

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Būvniecības inženierzinātņu fakultāte
Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģijas institūts

Andrejs SNEGIRJOVS

Doktora studiju programmas «Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģija»

FOTOELEKTRISKA SAULES ENERĢIJAS GAISA KONDICIONĒŠANA

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs:
LZA akadēmiķis, profesors *Dr. habil. sc. ing.*
P. ŠIPKOVŠ

Zinātniskie konsultanti:
Dr. P. GANTENBEIN
Dr. sc. ing. L. MIGLA

RTU Izdevniecība
Rīga 2016

Snegirjovs A. Fotoelektriska saules enerģijas gaisa kondicionēšana. Promocijas darba kopsavilkums. – Rīga, RTU Izdevniecība, 2016. – 22 lpp.

Iespiests saskaņā ar promocijas padomes «RTU P-12» 2016. gada 1. jūnija lēmumu, protokols Nr. 7.

Šis darbs izstrādāts ar valsts pētījumu programmas LATENERGI un «Sciex» programmas atbalstu.

**PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU
DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ
UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2016. gada 2. novembrī Rīgas Tehniskās universitātes Būvniecības inženierzinātņu fakultātē, Ķīpsalas ielā 6A, 205 auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

LZA Goda loceklis, profesors *Dr. habil. sc. ing.* Namejs Zeltiņš
Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Dr. sc. ing. Gaidis Klāvs
Fizikālas enerģētikas institūts, Latvija

Dr. Anton Brin
Enerģētikas institūts, Baltkrievija

APSTIPRINĀJUMS

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

Andrejs Snegirjovs

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, tajā ir ievads, piecas nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 63 zīmējumi un ilustrācijas, kopā 105 lappuses. Literatūras sarakstā ir 51 nosaukums.

SAĪSINĀJUMI UN APZĪMĒJUMI

AB	absorbciija,
AC	maiņstrāva,
AD	adsorbciija,
BS	bāzes sistēma,
CAC	tradicionālā gaisa kondicionēšana,
CAC&H	tradicionālā gaisa kondicionēšana un apkure,
COP	lietderības koeficients,
CS	aukstuma uzkrājējs,
DC	līdzstrāva,
EF	emisijas faktors, $\text{kg CO}_2 / \text{W} \cdot \text{h}$,
G	starojums uz slīpas virsmas, $\text{W} \cdot \text{h} / \text{m}^2$ gadā,
G _h	kopējais starojums uz horizontālas virsmas, $\text{W} \cdot \text{h} / \text{m}^2$ gadā,
GHG	siltumnīcas efektu izraisošās gāzes (SEG),
HP	siltumsūknis,
HS	siltuma uzkrājējs,
HVAC	apkure, ventilācija un gaisa kondicionēšana,
KŪ	karstais ūdens (DHW),
NG	dabasgāze,
OU	āra bloks (siltuma novadīšanas tornis),
P	elektriskā jauda, W,
PEF	primārās enerģijas faktors, $\text{W} \cdot \text{h}$,
PV	fotoelektrisks,
PV-SAC	fotoelektriska saules enerģijas gaisa kondicionēšana,
Q	enerģija, $\text{W} \cdot \text{h}$,
$\dot{Q}$	siltumenerģijas plūsma, W,
RES	atjaunojamie energoresursi,
RT	iekštelpu temperatūra, °C,
SAC	saules enerģijas gaisa kondicionēšana,
SEER	sezonālais enerģijas efektivitātes koeficients,
T, t _i	temperatūra, K un °C,

ANOTĀCIJA

Darba tēma ir „Fototeletriska saules enerģijas gaisa kondicionēšana” (PV-SAC).

Darba mērķis ir izstrādāt, pārbaudīt un izvērtēt tīklam pievienotas uzlabotas fototeletriskas saules enerģijas gaisa kondicionēšanas tehnoloģiju.

Komponentu izmaksu samazināšana kombinācijā ar energoefektīvu sistēmas koncepciju saules enerģijas tehnoloģiju jomā paver plašākas iespējas to izmantošanai dažādos tautsaimniecības sektoros. Pašreizējā tirgus situācijā fototeletriski darbināma kompresijas dzesēšana ir ekonomiski izdevīgāka, salīdzinot ar termiski darbināmiem sorbcijas dzesētājiem. Tas saistīts ar to, ka šajā tehnoloģijā dažas sistēmas sastāvdaļas – kompresors un siltuma novadišanas tornis – nepieciešamas mazāka izmēra.

Saules enerģijas gaisa kondicionēšanas koncepcija, kurā kombinējas fototelektroenerģija, kompresijas dzesēšana un brīvā dzesēšana, tika izstrādāta un projektēta viengimenes mājai. Darbā ir noteikti darbības parametri un saražotās elektroenerģijas apjoms un veikta siltumspējas analīze.

PV-SAC pētījums galvenokārt sastāv no divām daļām: 1. sistēmas modeļa dinamiskā simulācija (trijās dažādās klimatiskajās zonās) ar *Polysun*® programmu; 2. reālas sistēmas darbināšana mērenā klimatiskajā zonā. Sistēma tika salīdzināta ar divu tipu sorbcijas saules enerģijas gaisa dzesēšanas tehnoloģijām.

Promocijas darba rezultāti ir ziņoti 11 starptautiskās zinātniskās konferencēs un atspoguļoti 28 publikācijās, ir saņemts patents. Promocijas darbā ir piecas nodaļas, un tā apjoms ir 105 lappuses, kurās ietverti 63 attēli un sešas tabulas. Darbā izmantots 51 literatūras avots.

SATURS

ANOTĀCIJA.....	5
SATURS.....	6
IEVADS	6
1 PV-SAC SISTĒMAS POTENCIĀLA NOVĒRTĒŠANA	7
2 EKSPERIMENTĀLĀ PV-SAC Sistēma.....	9
3 PV-SAC SISTĒMAS VEIKTSPĒJAS EKSPERIMENTĀLĀ PĀRBAUDE	10
4 PV-SAC MODEĻA SIMULĀCIJA	10
5 PV-SAC DARBĪBAS NOVĒRTĒJUMS	17
SECINĀJUMI	19
PUBLIKĀCIJAS	20
PATENTS.....	22

IEVADS

Novitāte

Pieejamā informācija par elektriski darbināmām saules enerģijas gaisa kondicionēšanas sistēmām (SAC) ir ierobežota. Ievērojams skaits tehnisko datu galvenokārt attiecas uz liela mēroga fotoelektriskajām saules gaisa kondicionēšanas sistēmām. Ticama informācija par šādu sistēmu saražotās enerģijas apjomu ir noskaidrota tikai pēdējo gadu laikā, taču tā bieži vien nav publiski pieejama, kaut arī ir liela saules enerģijas pētnieku un inženieru interese par šāda veida SAC sistēmām. Šajā pētījumā tiek analizēta PV-SAC tehnoloģija, kurā izmantota mazjaudas sistēmas (ar vidējo dzesēšanas jaudu līdz 15 kW_p), darbības novērtējums. Šāda sistēma ietver PV elektriski darbināmu kompresijas dzesētāju ar aukstuma un siltuma enerģijas uzkrājējiem un siltumenerģijas novadīšanu karstā ūdens vajadzībām. Ne-dzesēšanas sezonā ir iespējams izmantot šo sistēmu apgrieztā režīmā. Šajā režīmā apkārtējais gaiss kalpo kā siltuma avots. Turklāt «brīvā dzesēšana» ir paredzēta PV-SAC sistēmas koncepcijā.

Mērķis un uzdevumi

Darba mērķis ir izstrādāt, pārbaudīt un izvērtēt tīklam pievienotas uzlabotas fotoelektriskas saules enerģijas gaisa kondicionēšanas tehnoloģiju.

Galvenie uzdevumi:

- 1) izstrādāt un pārbaudīt PV-SAC izmēģinājuma sistēmu, darbinot to reālos apstākļos;
- 2) novērtēt PV-SAC sistēmas enerģijas patēriņu un saražotās enerģijas apjomu, izmantojot dinamiskās simulācijas modeļa programmu *Polysun*®;
- 3) novērtēt PV-SAC sistēmas ieviešanas potenciālu kopīgā HVAC tautsaimniecības jomā;

- 4) noteikt PV-SAC sistēmas sastāvdaļu ietekmi uz sistēmas veiktspēju un darba parametriem;
- 5) salīdzināt PV-SAC tehnoloģiju ar visbiežāk sastopamajām saules enerģijas gaisa kondicionēšanas tehnoloģijām (adsorbcija, absorbcija);
- 6) izvērtēt PV-SAC sistēmas veiktspēju dažādos klimatiskajos apstākļos;
- 7) novērtēt sistēmas tehnisko, ekonomisko un ekoloģisko ietekmi;
- 8) noteikt tīklam pievienotas uzlabotas PV-SAC sistēmas potenciālu.

