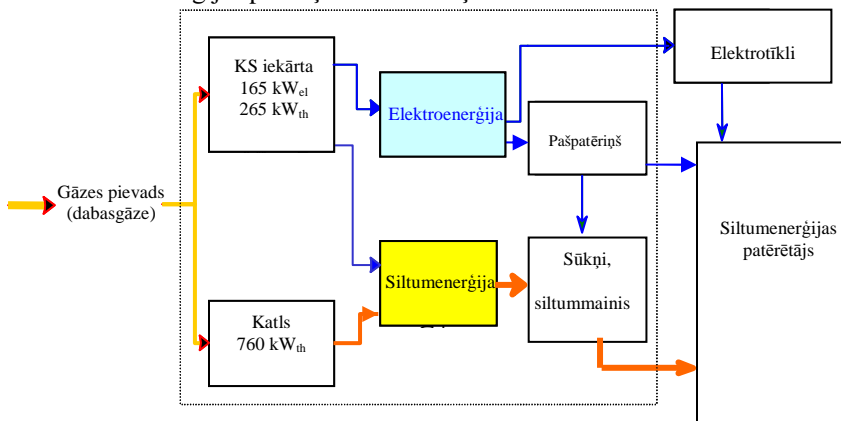
2. Mazas jaudas koģenerācijas stacijas darbināšanas datu apstrāde un analīze

2.1. Stacijas mērījumu parametru apstrāde un rezultāti

Darbā ir analizēts mazas jaudas energoavots, kura tehnoloģiskajā shēmā ir integrēta koģenerācijas stacija (KS). Koģenerācijā izmantota mazas jaudas ar gāzi darbināma iekšdedzes dzinēja tehnoloģiskā iekārta. Energoavota tehnoloģiskā shēma ir redzama 2.1.attēlā.

Koģenerācijas iekārta ir uzstādīta siltumapgādes sistēmas siltuma avotā (katlu mājā) un darbojas paralēli ar ūdenssildāmo katlu. Siltumenerģiju izmanto dzīvojamā sektora apkures un karstā ūdens slodzes segšanai. Koģenerācijas stacija ir pieslēgta elektrotīkliem, un ir iespēja elektroenerģiju piegādāt patērētājam vai padot tīklos. Pieslēgums tīkliem nodrošina stacijas darbināšanu ar maksimāli iespējamu elektrisko slodzi, jo enerģijas daudzumu,

kas ir virs patērētājam nepieciešamā, var padot tīklos. Elektrisko slodzi nosaka siltumenerģijas patēriņš un tā izmaiņas dažādos darbināšanas režīmos.



2.1.att. Energoavota tehnoloģiskā shēma

Lai kvantitatīvi izvērtētu koģenerācijas stacijas darbību, ir analizēti stacijas viena gada darbības diennakts mērījumu dati:

- koģenerācijā saražotais siltums Q , MWh/diennaktī;
- koģenerācijā izstrādātā elektroenerģija W , MWh/diennaktī;
- koģenerācijas iekārtas darbināšanas stundu skaits, h/diennaktī;
- stacijas koģenerācijas iekārtas gāzes patēriņš B , m^3 /diennaktī.

Mērījumu dati izmantoti, lai aprēķinātu analīzei nepieciešamos rādītājus:

- koģenerācijas siltuma jaudu N_Q , MW;
- koģenerācijas elektrisko jaudu N_{el} , MW;
- koģenerācijas kopējo lietderības koeficientu η_{kop} ;
- koģenerācijas siltuma izstrādes lietderības koeficientu r_Q ;
- koģenerācijas elektroenerģijas izstrādes lietderības koeficientu r_{el} ;
- koģenerācijas relatīvo siltuma slodzi q_Q ;
- koģenerācijas relatīvo elektrisko e_{el} ;
- elektroenerģijas/siltumenerģijas attiecības α vērtību.

Lai veiktu datu analīzi, vispirms ir jāveic to statistiskā apstrāde.

Datu statistiskās apstrādes mērķis ir iegūt grafiskas vai analītiskas sakarības starp mainīgajiem lielumiem. Meklēto analītisko izteiksmi dēvē par parādības jeb procesa regresijas vienādojumu (matemātisko modeli), kas raksturo sakarību starp neatkarīgiem un atkarīgiem mainīgajiem lielumiem.

Darbā izmantotie modeļi:

- vienkārši vienfaktora lineāri;
- daudzfaktoru lineāri.

Datu statistiskās apstrādes rezultātā iegūto siltuma un elektriskās slodzes sakarību var aprakstīt ar regresijas vienādojumu:

$$N_Q = 0,0274 + 1,352 * N_{el}, MW, \quad (2.1)$$

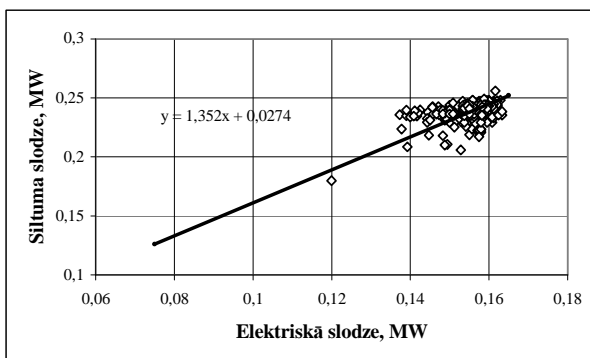
kur

N_Q - koģenerācijas stacijas siltuma slodze, MW;

N_{el} - koģenerācijas stacijas elektriskā slodze, MW.

Veiktā analīze rāda, ka noteiktā R^2 vērtība ir 0,899 un korelācijas koeficients $R = 0,948$. Korelācijas koeficienta vērtība liecina par ciešu sakarību starp siltuma un elektrisko slodzi. Ar datorprogrammas palīdzību veiktās dispersijas analīzes rezultātā noteiktā Fišera kritērija vērtība ir $F = 2796$. Fišera kritērija tabulas vērtība ir $F_{tab.} = 1,0$. Kā redzams, ir spēkā sakarība $F > F_{tab.}$, kas nosaka, ka vienādojums (2.1) ir adekvāts un lietojams analizējamo datu aprakstam to izmaiņu robežās.

Siltuma slodzes izmaiņas atkarībā no elektriskās slodzes koģenerācijas stacijas daļējas slodzes režīmos grafiski parādītas 2.2.attēlā.



