

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Būvniecības fakultāte

Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģijas institūts

M.sc.ing. Lana MIGLA

Doktora studiju programmas „Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģijas” doktorante

KOMBINĒTĀS SAULES SILTUMAPGĀDES SISTĒMAS LATVIJĀ

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs:

LZA akadēmiķis

Pēteris ŠIPKOVŠ

Rīga 2012

UDK

Bo

Migla L. Kombinētās saules siltumapgādes sistēmas Latvijā.

Promocijas darba kopsavilkums, R.: RTU, 2012.- 25 lpp.

Iespiests saskaņā ar Promocijas padomes „RTU P-12”

2012. gada 26.jūlija lēmumu, protokols Nr.1.

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai”.



ISBN

PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ INŽENIERZINĀTŅU
DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts promocijas padomē „RTU P-12” 2012.gada 14.decembrī plkst. 15.00 Rīgā, Āzenes iela 16/20, Būvniecības fakultātes 250. auditorijā.

OFICIĀLIE OPONENTI

LZA god.biedr. Prof., Dr.habil.sc.ing. Viktors Zēbergs
Fizikālās Enerģētikas institūts, Rīgas Tehniskā universitāte

Prof., Dr.sc.ing. Anatolijs Borodiņecs
Rīgas Tehniskā universitāte

Dr.sc.ing. Gaidis Klāvs
Fizikālās Enerģētikas institūts

APSTIPRINĀJUMS

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

Lana Migla

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 5 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 47 zīmējumus un ilustrācijas, kopā 118 lappuses. Literatūras sarakstā ir 89 nosaukumi.

DARBĀ IZMANTOTIE APZĪMĒJUMI

α	virsmas siltumatdeves koeficients, $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$,
ak	apkures katls,
ap	apkure,
b	attālums starp caurulīšu asīm, m,
Bi	bioskaitlis W/K ,
c	vielas siltumietilpība, $\text{J/kg} \cdot \text{K}$,
cirk	ūdens cirkulācija,
D_1, D_2, D_3	saules kolektora apgabali,
F	bezdimensionāls lielums,
FEI	Fizikālās Enerģētikas institūts,
h_0	kolektora plates biezums, m,
I_{BT}	teorētiski aprēķinātā tiešā starojuma dienas summa, MJ/m^2 dienā,
I_s	saules starojuma intensitāte, J/m^2 ,
k	naturāls skaitlis,
KS	kombinētā saules siltumapgādes sistēma,
ku	karstais ūdens,
m	vielas masa, kg,
q	saules siltuma plūsmas blīvums, W/m^2 ,
Q	siltumenerģijas daudzums laika posmā, kWh/laiks ,
$Q_{zud.sk}$	siltumenerģijas zudumi saules kolektorā, kWh/dienā ,
$Q_{zud.c}$	siltumenerģijas zudumi cauruļvados, kWh/dienā ,
P	atmosfēras mākoņainība, starojuma vienības,
S_0	saules konstante,
SK	saules kolektors,
t	laiks, s,
V	caurplūde m^3/s ,
δ	saules augstums, grādi,
φ	leņķis, radiāni,
Φ	bezdimensionāls lielums,
ξ	bezdimensionāls lielums,
μ	īpašvērtība, bezdimensionāls lielums,
η	sistēmas efektivitāte iekļaujot karstā ūdens sildīšanas efektivitāti, %,
η_c	saules kolektora absorbcijas lietderības koeficients,
Θ	bezdimensionāls lielums,
λ	kolektora plates siltumvadāmības koeficients, $\text{W/m} \cdot \text{K}$,
Ψ	bezdimensionāls lielums.

ANOTĀCIJA

Promocijas darbā pētīta kombinētās saules siltumapgādes sistēmu efektivitāte, kas ir priekšnoteikums to lietderīgai izmantošanai Latvijas klimatiskajos apstākļos, tādā veidā palielinot enerģētisko neatkarību, samazinot siltumenerģijas ražošanas procesa negatīvo ietekmi uz vidi, veicinot patērētāju komforta un dzīves kvalitātes paaugstināšanos.

Darba mērķis ir izstrādāt metodiskās nostādnes kombinētas saules siltumapgādes sistēmas efektivitātes noteikšanai Latvijā.

Mērķa sasniegšanai tika izvirzīti sekojoši uzdevumi: izpētīt kombinētās saules siltumapgādes sistēmas funkcionēšanas kartību, identificēt faktorus, kuri ietekmē energoekonomisko rādītāju pārmaiņas, un, balstoties uz padziļinātu klimatisko datu analīzi, noteikt kombinēto siltumapgādes sistēmu izmantošanas efektivitāti, lai segtu patērētāju siltuma pieprasījumu ņemot vērā enerģētikas sistēmas attīstību, kā arī noteikt dažādu citu faktoru ietekmi uz optimālo siltumapgādes shēmas izvēli. Izstrādāt un eksperimentāli pārbaudīt Latvijas klimatiskajiem apstākļiem piemērotu saules enerģijas kombinēto sistēmu, analizēt tās darbības modelēšanas programmā un veikt sistēmas ekonomisko optimizāciju nosakot dažādu pasākumu un tehnisko risinājumu lietderību.