Darba aktualitāte

Nākotnē ir sagaidāms dzesēšanas slodžu pieaugums komforta vajadzībām privātajās un biroja ēkās, tāpēc nepieciešams meklēt alternatīvu tradicionālajiem enerģijas avotiem, lai samazinātu siltumnīcefekta gāzu emisijas pasaulē. Sastāvdaļu izmaksu samazinājums un inovatīvie risinājumi saules enerģijas tehnoloģiju jomā paver plašākas iespējas tā izmantošanai dažādās tautsaimniecības nozarēs. Saules enerģijas dzesēšanas apvienība «SHC IEA» publicē ziņojumus par saules enerģijas dzesēšanas un gaisa kondicionēšanas sistēmu skaita pieaugumu pēdējo 10 gadu laikā. Literatūra piedāvā vairākus saules starojuma enerģijas pārveidošanas veidus aukstuma enerģijā, izmantojot dažādas saules enerģijas dzesēšanas tehnoloģijas. Šodien populārākās tehnoloģijas ir termiski darbināmi absorbcijas un adsorbcijas dzesētāji kombinācijā ar saules kolektoriem. Tomēr, ņemot vērā sorbcijas mašīnu un saules kolektoru augstās izmaksas, šo tehnoloģiju tirgus aug ļoti lēni. Tajā pašā laikā fotoelektrisko moduļu (PV) tirgus attīstās strauji, jo nepārtraukti samazinās PV moduļu cenas. Ekonomiskais iemesls palielina saules enerģijas elektrisko gaisa kondicionēšanas sistēmu pievilcību, līdz ar to PV moduļu kombinācija ar elektriski darbināmu dzesēšanas sistēmu veido uz PV saražotās elektroenerģijas gaisa kondicionēšanas koncepciju. Jāatzīmē, ka visas PV elektriski darbināmas gaisa kondicionēšanas sistēmas sastāvdaļas ir brīvi pieejamas tirgū.

Elektriski darbināmas apkures un dzesēšanas iekārtas, piemēram, tvaika kompresijas siltumsūkņi (HP), dzesētāji vai apgrieztās darbības siltumsūkņi, sasaistītas ar siltuma un/vai aukstuma enerģijas uzkrāšanas iekārtām, ir pievilcīgs energoapgādes risinājums ēkās. Tomēr, izņemot dažus Eiropas reģionus, tikai daži pilnīgi nokomplektēti sistēmu risinājumi, kas izmanto fotoelementus ēkas energoapgādei, ir pieejami tirgū, un neviena no tām neapvieno PV un aukstuma ražošanas iekārtas vienotā sistēmā. Šā iemesla dēļ trūkst informācijas par šādu sistēmu darbības rezultātiem un kopējām izmaksām.

1. PV-SAC SISTĒMAS POTENCIĀLA NOVĒRTĒŠANA

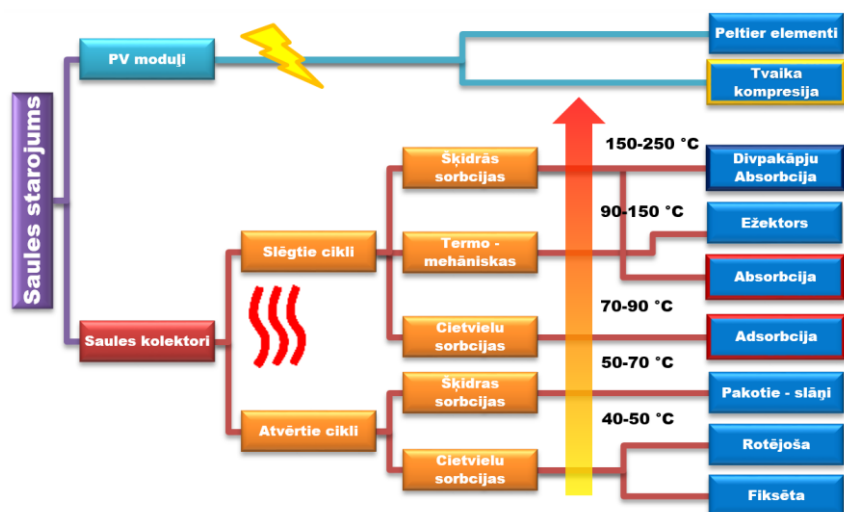
Aukstuma ražošana un citas dzesēšanas darbības nozīmē siltuma novadīšanu no vides. Tādējādi jēdziens «gaisa kondicionēšana» galvenokārt attiecas uz siltuma novadīšanu, bet dažos gadījumos tas var ietvert arī siltuma pievadīšanu.

Pieaugošais komforta līmenis ēkās veicina dzesēšanas pieprasījumu un līdz ar to veicina dzesēšanas tirgus pieaugumu. Šī komforta prasība pēc gaisa kondicionēšanas ir kļuvusi par nepieciešamību komerciālās ēkās, un vairs nav uzskatāma par greznību. Ņemot vērā šīs prasības un mērķi samazināt SEG emisijas, strauji var pieaugt saules enerģijas gaisa kondicionēšanas sistēmu tirgus. Tas ir saglabājies relatīvi nepamanīts politikas veidotājiem, jo dzesēšanas vajadzībām tradicionāli tiek izmantoti elektriskie gaisa

kondicionētāji, slēpjot dzesēšanas elektropatēriņa komponentu ēkas kopējā elektroenerģijas patēriņā.

Eiropā ir sagaidāms komerciālo ēku, kas aprīkotas ar dzesēšanas sistēmu, īpatsvara pieaugums, kas līdz 2020. gadam varētu sasniegt ap 60 %. Maksimālais iespējamais dzesēšanas pieprasījums Eiropā gadā, ja pieņem, ka 100 % visu lietošanā esošo telpu būtu aprīkotas ar gaisa kondicionieriem, tiek lēsts, ka dzesēšanai ik gadu tiktu patērētas 1400 TW·h.

Saules enerģijas dzesēšanas apvienība «SHC IEA» paredz strauju saules enerģijas dzesēšanas tehnoloģiju attīstību atbilstoši pieaugošajiem atjaunojamās enerģijas avotiem (RES). RES pieaugums tiek veicināts, īstenojot atbalsta mehānismus enerģētikas nozarē, ko nosaka ES direktīvas un regulas par enerģijas izmantošanu. Ēku direktīvas 2009/28/EC apakšuzdevums ir samazināt dzesēšanas slodzes pieaugumu. Ne mazāka ietekme ir bijusi direktīvas «2020 par gandrīz nulles enerģijas ēkas», kas nosaka prasību samazināt fosilā kurināmā un elektroenerģijas patēriņu. Ir iespējams samazināt enerģijas patēriņu, nesamazinot komforta līmeni, izmantojot enerģijas taupīšanas tehnoloģijas, tajā skaitā saules enerģijas gaisa kondicionierus. Tas nozīmē, ka tuvojas būtiskas izmaiņas un liels darbs būs jāveic tuvākajā laikā. Mūsdienās daudzi pētniecības institūti nodarbojas ar tiešās un netiešās saules enerģijas gaisa kondicionēšanas tehnoloģiju pētniecību un attīstību.



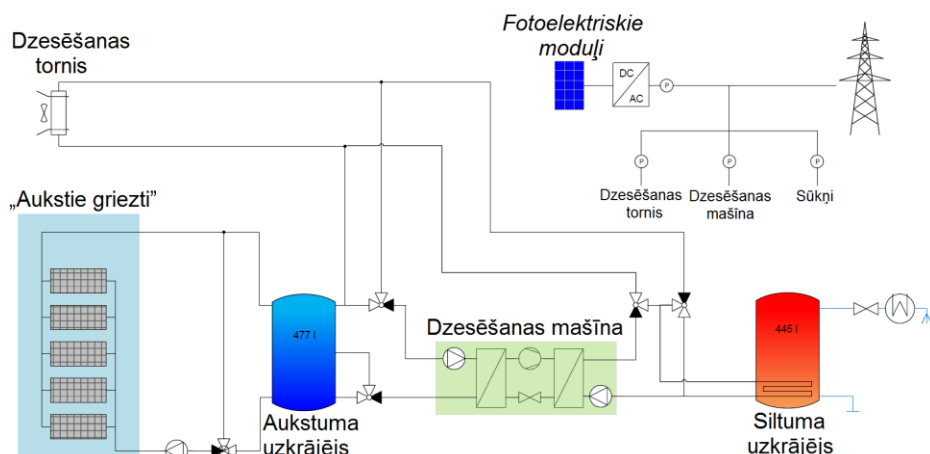
1.1. att. Saules enerģijas dzesēšanas tehnoloģiju shēma.