2.2.att. Siltuma slodzes izmaiņas atkarībā no elektriskās slodzes

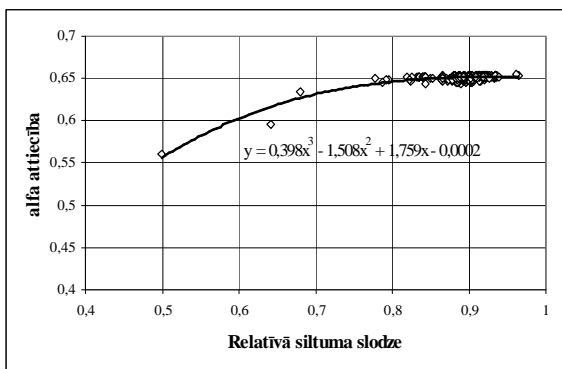
Iegūtā empīriskā sakarība rāda, ka, samazinoties elektriskajai slodzei lineāri samazinās siltuma slodze. Ir vērojama neliela - 2,7 kW - siltuma slodze gadījumā, ja elektriskās slodzes nav. Tā ir iekšdedzes dzinēja brīvsgaitas slodze, un tās vērtība ir aptuveni 1,0 % no nominālās siltuma slodzes.

Tā kā iekārta strādā arī daļējas slodzes režīmos, tad ir nepieciešama informācija par indikatoru α izmaiņām, kuri rāda izstrādātas elektroenerģijas un

siltumenerģijas attiecības izmaiņas. Darbā α vērtību izmaiņas noteiktas, izmantojot koģenerācijas stacijas darbināšanas datus un to apstrādes rezultātus. Datu korelācijas analīze rāda, ka sakarību $\alpha = f(q_Q)$ apraksta vienādojums:

$$\alpha = 0,398.q_Q^3 - 1,508.q_Q^2 + 1,759.q_Q - 0,0002 \quad (2.2).$$

Vienādojums labi apraksta α izmaiņas – korelācijas koeficienta kvadrāta vērtība ir $R^2 = 0,865$. Noteiktās α vērtību izmaiņas dažādām praksē vērojāmām darbināšanas slodzēm grafiski parādītas 2.3.attēlā.



2.3.att. α attiecības izmaiņas atkarībā no relatīvās siltuma slodzes

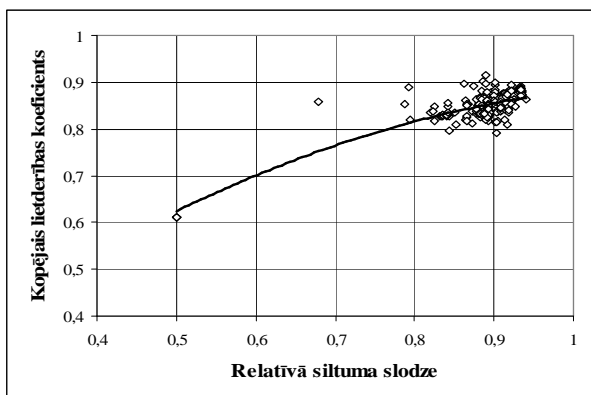
Koģenerācijas stacijas kopējā lietderības koeficienta aprēķiniem ir iegūts empīrisks vienādojums:

$$\eta_{kop} = -0,741.q_Q^2 + 1,615.q_Q + 0,0018 \quad (2.3).$$

Koģenerācijas stacijas kopējā lietderības koeficienta izmaiņas dažādas slodzes gadījumā grafiski parādītas 2.4.attēlā.

Visiem vienādojuma koeficientiem ir spēkā sakarība $I t I > t_{tab}$, un tie ir būtiski un saglabājami vienādojumā (2.3.). Veiktā analīze rāda, ka noteiktā R^2 vērtība ir 0,964 un korelācijas koeficients $R = 0,98$.

Dispersijas analīzes rezultātā noteiktā Fišera kritērija vērtība ir $F = 4216$. Fišera kritērija tabulas vērtība ir $F_{tab.} = 1,0$. Kā redzams, ir spēkā sakarība $F > F_{tab.}$, un tas nozīmē, ka vienādojums (2.3.) ir adekvāts un lietojams analizējamo datu aprakstam to izmaiņu robežās.



2.4.att. Koģenerācijas stacijas kopējā lietderības koeficienta izmaiņas atkarībā no relatīvās siltuma slodzes

Veicot autokorelācijas pārbaudi, ir konstatēts, ka nav vērojama būtiska atlikumu autokorelācija un analīzes gaitā ar mazāko kvadrātu metodi veiktie lielumu novērtējumi nav izkropļoti.

Datu apstrādes rezultātā iegūtais empīriskais vienādojums koģenerācijas elektroenerģijas izstrādes daļas uz stacijā patērētā kurināmā vienību noteikšanai dažādas siltuma slodzes gadījumā ir:

$$r_{el} = -0,445 \cdot q_Q^2 + 0,775 \cdot q_Q + 0,0006 \quad (2.4).$$

Noteiktā R^2 vērtība ir 0,92, un korelācijas koeficients $R = 0,96$.

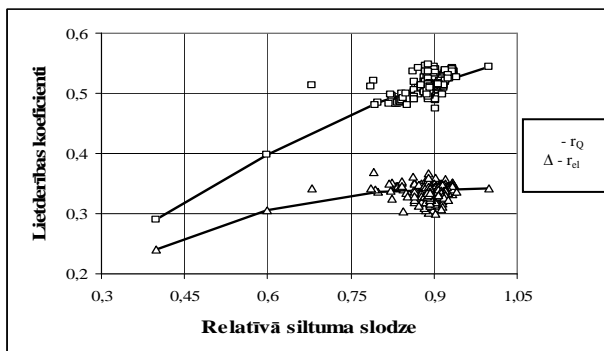
Koģenerācijas siltumenerģijas izstrādes daļas uz stacijā patērētā kurināmā vienību noteikšanai iegūts empīriskis vienādojums:

$$r_Q = -0,296 \cdot q_Q^2 + 0,84 \cdot q_Q + 0,0012 \quad (2.5).$$

Noteiktā R^2 vērtība ir 0,964, un korelācijas koeficients $R = 0,98$.

Vienādojumiem (2.4.-2.5.) tika veikta adekvātuma un autokorelācijas pārbaude. Abu pārbauzu rezultātā ir noteikts, kā vienādojumi ir izmantojami.

Koģenerācijas siltumenerģijas r_Q un elektroenerģijas r_{el} izstrādes daļu uz stacijā patērētā kurināmā vienību izmaiņas atkarībā no stacijas siltuma slodzes parādītas 2.5.attēlā.