Promocijas darba ietvaros veiktie pētījumi balstīti uz autora praktisko, pētnieciski eksperimentālo darba pieredzi strādājot Fizikālās Enerģētikas institūta (FEI) Enerģijas resursu laboratorijā. Pētījumu veikšanai tika izmantoti gan FEI laboratorijā uzkrātais apjomīgais datu materiāls par reāliem klimatiskajiem datiem un saules kolektorus raksturojošiem lielumiem, gan autora īstenoto eksperimentālo mērījumu un teorētisko rezultātu apkopojums vienotā metodikā strukturējot to ar matemātiskās modelēšanas iespējām. Promocijas darba zinātniskā novitāte ir kombinētās saules siltumapgādes sistēmas matemātiskā modelēšana, izmantojot eksperimentāli iegūtos datus, tādā veidā aprēķinu metodiku padarot maksimāli precīzu un tuvu reāliem apstākļiem. Promocijas darbā veiktie pētījumi un izstrādātās metodikās nostādnes, kā arī izdarītie secinājumi ir praktiski izmantojami inženieru darbā, projektējot un īstenojot modernizāciju esošajās siltumapgādes sistēmās.

Promocijas darba rezultāti ir ziņoti 13 reizes Starptautiskās Zinātniskās konferencēs un tie atspoguļoti 27 publikācijās. Promocijas darbs sastāv no 5 nodaļām un tā apjoms 118 lappuses, kurās ietverti 47 attēli, 15 tabulas. Darbā izmantoti 89 literatūras avoti.

SATURS

DARBĀ IZMANTOTIE APZĪMĒJUMI.....	4
ANOTĀCIJA	5
SATURS	6
IEVADS	6
1. KOMBINĒTO SAULES SILTUMAPGĀDES SISTĒMU PROBLĒMAS LATVIJĀ	9
2. SAULES KOLEKTORU OPTIMIZĀCIJAS PARAMETRU NOTEIKŠANA	11
3. SIMULĀCIJAS MODEĻU PIELIETOJUMS KS EFEKTIVITĀTES PAAUGSTINĀŠANAI ...	17
4. AUTOMĀTISKĀS VADĪBAS ANALĪZE	19
5. KOMBINĒTO SISTĒMU EFEKTIVITĀTES NOVĒRTĒJUMS	20
SECINĀJUMI.....	22
PUBLIKĀCIJAS.....	23

IEVADS

Darba aktualitāte

Energoresursu imports ir svarīgs aspekts Latvijas enerģētikas sektorā. Latvijas valsts mērķis 2020. gadā sasniegt 40% atjaunojamās enerģijas īpatsvaru kopējā bruto enerģijas gala patēriņā. To var panākt palielinot no atjaunojamiem energoresursiem ražotas enerģijas izmantošanu, galvenokārt siltumenerģijas un transporta sektoros, ieviešot ilgtspējīgu atbalsta mehānismu atjaunojamo energoresursu izmantošanai, kā arī sniedzot valsts atbalstu ekonomiski izdevīgākajiem tehniskajiem risinājumiem un veicinot atjaunojamo energoresursu un ar to saistīto tehnoloģiju attīstības ieguldījumu tautsaimniecības izaugsmē.

Tieši saules enerģijas izmantošanai kombinētājās sistēmās ir potenciāls, lai palielinātu Latvijas enerģētisko neatkarību. Kā arī veicinātu labai draudzīgu tehnoloģiju ieviešanu siltumenerģijas ražošanas procesā, tādā veidā samazinot labai kaitīgo izmešu daudzumu. Jau kopš astoņdesmitajiem gadiem stabils saules kolektoru platību pieaugums visā pasaulē karstā ūdens apgādes un telpu apkures vajadzībām liecina par saules apkures sistēmu tehnisko drošumu un uzticamību. Darba gaitā tika aprakstīti un noteikti energoekonomiskie faktori, kas pamato kombinēto saules siltumapgādes sistēmu efektīvu pielietojumu Latvijas siltumenerģijas pieprasījuma segšanai. Pamatojoties uz klimatisko datu analīzi ir jānosaka siltumapgādes sistēmas galveno sastāvdaļu optimālie parametri, kas paaugstinātu kombinēto saules siltumapgādes sistēmu efektivitāti.

Darba mērķis ir izstrādāt metodiskās nostādnes kombinētas saules siltumapgādes sistēmas efektivitātes noteikšanai Latvijā.

Galvenie pētījuma uzdevumi

Izpētīt funkcionēšanas kartību, identificēt faktorus, kuri ietekmē energoekonomisko rādītāju pārmaiņas, un, balstoties uz padziļinātu klimatisko datu analīzi, noteikt kombinēto siltumapgādes sistēmu izmantošanas efektivitāti, lai segtu patērētāju siltuma pieprasījumu ņemot vērā enerģētikas sistēmas attīstību, kā arī noteikt dažādu citu faktoru ietekmi uz optimālo siltumapgādes shēmas izvēli un metodikas izstrādi. Izstrādāt un eksperimentāli pārbaudīt Latvijas apstākļiem piemērotu saules enerģijas kombinēto sistēmu, analizēt tās darbības modelēšanas programmā un veikt sistēmas ekonomisko optimizāciju.

