

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Būvniecības fakultāte

Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģiju institūts

Kaspars GRĪNBERGS

Doktora studiju programmas „Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģija” doktorants

**ABSORBCIJAS AUKSTUMAPGĀDES SISTĒMU KONDENSATORU
DZESĒŠANA**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs

Akadēmiķis Dr. habil. sc. ing., profesors

P.ŠIPKOVŠ

Rīga 2013

UDK 697(043.2)

Gr 591 a

Grīnbergs K. Grīnbergs K. Absorbcijas aukstumapgādes sistēmu kondensatoru dzesēšana. Promocijas darba kopsavilkums.-R.:RTU, 2009.-24. lpp.

Iespiests saskaņā ar Promocijas padomes 2013.gada ____
_____ lēmumu, protokols Nr. _____

ISBN 978-9934-10-497-8

PROMOCIJAS DARBS

IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2013. g. 20. Decembrī plkst. 16.00 Rīgas Tehniskajā universitātē Būvniecības fakultātē, Rīgā, Āzenes ielā 16/20, Būvniecības fakultātes sēžu zālē.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors, Dr.habil.sc.ing. Daniels Turlajs

Rīgas Tehniskā universitāte

Profesors, Dr.sc.ing. Anatolijs Borodiņecs

Rīgas Tehniskā universitāte

Dr.sc.ing. Gaļina Kaškarova

Fizikāls enerģētikas institūts

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.

Kaspars Grīnbergs(Paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 6 nodaļas, slēdzienu vai secinājumus, literatūras sarakstu, 47 zīmējumus un ilustrācijas, kopā 107 lappuses. Literatūras sarakstā ir 79 nosaukumi.

ANOTĀCIJA

Latvijas reģionālā siltumapgāde pēc Padomju Savienības sabrukšanas ir tikai daļēji spējusi pārorientēties, mazinot tā laika tehnoloģisko iekārtu īpatnību ekspluatācijā. Astoņdesmitajos gados būvēto katlumāju un siltumtīklu stāvoklis, ņemot vērā montāžas tehnoloģiju, jau apmēram desmit gadus atrodas avārijas stāvoklī. Siltumtīklu montāžas tehnoloģijas trūkumus īpaši izgaismo milzīgais kurināmā izmaksu kāpums. Šodien ir nepieciešams uz siltumenerģijas izmantošanas potenciālu raudzīties no plašākas perspektīvas. Ir jāspēj rast risinājumi, kas ar augstu siltumtīklu centralizācijas pakāpi ļautu siltumenerģiju izmantot visa gada garumā. Šeit būtisks faktors varētu būt siltuma absorbcijas aukstumapgādes sistēmas, kas par konkurētspējīgu cenu ļauj siltumenerģiju izmantot iekštelu dzesēšanas vajadzībām vasaras mēnešos.

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt absorbcijas aukstumapgādes sistēmu kondensatoru dzesēšanas ierīci, kas būtu alternatīva gradētavai.

Mērķa sasniegšanai tika izbūvēts pētniecisks stends, uz kura bāzes veikti siltumapmaiņas procesu pētījumi. Ierīce paredzēta zema potenciāla siltuma novadīšanai, kas no dzesējamās substances novadīto siltumenerģiju izdala apkārtējā vidē. Darbā veikti konvektīvās, iztvaikošanas un kondensācijas siltumapmaiņas procesu pētījumi ar mērķi noteikt ierīces darbības efektivitātes saistību ar āra gaisa parametru izmaiņām. Darba gaitā analizētas sakarības starp pētāmās iekārtas jaudas svārstībām un to iespaidojošiem faktoriem. Pamatojoties uz pētījumam izstrādāto matemātisko modeli, ir izdarīti secinājumi par iekārtas praktisko pielietošanu.

Promocijas darba ietvaros veiktie pētījumi balstīti uz autora praktisko pieredzi, kā arī uz zināšanām par reģionālās siltumapgādes specifiku, strādājot nozarē un izmantojot pieejamos resursus. Pētījumu veikšanai tika izmantota gan reģionāla katlumāja ar tai pievienoto infrastruktūras tīklu un teritoriju, gan iepriekš uzkrāti lokāli āra gaisa parametru izmaiņu mērījumi dati, gan autora izstrādātais iekārtas efektivitātes noteikšanas matemātiskais modelis. Promocijas darba zinātniskā novitāte ir absorbcijas aukstumapgādes sistēmu kondensatoru dzesēšanas ierīce, kas ir izmantojama lokālu ēku vai to kompleksu iekštelu dzesēšanai absorbcijas cikla iekārtās.

Darba gaitā eksperimentu rezultātā radīts ierīces prototips, kas uzskatāms par alternatīvu gradētavai, un izstrādāta metodika, kā arī izdarītie secinājumi ir praktiski izmantojami līdzīgu būvju projektēšanai esošajās siltumapgādes sistēmās.

Agrāk šajā nozarē strādāja vairāki krievu zinātnieki Margulova T. X, Ļebeģevs P. D. Latvijā iztvaikošanas procesus pētījuši Jānis Nagla, Pēteris Šipkovs, Rūdolfs Ciemiņš, Daniels Turlajs, Andris Krēšlīņš, Egils Dzelzītis, Pēteris Saveljevs u.c.

Par darba rezultātiem ir sagatavotas 6 publikācijas, kas publicētas starptautisku konferenču rakstu krājumos. Par darba pētījumiem ir ziņots 7 starptautiskās konferencēs.

Autors ir izstrādājis un SPRK saskaņojis vairākus siltumenerģijas tarifus un veicis rūpīgu reģionālo siltumapgādes sistēmu analīzi, izstrādājot tehniski ekonomiskos pamatojumus dažādās Latvijas administratīvajās teritorijās siltumapgādes sistēmu renovācijai.

Darbs sastāv no ievada, sešām nodaļām un secinājumiem. Tajā ir 102 lappuses, 47 attēli, 15 tabulas. Izmantotās literatūras sarakstā ir 79 literatūras avoti.

SATURS

Saturs	5
Ievads	6
1. Energoefektīvs enerģijas ražošanas cikls	6
2. Absorbcijas aukstumapgādes sistēmu kondensatoru dzesēšana	8
2.1. Alternatīva absorbcijas iekārtu kondensatoru dzesēšanas ierīce	8
2.2. Pētnieciskā stenda tehniskie parametri	10
2.3. Dzesēšanas baseina jaudas svārstību analīze	10
2.4. Dzesēšanas baseina eksperimentālie pētījumi	12
3. Decentralizēta absorbcijas aukstumapgādes tīkla priekšrocības	15
4. esošas Reģionālas siltumapgādes sistēmas darbības analīze	17
5. Izvēlētās katlumājas jaudas iespaids uz siltumenerģijas tarifu	20
6. Investīciju projekta vērtēšanas metodes	21
7. secinājumi	22
Publikāciju saraksts	23

IEVADS

Mūsdienīga moderna reģionāla katlumāja sastāv no iekārtām, kas paredzētas daudzpakāpju enerģijas ražošanai. Parasti reģionālā līmenī tās ir divas pakāpes, kuras veido vienlaicīga siltumenerģijas un elektroenerģijas ražošana. Pie attiecīgas siltumapgādes tīklu rekonstrukcijas siltumenerģijas izstrādei būtu iespējams pievienot vēl vienu pakāpi un lietot to dzesēšanas vajadzībām. Uz tā rēķina iespējams palielināt koģenerācijas dzinēju jaudu, pieaugtu katliekārta darba stundu skaits un piegādes tīklu energoefektivitāte, samazinātos siltumenerģijas zudumu īpatsvars. Tomēr šādam tehnoloģiskajam risinājumam ir daudz šķēršļu.

Promocijas darba ietvaros ir apskatīti vairāki no potenciālajiem šķēršļiem, īpašu uzmanību pievēršot absorbcijas siltumapgādes sistēmu un to komplektējošo ierīču lietošanai, lai paaugstinātu centralizētās siltumapgādes energoefektivitāti.

Promocijas darba pirmajā daļā piedāvāts tehnoloģisks risinājums, pielāgojot siltumapgādes tīklu aukstumapgādes sistēmu lietošanai. Īpaša uzmanību veltīta absorbcijas sistēmu kondensatoru dzesēšanas iekārtai, kurai darba gaitā izstrādāts prototips, kas decentralizēta aukstumapgādes tīkla apstākļos paredzēta kā alternatīva gradētavām. Pētījuma mērķis bija pierādīt zema potenciāla siltuma novadīšanas sistēmas darbības efektivitāti neatkarīgi no āra gaisa parametru izmaiņām. Minētā mērķa sasniegšanai izvirzīti šādi uzdevumi:

- Izbūvēt un izpētīt absorbcijas aukstumapgādes sistēmu kondensatoru dzesēšanas ierīci, pamatojot tās iespējamo pielietošanu kā gradētavu alternatīvu;
- Darbā gaitā veikt eksperimentālus pētījumus ar mērķi noskaidrot iekārtas dzesēšanas īpašību izmaiņas āra gaisa parametru iespaidā;
- Izpētīt iekārtas īpatnējās iztvaikošanas un konvektīvās siltumatdeves jaudu;
- Analizēt procesus, kuri norit iekārtas un apkārtējās vides siltuma apmaiņas slānī;
- Sagatavot tehnisku risinājumu līdzīgas būves izveidei.

Promocijas darbā meklēts pamatojums siltumapgādes tīkla pielāgošanai decentralizētām aukstumapgādes sistēmām. Analizēts, kā izmainīsies siltumapgādes tīkla energoefektivitāte un enerģijas ražošanas pašizmaksa, palielinot realizētās siltumenerģijas apjomu.

Promocijas darba nobeigumā analizēta reģionāla siltumapgādes sistēma un apstākļi, kas ietekmē tās energoefektivitātes rādītājus. Analīzei izmantoti reāli dati, kuri atspoguļo sistēmas efektivitāti un ņemti par pamatu siltumenerģijas tarifu aprēķināšanai.