2.5.att. Koģenerācijas elektroenerģijas un siltumenerģijas izstrādes daļu uz stacijā patērētā kurināmā vienību izmaiņas atkarībā no stacijas siltuma slodzes

2.2. Stacijas primāro resursu ietaupījumu izvērtējums un to nenoteiktību analīze

Izmantojot enerģijas izstrādes daļu uz stacijā patērētā kurināmā vienību r_{el} un r_Q empiriskās sakarības (2.4), (2.5.) un Ministru kabineta noteikumos Nr. 921 minēto, ka dabasgāzes gadījumā $\eta_{el,ats} = 0,45$ un $\eta_{Q,ats} = 0,90$, stacijas primāro resursu ietaupījums tiek aprēķināts ar izteiksmi (2.6).

$$\delta Q_{PE} = \left(1 - \frac{1}{\frac{-0,445 \cdot q_0^2 + 0,775 \cdot q_0 + 0,0006}{0,45} + \frac{-0,296 \cdot q_0^2 + 0,84 \cdot q_0 + 0,0012}{0,90}} \right) \cdot 100 = \quad (2.6.)$$

$$= \left(1 - \frac{1}{-1,319 \cdot q_0^2 + 2,655 \cdot q_0 + 0,0026} \right) \cdot 100, \%$$

Mērījumu rezultāti un uz tiem balstītu aprēķinu lielumu informācija ir pilnīga tikai tad, ja, ziņojot par iegūto vērtību, tiek norādīts arī mērījumu nenoteiktības apgabals. Tiek veikta primāro energoresursu ietaupījuma vērtības nenoteiktības analīze. Koģenerācijas stacijā tiek veikts nepārtraukts monitorings, lai kontrolētu tās darbināšanas režīmus, kā arī iegūtu atskaites datus. Atskaites datus nolasa reizi diennaktī. Šim nolūkam stacija ir aprīkota ar gāzes, siltumenerģijas un elektroenerģijas skaitītājiem.

Gāzes patēriņa, siltumenerģijas un elektroenerģijas mērīto vērtību novērtējumi, standarta nenoteiktības, jutības koeficientu vērtības un katra parametra nenoteiktības ieguldījums primāro resursu ietaupījumu noteikšanas

nenoteiktībā atrodams 2.1.tabulā. Mērlielumu novērtējumi atspoguļo koģenerācijas stacijas diennakts rādītājus, stacijai strādājot ar nominālo jaudu.

2.1.tabula

Nenoteiktību analizē izmantotie lielumi un to raksturojumi

Lielums, X_i	Novērtējums, x_i	Standarta nenoteiktība $u(x_i)$	Jūtības koeficients, C_i	Standarta nenoteiktības komponente, u_i (δQ_{PE})	Ieguldījuma indekss, %
Gāzes patēriņš V , m^3	1254	0,58	-0,000589	-0,00034	13,6
Koģenerācijas elektroenerģija W , MWh	3,96	0,00058	0,1030	0,00006	0,4
Koģenerācijas siltums Q , MWh	6,36	0,0162	0,052	0,00084	86
Primāro resursu ietaupījums δQ_{PE} , %	25				
Primāro resursu ietaupījumu standartnenoteiktība $u(\delta Q_{PE}) = 0,00091$ Primāro resursu ietaupījumu paplašinātā nenoteiktība $U(\delta Q_{PE}) = 0,0015$ Primāro resursu ietaupījumu relatīvā noteiktība $u_{rel}(\delta Q_{PE}) = 0,6\%$					

Ir redzams, ka gāzes patēriņa mērījumu nenoteiktības indekss ir 13,6 %, elektroenerģijai - 0,4 % un siltumenerģijai - 86 %. Koģenerācijas stacijas primāro resursu ietaupījumu nenoteiktības budžetā lielākais ieguldījums ir siltumenerģijas mērījumiem, tāpēc tālākajā kopējās nenoteiktības samazināšanā vispirms ir jāvelta uzmanība šim lielumam. Vismazākais ieguldījums kopējā nenoteiktības budžetā ir elektroenerģijas mērījumiem.

2.3. Latvijas mazās jaudas koģenerācijas staciju darbības analīze

Ir analizētas dabasgāzes koģenerācijas stacijas slodzes izmaiņas gada, mēneša un diennakts griezumā, ņemot vērā vasaras/ziemas, darbdienu/brīvdienu slodzes atšķirības. Ziemas mēnešos diennakts kopējā siltuma slodze atkarībā no ārējās temperatūras mainās 15 līdz 18 MWh robežās. Koģenerācijā saražotais siltuma daudzums ir aptuveni 1/3 no kopējās slodzes, kuras pārējo daļu sedz pīķa slodzes katli. Kopumā slodze ir vienmērīga. Koģenerācijas iekārtas darbībā vērojami daļējas slodzes režīmi, esot patērētāja siltuma pieprasījumam, skaidrojami ar kļūmju novēršanas, apkopes un remontu nepieciešamību. No tā var secināt, ka siltumenerģijas avotam jābūt ar pietiekamu siltumenerģijas jaudas rezervi, lai nodrošinātu siltumenerģijas drošu padevi koģenerācijas stacijas darbības traucējumu gadījumā.

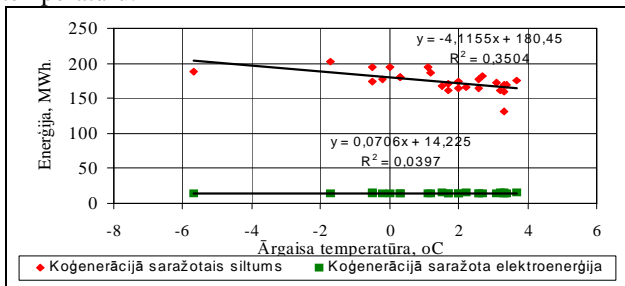
Vasaras mēnešos siltuma slodzes raksturs ir ļoti nevienmērīgs, un to nosaka karstā ūdens patēriņa izmaiņas, un lielāko nepieciešamās siltuma

slodzes daļu sedz koģenerācijas iekārta. Tajā pašā laikā, neskatoties uz koģenerācijas iekārtas iespējām nodrošināt patērētāja enerģijas pieprasījumu, tiek darbināti pīķa slodzes katli. Kopējais maksimālais saražotā siltuma daudzums pa diennaktīm ir aptuveni puse no koģeneratora saražotā siltuma daudzuma ziemas mēnešos.

Diennakts slodzei ir raksturīgi izteikti pīķi rīta un vakara stundās un neliels slodzes pieaugums dienas vidusdaļā. Diennakts laikā ir stundas, kad siltuma slodzes nav. Tas nozīmē, ka stacija šajā laikā ir jāaptur un, parādoties slodzei, atkal jāpalaiž. Šādi palaišanas un izslēgšanas darbības režīmi ir nevēlami gan iekārtas darba mūža, gan arī kurināmā patēriņa un vides aizsardzības aspektā. Palaišanas režīmā iekšdedzes dzinējos ir vērojams paaugstināts emisiju līmenis. Lai samazinātu palaišanas režīmu skaitu diennakts laikā ir lietderīgi izmantot akumulācijas iekārtas, kas ļautu maksimāli izmantot koģenerācijas jaudu un laikā, kad siltumenerģija patērētājam nav nepieciešama, akumulēt to siltuma akumulatorā.