Pētījumu metodika

Promocijas darbā pētītas kombinēto saules siltumapgādes sistēmu efektivitātes aspekti, kas ir priekšnoteikums to lietderīgai ekspluatācijai Latvijas klimatiskajos apstākļos, tādā veidā palielinot enerģētisko neatkarību, samazinot siltumenerģijas ražošanas procesa negatīvo ietekmi uz vidi, veicinot patērētāju komforta un dzīves kvalitātes paaugstināšanos. Lai attīstītu un papildinātu optimālo sistēmu izvēles metodiku, ņemot vērā kombinētas siltumapgādes sistēmās īpatnības, darbā tika izmantotas vairākas metodes. Matemātiskā metode-optimālo parametru noteikšanai (izmantojot Matemātisko modelēšanu un matemātiskās modelēšanas programmas- PolySun, Transys), optimāla tehnisko iekārtu izvēle atbilstoši inovatīvām tehnoloģijām, ekonomiski efektīvāko un Latvijas enerģētikas situācijai atbilstošo kombinēto sistēmu parametru noteikšana, klimatisko faktoru ietekme uz sistēmas efektivitāti.

Zinātniskā novitāte

Promocijas darba ietvaros veiktie pētījumi balstīti uz autora praktisku, pētniecisku eksperimentālu darba pieredzi darbojoties Fizikālās Enerģētikas institūta Enerģijas resursu laboratorijas Saules enerģijas pētīšanas poligonā. Pētījumu veikšanai tika izmantots uzkrātais apjomīgais datu materiāls par klimatiskajiem datiem un saules kolektorus raksturojošiem lielumiem, kā arī autora īstenoto eksperimentālo mērījumu un teorētisko rezultātu apkopojums vienotā metodikā. Tādējādi promocijas darba zinātniskā novitāte ir kombinētās sistēmas matemātiskā modelēšana izmantojot eksperimentāli iegūtos datus, tādā veidā aprēķinu metodiku padarot maksimāli precīzu un tuvu reāliem apstākļiem.

Praktiskā vērtība

Rezultātā izstrādāta metodika kombinēto saules siltumapgādes sistēmu ieviešanai Latvijas enerģētikā, izmantojot vairāku strukturāli veidotu metožu apkopojumu, veicot to adaptāciju

konkrētiem klimatiskajiem apstākļiem, ņemot vērā esošo ekonomisko situāciju, kā arī atbilstoši mūsdienīgu tehnoloģiju risinājumiem. Promocijas darbā veiktie pētījumi, izstrādātā metodika un izdarītie secinājumi ir praktiski pielietojami inženieru darbā projektējot jaunas vai īstenojot modernizāciju esošajās kombinētajās sistēmās. Tā kā Fizikālās Enerģētikas institūta Enerģijas resursu laboratorija veic ne tikai pētniecisku, bet arī informatīva rakstura darbību un komunikāciju ar inženieriem –projektētājiem un potenciāliem lietotājiem, autora izstrādātā metodika tiek izmantota optimālo kombinēto saules siltumapgādes sistēmu izvēlei atbilstoši patērētāju prasībām.

1. KOMBINĒTO SAULES SILTUMAPGĀDES SISTĒMU PROBLĒMAS LATVIJĀ

Galvenās problēmas, kas neveicina kombinēto saules siltumapgādes sistēmu ieviešanu Latvijā, ir pētījumu un šāda veida sistēmu efektīva pielietojuma negatīvā pieredze. Tiek uzskatīts, ka Latvijas klimatiskie apstākļi ir nepiemēroti saules enerģijas lietošanai siltumenerģētikā, taču optimizējot kombinētās sistēmas izmantojot izstrādātu metodiku, iespējams panākt maksimālu lietderību. Kombinēto sistēmu priekšrocība ir vairāku faktoru kopums, kas veicina augstu potenciālu šādu sistēmu pielietojumam Latvijā.

