

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Transporta un Mašīnzinību fakultāte
Siltumenerģētisko sistēmu katedra

Aivars CERS

Doktora studiju programmas „Siltumtehnika” RMDM3 doktorants

**KOMBINĒTĀ CIKLA GĀZES TRIGENERĀCIJA
MĒRENA KLIMATA APSTĀKĻOS**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs:

Dr.habil.sc.ing., profesors

Daniels TURLAJS

RTU Izdevniecība

Rīga 2013

UDK 621.1.016.4(043.2)

662.76 + 697](043.2)

Ce 820 k

Cers A. Kombinētā cikla gāzes triģenerācija mērena klimata apstākļos.
Promocijas darba kopsavilkums. – R.: RTU Izdevniecība, 2013. – 26 lpp.

Iespiests saskaņā ar Promocijas padomes „RTU P-12”
2013. gada 08.februāra lēmumu, protokols Nr. P-12-1.

ISBN 978-9934-10-419-0

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA ZINĀTNISKĀ GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora zinātniskā grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts promocijas padomē „RTU P-12” 2013. gada 07.jūnijā 14:00, Rīgā, Āzenes ielā 16/20, Būvniecības fakultātes sēžu zālē.

OFICIĀLIE RECENZENTI

LZA goda loceklis, Dr.hab.sc.ing., profesors Viktors Zēbergs
LZA Fizikāli Enerģētiskais institūts

Dr. sc. ing., profesors Vytautas Dagilis
Kauņas Tehnoloģiju Universitāte, Lietuva

Dr. chem.sc. Andris Akermanis
Latvijas Siltumuzņēmumu Asociācija

APSTIPRINĀJUMS

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

Aivars Cers _____

Datums _____

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, septiņas nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 50 zīmējumus un ilustrācijas, 20 tabulas, kopā 112 lappuses. Literatūras sarakstā ir 99 nosaukumi.

ANOTĀCIJA

Viena no mūsdienu enerģētikas progresīvākajām tehnoloģijām, kas nodrošina augstu kurināmā izmantošanas lietderību, zemus izmešus un energoiekārtas elastīgu jaudas izmaiņas procesu, ir kombinētā cikla gāzes koģenerācija (KCGK) un triģenerācijā (KCGT).

Promocijas darbā izstrādāts īpašs absorbcijas dzesētāju pielietojums KCGT zema potenciāla siltuma nodošanai siltuma tīklā. Pētījuma rezultātā rasts risinājums absorbcijas dzesētāja ražības paaugstināšanai augstas atgaitas temperatūras apstākļos.

Kā KCGTefektivitātes paaugstināšanas pasākums tiek piedāvāts Centralizētās aukstumapgādes (CA) ieviešana Latvijas apstākļos, kurai izstrādāts datormodelis ražošanas un aukstuma izmaksu noteikšanai. KCGT darbībā integrēta absorbcijas dzesētāja ģenerātoru siltuma plūsmas noteikšanai matemātiski aprakstīts nestacionārs temperatūras lauks cilindrisku siltumvadu aptverošai videi.

Promocijas darba izstrāde veikta ar KCGKdarbību ietekmējošo faktoru analīzi, kas palīdzēja izveidot un aprobēt optimizācijas modeli un piedāvāt modelēšanas rezultātu testēšanas metodi.

Darbā ir piedāvāti risinājumi, kā paaugstināt KCGK kopējo lietderību valstīs ar mērenu klimatu, utilizējot līdz šim neizmantoto tehnoloģiskā procesa zema potenciāla siltumu, kas tradicionāli ticis izvadīts apkārtējā vidē. Piedāvātais risinājums ļauj paaugstināt KCGK kopējo efektivitāti vismaz par 2%. Eksperimentālajā objektā sasniegtā dabas gāzes ekonomija ir 1,4 milj. n. m³ gadā. Tiek piedāvāta centralizētās aukstumapgādes ieviešanas metodoloģija atbilstoši Latvijas enerģētikas ilgtspējas indeksācijai. Izstrādātajiem risinājumiem veikta eksperimentālā un praktiskā pārbaude A/S RĪGAS SILTUMS Siltumcentrālē (SC) IMANTA, kur uzstādītajam absorbcijas dzesētājam veikta darbības izpēte vairāku gadu garumā un iegūtā pieredze izmantota KCGK darbības optimizācijas algoritma izstrādei un testēšanas metožu pārbaudei. Promocijas darba pētījumu galvenie rezultāti ir ziņoti divpadsmit starptautiskās konferencēs un semināros, kā arī apkopoti 17 publikācijās.

Iegūtie pētījuma rezultāti ieviesti RTU studiju programmās, tos var izmantot centralizēta siltuma, aukstuma un elektroenerģijas ražotāji, projektētāji, plānotāji un attīstītāji – celtniecības variantu izvērtēšanai papildus siltuma jaudas nodrošināšanai, neveicot ievērojamas staciju pārbūves.

SATURS

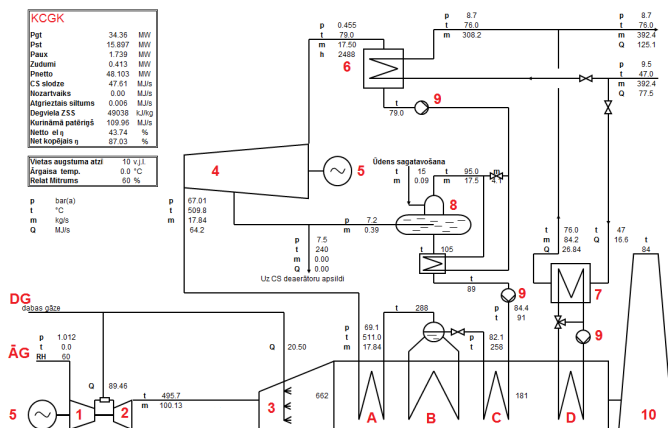
ANOTĀCIJA	4
1. IEVADS	5
1.1. Kombinētā cikla gāzes koģenerācijas iekārtas.....	5
1.2. Tēmas aktualitāte	7
1.3. Darba mērķis.....	8
1.4. Risināmie uzdevumi.....	9
1.5. Zinātniskā novitāte.....	9
1.6. Darba praktiskā nozīme	10
1.7. Aprobācija.....	10
2. KCGK DARBĪBA LATVIJAS APSTĀKĻOS	11
2.1.KCGK darbības īpatnības	11
2.2 Rīgas klimata specifika	13
2.3. Centralizētās aukstumapgādes ieviešana Latvijā	15
2.4. Eksperimenta objekts	18
3. SILTUMAPMAIŅAS PROCESI ABSORBCIJAS DZESĒŠANAS MAŠĪNĀS ...	19
4. ABSORBCIJAS DZESĒTĀJA DARBĪBAS RĀDĪTĀJU PAAUGSTINĀŠANAS METODIKA	21
4.1. Absorbcijas dzesētāja darbības efektivitātes uzlabošanas iespējas.....	22
SECINĀJUMI.....	23
PUBLIKĀCIJAS.....	24

1. IEVADS

1.1. Kombinētā cikla gāzes koģenerācijas iekārtas

Kombinētā cikla gāzes koģenerācijas (KCGK) iekārtas pamatprincips ir apvienot divus termodinamiskos ciklus vienā enerģētiskā kompleksā, kur gāzes turbīnas (GT) cikls darbojas augstāku temperatūru diapazonā un tvaika turbīna (TT) - zemāku temperatūru diapazonā. Procesa galarezultātā iegūtā elektriskā strāva un siltumtīklos novadītais siltums ir kombinētā cikla lietderīgi iegūtie enerģijas veidi. Tipiska KCGK ir parādīta 1.1. attēlā. Kā paraugs un pētāmais objekts izmantota AS

RĪGAS SILTUMS SC IMANTA uzstādītā koģenerācijas iekārta (KE). Attēlā atspoguļota KCGK principiālā shēma ar siltuma un masas bilancēm. KE galvenajiem elementiem attēla paskaidrojošajā daļā piešķirta attiecīga numerācija. GT cikla nostrādātais un neizmantotais potenciāls tiek izmantots zemākas temperatūras cikla, t.i. TT (4) darbības nodrošināšanai. KE darbība kombinētā ciklā nodrošina ievērojami augstāku kopējo cikla lietderību par katra cikla darbību atsevišķi. KCGK sastāv no trim galvenajiem komponentiem: GT(2), katla utilizatora KU(3) un TT. GT darbības nodrošināšanai āra gaiss (ĀG) tiek padots uz GT, kur tas tiek saspīests kompresorā(1), lai nodrošinātu kurināmā, parasti dabas gāzes (DG), sadedzināšanu. Radušās karstās dūmgāzes izplešas turbīnā, kura ir sajūgta ar kompresoru un strāvas ģeneratoru



1.1. att. KCGK principiālā shēma un procesa siltuma un masas bilances
Apzīmējumi: 1- GK; 2- GT; 3- KU; 4- TT; 5- Ģenerators; 6- Kondensators;
7- siltummainis; 8- deaerators; 9- sūkņu iekārtas; 10- dūmenis; A- KU
pārkarsētājs; B- KU tvaika kontūrs; C- KU ekonomāizers; D- atslēdzama
termofikācijas cilpa; DG- dabas gāze; ĀG- āra gaiss.