1. ENERGOEFECTĪVS ENERĢIJAS RAŽOŠANA CIKLS

Tradicionālie elektroenerģijas ražotāji izmanto kurināmo, piemēram, mazutu, dīzeļdegvielu, dabasgāzi un pārveido to elektroenerģijā, taču tās ražošanas procesā rodas siltums, kuru var lietderīgi izmantot. Koģenerācijas iekārtās šis siltums tiek nodots tuvumā esošam patērētājam saimnieciskām vai ražošanas vajadzībām.

Ar koģenerāciju saprot vienlaicīgu elektroenerģijas un siltumenerģijas izstrādi vienā iekārtā vienotā termodinamiskā ciklā ar iekārtai raksturīgo elektroenerģijas pret siltumenerģiju attiecību. Enerģiju attiecība ir visas izstrādātās elektroenerģijas (bruto) attiecība pret patērētājam nodoto siltumenerģiju (neto). Enerģiju attiecība ir koģenerācijas sistēmas kvalitātes rādītājs, kas raksturo cik kWh elektroenerģijas var izstrādāt uz vienu kWh patērētājam nodotās siltumenerģijas. Šis rādītājs raksturo termisko dzinēju iespējas elektroenerģijas izstrādē koģenerācijas sistēmā un ir atkarīgs no daudziem faktoriem, tajā skaitā:

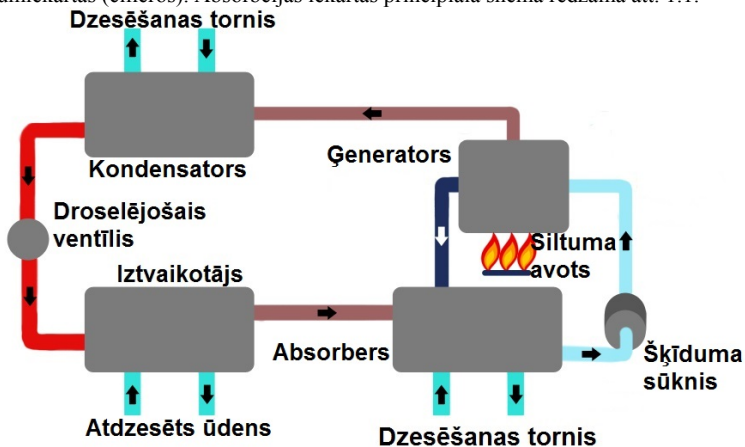
- siltuma patēriņa;
- slodzes;
- siltuma nesēja veida (tvaiks, ūdens);
- siltuma nesēja parametriem (temperatūra, spiediens).

Koģenerācijas gadījumā ir izvēle starp ilgāku koģenerācijas dzinēja ekspluatācijas periodu un lielāku jaudu, taču šie lielumi ir apgriezti proporcionāli. Ja gadā ir 8760h, tad apkures sezonā darba stundas labākajā gadījumā varētu tuvināt 5500h, pie nosacījuma, ka ziemas patēriņi ir lieli. Triģenerācijas gadījumā ir izvēle starp siltuma novirzīšanu uz konkrētajām iekārtām, ņemot vērā āra gaisa temperatūru. Apkures sezonai beidzoties un pieaugot āra gaisa temperatūrai siltumenerģiju, nesamazinot ražojošo iekārtu jaudu, iespējams novirzīt uz absorbcijas aukstumapgādes sistēmām. Šāds risinājums ļautu izvēlēties koģenerācijas iekārtas ar ievērojami lielāku siltuma jauda, līdz ar to lielāku elektroenerģijas jaudu. Tas nodrošinātu elektroenerģijas ražošanu bez pārtraukumiem.

Centralizēta aukstumapgāde balstās uz atdzesēta ūdens piegādi patērētājam, līdzīgi kā tas notiek ar centralizēto siltumapgādi. Ūdens lielā daudzumā tiek atdzesēts vienuviet un pēc tam ar sūkņu palīdzību tiek piegādāts ēkām, biroju kompleksiem, slimnīcām, industriālajiem patērētājiem, visa veida patērētājiem, kam nepieciešam iekšēlu dzesēšana.

Decentralizētas aukstumapgādes tīkla gadījumā nepieciešamās iekšēlu dzesēšanas ierīces uzstāda pakalpojumaņēmējs. Siltumenerģiju pēc iepriekš sastādīta temperatūras grafika no siltumenerģijas ražotāja katlumājas nogādā pie patērētāja teritorijā esošās siltuma absorbcijas ierīces. No absorbcijas ierīces (čillera) aukstumapgādes tīkli līdz dzesējamajam objektam ir paša patērētāja pārziņā, tai skaitā čillera dzesēšana.

Siltumenerģijas pārvēršana aukstuma enerģijā notiek siltuma absorbcijas aukstumiekārtās (čilleros). Absorbcijas iekārtas principiālā shēma redzama att. 1.1.



1.1. att. Siltuma absorbcijas iekārtas principiālā shēma.

Ģeneratorā iztvaiko vājas koncentrācijas amonjaka šķīdums ūdenī, tam pievadot siltumu karstā ūdens vai tvaika veidā. Izveidojusies amonjaka tvaika daļa ar spiedienu plūst uz kondensatoru (dzēsētāju), kur kondensējas un atdod siltumu dzesējošajam ūdenim. No kondensatora aukstuma aģents caur droselēšanas ventili plūst uz iztvaikotāju. Droselēšanas gaitā kondensāta spiediens pazeminās līdz tas daļēji iztvaiko, vienlaikus pazeminoties

temperatūrai. Izvaidotājā aukstuma aģents vārās ņemot izvaidošanai neieciešamo siltumu no dzesējamās vides. Radušos amonjaka tvaikus novada uz absorberu. Absorberā amonjaks izšķīst ūdenī izdalot siltumu, kuru novada. Absorberā amonjaka šķīduma koncentrācija ūdenī paaugstinās. Cirkulācijas sūkņi ar absorberā esošo koncentrēto amonjaka šķīdumu papildina vājas koncentrācijas amonjaka šķīdumu ģeneratorā. Tā vietā caur regulēšanas ventili no ģeneratora absorberā noplūst vājas koncentrācijas šķīdums.

Kondensatorā, lai pastiprinātu siltuma novadīšanas intensitāti, šķīduma tvaikiem kondensējoties, nepieciešams pievadīt zema potenciāla siltumu, to sauc par pārdzesēšanas ciklu. Siltumnesēja temperatūras grafiks šādā ciklā ir 35-29 °C. Tas sarežģīt sistēmas montāžu un ekspluatāciju. Lai nodrošinātu šāda cikla temperatūras grafiku ražotājs parasti rekomendē izbūvēt mitruma izvaidošanas torņus (gradētavas) siltuma novadīšanai. Gradētavu izbūve ir dārga un bieži vien estētiski neiederas konkrētajā vidē.

2. ABSORBCIJAS AUKSTUMAPGĀDES SISTĒMU KONDENSATORU DZESĒŠANA

Sākotnējā centralizētā enerģijas ražošana un piegāde bija balstīta uz dažādām ūdens īpašībām un to lietderīgu izmantošanu. Ūdeni vārot tika iegūts tvaiks, kas darbināja elektroģeneratoru. Ar ūdeni tika dzesēts elektroģeneratora tvaika kondensators, un tālāk dzesējošais šķidrums nogādāts vai nu centralizētajos siltumapgādes tīklos vai arī siltuma izlādes kontūrā, kas visbiežāk bija lielas ūdens tilpnes – upes, ezeri, dīķi, gadījumos, kad nebija piekļuves ūdens tilpnēm, tika izmantotas gradētavas.

Pastāv arī atklātā tipa gradētavas, kuras drīzāk varētu dēvēt par mitruma izvaidošanas baseiniem. Šādas ierīces ir ļoti piemērotas mazu termoelektrocitrāļu vajadzībām vai absorbcijas iekārtu dzesēšanai. Absorbcijas aukstumapgādes sistēmu kondensatoru dzesēšanai ir noteikta specifika, kas saistīta gan ar atšķirīgo siltumnesēja temperatūras grafiku, gan ar potenciālo dzesēšanas sistēmas izvietošanu. Termoelektrocitrālās gadījumā siltumnesējs dzesēšanas kontūrā ievērojami pārsniedz āra gaisa temperatūru pie tam gradētava ir atklāta sistēma, kas palielina dzesēšanas jaudu. Decentralizētu absorbcijas aukstumapgādes sistēmu kondensatoru dzesēšanas siltumnesēja temperatūras grafiki ir tuvi āra gaisa temperatūrām, kā arī sistēmai ir jābūt slēgtai, jo to paredzēts izvietot brīvi pieejamās vietās.

2.1. Alternatīva absorbcijas iekārtu kondensatoru dzesēšanas ierīce

Pētnieciskā projekta ietvaros tika izbūvēts baseins ar ūdens izmidzināšanas iekārtu siltuma absorbcijas sistēmu kondensatoru dzesēšanas vajadzībām. Ierīces darbības laikā, pie atbilstošas āra gaisa temperatūras, spiediena, relatīvā mitruma tiek mērīta siltuma atdeve un tās izmaiņas. Pētījuma mērķis bija veikt eksperimentu uz izbūvētā pētnieciskā stenda, lai noteiktu kondensatoru dzesēšanas ierīces praktiskās pielietojamības iespējamību, kā arī izstrādāt pilnīgi jaunu iekārtu, kas varētu tikt ņemta par pamatu līdzīgu būvju izveidei.