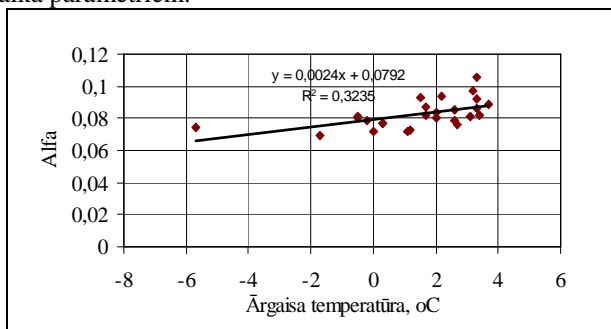
Ir veikta vienas kokneses kurināmā koģenerācijas stacijas (turbīnas elektriskā jauda ir 0,6 MW) siltuma un elektriskās slodzes analīze gada un diennakts griezumā. Stacija strādā septiņus mēnešus gadā un nodrošina apkures slodzi apkures sezonā. Tā kā nav karstā ūdens slodzes, tad vasarā stacija nestrādā. Pie maksimālajām slodzēm koģenerācijas siltuma izstrāde ir ap 40 % no kopējās slodzes.

Koģenerācijas iekārtā izstrādātā siltuma un elektroenerģijas vērtības un arī elektroenerģijas attiecības pret siltumenerģiju izmaiņas atkarībā no ārējās temperatūras parādītas 2.6. un 2.7.attēlā. Diennakts enerģijas izstrādes datu analīze liecina, ka siltumenerģijas izstrādes izmaiņas atkarībā no ārējās temperatūras ir aptuveni 15% robežās. Nelielo izmaiņu un, salīdzinot ar siltumenerģiju, arī zemo elektroenerģijas izstrādes vērtību dēļ 2.6.attēlā elektroenerģijas izstrādi raksturo horizontāla taisne. Arī korelācijas analīzē iegūtā zemā R^2 vērtība liecina, ka elektroenerģijas izstrāde nav būtiski saistīta ar ārējās temperatūru.



2.6.att. Koģenerācijas diennakts siltuma un elektriskās slodzes izmaiņas

2.7.attēlā ir redzams, ka, pieaugot temperatūrai, palielinās attiecības α -vērtība. α attiecības izmaiņu raksturu nosaka siltuma slodzes samazinājums pie nemainīgas elektroenerģijas izstrādes. Aprēķini rāda, ka α -vērtības ir no 0,07 līdz 0,1. Šis lielums ir tuvu vērtībai, ko var nodrošināt turbīnu tehnoloģijas ar zemiem tvaika parametriem.



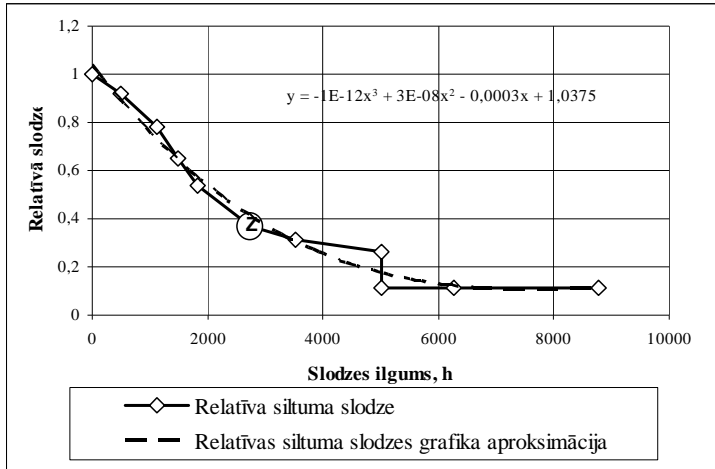
2.7.att. α attiecības izmaiņas

α izmaiņu un ārgaisa temperatūras augošās lineāras regresijas sakarības ieguves rezultātā ir noteikts, ka α attiecības izmaiņu raksturu nosaka siltuma slodzes samazinājums pie nemainīgas elektroenerģijas izstrādes. Aprēķini rāda, ka α -vērtības izmaiņu diapazons ir no 0,07 līdz 0,1.

2.4. Koģenerācijas staciju jaudu izvēles optimizācija

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 dzīvojamajām ēkām un to pastāvēšanas ilgumu gada laikā stundās raksturo slodzes ilguma grafiks. 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 ierakstīs slodžu ilguma grafikā. Dalot katras stundas slodzes vērtības ar slodzes maksimālo vērtību, iegūst normalizētu jeb relatīvās slodzes ilguma grafiku. Relatīvās slodzes ilguma grafiks ir parādīts 2.8.attēlā. Attēlā ir parādīta arī grafika aproksimācijas līkne.



2.8.att. Relatīvās slodzes ilguma grafiks un tā aproksimācija

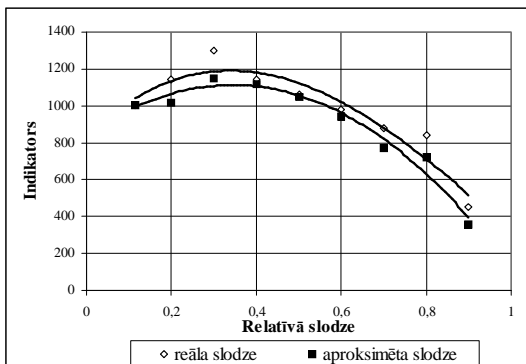
Grafika aproksimācija veikta, lai iegūtu to aprakstošu vienādojumu nepārtrauktas funkcijas veidā, ko varētu izmantot aprēķiniem. Iegūtais vienādojums dots attēlā. Attēlā redzamais punkts “z” raksturo iekārtas izvēles variantu, kurā iekārtas jauda ir y_z un tās darbināšanas ilgums x_z stundas gadā. Gada laikā iekārta izstrādās $y_z \cdot x_z$ siltumenerģijas vienību. Tas nozīmē, ka ir jārisina optimizācijas uzdevums

$y_z \cdot x_z \rightarrow \max$ (maksimālais taisnstūris), kurā punkta “z” koordinātes savā starpā saista vienādojums:

$$y_z = -10^{-12} x_z^3 + 3 \cdot 10^{-8} x_z^2 - 0,0003 x_z + 1,03 \quad (2.7).$$

Aprēķinu ceļā iegūtās y_z , x_z vērtības atkarībā no relatīvās slodzes reālās un aproksimētas slodzes grafikam dotas 2.9.attēlā. Attēlā indikators ir lielumu $y_z \cdot x_z$ reizinājums, un tas raksturo izstrādātās siltumenerģijas daudzumu.