KCGK sasaistošais elements ir KU, kurš savieno abu ciklu darbību. KU no GT saņem atstrādātās dūmgāzes ar augstu temperatūras potenciālu un izmanto to tvaika izstrādei. KU parasti sastāv no trim sildvirsmu grupām: tvaika pārkarsētāja, aktīvas siltumapmaiņas cauruļu kūļa un ekonomāizera. Šie KU siltumapmaiņas elementi sagrupēti pēc to temperatūras potenciāla. Visas sildvirsmu grupas (A; B; C un D) savieno KU boileris. Ņemot vērā, ka KU ievadāmās dūmgāzes ir ar augstu gaisa

pārpilnības koeficientu $\alpha \div 4$, dūmgāzu potenciāls parasti tiek paaugstināts ar klonā degļu palīdzību bez papildus gaisa pievadīšanas sadegšanas procesa nodrošināšanai. KU ekonomāizeri var būt kā pastāvīgas darbības (C) , tā arī ar atslēdzamām sildvirsmām (D), kuras tiek izmantotas termofikācijas vajadzībām pilnas noslodzes gadījumā un tiek atslēgtas minimālas siltumslozdes apstākļos. Atstrādātās dūmgāzes tiek izvadītas pa dūmeni(10) atmosfērā. Īpašiem gadījumiem, kad ir paredzēts izmantot tikai GT ciklu, pirms KU tiek uzstādīts atsevišķs GT dūmenis. Augsta potenciāla un kvalitātes tvaiks, kurš uzkrāts un sagatavots boilerī, tiek tālāk nodots TT, kas var būt kondensācijas vai pārsvarā pretspiediena, ar nozartvaika ekstrakciju vai bez tās. Tvaiks izplešas un tiek izmantots TT ģeneratora (5) mehāniskajai piedziņai, savukārt atstrādātais tvaiks tiek nodots tālākai kondensācijai kondensatorā (6). Kondensatora dzesēšanas sistēma siltumu atdot termofikācijas vajadzībām. Pēc tam radušais kondensāts tiek atgriezts deaerātorā bākā (8) un atkal atgriežas TT ciklā. Cikla darbībā ūdens cirkulācija tiek nodrošināta ar sūkņu (9) palīdzību. Mūsdienā KCGK iekārtu lietderības koeficients η piemērotas noslodzes apstākļos sasniedz 84÷88%.

1.2. Tēmas aktualitāte

21. gadsimta sākums jau ir iegājis vēsturē ar strauju gāzturbīnu kombinētā cikla koģenerācijas iekārtu ieviešanu visā pasaulē. Pēdējos gados strauji aug koģenerācijā saražotās enerģijas īpatsvars, tāpēc ir nozīmīgi maksimāli palielināt koģenerācijas un triģenerācijas procesu efektivitāti. Koģenerācija dod iespēju saražot elektroenerģiju ar visefektīvāko siltuma izmantošanu. Parasti šī attiecība ir 1:1 vai pat vēl labāka. Latvijai nav savu dabas gāzes atradņu, bet ir apakšzemes dabas gāzes krātuve, kas stabilizē piegādes drošību valstī un tuvākajiem kaimiņiem. Sakarā ar to, ka dabas gāze Austrumeiropā tiek piegādāta gandrīz vienīgi un ekskluzīvi no Krievijas un tās cena ir sasaistīta ar naftas cenu. Kura pēdējo gadu laikā ir ievērojami pieaugusi. Situāciju padara problemātisku arī mazie apjomi, kādi tiek iepirkti sakarā ar ekonomikas nelielo apjomu. Papildus objektīviem tirgus apstākļiem jāmin arī citi apgrūtinājumi, ko radījusi akcīzes nodokļa un CO₂ emisiju sistēmas ieviešana. Sakarā ar Eiropas ekonomikas lejupslīdi pēdējos gados, elektroenerģijas cena tirgū ir relatīvi zema un gāzes koģenerācijas iekārtām ir grūti konkurēt ar HES un AES. Viss augstāk

minētais rada priekšnosacījumus, lai gāzturbīnu kombinētā cikla koģenerācijas stacijas Latvijā tiktu darbinātas maksimāli efektīvos režīmos un milzīga nozīme tiktu pievērsta atsevišķu iekārtu darbības efektivitātei. Pēdējo gadu ekspluatācijas pieredze uzrāda labus efektivitātes rādītājus lielākajās Latvijas KCGKspēkstacijās: Rīgas TEC1; TEC2 un SC Imantas. Šo staciju vidējais lietderības koeficients ir augsts: $84 \pm 86\%$. Lai vēl vairāk uzlabotu KCGK rādītājus, nepieciešams izstrādāt tehnoloģiskus risinājumus efektivitātes paaugstināšanai. Šāda iekārta varētu būt absorbcijas dzesētājs (AD), kas nodzesē KCGK tehnoloģiskos ūdeņus. Tas ļautu utilizēt līdz 2% no KCGK ievadāmā kurināmā, un vienlaikus tehnoloģijas iestrādnēs rastu Latvijai adaptētu risinājumu CA ieviešanai ar mērķi stabilizēt KE vasaras ražošanas apjomus, piegādāt patērētājiem jaunu produktu un gūt papildu ieņēmumus. AD adaptāciju un ieviešanu AS RĪGAS SILTUMS veica, sadarbojoties ar Rīgas Tehniskās universitātes (RTU), Transporta un Mašīnzinību fakultātes (TMF) Siltumapgādes katedras speciālistiem.

Ārzemju zinātnieki: R. Bests; V.Dagilis; L.Hargo; T.Hoels; M. Ishimatsu; R.M. Hummelshejs; T. Kashiwagi; J.Ko, R.Linkors; M. Magnussons; R. Marcos; M.Marinova; T.Oda; V.Patnaiks; J.Stags; R. Ulsets; R. Voskens u.c. padziļināti pētījuši KE un KCGT iekārtu energoefektivitātes un siltumapgādes režīmu jautājumus, siltumsūkņu un AD pielietojumu siltumapgādē un triģenerācijas izveidē. Latvijas zinātnieki: A.Akermanis; J.Barkāns; V.Barkāns; D.Blumberga; E.Dzelzītis; V.Grivcovs; U.Iļjins; A.Krēsliņš; A.Lešinskis; U.Osis; M.Rubīna; G.Stankeviča; P.Šipkovs; A.Temkins; D.Turlajs; I.Veidenbergs; V.Zēbergs; N.Zeltiņš; Ā.Žīgurs u.c. pirms manis pētījuši Koģenerācijas un patērētāju energoefektivitāti, siltumapgādes režīmus, siltumsūkņu un absorbcijas dzesētāju pielietojumu siltumapgādes un triģenerācijas vajadzībām, kā arī veikuši siltumfizikālo procesu matemātisku aprakstīšanu.

1.3. Darba mērķis

Darba mērķis ir izstrādāt metodiskas nostādnes KCGK efektivitātes paaugstināšanai mērena klimata apstākļos, pielietojot absorbcijas dzesētājus. Tas paredz jaunu metožu, algoritmu un matemātisko modeļu izstrādi koģenerācijas konversijai triģenerācijā. Par mērķi tika izvirzīts izstrādāt Centralizētās

aukstumapgādes ieviešanas metodoloģiju atbilstoši Latvijas klimatiskajiem, ģeoloģiskajiem un enerģētikas ilgtspējas indeksācijai atbilstošajiem apstākļiem.