Absorbcijas iekārtu kondensatoru dzesēšanas baseins (turpmāk dzesēšanas baseins) ir siltumtehnikas būve, tā priekšrocības, salīdzinājumā ar siltumnesēja dzesēšanas torni (gradētavu), ir:

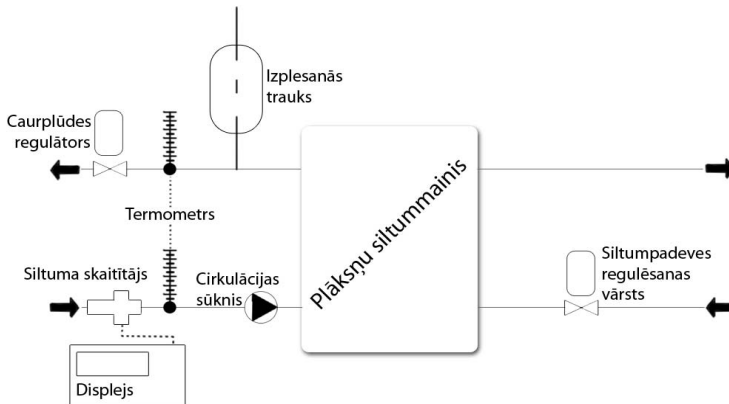
- Izbūvēt siltumnesēja atdesēšanas baseinu ir ievērojami lētāk nekā dzesēšanas torni;
- Dzesēšanas baseins ir slēgta sistēma, to var izvietot sabiedriskās vietās;
- Dzesēšanas baseins ir ievērojami mazāka būve nekā dzesēšanas tornis;
- Dzesēšanas baseins ir vizuāli pievilcīgāka un apdzīvotai zonai piemērotāka būve nekā siltuma dzesēšanas tornis.

Baseinā ievietots sildītājs, kurš savienots ar siltuma avotu un nodrošina pastāvīgu siltumnesēja temperatūru. Baseina apakšējā daļā ievietots sūcvads, kurš savienots ar cirkulācijas sūkni, kas ūdeni no baseina nogādā virs ūdens/gaisa saskares laukuma izvietotajos ūdens izsmidzinātājos. Ūdens baseinā uzņem sildītāja pievadīto siltumu un cirkulācijas sūkņa un izsmidzinātāju ražības ietvaros tiek izsmidzināts virs baseina izvietotajos izsmidzinātājos. Lielākā daļa izsmidzinātā ūdens smalku pilienu veidā gravitācijas spēku iedarbībā nonāk atpakaļ uz baseina virsmas. Vēl viena daļa no izsmidzinātā ūdens baseinā atgriežas kondensācijas procesu iespaidā, bet daļa pilienu nonāk apkārtējā vidē, radot īslaicīgu dzesēšanas jaudas pieauguma efektu, taču pazaudētā ūdens masa baseinā ir jāatjauno. Atšķirībā no iztvaikošanas torņa, kas ir atklāta sistēma, baseins ir slēgta sistēma, tas nozīmē, ka dzesējamais siltumnesējs no kondensatoriem nonāk dzesējošās iekārtas sildītājā, tāpēc nepastāv atmosfēras piesārņojuma riski. Šī iemesla dēļ, dzesēšanas baseinus var izvietot arī apdzīvotās vietās – pilsētās, parkos, stāvlaukumos, neuztraucoties par absorbcijas iekārtu mehānisku bojājumu iespējām.

Baseinā trīs līmeņos tika izvietoti termometri, kas mēra temperatūras izmaiņas dažādos līmeņos. Pirmais termometrs tika novietots virs dzesētāja, otrs - aptuveni 0.4m zem ūdens un gaisa saskares laukuma. Trešais termometrs tika izvietots virs ūdens un gaisa saskares laukuma. Termometru mērījumi, kas atrodas zem ūdens, rādījumi ir ļoti līdzīgi, termometra rādījums, kas izvietots virs ūdens un gaisa saskares laukuma, atšķiras. Pēc šī termometra rādījuma var prognozēt siltuma plūsmas intensitātes izmaiņas.

Baseina dzesēšanas jauda, siltumnesēja un ūdens caurplūde, temperatūra un spiediens tika mērīts ar Elkora B-34 siltumenerģijas uzskaites mēraparātu.

Iekārtas dzesēšanas īpašības tika analizētas mijiedarbībā ar āra gaisa parametru izmaiņām, tādēļ baseina tuvumā tika izvietota laika apstākļu monitoringa stacija EasyWeather. Ar šīs ierīces palīdzību mēra āra gaisa temperatūru, gaisa relatīvo mitrumu, gaisa spiedienu, gaisa piesātinājuma temperatūru, vēja virzienu un ātrumu, jo izmaiņas jebkurā no šiem parametriem atstāj iespaidu uz dzesēšanas baseina darbību.



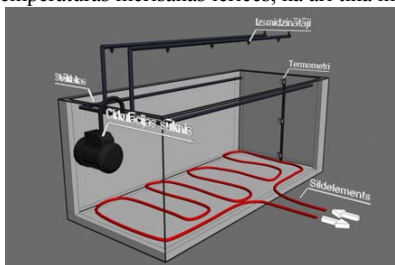
2.1. att. Siltumnesēja dzesēšanas baseina principiālā pievienošanas shēma siltuma avotam.

Baseinā siltumu piegādā no katlumājas, pievienošanas shēma ir redzama 2.1. att. Būtiski bija izvietot dzesēšanas ierīci maksimāli tuvu siltuma avotam, kur tika izvietoti

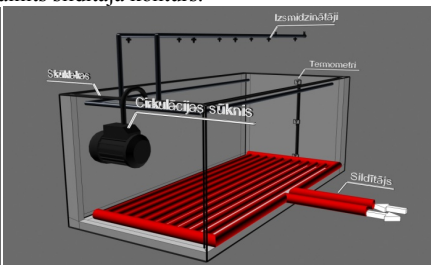
plūsmas mērītāji. Nepieciešamais temperatūras grafiks tika panākts ar siltuma padeves regulēšanas vārsta palīdzību. Baseina temperatūras grafiki eksperimenta laikā tika mainīti līdz atrasts optimālākais izvēlto procesu pētīšanai.

2.2. Pētnieciskā stenda tehniskie parametri

Eksperimenta laikā paredzētie mērījumi notika vairākās kārtās un pie atšķirīgas baseina mērierīču komplektācijas un sildītāja konfigurācijas. Dažādās eksperimenta stadijās, pilnveidojot aprīkojumu, mērierīču skaits palielinājās, pievienoja papildus spiediena un temperatūras mērīšanas ierīces, kā arī tika mainīts sildītāja kontūrs.



2.2. att. Baseins ar lokveida sildītāju.



2.3. att. Baseins ar restveida sildītāju.

Sildītājam ar lokveida kontūru, kurš redzams 2.2. att. bija liels cauruļu diametrs un maz līkumu, kas samazināja vietējās pretestības. Pievadītā siltuma apjoms eksperimenta vajadzībām bija pietiekošs, taču iekārtas ekspluatācijas laikā būtu nepieciešams ievērojami lielāks sildītāja laukums vajadzīgā siltuma novadīšanai. Lai mazinātu sildītāja laukumu un palielinātu vietējās pretestības un līdz ar to noņemtā siltuma apjomu, trešajā eksperimenta mērījumu kārtā baseinā tika ievietots sildītājs ar restveida kontūru. Izmainītā sildītāja konfigurācijas shēma redzama 2.3. att.

2.3. Dzesēšanas baseina jaudas svārstību analīze

Absorbcijas aukstumapgādes kondensatoru dzesēšanas ierīces izpētes pamatā bija eksperimenti uz iepriekš izveidota pētnieciska stenda – dzesēšanas baseina. Izmantojot eksperimentāli iegūtos datus, tika noteiktas ierīces dzesēšanas īpašības pie mainīgiem āra gaisa parametriem. Baseins tika novietots maksimāli tuvu siltuma avotam, lai samazinātu siltuma zudumus siltumtīklā, ar mērķi precīzi noteikt baseina dzesējošo īpašību īpatsvaru pievadītās substances dzesēšanā. Baseina dzesēšanas jaudas svārstību izmaiņas eksperimenta laikā tika mērītas katru stundu. Uz baseina sildītāju padotā siltumnesēja caurplūde eksperimenta laikā tiek saglabāta konstanta, un dzesēšanas jauda mainījās tikai uz āra gaisa parametru izmaiņu rēķina. Dzesējamā siltumnesēja turpgaitas un atgaitas temperatūras svārstības sildītāja kontūrā mazās robežās ir pieļaujamas. Siltuma plūsmu baseinā aprēķina pēc šādas formulas:

$$Q_{silt} = M \cdot c \cdot (T_1 - T_2) \text{ J}, \quad (2.1)$$

kur: M – caurplūde, kg/s;

c – siltumietilpība, J/kg·K;

T_1, T_2 – siltumnesēja turpgaitas, atgaitas temperatūra, K.

Baseina dzesēšanas īpašības mainās atkarībā no sildītāja laukuma, jo sildītāja laukums lielāks, jo lielāka dzesēšanas jauda. Baseina siltuma pārejas koeficients tika aprēķināts pēc skojošas formulas:

$$K_{tr} = \frac{Q}{S} \cdot \Delta t \quad W/(m^2 \cdot K), \quad (2.2)$$

kur: Q_{silt} – siltuma plūsma, J;
 S – baseina virsmas laukums, m^2 ;
 Δt – temperatūras starpība, K.

Baseina dzesējošās īpašības izmaiņa izsmidzinātāju ražība, kas atkarīga no cirkulācijas sūkņā radītā spiediena padeves caurulēs. Pieaugot izsmidzinātāju ražībai, pieaug baseina dzesēšanas jauda. Eksperimenta norises laikā izsmidzinātāju ražība tiek saglabāta konstanta, ar mērķi noteikt āra gaisa parametru svārstību iespaidu uz baseina dzesēšanas jaudas svārstībām. Izsmidzināta ūdens tilpums tika noteikts pēc formulas:

$$V_{spr} = \eta \cdot F \cdot \sqrt{2g} \cdot \frac{\Delta P}{\alpha_p} \quad m^3, \quad (2.3)$$

kur: η – izsmidzinātāju ražības koeficients, (0,6 – 0,75);
 F – izsmidzinātāju diametrs 0.01, m;
 g – gravitācijas spēks 9,8 m/s;
 ΔP – sprauslas spiediens kritums, kg/m^2 ;
 α_p – relatīvais ūdens svars 1 kg/m^3 .

