

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte
Enerģētikas institūts

Valdis VĪTOLIŅŠ
Enerģētikas programmas doktorands

BIOKURINĀMĀ SILTUMAPGĀDES SISTĒMAS DARBĪBAS OPTIMIZĀCIJA

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
Dr. Hab.Sc.Ing.
DAGNIJA BLUMBERGA

RTU Izdevniecība
Rīga - 2005

PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ
INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2005.gada _____ Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un Elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1, aktu zālē.

OFICIĀLIE Oponenti

Profesors, Dr.Hab.Sc.Phys. *Juris Ekmanis*, LZA Fizikālās Enerģētikas institūts

Profesors, Dr.Hab.Sc.Ing. *Egils Dzelzītis*, Rīgas Tehniskā universitāte

Asociēts profesors. Dr. Sc. Ing. *Mārtiņš Gerdrovičs*, Rīgas Tehniskā universitāte

ĀRZEMJU EKSPERTS

Dr.Hab.Sc.Ing. *Vytautas Martinaitis*. Viļņas Tehniskā universitāte

APSTIPRINĀJUMS

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

Valdis Vītolinš _____

Datums

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 4 nodaļas, secinājumus. 53 attēlus un ilustrācijas, kopā 105 lappuses. Literatūras sarakstā ir 97 nosaukumi.

Darba kopējais apraksts

Temata aktualitāte

Latvijā centralizētās siltumapgādes īpatsvars ir liels un tas pārsniedz 60% kopējā siltumapgādes sistēmā. Tas norāda, ka pašvaldībām īpaši liela vērtība ir jāpievērš efektīvai siltumenerģijas ražošanai, pārvadei un izmantošanai. Tiek veikti dažādi energoefektivitātes paaugstināšanas pasākumi, lai sasniegtu šos mērķus. Aktīvi notiek sistēmu rekonstrukcija un pārveide. Pašvaldību vadības bieži iesaistās esošo katlu māju pārveides projektos, lai risinātu ne tikai siltumenerģijas ražošanas tarifu pieauguma mazināšanu, bet arī - socio-ekonomisko jautājumu, kas saistīts ar koksnes atlikumu efektīvu dedzināšanu katlu kurtuvēs. Arvien aktuālāks kļūst jautājums par siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju samazinājumu.

Latvija ir pievienojusies ANO konvencijai par klimata pārmaiņām, kas uzliek mums par pienākumu samazināt SEG izvadīšanu atmosfērā. Saskaņā ar šo dokumentu Latvijai un citām valstīm ir jāpanāk, lai SEG emisiju daudzums laika posmā no 2008. līdz 2010. gadam paliktu 1990. gada līmenī. Spriežot pēc pašreizējiem attīstības tempiem, Latvijai šis uzdevums ir paveicams, taču, ekonomiskai attīstībai paātrinoties pie zemas energoefektivitātes tautsaimniecībā, varam sagaidīt strauju CO₂ emisiju pieaugumu. Ir skaidrs, ka vienīgie paņēmieni SEG emisiju samazināšanai enerģētikas sektorā ir augsti energoefektīvu tehnoloģiju lietojums un SEG piesaiste biomasai fotosintēzes procesā.

Lai Latvija pārvērstos uz priekšu biokurināmā lietderīgas izmantošanas projektu īpatsvara palielināšanā, nepieciešama tos ietekmējošo faktoru izpēte. Promocijas darba izpētes sfēra ir:

- Inženiertehnisko datu analīze jau uzbūvētām katlu mājām, kurās dedzina koksnes kurināmo šķeldas (vai šķeldas un skaidu maisījuma) veidā ar augstu energoefektivitāti (lielāka par 80%).
- Informatīvā materiāla izpēte un analīze par esošo šķeldas katlu māju projektu realizācijas veiksmes/ neveiksmes faktoriem un iespējamo katlu māju rekonstrukciju projektiem tuvākajā nākotnē, lai mazinātu investīciju risku.

Darba mērķis

Disertācijā aprakstīto pētījumu mērķis ir izstrādāt biokurināmā kā siltumapgādes sistēmas primārā energoresursa izmantošanas iespēju

inženiertehnisko un ekonomisko aspektu vērtējuma metodiku un to darbības optimizāciju. Tika izvirzīti šādi izpētes uzdevumi:

- Izvēlēties kritērijus siltumapgādes sistēmas biokurināmā projektu atlasei.
- Izveidot divpakāpju vērtējuma sistēmas metodiku pašvaldību energoavotu vērtēšanai no tehniskā, ekonomiskā un ekoloģiskā viedokļa.
- Izmantojot buiokurināmā katlu mājas darbības parametru vairāku gadu mērījumu datus, ar matemātiskās statistikas metožu palīdzību izstrādāt empīrisku modeli regresijas vienādojuma veidā energoresursu (biokurināmā un elektroenerģijas) patēriņa noteikšanai.
- Izstrādāt un pamatot siltumapgādes sistēmas darbināšanas optimālo parametru noteikšanas metodi.

Izpētes metode

Darbā pilnveidotas divas metodes.

1. Uz lēmumu pieņemšanas teoriju un praksi balstītie pētījumi. Pamatojoties uz izpēti, veikta pašvaldībās un siltumapgādes uzņēmumos norītošo procesu analīze, kura garantē ieguldījumu pamatotību koksnes kurināmā ieviešanai dažādos objektos, pagastos, pilsētās un reģionos. Analīze balstās uz Latvijā realizēto efektīvu koksnes projektu rezultātiem un potenciālo projektu izvērtējumu.
2. Siltumapgādes sistēmas ar koksnes šķeldas izmantošanu katlu mājā darbības optimizācijas metode. Optimālā energoefektivitātes pasākumu kopuma noteikšanai tiek piedāvāta optimizācijas metode. Izmantojot matemātiskās statistikas metodes - korelācijas un regresijas analīzi - analizēti šķeldas katlu darbības parametri, balstoties uz 7 gadu datiem. Veikta regresijas analīzes korekta lietojuma nosacījumu pārbaude. Matemātiskā modeļa aprēķinu rezultāti pārbaudīti ar empīrisku siltumapgādes sistēmas darbības datu palīdzību.

Darba zinātniskā nozīme

Darbā tiek piedāvāta kritēriju kopa veiksmes/neveiksmes identificēšanai koksnes projektu pirmsprojekta stadijā Latvijas pašvaldībās un siltumapgādes uzņēmumos.

Darbā izstrādāts un aprobēts optimizācijas modelis, ar kura palīdzību iespējams veikt siltumapgādes sistēmas darbības analīzi, lai atrastu optimālo energoefektivitātes pasākumu kopumu Latvijas katlu mājās, kurās sasniegta

pieņemami augsta energoefektivitāte koksnē kurināma izmantošana. Izdevīgāko pasākumu izvēlei piedāvāta siltumapgādes sistēmas energoefektivitātes paaugstināšanas pasākumu optimizācijas metode, kam izvēlēti optimizācijas kritēriji un atbilstošās mērķa funkcijas. Veicot siltumapgādes sistēmās notiekošo procesu analīzi, noteikts neatkarīgo parametru kopums, kas nosaka koksnē kurināmā un elektroenerģijas patēriņu un to izmantošanas efektivitāti, kā arī analizēta to nozīmība sistēmas energobilancē. Piedāvāta siltumapgādes sistēmas energoresursu patēriņu raksturojošs empīrisks vienādojums (modelis). Salīdzinājuma rezultātā izvēlēti siltumapgādes sistēmas šķeldas, skaidu un elektroenerģijas patēriņu raksturojošie indikatori.

Darba praktiskā nozīme

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

- Katlu mājas - ar metodikā piedāvāto kritēriju un optimizācijas metodikas palīdzību izvērtēt katlu mājas darbības, tehniskos, ekonomiskos un ekoloģiskos parametrus.
- Pašvaldības - ar metodikā piedāvāto kritēriju palīdzību var izvērtēt biokurināmā izvēli, lai nodrošinātu siltumapgādes sistēmas darbības stabilitāti ar augstāko lietderības koeficientu un zemākajiem enerģijas ražošanas tarifiem.
- Investori - metodika paver iespēju investoriem veikt ieguldījumu lietderības analīzi siltumapgādes uzņēmumā.
- Valsts - ar metodikā piedāvāto kritēriju palīdzību ir iespējams analizēt pašvaldību gatavību veikt siltumapgādes sistēmas rekonstrukciju, to ieinteresētību, kā arī novērtēt siltumapgādes sistēmas stāvokli un rekonstrukcijas lietderību.

Darba aprobācija

Par darba rezultātiem tika ziņots un tie ir apspriesti:

1. Blumberga D., Vītoliņš V. Siltumapgādes sistēmas energoefektivitātes izmaiņu analīze un to ietekme uz tarifu. 43. RTU zinātniskā konference Rīga, Latvija, 2002. gada 10-14. oktobri.

2. Siltumapgādes sistēmu rekonstrukcijas pieredze Latvijā, Seminārs Liepājas pašvaldības un namu pārvaldes darbiniekiem. Liepājā, Latvijā. 2002. gada 10. aprīlī.
3. Efektīvi siltuma mezgli, to komponentes. Seminārs Latvija pašvaldību un siltumapgādes darbiniekiem, Rīga, Latvijā, 2003. gada 15.martā.
4. Siltumapgādes sistēmu elementu apkalpošanas noteikumi un ēku inženiersistēmu automatizācija. Seminārs siltumapgādes uzņēmumu un pašvaldību darbiniekiem, Rīga 2003.gada 20.aprīlī.
5. Vides projektu realizācija enerģētikas sektorā. Izpētes metodika. 44. RTU zinātniskā konference Rīga, Latvija. 2002. gada 11-13. oktobrī.
6. Starptautiskā konference "Applied Research of Heat Consumption of Dwelling Buildings." Varšavā, Polojā, 2004. gada 21-23. martā.
7. Energoefektivitātes paaugstināšanas ietekmes analīze. Ēka-siltumapgādes sistēmas elements. 45. RTU zinātniskā konference. Rīga, Latvija, 2004. gada 15-16. oktobrī.
8. Starptautiskā konferencē " ESCO implementatio in energy sector", Berlīnē. Vācijā, 2004. gada 22-24. martā.
9. Starptautiskā konferencē " ECEEE summer study", Mandelieu La Napoule, Francijā. 2005. gada 30. maija-4. jūnija.
10. Starptautiska konferencē " Dynamic analysis, simulation and testing applied to the energy and enviromental performance of buildings", Atēnas. Grieķija. 2005. gada 13.-14.oktobris.

Modelis izmantots siltumapgādes sistēmu energoefektivitātes pasākumu noteikšanai Brocēnu siltumapgādes sistēmas darbināšanai.