1.4. Risināmie uzdevumi

Promocijas darbā ir paredzēts izstrādāt Latvijas un Baltijas apstākļiem adaptētu KCGK darbības efektivitātes paaugstināšanas modeli, veikt absorbcijas dzesētāja siltuma un masas apmaiņas procesu izpēti ar mērķi paaugstināt iekārtas efektivitāti. Darba mērķa sasniegšanai ir izvirzīti šādi zinātniski uzdevumi:

- Veikt izpēti par Latvijas klimataloģijas ietekmi uz KCGK darbību;
- Izstrādāt Latvijas centralizētās aukstumapgādes ieviešanas plānu, izmantojot KCGK zema potenciāla siltumu;
- Izstrādāt Latvijas klimatam atbilstošu GCGK efektivitātes paaugstināšanas metodi utilizējot zema potenciāla siltumu;
- Veikt padziļinātu absorbcijas dzesētāju efektivitātes izvērtējumu un izstrādāt rekomendācijas efektivitātes paaugstināšanai augstas dzesējošā aģenta temperatūras apstākļos;
- Matemātiski aprakstīt nestacionāru temperatūras lauku absorbcijas dzesētāja ģeneratora siltumapmaiņas virsmu aptverošā vidē;
- Izstrādāt KCGK darbības optimizācijas algoritmu un rezultātu vērtēšanas kritērijus.

1.5. Zinātniskā novitāte

Veikto pētījumu rezultātā rasti vairāki inovatīvi risinājumi KCGK efektivitātes paaugstināšanai:

- Promocijas darbā izstrādāts īpašs absorbcijas dzesētāju pielietojums KCGK zema potenciāla siltuma utilizācijai ar sekojošu siltuma nodošanu siltumtīklā. Izstrādāta jauna konstrukcija dzesētāja ražības paaugstināšanai augstas atgaitas temperatūras apstākļos;
- Veikts pētījums par Ziemeļeiropas aukstumapgādes ieviešanas pieredzi. Parādītas Latvijas sistēmu atšķirības ar Ziemeļvalstu centralizētās aukstumapgādes sistēmām. Piedāvāta CA ieviešanas metodoloģija, kas

balstīta uz sešiem pamatprincipiem un etapveida ieviešanu. Centralizētās aukstumapgādes ieviešanai Latvijā Microsoft Excel vidē izstrādāts datormodelis aukstuma ražošanas izmaksu noteikšanai. Aukstumapgādes pakalpojuma izmaksu noteikšanai izstrādāta pakalpojuma cenu noteikšanas formula;

- Veicot AD elementu darbības termodinamisko analīzi, matemātiski aprakstīts iekārtas ģeneratora sildelementu aptverošas vides nestacionārs temperatūras lauks;
- Izstrādāts optimālākais risinājums KCGK tehnoloģisko un nopūšanas ūdeņu siltuma utilizācijai;
- Parādīta fiziska aina KCGK slogošanai mērena klimata apstākļos.
- Promocijas darba izstrāde veikta ar KE darbību ietekmējošo faktoru analīzi, kas palīdzēja izveidot un aprobēt KCGK optimizācijas modeli un piedāvāt modelēšanas rezultātu testēšanas metodi.

1.6. Darba praktiskā nozīme

Izstrādāta unikāla metode absorbcijas dzesētāju pielietošanai zema potenciāla enerģijas utilizācijai augstas dzesējošā šķiduma temperatūras apstākļos. Izstrādātā iekārta ir vērtīgs KCGT risinājums siltumapgādes un ģeotermijas projektu ieviešanai Latvijas un Baltijas apstākļos. Dotais absorbcijas dzesētāja pielietojums ļauj ekonomēt līdz 2% no KCGK ievadāmā kurināmā, kas eksperimenta objektā samazina DG patēriņu līdz 1.4 Milj. n. m³ gadā. Promocijas darbs dod nepieciešamos instrumentus un modeļus tālākiem pētījumiem. Izstrādāto KCGK optimizācijas modeli var lietot energokompānijas, projektētāji, zinātnieki un studenti, veicot savus pētījumus inženierzinātņu jomā.

1.7. Aprobācija

Promocijas darba ietvaros veiktie pētījumi balstīti uz autora praktisku, pētniecisku un eksperimentālu darba pieredzi, kas iegūta, strādājot AS RĪGAS SILTUMS no 2002. līdz 2011. gadam. Tas ļāva veikt padziļinātu izpēti par Rīgas

siltumapgādes sistēmas siltuma avotiem un izstrādāt siltumtehnisko iekārtu kompleksus efektivitātes paaugstināšanas risinājumus. Pētījuma rezultāti izmantoti izstrādājot Rīgas Pilsētas ILGTSPĒJĪGAS ENERĢĒTIKAS RĪCĪBAS PLĀNU 2010.-2020.gadam. Darba veikšanai tika izmantots uzkrātais datu materiāls par Rīgas pilsētas klimatu, siltuma avotu un to iekārtu darbības režīmiem, siltuma rekuperācijas iekārtām, CA ieviešanas tehniski ekonomiskajiem aspektiem, biokurināmā pieejamības un izmantošanas iespējām Latvijā. KE izveides un ilggadējas ekspluatācijas pieredze IMANTAS SC, kā arī autora īstenoto eksperimentālo un teorētisko pētījumu rezultātu apkopojums ļāva apvienot to vienotā metodikā. Promocijas darba zinātniskā novitāte ir izstrādātais KCGK tehniski ekonomiskais efektivitātes analīzes modelis, tādējādi padarot energoefektivitātes pasākumu plānus maksimāli precīzus un tuvus konkrētajiem realizācijas apstākļiem. Izstrādāti un aprobēti unikāli risinājumi absorbcijas dzesētāju pielietojumam KCGK efektivitātes paaugstināšanai mērena klimata apstākļos. Dūmgāzu siltuma utilizācijas un KCGK efektivitātes paaugstināšanas pasākumi ar autora līdzdalību ieviesti AS RĪGAS SILTUMS SC IMANTA, kur arī veikti procesu eksperimentālie pētījumi. Darba rezultāti ir apkopoti 17 publikācijās un par rezultātiem ziņots 13 vietējās un starptautiskās konferencēs.

2. KCGK DARBĪBA LATVIJAS APSTĀKĻOS

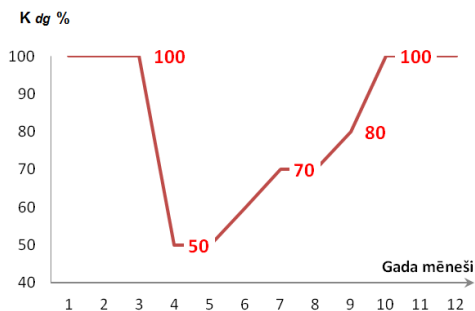
2.1.KCGK darbības īpatnības

Veiktā pētījuma rezultāti ļāva secināt, ka būtiskākie avāriju un atteicu cēloņi centralizētās siltumapgādes KCGK ir :

- Iekārtu darbaspēju samazinājums pie zemām ārējās temperatūrām;
- Rekonstrukciju laikā pieļautas projektu un tehnisko risinājumu kļūdas;
- Remontu un apkopju darbu zema kvalitāte, remonta tehnoloģiju neievērošana;
- Ekspluatācijas un operatīvā personāla pieļautās kļūdas;
- Iekārtu nolietojums un pielietoto materiālu fiziska novecošanās ekspluatācijas procesā;
- Neplānoti, netipiski ārēju apstākļu izraisīti defekti.

Pētījuma rezultāti parāda, ka Latvijas KCGK darb gatavības koeficients K_{dg} pirmajā ekspluatācijas gadā ir nedaudz zemāks par vidējo pasaules līmeni, bet sākot ar nākamā gada sasniedz un ir augstāks par pasaules vidējiem rādītājiem (89,3%).