Baseinā uzņemta siltuma novadīšana daļēji notiek iztvaikošanas ceļā. Lai aprēķinātu iztvaikošanas siltuma pārejas koeficientu, tika izmantota formula kodolveida iztvaikošanas gadījumam ūdenim brīvā konvekcijā. Īpatnējās siltuma iztvaikošanas pārejas koeficients tika noteikts pēc šādas formulas:

$$\alpha_{iziv} = 6,02 p^{0,20} q^{0,67} \quad W/(m^2 \cdot K), \quad (2.4)$$

kur: q – siltuma plūsmas blīvums no baseina virsmas, W/m^2 ;
 p – āra gaisa absolūtais spiediens, Pa.

Lai noteiktu dzesēšanas baseina īpatnējā iztvaikošanas siltuma plūsmu no baseina virsmas, aprēķinām tika izmantota šāda formula:

$$Q_{iziv} = \alpha \cdot S(t_v - t_s) \cdot \tau \quad J, \quad (2.5)$$

kur: t_v – izsmidzināto pilienu virsmas temperatūra, °C;
 t_s – āra gaisa piesātinājuma temperatūra, °C;
 τ – iztvaikošanas siltuma apmaiņas procesa ilgums, s.

Īpatnējā kondensācijas siltuma pārejas koeficients tika aprēķināts pie vidējās āra gaisa temperatūras eksperimenta laikā, piemeklējot āra gaisam raksturīgos parametrus pēc ūdens īpašību piesātinājuma līknes un sausa piesātināta ūdens tvaika īpašību tabulas. Temperatūras starpība tika aprēķināta starp rasas punkta un baseina ūdens virsmas temperatūru rādījumiem. Kondensācijas siltuma pārejas koeficients uz horizontāla laukuma virsmas aprēķināts pēc šādas formulas:

$$\alpha_{kond} = 0,725 \left(\frac{g \lambda^3 \rho r}{v \Delta t l} \right)^{0,25} \epsilon, \quad W/(m^2 \cdot K), \quad (2.6)$$

kur: g – gravitācijas paātrinājums, m/s^2 ;
 λ – vides (šķidrums vai gāzes) siltumvadītspējas koeficients, $W/(m \cdot K)$;
 ρ – blīvums, kg/m^3 ;
 r – iztvaikošanas siltums, kJ/kg ;
 v – vides kinemātiskā viskozitāte, m^2/s ;
 t – baseina ūdens virsmas un āra gaisa piesātinājuma temperatūras starpība, K;
 l – raksturīgais ģeometriskais izmērs, m.

Baseina ūdens uzņemta siltuma jauda kondensācijas procesa rezultātā tika aprēķināta pēc šādas formulas:

$$Q_{kond} = \alpha \cdot S(t_s - t_v) \cdot \tau \quad J, \quad (2.7)$$

kur: t_s – baseina ūdens virsmas temperatūra, °C;

t_v – izsmidzināto ūdens pilienu temperatūra virs ūdens/gaisa saskares laukuma, °C;

τ – kondensācijas siltuma apmaiņas procesa ilgums, s.

Konvektīvās siltumatdeves koeficients tika aprēķināts, nosakot āra gaisa vidējās temperatūras eksperimenta laikā. Pie šīs temperatūras pēc ūdens un sausa gaisa fiskālo lielumu tabulas tika noteikti gaisam raksturīgie parametri un aprēķināti Grāshofa un Nuselta kritēriji. Kā baseina raksturīgais ģeometriskais lielums tika noteikts garums. Baseina virsmas temperatūra tika mērīta ar 2. termometru, apkārtējās vides temperatūra tika mērīta ar āra gaisa parametru mērīšanas staciju. Konvektīvās siltuma pārejas koeficients uz horizontāla laukuma virsmas aprēķināts pēc šādas formulas:

$$\alpha_k = \frac{Nu \cdot \lambda}{L} \quad W/(m^2 \cdot K), \quad (2.8)$$

kur: Nu – Nuselta kritērijs, skaitlis;

L – raksturīgais ģeometriskais izmērs, m;

λ – vides (šķidruma vai gāzes) siltumvadītspējas koeficients, W/(m·K).

Konvekcijas laikā atdotais siltuma daudzums tika aprēķināts pēc šādas formulas:

$$Q_k = \alpha_k \cdot S(t_s - t_v) \cdot \tau \quad J, \quad (2.9)$$

kur: t_s – baseina ūdens virsmas temperatūra, °C;

t_v – apkārtējās vides temperatūra, °C;

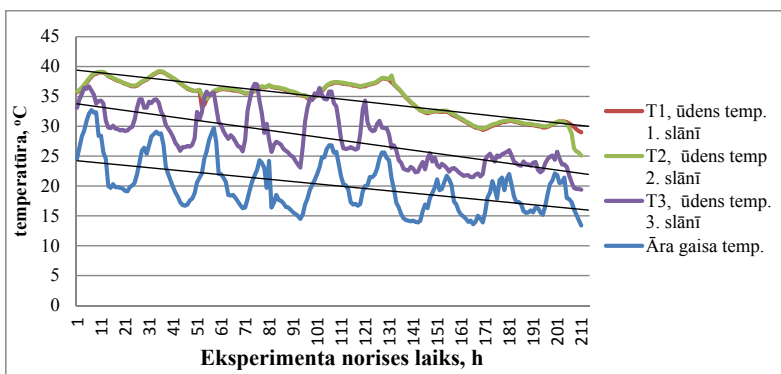
τ – konvektīvā siltuma apmaiņas procesa ilgums, s.

Novadītā siltuma komponentu summa tika aprēķināta pēc šādas formulas:

$$Q = Q_{iziv} + Q_k - Q_{kond} \quad J \quad (2.10)$$

2.4. Dzesešanas baseina eksperimentālie pētījumi

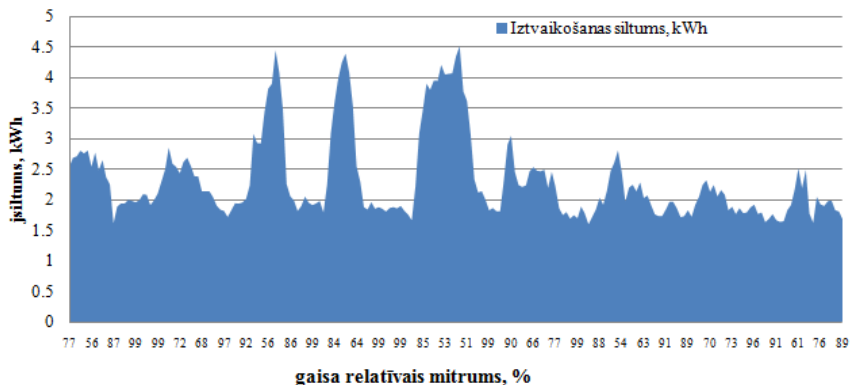
Uz izstrādātā baseina pētnieciskā stenda eksperimentālā mērījumu daļa tika realizēta trīs kārtās. Par pamatu ierīces prototipa izstrādei tika ņemta iegūto datu analīze no 3.mērījumu kārtas.



2.4.att. Āra gaisa temperatūru iespaids uz baseina dzesejošā ūdens temperatūras izmaiņām, dažādos slāņos.

Temperatūru sadalījums starp baseina ūdens slāņiem parādīts grafikā 2.4. att. Pirmajā (T1) un otrajā (T2) slānī nav novērojamas temperatūras izmaiņas, kas izskaidrojams ar vienmērīgu konvektīvo siltuma plūsmu ūdens līmenī. Atšķirībā no eksperimenta otrās kārtas ir novērojams stingrs temperatūru sadalījums pa slāņiem. Aktīvās mijiedarbības zona ir starp (T3) un āra gaisa temperatūras līkni. Šajā slānī (robežslānis) veidojas mikrovide, kurā saglabājas temperatūra, kas ir augstāka par āra gaisa temperatūru un zemāka par baseina ūdens virsmas temperatūru. Tieši robežslānī ir novērojami siltumapmaiņas procesi, kuri iespaido baseina dzesēšanas jaudas vērtības - konvektīvā siltumapmaiņa, mitruma iztvaikošana un kondensācija.

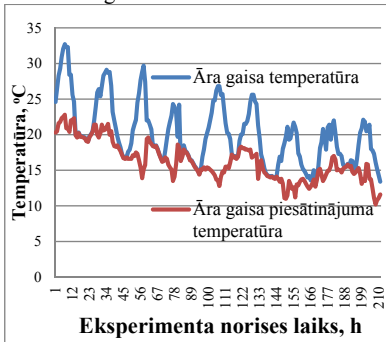
Temperatūras izmaiņu iespaidā mainās āra gaisa relatīvais mitrums, starp šo rādītāju vērtību izmaiņām iezīmējas dienas/nakts cikls. Relatīvā mitruma pieaugums saistīts ar nakts temperatūru pazeminājumu, savukārt pazeminājums ar dienas temperatūru pieaugumu. Relatīvā mitruma rādītāji iespaido baseina īpatnējās iztvaikošanas siltuma plūsmas intensitāti, kuras vērtību izmaiņas parādītas grafikā 2.5.att. Eksperimenta pirmā puse noritēja pie ļoti augstiem relatīvā mitruma rādītājiem nakts ciklā, kas uzskatāma par normālu parādību, taču eksperimenta otrajā daļā relatīvā mitruma vērtības pieauga arī dienas ciklā, samazinot iztvaikošanas siltuma plūsmu.



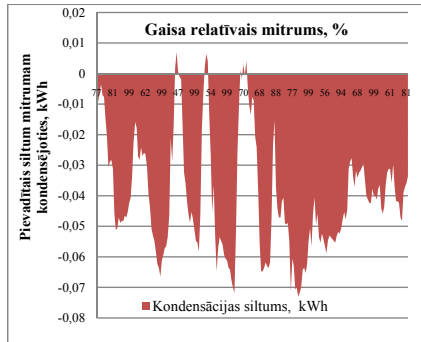
2.5. att. Āra gaisa mitruma iespaids uz iztvaikošanas siltuma plūsmu.