Autora publikācijas

1. Rudzītis A., Vītolīņš V. Brocēnu apkures sistēmas rekonstrukcija- *Enerģētika un pasaule*. 2002, Nr.1, 66-67.Ipp.
2. Blumberga D., Vītolīņš V., Orlovs R., Bedrītis E. Energopatērētāja modelis Pašvaldībās. Tarifa analīze. RTU zinātniskie raksti. Enerģētika un elektrotehnika. Rīga, 2002. sēr. 4, sēj. 6, 130-145.Ipp.
3. Blumberga D., Vītolīņš V. Benchmarking of initial Data for Energy performance in Buildings in Latvia/ EC JRC conference papers Dynamic Analysis and Modelling Techniques (DAME-BC), November 13-14,2003, Ispra. Italy
4. Blumberga D., Vītolīņš V., Orlovs R. Vides projektu realizācija enerģētikas sektorā. Izpētes metodika. RTU zinātniskie raksti. Enerģētika un elektrotehnika. Rīga, 2003.sēr. 4. sēj. 9, 172-178. Ipp.
5. Blumberga D., Vītolīņš V., Rochas C. Energoefektivitātes paaugstināšanas ietekmes analīze. Ēka-siltumapgādes sistēmas elements. RTU zinātniskie raksti. Enerģētika un elektrotehnika. Rīga, 2004. sēr. 4, sēj. 12, 152-161. Ipp.
6. Blumberga D., Vītolīņš V. Experience on screening participants of energy efficiency projects. ECEEE summer study, May 30-June 4, 2005, Mandelieu La Napoule, France.
7. V.Vītolīņš, D.Blumberga Ilgspējīgu energoefektivitātes projektu vērtēšanas pieredze. Izpētes metodika. Latvijas fizikas un tehnisko zinātņu žurnāls. Rīga, 2005, No. 1,65-75. Ipp..
8. V.Vītolīņš, D.Blumberga Siltumapgādes sistēmas ar biokurināmo energoavotā empīrisku datu regresijas analīze. Latvijas fizikas un tehnisko zinātņu žurnāls. Rīga, 2005, No.4, 13-21. Ipp.
9. V.Vītolīņš, D.Blumberga (2005) Brocēnu siltumapgādes sistēmas parametru korelācijas analīze. RTU zinātniskie raksti. Enerģētika un elektrotehnika, (pieņemts publicēšanai) 9 Ipp.

Darba struktūra un apjoms

Darbs sastāv no ievada, 4 nodaļām un secinājumiem. Tajā ir 105 lappuses, t.sk. 53 attēli un literatūras saraksts ar 97 literatūras avotiem. Kopsavilkumā netiek aplūkots literatūras apskats.

1. Latvijas biokurināmā avotu vērtējums

Kopš Kioto protokola pieņemšanas energoefektivitātes un biokurināmā izmantošanas projekti kļūst arvien populārāki ne tikai Latvijā, bet arī visās Austrumeiropas valstīs un daudzi no tiem tiek realizēti starptautisku sadarbības programmu ietvaros.

Kopš deviņdesmito gadu sākuma Latvijas energosektorā tiek realizētas dažādas programmas, kuras ir saistītas ar diviem būtiskākajiem jautājumiem energoresursu izmantošanā:

- atjaunojamo energoresursu īpatsvara paaugstināšana;
- racionāla energoresursu izmantošana - energoefektivitātes paaugstināšana visos energosistēmas līmeņos (enerģijas ražošanā, pārvadē un patērētāja pusē).

Daudz projektu ir īstenots, bet ar atšķirīgiem rezultātiem. Ir veiksmīgi un mazāk veiksmīgi risinājumi, bet diemžēl ir arī projekti, kuri jāvērtē kā negatīvi piemēri. Balstoties uz realizētā pieredzi un veiktā analīzi, izstrādāta vērtēšanas metodika, lai jau sākuma stadijā varētu definēt potenciāli veiksmīgus projektus un izvairītos no neveiksmēm nākotnē.

Darbā aplūkota energoefektivitātes projektu vērtēšanas metodika, balstoties uz konkrētu piemēru analīzi. Projekti energoavotu kurināmā konversijai uz koksni vai projekti, kuros paredzēti ar koksni kurināmi avoti, tiek realizēti gan kā energoefektivitātes paaugstināšanas, gan kā SEG samazināšanas pasākumi, tāpēc informāciju var iegūt, analizējot šādu projektu īstenošanu Latvijā.

1.1. Vērtēšanas metodika

Informācijas ieguvei ir jāizvēlas optimālākā datu iegūšanas metode, kura ļautu iegūt ticamus datus. Datu iegūšanas metodes atšķiras, un katrai no tām ir priekšrocības un trūkumi. Tādēļ bieži tās ir nepieciešams kombinēt. Parasti tiek lietotas šādas metodes: tiešie mērījumi, novērojumi un pārbaudes, aptaujas un arhīvu pieraksti.

Iegūtās informācijas apstrādes mērķis un tāpat metodika ir saistīta ar atbildes meklējumiem definētajam izpētes mērķim - noskaidrot energoefektivitātes projektu veiksmes kritērijus un testēt tos, lai atrastu energoavotus un

uzņēmumus, kuri ir potenciāli spējīgi un gatavi piedalīties šādu projektu realizācijā.

Metodika izstrādāta, balstoties uz nozīmīgāko kritēriju atlasu un to iekļaušanu aptaujas anketās.

1.2. Vērtēšanas kritēriji

Lēmumu pieņemšanā definēto kritēriju nozīmība nekad nav vienāda. Ir kritēriji, kuri būtiski ietekmē lēmumu un ir tādi, kuri ir mazsvarīgi. Tika apzināts pēc iespējas plašāks kritēriju loks. Tas nozīmē, ka kritēriju relatīvā nozīmība ir jāizvērtē skaitliski. Skaitliskam izvērtējumam var lietot 5 punktu sistēmu, kurā nozīmīgu kritēriju vērtē ar 5 punktiem un maznozīmīgu ar 1 punktu. Izvēlēto kritēriju nozīmības novērtējums dots 1.1. tabulā.

1.1.tabula

Kritēriju nozīmības

Nr.p.k.	Kritērijs	Nozīmības novērtējums
1	Ieguldījumu apjoms energoefektivitātes paaugstināšanā	5
2	Veiktā rekonstrukcijas projekta raksturojums	5
3	Energoavotu vai uzņēmuma vadības gatavība piedalīties energoefektivitātes projektos	4
4	Enerģijas patērētāju raksturojums šajā teritorijā vai uzņēmumā	2
5	Enerģijas tarifs	3
6	Attiecību raksturojums ar energopatērētājiem.	3
7.	Energoavota vai uzņēmuma piedalīšanās speciālās programmās	4
8.	Uzņēmuma finansiālā stabilitāte	4

Katrs kritērijs tiek izvērtēts piecos līmeņos no -2 līdz +2.

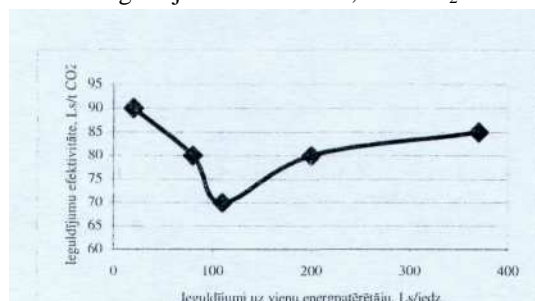
Nozīmības vērtēšana ir subjektīvs process, un to ieteicams veikt aplūkojamās jomas ekspertiem vai labāk ekspertu grupai.

Ieguldījumu apjoms energoefektivitātes paaugstināšanā.

Ieguldījumu apjoms iepriekš veiktajiem energoefektivitātes projektiem ir dažāds. Lai veiktu ieguldījumu analīzi, nedrīkst aprobežoties tikai ar ieguldījumu absolūtajām vērtībām. Līmeņatzīmes metodes pamatā ir

robežvērtību noteikšana: šajā gadījumā ir optimālās vērtības meklēšana starp diviem lielumiem:

- Īpatnējo ieguldījumu rādītāju Ls uz vienu iedzīvotāju vai tonnu produkcijas (Ls/iedz vai Ls/t produkcijas);
- ieguldījumu efektivitāti, Ls/t CO₂ samazinājumu.



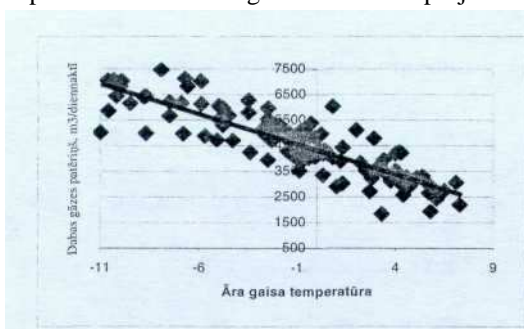
Lai noteiktu iepriekš ieguldīto finanšu apjomu saprātīgumu un salīdzinātu realizētos projektus savā starpā, katram projektam tiek noteikti optimālie ieguldījumi. Pieredze rāda, ka, pieaugot investīcijām, energoefektivitātes

1.1.att. Ieguldījumu optimālo lielumu noteikšanas piemērs

pieaugumu tempi ir lēnāki.

Veiktā rekonstrukcijas projekta raksturojums

Iepriekš veikto energoefektivitātes projektu analīze dod iespēju izvērtēt



1.2. att. Katlu mājas darbības datu analīzes piemērs

ieguvumus un zaudējumus, kā arī izprast padarītā rezultātus.

Lai izprastu iepriekš teikto, kā piemērs, 1.2. attēlā parādīta katlumājas darbības analīze pirms projekta realizācijas stadijā, kas rāda datu izkliedi.

Dabas gāzes patēriņa dati varētu korelētiešāk ar āra gaisa

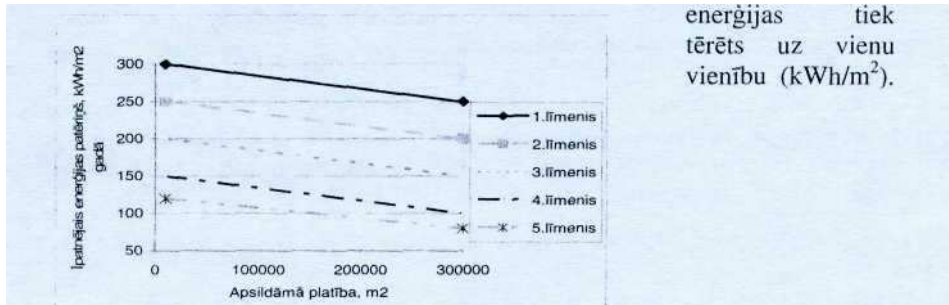
temperatūras datiem. Piemēram, brīžos, kad ārā bijusi temperatūra ap 0°C dabas gāzes patēriņš ir bijis gan 3000 m³ diennaktī, gan divas reizes lielāks - 6000 m³/diennaktī. Tas nozīmē, ka pēc projekta realizācijas siltumenerģijas ražošana katlu mājā netiek pietiekami labi regulēta, kaut arī tam tā vajadzēja būt. Līdzīgi ir jāanalizē dati par katru rekonstrukcijas projektu, meklējot indikatorus, kas palīdzētu projektus salīdzināt savā starpā.

Visi energoefektivitātes projekti, kuri devuši energoresursu patēriņa samazinājumu ir vērtējami pozitīvi.

Uzņēmuma gatavību piedalīties projektā raksturo uzņēmuma sagatavotie dokumenti: attīstības plāns, koncepcija, stratēģija, uzņēmējdarbības plāns u.c.

Enerģijas patērētāju raksturojums noteiktā teritorijā vai uzņēmumā.

Enerģijas patērētāju raksturo energoefektivitātes indikatori, kas rāda, cik



1.3. att. Enerģopatērētāju sakārtotības vērtējuma diagramma

Energoefektivitātes indikatora vērtība rāda ne tikai skaitlisko vērtību, bet dod iespēju salīdzināt energopatērētājus savā starpā. Šajā gadījumā ir vienlaicīgi jāaplūko gan energopatērētāju lielums, gan to attiecība pret energoefektivitātes pasākumiem, ko raksturo pirmsprojekta īpatnējais enerģijas patēriņš. Nosacīti energopatērētājus var iedalīt dažādos līmeņos. 1.3.attēlā parādīts piemērs, kā varētu iedalīt siltumapgādes sistēmām pieslēgtos patērētājus.

Enerģijas tarifs energopatērētājiem

Kopš 1998. gada Latvijā ar Ministru Kabineta noteikumiem ir noteikts, kādas metodikas ir jālieto, lai noteiktu siltumenerģijas, elektroenerģijas un dabas gāzes tarifus. Taču vēl joprojām eksistē situācija, kad nākas satapties ar atkāpēm siltumenerģijas tarifa noteikšanā. Šāda situācija ir jāvērtē no vairākiem aspektiem. Ja siltuma tarifu nosaka atšķirīgi, šis apstāklis ir jāvērtē negatīvi.