Saules enerģijas dzesēšanas tehnoloģiju shēma, kas parādīta 1.1. attēlā, tika izveidota, apkopojot jaunāko informāciju no dažādiem avotiem.

Saules enerģijas dzesēšana var būt pasīva vai aktīva. Pasīvā saules enerģijas dzesēšana nozīmē, ka nav ārējās enerģijas pievades; pasīvās sistēmas netiek iedalītas pēc tipa, jo tas darbā nav būtiski. Savukārt aktīvā saules enerģijas dzesēšanā kā enerģijas pārnesei vielu izmanto elektroenerģiju vai siltumenerģiju. Siltumenerģiju termiski darbināmiem dzesētājiem ražo galvenokārt saules kolektori. Elektroenerģiju elektriski darbināmiem dzesētājiem iegūst no fotoelementu (PV) moduļiem vai lielām saules enerģijas stacijām, izmantojot tvaika turbīnas. Saules enerģijas dzesēšanas tehnoloģiju izvēlas atkarībā no enerģijas avota, izmantošanas un klimatiskajiem apstākļiem.

2. EKSPERIMENTĀLĀ PV-SAC SISTĒMA

Maza mēroga PV-SAC sistēma tika izstrādāta un uzbūvēta Saules enerģijas tehnoloģiju institūtā (Rappersvile, Šveice).



2.1. att. Elektriski darbināmas saules enerģijas gaisa kondicionēšanas sistēmas shēma.

Galvenie PV-SAC sistēmas komponenti (2.1., 2.2. att.), veidojot minēto sistēmu, ir PV moduļu sistēma apvienojumā ar DC/AC invertoru, elektriski darbināmu dzesētāju, iekštelpu aukstuma sadales elementi («aukstie griesti») un āra siltuma novadišanas bloks. Izmēģinājuma sistēmu veido arī siltuma uzkrājējs, aukstuma uzkrājējs un siltuma novadišanas tornis (āra bloks) karstā ūdens priekšsildīšanai.

PV moduļi	Dzesēšanas mašīna Siltuma uzkrājējs	Dzesēšanas tornis (Ārējais bloks)
«Aukstie griesti»	Aukstuma uzkrājējs	Mērierīces

2.2. att. Galvenie PV-SAC sistēmas komponenti.

Nepieciešams veikt padziļinātu izpēti, lai noteiktu precīzus darba parametrus un tehnoloģijas aukstuma un siltuma veiktspējas.

3. PV-SAC SISTĒMAS VEIKTSPĒJAS EKSPERIMENTĀLĀ PĀRBAUDE

Izmēģinājuma PV-SAC sistēmas veiktspēja tika pārbaudīta reālos klimatiskajos apstākļos. Sistēma galvenokārt darbojās autonomā režīmā. Konkrēti eksperimenti tika veikti ar mērķi rūpīgi izpētīt siltuma un masas pārnesei sistēmā. Testu laikā tika vērtēts elektroenerģijas patēriņš atsevišķām sistēmas sastāvdaļām.

Pēc veiktajiem eksperimentiem tika iegūti precīzi sistēmas darbības rādītāju dati. Pirmie rezultāti liecina, ka dažu izmēģinājuma sistēmas komponentu dati atšķiras no tehniskās specifikācijas. Tāpēc bija svarīgi pārbaudīt un atjaunot datus par galveno sistēmas komponentu parametriem – siltuma caurlaidības koeficientu siltuma uzkrājumam; siltuma caurlaidības koeficientu un dzesēšanas mašīnas siltumspēju; sistēmas efektivitātes koeficientu (*COP*) un tā atkarību no darbības parametriem.

Eksperimentāli tika analizēta:

- aukstuma sagatavošana:
 - siltuma novadīšana uz siltuma uzkrājēju;
 - siltuma novadīšana uz āra bloku;
- aukstuma sadale;
- brīvā dzesēšana:
 - tikai aukstuma sagatavošanai;
 - ar aukstuma sadali;
- apgrieztais režīms;
- siltuma uzkrājēja izlāde KŪ vajadzībām;
- siltuma uzkrājēja izlāde uz āra bloku;
- siltuma uzkrājēja siltuma zudumi;
- fotoelementu (PV) darbība;
- autonomā PV-SAC darbība.

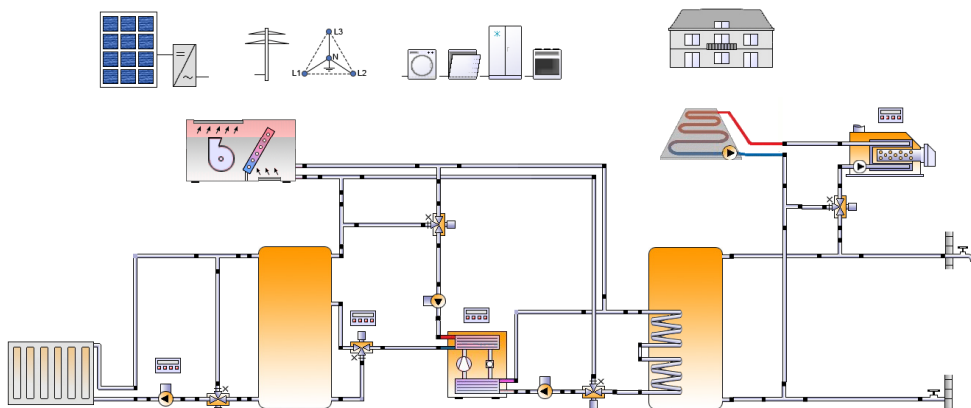
PV-SAC darbība tika pilnveidota atbilstoši eksperimentu (31 eksperiments) rezultātiem. Daži testi tika atkārtoti. Tas pierādīja sistēmas modeļa atbilstību nākamajam solim – PV-SAC sistēmas pētījumiem.

4. PV-SAC MODEĻA SIMULĀCIJA

Pētījumā tika veikts saules enerģijas gaisa kondicionēšanas sistēmas novērtējums. Sistēmas izstrādes pētījums tika veikts, izmantojot *Polysun*® (versija 8) simulācijas programmu. Vienkāršota shēma, kas tika analizēta, ir parādīta 4.1. attēlā.

Reālā sistēma atrodas Rappersvilē (Šveice). Globālais saules starojums uz horizontālas virsmas ir $G_h = 1,103 \text{ MW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ gadā. Starojums uz PV moduļu plaknes ar dienvienu orientāciju un slīpuma leņķi 15° ir $G = 1,205 \text{ MW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ gadā.

Īpatnējā DC slodze gadā PV moduļiem ir gandrīz $0,914 \text{ MW} \cdot \text{h}/\text{kW}_n$ gadā, un kopējais saražotās AC enerģijas daudzums no PV moduļiem ir $2,344 \text{ MW} \cdot \text{h}$ gadā. 57,4 % PV elektroenerģijas tika saražots dzesēšanas sezonā. Invertoru efektivitāte gadā ir 94,9 %. DC elektriskās enerģijas zudumi līdzstrāvas līnijā ir $36 \text{ kW} \cdot \text{h}$ gadā.



4.1. att. Vienkāršota PV-SAC sistēmas shēma ar ilustratīviem elementiem

Dzesēšanas sezona ir no maija vidus līdz oktobra sākumam. Dzesēšanas enerģijas pieprasījums ir $Q_{dzes} = 49 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2$ gadā. Dzesēšanas sezonā ēkas siltuma ieguvums ir apmēram $13,9 \text{ MW} \cdot \text{h}$, kur saules enerģijas devums caur logiem ir 74,9 %, ieskaitot 2 %, kas notiek siltuma plūsmas ietekmē caur norobežojošajām konstrukcijām, 1 % – no dabīgās ventilācijas un infiltrācijas, pārējie 22 % ir iekšējā siltuma devums, kas iegūts ēkā. Savukārt, kad āra temperatūra ir zemāka nekā telpās, liela daļa $9,02 \text{ MW} \cdot \text{h}$ tiek novadīta caur norobežojošām konstrukcijām, dabīgo ventilāciju un infiltrāciju. Kondicionēšanas sistēma novada 35,1 % ēkas siltuma, 35,9 % novada ēkas norobežojošās konstrukcijas, 29 % tiek novadīti ar dabisko ventilāciju un infiltrāciju. Ēkas iekštelpu vidējā temperatūra dzesēšanas sezonas laikā ir nedaudz zemāka par 22°C , un lielākā daļa laika tā svārstās robežās no $T_{iekš} = 17,5^\circ \text{C}$ līdz $T_{iekš} = 24,3^\circ \text{C}$.

Elektroenerģija tiek patērēta, lai darbinātu siltuma sūkni, siltuma novadīšanas bloku un sūkņus. Kopējais elektroenerģijas patēriņš dzesēšanas sezonā ir $1040 \text{ MW} \cdot \text{h}$, kur 95,6 % tiek izmantoti, lai darbinātu siltumsūkni, 2 % – siltuma novadīšanas blokam un 2,4 % – sūkņiem. Automātiskās vadības sistēmai ir zems elektroenerģijas patēriņš.