2.1. attēlā atspoguļotas piedāvātās prasības KCGK Latvijas apstākļos ar augstu darba drošības koeficientu K_{dr} apkures periodā, zemām prasībām pavasara palu periodā un pieaugošām prasībām vasaras nogalē. K_{dg} izmantojot visa gada atskaides periodu Latvijas KCGK ir virs 90%, savukārt izmantojot daļījumu pa mēnešiem darba gatavības rādītājs parasti atrodas diapazonā no 75 līdz 90%. Pasaules un Eiropas mērogā par labu rādītāju uzskatāmas vērtības, kas pārsniedz 80%. Šis koeficients objektīvi ir mainīgs pa gadiem saistībā ar iekārtas plānotajiem kapitālajiem remontiem.



2.1. att. KCGK K_{dr} % prasības Latvijas apstākļos

Ūdenssildkatliem K_{dg} sasniedz 95 – 99 %, jo šīs iekārtas ir tehnoloģiski vienkāršākas un līdz ar to arī drošākas.

Visaugstākais jaudas izmantošanas koeficients K_{izm} KCGK Latvijā tika sasniegts 2006. un 2007. gados, kad tika nodotas ekspluatācijā TEC-1 un IMANTAS SC. Augsto noslodzi veicināja labvēlīga dabas gāzes cena, piemēroti Hidroelektrostaciju (HES) hidroloģiskie apstākļi un industrijas augstais elektroenerģijas pieprasījums. Pēc Eurostat datiem 2010. gadā Latvija ieņēma pirmo vietu ES pēc TEC efektivitātes (82%) uz ES vidējā rādītāja - 50%. Latvija ar 45% uzreiz aiz Dānijas (49%) ieņem otro vietu ES pēc koģenerācijā saražotā siltuma daudzuma. Tāpat Latvijā ir otrs zemākais (1,8 t.n.k.) Eiropā īpatnējā kurināmā patēriņš uz vienu iedzīvotāju, kas ir vairāk kā 2 reizes zemāks par Eiropas vidējo

patēriņu. KCGK pamatelementa GT složošanas raksturliķnes ir atkarīgas no ĀG temperatūras un tās var aprakstīt sekojoši: P_{elmax} un $Q_{max} = f(T_{ārg})$. (2.1.)

Maksimālās elektriskās jaudas izmaiņām P_{elmax} ir lineārs raksturs: viszemākā iespējamā P_{elmax} vērtība ir pie maksimālām ĀG temperatūrām un pie $T_{ārg}+45^{\circ}\text{C}$ tā var sasniegt tikai 85% no P_{max} pie $T_{ārg}+15^{\circ}\text{C}$. GT Maksimālās elektriskās jaudas izmaiņas var aprakstīt ar lineāru funkciju:

$$P_{elmax} = -0.5108 \cdot T_{ārg} + 107.88 \text{ } (\%P_{elISO}). \quad (2.2.)$$

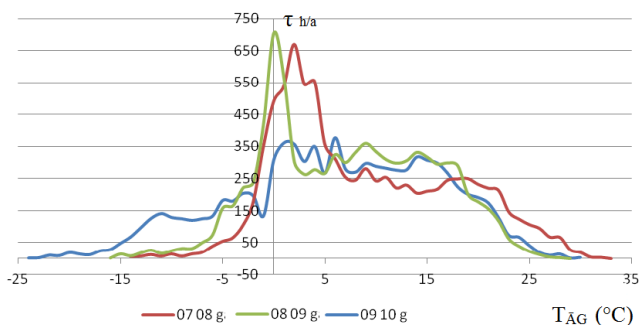
Maksimālās elektriskās un siltuma jaudas līknes krustojas pie $T_{ārg}+15^{\circ}\text{C}$. GT siltuma jaudas ģenerācija nav lineāra, jo īpatnējā siltuma izstrādei ir tendence palielināties straujāk zemo ārgaisa temperatūru diapazonā un mazāk augsto temperatūru diapazonā no līkņu krustpunkta. GT siltuma jaudas izmaiņas var aprakstīt ar 2. pakāpes polinoma funkciju:

$$Q_{max} = 0.0007 \cdot (T_{ārg})^2 - 0.0399 \cdot T_{ārg} + 100.5 \text{ } (\% Q_{ISO}). \quad (2.3.)$$

GT savlaicīga tīrīšana un optimālo ekspluatācijas režīmu izvēle ir galvenie priekšnosacījumi augsti efektīvai GT un visa KCGK darbībai. Pētījums arī parādīja, ka izņemot vienu īslaicīgu epizodi daudzu gadu garumā piegādātās dabas gāzes kvalitāte pilnībā atbilda visām dabas gāzes piegādes prasībām.

2.2 Rīgas klimata specifika

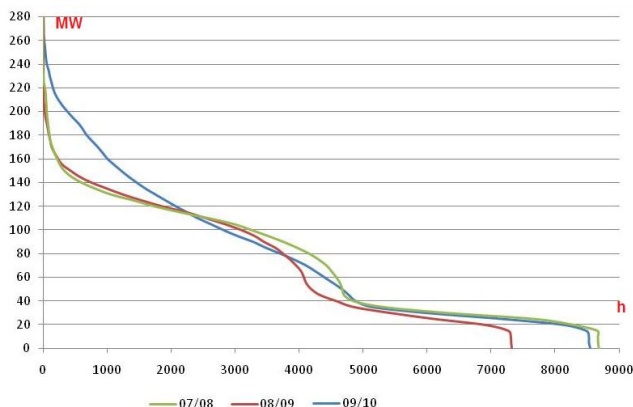
Apkures organizācijai ir svarīgi zināt ārgaisa grādu stundu skaitu gadā, lai statistiski izvērtētu nepieciešamību pēc maksimuma un rezerves jaudām.



2.2. att. Rīgas Pārdaugavas ārgaisa grādu stundu skaits 2007./2008.; 2008./ 2009. un 2009./ 2010. gada apkures sezonās

Apkopotā informācija par Rīgas Pārdaugavas ārgaisa grādu stundu skaitu 2007./2008.; 2008./ 2009. un 2009./ 2010. gada apkures sezonās grafiski attēlota 2.2. attēlā.

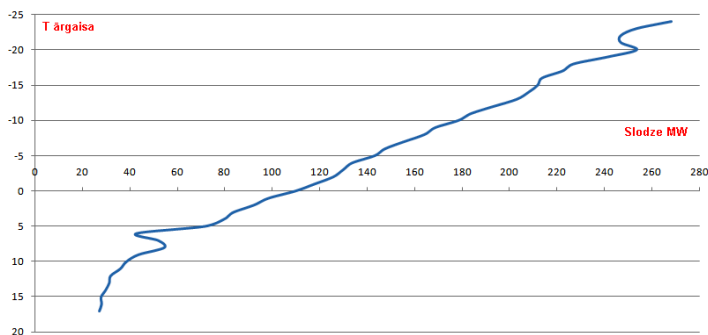
Izmantojot datus par trim gadiem, tika iegūta EKSPERIMENTĀLĀ OBJEKTA (EO) stundu slodžu grafiku kopa, kas atšķirās ar klimatiskām īpatnībām un nelielu avota noslodzes samazinājumu saistībā ar siltumtīkla slodzes pārdali starp avotiem. Iegūtie stundu slodzes grafiki atspoguļoti 2.3. attēlā. Pētījums parādīja, ka EO aprēķina stundu slodžu grafiks atbilst iegūtajām stundu slodzes raksturlīknēm.



2.3. att. EO stundu slodžu reālie grafiki 07/08; 08/09 un 09/10 gados

2.4. attēlā dots EO noslodzes grafiks, kurš parāda siltuma ražošanas apjomus pie dažādām ārgaisa temperatūrām. Attēlā var redzēt, ka temperatūru diapazonā no +5°C līdz -18°C faktiski slodzes izmaiņa ir lineāri mainīga attiecībā pret ārgaisa temperatūras izmaiņām, kas ir skaidrojams ar to, ka šajā temperatūras diapazonā EO KE iztur temperatūras grafika linearitātes prasības. Līdz šim tika uzskatīts, ka avotu noslodzes grafiks Latvijas apstākļos sastāv no lineāra jaudas izmaiņas posma apkures periodā un eksponenciālas funkcijas līknes posma neapkures periodā. Ārgaisa temperatūrai nokrītoties zem -18°C, sakarā ar to, ka padeves ūdens temperatūra vairs netiek celta virs +118°C, jo to vairs neparedz spēkā esošais temperatūras grafiks, slodzes līknē rodas S veida lūzuma punkts. Līdzīgs lūzuma punkts ir pie +8°C, kad

notiek pāreja no tikai karstā ūdens patēriņa uz pakāpenisku apkures darbības uzsākšanu. Ārģaisa temperatūras diapazonā no $+8^{\circ}\text{C}$ un uz augšu notiek eksponenciāla siltuma slodzes samazināšanās, kuru veicina karstā ūdens nakts pazeminājuma iestatījumi un aukstā dzeramā ūdens temperatūras pieaugums vasaras sezonā. Šo jaudas patēriņa līknes novirzi ietekmē arī moderno siltuma mezglu apkures kontūra aktivizācijas robežvērtība, kas ir iestatīta uz $+8^{\circ}\text{C}$.