Mitruma iztvaikošanai ir arī pretējs process, kas norit baseina robežslānī – kondensācija. Šo procesu mijiedarbība notiek šādi: virs baseina izsmidzinātie ūdens pilieni atdod siltumu, apkārtējā vidē mitrumam iztvaikojot, taču, ņemot vērā, ka robežslānī ir zemāka temperatūra nekā apkārtējā vidē, iztvaikotais mitrums ātrāk sasniedz piesātinājuma temperatūru, un daļa no tā kondensējas, pievadot baseinam siltumu. Šis process pastiprināti novērojams gaisa un piesātinājuma temperatūrai satuvinoties, jo palielinās relatīvā mitruma rādītāji un pieaug parciālais spiediens. Gaisa un gaisa piesātinājuma temperatūras eksperimenta laikā ir redzamas grafikā 2.6. att. Kritiskās vietas, kurās veidojas kondensēšanās riski, ir līkņu tuvināšanās punktos, kad gaisa un piesātinājuma temperatūru atšķirības samazinās līdz pat 0.1°C. Šis process uzskatāms par nevēlamu, jo samazina baseina dzesēšanas jaudas potenciālu. Tehnoloģiski pilnībā izslēgt šo procesu norisi nav iespējams un, ņemot vērā pievadītā siltuma niecīgo apjomu, nav arī nepieciešams. Kondensācijas siltuma plūsmas intensitātes izmaiņas gaisa relatīvā mitruma ietekmē eksperimenta laikā ir redzamas grafikā 2.7. att. Salīdzinot grafikus 2.5.att. un 2.7.att. redzams, ka siltuma iztvaikošanas

procesi norit ar ievērojami lielāku jaudu nekā mitruma kondensācija, kuras vērtība uzskatāma par nenozīmīgu.

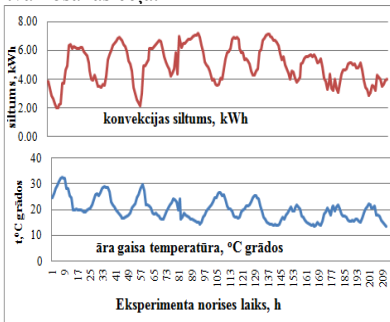


2.6. att. Āra gaisa temperatūra un āra gaisa piesātinājuma temperatūra.

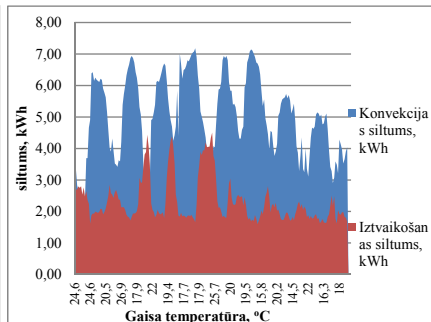


2.7. att. Kondensācijas siltuma plūsmas izmaiņas gaisa mitruma ietekmē.

Mitruma kondensēšanās process nav uzskatāms par bīstamu parādību vēl kāda iemesla dēļ, jo tas pārsvarā ir novērojams nakts laikā, kad ir pazemināta āra gaisa temperatūra, kas rada labvēlīgus apstākļus, lai no baseina novadītu siltumu konvekcijas ceļā. Āra gaisa temperatūras iespaids uz konvektīvās siltumapmaiņas plūsmas intensitāti ir redzams 2.8. att. Ja neņem vērā atšķirīgās mērvienības un vērtību mērogu, tad var uzskatīt, ka līknes izmaiņās spoguļattēlā. Arī konvektīvās siltumapmaiņas procesiem ir raksturīgs cikliskums, tas redzams grafikā 2.9. att., tikai šajā gadījumā plūsmas intensitātes pieaugums ir novērojams nakts ciklā. Tas nozīmē, ka divi būtiskākie baseina siltuma novadīšanas procesi norit pamīšus - samazinoties konvekcijas ceļā atdotā siltuma apjomam, pieaug atdotais siltums īpatnējās iztvaikošanas ceļā.



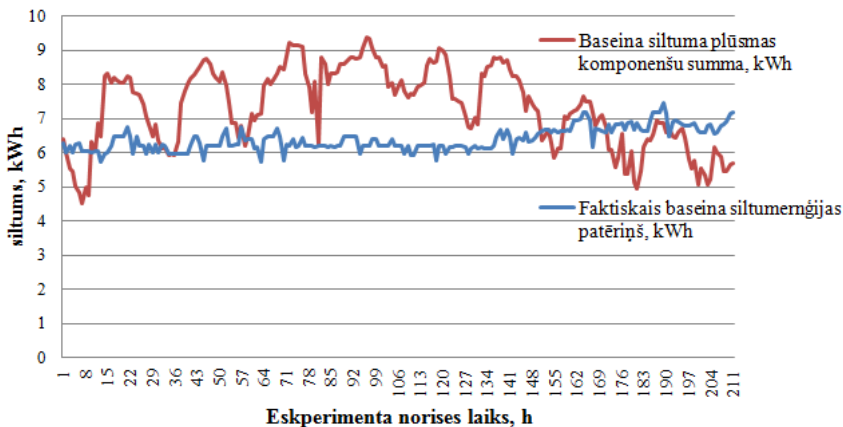
2.8. att. Āra gaisa temperatūras iespaids uz konvektīvo siltumapmaiņu.



2.9. att. No baseina novadītās siltuma komponentes dienas/nakts ciklā.

Eksperimentā aplūkotie siltumapmaiņas procesi robežslānī ietekmē novadītā siltuma apjomu, taču tie kompensē viens otra radīto svārstību izmaiņas un saglabā baseina dzesēšanas jaudu, neatkarīgi no āra gaisa parametru izmaiņām. Eksperimenta trešajā kārtā aprēķinātā baseina siltuma plūsmas komponentu summa (sarkanā līkne) un faktiskais baseina siltumenerģijas patēriņš (zilā līkne) redzams grafikā 2.10. att. Sarkanās līknes vērtības gandrīz

visa eksperimenta laikā bija lielākas par zilās līknes vērtībām. Tas ir izskaidrojams ar to, ka baseins daļu siltuma uzņem no ārpusē – saules stariem, un par šo daļu samazinās baseina dzesēšanas jauda.



2.10. att. Faktiskais siltumenerģijas patēriņš pret siltuma plūsmas komponentu summu.

Grafikā 2.10.att. redzams, ka baseina novadāmā siltuma potenciāls ir lielāks, taču neskatoties uz to saules starojuma iespaidā pievadītais siltums nav uzskatāms par noteicošo faktoru baseina dzesēšanas īpašību saglabāšanā.

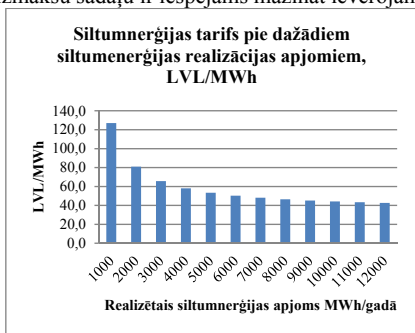
3. DECENTRALIZĒTA ABSORBCIJAS AUKSTUMAPGĀDES TĪKLA PRIEKŠROCĪBAS

Siltumenerģijas patēriņam un līdz ar to pieprasījumam pēc tās piemīt sezonāls raksturs, kas ir tieši saistīts ar apkuri. Ja izdotos palielināt siltumenerģijas noietu vasaras mēnešos, uz absorbcijas aukstumapgādes iekārtu lietošanas rēķina, tas ievērojami uzlabotu katlumājas energoefektivitāti un būtu pamats siltumenerģijas cenu samazinājumam. Siltumenerģijas izmantošana var būt ļoti dažāda, jo daudzveidīgāk to ir iespējams izmantot, jo lielāka iespēja mazināt siltumenerģijas tarifu. Lai analizētu iespējamās ieguvumus no decentralizēta absorbcijas aukstumaapgādes tīkla centralizētās siltumapgādes apstākļos ir izveidots aprēķinu modelis ar nosacījumiem, kas ļauj analizēt siltumenerģijas realizācijas pieauguma iespaidu uz iespējamo tarifa samazinājumu. Lai analīze būtu pilnīga, aprēķins balstīts uz spēkā esošu siltumenerģijas tarifu aprēķinu metodiku, kas nosaka izmaksu sadalījumu pa pozīcijām.

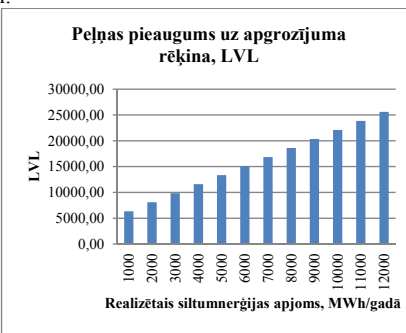
Fiksētās izmaksas saglabātas nemainīgas. Mainīgās izmaksas pieaug palielinoties saražotās siltumenerģijas apjomam, pieņemot, ka tas ir tieši saistīts ar siltumenerģijas pieprasījuma pieaugumu.

Grafikā 3.1. att. ir atspoguļoti siltumenerģijas tarifi pieaugot siltumenerģijas pieprasījumam pārskata gadā. Grafikā redzams iespējamais siltumenerģijas tarifu mazinājums pie realizācijas apjoma pieauguma. Apgrozījumam pieaugot, mazinās pastāvīgo izmaksu

intensitāte, kas ir ikviena siltumenerģijas ražotāja mērķis. Mainīgās izmaksas, kuras pārsvārā veido kurināmā izdevumi, iespaidot var ļoti maz (izņemot pašu kurināmā izvēli), tad fiksēto izmaksu sadalju ir iespējams mazināt ievērojami.



3.1. att. Siltumenerģijas pieprasījuma pieauguma iespaids uz cenu.