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 iekārta, 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.

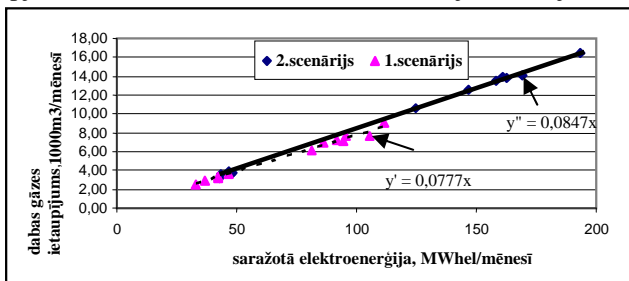


2.9.att. Siltumenerģijas izstrāde atkarībā no iekārtas relatīvās slodzes

Modelēšanas rezultāti tiek pārbaudīti, analizējot divus scenārijus:

- 1.scenārijs: esošā koģenerācijas stacija;
- 2.scenārijs: koģenerācijas stacija ar alternatīvu optimālo jaudu, kas noteikta ar metodikas palīdzību.

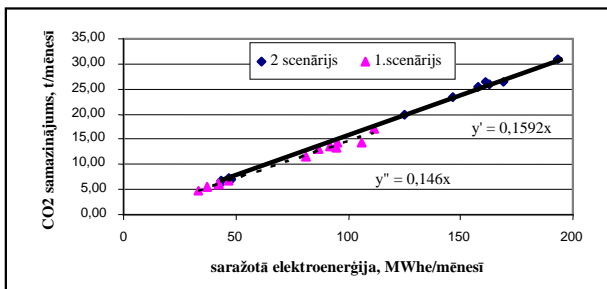
Aplūkojamo scenāriju kurināmā ietaupījumu salīdzinājums redzams 2.10.attēlā. Tajā 2.scenārija taisne atrodas virs 1.scenārija taisnes, kas nozīmē, ka alternatīvajā scenārijā reālais kurināmā ietaupījums, salīdzinot ar tāda paša enerģiju apjoma dalītu izstrādi, ir lielāks nekā esošajā scenārijā.



2.10.att. Dabaszgāzes ietaupījumi

Samazinoties kurināmā patēriņam, samazinās ietekme uz klimata pārmaiņām, jo siltumnīcefekta gāzu CO₂ emisiju daudzums ir atkarīgs no kurināmā patēriņa apjomiem.

CO₂ emisiju samazinājumi, salīdzinot ar siltumenerģijas un elektroenerģijas dalītu izstrādi, doti 2.11.attēlā.



2.11.att. CO₂ emisiju samazinājums

Izmaiņu raksturs liecina, ka alternatīvās jaudas gadījumā, salīdzinot ar esošo situāciju, stacijas rādītāji uzlabojas. Koģenerācijā izstrādātās siltuma enerģijas apjoms pieaug par 65 %, elektroenerģijas - par 57 %, dabasgāzes ietaupījums pieaug par 50 % un CO₂ samazinājums par 50 %.

3. Mazas jaudas koģenerācijas stacijas ekonomiskā un ekoloģiskā analīze

Jebkurš tehnoloģiskais risinājums nepastāv viens pats. Izvēlēties vienu vai otru inženiertehnisko alternatīvu ir iespējams, tikai izvērtējot to ekonomiskos un ekoloģiskos kritērijus un cenšoties tos optimizēt. Modulis ir atspoguļots 3.1. attēlā

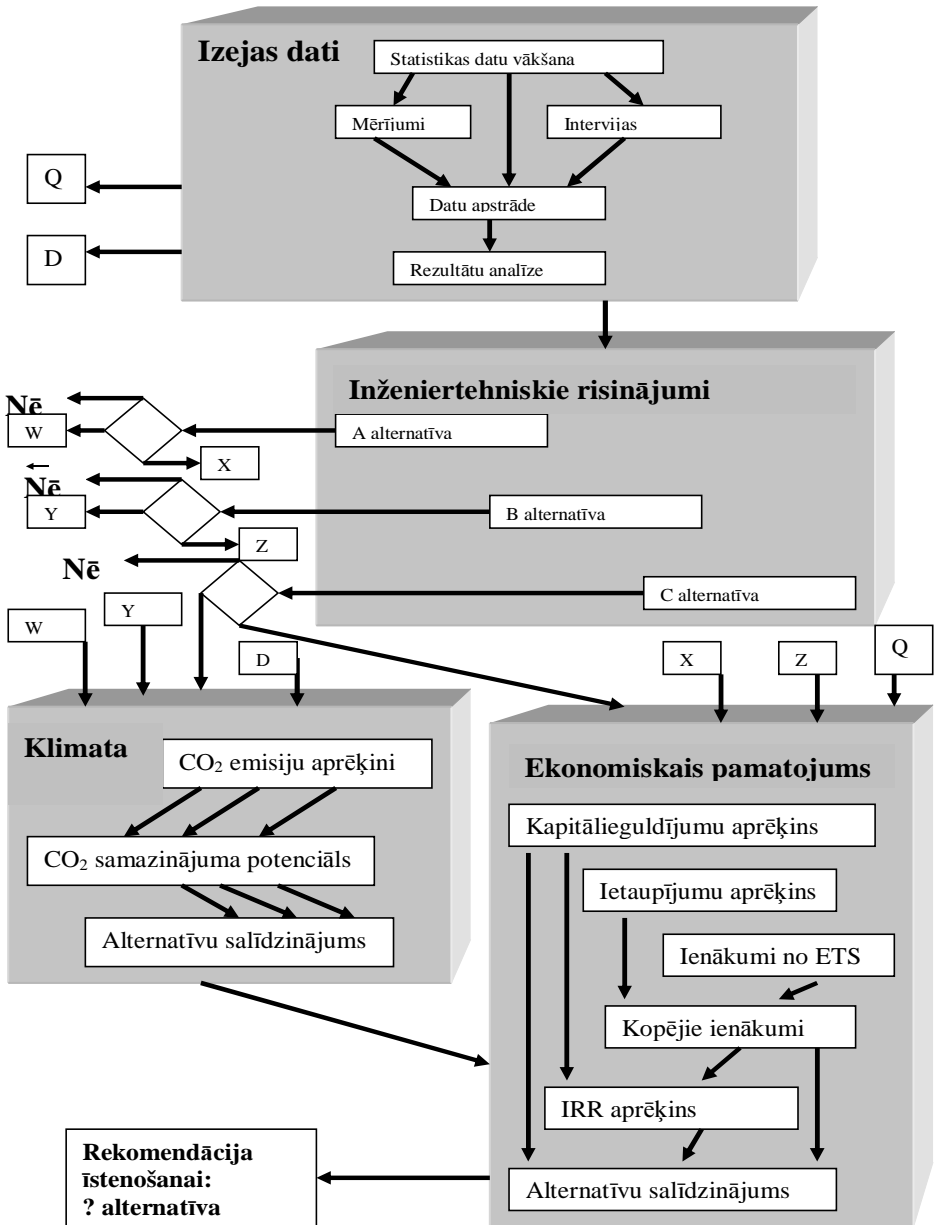
Oglekļa stratēģijas modelis sastāv no četriem moduļiem:

- izejas datu moduļa, kas ietver energoavota - emisiju tirdzniecības dalībnieka esošās situācijas analīzi;
- inženiertehnisko risinājumu moduļa, kas ietver vismaz trīs alternatīvu tehnoloģisko pasākumu aprakstu un analīzi;
- klimata moduļa, kas ietver katras alternatīvas CO₂ emisiju izvērtējumu;
- ekonomiskā pamatojuma moduļa, kas ietver katras alternatīvas kapitālieguldījumu izvērtējumu, ienākumu aprēķinu no ietaupījumiem un emisiju tirdzniecības, katras alternatīvas iekšējās peļņas noteikšanu un optimizāciju.

Izejas datu modulis ietver aptaujas, statistikas datu vākšanu un apstrādi, kā arī mērījumu shēmas izveidi, datu apstrādi un nenoteiktības vērtēšanu.

Inženiertehniskais modulis ietver tehniskus indikatorus, kas tika noteikti darba izstrādes laikā.

Klimata moduļa ietvaros tiek aprēķināts SEG emisiju pieaugums pēc jaunu koģenerācijas iekārtu uzstādīšanas.



3.1.att. Oglekļa stratēģijas izstrādes algoritms

Nepieciešamās emisijas kvotas jaunu koģenerācijas staciju izbūves gadījumā aprēķina ar šādu vienādojumu:

$$EQ_{kog} = \frac{\left[\left(\frac{Q_{kog} \cdot 100}{(100 - q_{sz})} \right) + E \right] \cdot R \cdot O \cdot 0,0036 \cdot 100}{\eta_{kog}}, \text{tCO}_2/\text{gadā} \quad (3.1)$$

kur

- Q_{kog} - prognozētais siltumenerģijas patēriņš, MWh/gadā;
 q_{sz} - siltuma zudumi siltuma tīklos. Ja nav datu, tad pieņem ne lielākus par 10%);
 E - saražotās elektroenerģijas daudzums, MWh/gadā;
 η_{kog} - koģenerācijas stacijas lietderības koeficients, % (ja nav datu, tad pieņem 80%, ja izmanto ogles vai kūdras, vai 85%, ja izmanto dabasgāzi vai dīzeļdegvielu).

Ekonomikas moduļa algoritms ietver vairākas apakšprogrammas, no kurām svarīgākās ir šādas:

- tarifa aprēķina modelis;
- iekšējās peļņas (IRR) un tīrās pašreizējās vērtības (NPV) noteikšanas modelis;
- optimizācijas modelis.

4. Metodikas aprobācija

Lai ilustrētu piedāvātās metodikas lietojumu un to ne tikai testētu, bet arī noteiktu tās lietojuma robežas, tiek analizēta reāla situācija, kad katlu mājai pieslēdzas jauns siltumenerģijas patērētājs un pieaug siltuma slodze. Katlu mājas īpašniekam ir jāizšķiras par tālāko rīcību: uzstādīt jaunu katlu vai koģenerācijas iekārtu. Ja īpašnieks izšķiras par koģenerācijas stacijas izveidi esošās katlu mājas vietā, svarīgs jautājums ir - kādai jābūt jaunās koģenerācijas iekārtas jaudai, lai lieki netiktu izšķiesti līdzekļi, iegādājoties iekārtas un tās darbinot.

Ir piedāvātas un raksturotas 3 dažādas alternatīvas, kuras atšķiras pēc uzstādītās jaudas un nominālās darbināšanas laika, kā arī pēc citiem tehniskajiem rādītājiem. Visi rādītāji attiecas uz tirgū pieejamām tehnoloģijām. Katras alternatīvas iekārtas tehniskie rādītāji ir apkopoti 4.1.tabulā.

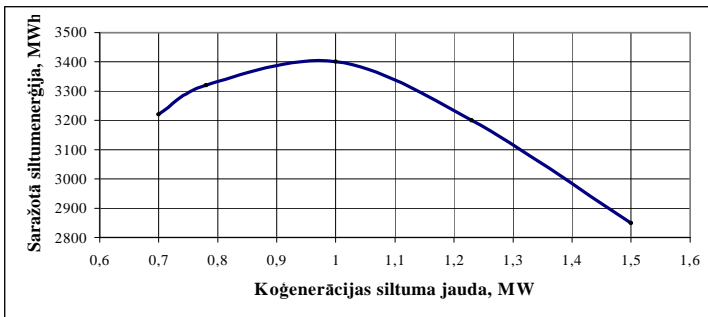
4.1.tabula

Alternatīvu iekārtu tehniskie rādītāji

Tehniskais parametrs	A alternatīva	B alternatīva	C alternatīva
Nominālās darbināšanas laiks, h	4300	3400	2600
Elektriskā jauda, kW	514	835	1050
Siltuma jauda, kW	645	997	1387

Attiecība α , kW/kW	0,8	0,84	0,76
Kurināmā padeve, kW	1354	2090	2757
Elektroenerģijas ražošanas lietderības koeficients, %	38,0	39,9	38,1
Siltumenerģijas ražošanas lietderības koeficients, %	47,6	47,7	50,3
Kopējais lietderības koeficients, %	85,6	87,6	88,4

Atbilstoši piedāvātajai koģenerācijas siltuma slodzes optimizācijas metodikai ir izvērtēts objekta centralizētās siltumapgādes sistēmas siltuma slodzes ilguma grafiks. Ir aprēķināta siltumenerģijas izstrāde dažādas siltuma jaudas izvēles gadījumā. Saražotās siltumenerģijas izmaiņas atkarībā no koģenerācijas siltuma jaudas redzamas 4.1.attēlā.



4.1.att. Koģenerācijas siltumenerģijas izstrāde atkarībā no iekārtas uzstādītās siltuma jaudas

Ir redzams, ka objekta siltuma slodzes gadījumā koģenerācijas iekārtas optimālā siltuma jauda ir ap 1 MW_{th}. Ja izmanto iekšdedzes dzinēju iekārtu, tai atbilstošā elektriskā jauda ir ap 0,8 MW_e.