2.4. att. EO slogošanas grafīks atbilstoši ārģaisa temperatūras izmaiņām

Šis grafīks izveidots, apkopojot trīs gadu siltuma ražošanas statistikas datus. Veicot EO darbības analīzi laika posmā no 2007. līdz 2010. gadam, tika konstatēts, ka atbilstoši klimatiski izlīdzinātiem datiem TEC noslodze principā atbilst stundu slodžu teorētiskajiem grafikiem.

2.3. Centralizētās aukstumapgādes ieviešana Latvijā

Centralizētā aukstumapgāde (CA) ļauj izmantot maksimāli daudz pieejamo vietējo resursu, kombinēt dažādus aukstuma avotus atkarībā no klimatiskajiem un hidro- ģeoloģiskajiem apstākļiem. Galvenās atziņas, kuras izriet no veiktā pētījuma ir sekojošas:

- CA var uzlabot centralizētās siltumapgādes uzņēmumu darbības efektivitāti un rentabilitāti it īpaši vasaras periodā, palielinot uzņēmuma produkcijas gala izstrādi par 5-10% gadā. Īpaši izteikts ir efektivitātes un ražošanas apjoma pieaugums neapkures periodā, kad koģenerācijas stacijas ir grūti noslogot;

- CA ir pamatota un nepieciešama teritorijās ar pietiekamu industriālo dzesēšanas jaudu patēriņu;
- Tikai lieli siltumapgādes uzņēmumi ir spējīgi realizēt centralizētās dzesēšanas infrastruktūras ieviešanu plānu;
- Reģionu attīstība Latvijā ir fragmentāra. Izņemot Rīgu un Rīgas rajonu (ar noteikumu, ka tur ir vismaz pamatinfrastruktūra), lielākajā Latvijas daļā ir negatīvs pašvaldību attīstības indekss. Tikai 17 pašvaldībām pirms krīzes tas bija pozitīvs;
- KE stacijās jāveic energoefektivitātes paaugstināšanas pasākumi vēl pirms centralizētās aukstumapgādes ieviešanas uzsākšanas.

Ņemot vērā esošo Latvijas enerģētikas ilgtspējas indeksa rādītājus un izmantojot Skandināvijas CA ieviešanas pieredzi, Latvijas CA tirgus apjoms 2025. gadā var sasniegt 70 M€, kļūstot par svarīgu siltumapgādes un triģenerācijas biznesa sastāvdaļu. Latvijas apstākļos nepastāv iespēja vasaras apstākļos nodrošināt dabisko dzesēšanu no dziļūdens aukstuma avotiem kādi ir Zviedrijā vai Somijā, kas pašā pilsētas centrā var ņemt aukstu ūdeni no jūras. Pāreja no parastās dzesēšanas uz CA var palielināt koģenerācijas izstrādi vasaras mēnešos par līdz 30% un novirzīt daļu no elektroenerģijas patēriņa, kas paredzēts dzesēšanas nodrošināšanai, citu vajadzību segšanai, līdz ar to samazinot elektroenerģijas importu.

CA metodoloģija balstīta uz tās ikgadējo pastāvīgo un mainīgo izmaksu noteikšanu un verificēšanu salīdzinot ar alternatīvas lokālās dzesēšanas sistēmas izveides un uzturēšanas izmaksām.

CA ieviešanas metodoloģijā piedāvājam paredzētos pasākumus realizēt pa etapiem un balstīt uz sešiem galvenajiem pamatprincipiem:

- Brīva un neierobežota konkurence, saskaņā ar ko cenu regulāciju nosaka komersanta iespējas sniegt konkurētspējīgu pakalpojumu un pasūtītāja alternatīva pašam ierīkot dzesēšanas sistēmu;
- Dzesēšanas apjomu noteikšana tiek bāzēta uz piedāvātajiem īpatnējā aukstuma patēriņa rādītājiem;
- Fiksēto izmaksu noteikšana. Šajā etapā tiek noteiktas individuālās un CA iekārtu projektēšanas, būvniecības un komisionēšanas izmaksas;
- Mainīgo izmaksu noteikšanas etaps. Tiek identificētas ekspluatācijas un apkopju izmaksas;

- Pasūtītāja alternatīvs risinājums. Šajā etapā tiek izvērtētas pasūtītāja iespējas pašam izbūvējot dzesēšanas avotu, un doto izmaksu struktūra;
- CA rentabilitātes noteikšana. Nobeigumā, projekta rentabilitātes aprēķins nosaka iekšējo peļņas normas (IRR) izpildi un tīro atlikušo projekta vērtību (NPV) līguma vai kreditēšanas plāna pēdējam gadam. CA metodoloģija balstīta uz CA ikgadējo pastāvīgo un mainīgo izmaksu noteikšanu un verificēšanu, salīdzinot ar alternatīvas lokālās dzesēšanas sistēmas izveides un uzturēšanas izmaksām.

Īpatnējā CA 1 MW aukstuma cenas izmaksu komponenti C_k kompresijas tipa dzesēšanai bez pirmās iemaksas tiek piedāvāts aprēķināt saskaņā ar formulu:

$$C_K = \frac{C_{el}}{K_K} + \frac{I_k}{T_{eksp} \times \tau} , \quad (2.4.)$$

kur C_{el} – vidējā cena par elektrību (LVL/MWh); K_K – dzesētāja enerģijas transformācijas koeficients (COP) (MW/MW); I_k – īpatnējās investīcijas dzesētājā (Ls/MW), T_{eksp} - dzesētāja kalpošanas laiks, τ - Jaudas izmantošanas ilgums (h/a).

2013. gada cenās Rīgas apstākļiem $C_k = 53,45$ (LVL/MW_{co}).

Sakarā ar to, ka ikgadējais CA patēriņa stundu skaits ir neliels un var būtiski atšķirties atkarībā no gada klimatiskās specifikas, lai noteiktais tarifs būtu objektīvs, tiek piedāvāts ieviest jaudas maksājumu par gada stundu nostrādi:

$$C_j = \frac{I_k}{\tau - \tau_{pat}} . \quad (2.5.)$$

Pētījuma laikā konstatēts, ka klienta galvenā motivācija izmantot CA ir:

- Nav nepieciešamas lielas investīcijas aukstuma ģenerējošās iekārtās;
- Uzlabojas ekoloģiskā situācija ap ēkām, kur ir CA;
- Dotajā teritorijā nav nepieciešamās DG vai jaudīga elektropieslēguma infrastruktūras un tās izveide ir neproporcionāli dārga.

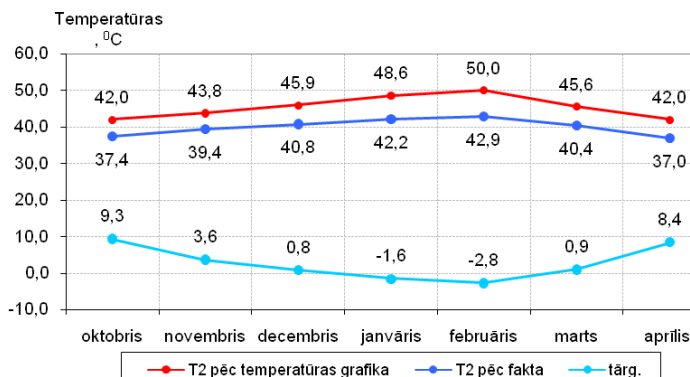
Nākamo 10 finanšu gadu laikā kopējie ieguldījumi Rīgas centralizētās aukstumapgādes darbībā var pārsniegt 25 Milj.€. Izdevīgākie nosacījumi paplašinātajam CA uzņēmumam būtu ieguldījumu segšana iekārtās ar pieslēguma maksu. Ja nosacījumi ir citādi, ļoti rūpīgi jāizvērtē katrs atsevišķs projekts.