Vidēji 42 % PV saražotās elektroenerģijas tiek izmantoti siltumasūklim aukstuma ražošanai. PV-SAC sistēma saražo $1,35 \text{ MW} \cdot \text{h}$ gadā ar PV moduļu sistēmu, un $1,04 \text{ MW} \cdot \text{h}$ gadā patērē visi sistēmas elektroenerģijas patērētāji dzesēšanas sezonā. Tādā gadījumā PV-SAC sistēma spēj sevi pilnībā nodrošināt ar elektroenerģiju. Turklāt 30 % saražotās elektrības var uzkrāt rezervē. Tas nozīmē, ka pastāv liels optimizācijas potenciāls, ko nosaka PV sistēmas pieejamā elektrība un zemais elektroenerģijas patēriņš aukstuma ražošanai.

Daļa novadītās enerģijas no siltumsūkņa tiek novirzīta uz siltuma uzkrājēju karstajam ūdenim. Šīs enerģijas izmantošana uzlabo sistēmas darbību kopumā. Karstā ūdens vajadzībām pietiek $1,29 \text{ MW} \cdot \text{h}$ gadā novadītā siltuma, kas nodrošina 99,6 % siltumenerģijas pieprasījuma plus siltuma zudumi.

«Brīvā dzesēšana» ievērojami uzlabo PV-SAC tehnoloģijas veiktspēju. Sezonālais enerģijas efektivitātes koeficients (SEER) «brīvajai dzesēšanai» ir 23,51.

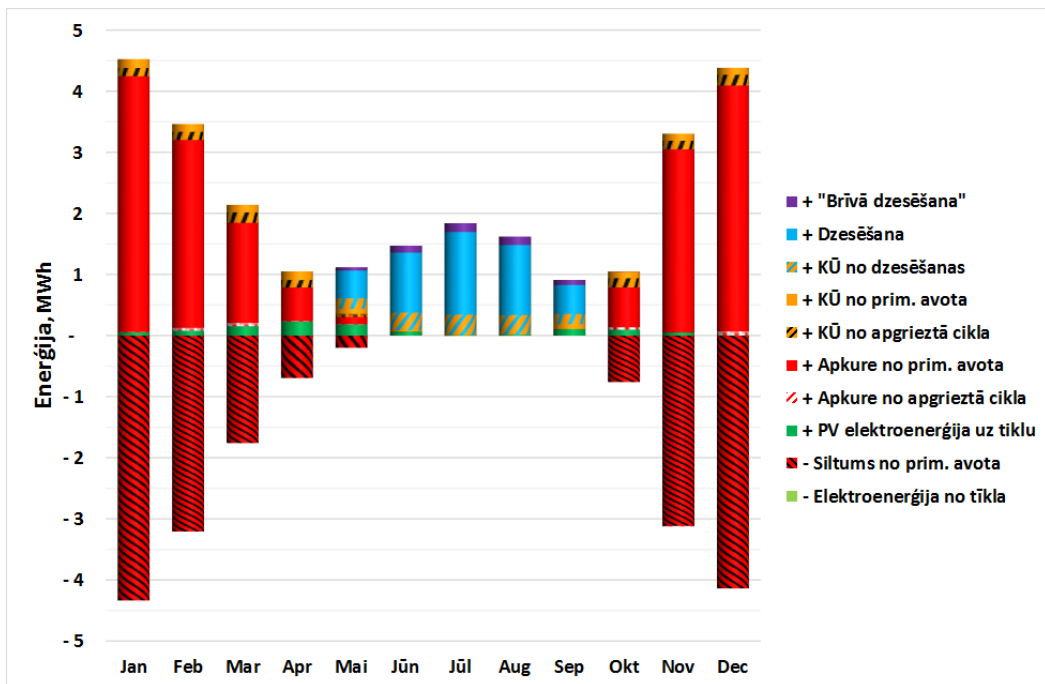
SEER tika aprēķināts izmantojot sekojošo formulu:

$$SEER_{el} = \frac{\int (\dot{Q}_H + \dot{Q}_C + \dot{Q}_{DHW} + \dot{Q}_{aux} + \dot{Q}_{hl}) dt}{\int \sum (P_{el,PV-SAC}) dt}, \quad (4.1.)$$

kur sistēmas veiktspēja ietver siltuma plūsmu apkurei ($\dot{Q}_H$), dzesēšanai ($\dot{Q}_C$), karstajam ūdenim ($\dot{Q}_{DHW}$), primāram siltuma avotam ($\dot{Q}_{aux}$) un siltumu zudumiem ($\dot{Q}_{hl}$). Elektroenerģijas patēriņš PV-SAC ($P_{el,PV-SAC}$) sastāv no elektriskās jaudas siltumsūkņim ($P_{el,HP}$), ārējam blokam ($P_{el,OU}$), karstā kontūra cirkulācijas sūkņim ($P_{el,Hcp}$), aukstā kontūra cirkulācijas sūkņim ($P_{el,Ccp}$), aukstuma sadales cirkulācijas sūkņim ($P_{el,CCcp}$), sistēmas vadības blokam ($P_{el,A}$) un katram elektriskās piedziņas vārstam ($P_{el,ev}$).

$$\sum (P_{el,PV-SAC}) = P_{el,HP} + P_{el,OU} + P_{el,Hcp} + P_{el,Ccp} + P_{el,CCcp} + P_{el,A} + \sum_{i=1}^n (P_{el,ev,i}) \quad (4.2.)$$

Dzesēšanas mašīnas gada siltumspēja, ieskaitot «brīvo dzesēšanu», saražo 4,954 MW·h aukstuma. Mazāk nekā 1 % saražotā aukstuma ir izgarojis tehniskajā telpā. Kopējais elektrības *SEER* dzesēšanas sezonā ir 6,02. PV-SAC sezonālais enerģijas efektivitātes koeficients ņem vērā saražoto aukstumu, tajā skaitā «brīvo dzesēšanu», un siltumu, kas tiek novirzīts karstā ūdens priekšsildīšanai. Šajā laikā PV saražotā elektrība sedz dzesēšanas mašīnas un citu elektriski darbināmo iekārtu kopējo elektroenerģijas patēriņu.

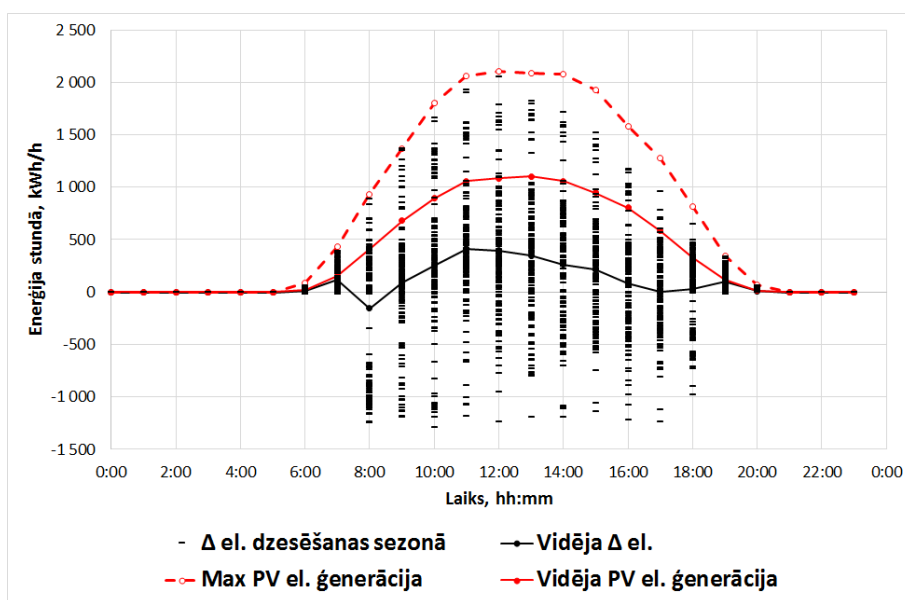


4.2. att. Enerģijas plūsmas pa mēnešiem PV-SAC dažādos režīmos
*atrašanās vietā Rappersvilē.

42,6 % PV ģenerētās elektroenerģijas tiek saražota ne-dzesēšanas sezonā, to var izmantot sildīšanai, piemēram, darbinot dzesēšanas iekārtu kā siltumsūkni vai veikt elektroenerģijas novadīšanu elektroenerģijas tīklā. Rezultātā 1,2 % apkures pieprasījuma un 57,7 % karstā ūdens apkures pieprasījuma sedz ar PV-SAC sistēmas palīdzību. Pārējais siltuma daudzums būtu jāsedz ar primāro siltuma avotu.