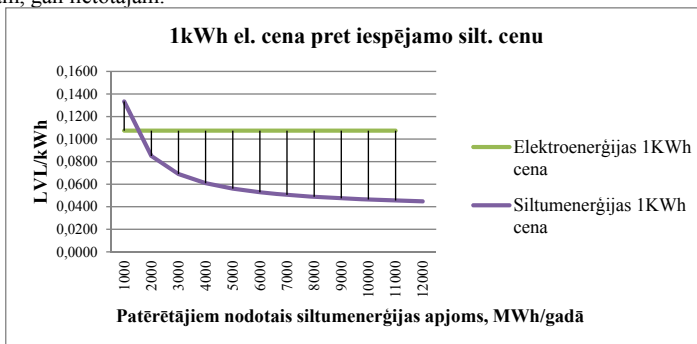
3.2. att. Peļņas komponentes izmaiņas siltumenerģijas pieprasījuma pieauguma iespaidā.

Siltumenerģijas cenu mazinājums nav pietiekoša motivācija ražotājam, taču peļņas pieaugums ir motivējošs. Kā redzams grafikā 3.1. att., pieaugot siltumenerģijas realizācijas apjomam, varētu samazināties siltumenerģijas tarifs, bet kā ir ar peļņas komponenti? Peļņas komponente tiek noteikta 5% no 1MWh cenas. Peļņas intensitāti uz siltumenerģijas tarifu aprēķina pēc šādas formulas:

$$P = T * (5\%), \text{ Ls/MWh} \quad (3.1)$$

Kā varētu pieaugt uzņēmuma peļņa, pieaugot realizētās siltumenerģijas apjomam, parādīts grafikā 3.2. att. Neskatoties uz potenciālo siltumenerģijas tarifa samazinājumu, pieaugot aprožojumam, pieaug peļņa no realizētā siltumenerģijas apjoma palielināšanās.

Optimizējot siltumapgādes tīklus un pielāgojot tos patērētājiem ar iespēju izmantot siltumenerģiju iekštelpu dzesēšanas vajadzībām, ir iespējams paaugstināt siltumenerģijas ražošanas un piegādes sistēmas energoefektivitāti un panākt tarifu samazinājumu. Šāds risinājums ilgtermiņā pie noteikta patēriņa varētu būt interesants gan siltumenerģijas ražotājam, gan lietotājam.



3.3. att. Siltumenerģijas cenas izmaiņas

Grafikā 3.3. att. ir redzama iespējamā cenu atšķirība pie noteikta siltumenerģijas patēriņa pieauguma. Konkrētajā piemērā, pie lielākā siltumenerģijas patēriņa, izmantot absorbcijas iekārtas iekštelpu dzesēšanai, būtu par 2,4 reizēm izdevīgāk nekā ar elektroenerģiju darbināmas kompresijas cikla iekārtas.

4. ESOŠAS REĢIONĀLAS SILTUMAPGĀDES SISTĒMAS DARBĪBAS ANALĪZE

Klasiskā centralizētā siltumapgāde ir vislabākais līdz šim zināmais siltumapgādes veids, kura priekšrocības vairs nav jāpierāda, jo tās uz ilggadīgas prakses un pētījumu bāzes ir definētas Eiropas Enerģētikas hartas dokumentos. Valstīs, kur klimatiskie apstākļi siltumapgādei liek pievērst īpašu uzmanību, pilsētu siltumapgādē CSS ir dominējošais siltumenerģijas piegādes veids.

Latvijā centralizētās siltumapgādes saglabāšana reģionos ir prioritāte, jo tas ir vienīgais ceļš uz enerģijas izmaksu samazināšanu. Tomēr daudzos jaunos objektos, īpaši individuālajā un maztāvu dzīvojamu ēku apbūvē tiek ierīkotas vietējās siltumapgādes sistēmas. Attīstoties tehnoloģijām un palielinoties finanšu instrumentu pieejamībai siltumenerģijas patēriņš samazinās, pieaug siltināto ēku īpatsvars, kas pie necīgās siltumslodzes vasaras periodā samazina to arī apkures periodā, pieaug to patērētāju skaits, kuri izvēlas uzstādīt individuālo apkures sistēmu, tā rezultātā samazinās siltumapgādes sistēmas energoefektivitāte. Šie nosacījumi liek būt piesardzīgiem modernizējot esošās katlumājas pēc mūsdienīgiem standartiem, jo samazinoties siltumenerģijas patēriņam pieaug iekārtu atmaksāšanās periods.

Pašreizējā reģionālā siltumapgādes sistēmu darbību Latvijas pašvaldībās salīdzinot ar klasisko siltumapgādes sistēmu, darbojas nedaudz sakropļotā veidā. Novirzes, kas sastopamas siltumapgādes sistēmās, galvenokārt ir šādas:

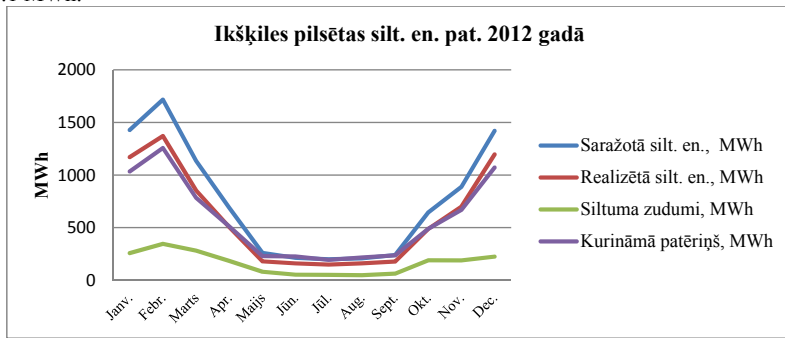
- 1) augstas siltuma ražošanas un pārvades izmaksas, ko galvenokārt izsauc lieli zudumi pārvades tīklos;
- 2) zema kurināmā izmantošanas efektivitāte, ko izsauc nolietotu, mūsdienīgām prasībām neatbilstošu, iekārtu lietošana siltumenerģijas ražošanā;
- 3) nepietiekoša siltumapgādes drošība, ko nosaka nevis sistēmu tehniskais nodrošinājums, bet gan atsevišķu objektu ilgstoši nenokārtoti parādi par siltuma piegādi;
- 4) neapmierinošs servisa līmenis, kas galvenokārt izpaužas, kā atkāpes no temperatūras grafika, regulējošo automatisko iekārtu vai apkures manuālās (rokas) regulēšanas trūkums, kas atsevišķos periodos izraisa telpu pārkuri, neiregulētas māju iekšējās apkures sistēmas (trūkst stāvu balansātoru, kas izraisa viena ēkas spārna pārkurināšanu, kamēr otrā spārnā siltuma pietrūkst), cirkulācijas trūkums karstā ūdens apgādes sistēmā, siltuma mezglā nav ieviesti datu reģistrācijas žurnāli un apkopes instrukcijas, nav izveidots mājas energopārvaldnieka dienests (sabiedriska uzraudzības institūcija no mājas iedzīvotāju vidus) utt.

Lai analizētu situāciju pie esošas reģionālās CSS sistēmas darbības, par pamatu tika ņemts siltumapgādes uzņēmums ar lokālai siltumapgādes sistēmai raksturīgām problēmām - INP SIA „Ikšķiles māja”. Galvenie uzņēmuma darbības veidi ir Ikšķiles pilsētas daudzdzīvokļu dzīvojamu māju un juridisko personu ēku siltumapgāde un apsaimniekošana, dzeramā ūdens ieguve no novadīšana līdz patērētājam.

Siltumapgādes sistēma ir kompakta, kopējais siltumtīklu garums 1.8km, uz 5.7MW siltuma jaudu, kuru saražo 4 katlumājās, pie patērētājiem visos daudzdzīvokļu namos uzstādīti individuālie siltummezgli, nomainīti siltumtīkli 1.44 km garumā, kas ir 80% no kopējā siltumtrašu garuma, tai skaitā daļa iekškvartālu tīklu līdz ēku ievadiem, ir pilnībā

rekonstruēta pilsētas lielākā katlumāja. Veiktie remontdarbi uzlaboja siltumapgādes pakalpojuma kvalitāti ražošanas un piegādes posmā. Tomēr, neskatoties uz to, siltumenerģijas tarifs Ikšķiles pilsētā ir augsts.

Ikšķiles pilsētas katlumāju apkopotie efektivitātes rādītāji redzami grafikā 4.1. att. Apkopotie dati liecina, ka katlumājas strādā ar augstu lietderības koeficientu, taču novērojama tipiska Latvijas klimatisko laika apstākļu iezīme un, beidzoties apkures sezonai, strauji kritās realizētās siltumenerģijas apjoms. Attēlā redzams, ka siltumenerģijas zudumu izmaiņu diapazons ir krietni mazāks. Piemēram, februārī uz 7 patērētājiem nodotām MWh 1 ir jāpatērē siltumtīklu inerces pārvarēšanai (siltuma zudumi), tad jūlija mēnesī šī attiecība 1.5:1 MWh.



4.1. att. Ikšķiles pilsētas siltumslodzes grafiks.

Lai analizētu apstākļus, kas izsauc augstās siltumenerģijas cenas, jāizvērtē divu lielāko katlumāju un tām pieslēgto siltumtīklu energoefektivitātes rādītāji atsevišķi. Atlikušās divas katlumājas ir lokālas un siltumenerģijas zudumus tīklos neģenerē.

Katlumāja Dainu ielā 4a - pilsētas lielākā katlumāja ar kopējo jaudu 4.18MW, kas pēc saražotā siltumenerģijas apjoma krietni pārsniedz pārējo katlumāju ražību. Šajā katlumājā tiek saražoti apmēram 75% no kopējā Ikšķiles pilsētā saražotā siltumenerģijas apjoma. Kopējais pieslēgto siltumtīklu garums ir 1,4 km.

Tabula 4.1.

Dati par saražoto un realizēto siltumenerģiju 2012.g katlumājā Dainu ielā 4a.