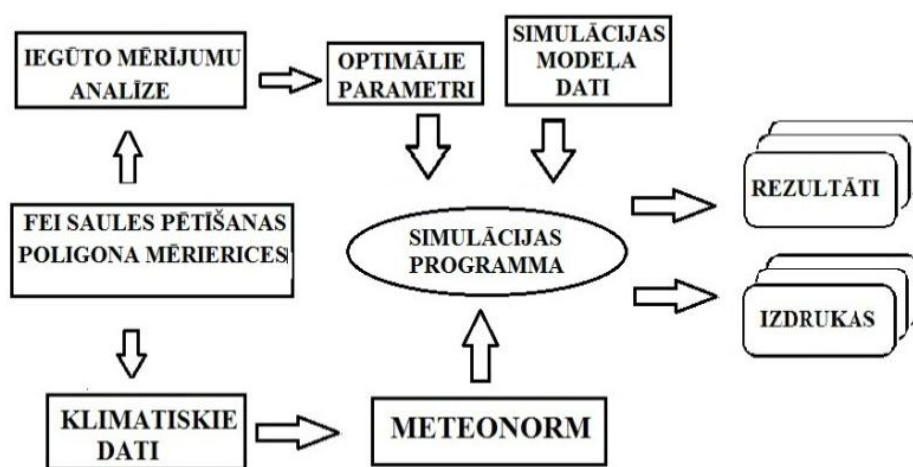
Pasaulē saules enerģijas izmantošanas panākumu iemesls ir veiksmīgs saules iekārtu tirgus, kas ir vairāku faktoru rezultāts: likumdošanas noteikumi, stabili un labi izstrādāti finansiālie stimuli investoriem, standarta produktu un iekārtu esamība, augsta iekārtu efektivitāte, tas jo īpaši izskaidro panākumus saules kolektoru izmantošanai vienģimenes mājās. Daļa šādu sistēmu efektīvas ieviešanas faktori enerģētikā Latvijā jau ir sasniegti vai ir procesā. Lai Latvijā varētu sekmīgi ieviest jaunas alternatīvas tehnoloģijas, nepieciešami pētījumi. Lai sekmētu saules enerģijas ieviešanu tautsaimniecībā, valsts kā atbalsta instrumentus var izmantot gan likumdošanu, gan projektu finansēšanu, gan atbalstu zinātnei, saules enerģijas pētniecībai un sniedzot atlaides tiem, kas lieto saules enerģiju un citus atjaunojamus enerģijas avotus.

Darbā aprakstīti un noteikti energoekonomiskie faktori, kas pamato kombinēto saules siltumapgādes sistēmu efektīvu pielietojumu Latvijas siltumenerģijas pieprasījuma segšanai. Pamatojoties uz vairāku gadu klimatisko datu analīzi, noteikti siltumapgādes sistēmas galveno sastāvdaļu optimālie parametri, kas paaugstina efektivitāti. Kombinētās siltumapgādes saules siltuma sistēmas darbība ir atkarīga no saņemtā saules starojuma daudzuma, kas dažādos platuma grādos ir atšķirīgs. Tāpat ir atšķirīgas arī patērētāju pieprasītā siltuma (telpu apkurei un karstā ūdens apgādei nepieciešamā ūdens) daudzuma proporcijas. Novērojamas atšķirīgas kombinēto saules siltumapgādes sistēmu uzbūves un darbības īpatnības. Piemēram, dienvidu platuma grādos ir daudz mazāks pieprasījums pēc telpu apkures, savukārt, ziemeļos lielāks, kaut gan karstā ūdens pieprasījums nav ļoti atšķirīgs dažādos zemeslodes platuma grādos. Lielākā atšķirība starp dažāda veida kombinētajām sistēmām visbiežāk ir saistīta ar pielietotajiem inženieru risinājumiem –siltuma uzkrāšana tvertne un siltuma piegādes veids, pielietoto vadības algoritmu atšķirības, sistēmas sastāvdaļu izmēri u.c.

Straujais kombinēto sistēmu pieprasījuma pieaugums veicināja nepieciešamību analizēt un sakārtot pieaugušo tirgu veidojot strukturizētu sistēmu, veidojot standartus, tādēļ 1998.gadā International Energy Agency (IEA) Solar Heating and Cooling (SHC) programmas ietvaros tika radīts TASK26' -optimālas saules kombinētās sistēmas, kas paredzētas vienģimeņu, vairāku vienģimeņu un vairāku ģimeņu mājām, turklāt ar standartizētu klasifikāciju un attīstības procesu. Tā

kā Latvija TASK26' izstrādāšanas brīdī 1999.gadā nebija Eiropas Savienības dalībvalsts, kā arī neiesaistījās Starptautiskā Enerģijas Aģentūrā (IEA) diemžēl Latvijas apstākļiem piemērotākās kombinācijas netika noteiktas. Darba gaitā no visām pieejamajām kombinētajām sistēmām tika atlasītas un analizētas tās, kas ir piemērotākās Latvijas apstākļiem, ņemto vērā kaimiņvalstu pieredzi, klimatiskās īpatnības un siltuma pieprasījumu.