Siltumu izmantojot zemas temperatūras apkures sistēmā, apgrieztā režīmā tiek panākta augsta veiktspēja. Samazinātā vidējā temperatūras starpība starp siltumsūkņa karsto un auksto kontūru būtiski ietekmē tās *COP*. Siltumenerģijas ražošanas efektivitāte karstā ūdens sagatavošanai ir gandrīz divas reizes mazāka nekā zemas temperatūras apkurei, tādējādi siltumenerģijas ražošana karstā ūdens vajadzībām ir otrā prioritāte. Siltumsūkņa saražotais siltums ietver absorbēto siltumu un patērēto elektroenerģiju, atskaitot siltuma zudumus. Ne-dzesēšanas sezonas siltuma sūkņa *SEER* ir 4,8, kas ir zemāks nekā dzesēšanas sezonā. Ņemot vērā iepriekš minēto, gada vidējais PV-SAC *SEER* ir 5,76.

Āra gaisa siltuma izmantošana var būt ierobežota, jo pastāv sasalšanas risks, kas saistīts ar āra gaisa zemajām temperatūrām un paaugstinātajiem mitruma apstākļiem. Tāpēc apkures un karstā ūdens priekšsildīšana samazinās laikā no novembra līdz martam. Tas ir galvenais PV-SAC tehnoloģijas trūkums.



4.3. att. PV elektroenerģijas ražošana, PV el. patēriņš no tīkla/novadīšana tīklā

*Δ elektroenerģija – starpība starp PV saražoto un no tīkla patērēto elektroenerģijas apjomu.

Attiecība starp patērēto elektroenerģiju un ieguvumiem no PV-SAC sistēmas izmantošanas ir parādīts 4.3. attēlā. Dati liecina, ka viens no tehnoloģijas mērķiem ir sasniegts – PV-SAC samazina pīķa elektroenerģijas patēriņu aukstuma ražošanai.

Monitoringa rezultāti rāda, ka ievērojams dzesēšanas patēriņš notiek naktīs. Aukstuma uzkrājēja vajadzībām dienas sākumā nepieciešama uzlāde. Tāpēc dzesēšanas mašīnas patērētā elektroenerģija pārsniedz PV saražoto elektroenerģiju no rīta.

Sistēmas uzlabojumu ietekme

Promocijas darbā tika pētīti sistēmas uzlabojumi, pievienojot apakšsistēmas sastāvdaļas, un to ietekme uz vispārējo sistēmas veiktspēju. Visa tipa sistēmām prasība bija pilnībā segt dzesēšanas pieprasījumu. Bāzes kondicionēšanas sistēma shematiski sastāv no dzesēšanas mašīnas, «aukstiemi griestiem» un siltuma novadīšanas ārējā bloka. Papildus attiecīgās sastāvdaļas pievieno pa vienai, līdz tiek sasniegta atskaides sistēma. 4.1. tabula atspoguļo simulācijas rezultātus visām sistēmas versijām.

4.1. tabula

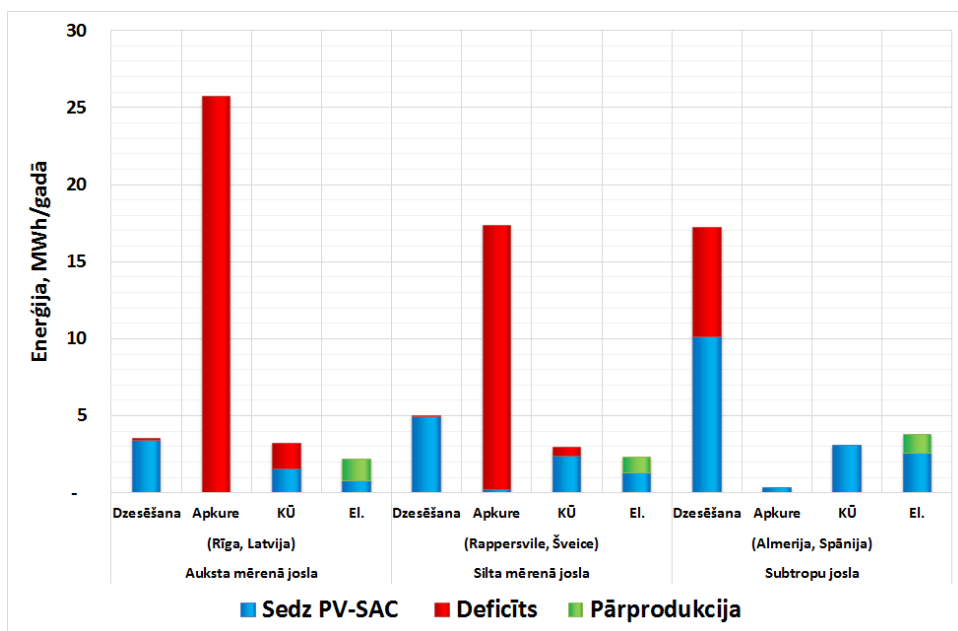
Dažādu sistēmas tipu rezultāti – bāze sistēma + uzlabojumi.

Sistēma un papildinājumi	CS	HT + KŪ	„Brīvā dzesēšana”	Apgrieztais režīms	Δ elektroenerģija (MW·h gadā)	Aukstuma veiktsp. (MW·h gadā)	Apkure + KŪ (MW·h gadā)	Elektriskais SEER gadā
Bāzes sistēma (BS)	–	–	–	–	0,895	5,763	0	3,98
+ aukstuma uzkrājējs (CS)	X	–	–	–	1,393	4,545	0	4,78
+ siltuma uzkrājējs (HS) un KŪ	X	X	–	–	1,294	4,580	1,327	5,63
+ «brīvā dzesēšana»	X	X	X	–	1,306	4,956	1,291	6,02
+ apgrieztais režīms (ēka ar normālu siltumizolāciju)	X	X	X	X	1,040	4,945	2,580	5,76
Ēka ar sliktu siltumizolāciju	X	X	X	X	1,232	3,904	2,391	5,66
Ēka ar palielināto siltumizolāciju	X	X	X	X	0,773	6,266	2,344	5,90

PV-SAC siltumspēja dažādos klimatiskajos apstākļos

Izveidotais PV-SAC sistēmas modelis tika simulēts dažādām klimatiskajām zonām. Lielākā daļa SAC sistēmu ir uzstādītas tieši Eiropas reģionā, tāpēc simulācija tika veikta šajā teritorijā. Sistēmas simulācija un enerģijas plūsmu analīze ar standartmetodēm tika veikta trīs klimatisko zonu pilsētās: aukstā mērenā joslā, piejūras – Rīga (Latvija), 57° N; siltā mērenā joslā, kontinentālā – Rappersvile (Šveice), 47° N; subtropu joslā, piejūras – Almerija (Spānija), 37° N.

Aukstā mērenajā (Rīga) un siltā mērenajā (Rappersvile) joslā ir novērots neliels dzesēšanas enerģijas deficīts (skat. 4.4.attēlu), un dažas dienas istabas temperatūra pārsniedz 22 °C. Palielinot sistēmas jaudu, iespējams samazināt iekštelpas temperatūras pīķi, bet rezultātā samazinās sistēmas SEER efektivitāte, jo sistēmas ekspluatācija nominālā slodzē notiek reti. Turklāt aukstā mērenajā klimatiskajā zonā nepieciešama 1,3–1,6 reizes lielāka sildīšanas jauda. Zemās āra gaisa temperatūras un apgrieztā režīma rets lietojums uzlabo tehnoloģijas veiktspēju. Rīgā elektriskā SEER efektivitāte PV-SAC ir 6,57.



4.4. att. PV-SAC gada patēriņš un produktivitāte dažādās klimatiskajās zonās.

Sistēmas darbība apgrieztā režīmā gandrīz netiek izmantota Almerijas (subtropu zona) modelim. Gaisa kondicionēšana ir nepieciešama visu gadu. Pie augstām iekšējām slodzēm un lieliem ārējiem siltuma ieguvumiem (saules starojuma intensitāte, augstas āra temperatūras) konkrētai sistēmai ir pārāk maza jauda, un tā nespēj nodrošināt nepieciešamo komfortu. Savukārt paaugstināta mitruma ietekmē pasliktinās situācija, un sistēmas jaudu nepieciešams palielināt vismaz 2,7 reizes.