Attiecību raksturojums ar energopatērētājiem

Elektroenerģijas un siltumenerģijas tarifi, kuri ir noteikti, izmantojot valstī spēkā esošo aprēķina metodiku, pirms projekta realizācijas stadijā ļauj izvērtēt projekta realizēšanas lietderību.

Energoavota vai uzņēmuma piedalīšanās speciālās programmās

Svarīgs nosacījums ir uzņēmuma līdzšinējā līdzdalība dažādās programmās. Izmantojot šo kritēriju, tiek ņemts vērā, vai dotais uzņēmums atrodas ekonomiski atbalstāmā reģionā, vai arī ir kādi specifiski vides aizsardzības nosacījumi. Ar šo kritēriju, ir iespējams noteikt uzņēmumus, kuros īpaši būtu nepieciešami energoefektivitātes paaugstināšanas pasākumi, pamatojoties uz to ekonomiskās attīstības rādītājiem.

Uzņēmuma finansiālā stabilitāte

Uzņēmumu finansiālā stabilitāte ir mērāma ne tikai ar esošajām kredītsaistībām un kredītu limitiem, spēju paņemt kredītu, bet arī ar attieksmi pret energoservisa firmām. Svarīgi ir analizēt arī uzņēmumu esošo pieredzi energoefektivitātes projektu realizēšanā un finansēšanā.

1.3. Informācijas apstrādes metodika

Metodika aprobēta, lai izvērtētu dažādu uzņēmumu gatavību šķeldas projektu realizācijai dažādos siltumapgādes uzņēmumos.

Pēc tam kad novērtēta kritēriju nozīmība un izvērtēti skaitliski apsvērumi, var veikt variantu (uzņēmumu) matemātiskos aprēķinus. Jāatzīmē, ka lēmuma pieņemšanas aprēķinos ir iespējamas trīs pieejas:

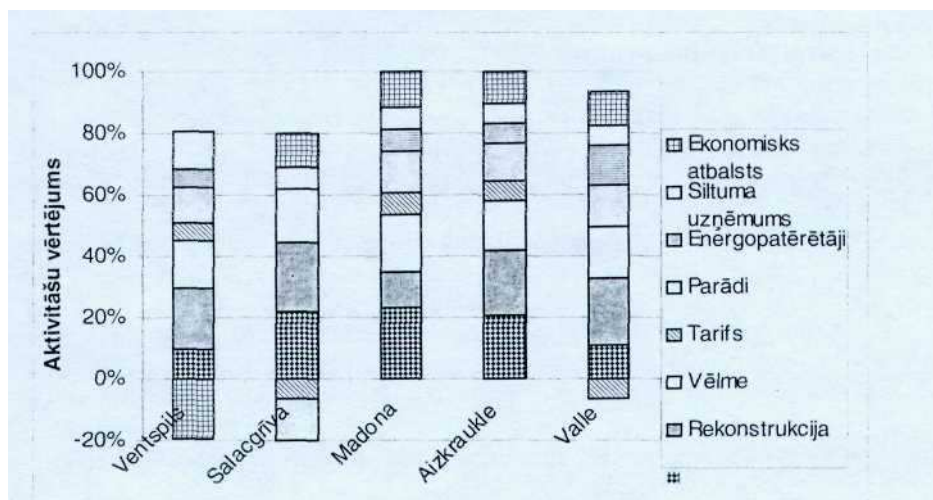
- vispārējais novērtējums;
- novērtējums pēc katra kritērija;
- likums par 2/3 no ideāla lēmuma.

Anketās sniegto datu matemātiskas apstrādes rezultātā tiek iegūta informācija, kas ļauj salīdzināt savā starpā potenciālos projektus, atrast to stiprās un vājās puses un salīdzināt gan visus kritērijus kopumā, gan katru kritēriju atsevišķi. Metodika pārbaudīta dažādiem uzņēmumiem, kuri atkarībā no energoefektivitātes projektu realizācijas pieredzes nosacīti ir sadalīti divās grupās.

1. grupa: Energoefektivitātes projekti ir veiksmīgi realizēti dažādu programmu ietvaros.

2. grupa: Energoefektivitātes projektus plāno īstenot visdrīzākajā laikā.

Pēdējo projektu lietderības izpētes rezultāti apkopoti 1.4. attēlā.



1.4. att. Uzņēmuma gatavības vērtējuma kopsavilkums

2. Biokurināmā siltumapgādes sistēmas darbības analīzes eksperimentālo datu apstrāde

Latvijas pilsētās un pagastos ir rekonstruētas vairākas katlumājas, kuras tagad fosilā kurināmā vietā tiek dedzināta koksnes šķelda. Katlumājas ir pieslēgtas centralizētām siltumapgādes sistēmām un nodrošina ar siltumenerģiju dzīvojamās un publiskās ēkas. Siltumenerģijas patēriņš ēkās ir atkarīgs no dažādiem faktoriem, kurus gan ir, gan nav iespējams identificēt un ietekmēt, paaugstinot energoefektivitāti un mainot darbības režīmus. Savukārt divi citi siltumapgādes sistēmas elementi (energoavots un siltuma pārvades sistēma) arī ir atkarīgi no dažādiem to darbības parametriem. Siltumapgādes sistēmas darbības efektivitāte ir atkarīga no katra sistēmas elementa atsevišķi un kopumā. Lai paaugstinātu siltumapgādes sistēmas darbības energoefektivitāti, jāanalizē un jāvērtē pašreizējie darbības indikatori un pēc tam jādomā par sistēmu darbības režīmu optimizāciju.

Par izpētes objektu tika izvēlēta Brocēnu pilsētas katlumāja, kur notika siltumapgādes sistēmas darbības parametru ilgstoša mērīšana.

2.1. Eksperimenta apraksts

Siltumapgādes sistēmas mērījumu shēma sastādīta, ņemot vērā nepieciešamību samazināt mainīgos lielumus sistēmas darbības optimizācijā.

Sistēma ietver trīs neatkarīgus, bet savā starpā saistītus, siltumapgādes kontūrus:

- katlumājas kontūrs, kurā siltumnesējs uzsilst kurināmā degšanas un dūmgāzu dzesēšanas procesā;
- siltumapgādes sistēmas siltumtīklu kontūrs, kuru ierobežo katlumājas un katras ēkas individuālais apkures siltummainis. Siltumnesējs nepārtraukti cirkulē starp šiem siltummaiņiem, veicot siltuma enerģijas transportēšanu no katlumājas uz katras ēkas apkures siltummaini;
- ēkas apkures sistēmā siltumnesējs tiek uzsildīts apkures siltummainī un dzesēts ēkas radiatoros.

Brocēnu katlumājā ir uzstādīti divi ūdenssildāmie katli: šķeldas katls ar uzstādīto jaudu 7,5MW un 5MW dabasgāzes katls.

2.2 Brocēnu siltumapgādes sistēmas parametru korelācijas analīze

2.2.1. Siltumapgādes sistēmas darbības parametri

Siltumapgādes sistēma ir savstarpēji saistītu tehnisku elementu un mezglu komplekss, kurš izveidots patērētāja siltuma slodzes nodrošināšanai. Sistēmas sastāvdaļas ir siltuma avots, siltuma tīkli, siltummezgli, patērētāja vietējās siltuma apgādes sistēmas. To tehnoloģiskos risinājumos un darbināšanas parametru izvēlē vērojama daudzveidība. Par sistēmas parametriem uzskatāmi kā termodinamiski (temperatūra, spiediens, caurplūde u.c.), tā arī tehnoloģisko risinājumu (elementu konstrukcija, pieslēguma shēma) raksturojoši lielumi. Minētos parametrus var iedalīt divās grupās:

- neatkarīgi;
- atkarīgi.

Par neatkarīgiem parametriem uzskatāmi savstarpēji nesaistīti lielumi, kuru vērtības darbinot siltumapgādes sistēmu var būt dažādas. Siltumapgādes sistēmās par neatkarīgiem parametriem uzskatāmi:

- siltuma slodze;

- tīkla turpgaitas ūdens temperatūra;
- tīkla atgaitas ūdens temperatūra;
- ūdens temperatūra pēc karstā ūdens siltummaiņiem;
- ūdens temperatūra pēc apkures siltummaiņiem (neatkarīga pieslēguma gadījumā);
- patērētāja apkures sistēmā padodamā ūdens temperatūra;
- siltuma tīklu konfigurācija;
- spiedienu zudumi tīklos (cauruļu konstruktīvie parametri);
- siltuma zudumi trasē;
- siltuma mezgla shēma;
- katlu konstrukcija;
- tīkla ūdens siltummaiņa konstrukcija.

Neatkarīgo mainīgo lielumu izmaiņu raksturs ir dažāds. Ir lielumi, kuru izmaiņas ir nepārtrauktas, piemēram, temperatūras, citu - diskrētas, piemēram, trases konfigurācija ir nemainīga

Atkarīgo mainīgo parametru vērtības viennozīmīgi nosaka neatkarīgo parametru vērtības. Siltuma apgādes sistēmās atkarīgais mainīgais lielums ir tīkla ūdens caurplūde. Atkarīgo un neatkarīgo parametru savstarpējo saiti var noteikt matemātiski ar termodinamikas, hidrodinamikas, siltuma pārejas, siltuma bilances likumsakarībām vai ar datu statistiskās analīzes palīdzību iegūtām empīriskām sakarībām. Izpētē uzmanība veltīta pēdējai iespējai. Neatkarīgo mainīgo lielumu skaits ir liels, un tas apgrūtina sistēmas darbības kompleksas analīzes iespējas. Taču, ja aplūko un analizē esošu sistēmu, tad redzams, ka parametru skaits samazinās, jo tie aizstājami ar konkrētām aplūkojamai sistēmai raksturīgām vērtībām.

No risināmo uzdevumu viedokļa neatkarīgie parametri var būt tādi, kuri raksturo:

- sistēmas darbību kopumā;
- sistēmas sastāvdaļu darbību (avots, tīkli, patērētājs);
- atsevišķu elementu darbību.

Sakarā ar to, ka iepriekš minētās atkarīgo un neatkarīgo parametru savstarpējo saīšu matemātiskās likumsakarības veido komplicētu vienādojumu sistēmu, kuru analīze ir laika un darba ietilpīgs process, izpētē piedāvāta siltumapgādes sistēmas vienkāršota analīzes metodika. Metodika paredz iegūt empīriskas sakarības siltumtīklu darbības raksturojumam.

2.2.2. Vienfaktora lineārie modeļi

Šā darba mērķis ir noskaidrot parametru saistību ar vienfaktora lineāru modeļu palīdzību, veicot korelācijas analīzi, lai izvēlētos regresijas vienādojuma veidu.

Korelācijas analīze pēta vairāku gadījuma lielumu savstarpējo iedarbību un nosaka šo lielumu stohastiskās sakarības ciešumu.