Viens no kombinētās saules siltumapgādes sistēmu efektivitāti ietekmējošiem faktoriem ir siltuma zudumi. Tā kā lielākie zudumi ir saules kolektoru sistēmā, tad kolektoru lietderība Latvijas klimatiskajos apstākļos ir jāanalizē un maksimāli jāuzlabo rezultāti, to iespējams izdarīt veicot virkni mērījumu, kā rezultātā nosakot optimālos saules kolektoru parametrus, kuri klimatisko īpatnību iespaidā katrā pasaules reģionā ir atšķirīgi. Analizējot literatūru un pamatojoties uz pieredzi darbojoties Saules enerģijas pētīšanas poligonā, kolektori tika analizēti reālos apstākļos, kas sniedza daudz precīzākus rezultātus un priekšstatu par saules siltuma sistēmām, kuru lietderību ietekmē ne tikai saules starojums, bet arī āra gaisa temperatūra, gaisa mitrums, vēja ātrums un virziens, mākoņainība un citi faktori, kas padara Latvijas klimatiskos apstākļus unikālus. Svarīgi ir precīzi noteikt saules kolektoru īpatnības, kas Latvijas apstākļos ietekmē saules kolektoru efektivitāti, novērst tās vai uzlabot, tādā veidā optimizējot sistēmu kopsummā. Veicot teorētisko matemātisko modelēšanu ir iespējams raksturot saules kolektoros notiekošas procesus, kas atrisina problēmas saistītas ar saules kolektoru darbības analīzei un jaunu kolektoru izstrādei nepieciešamiem apstākļiem. Saules kombinētās sistēmas atšķirība no citām apkures sistēmām ir augstas darba temperatūras un siltuma piegādes svārstības, kas atkarīga no daudziem ārējiem faktoriem. Svarīgi ir atrast balansu starp siltuma zudumu samazinošām darbībām un sistēmas ekonomiskajiem rādītājiem, lai kombinēto sistēmu padarīt maksimāli pievilcīgu Latvijas patērētājiem. Darbā veikto pētījumu un simulāciju metodika aprakstīta ar blokshēmas palīdzību.



1.1 att. Darbā izmantotās metodikas blokshēma

Optimizējot kombinēto saules siltumapgādes sistēmu pēc izveidotās metodikas un saņemot valsts atbalstu, var panākt vērā ņemamus rezultātus, kas veicinātu šādu siltuma sistēmu ieviešanu Latvijas enerģētikā, tādā veidā paaugstinot enerģētisko neatkarību un veicinot zaļās enerģijas izmantošanu siltumenerģētikā.

Saules enerģijas izmantošanu Latvijā, kombinētās saules siltumu ražojošās sistēmas, kā arī enerģētisko sistēmu optimizāciju iepriekš pētījuši tādi zinātnieki, kā LZA akadēmiķis P.Šipkovs (no 1980.gada), Prof., Dr.habil.sc.ing. E.Dzelzītis, kā arī Prof., Dr.habil.sc.ing. V.Zēbergs, inženierzinātņu doktori K.Ļebedeva (no 2008. gada) un I.Pelēce (no 2010. gada), savukārt, padziļināti pētījuši kombinētās saules siltumapgādes sistēmas ir Eiropas savienības Saules enerģijas asociācijas prezidents inženieris W.Weiss (no 1997.gada) un Dr.sc.ing. C.Roshas (no 2010.gada), Prof., Dr.habil.sc.ing. D. Blumberga. Matemātiskos modeļus siltuma vadīšanas procesa raksturošanai pētījis Prof., Dr.habil.sc.ing. V.Barkāns.

2. SAULES KOLEKTORU OPTIMIZĀCIJAS PARAMETRU NOTEIKŠANA

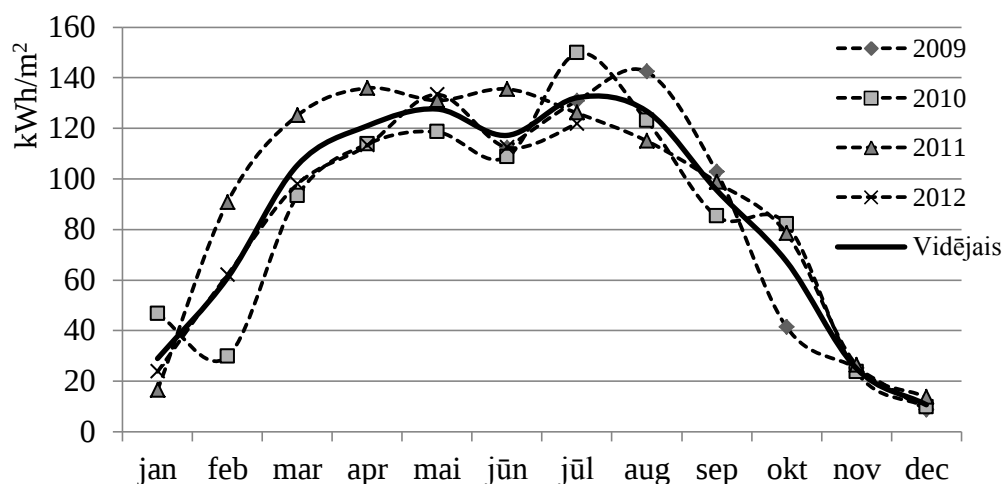
Ekonomiski efektīvāko un Latvijas enerģētikas situācijai atbilstošo kombinētās saules siltumapgādes sistēmu parametru noteikšana ir optimizācijas process un svarīgs faktors to ieviešanas Latvijas siltumenerģētikas patēriņa energobilancē. Visus notiekošos procesus sistēmā ietekmē klimatiskās īpatnības Latvijas teritorijā, kas ir daļa no Ziemeļu reģiona, kur lielākais siltumenerģijas patēriņš ir telpu apsildei, nevis karstā ūdens uzsildīšanai, kā vairums saules siltumapgādes sistēmas ir paredzētas. Saules termālās sistēmas darbību un efektivitāti ietekmē klimatiskās īpatnības, ne tikai āra gaisa temperatūra, vējš un saules starojums, bet arī gaisa caurspīdīgums, kas katrā reģionā ir atšķirīgs, jo ir atkarīgs no daudziem apkārtējiem faktoriem.