Mēnesis	Saražotā silt. en., MWh	Realizētā silt. en., MWh	Siltuma zudumi, MWh	Kurināmā patēriņš, MWh	Kurināmā izmantošanas efektivitāte, %	Siltuma zudumi, %
Jan.	1141.64	921.34	220.3	1033.73	110.44	23.91
Feb.	1367.93	1066.15	301.78	1256.91	108.83	28.31
Mar.	912.91	674.54	238.35	783.18	116.56	35.34
Apr.	549.82	404.29	145.53	510.98	107.6	36.00
Mai.	206.27	156.79	49.48	229.02	90.07	31.56
Jūn.	191.6	143.02	48.58	225.94	84.8	33.97
Jūl.	175.68	130.62	45.06	192.91	91.07	34.50
Aug.	193.44	148.59	44.85	217.3	89.02	30.18
Sep.	199.34	156.52	42.82	236.2	84.39	27.36

Okt.	523.46	398.73	124.73	488.54	107.15	31.28
Nov.	709.99	551.53	158.64	668.91	106.14	28.73
Dec.	1131.12	939.81	191.31	1071.87	105.53	20.36
Kopā:	7303.2	5691.93	1611.43	6915.49	105.61	22.06

Kā rāda 4.1. tabulas dati saražotais siltumenerģijas apjoms katrā kalendārā mēnesī ir atšķirīgs. Siltumenerģija tiek ražota ar augstu kurināmā izmantošanas efektivitāti, ko nodrošina gan gāzes apkures katli, gan uzstādītie dūmgāzu ekonomizaizeri. Lielu sadārdzinājumu rada augstie siltumenerģijas zudumi tīklos, kuri saglabājas pat ņemot vērā faktu, ka nerenovēti ir palikuši tikai daļa iekškvartālu tīklu. Centralizētas siltumapgādes apstākļos ar salīdzinoši mazu realizētās siltumenerģijas apjomu, enerģijas zudumu īpatsvaram sasniedzot 20%, tas kļūst par faktoru, kas ievērojami sadārdzina siltumenerģijas ražošanas pašizmaksu. Viens no izskaidrojumiem ir nepareiza patērētāja un piegādātāja robežas noteikšana, līdz ar to nepareizi novietots siltumenerģijas uzskaites mērparāts, tā rezultātā daļa patērētāja siltumenerģijas zudumu paliek piegādātāja pusē.

Katlumāja Skolas ielā 2b – pilsētas otra lielākā katlumāja ar kopējo jaudu 1.3MW. Kopējais pieslēgto siltumtīklu garums ir 0.4 km.

Tabula 4.2.

Dati par saražoto un realizēto siltumenerģiju 2012. g. katlumājā Skolas ielā 2b.

Mēnesis	Saražotā silt. en., MWh	Realizētā silt. en., MWh	Siltuma zudumi, MWh	Kurināmā patēriņš, MWh	Kurināmā izmantošanas efektivitāte, %	Siltuma zudumi, %
Jan.	234.41	196.56	37.85	250.65	93.52	19.26
Feb.	286.97	242.85	44.12	303.18	94.65	18.17
Mar.	181.55	138.54	43.01	188.8	96.16	31.05
Apr.	112.47	74.31	38.16	117.89	95.4	51.35
Mai.	40.82	9.73	31.09	44.23	92.29	319.53
Jūn.	8.45	4.67	3.78	29.38	28.76	80.94
Jūl.	7.9	2.38	5.52	13.33	59.26	231.93
Aug.	3.01	1.06	1.95	15.01	20.05	183.96
Sep.	29.54	9.83	19.71	33.9	87.14	200.51
Okt.	96.95	64.51	32.44	106.57	90.97	50.29
Nov.	142.48	113.37	29.11	156.06	91.3	25.68
Dec.	231.62	198.83	32.79	242.92	95.35	16.49
Kopā:	1376.17	1056.64	319.53	1501.92	91.62	23.22

Kā rāda 4.2 tabulas dati, otras Ikšķiles pilsētas katlumājas lietderības koeficients ir zemāks. Lietderības koeficients krītas vasaras periodā, tas ir izskaidrojams ar to, ka sabiedriskie objekti un privātmājas vasaras periodā nepatērē siltumenerģiju. Vienīgais patērētājs ir 18 dzīvokļu dzīvojamā māja, kurai siltums nepieciešams karstā ūdens sagatavošanai.

Šeit iezīmējas raksturīgās problēmas reģionālajā siltumapgādē, kad vasaras mēnešos lokālajam siltumenerģijas ražotājam daudzos gadījumos siltumenerģiju ir daudz rentablāk nepiegādāt patērētājam nekā piegādāt. Siltumenerģijas zudumi iespaido tarifu kalkulāciju, tādēļ šinī gadījumā no siltumtīklu struktūras cieš visi patērētāji. Lai palielinātu reģionālas siltumapgādes energoefektivitāti nepietiek vien ar siltumtīklu un katlumāju rekonstrukciju, jo, lai arī tas paaugstinās enerģijas piegādes drošību un samazinās zudumus, tas neatrisinās problēmas, kas saistītas ar patērētāju struktūru un siltumtīklu konfigurāciju. Ir jārod netradicionāli risinājumi, kas vienlaicīgi saglabā augstus siltumtīklu energoefektivitātes rādītājus un palielina pieprasījumu pēc siltumenerģijas vasaras periodā.

5. IZVĒLĒTĀS KATLUMĀJAS JAUDAS IESPAIDS UZ SILTUMENERĢIJAS TARIFU

Siltumenerģijas ražošana industriālajās katlumājās ir ārkārtīgi nepastāvīga. Laikapstākļi ik gadu ir mainīgi, āra gaisa temperatūras svārstību diapazons Latvijā ir no vairāk kā $+30^{\circ}\text{C}$ vasarā līdz -30°C ziemā. Šie nosacījumi ir būtiski projektējot centralizētās siltumapgādes sistēmas, galvenokārt tas attiecināms uz katlumājas jaudas izvēli. Lielas āra gaisa temperatūras svārstības bieži vien inženierus padara piesardzīgus un tā iespaidā projektēšanas stadijā tiek paredzēta liela jaudas rezerve pīķa slodžu segšanai ziemas periodā. Būtu nepiedodami projektēšanas stadijā neparedzēt pietiekošu jaudu aukstajiem ziemas mēnešiem, tomēr kādu iespaidu "inženiera piesardzība" atstāj uz siltumenerģijas patērētāju.

Par piemēru ņemts tradicionāli dārgākais kurināmais – dabasgāze. Analizēta situācija pie esošās reģionālas Ikšķiles pilsētas katlumājas, izvērtēti izdevumi, kas saistīti ar šādas katlumājas izveidošanu un ekspluatēšanu. Tika aplūkoti vēl divi varianti, vienā gadījumā, kad minētās katlumājas jauda samazināta līdz konkrētā gadā nepieciešamajai, un otrā gadījumā jauda tika izvēlēta, izslēdzot konkrētā gada pīķa slodzes. Mērķis bija izvērtēt, cik ikdienas siltumenerģijas patērētājs pārmaksā par „lieko” jaudu centralizētajos siltumapgādes tīklos, pamatojoties uz izdevumu pozīcijām, kuras tā rezultātā veidojas siltumapgādes tarifā. Izvērtējot esošās katlumājas izdevumu datus, tika piemeklēti līdzīgi samazinātas jaudas katlumāju gadījumā. Siltumenerģijas tarifi tika aprēķināti saskaņā ar „Siltumenerģijas apgādes pakalpojumu tarifu aprēķināšanas metodiku”.

Izveidots siltumenerģijas tarifa aprēķina piemērs, ar mērķi noskaidrot kāds iespaids katlumājas siltumenerģiju ražojošajām iekārtām un to komplektējošajām ierīcēm ir uz siltumenerģijas cenu. Katlumāju izejas dati atspoguļoti tabulā 5.1. un sagrupēti sekojoši:

1. Pētāmās katlumājas esošā jauda;
2. Katlumājas aprēķinātā jauda, kura saskaņā ar SPRK metodiku būtu pietiekama 2011.gada apkures sezonā;
3. Katlumājas aprēķinātā jauda, ar kuru būtu pietiekoši gadījumā, ja 2011.gada apkures periodā nebūtu nepieciešama jauda pīķa slodžu segšanai.

Tabulā 5.1 redzams dažādo jaudu katlumāju potenciālo izdevumu posteņu apkopojums, ko, izdalot ar paredzamo realizētās siltumenerģijas apjomu, var noteikt 1MWh cenu. Katlumāju izejas dati saglabāti vienādi, lai izvērtētu pīķa slodžu jaudas palielinājuma iespaidu.

Siltumenerģijas tarifu veidojošie izmaksu posteņi.

Katlumāju jauda, MW	4.2 MW	3.12MW	1.6MW
Patērētājiem nodotais siltumenerģijas apjoms, MWh	6233	6233	6233
Siltumenerģijas piegādes zudumi tīklos, MWh	1030	1030	1030
Saražotās siltumenerģijas apjoms, MWh	7263	7263	7263
Siltumenerģijas piegādes un sadales zudumi, %	14	14	14
Iekārtas izmantošanas stundu skaits, h	1729	2327	4539
<i>Fiksētās izmaksas, LVL</i>	43659	41514	38375
Darba samaksa, LVL	35000	35000	35000
Pamatlīdzekļu nolietojums, LVL	7149	6014.08	3234.58
Iekārtu uzturēšanas un remonta izmaksas, LVL	1510	500.00	140.00
<i>Mainīgās izmaksas, LVL</i>	255220.3	252827.7	249623.6
Kurināmā izmaksas, LVL (pieņemot, ka dabasgāzes cena 294.99 Ls/1000m ³)	244294.6	244294.6	244294.6
Elektroenerģijas izmaksas, LVL	10402.8	8010.14	4806.08
Dabas resursu nodoklis, LVL	522.9	522.9	522.9
<i>Kopējās izmaksas, LVL</i>	298880	294342	287998
Siltumenerģijas tarifs pie dažādiem siltumenerģijas realizācijas apjomiem, LVL/MWh	48.0	47.2	46.2

Apskatīto katlumāju jaudas no mazākas līdz lielākajai atšķiras vairāk nekā 2 reizes, taču 1MWh izmaksas par nepilniem 4%. Tas liek secināt, ka siltumenerģijas ražotājs, izvēloties lielākas jaudas iekārtu, ievērojot projektētāja piesardzību pīķa siltumslodžu segšanai, to ilgtermiņā ekspluatējot un amortizējot, nevar ievērojami sadārdzināt siltumenerģijas tarifu patērētājam.