Neatkarīgo un atkarīgo gadījuma mainīgo lielumu savstarpējās saites ciešumu (korelāciju) var novērtēt ar korelācijas koeficienta palīdzību. Viena faktora matemātiskā modeļa gadījumā tā aplēsēm izmanto Pīrsona izteiksmi (2.1)

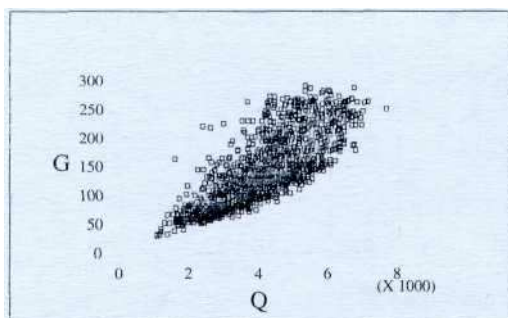
$$r = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(m-1)S_x * S_y}, \quad (2.1)$$

kur

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

Daudzfaktoru korelācijas gadījumā lieto daudzfaktoru korelācijas koeficientu R. Daudzfaktoru korelācijas koeficients R nav statistiski interpretējams. Tomēr to nosaka un izmanto kā netiešu regresijas vienādojuma noderības rādītāju. Nelineāras regresijas gadījumā korelācijas koeficienta vietā izmanto korelācijas attiecību. Korelācijas attiecībai nelineārajā regresijā ir tāda pati nozīme kā koeficientam lineārajā - tā raksturo rezultātu grupēšanos ap nelineārās regresijas līniju.

Ar korelācijas koeficientu palīdzību vērtē, cik precīzi ir korelācijas ciešumu raksturojošie matemātiskie modeļi.



2.1.att. Tīkla ūdens caurplūde atkarība no siltuma avota slodzes

2.2.3. Datu korelācijas analīze

Brocēnu pilsētas siltumapgādes sistēmas darbības mērījumu datu kopas analīzei šajā izpētē izmantoti vienfaktora lineāri modeļi. Siltumapgādes sistēmas darbības analīzei izmantoti neatkarīgie parametri:

- siltuma avota slodze Q , MW;
- tīkla turpgaitas ūdens temperatūra t_1 , °C;
- tīkla atgaitas ūdens temperatūra t_2 , °C.

Atkarīgais mainīgais parametrs ir ūdens caurplūde tīkos G , m³/h. Ūdens caurplūdes izmaiņas atkarībā no siltuma slodzes Q , turpgaitas t_1 , un atgaitas t_2 ir parādītas 2.1., 2.2. un 2.3. attēlā.

Datu izvietojumu attēlos raksturo būtiska to izklīde. Tas skaidrojams ar to, ka caurplūdes izmaiņas nosaka vairāki neatkarīgi parametri un vienfaktora lineāri modeļi var parādīt izmaiņu tendences tikai atkarībā no viena faktora

Kā redzams 2.1. attēlā, ir vērojamas tīkla ūdens caurplūdes izmaiņu tendence atkarībā no avota siltuma slodzes.

Caurplūdes izmaiņas ir aprakstītas ar lineāriem vienādojumiem, kuri iegūti eksperimentālo datu korelācijas analīzes rezultātā. Caurplūde atkarībā no avota siltuma slodzes matemātiski var izteikt ar šādu sakarību:

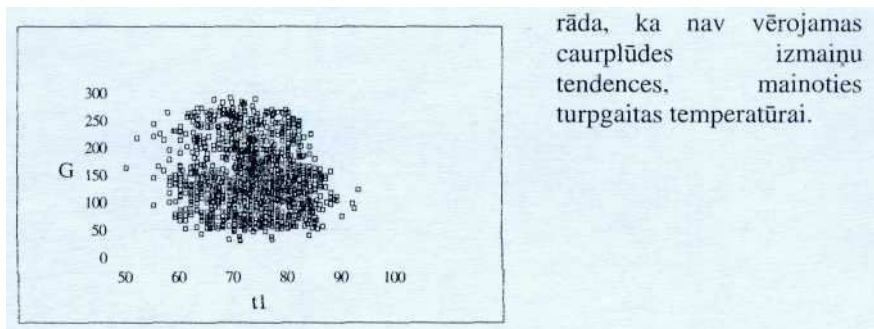
$$G = -4,72 + 0,0365 * Q \cdot \text{m}^3/\text{h}, \quad (2.2)$$

kur

Q - siltuma avota slodze, kW.

Aprēķinātā korelācijas koeficienta vērtība ir $R = 0,77$ un tas norāda, ka korelācija starp aplūkotajiem lielumiem ir apmierinoša.

Datu izvietojums 2.2. att.



2.2. att. Tīkla ūdens caurplūde atkarība no tīkla ūdens turpgaitas temperatūras

Valda Vītoļa promocijas darba kopsavilkums

Savukārt caurplūdi atkarībā no tīkla ūdens turpgaitas temperatūras t_1 nosaka šāds empīrisks vienādojums, kas arī ir iegūts datu korelācijas analīzes rezultātā:

$$G = 214,4 - 0,952 * t_1, \text{ m}^3/\text{h}, \quad (2.3)$$

kur

t_1 - turpgaitas temperatūra. °C.

Aprēķinātā korelācijas koeficienta vērtība ir $R = 0,11$. un tas norāda, ka starp aplūkotajiem lielumiem nav vērojama korelācija un vienādojums aprēķiniem nav izmantojams.

Caurplūdi atkarībā no tīkla atgaitas ūdens temperatūras t_2 apraksta šāda matemātiska izteiksme:

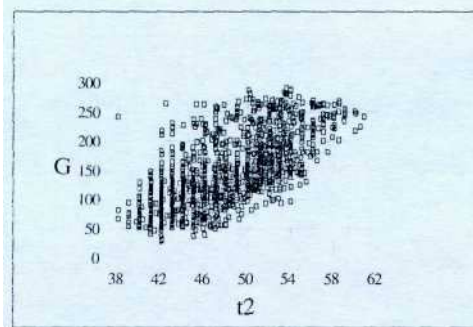
$$G = -264,2 + 8,53 * t_2, \text{ m}^3/\text{h}, \quad (2.4)$$

kur

t_2 - turpgaitas temperatūra. °C.

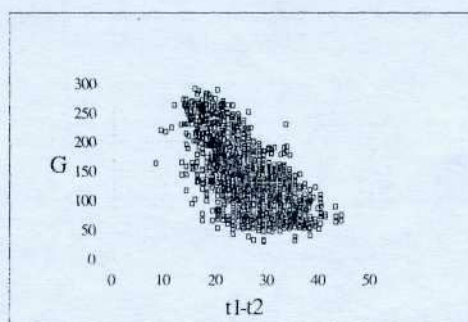
Aprēķinātā korelācijas koeficienta vērtība ir $R = 0,69$, un tas norāda, ka starp aplūkotajiem lielumiem vērojama apmierinoša korelācija.

2.3. attēlā ir redzams, ka ir vērojamas caurplūdes izmaiņu tendence atkarība no tīkla atgaitas ūdens temperatūras.



Pilnvērtīga daudzfactoru regresijas vienādojuma izveides gaitā ir aplūkotas caurplūdes izmaiņas atkarībā no tīkla ūdens temperatūru starpības $\Delta t = t_1 - t_2$. Lielumu izmaiņas redzamas 2.4. attēlā.

2.3.att. Tīkla ūdens caurplūde atkarībā no tīkla ūdens atgaitas temperatūras



2.4. attēlā ir redzama temperatūras starpības pieauguma tendence, samazinoties ūdens caurplūdei tīklos. Izmaiņu raksturu ir pamato no siltumapgādes sistēmās norītošo fizikālo procesu būtība. Korelācijas analīze liecina, ka korelācijas koeficienta vērtība $R = 0.65$ un starp lielumiem ir izteikta korelācija.

2.4. att. Caurplūdes izmaiņas atkarība no turpgaitas un atgaitas ūdens temperatūras starpības

Izpētē veiktās datu kopas analīzes rezultātā ir noskaidrots, ka atkarīgais mainīgais lielums ir caurplūde tīklos un tā ir saistīta ar siltuma slodzi un tīkla ūdens temperatūru starpību, un turpmākajā daudzfaktoru regresijas analīzē izmantojamais empīriskais modelis ir

$$G = f(Q, \Delta t) \quad (2.5)$$

2.3. Energoavota empīrisko datu regresijas analīze siltumapgādes sistēmās ar biokurināmo

Siltumenerģijas patēriņš ēkās ir atkarīgs no dažādiem faktoriem, kurus gan ir, gan nav iespējams identificēt un ietekmēt, paaugstinot energoefektivitāti un mainot darbības režīmus.

Savukārt divi citi siltumapgādes sistēmas elementi (energoavots un siltuma pārvades sistēma) arī ir atkarīgi no dažādiem to darbības parametriem. Siltumapgādes sistēmas darbības efektivitāte ir atkarīga no katra sistēmas elementa atsevišķi un kopumā. Lai paaugstinātu siltumapgādes sistēmas darbības energoefektivitāti, jāanalizē un jāvērtē pašreizējie darbības indikatori un pēc tam jādomā par sistēmu darbības režīmu optimizāciju.

2.3.1. Analīzes metodika

Izpētes mērķis ir iegūt daudzfaktoru empīrisku vienādojumu, kurš kvantitatīvi aprakstītu siltumapgādes sistēmas darbināšanas rādītājus un derētu par pamatu darbināšanas režīmu rezultātu prognozei un izvērtējumam.

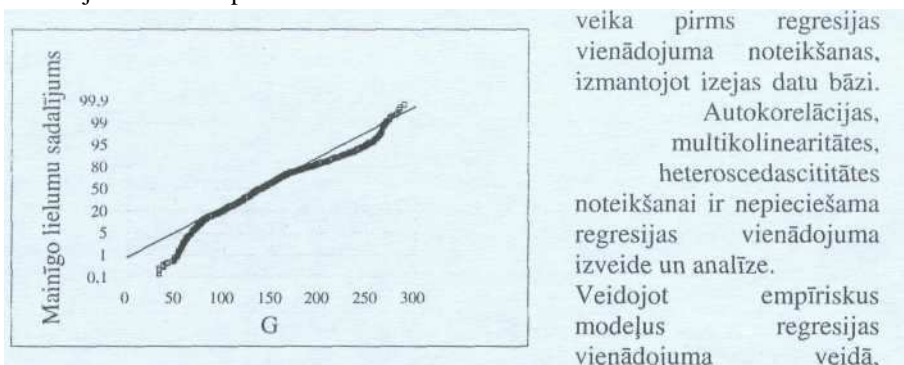
Regresijas analīze nosaka gadījuma lielumu izmaiņu precīzus kvantitatīvus parametrus, t.i., ar funkcionālām sakarībām izsaka stohastiskās saites nozīmību. Regresijas analīze veikta šādā secībā:

- pārbaudīts atkarīgo mainīgo lielumu sadalījuma likums;
- noteikts regresijas vienādojums, izmantojot mazāko kvadrātu metodi;
- veikta iegūto rezultātu statistiskā analīze.

Regresijas analīzes lietojuma galvenie nosacījumi ir sekojoši:

Regresijas analīzes lietojums ir korekts, ja atkarīgie mainīgie lielumi (ūdens caurplūde tīklā) pakļaujas normālam sadalījuma likumam. Šī prasība nav spēkā attiecībā uz neatkarīgajiem mainīgajiem lielumiem. Sacītais nozīmē to, ka analīze sākas ar atkarīgo mainīgo lielumu sadalījuma noteikšanu un analīzi var turpināt, ja sadalījums atbilst normālam sadalījuma likumam. Sadalījuma likuma pārbaude veikta analizējamu datu kopai $m = 1690$. Dati raksturo siltumapgādes sistēmas darbināšanas rādītājus. Atkarīgā mainīgā lieluma sadalījums redzams 2.5. attēlā.