2.1. att. Saules enerģijas pētīšanas poligons

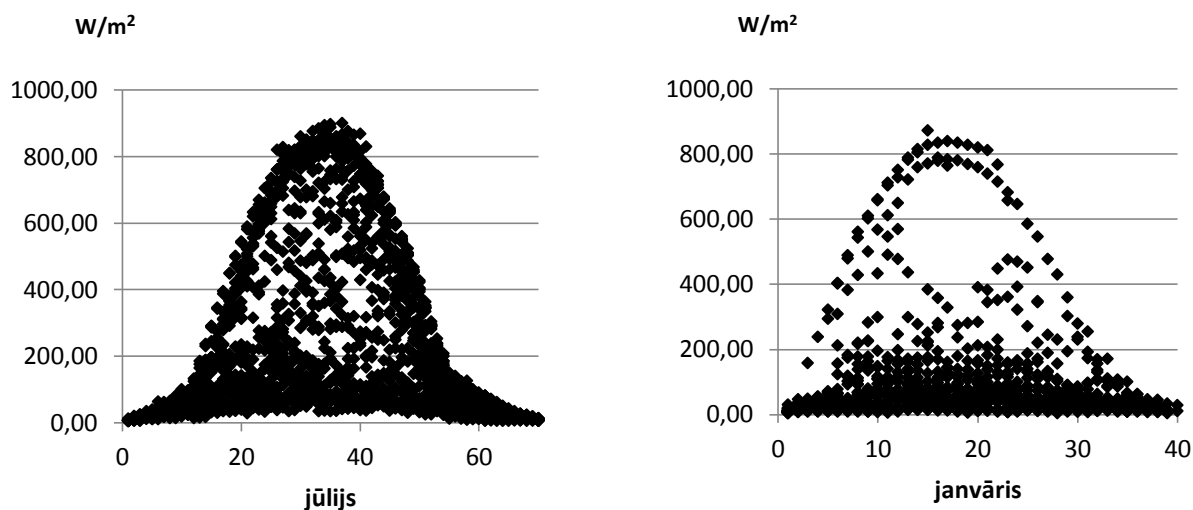
Darbojoties Saules enerģijas pētīšanas poligonā no 2009.gada un sagatavojot eksperimentāli iegūto datu bāzi tika izmantotas gan jau esošās mērierīces, gan uzstādīti jauni augstas precizitātes

mērinstrumenti. Klimatisko datu iegūšanai tika izmantotas sekojošas ierīces - piranometrs, pirheliometrs, pirgeometrs, saules sekošanas iekārta, NetRadiometrs u.c. Iegūtie dati satur ne tikai meteoroloģiskos datus, bet arī īpašus datus, kas ir nozīmīgi saules kolektoru darbības analīzei un turpmākai to optimizēšanai un modernizēšanai, paaugstinot to lietderību, kā piemēram, noteikta saules starojuma intensitāte atkarībā no virsmas slīpuma, uz kuru tā krīt. Darba gaitā veicot ilggadējus mērījumus, konstatēts, ka novirze starp starojuma intensitāti dažādos gados krītot uz 60° novietotu plakni, var sasniegt 37 %. Svārstības starp starojuma daudzumu dažādos gados var atšķirties pat par 7%. Turpmākajos aprēķinos tas tiek ņemts vērā.



2.2. att. Saules starojuma svārstības laika posmā no 2009. - 2012. gada vasarai

Veicot ilgstošus saules starojuma novērojumus uz 60° novietotu plakni laika periodā no 2009. gada līdz 2012. gada augustam, tika analizēti dati un attēloti grafiski attēlā 2.3.



2.3. att. Saules starojuma intensitātes lielumu atkārtotības biežums

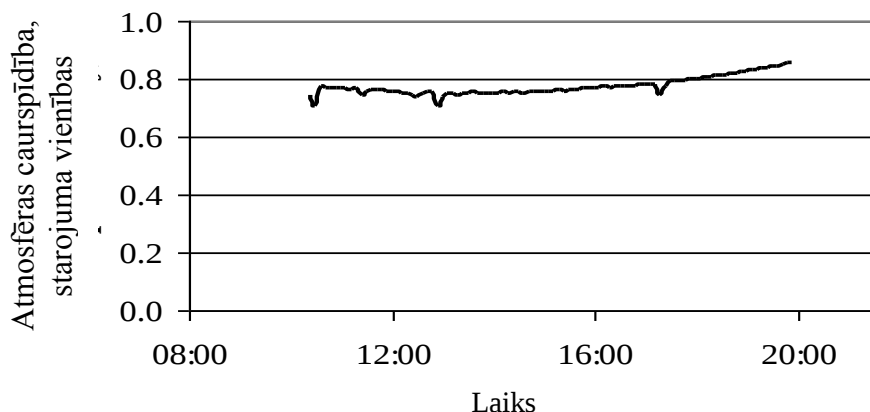
Grafikos attēlots saules starojuma lieluma atkārtotības biežums jūlija mēnesī un janvāra mēnesī. Konstatēts, ka saules starojuma maksimums abos periodos ir līdzīgs virs 800 W/m^2 , taču tā