Rezultātu pārbaude tiek veikta ar ienesīguma analīzi, balstoties uz izejas datiem, kas iegūti no iekārtu ražotājiem un aprēķināti saskaņā ar valstī spēkā esošo normatīvo tiesību aktu un metodiku nosacījumiem.

Alternatīvas finanšu plāns un ienesīguma indikatori ir atspoguļoti 4.2.tabulā.

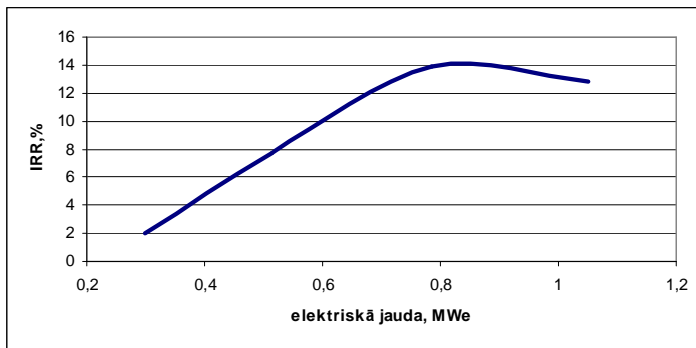
4.2.tabula

Alternatīvu finanšu plāns un ienesīguma indikatori

Alternatīva	A alternatīva	B alternatīva	C alternatīva
Vienkāršais atmaksāšanās laiks	7 gadi	6,1 gadi	6,9 gadi
Tīrā pašreizēja vērtība (NPV)	131 961 Ls	316 924 Ls	253 442 Ls
Iekšējās peļņas koeficients (IRR)	11,0 %	14,5 %	12,2 %

Ekonomisko optimizāciju veic, meklējot ekstrēmuma vērtības lielumam, kas visprecīzāk raksturo ekonomisko izdevīgumu. Šajā gadījumā tas ir saistīts ar maksimālās iekšējās peļņas vērtības noteikšanu atkarībā no uzstādītās elektriskās jaudas.

Iekšējās peļņas izmaiņas atkarībā no elektriskās jaudas ir ilustrētas 4.2.attēlā. Kā liecina grafiskais rezultātu apkopojums, ir vērojams IRR optimums pie elektriskās jaudas 0,83 MW_e, kas atbilst koģenerācijas iekārtas siltuma jaudai 1000 MW_{th}.



4.2.att. Iekšējās peļņas izmaiņas atkarībā no elektriskās jaudas

Inženiertehniskās un ekonomiskās optimizācijas rezultātā konstatēts, ka metodikas optimums un metodikas rezultātu ekonomiskās pārbaudes optimums sakrīt. Tas pierāda, ka iepriekš izstrādātā koģenerācijas slodzes optimizācijas metodika ir izmantojama nākotnes projektos un valsts enerģētikas attīstības stratēģiju izstrādē.

Secinājumi

1. Vispusīgi analizējot jaunu koģenerācijas staciju uzstādīšanas iespējas Latvijā, darbā tika noteikti situāciju raksturojošie rādītāji, t.i., inženiertehniskie, energoefektivitātes un ekoloģiskie vērtējuma indikatori. Pamatojoties uz noteiktajiem indikatoriem, tika izstrādāta esošo koģenerācijas staciju darbības vērtējuma metodika, kuras pamatā ir:
 - patērētāja slodzes vērtējums;
 - elektroenerģijas un siltumenerģijas izstrādes daļu uz stacijā patērētā kurināmā vienību un lietderības koeficienta noteikšana;
 - ekserģētiskā lietderības koeficienta noteikšana;
 - primārās enerģijas ietaupījuma salīdzinājumā ar dalīto enerģijas ražošanu vērtējums;
 - koģenerācijas stacijas emisiju sadalījuma starp saražoto siltumu un elektroenerģiju vērtējums.
2. Piemērojot metodiku esošas koģenerācijas stacijas (165 kW_el, 264 kW_{th}) darbības datu apstrādei un analīzei, tika iegūtas un pārbaudītas šādas koģenerācijas staciju darbības rādītāju empīriskās sakarības:

- siltuma un elektriskās slodzes lineārās regresijas empīriskā sakarība: $N_Q = 0,0274 + 1,352 \cdot N_{el}$, ar $R^2 = 0,899$, kura rāda, ka, samazinoties elektriskajai slodzei, lineāri samazinās siltuma slodze un to, ka ir vērojama neliela - 2,7 kW siltuma slodze gadījumā, ja elektriskās slodzes nav, kas ir saistīts ar to, ka iekšdedzes dzinēja brīvgaitas slodzes vērtība ir aptuveni 1,0 % no nominālās siltuma slodzes;
 - α un relatīvās siltuma slodzes trešās pakāpes polinoma regresijas empīriskā sakarība: $\alpha = 0,398 \cdot q_Q^3 - 1,508 \cdot q_Q^2 + 1,759 \cdot q_Q - 0,0002$, ar $R^2=0,865$, kura rāda, ka, palielinoties siltuma slodzei, palielinās α vērtība, mainoties diapazonā no 0,55 līdz 0,65;
 - koģenerācijas stacijas kopējā lietderības koeficienta un relatīvās siltuma slodzes otrās pakāpes polinoma regresijas empīriskā sakarība: $\eta_{kop} = - 0,741 \cdot q_Q^2 + 1,615 \cdot q_Q + 0,0018$ ar $R^2= 0,964$, kura rāda, ka, samazinoties stacijas slodzei, tās lietderības koeficients krītas. Lietderības koeficienta samazinājums ir relatīvi neliels lielāku slodžu gadījumā, un koeficients būtiski samazinās pie mazām slodzēm, kas nozīmē, ka daļēju slodžu gadījumā ir rūpīgi jāizvērtē lietderības koeficientu vērtības un to atbilstību pieļaujamajam līmenim;
 - elektroenerģijas izstrādes daļu uz stacijā patērētā kurināmā vienību un stacijas siltuma slodzes otrās pakāpes polinoma regresijas empīriskā sakarība: $r_{el} = - 0,445 \cdot q_Q^2 + 0,775 \cdot q_Q + 0,0006$ ar $R^2 = 0,92$ un siltumenerģijas izstrādes daļu uz stacijā patērētā kurināmā vienību un stacijas siltuma slodzes otrās pakāpes polinoma regresijas empīriskā sakarība: $r_Q = - 0,296 \cdot q_Q^2 + 0,84 \cdot q_Q + 0,0012$ ar $R^2 = 0,964$, kuras parāda, ka, samazinoties slodzei, enerģiju izstrādes daļas uz stacijā patērētā kurināmā vienību samazinās, izmaiņu raksturs ir nelineārs, un tas ir izteiktāks mazām slodzēm. Salīdzinoši būtiskākas izmaiņas vērojamas r_Q gadījumā, bet r_{el} slodžu diapazonā no 0,75 līdz 1,0 ir praktiski nemainīgs, kas nozīmē, ka lielu slodžu gadījumā stacijas kopējā lietderības koeficienta η_{kop} izmaiņas galvenokārt nosaka r_Q .
3. Ir izstrādāta un aprobēta koģenerācijas stacijas primāro resursu ietaupījuma daudzuma noteikšanas un nenoteiktības novērtēšanas metodika. Izmantojot lietderības koeficientu r_{el} un r_Q empīriskās sakarības, tiek iegūta primārās enerģijas procentuālā ietaupījuma noteikšanas izteiksme, no kuras izriet, ka, darbinot staciju ar pilnu slodzi, primārās enerģijas ietaupījumi ir lielāki un sasniedz 25 %, bet, slodzei samazinoties, ietaupījumi samazinās nelineāri, un augstas efektivitātes koģenerācijai atbilstošo ietaupījumu robežvērtību 10 % sasniedz 0,6 relatīvās slodzes gadījumā. Aptuveni 0,5 relatīvās slodzes gadījumā primārās enerģijas ietaupījumu nav un koģenerācija ir līdzvērtīga daļītai enerģijas izstrādei. Noteikti primāro