Almerijas modelī kopējā enerģijas pieprasījuma īpatsvars, ko sedz PV-SAC sistēma, ir augstāks nekā citās klimatiskajās zonās. Tam ir vairāki iemesli: pirmais – ir lielāks PV moduļu saražotās elektroenerģijas apjoms lielāka saules starojuma ietekmē. Otrs – PV elektroenerģijas ražošana atbilst elektroenerģijas pieprasījumam. Visbeidzot, trešais – ir īss dīkstāves periods, jo ir zems sasalšanas risks. Taču ilgstoša un nepārtraukta aukstuma ražošana noved pie ārējā bloka siltuma novadīšanas torņa pārkaršanas. Turklāt augsta āra gaisa temperatūra paaugstina siltuma novadīšanas temperatūru, tā rezultātā dzesēšanas iekārtas produktivitāte samazinās. Almerijas modeļa PV-SAC sistēmas elektriskā efektivitāte *SEER* ir 5,32.

PV-SAC sistēmas salīdzinājums ar termiski darbināmām SAC tehnoloģijām

PV-SAC tehnoloģija tika salīdzināta ar divām izplatītākajām saules enerģijas gaisa kondicionēšanas tehnoloģijām. Visbiežāk tiek izmantots vienpakāpes termiski darbināms absorbcijas dzesētājs. Tuvākās tirgus līdera sekotājas ir adsorbcijas tehnoloģijas.

Absorbcijas un adsorbcijas tehnoloģijas tiek darbinātas ar siltuma enerģiju, savukārt PV-SAC tiek darbināta elektriski. Līdz ar to primārais enerģijas faktors (*PEF*) tiek izmantots, lai salīdzinātu šo tehnoloģiju veiktspēju. Primārā enerģijas patēriņa salīdzinājums (ieskaitot tradicionālo apkures un dzesēšanas sistēmu) ir parādīts 4.5. attēlā. Ir redzams, ka visas SAC sistēmas samazina primārās enerģijas patēriņu un vadošo pozīciju ieņem PV-SAC tehnoloģija.

Primārās enerģijas faktors atspoguļo pilnīgu enerģijas sistēmas darbību – no enerģijas ražošanas līdz gala patēriņam:

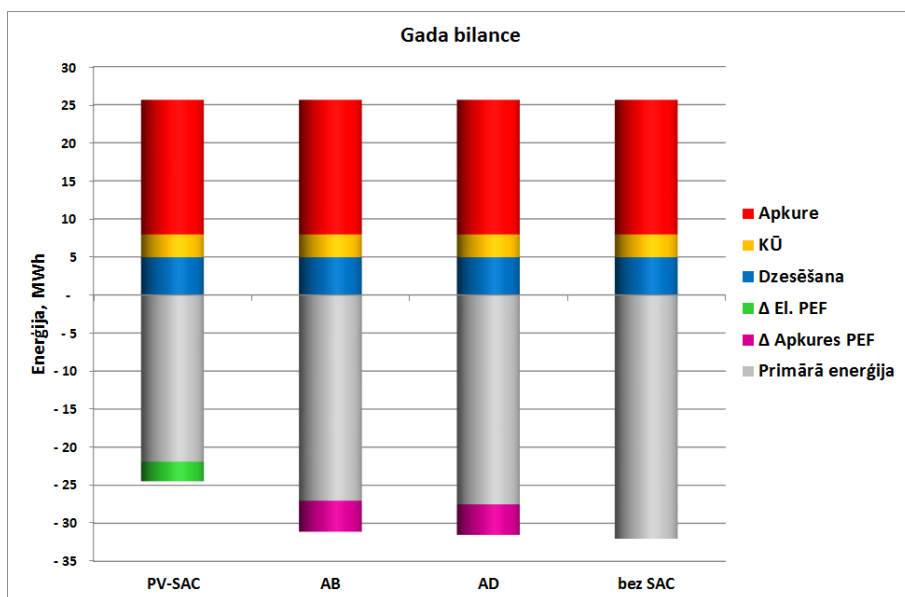
$$PEF_{\text{technology}} = PEF_{\text{heat,EUmix}} \int (\dot{Q}_H + \dot{Q}_C + \dot{Q}_{\text{DHW}} + \dot{Q}_{\text{aux}} + \dot{Q}_{\text{hl}}) dt + PEF_{\text{el,EUmix}} \int \sum_{i=1}^n (P_{\text{el},i}) dt, \quad (4.3.)$$

kur:

$PEF_{\text{heat,EUmix}}$ – Eiropas vidējais siltumenerģijas primārās enerģijas faktors 2013. gadā;

$PEF_{\text{el,EUmix}}$ – Eiropas vidējais elektroenerģijas primārās enerģijas faktors 2013. gadā;

$P_{\text{el},i}$ – katras elektriski darbināmas sistēmas sastāvdaļas elektriskā jauda, W.



4.5. att. Saules gaisa kondicionēšanas tehnoloģiju veiktspējas salīdzinājums pēc primārās enerģijas faktora

*Δ elektroenerģijas PEF norāda elektroenerģijas pārprodukciju,
un Δ siltums PEF – siltuma pārprodukcija attiecībā uz primārās enerģijas faktoru.

Tika veikta padziļināta PV darbināmo adsorbcijas un absorbcijas saules enerģijas gaisa kondicionēšanas tehnoloģiju izpēte un analizētas visu trīs tehnoloģiju priekšrocības un trūkumi, bastoties uz sistēmas uzstādīšanu un tās darbības uzraudzību, eksperimentu rezultātiem pie kritiskās ekspluatācijas apstākļiem, ilgtermiņa autonomas darbības un modelēšanas rezultātiem.

PV-SAC sistēmai ir nepieciešams mazāk saules starojuma, lai novadītu to pašu siltuma daudzumu no telpām. Pie tādas pašas jaudas PV-SAC sistēmai nepieciešams mazāks jumta laukums. Turklāt PV-SAC sastāvdaļas ir kompaktākas. Arī termiski darbināmām dzesēšanas tehnoloģijām vajag elektrību, lai darbinātu āra bloku, sūkņus, dzesētāju un kontroles iekārtas. Šis elektroenerģijas apjoms ir mazāks, salīdzinot ar kompresijas kondicionēšanas tehnoloģiju, tomēr nepieciešamā elektroenerģija netiek segta ar PV moduļiem termiski darbinās SAC. Papildu siltums ir nepieciešams termiski

darbināmos dzesētājos pie nepietiekamas saules kolektoru siltumslodzes. Palielinot saules kolektoru laukumu, tas spēs pārvarēt šo trūkumu. Tajā pašā laikā šis risinājums rada pārkaršanas un pat stagnācijas riskus.

Termiski darbināma SAC tehnoloģija rada papildu siltumu ne-dzesēšanas sezonā. Šo enerģiju var izmantot karstā ūdens sagatavošanai vai pat daļēji segt apkures pieprasījumu. Esošie dati liecina, ka PV-SAC tehnoloģija rada elektroenerģijas pārprodukciju. Papildu elektroenerģiju var izmantot arī mājssaimniecības elektroenerģijas vajadzībām.

Saules enerģija kā atjaunojamās enerģijas avots ir pieejama tajā pašā laikā, kad ir nepieciešama telpu dzesēšanas, un šajā gadījumā SAC sistēma ir saprātīga alternatīva sistēmām, kas izmanto fosilo kurināmo.

5. PV-SAC DARBĪBAS NOVĒRTĒJUMS

Eksperimenta rezultāti apstiprina PV-SAC tehnoloģijas veikspēju un savietojamību. Tika iegūti darbības parametri kritiskos apstākļos. Eksperimenti parādīja sistēmas atbilstošu darbību pie temperatūras un jaudas svārstībām. Pat kritiskās situācijās nav notikušas kļūdas sistēmā un tās sastāvdaļu darbībā. Stabila un prognozējama sistēmas darbība tika novērota arī autonomā režīmā.

Modelēšanas rezultāti liecina, ka, izmantojot PV-SAC tehnoloģiju standarta viengimenes mājai, var tikt pilnībā segts dzesēšanas pieprasījums. Tika konstatēts, ka PV jauda ir pietiekama, lai nodrošinātu maksimālo sistēmas elektroenerģijas patēriņu. Rezultāti liecina, ka efektīvai PV saražotās elektroenerģijas izmantošanai uzkrāšana ir nepieciešama.

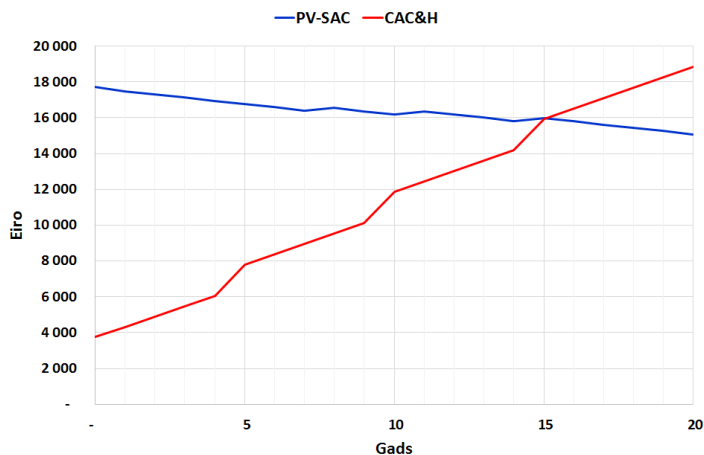
Finansiālais rentabilitātes izvērtējums

Lai veiktu finansiālā izdevīguma novērtējumu, tiek izmantoti dati par PV-SAC veikspēju. PV-SAC tehnoloģijas atskaites sistēmas ēkas modelis pie atskaites apstākļiem sedz aukstuma pieprasījumu – 5 MW·h gadā un siltuma pieprasījumu – 2,6 MW·h gadā. Turklāt tiek iegūta papildu elektroenerģija – 1 MW·h gadā.