atkārtošanās biežums jūlija mēnesī ir lielāks. Janvāra mēnesī lielākais atkārtšanās biežums ir līdz 200 W/m^2 . Šis pētījums pamato to, ka ziemas mēnešos ir pieejama lietderīga saules enerģija, kuru var izmantot siltumenerģijas ražošanai, taču pašreiz kolektoru uzbūve neļauj pilnvērtīgi izmantot saules enerģiju. Veicot padziļinātus pētījumus jaunu saules kolektoru tipu izstrādei, iespējams minimizēt siltuma zudumus saules kolektoros.

Lai noteiktu atmosfēras caurspīdīgumu un izkliedētā starojuma ietekmi uz saules kolektoriem tika veikti ilgstoši mērījumi, atsevišķi tika noteikti tiešā un izkliedētā saules starojuma lielumi. Aprēķins attiecas uz atmosfēras dzidruma novērtējumu, mērīšanu un izkliedētā starojuma noteikšanu.

$$I_{BT} = S_0 \cdot P^m \cdot \sin \delta \quad (2.1.)$$

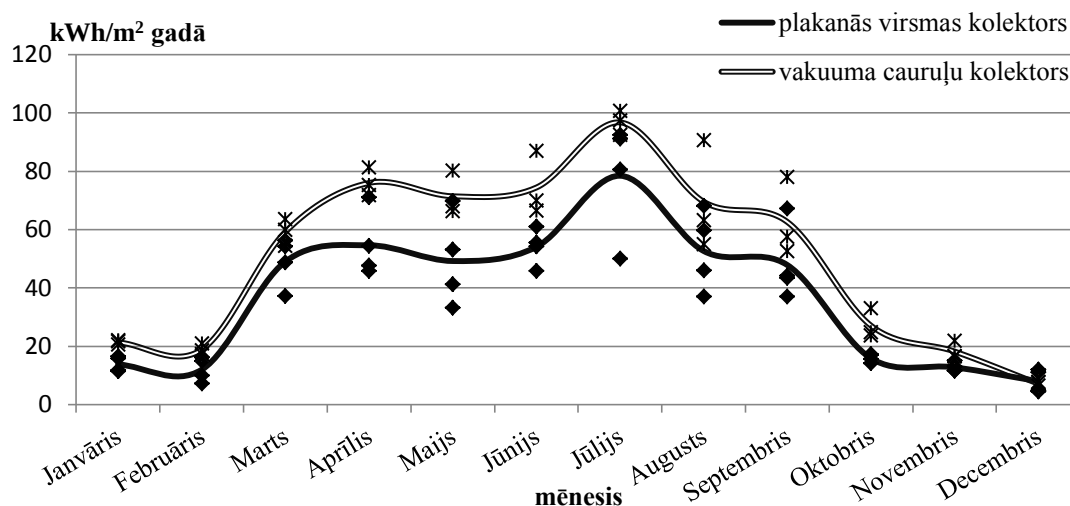
Šāda veida aprēķini ir nepieciešami, lai attīstītu saules kolektoru konstrukcijas piemērojot tās vietējiem apstākļiem Latvijā un citās Ziemeļeiropas valstīs.



2.3. att. Atmosfēras caurspīdīgums Rīgā (FEI saules enerģijas pētīšanas poligonā)

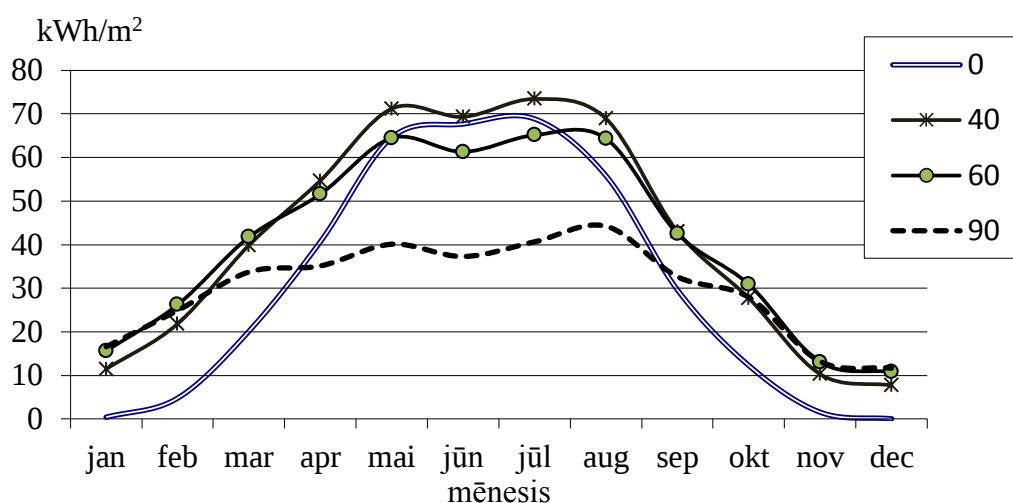
Veicot mērījumus, tika noskaidrots, ka atmosfēras caurspīdīgums ir 0.77 ± 0.05 vienības. Ne tikai mākoņainība, bet arī atmosfēras dzidrums ietekmē saules starojuma intensitāti.