resursu ietaupījuma nenoteiktību avoti, analizēts un noteikts nenoteiktību veids, kā arī noteikts katra lieluma nenoteiktības ieguldījuma indekss un nenoteiktības budžets, balstoties uz kuru var secināt, ka, lai samazinātu resursu ietaupījuma nenoteiktību, jāpievērš uzmanība siltuma enerģijas izstrādes mērīšanai, jo šī rādītāja mērījumi dod lielāko ieguldījumu nenoteiktību (86%). Gāzes patēriņa un koģenerācijā saražotās elektroenerģijas ieguldījums ir atbilstoši 13,6% un 0,4%.

4. Ir veikta dabasgāzes koģenerācijas stacijas slodzes izmaiņu analīze gada, mēneša un diennakts griezumā, ņemot vērā vasaras/ziemas, darbdienu/brīvdienu slodzes atšķirības. Veiktās analīzes rezultātā ir noteikts, ka ir lietderīgi izmantot akumulācijas iekārtas, kas ļautu maksimāli izmantot koģenerācijas jaudu un laikā, kad siltumenerģija patērētājam nav nepieciešama, akumulēt to siltuma akumulatorā.
5. Ir veikta koksnes kurināmā koģenerācijas stacijas siltuma un elektriskās diennakts slodzes izmaiņu un α izmaiņu atkarību no ārējās temperatūras analīze. Siltuma un elektriskās slodzes un ārējās temperatūras krītošās lineārās regresijas sakarību ieguves rezultātā ir noteikts, ka siltumenerģijas izstrādes izmaiņas atkarībā no ārējās temperatūras ir aptuveni 15% robežās. α izmaiņu un ārējās temperatūras augošās lineārās regresijas sakarības ieguves rezultātā ir noteikts, ka α attiecības izmaiņu raksturu nosaka siltuma slodzes samazinājums pie nemainīgas elektroenerģijas izstrādes. Aprēķini rāda, ka α -vērtības izmaiņu diapazons ir no 0,07 līdz 0,1.
6. Darbā ir piedāvāta un praktiski aprobēta koģenerācijas stacijas optimālās jaudas noteikšanas metodika, kur par optimalitātes kritēriju ir izvēlēts siltuma daudzums, kas saražots koģenerācijas stacijā gada laikā, ja stacija strādā ar pilnu slodzi. Optimalitātes kritērija noteikšanas pamatā ir siltuma patērētāja slodzes ilguma grafiks. Aprobējot metodiku uz reālā siltuma slodzes ilguma grafika un tā aproksimācijas, ir konstatēts, ka optimalitātes kritērijs sasniedz savu maksimumu, kad relatīvā slodze ir 0,3 un darbināšanas laiks gadā ir aptuveni 5000 h. Modelēšanas rezultāti tiek pārbaudīti, analizējot divas alternatīvas: esošo koģenerācijas staciju un koģenerācijas staciju ar alternatīvu optimālo jaudu, kas noteikta ar metodikas palīdzību. Izmaiņu raksturs liecina, ka alternatīvās jaudas gadījumā, salīdzinot ar esošo situāciju, stacijas rādītāji uzlabojas. Koģenerācijā izstrādātās siltuma enerģijas apjoms pieaug par 65%, elektroenerģijas - par 57%, dabasgāzes ietaupījums pieaug par 50% un CO₂ samazinājums par 50%.
7. Balstoties uz inženiertehnisko, ekonomisko un vides moduli ir izstrādāts optimālās jaudas noteikšanas metodikas rezultātu aprobācijas algoritms, kas izmantots, pārbaudot metodiku reālajos apstākļos. Ar metodikas

palīdzību tiek novērtēta reālā situācija, kad katlu mājai pieslēdzas jauns siltumenerģijas patērētājs un pieaug siltuma slodze. Balstoties uz ārējās temperatūrām un katlu mājai pašreiz pieslēgto siltumenerģijas patērētāju enerģijas patēriņu 2006.gadā, konstruēts siltuma slodzes ilguma grafiks. Ņemot vērā, ka tuvā nākotnē analizējamā objekta centralizētās siltumapgādes sistēmai tiek plānots pieslēgt jauno biroja centru, konstruēts plānotais siltuma slodzes ilguma grafiks. Metodika tiek piemērota, lai salīdzinātu trīs alternatīvas koģenerācijas stacijas (ar uzstādīto siltuma jaudu 780/1000/1230 kW_{th}), un ir noteikts, ka koģenerācijas iekārtas optimālā siltuma jauda ir 1000 kW_{th} un tai atbilstošā elektriskā jauda, ja izmanto iekšdedzes dzinēju iekārtu, ir 830 kW_e. Rezultāti tiek pārbaudīti ar ienesīguma analīzi, balstoties uz izejas datiem, kas iegūti no iekārtu ražotājiem un aprēķināti saskaņā ar valstī spēkā esošo normatīvo tiesību aktu un metodiku nosacījumiem. Visaugstākais iekšējās atdeves koeficients (14,5%) ir projektā, kur koģenerācijas iekārtas siltuma jauda ir 1000 kW_{th} un elektriskā jauda ir 830 kW_e. Tas nozīmē, ka metodikas optimums un rezultātu pārbaudes analīzes optimums sakrīt, kas liecina par to, ka metodika ir izmantojama nākotnes projektos un valsts enerģētikas attīstības stratēģiju izstrādē.