Galvenās atziņas, kas izriet no CA ieviešanas pētījuma, ir šādas:

- Tikai uzņēmumi ar pietiekamu finansiālo stabilitāti var realizēt CA ieviešanu. Ieviešanas risku jāspēj nosegt pamata biznesam, mazo siltumapgādes uzņēmumu konsolidācija veicinās apstākļus CA ieviešanai;
- Latvijas reģionu attīstība ir fragmentāra, plaša CA ieviešana iespējama tikai pašvaldībās ar augstu attīstības indeksu. Tikai piecas lielākās pilsētas ar pozitīvu indeksu ir CA mērķgrupa;
- Latvijas apstākļos nav identificēti pietiekamas jaudas brīvās dzesēšanas avoti, kas Skandināvijā dod vislielāko CA efektivitātes pienesumu. Latvijas piemērotākās pilsētas CA ieviešanai ir Jūrmala, Jelgava, Rīga, Valmiera, Ventspils. Vispiemērotākie rādītāji atbilstoši metodikai ir Jūrmalai un Rīgai;
- CA ir darbības joma lieliem uzņēmumiem, kas nodarbojas ar siltumenerģijas ražošanu un sadali un kam ir nepieciešamie resursi pakalpojumu sniegšanai teritorijās ar lielu aukstuma patēriņa blīvumu, kur nepieciešams apmierināt ražošanas procesu un dzīves standarta prasības.

2.4. Eksperimenta objekts

Atgaitas temperatūras lielumi apkopojot EO mēnešu vidējos datus par 2008./2009. gada apkures sezonu Rīgas pilsētas kreisā krasta siltuma tīklos, konstatēts, ka atgaitas temperatūra ir zemāka, nekā to paredz temperatūras grafika prasības.



2.5. att. 2008./2009. gada apkures sezonas Rīgas pilsētas kreisā krasta siltumtīklu faktiskās temperatūras izmaiņas pret uzdoto

Atskaites vērtības atspoguļotas 2.5. attēlā. Redzamās T_2 vērtības liecina par labiem nosacījumiem dūmgāzu rekuperācijas iekārtu uzstādīšanai un siltumsūkņu vai dzesētāju izmantošanai zema potenciāla siltuma utilizācijai.

Īpatnējais elektroenerģijas patēriņš siltumenerģijas ražošanai ir ievērojami zemāks pie pazeminātām ārējais temperatūrām. Eksperimentālais objekts darbojas efektīvāk pie zemākām ārējais temperatūrām, t.i. lielākām slodzēm. Elektroenerģijas īpatnējais patēriņš pieaug, kad siltumslodze tiklos samazinās. Vislielākais tas ir vasaras perioda nakts stundās. Sakarā ar to, ka vasaras periodā centralizētā siltumapgādes sistēma darbojas ar nemainīgu tīkla ūdens padeves temperatūru $T_1=70^{\circ}\text{C}$, ietekmēt elektroenerģijas patēriņu tīkla ūdens cirkulācijas nodrošināšanai nav iespējams. Toties ziemā T_1 mainās atbilstoši temperatūras grafikam, un šādā gadījumā pie augstākām padeves ūdens temperatūrām cirkulējošā ūdens daudzums siltumtīklos ir mazāks, līdz ar to samazinot $P_{\text{elpašpat}}$, kas nepieciešams ūdens pārsūkņēšanai.

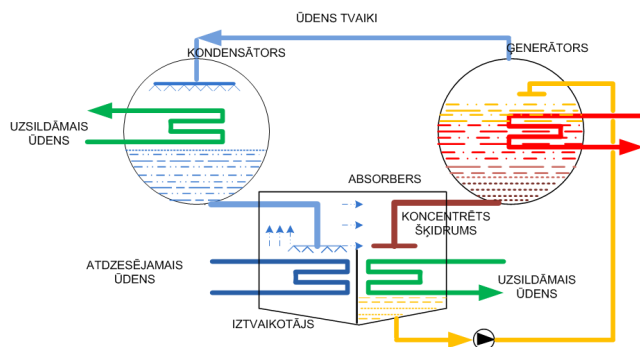
Gāzes patēriņš visa gada griezumā EO ir sezonāli nevienmērīgs. Vislielāko ietekmi uz saražotās enerģijas cenu atstāj kurināmā izmaksas, kas 10 gadu laikā ir dramatiski pieaugušas.

Secinājumi: Latvijas apstākļos sakarā ar strauju dabas gāzes iepirkuma cenas pieaugumu un akcīzes nodokļu sistēmas piemērošanu dotajam kurināmajam, KCGK ilgtermiņa nepārtraukta darbība kļūst problemātiska. Situāciju vēl vairāk pasliktina Eiropā veiktā rūpniecības pārdislokācija uz zemu izmaksu jaunattīstības valstīm, kā arī ieilgušā ekonomiskās depresijas radītā rūpniecības elektroenerģijas patēriņa stagnācija. Situāciju var stabilizēt samazinot dabas gāzes cenu, lai tās saražotā elektroenerģija un siltums būtu konkurētspējīgi.

3. SILTUMAPMAIŅAS PROCESI ABSORBCIJAS DZESĒŠANAS MAŠĪNĀS

Svarīgākā piedāvātā novitātes sastāvdaļa ir absorbcijas dzesētājs, kura efektīvai darbībai ir nepieciešams nodrošināt netraucētu, nepārtrauktu siltuma padevi. Šim nolūkam tika radīts siltumu pievadošās vides temperatūras lauka aprēķina modelis. Tas ļauj noteikt temperatūras gradientu un līdz ar to arī siltuma plūsmas intensitāti. Galvenā absorbcijas mašīnas pazīme ir cirkulējošs maisījums, kurš sastāv vismaz no divām vielām- dzesēšanas šķidrums un absorbenta. Izvēlētajām vielām ir

atšķirīgas vārīšanas temperatūras pie vienādām spiediena vērtībām. Parasti viena komponente ir aukstuma aģents, bet otra – absorbētājs. Absorbenta koncentrācijas un aukstuma aģenta stāvokļu izmaiņas atspoguļotas 3.1. attēlā. Ar gaiši zilo krāsu attēlots ūdens, ar oranžu un sarkanu krāsu apzīmēts dažādu koncentrāciju aukstuma aģents.



3.1. att. Absorbcijas procesa vizualizācija

Absorberā, Ģenerātorā un Kondensātorā notiekošie siltumapmaiņas procesi, kā arī to aprēķini ir visai sarežģīti. Tie ir atkarīgi no plūsmu veida (lamināra, turbulenta), no šķidrumu vai šķidrumu koncentrācijas maiņas, temperatūru laukiem, utt. Siltumapmaiņas procesu analīzē svarīgi ir noteikt siltuma plūsmas lielumu no vides uz tajā ievietotu cauruli vai cauruļu reģistru, kurā plūst šķidrums vai arī otrādi, tas ir no caurules vai reģistra uz to aptverošo vidi. Siltuma plūsmas lielums ir atkarīgs no aptverošās vides siltumfizikālajām īpašībām, minētās vides akumulētā siltuma daudzuma, siltuma pieplūdes iespējām no tālākajiem aptverošās vides masīviem, temperatūru izmaiņām (vides ilgtermiņa ciklisku režīmu izmaiņas) u.c.