6. INVESTĪCIJU PROJEKTA VĒRTĒŠANAS METODES

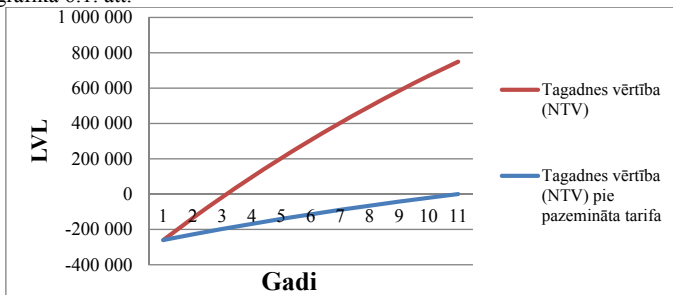
Lai noteiktu, cik izdevīgi ir ieguldīt naudu projektos, kas veicina siltumenerģijas realizācijas apjoma pieaugumu, jāveic projekta investīciju atdeves analīze. Par piemēru ņemsim 3.nodaļā tarifa kalkulācijas paraugā aprēķināto iespējami lielāko siltumenerģijas realizācijas apjomu, pie kura siltumenerģijas tarifs tika aprēķināts viszemākais – 42.70 LVL/MWh. Pieņemsim, ka esošais siltumenerģijas tarifs ir 52.74 LVL par MWh.

Lai veiktu esošās centralizētās siltumapgādes sistēmas pielāgošanu decentralizētam ausktumapgādes tīklam, siltumtīklu rekonstrukciju, siltumenerģijas kontūra sadalīšanu atbilstoši patērētāju vajadzībām, nepieciešamo investīciju apjoms ir 260000LVL. Lai analizētu projektā ieguldīto investīciju atmaksāšanās periodu, iespējams izmantot dažādas projekta rentabilitātes aprēķinu metodes. Populārākās no tām - atmaksāšanās periods (AP), neto tagadnes vērtība (NTV), iekšējā peļņas norma (IPN). Visas šīs metodes sniedz vispusīgu ekonomisku analīzi finanšu speciālistam, taču tām pietrūkst siltumapgādes nozarei raksturīgās specifikas.

Papildinātā NTV metode - rēķinot projekta rentabilitāti, tiek piemērots subjektīvs diskonta faktors, taču šoreiz, rēķinot naudas plūsmu pie izvēlēta diskonta faktora, tiek mazināts siltumenerģijas tarifs, līdz pie veselīem santīmiem tiek atrasta pirmā siltumenerģijas

tarifa vērtība, pie kuras NTV noteiktajā periodā vēl ir pozitīvs. Šādā veidā siltumapgādes uzņēmumam rodas priekšstats par investīciju iespaidu uz siltumenerģijas tarifu. Tas nenozīmē, ka tarifs uzreiz jāsamazina, taču ir zināma precīza siltumenerģijas cenas galējā vērtība pie, kuras projekts noteiktajā investīciju atguves periodā ir rentabls. Iespējamo siltumenerģijas tarifa mazinājuma apmēru nosaka siltumenerģijas piegādātājs. Šāds projektu analīzes veids ir daudz vieglāk uztverams, jo parāda potenciālo siltumenerģijas tarifa mazinājuma apmēru.

Atšķirība starp naudas plūsmu pie esošā un pazeminātā siltumenerģijas tarifa ir parādīta grafikā 6.1. att.



6.1. att. Naudas plūsmas pie NTV un papildinātā NTV.

Diskonta faktori ir vienādi abām līknēm. Sarkanā līkne aug daudz straujāk, jo siltumenerģijas tarifs ir augstāks, lai arī zilās līknes pieaugums ir daudz lēnāks, abi projekti ir ar pozitīvu NTV. Tas nozīmē, ka, veicot investīcijas un pielāgojot siltumtīklus daudzpakāpju enerģijas sadalei, siltumenerģijas tarifu ir iespējamas samazināt par 15.34%.

7. SECINĀJUMI

1. Darbā izstrādāts un pilnveidots dzesēšanas ierīces prototips, kurš var tikt izmantots absorbcijas iekārtu kondensatoru dzesēšanai – dzesēšanas baseins. Izstrādātā iekārta paredzēta zema potenciāla siltuma novadīšanai, galvenokārt, kā alternatīva gradētavām. Dzesēšanas baseins ar restveida sildītāja kontūru pie noteiktiem nosacījumiem – baseinam pieejamā platība, izsmidzināto pilienu samitrināšanas rādiuss, absorbcijas aukstumapgādes sistēmas pārdzesēšanas cikla temperatūras grafiks, siltumnesēja caurplūde, ir atbilstoša alternatīva gradētavai.
2. Darbā izstrādāta metodika dzesēšanas ierīces termodinamisko parametru aprēķinam, balstoties uz klimatoloģijas datu padziļinātu izpēti un analīzi. Izstrādātā aprēķinu metodika pārbaudīta uz eksperimentāli izstrādātās iekārtas.
3. Dominējošais parametrs, kas iespaido baseina dzesēšanas īpašības, ir āra gaisa temperatūra, kurā atspoguļojas izmaiņas pārējos baseina darbību iespaidojošajos faktoros, mainot termodinamiskos parametrus robežslānī. Āra gaisa temperatūrai pieaugot pieaug mitruma iztvaikošanas ceļā novadītā siltuma apjoms, āra gaisa temperatūrai samazinoties pieaug konvekcijas ceļā novadītā siltuma apjoms. Šo procesu savstarpējā mijiedarbība ļauj saglabāt pastāvīgu dzesēšanas jaudu.

4. Baseina dzesēšanas īpašību izmaiņām raksturīgs cikliskums, kas, kombinācijā ar siltuma akumulācijas īpašībām, nodrošina stabilu un prognozējamu dzesēšanas jaudu, mazinot āra gaisa temperatūras svārstību iespaidu. Pieaugot āra gaisa temperatūrai un samazinoties konvektīvās siltumatdeves jaudai baseina ūdens akumulē sildītājā ģenerēto siltumu saglabājot dzesēšanas jaudu. Samazinoties āra gaisa temperatūrai konvektīvās siltumatdeves jauda pieaug un baseinā akumulētais siltums tiek novadīts apkārtējā vidē.
5. Dzesēšanas baseina dzesējošo īpašību saglabāšanā noteicoša nozīme ir pareizam temperatūras gradientam. Tas sasniedzams saglabājot sadalījumu starp temperatūru slāņiem baseinā un virs ūdens/gaisa saskares laukuma. Temperatūrai izsmidzinātāju zonā jābūt zemākai par sildītāja slāni, taču augstākai par gaisa temperatūru, pretējā gadījumā dzesēšanas jauda atkarīga tikai no baseina siltuma akumulācijas īpašībām.
6. Efektīvs veids, kā palielināt siltumenerģijas noietu un izlīdzināt to gada griezumā ir siltumenerģijas izmantošana iekštelu dzesēšanas vajadzībām vasaras periodā. Šāds risinājums iespējams izveidojot absorbcijas aukstumapgādes sistēmu tīklu, tas paaugstinātu siltumapgādes sistēmas energoefektivitāti, ražošanas un piegādes posmā, samazinot siltuma zudumu iespaidu.
7. Daudzveidīga siltumenerģijas izmantošana ir niša, kurā darboties pašvaldībām ar mazu teritoriju un koncertētu infrastruktūras tīklu. Absorbcijas aukstumapgādes sistēmām ir potenciāls, kurš ilgtermiņā ļautu samazināt siltumenerģijas cenu sasniedzot konkurētspējīgu alternatīvu ar elektroenerģiju darbināmām kompresijas cikla dzesēšanas sistēmām. Būtiskākā izšķiršanās ir no kuras puses nāk iniciatīva, vai šādu pakalpojumu piedāvātu centralizēti siltumenerģijas ražotājs, vai patērētājs uzstādītu tam paredzētās ierīces.
8. Reģionālās centralizētās siltumapgādes sistēmas apstākļos, ņemot vērā siltumtīklu konfigurāciju, nepieciešams izveidot decentralizētu aukstumapgādes tīklu, saglabājot vasaras periodā iespēju piegādāt karsto ūdeni, vienlaicīgi nodrošinot absorbcijas sistēmai nepieciešamos siltumnesēja parametrus.

PUBLIKĀCIJU SARAKSTS

1. Sipkova P., Grinbergs K., Snigerjovs A., Vasilevska A. Combination of the solar energy systems for household use and apartment buildings. // Proceeding of 10th REHVA World Congress on Sustainable Energy Use in Buildings "CLIMA 2010". Antalya, Turkey, 2010. - 6p.
2. Sipkova P., Grinbergs K. Thermal cooling basin exploration for thermal calculations. // Proceeding of World Renewable Energy Congress 2011. - Linkoping, Sweden, 2011. - 8p.
3. Sipkova P., Grinbergs K. Pool as a cooling device. // Proceeding of The 9th International Conference of Young Scientists on Energy Issues 2012. - Kaunas, Lithuania, 2012. Vol. IV, p.270 - 278.
4. Šipkova P., Grinbergs K. Siltumnesēja dzesēšanas baseina izpēte siltumtehnikai aprēķiniem // Pasaules latviešu zinātnieku kongress, tēzu krājums, Sekcija „Tehniskās zinātnes”, Rīga, 2011. lpp. 57-58.

5. Sipkova P., Grinbergs K. Optimization of district heating facilities in municipalities // Digest of Riga Technical University 53rd International Scientific Conference. Riga – Latvia, 2012. 1p.
6. Sipkova P., Grinbergs K. Heat rate optimization opportunities // Proceeding of The 10th International Conference of Young Scientists on Energy Issues 2013. - Kaunas, Lithuania, 2013. Vol. IV, p.214 - 221.