Normālo sadalījuma likumu logaritmiskajās koordinātēs grafiski attēlo taisne. Kā redzams 2.5. attēlā, analizējamie dati aptuveni izvietojas gar taisni. Ir vērojamas novirzes pie mazām vērtībām. Tas nozīmē, ka sadalījums ir tuvs normālajam sadalījuma likumam un regresijas analīzes lietojums ir pamatots. Regresijas analīzes korekta lietojuma noteikumu pārbaude veikta dažādos regresijas analīzes posmos. Piemēram, mainīgo sadalījuma likuma pārbaude



2.5. att. Ūdens caurplūdes vērtību sadalījums. vairāki

veika pirms regresijas vienādojuma noteikšanas, izmantojot izejas datu bāzi. Autokorelācijas, multikolinearitātes, heteroscedasticitātes noteikšanai ir nepieciešama regresijas vienādojuma izveide un analīze. Veidojot empīriskus modeļus regresijas vienādojuma veidā, vienmēr ir jārisina

būtiski jautājumi - vai modelī ir iekļauti visi

neatkarīgie mainīgie, kuri raksturo aplūkojamo parādību un vai modelī nav iekļauti lieki, mazsvarīgi mainīgie lielumi, tādējādi 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 novērtējumam ir nepieciešams procesus aprakstošs regresijas vienādojums. Tālāk ar empīrisko datu palīdzību nosaka regresijas vienādojumu

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i, \quad (2.6)$$

kur

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

un novērtē koeficientu nozīmību. Tādejādi vienādojumā paliek tikai tie faktori, kuri ir būtiski siltuma apgādes sistēmas darbināšanai.

Regresijas vienādojuma precizitāti var paaugstināt, iekļaujot tajā faktoru dubultās un trīskāršās mijiedarbības efektus un veidojot paplašinātu vienādojumu.

Paplašinātais regresijas vienādojums

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i,j=0}^n b_{i,j} x_i x_j, \quad (2.7)$$

kur

$b_{i,j}$ faktoru dubultās mijiedarbības koeficienti;
 $x_i x_j$ faktoru dubultās mijiedarbības efekti.

Augot locekļu skaitam vienādojuma, tas kļūst sarežģītāks un prakse grūtak izmantojams. Veiktā datu empīriskā analīze rāda, ka paplašināts vienādojums nenodrošina būtisku daudzfaktoru korelācijas koeficienta vērtības pieaugumu, un tāpēc tika pieņemts lēmums veidot regresijas vienādojumu (2.6). Regresijas vienādojumu (2.6) koeficientu $b_0 \dots b_n$ statistiskās nozīmības novērtēšanai izmanto t kritēriju, kuram, kā pierādījis matemātiķis J.Bartlets, ir Studenta sadalījums ar/brīvības pakāpēm.

$$f = m - (n + 1), \quad (2.8)$$

kur

m - empīrisko datu kopas apjoms;

n - neatkarīgo mainīgo skaits regresijas vienādojumā.

Lai veiktu vērtēšanu, katra koeficienta datora aprēķināto t kritēriju salīdzina ar vērtību t_{tab} , kuru atrod Studenta sadalījuma tabulās atbilstoši izvēlētajai nozīmības līmeņa P un f brīvības pakāpēm. Ar enerģētiku saistīto datu apstrādē

bieži izmanto nozīmības līmeni $P = 0,01$, kam atbilst ticamības varbūtība $1 - P = 0,99$. Ja vērtējamam koeficientam ir spēkā noteikums $|t| > t_{tab}$, tad tas ir nozīmīgs un atstājams regresijas vienādojumā. Pretējā gadījumā ir jāatmet šis vienādojuma saskaitāmais un analīze jāveic no jauna, līdz visi atstātie koeficienti ir statistiski nozīmīgi. Iegūtais regresijas vienādojums ir analizējamās parādības matemātiskais modelis, kurš tālāk ir jānovērtē. Novērtējumu veic ar dispersijas analīzes palīdzību, izmantojot Fišera kritēriju

2.3.2. Empīrisko datu analīze un pārbaude

Empīrisko datu regresijas analīzē aplūkoti šādi faktori:

- siltuma avota siltuma slodze. kW;
- tīkla ūdens turpgaitas un atgaitas temperatūru starpība. $^{\circ}\text{C}$.

Analizējamā datu kopa $m - 1690$ un tā reprezentē pašvaldības siltuma apgādes sistēmas 4 apkures sezonu darbināšanas datus. Regresijas vienādojuma koeficientu vērtības, un to statistiskais novērtējums dots 2.1. tabulā.

2.1.tabula

Regresijas vienādojuma koeficienti un to novērtējums

Neatkarīgie mainīgie	Koeficienti	t statistika	P vērtība
Konstante b_0	149,4	80,2	0,0000
Koeficients b_1	0,0344	127,4	0,0000
Koeficients b_2	-5,62	-104,9	0,0000

Datu apstrādē izvēlēts nozīmības līmenis $P=0,01$, kurš atbilst ticamības varbūtībai 0,99. un brīvības pakāpes

$$f = m - (n + 1) = 1690 - (2 + 1) = 1687.$$

Šiem lielumiem atbilstošā t kritērija vērtība no Stjudenta sadalījuma tabulām ir $t_{tab} = 3,09$. Kā redzams no 2.1. tabulas, visos gadījumos ir spēkā sakarība $|t| > t_{tab}$. Tas nozīmē, ka visi parametri ir būtiski un vienādojumā saglabājami.

2.3.3. Iegūtais vienādojums

Izpētes rezultātā, balstoties uz 4 apkures sezonu laikā realizētiem režīmiem, iegūts vienādojums, kas nosaka ūdens caurplūdi siltumapgādes sistēmā:

$$G=149,4+0.0344Q-5.62(t_1-t_2), \text{ m}^3/\text{h} \quad (2.9)$$

Izveidotā empīriskā modeļa datu statistiskās apstrādes rezultātā noteiktā R^2 vērtība ir 0,946. Tas nozīmē, ka izveidotais modelis (2.9) skaidro 94,6 % no analizējamo režīmu tīkla ūdens caurplūdes izmaiņām. Pārējie 5,4 % attiecināmi uz vienādojumā neiekļauto, nedefinēto neatkarīgo mainīgo rēķina vai arī uz neatkarīgo mainīgo savstarpējās mijiedarbības efektu.

Vienādojuma (6) adekvātuma pārbaude veikta, izmantojot Fišera kritēriju, pēc kura ar datorprogrammas veiktās dispersijas analīzes palīdzību noteiktā vērtība ir $F = 14680$. Iegūto lielumu salīdzina ar kritērija tabulas vērtību, kuru nosaka, izmantojot brīvības pakāpju vērtības

$$f_1 = m - 1 = 1690 - 1 = 1689 \text{ un } f_2 = m - n = 1690 - 2 = 1688$$

Fišera kritērija tabulas vērtība ir $F_{\text{tab}} = 1,0$. Kā redzams, ir spēkā sakarība $F > F_{\text{tab}}$, un tas nozīmē, ka vienādojums (6) ir adekvāts un lietojams analizējamo datu aprakstam to izmaiņu robežās:

- siltumapgādes sistēmas slodze Q no 1000 līdz 7500 , kW;
- tīkla ūdens turpgaitas un atgaitas temperatūras starpība Δt no 10 līdz 45. °C.

Analizējamā datu kopā citu parametru vērotās izmaiņas ir:

- tīkla ūdens caurplūde G no 35 līdz 295 , m^3/h ;
- ūdens turpgaitas temperatūra t_1 no 50 līdz 95 , °C;
- ūdens atgaitas temperatūra t_2 no 38 līdz 62 , °C;

2.3.4. Empīriskā vienādojuma korektuma pārbaude

Iegūtā empīriskā vienādojuma korektuma pārbaude veikta, izmantojot pozitīvo pieredzi, kas iegūta atsevišķu siltumapgādes sistēmas elementu darbības parametru analīzē.

Autokorelācijas pārbaude. Izmantojot Durbina - Vatsona testu datu statistiskās apstrādes un datu analīzes gaitā, ir noteikts DW kritērijs. Tā vērtība ir tuva

lielumam 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. Pārbaude veikta, analizējot regresijas vienādojuma aprēķināto koeficientu korelācijas matrici, kura parādīta 2.2. tabulā.

2.2.tabula.

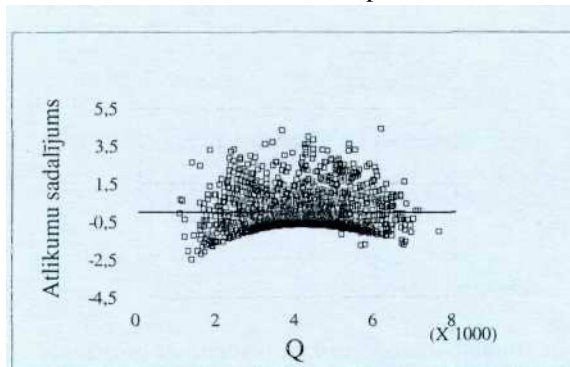
Regresijas vienādojuma koeficientu korelācijas matrica

Koeficienti	b_1	b_2
b_1	1,0	0,0734
b_2	0,0734	1,0

Regresijas vienādojuma koeficientu korelācijas matricas analīze rada, ka starp koeficientiem un tātad arī neatkarīgajiem mainīgajiem lielumiem korelācija ir nebūtiska. Par to liecina korelācijas koeficienta zemās vērtības 2.2. tabulā. Tabulā nav vērojamas par 0,5 lielākas vērtības un tātad regresijas vienādojuma koeficientu novērtējums ir korekts.

Heteroscedascitātes pārbaude veikta, pārbaudot grafiski atlikumu sadalījumu atkarībā no prognozējamās enerģijas patēriņa vērtības un atsevišķiem faktoriem. Atlikumu sadalījums parādīts 2.7. un 2.8. attēlos.

Attēlos ir redzams, ka datu kopai nav būtisku atlikuma sadalījuma izmaiņu, ka

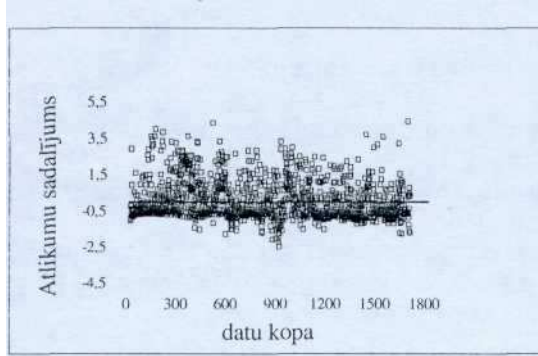


2.7.att. Atlikumu sadalījums atkarībā no siltumapgādes sistēmas slodzes

arī izmaiņu atkarībā no siltuma apgādes sistēmas slodzes. Ir veikta atlikumu sadalījuma izpēte atkarībā no citiem faktoriem. Secinājums visos gadījumos ir tāds, ka nav vērojama heteroscedascitāte un standarta kļūda ir noteikta korekti.

Viens no regresijas vienādojuma pārbaudes veidiem ir saistīts ar tā locekļu zīmju pārbaudi. un to, vai vienādojuma

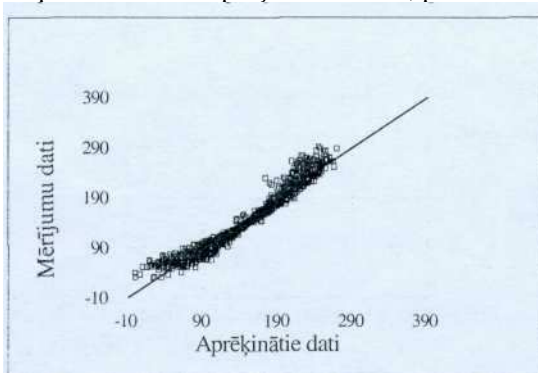
noteiktām izmaiņām ir loģisks skaidrojums no aprakstīto procesu fizikālās būtības viedokļa.



2.8.att. Atlikumu sadalījums datu kopai

salīdzinājums grafiski parādīts 2.10. attēlā.