Darbā risinot Laplasa transformāciju tika atrasta nestacionāra temperatūras lauka Θ_1 aprēķina izteiksme vidē, kas aptver cilindrisku siltumvadu, kurā plūst dzesējošais šķidrums ar pastāvīgu temperatūru.

$$\Theta_1 \rho, F = 1 + \frac{2}{\pi} \int_0^{+\infty} e^{-u^2 F} \frac{\psi_1(u)}{\varphi^2(u) + \psi^2(u)} \frac{du}{u}, \quad (3.1.)$$

kur aprēķina veikšanai ievadīti bezdimensionālie mainīgie parametri:

$$\frac{r}{r_0} = \rho; \quad \frac{T_1}{T_0} = \Theta_1; \quad \frac{T_\infty}{T_0} = \Theta_\infty;$$

$$F = \frac{a\tau}{r_0^2}; \quad Bi = \frac{ar_0}{\lambda}, \quad (3.2)$$

kā arī ievesti apzīmējumi:

$$\varphi(u) = BiJ_0(u) + uJ_1(u), \quad (3.3.)$$

$$\psi(u) = BiY_0(u) + uY_1(u), \quad (3.4.)$$

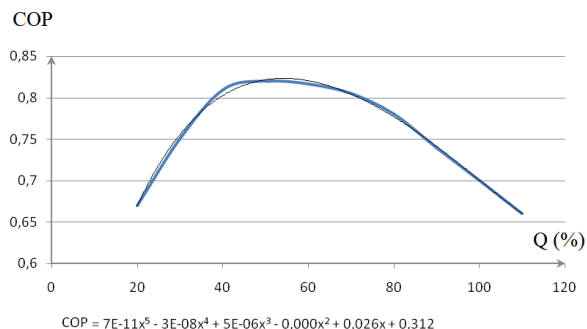
Tādejādi tika iegūta izteiksme temperatūras lauka aprēķinam siltumvadu aptverošā vidē.

4. ABSORBCIJAS DZESĒTĀJA DARBĪBAS RĀDĪTĀJU PAAUGSTINĀŠANAS METODIKA

Tika atrasts risinājums absorbcijas dzesētāja KCGK pielietojumam mērena klimata apstākļos periodos ar paaugstinātu atgaitas temperatūru. Kondensatorā padodamā dzesējamā ūdens temperatūrai palielinoties virs +47°C, strauji samazinās dzesētāja ražība un līdz ar to pieaug risks, ka KCGK tehnoloģiskie ūdeņi netiks kvalitatīvi nodzesēti un KE tiks avārijas kārtā apturēta. Ražības atkarību siltumtīklu atgaitas temperatūras T_2 diapazonā 47 ÷ 67°C var aprakstīt ar 2. pakāpes polinomu:

$$Q_{dzs} = 0,0428T_2^2 - 7,3829T_2 + 352,58 \quad (4.1.)$$

Veicot vienpakāpes absorbcijas dzesētāja testēšanu normālas dzesēšanas apstākļos, tika iegūta lietderības koeficienta COP izmaiņu līkne atkarībā no noņemtās slodzes, kura parādīta 4.1. attēlā.

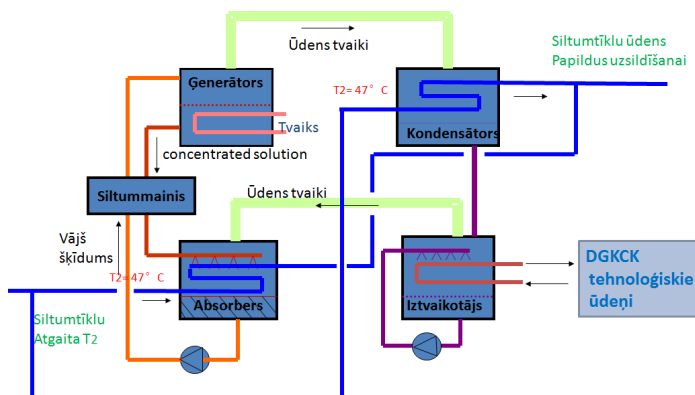


4.1. att. Absorbcijas dzesētāja faktiskā efektivitāte atkarībā no noslodzes

Šo COP izmaiņu jaudu diapazonā 20-110% iespējams samērā labi aprakstīt ar polinomu, kas pievienots attēlā atainotajai jaudas izmaiņas līknei.

4.1. Absorbcijas dzesētāja darbības efektivitātes uzlabošanas iespējas

Ņemot vērā, ka dzesētāja jaudas problēmas parādās pie ārējais temperatūrām zem $-12 \div -15^{\circ}\text{C}$, tas ļautu pilnībā atrisināt dzesēšanas jaudu deficītu ārējais temperatūru diapazonā līdz $-22 \div -24^{\circ}\text{C}$, kuras tiek novērotas ļoti reti, un darba stundu skaits gadā ar šādām temperatūrām ir mazāks par 100. Piedāvātā absorbcijas dzesētāja slēguma shēma atspoguļota 4.2. attēlā.



4.2. att. Piedāvātā Absorbcijas dzesētāja slēguma shēma

Piedāvātā slēguma shēma prasa dzesētāja siltumapgādes atgaitas ūdens hidrauliskās sistēmas pārbūvi. Rezultātā ieejošā dzesējošā ūdens temperatūra gan absorberā, gan kondensātorā būs vienāda, kas ļauj pie paaugstinātām siltumtīklu ūdens temperatūrām T_2 saglabāt augstu iekārtas COP un dzesēšanas jaudu.

SECINĀJUMI

1. Darbā izstrādāta metodika KCGK efektivitātes paaugstināšanai mērena klimata apstākļos pielietojot absorbcijas dzesētājus, balstoties uz apkures sezonu ārgaisa un siltumtīklu temperatūru datu padziļinātu izpēti.
2. Izstrādāta metodika Latvijas centralizētās aukstumapgādes ieviešanas plānam, izmantojot KCGK zema potenciāla siltumu, kas domāta centralizētās siltumapgādes uzņēmējiem, kas ieviesuši enerģijas ražošanu koģenerācijas procesā. Dotais plāns prasa atbilstību augstam valsts enerģētikas ilgtspējas indeksam un realizējams pašvaldībās ar pozitīvu attīstības indeksu. Perspektīvās realizācijas vietas ir: Jūrmala, Rīga, Valmiera, Jelgava, Ventspils.
3. Izstrādāta un piedāvāta Latvijas un Baltijas klimatam atbilstoša KCGK efektivitātes paaugstināšanas metode utilizējot tehnoloģisko ūdeņu zema potenciāla siltumu. Dotās metodes izstrādes laikā tika atrisinātas un novērstas vairākas problēmas, kā galvenā jāmin dzesētāja jaudas krišanās paaugstinātas siltumtīklu atgaitas apstākļos.
4. Izstrādātais KCGK tehnoloģiskais risinājums ir unikāls, realizēts un aprobēts AS RĪGAS SILTUMS SC IMANTA . Tas ļauj gadā ekonomēt līdz 2% no KE ievadītā kurināmā un eksperimentālajam objektam tas ļauj ekonomēt līdz 1.4 milj. n. m³ dabasgāzes gadā.
5. Matemātiski aprakstīts nestacionārs temperatūras lauks absorbcijas dzesētāja ģeneratora cilindrisku siltumvadu aptverošā vidē.
6. Ilglaicīgi ekspluatācijas izmēģinājumi pierāda, ka KCGK integrēta absorbcijas dzesētāja darbības efektivitāti var paaugstināt ar papildu slēgto gaisa dzesētāju uzstādīšanu vai dzesētāja dzesējošā ūdens slēguma maiņu no virknes uz paralēlo.
7. Analizējot darba laikā veiktos optimizācijas pasākumus KCGK darbības tehniski ekonomiskajā uzlabošanā, izstrādāts un aprobēts optimizācijas algoritms un rezultātu vērtēšanas kritēriji.
8. Veikta centralizētās aukstumapgādes un KCGK dzesētāju tehniski ekonomiskās darbības izpēte veicot finansiālās rentabilitātes izvērtējumu, kas parāda kompresijas un absorbcijas dzesētāju darbības ekonomiskos aspektus.