Uzstādīšanas izmaksas svārstās vairāku iemeslu dēļ. Pirmkārt, šīs izmaksas ir atkarīgas no konkrētās sistēmas uzstādīšanas vietas un ēkas tipa. Otrkārt, tās ir atkarīgas no atalgojuma līmeņa inženierzinātnu nozarēs konkrētajā reģionā. Treškārt, iekārtas cenu nosaka tās klase. Nākotnē PV-SAC tehnoloģiju plašs lietojums uzlabotu inženieru kvalifikāciju, tādējādi samazinot uzstādīšanas izmaksas. Finansiālā izdevīguma novērtēšanai piemēro PV-SAC uzstādīšanas aplēstās vidējās izmaksas Eiropas reģionos.

Uzturēšanas izmaksas ietver sevī periodisko sistēmas pārbaužu un regulēšanas izmaksas. Sistēmas siltumnesējs jānomaina ik pēc septiņiem sistēmas ekspluatācijas gadiem. Pieņems, ka galveno sistēmas daļu kalpošanas ilgums ir 20 gadu. Trīs cirkulācijas sūkņiem ir īsāks kalpošanas laiks: tie jānomaina pēc 10 gadiem. Rezultātā vidējās uzturēšanas izmaksas ir 87 eiro gadā.

Finanšu rentabilitāte PV-SAC tiek vērtēta, salīdzinot ar tradicionālo «*Split* tipa» gaisa kondicionēšanas sistēmu (CAC). PV moduļu elektroenerģijas pārprodukciju līdz 2,5 kW·h dienā varētu izmantot sadzīves vajadzībām, tāpēc tā tiek aprēķināta kā elektroenerģijas taupīšana.



5.1. att. PV-SAC un CAC & H tehnoloģiju sākotnējās investīcijas un uzturēšanas izmaksas

5.1. attēlā redzams, ka investīciju un uzturēšanas izmaksas tradicionālajām tehnoloģijām pārsniegs PV-SAC tehnoloģijas izmaksas pēc 15 gadiem. Līknes lēcieni parāda periodisko sistēmas daļu nomaiņu. Atmaksāšanas likme projektam ir 121,3 %. Darba rezultāti liecina, ka investīcijas PV-SAC tehnoloģijai ir vērts veikt pie diskonta likmes līdz 2,36 %.

Ietekme uz vidi

Enerģijas ražošana un pārveidošana vienmēr ietver ietekmi uz vidi. PV-SAC tehnoloģiju izmantošana veicina videi draudzīgu enerģijas ražošanu. Saules enerģija ir atjaunojams, tīrs un daļēji prognozējams enerģijas avots, tāpēc tās tehnoloģijas samazina ietekmi uz apkārtējo vidi. Saules enerģija neveido oglekļa dioksīdus (CO_2), slāpekļa oksīdus, sēra dioksīdus, dzīvsudrabu utt. atmosfērā, kā tas notiek, izmantojot tradicionālos siltuma un elektroenerģijas avotus. Nepiesārņojot gaisu, saules enerģija neveicina globālo sasilšanu, skābo lietu vai smogu.

CO_2 saturs atmosfērā ir viens no parametriem, kas atklāj tehnoloģijas izmantošanas ietekmi uz apkārtējo vidi. Nosakot CO_2 samazinājuma potenciālu, tiek ņemts vērā izmantotās enerģijas CO_2 emisijas koeficients. Izmantojot saules enerģiju kā alternatīvu elektroenerģijas ražošanas avotiem (piemēram, fosilajiem), tiek samazinātas emisijas gaisā, tādējādi samazinot globālo sasilšanu.

CO_2 emisiju aprēķinā pieņem, ka siltuma ražošanai tiek izmantota dabasgāze. Emisijas faktors pie stacionāra sadegšanas siltuma (EF_{NG}) ir 207,82 kg CO_2 / MW·h gadā.

PV moduļu saražotās enerģijas apjoms ir 2,344 MW·h gadā, tas iekļauj patērēto elektroenerģijas apjomu aukstuma un siltuma ražošanai, pārējo novadot elektrotīklā. Elektroenerģijas pārprodukcija ir 1,04 MW·h gadā. Lai saražotu līdzvērtīgu aukstuma enerģijas apjomu, elektroenerģijas patēriņš tradicionālās gaisa kondicionēšanas iekārtai ir 1,652 MW·h gadā. Lai saražotu līdzvērtīgu siltuma enerģijas apjomu, tradicionālajās sistēmās papildu siltuma avota dabasgāzes patēriņš ir 219 kg gadā. Respektīvi, globālais SEG emisiju samazinājums ir 1835 kg CO_2 / gadā.

Kā jau iepriekš minēts, PV-SAC tehnoloģija samazina CO_2 emisijas, vienlaikus paaugstinot komforta līmeni dzīvojamās telpās.

SECINĀJUMI

1. Pamatojoties uz veikto tehnisko analīzi, PV-SAC tehnoloģiju ir iespējams integrēt kopējā tautsaimniecībā. Pašlaik PV elektriski darbināmas saules enerģijas gaisa kondicionēšanas sistēmas nav plaši pieejamas tirgū, tāpēc nav pieredzes, kā darbojas šāda veida sistēma, neskatoties uz visu PV-SAC komponentu komerciālo pieejamību.

2. Izmēģinājuma PV-SAC sistēma ir izstrādāta un optimizēta atbilstoši iepriekš noteiktiem saules enerģijas PV elektriski darbināmas kompresijas kondicionētāja sistēmas modelēšanas rezultātiem. Ir noteikta konceptuālā PV-SAC definīcija un darba parametru analīze.

3. Sezonālās enerģijas efektivitātes koeficients gadā (*SEER*), kas parāda PV saražotās elektroenerģijas transformāciju lietderīgajā aukstuma un siltuma enerģijā, tika noteikts 5,76. PV moduļu laukums ģenerē vairāk elektrības nekā ilgtermiņā patērē aukstuma un siltuma ražošanai. PV-SAC tehnoloģija pilnībā nosedz dzesēšanas pieprasījumu ēkā.

4. Padziļinātā analīzē tika noteikta sistēmas atsevišķo komponentu ietekme uz kopējo sistēmas veiktspēju. PV-SAC sistēma ietver aukstuma uzkrājēju (CS), lai pārvarētu nobīdi starp saules starojuma un dzesēšanas pieprasījuma līknēm. CS samazina temperatūras svārstības telpā. Siltuma novadīšana, izmantojot karstā ūdens sagatavošanai, ļauj atkārtoti izmantot 29 % novadītā siltumu. Siltums, kas nepieciešams karstajam ūdenim dzesēšanas sezonā, tiek pilnībā nosepts ar kompresora darbību. CS un HS integrēšana veicina dzesēšanas mašīnas darbību tuvāk optimālam darba temperatūras diapazonam, kas uzlabo dzesēšanas mašīnas veiktspēju un palielina PV-SAC tehnoloģijas *SEER*. 11 % dzesēšanas pieprasījuma tiek segts, izmantojot «brīvo dzesēšanu» pārsvarā zema saules starojuma periodos. Ne-dzesēšanas sezonā dzesēšanas mašīna ar āra bloku tiek izmantota kā siltuma avots karstā ūdens sagatavošanai, un iegūtie rezultāti liecina, ka PV-SAC sedz 7 % siltuma pieprasījuma.

5. PV-SAC tehnoloģija, salīdzinot ar mazas jaudas absorbcijas un adsorbcijas saules enerģijasgaisa kondicionēšanas tehnoloģijām, pierādīja, ka sistēmai ir nepieciešams mazāks saules starojums, lai novadītu tādu pašu siltuma enerģijas daudzumu. Līdzvērtīgai PV-SAC jaudai ir nepieciešamas mazāka laukuma saules absorbcijas ierīces. Turklāt šīs sistēmas iekštelpas sastāvdaļas ir kompaktākas.