Kā redzams 2.9 attēlā, vērojama laba korelācija starp abām datu kopām caurplūdes izmaiņu diapazona vidusdaļā 90... 190 m³/h. Ja mērījumu rezultāti precīzi atbilstu aprēķinātā vērtība, punkti atrastos uz attēlā redzamās taisnes.



2.9. att. Tīkla ūdens caurplūdes empīrisko un aprēķinu datu salīdzinājums

aparakstošs empīriskais modelis regresijas vienādojuma (2.9) veidā.

Attēlā ir redzams, ka, pieaugot slodzei un samazinoties temperatūras starpībai, pieaug ūdens caurplūde. Redzamā tendence atbilst aplūkojamo faktoru zīmei regresijas vienādojumā (2.9) un tā ir loģiski skaidrojama.

Empīriskā modeļa adekvātuma pārbaudei ir salīdzināti empīriskie un aprēķinātie dati. Datu

Vērojama lielāka punktu izkliede pie caurplūdes augstām un zemām vērtībām.

Ir veikts statistiskai analīzei pakļauto datu novērtējums. Regresijas analīzes gaitā katrā tās posmā izdarītas pārbaudes par veiktā soļa pareizību un iespēju pāriet pie analīzes

nākamā posma. Ir izvērtēts regresijas analīzes rezultāts - tīkla ūdens caurplūdi

3. nodaļa. Biokurināmā siltumapgādes sistēmas darbības optimizācija

3.1. Siltumapgādes sistēmas darbināšanas optimizācijas uzdevumi

Vadības optimizācijas uzdevumu būtība ir nodrošināt dažādu tautsaimniecības nozaru darbību ar maksimālo vēlamo efektu.

Ja šo principu lieto enerģētiskā, tad optimizācijas uzdevumus varētu izvērtēt no trīs pozīcijām:

1. Kopējā kurināmā patēriņa daudzuma minimizācija;
2. Kopējo izmaksu (naudas izteiksmē) minimizācija;
3. Kopējo kaitīgo un SEG emisiju minimizācija.

Lai samazinātu atmosfēras piesārņojumu, nepieciešams minimizēt kaitīgo un SEG emisiju daudzumu dūmgāzēs. Darbā aplūkots darbināšanas izmaksu minimizācijas uzdevums.

Siltumenerģijas ražošanas izmaksas nav atkarīgas tikai no ārējiem faktoriem - patērētāju pieslēgtās slodzes, bet arī no siltumenerģijas ražošanas un siltumapgādes sistēmu enerģijas pārvades režīmiem.

Pastāv noteikta sakarība starp darbināšanas izdevumiem I un sistēmas režīma vadību. Šo sakarību var izteikt:

$$I = I_o + I_s . \quad (3.1)$$

kur

- | | | |
|-------|---|-------------------------|
| I | - | darbināšanas izdevumi, |
| I_o | - | kontrolējamās izmaksas, |
| I_s | - | energoresursu izmaksas. |

Pirmais saskaitāmais maz atkarīgs no sistēmas darbības režīma. Tajā ietilpst tādi komponenti kā personāla darba algas, izdevumi iekārtu drošuma un efektivitātes paaugstināšanai un citi izdevumi, ieskaitot remontus un materiālus. Kontrolējamās izmaksas nav atkarīgas no katlu slodzes, bet no ekspluatācijas personāla darbības.

Otro saskaitāmo I_s veido energoresursu izmaksas jeb nekontrolējamie izdevumi. Tos veido kurināmā un ar sūkņu darbināšanu saistītās elektroenerģijas izmaksas

$$I_s = I_{kur} + I_e \quad (3.2)$$

Savukārt elektroenerģijas izmaksas saistās katlu kontūra un tīkla sūkņu darbību

$$I_e = I_k + I_t \quad (3.3)$$

Kurināmā izmaksas ir atkarīgas no katlu darbināšanas režīma un tā raksturojuma, jo dažādām katlu iekārtām ir dažādi lietderības rādītāji, kas arī, savukārt, atkarīgi no slodzes režīma. Tas nozīmē, ka patērētā kurināmā potenciālu nosaka sakarība

$$Q_{kurj} = Q_j / \eta_k \quad (3.4)$$

Siltuma apgādes sistēmas kopējo slodzi Q_j nosaka siltumenerģijas patērētājs un siltuma zudumi pārvadē. Vispārējā gadījumā var sastādīt jaudas bilanci sistēmas darbības noteiktam laika momentam x :

$$\sum_{i=1}^n Q_i - Q_s - \Delta Q_s = 0, \quad (3.5)$$

kur

- Q_i - i-tā avota (katla) siltuma slodze laika momentam τ , MW;
 Q_s - kopējā siltuma patērētāju jeb sistēmas siltuma slodzes šim pašam laika momentam x , MW;
 ΔQ_s - kopējie siltumu jaudas zudumi tīklos, MW.

Avota kopējā slodze

$$Q_j = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (3.6)$$

Siltuma zudumi tīklos konstanta ūdens temperatūrā (kvantitatīvais siltuma piegādes regulēšanas veids) nav atkarīgi no slodzes izmaiņām, bet ir atkarīgi tikai no temperatūras vērtības, cauruļvadu izvietojuma un izolācijas kvalitātes. Noteiktos siltuma zudumus pieskaita kopējai patērētāju slodzei. Šāda pieeja izmantota tālākajā optimizācijas modelī. Kurināmā izmaksas aprēķina kā

$$I_{kur} = Q_{kurj} * C_k, \quad \text{Ls/h}, \quad (3.7)$$

kur

C_k - kurināmā cena, Ls/MWh.

Atbilstoši elektroenerģijas izmaksas nosaka ar sakarību

$$I_e = (N_t + N_k) * C_e, \text{ Ls/h}, \quad (3.8)$$

kur

C_e - elektroenerģijas tarifs, Ls/MWh;

N_t - tīkla sūkņu jauda, MW;

N_k - katlu kontūra sūkņu jauda, MW.

No teiktā izriet, ka optimizācijas uzdevums ietver energoresursu izmaksu I_e minimizāciju. Tas savukārt ietver sevī divus apašuzdevumus:

- kurināmā izmaksu minimizācija;
- elektroenerģijas izmaksu minimizācija.

Pirmo apakšuzdevumu var risināt, veicot katlu mājas pieslēgtās slodzes ekonomisku sadali starp dažādiem katliem atsevišķā katlu mājā, t.i., nosakot tādu atsevišķa katla siltuma slodzes Q_i , kā arī vairāku katlu slodžu kombināciju, kas nodrošinās minimālu kurināmā patēriņu un tātad minimālas kurināmā izmaksas.

Šo nosacījumu var matemātiski izteikt:

$$\Delta I_{kur} = \min \left[\sum_{i=1}^n C_k * B_i * Q_z^d \right], \text{ Ls/h}, \quad (3.9)$$

kur

C - kurināmā cena, Ls/MWh;

B_i^d - kurināmā patēriņš, kg/s;

Q_z^d - kurināmā zemākais sadegšanas siltums, kJ/kg.

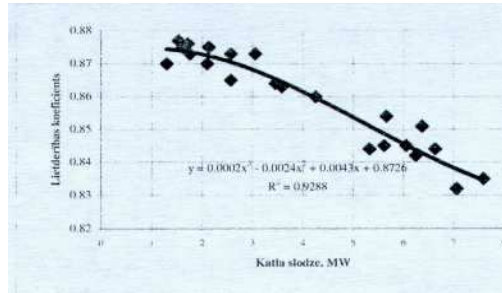
3.2. Siltumenerģijas ražošanas izmaksu minimizācija

Optimizācijas uzdevuma mērķa funkciju nosaka formula (3.9). Kā redzams no izteiksmes minimālās izmaksas nosaka virkne, no slodzes neatkarīgu, nemainīgu lielumu - kurināmā zemākais sadegšanas siltums, kurināmā cena - un mainīgi lielumi - kurināmā patēriņš, kurš ir atkarīgs no katlu energoefektivitātes - un no tā, kā slodze tiek sadalīta starp katliem. Tas nozīmē, ka uzdevuma risināšanā bez izmaksu rādītājiem ir jāiesaista arī katlu darbināšanas ekonomiskie rādītāji.

Katlu iekārtas ekonomiskākā režīma galvenais rādītājs ir lietderības koeficients, kura lielums ir atkarīgs no:

- slodzes;
- tehniskā stāvokļa;
- energoņesēja parametriem;
- kurināmā veida;
- darbināšanas režīmiem u.c.

Darbā ir izmantoti katlu izmēģinājumu dati, un to rezultāti parādīti 3.1. un 3.2. attēlā.

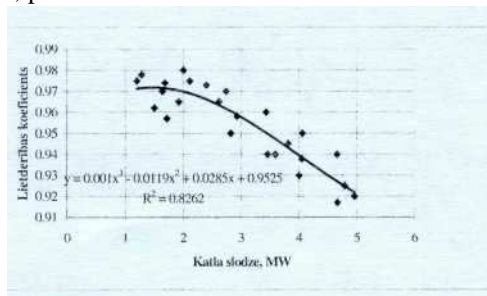


Attēlos ir parādīti vienādojumi, kuri izmantojami lietderības koeficientu aprēķiniem dažādu slodžu gadījumos. Ir redzams, ka datus aprakstošo vienādojumu korelācijas koeficienti ir augsti.

3.1.att.Šķeldas katla lietderības koeficienta izmamas atkarība no slodzes

Tie ir kurināmā īpatnējās izmaksas i_k , Ls/MWh un relatīvās izmaksu izmaiņas ϵ_k Ls/MWh. Abu indikatoru mērvienības ir vienādas, taču atšķirīga to fizikālā jēga. Kurināmā īpatnējās izmaksas raksturo izmaksas uz jaudas vienību dažādām katla slodzēm. Runājot par katla kurināmā patēriņu, tam atbilstu īpatnējais kurināmā patēriņš. Relatīvās kurināmā izmaksu izmaiņas rāda, par

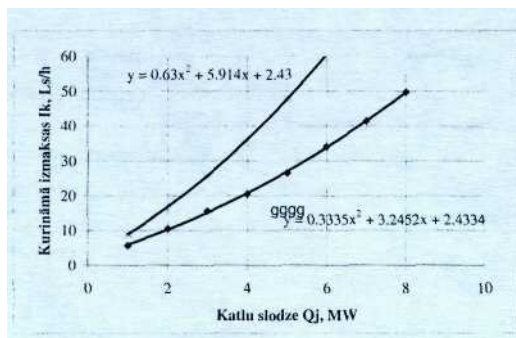
Katla darbināšanas režīma novērtēšanai ir jāaplūko divi lielumi.



cik mainās (pieaug) izmaksas uz vienu jaudas vienību. Aplūkotā metodika lietota tādu šķeldas un gāzes katlu, kuru lietderības koeficientu izmaiņas redzamas 3.1. un 3.2. attēlos, darbināšanas režīmu optimizācijai. Kurināmā izmaksu liknes katliem aprēķinātas pieņemot, ka

3.2. att. Gāzes katla lietderības koeficienta izmaiņas atkarībā no slodzes
 šķeldas cena ir 5 Ls/MWh un gāzes 8,6 Ls/MWh vai 80 Ls/1000 m³. Katlu izmaksu raksturlīknes parādītas 3.3. attēlā

Attēlā ir redzams, ka gāzes katla kurināmā izmaksas visā slodžu diapazonā ir augstākas par šķeldas katla izmaksām. Tas ir vērojams, kaut arī gāzes katla lietderības koeficients visā slodžu diapazonā ir augstāks par šķeldas katla lietderības koeficientu. Koksnes kurināmā katlu lietderības koeficienti ir zemi,



3.3. att. Kurināmā izmaksu izmaiņas atkarībā no katlu slodzes

izmaksas, neskatoties uz to, ka koksnes kurināmais ir lētāks, varētu izlīdzināties vai gāzes gadījumā būtu zemākas.