PUBLIKĀCIJAS

1. Даниелс Турлайс, Намейс Зелтиньш, Айварс Церс. Тригенерация с использованием парогазового комбинированного цикла в условиях умеренного климата, 20 стр. Всероссийская конференция с международным участием «Современные методы обеспечения эффективности в энергетике» Санкт-Петербург 16-18 мая 2013 г. (nodots publicēšanai 2013.gada 25.maijā)
2. Aivars Cers, Valdis Gavars, Māris Balodis, Namejs Zeltiņš (2012) Visaginas AES projekta virzība // E&P Nr.3(74): 24-27.
3. Žīgurs Ā., Turlajs D., Dzelzītis E., Cers A. Lielas jaudas siltumsūkņu ieviešana Latvijā // Apvienotais pasaules latviešu zinātnieku III kongress un Letonikas IV kongress: sekcija "Tehniskās zinātnes": tēzu krājums, Latvija, Rīga, 24.-27. oktobris, 2011. - 164.-164. lpp.
4. Žīgurs Ā., Turlajs D., Krēsliņš A., Cers A. Latvijas siltumapgādes sistēmu darbības efektivitātes uzlabošanas iespējas . - Rīga : SIA Enerģija un Pasaule, 2011. - 6 lpp.
5. Талцис Н., Церс А., Плискачев С., Дзелзитис Э., Турлайс Д. Опыт утилизации низкопотенциального тепла с использованием абсорбционного теплового насоса. // Новости теплоснабжения №5 (129) май, 2011.
6. Žīgurs Ā., Turlajs D., Krēsliņš A., Cers A., Soročins A. Improvement of Efficiency of District Heating Systems in Latvia // 21st World Energy Congress: Issue 1.6: Closer Integration for Infrastructure, Adequacy and Efficiency, Canada, Montreal, 12-16 September, 2010. - 1-13 p.
7. Turlajs D., Soročins A., Cers A., Žīgurs Ā. The Dependence of Quality and Efficiency of District Heating on the Type of Load Regulation // RTU zinātniskie raksti. 6. sēr., Mašīnzinātne un transports. - 31. sēj. (2009), 137.-146. lpp.
8. Д.Турлайс, А.Жыгурс, А.Церс, С.Плискачев. Утилизация низкопотенциального тепла с использованием тепловых насосов для повышения эффективности комбинированной выработки энергии // Новости теплоснабжения. - 10 . (2009) 23-25 с.
9. А.Жыгурс, А.Церс, Ю.Голунов, Д.Турлайс, Плискачев С. Утилизация тепла дымовых газов на теплоисточниках г. Риги // Новости теплоснабжения. ООО издательство «Новости теплоснабжения» № 5., Москва, 2010, 19-24с.
10. Turlajs D., Žīgurs Ā., Cers A., Soročins A. The Relation between the Efficiency and the Type of Load regulation for Riga District Heating System // 5th European Conference Economics and Management of Energy in Industry Proceedings, Portugāle, Vilamoura, 14.-17. aprīlis, 2009. - 1-9 p.
11. А.Жыгурс, Д.Турлайс, А.Сорочин, А.Церс. Отношение между эффективностью и типом регулирования тепловой нагрузки в

централизованном теплоснабжении г. Риги // Новости теплоснабжения . - 7. (2009) 7-11 с.

12. Žīgurs Ā., Cers A., Pliskačevs S. Опыт АО "Ригас Силтумс" в реконструкции водогрейных котлов КВГМ-50 и КВГМ-100 // Новости теплоснабжения . - 4. (2009) 34-39 с.

13. Cers A., Žīgurs Ā., Rubīna M. Centralizēta aukstumapgāde - modernas pilsētas neatņemama infrastruktūras sastāvdaļa // REA vēstnesis. - 1. (2008) 3.-7. lpp.

14. Budjko Ž., Cers A., Jirgens M., Kashkarova G., Ļebedeva K., Puriņa I., Šipkovs P., Žīgurs Ā. Biomass Projects Financing Schemes in Latvia // 16th European Biomass Conference and Exhibition from Research to Industry and Markets, Spānija, Valencia, 2.-6. june, 2008 - 2443-2446p.

15. Cers A., Jirgens M., Kaskarova G., Puriņa I., Žīgurs Ā., Šipkovs P. Financing Schemes for Biomass in Latvia // World Sustainable Energy Days 2008, Austria, Wels, 5.-7. march, 2008. - 1-9p.

16. Budjko Ž., Cers A., Jirgens M., Kaskarova G., Ļebedeva K., Šipkovs P., Puriņa I., Žīgurs Ā. Cost Effective Biomass Conversion for Energy in Latvia // 16th European Biomass Conference and Exhibition: Proceedings of Teh International Conference , Spain, Valensia, 2-6 june, 2008 - 1478-1482p.

17. Jirgens M., Žīgurs Ā., Cers A., Šipkovs P., Kaskarova G., Puriņa I., Ļebedeva K., Budjko Ž. Biomass Projects Schemes in Latvia // 16th European Biomass Conference & Exhibition: Proceedings of the International Conference , Spain, Valensia, 2-6 june, 2008 - 2443-2447p.

Par darba rezultātiem ir ziņots un tie ir apspriesti:

1. Rīgas Enerģētikas aģentūras rīkotās Starptautiskās Enerģijas Dienas „Eiropas inteligentās enerģija” ietvarosreferāts: «Kondensācijas ekonomizaieru ekspluatācijas pieredze Rīgas pilsētas siltumapgādes sistēmā» 2009. gada 17.oktobris
2. Ā.Žīgurs, N.Talcis, A.Cers, a.o. Sustainable Europe Energy days Recovery of the waste heat by large capacity heat pumps for Riga city district heating system Project report Bruxles 22-26 March 2010, 18p.
3. Žīgurs Ā., Turlajs D., Krēsliņš A., Cers A., Soročins A. Improvement of Efficiency of District Heating Systems in Latvia.Proceedings of 21-st World Energy Congress, Montreal, September 12-16, 2010., 13.p.
4. RTU zinātniskajā konference referāts: «Gāzes – kombinētā cikla efektivitātes paaugstināšana un režīmi, izmantojot absorbcijas siltumsūkņus» Rīga, 2010. gada 21.Oktobris

5. RTU zinātniskajā konference referāts: «Kondensācijas ekonomaizeru ekspluatācijas pieredze un secinājumi Rīgas pilsētas siltumapgādes sistēmā» Rīga, 2010. gada 21.Oktobris
6. konference "Pašvaldības ilgtspējīgas enerģētikas rīcības plāns - vadības instruments Mēru pakta saistību izpildei" referāts „Inovatīvi energoefektivitātes pasākumi AS”RĪGAS SILTUMS” siltumavotos” 2010. gada 15. oktobris.
7. Ā. Žīgurs, D.Turlajs, E.Dzelzītis, A.Cers, Lielas jaudas siltumsūkņu ieviešana Latvijā // PLZK III kongresa tēžu krājums, 2011.gada oktobris, Rīga, RTU izdevniecība, lpp. 164.PLZK III kongresa tēžu krājums, 2011.gada oktobris, Rīga, RTU izdevniecība, lpp. 164.
8. Turlajs Daniels, Cers Aivars, Kaulakalns Raitis. Cogeneration Power plant Efficiency Improvement using Absorption Chillers // 53-rd International Scientific Conference / The 1-st Congress of World Engineers and RPI / RTU Alumni, Riga, RTU, 11-12 October 2012, p.88.
9. Daniels Turlajs (RTU), Āris Žīgurs (A/S LATVENERGO), Normunds Talcis (A/S Rīgas Siltums), Aivars Cers (RTU).Zema potenciāla siltuma izmantošanas iespējas ar absorbcijas siltuma sūkņiem/ The Possibilities of Use of Low Potential Heat with Absorption Heat Pumps./52.RTU ZT konference.Rīga,RTU,20.oktobris,2011.
10. Daniels Turlajs, Aivars Cers (RTU). Lielas jaudas siltumsūkņu ieviešana Latvijā/ The Introduction of Heavy Duty Heat Pumps in Latvia./52.RTU ZT konference.Rīga,RTU,20.oktobris,2011.
11. REA Energoefektivitātes informācijas centra diskusija „Siltumsūkņu izmantošana ēku energoapgādē”, referāts "BAS „Daugavgrīva” energoefektivitātes uzlabošana izmantojot absorbcijas siltumsūkņi" 16. Augusts,2012
12. HORASIS Global China Business Meeting discussion panel Europe Renewable Know how transfer to China environment. Riga, Latvia, 25-26 November, 2012
13. Всероссийская конференция с международным участием «Современные методы обеспечения эффективности в энергетике» Санкт-Петербург 16-18 мая 2013 г.

Aivars CERS

**KOMBINĒTĀ CIKLA GĀZES TRIĢENERĀCIJA
MĒRENA KLIMATA APSTĀKĻOS**

Promocijas darba kopsavilkums

Parakstīts iespiešanai 2013.02.05. Reģ. apl. Nr. 2-0282.
Formāts 60x84/16. Ofseta papīrs. Ofseta papīrs. 1,5 iesp.l.,
1,81 uzsk.izd.l. Metiens 50 eks. Pasūt. Nr. 29.
Iespriests RTU tipogrāfijā, Rīga LV-1658, Kaļķu ielā 1.