6. Pētījuma rezultāti liecina, ka sistēma ir jāpielāgo konkrētai vietai, tajā skaitā ir nepieciešama atbilstoša vadības sistēma augstas veiktspējas nodrošināšanai. Izmēģinājuma PV-SAC sistēma spēj pilnībā nodrošināt dzesēšanas pieprasījumu aukstā mērenā un siltās mērenā joslā. Tajā pašā laikā PV-SAC eksperimenta rezultāti subtropu klimata joslā parāda, ka ir nepieciešams dzesēšanas jaudas palielinājums.

7. Tradicionālo siltuma un aukstuma tehnoloģiju investīcijas un uzturēšanas izmaksas pārsniegs PV-SAC tehnoloģiju izmaksas pēc 15 gadiem. PV-SAC tehnoloģijas investīcijas ir vērts veikt pie diskonta likmes līdz 2,36 %.

PV-SAC izmantošana veicina videi draudzīgu enerģijas ražošanu. PV-SAC tehnoloģija samazina SEG emisijas, nesamazinot komforta līmeni. SEG emisiju samazinājums ir 1835 kg CO₂ / gadā. Tas uzlabo gaisa kvalitāti un veicina vides aizsardzības direktīvu ieviešanu.

8. Uzlabotajai tehnoloģijai, kas balstīta uz fotoelementu elektriski darbināmiem kompresijas dzesētājiem, ir liels potenciāls plašai lietošanai nākotnē.

PUBLIKĀCIJAS

1. Gantenbein P., Omlin L., Notter D. and Snegirjovs A. Combined PV solar compression cooling and free cooling system// 32nd European Photovoltaic Solar Energy Conference. – Munich, Germany: EU PVSEC, June 2016. 4 p. (in press)
2. Снегирёв А. С., Шипковс П. Я, Гантенбайн П. К., Мигла Л. С., Лебедева К. В., Кашкарова Г. П., Шипковс Я. П. ФЭ – солнечное кондиционирование// XV Минский международный форум по тепломассообмену. – Минск, Республика Беларусь: МИФ май 2016. – 10 стр. (in press)
3. Snegirjovs A., Gantenbein P., Omlin L., Shipkovs P. Improved model of combined PV solar cooling and free cooling system// 6th Conference Solar Air-Conditioning. – Regensburg, Germany: OTTI, 2015. – 162–167 pp.
4. Inovatīvas tehnoloģijas siltuma un aukstuma ieguvei un jaunu produktu ražošanai, izmantojot vietējos atjaunojamās energoresursus. Metodiskais materials/ Šipkovs P. u. c. - Riga, Latvia: SIA Agentura radars, 2015. – 110 p.
5. Snegirjovs A., Gantenbein P., Rommel M., Shipkovs P. Key model of PV solar cooling// The 12th International Conference of Young Scientists on Energy Issues. – Kaunas, Lithuania: CYSENI, 2015. – 9 p.
6. Shipkovs P., Shipkovs J., Snegirjovs A., Kashkarova G., Lebedeva K., Migla L., Lekavichius V. Optimization of solar cooling system in Latvia// REHVA 2015. – Riga, Latvia: REHVA, 2015. – 195–198 pp.
7. Shipkovs P., Snegirjovs A., Shipkovs J., Kashkarova G., Lebedeva K., Migla L. Solar thermal cooling on the Northernmost latitudes// Energy Procedia, – 2015. – Volume 70. – 510–517 pp.
8. Shipkovs P., Snegirjovs A., Kashkarova G., Lebedeva K., Migla L. Solar cooling in high latitudes conditions// EuroSun 2014. – Aix-les-Bains, France: EuroSun, 2014. – 6 p.
9. Shipkovs P., Kashkarova G., Lebedeva K., Migla L., Snegirjovs A. Solar panels produced electricity impact on electricity network// Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ). – 2014. – No.12. – 5 p.
10. Lvovs A., Priedite I., Snegirjovs A. Study on reliability improvement possibilities assuming probabilistic wind and solar generation// Electric Power Quality and Supply Reliability Conference (PQ). – 2014. – June. – 111–118 pp.
11. Shipkovs P., Snegirjovs A., Kashkarova G., Shipkovs J. Potential of solar cooling in Latvian conditions// Energy Procedia. – 2014. – Volume 57. – 2629–2635 pp.
12. Shipkovs P., Kashkarova G., Lebedeva K., Migla L., Snegirjovs A., Shipkovs J. Potential and analysis of grid integrated renewables in Latvia// Energy Procedia. – 2014. – Volume 57. – 735–744 pp.
13. Snegirjovs A., Shipkovs P., Vanags M., Migla L. Photovoltaic batteries with modified glazing// The 10th International Conference of Young Scientists on Energy Issues. – Kaunas, Lithuania: CYSENI, 2013. – II 87–93 pp.

14. Shipkovs P., Vanags M., Snegirjovs A., Migla L. Modified glazing for PV batteries// ISES Solar World Congress 2013. – Trondheim, Norway: ISES SWC, 2013. – 5 p.
15. Shipkovs P., Kashkarova G., Lebedeva K., Vanags M., Snegirjovs A. Barkans V. Cross-sectional temperature field of a solar collector's absorber in the case of annular pipe// Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ). – 2013. – No. 11, March. – 5 p.
16. Shipkovs P., Snegirjovs A., Migla L. Heat losses influence on solar thermal systems// The 9th International Conference of Young Scientists on Energy Issues. – Kaunas, Lithuania: CYSENI, 2012. – II – 61–70 pp.
17. Shipkovs P., Snegirjovs A., Vanags M., Migla L. Cost-effective pipelines insulation of solar thermal system// World Renewable Energy Forum. – Denver, Colorado: WREF, 2012. – 6 p.
18. Shipkovs P., Vanags M., Snegirjovs A., et al., Optimization of solar thermal system's pipelines insulation// EuroSun2012. – Rijeka, Croatia: EuroSun, 2012. – 7 pp.
19. Снегирёвс А.С., Шипковс П. Я., Кашкарова Г. П., Мигла Л. С. Теплотери в системе солнечного теплоснабжения. XIV Минский международный форум по теплообмену. – Минск, Республика Беларусь: МИФ, 2012. – 10 стр.
20. Shipkovs P., Snegirjovs A., Vanags M., Migla L. Determination of cost-effective pipelines insulation of solar thermal system// The 8th International Conference of Young Scientists on Energy Issues. – Kaunas, Lithuania: CYSENI, 2011. – II – 84–87 pp.
21. Shipkovs P., Kashkarova G., Snegirjovs A., Vanags M., Lebedeva K., Shipkovs J., Migla L. Investigation of solar collector's in Latvian conditions// Renewable Energy and Power Quality Journal. – Las Palmas, Spain: RE&PQJ, 2011. – 1–4 pp.
22. Shipkovs P., Kashkarova G., Lebedeva K., Vasilevska L., Pankars M., Shipkovs J., Snegirjovs A. Solar collectors' operation methods effect on system efficiency// ISESCO Science and Technology Vision. – 2011. – Volume 7, No.11. – 38–42 pp.
23. Shipkovs P., Migla L., Lebedeva K., Pankars M., Snegirjovs A. Modeling of solar heating systems in Latvia// 10th REHVA World Congress on Sustainable Energy Use in Buildings. CLIMA 2010. – Antalya, Turkey: REHVA, 2010. – 8 p.
24. Shipkovs P., Kaspars G., Snegirjovs A., Vasilevska L. Combination of the solar energy systems for household use and apartment buildings// 10th REHVA World Congress on Sustainable Energy Use in Buildings. CLIMA 2010. – Antalya, Turkey: REHVA, 2010. – 6 p.
25. Shipkovs P., Snegirjovs A., Vanags M., Lebedeva K., Shipkovs J., Migla L., Pankars M. Comparison of solar collectors operation methods// The 7th International Conference of Young Scientists on Energy Issues. – Kaunas, Lithuania: CYSENI, 2010. – II – 67–74 pp.
26. Shipkovs P., Snegirjovs A., Vanags M., Vasilevska L. Utilization of solar combisystems in Latvian conditions// International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings. EuroSun 2010. – Graz, Austria: EuroSun, 2010. – 1–8 pp.

27. Shipkovs P., Kashkarova G., Lebedeva K., Vanags M., Snegirjovs A., Vasilevska L. Testing solar equipment in Latvian conditions// International Conference on Solar Heating, Cooling and Building. EuroSun 2010. – Graz, Austria: EuroSun, 2010. – 1–8 pp.
28. Shipkovs P., Kashkarova G., Lebedeva K., Vanags M., Snegirjovs A., Migla L. Solar energy use for sustainable development// ISES Solar World Congress 2009. – Johannesburg, Republic of South Africa: ISES SWC, 2009. – 1881–1888 pp.

PATENTS

1. A. Snegirjovs u. c. Siltuma saules kolektora darba vadības sistēma. – Patents P-15-10. – 2015. gada 30. janvārī.