Aplūkojamiem katliem, kā redzams 3.3. attēlā, kurināmā izmaksas ir aptuveni vienādas, ja šķeldas katla slodze ir 7,5 MW un gāzes

katlam tuvu 5 MW-

Attēlā redzamām līknēm ar korelācijas

analīzes palīdzību ir atrasti tās aprakstoši matemātiski vienādojumi, kuri nepieciešami indikatoru I_k un ϵ_k izvērtēšanai.

Kurināmā izmaksas šķeldas gadījumā nosaka kā

$$I_{kš} = 0,333 \cdot Q_{jš}^2 + 3,245 \cdot Q_{jš} + 2,433. \quad (3.10)$$

Gāzes kurināma gadījuma izmaksas aprēķina ar vienādojumu

$$I_{kg} = 0,63 \cdot Q_{jg}^2 + 5,914 \cdot Q_{jg} + 2,43. \quad (3.11)$$

Izmantojot izteiksmes (3.10) un (3.11) iegūst vienādojumus kurināma īpatnējo izmaksu un kurināmā relatīvo izmaksu izmaiņu noteikšanai šķeldas un gāzes kurināmam:

$$i_{kš} = 0,333 \cdot Q_{jš} + 2,433/Q_{jš} + 3,245 \quad (3.12)$$

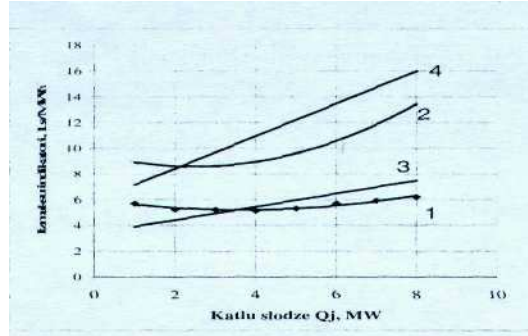
$$i_{kg} = 0,63 \cdot Q_{jg} + 2,43/Q_{jg} + 5,914 \quad (3.13)$$

$$\epsilon_{kš} = 0,666 \cdot Q_{jš} + 3,245 \quad (3.14)$$

$$\epsilon_{kg} = 1,26 \cdot Q_{jg} + 5,914 \quad (3.15)$$

Vienādojumu (3.12...3.15) grafiskā interpretācija redzama 3.4. attēlā.

Attēlā ir redzams, ka šķeldas katla optimālā slodze ir aptuveni 4 MW un gāzes katla - 2 MW. Minētās slodzēs kurināmā izmaksas uz jaudas vienību ir minimālas un tās pieaug gan slodzes samazināšanas, gan pieauguma gadījumā. Režīma indikācijai, kā minēts iepriekš, kalpo kurināmā relatīvo izmaksu izmaiņu rādītājs. Analīze rāda, ar kādu slodzi, ja tas ir iespējams, vēlams darbināt katru katlu atsevišķi. Savukārt, ja jāizvēlas šķeldas katls vai gāzes katls, tad šajā konkrētajā gadījumā priekšroka dodama šķeldas katlam, jo šķeldas katla īpatnējās kurināmā izmaksas visā slodzes izmaiņu diapazonā ir zemākas par gāzes katla īpatnējām kurināmā izmaksām pat optimālā režīmā. Kā jau minēts iepriekš, ja koksnes kurināmo izmantojošu katlu lietderības koeficienti ir zemi, analīzes rezultāti var būt atšķirīgi no šeit iegūtajiem.



Ja siltuma avota slodze pārsniedz atsevišķa, pat jaudīgākā katla maksimālo slodzi, tad nepieciešams darbināt abus katlus. Savukārt, ja slodze ir mazāka par abu katlu maksimālo slodžu summu, tad jautājums ir par katru katla noslodzi.

3.4 att. Izmaksu indikatoru izmaiņas atkarība no katlu slodzes

uzdevums šoreiz ir noteikt abu katlu kopīgas darbības režīmus, kuros tiek nosepta avota summārā slodze Q_{Σ} pie minimālām kurināmā izmaksām $I_{\Sigma k}$. Ja nepieciešams darbināt abus katlus un pieaug slodze, tad jārisina jautājums, kuru katlu papildus slogot. Uzdevumu var raksturot kā nepieciešamību atrast mērķa funkcijas minimumu

$$I_{\Sigma k} = I_{kš} + I_{kg} \rightarrow \min, \quad (3.16)$$

pie nosacījuma

$$Q_{jš} + Q_{jg} = Q_{\Sigma j}. \quad (3.17)$$

Lai izpētītu funkcijas minimumu, kā neatkarīgais mainīgais tiek ņemta viena katla slodze, piemēram, šķeldas katla, un kurināmā izmaksu atvasinājums pielīdzināts nullei:

$$dI_{\Sigma k} / dQ_{\Sigma j} = dI_{kš} / dQ_{jš} + dI_{kg} / dQ_{jg} = 0. \quad (4.20)$$

Izmantojot summāras slodzes vienlīdzības nosacījumu uzdotajai slodzei Q_{Σ} un ņemot palīgfunkciju

$$Q_{jg} = Q_{\Sigma j} - Q_{j\dot{s}},$$

tad

$$dI_{kg}/dQ_{j\dot{s}} = dI_{kg}/dQ_{jg} * dQ_{jg}/dQ_{j\dot{s}} = dI_{kg}/dQ_{jg} * d(Q_{\Sigma j} - Q_{j\dot{s}})/dQ_{j\dot{s}} = -dI_{kg}/dQ_{jg}. \quad (3.19)$$

Tas nozīmē, ka

$$dI_{k\dot{s}}/dQ_{j\dot{s}} - dI_{kg}/dQ_{jg} = 0. \quad (3.20)$$

No tā izriet, ka kopēja kurināmā izmaksu minimuma nosacījums ir katra katla kurināmā izmaksu atvasinājuma vienlīdzība pēc tā slodzes:

$$dI_{k\dot{s}}/dQ_{j\dot{s}} = dI_{kg}/dQ_{jg}. \quad (3.21)$$

Šis atvasinājums ir kurināmā relatīvās izmaksu izmaiņas un iepriekš apzīmēts ar ϵ . Vienādojums (3.21) nosaka, ka

$$\epsilon_{k\dot{s}} = \epsilon_{kg} \quad (3.22)$$

Vispārējā vairāku katlu gadījumā var apgalvot, ka

$$\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3 = \dots = \epsilon_N. \quad (3.23)$$

3.3. Siltumapgādes sistēmas darbināšanas režīmu izmaksu minimizācija

Siltumenerģijas ražošanas izmaksu minimizācija neizsmeļ visas izmaksu samazināšanas iespējas. Kā redzams vienādojumā (3.2), daļa no izmaksām ir saistīta ar ar tīkla un katla kontūra sūkņu piedziņai patērēto elektroenerģiju (3.3). Šis izmaksas nosaka enerģijas pārvades režīmi, to regulēšanas veids (kvantitatīvs, kvalitatīvs), tīklu darbināšanas temperatūras grafiks, katlu darbināšanas temperatūras ierobežojumi, siltumapmaiņas procesi tīkla siltummainī u.c. Savukārt darbināšanas režīmi ietekmē katlu lietderības koeficientus un tātad kurināmā patēriņu un izmaksas. Izmaksu minimizācija un rezultāti tiks aplūkoti zemāk.

Izmaksas I_s , I_{kur} un I_e nosaka kā Ls/h noteiktas siltuma slodzes Q_i realizācijas gadījumā. Lai noteiktu sistēmas darbināšanas izmaksas gadā, ir jāzina, cik stundu gadā ir vērojama aplūkotā slodze. Tad izmaksas gadā nosaka ar sekojošām sakarībām:

$$I_{sg} = \sum_{j=1}^{j=m} I_{sj} * \tau_j, \text{ Ls/gadā}, \quad (3.24)$$

$$I_{kurg} = \sum_{j=1}^{j=m} I_{kurj} * \tau_j, \text{ Ls/gadā}, \quad (3.25)$$

$$I_{eg} = \sum_{j=1}^{j=m} I_{ej} * \tau_j, \text{ Ls/gadā}, \quad (3.26)$$

kur

I_{sj} , I_{kurj} , I_{ej} - attiecīgi minimālās kopējās, kurināmā un elektroenerģijas izmaksas Q_i režīmā, Ls/h;
 τ_j - Q_i režīma ilgums gadā, h.

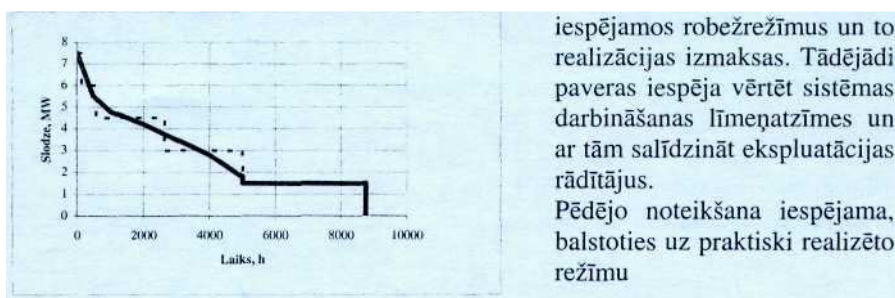
Lai noteiktu attiecīgās daļējās slodzes ilgumu, slodzes ilguma grafiku aproksimē, kā parādīts 3.5. attēlā.

Siltumapgādes sistēmas darbināšanas režīmu izmaksu minimizācija veikta, izmantojot divas atšķirīgas pieejas:

- veicot analīzi ar termodinamisku, siltuma bilances u.c. likumsakarību palīdzību;
- izmantojot sistēmas darbināšanas datu statistiskās analīzes rezultātus.

Katra pieeja nodrošina atšķirīga rakstura informāciju par sistēmas darbināšanu.

Pirmā pieeja ļauj modelēt un izvērtēt sistēmas darbināšanas



3.5. att. Slodzes ilguma grafika aproksimācija

statistiskās analīzes rezultātiem, izmantojot korelācijas un regresijas analīzē iegūtās empīriskās sakarības. Abās pieejās iegūto datu salīdzinājums ļauj izvērtēt, cik tuvu vai tālu ir praktiskās darbības rādītāji nospraustajām līmeņatzīmēm. Izvērtējuma veic, salīdzinot darbināšanas izmaksas Ls/gadā

3.3.1. Siltumapgādes sistēmas darbināšanas optimālie režīmi kvantitatīvas vai kvalitatīvas regulēšanas gadījumā

Kvantitatīvas regulēšanas gadījumā tīkla ūdens turpgaitas temperatūra ir nemainīga un patērētājam piegādātās enerģijas daudzumu nodrošina, regulējot tīklu caurplūdi. Turpgaitas temperatūras vērtības atsevišķās sistēmās var būt dažādas. Parasti to vērtība mēdz būt 95... 120 °C robežās. Optimizācijas mērķa funkciju var aprakstīt kā

$$I_{sk} = \sum_{j=1}^{j=m} I_{sj}(Q_j, t_{1j}, \Delta t, \Delta t', G, G_k, C_k, C_r) * \tau_j(Q_j) \rightarrow \min, \text{Ls/gadā} \quad (3.27)$$

Izteiksme liecina, ka sistēmas darbināšanas minimālas izmaksas veido katrai slodzei atbilstošas minimālas izmaksas I_{sj} , Ls/h un minētās slodzes ilguma reizinājums. Slodzes ilgumu τ_j gadā nosaka slodzes ilguma grafiks, kurš ir atkarīgs no ārējās temperatūras izmaiņām aplūkojamā reģionā. Optimizācijas uzdevums ir saistīts ar katram slodzes līmenim Q_j atbilstošas minimālās kopējo izmaksu vērtības I_{sj} , Ls/h atrašanu. Izmaksas ir atkarīgas no darbināšanas režīmu parametriem, un tātad režīma minimālajām izmaksām atbilstošie rādītāji ir režīma parametru optimālās vērtības.

Siltumapgādes sistēmas minimālās darbināšanas izmaksas nosaka ne tikai tīkla, bet arī katlu kontūra darba režīmi. Abi kontūri ir saistīti caur tīkla ūdens siltummaiņiem, un kontūru savstarpējo ietekmi nosaka un limitē siltuma pārejas procesi siltummaiņos. Darbā modelēti režīmi ar mainīgām katla kontūra caurplūdes vērtībām.

Minimālās izmaksu vērtības tiek sasniegtas, līdzīgi kā tīklu gadījumā, ja minimālām katlu kontūra caurplūdes ir minimālas. Tātad minimālas izmaksas tiek sasniegtas, ja minimālas

- tīklu caurplūdes;
- katlu kontūru caurplūdes.

Minimālo izmaksu izmaiņas konstantas turpgaitas temperatūras gadījumam (105 °C) dažādām avotu slodzēm var aprakstīt ar vienādojumu

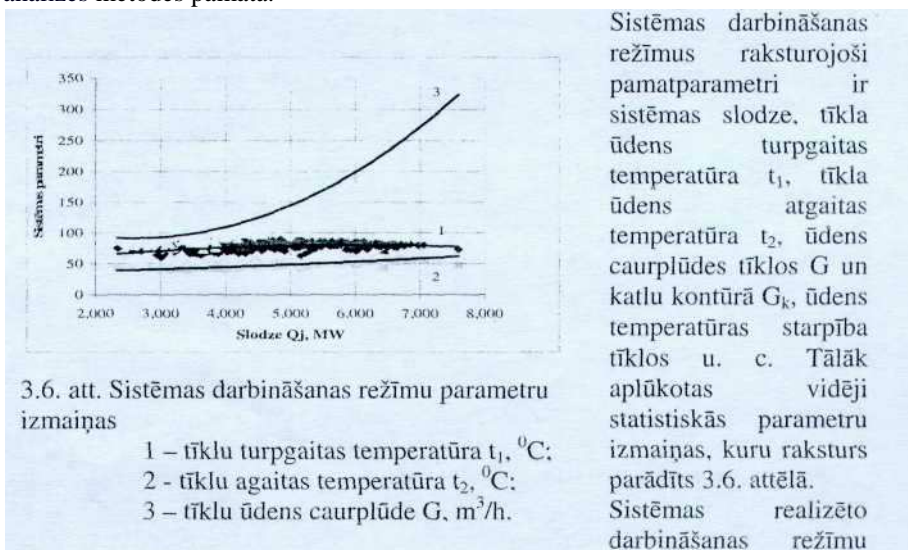
$$I_s = -0,0943 * Q^2 + 7.17 * Q - 3.71, \text{Ls/h.} \quad (3.28)$$

To pašu režīmos, kuros turpgaitas temperatūru regulē atbilstoši tīkla ūdens temperatūras grafikam, raksturo vienādojums

$$I_s = -0,0892 \cdot Q^2 + 6,769 \cdot Q - 0,954, \text{ Ls/h.} \quad (3.29)$$

3.3.2. Siltumapgādes sistēmas darbināšanas vidēji statistiskos režīmos gada izmaksas

Sistēmas darbināšanas līmeņatzīmju salīdzinājums ar vidēji statistisko darbināšanas režīmu izmaksām ir piedāvātās siltumapgādes sistēmas analīzes metodes pamatā.



3.6. att. Sistēmas darbināšanas režīmu parametru izmaiņas

- 1 – tīklu turpgaitas temperatūra t_1 , $^{\circ}\text{C}$;
- 2 – tīklu atgaitas temperatūra t_2 , $^{\circ}\text{C}$;
- 3 – tīklu ūdens caurplūde G , m^3/h .

parametru izmaiņu raksturs liecina, ka vērojamas zināma nenoteiktība darbināšanas parametru izvēlē. Tā (turpgaitas temperatūra) vērtības, pieaugot slodzei, pieaug, sasniedzot maksimālo lielumu aptuveni 5 MW slodzes gadījumā, un tālāk pazeminās. Ir redzams, ka augstākās turpgaitas temperatūru vērtības ir zemākas par augstākām iespējamām kā kvalitatīvas tā kvantitatīvas regulēšanas gadījumā.

Izmaksu aprēķins sākas ar parametru izmaiņas raksturojošu regresijas vienādojumu ievadīšanu. Vienādojumos slodze noteikta MW. Turpgaitas temperatūras noteikšanai izmantojams regresijas vienādojums

$$t_1 = 42,1 + 12,9 \cdot Q_j - Q_j^2, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3.30)$$

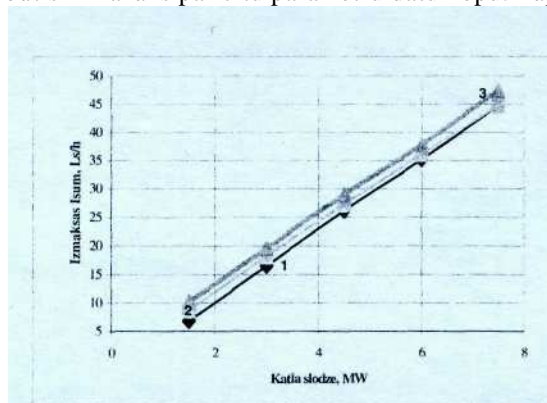
Tīkla ūdens atgaitas temperatūras izmaiņas raksturo izteiksme

$$t_2 = 35 + 1,2 \cdot Q_j + 0,3 \cdot Q_j^2, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3.31)$$

Tīkla ūdens caurplūdes vērtības aprēķinātas izmantojot regresijas vienādojumu

$$G = 149,4 + 34,4 \cdot Q_j - 5,62 \cdot (t_1 - t_2), \text{ m}^3/\text{h}. \quad (3.32)$$

Katla kontūra rādītājus aplūkojamais siltumapgādes uzņēmums apkures sezonas laikā nefiksēja, un to ieguvei bija nepieciešami papildus mērījumi. To apjoms ir būtiski mazāks par citu parametru datu kopu. Tāpēc nav veikta katla kontūra



3.7. att. Kopējo izmaksu izmaiņu salīdzinājums
 1 – $t_1 = 105 \text{ } ^\circ\text{C}$; 2 – $t_1 = f(\text{tāg})$;
 .3 – vidēji statistiskie režīmi

datu statistiska analīze un nav iegūti datus raksturojoši regresijas vienādojumi. Aprēķinos izmantotās datu vērtības iegūtas darbā veiktās analīzes rezultātā. Ūdens caurplūde katlu kontūrā G_k ir pieņemta vienāda ar tīkla ūdens caurplūdi G , jo, kā parādīja tīkla ūdens siltummaiņa darbības analīze, tādā veidā

tiek nodrošināti siltumapgādes nosacījumi siltummainī pie iespējami zemākam caurplūdēm katla kontūrā.

Darbināšanas režīmu izmaksu vērtības un to izmaiņas atkarībā no sistēmas siltuma slodzes parādītas 3.7. attēlā. Ir veikta izmaksu analīze, un iegūtie rezultāti apliecina piedāvātās metodikas lietderību darbināmas siltumapgādes sistēmas datu analīzē un sistēmas efektivitātes paaugstināšanas ekonomiskā izvērtēšanā.

Darbā siltumapgādes sistēmas reālo režīmu novērtējumam ir veikta triju apkures sezonu režīmu parametru statistiskā analīze, izmantojot regresijas un korelācijas analīzes metodes.

Ir izvērtēts regresijas analīzes rezultāts - tīkla ūdens caurplūdi aprakstošs empīriskais modelis regresijas vienādojuma (3.32) veidā. Iegūti arī citu parametru regresijas vienādojumi.

Secinājumi:

1. Izstrādāta metodika veiksmīgu energoefektivitātes projektu atlasei dažādos Latvijas reģionos.
2. Datu regresijas analīzes lietojums ir korekts, jo atkarīgie mainīgie lielumi pakļaujas normālam sadalījuma likumam.
3. Empīriskais modelis regresijas vienādojuma (3.32) veidā ietver sevī galvenos caurplūdi noteicošus faktorus, to zīmes vienādojumā ir loģiskas un atbilst procesu fizikālajam skaidrojumam. Mazāko kvadrātu metodes lietojums lielumu noteikšanā ir pamatots un šo lielumu vērtības nav izkropļotas, jo noteiktais DW kritērijs ir tuvu pieļaujamai tā robežvērtībai. Regresijas vienādojuma koeficientu novērtējums ir korekts, jo starp tiem nav vērojama korelācija. Datu novērtējuma standarta kļūda ir novērtēta korekti, jo atlikumu sadalījums atkarībā no atkarīgā un neatkarīgiem mainīgajiem ir vienmērīgs.
4. Ir piedāvāta un praktiski aprobēta metodika siltumapgādes sistēmas darbināšanas empīrisko datu statistiskai analīzei un uz tās pamatotai aprēķinu sakarību ieguvei. Empīriskais modelis ir lietojams siltumapgādes sistēmas tīkla ūdens caurplūdes aprēķiniem kā arī izmaiņu prognozēm siltumapgādes sistēmu darbināšanas režīmu izvērtēšanai.
5. Darbā veiktās siltumenerģijas ražošanas izmaksu analīzes rezultātā var izdarīt sekojošus secinājumus:
 - piedāvāta un aprobēta uz divu dažāda kurināmā katlu piemēra metodika katla optimālā darbināšanas režīma noteikšanai, izejot no to kurināmā izmaksu minimizācijas;
 - piedāvāta un aprobēta metodika avota katlu kopīgas darbības režīmu optimizācijai, nosedzot avota kopējo slodzi pie minimālām kurināmā izmaksām;

- ja avotā lieto viena veida kurināmo, abas metodikas lietojamas darbināšanas režīmu optimizācijai no minimālā kurināmā patēriņa viedokļa.
- 6. Siltumapgādes sistēmas kopumā darbināšanas režīmu izmaksu analīze veikta, izmantojot divas atšķirīgas pieejas:
 - veicot analīzi ar termodinamisku, siltuma bilances u.c. likumsakarību palīdzību, ja sistēma tiek regulēta kvantitatīvi vai kvalitatīvi;
 - izmantojot sistēmas darbināšanas datu statistiskās analīzes rezultātus.

Veikta sistēmas darbināšanas režīmu izmaksu analīze rāda, ka vislielākās izmaksas ir vidēji statistiskos sistēmas darbināšanas režīmos. Pašreiz realizētās siltumapgādes sistēmas vadības gadījumā darbināšanas izmaksas ir aptuveni par 11000 Ls/gadā vai par 6.2 % augstākas nekā tad, ja sistēmas turpgaitas temperatūra tiek regulēta atbilstoši tīkla ūdens temperatūras grafikam (kvalitatīva regulēšana). Pašreizējo darbināšanas režīmu izmaksas salīdzinājumā ar tādu režīmu, kuros turpgaitas temperatūra ir maksimāla un nemainīga (kvantitatīva regulēšana), izmaksām starpība ir aptuveni 21000 Ls/gadā vai 13 %. Izmaksu analīzes rezultāti ir aptuveni, taču tie raksturo izmaksu izmaiņu tendences un norāda ceļus to samazināšanai. Veiktā izmaksu analīze un iegūtie rezultāti apliecina piedāvātās metodikas lietderību darbināmas siltumapgādes sistēmas datu analīzē un sistēmas efektivitātes paaugstināšanas ekonomiskā izvērtēšanā.