Saules enerģijas pētīšanas poligonā, kas tika aprīkots mēriekārtām un informācijas devējiem, darba gaitā veikts eksperiments, kura laikā tika salīdzināti rezultāti no vakuuma cauruļu saules kolektoriem un plakanās virsmas saules kolektoriem. Grafiski attēloti dažādu tipu saules kolektoru uztvertais saules starojums gada griezumā, no tiem četri - plakanās virsmas kolektori un trīs - vakuuma cauruļu kolektori. Tika nolasīti mērījumi un noteikta rezultātu vidējā vērtība, rezultāti attēloti 2.4. attēlā.



2.4.att. Saražotais enerģijas daudzums dažāda tipa kolektoros

Vakuuma cauruļu kolektors Latvijas apstākļos darbojas efektīvāk nekā plakanās virsmas saules kolektors, tas ir saistīts ar atšķirīgiem darbības principiem. Vakuuma cauruļu kolektori mazāk ietekmējas no straujām temperatūras svārstībām, kas ir raksturīgas Latvijas platumu grādiem. Veiktā eksperimenta laikā noskaidrots, ka plakanās virsmas kolektors salīdzinot ar vairākiem dažādu marku kolektoriem atkarībā no savas uzbūves spēj sniegt līdz pat 20% atšķirīgus rezultātus, kas ir ļoti būtisks fakts optimizējot kombinētās sistēmas. Vakuuma cauruļu kolektoru saražotais saules starojuma daudzums 2009. gadā maksimāli efektīvākais kolektors sasniedz pat 610 kWh/m² gadā. Tika noteikts, ka saules pētīšanas poligonā novietoto un analizēto vakuuma cauruļu kolektoru tipu principiālās atšķirības rada 25% rezultātu atšķirību saražotās enerģijas daudzumam. Vakuuma cauruļu kolektors 2009. gadā darbojās par 10 % efektīvāk nekā plakanās virsmas kolektors. Tas saistīts ar 2009. gada īpatnību, ka laiks bija saulains, bet gaiss dzestrs un vējains. Ārējā gaisa temperatūrai būtiski pazeminoties, samazinās arī plakano kolektoru ražība, jo palielinās siltuma zudumi no saules kolektoru virsmas.

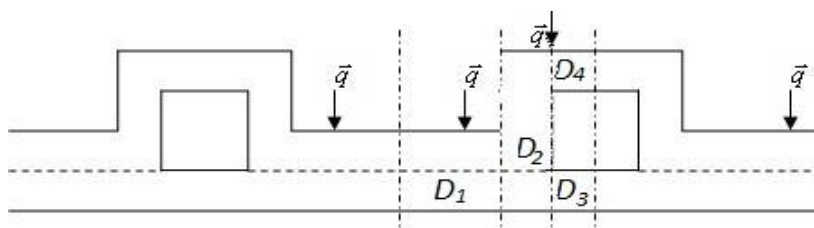


2.5.att. Saules enerģijas daudzums atkarībā no kolektora novietojuma leņķa

Gada globālā starojuma optimālā leņķa izvēle samazina risku pārāk lielas enerģijas saražošanai kādā karstā vasaras mēnešī, kas noved pie enerģijas pārražošanas, un var izraisīt iekārtās pārkaršanu un sistēmas sabojāšanos. Eksperimentāli noteikts kolektoros saražotās siltumenerģijas daudzums atkarībā no tā novietojuma attiecībā pret horizontu - no 0° līdz 90° , attēlā 2.5. tika attēloti rezultāti.

Eksperimentāli noteiktajos 40° un 60° grādu slīpumos novietotie kolektori uztver līdzīgu starojuma daudzumu, taču pavasara un rudens mēnešos visvairāk enerģijas nonāk uz virsmām, kuras novietotas 60° grādu leņķī. Bet vislielāko enerģijas daudzumu vasaras mēnešos var uztvert uz virsmas ar 40° grādiem pret horizontu. Šajā gadījumā starpība nepārsniedza 3%. Tātad atkarībā no pielietojuma nepieciešamības optimālais leņķis var atšķirties. Ja saules kombinētā sistēma paredzēta lielākiem siltuma patēriņiem vasaras mēnešos, tad optimālāk novietot saules kolektoru tuvu 40° , piemēram, vasarnīcās, nometnēs, un citās vietās, kur siltuma patēriņam ir sezonāls raksturs, savukārt, individuālo māju īpašniekiem, optimālais ir 60° , lai saules starojuma devums arī pavasara, rudens un ziemas mēnešos būtu lietojams. Salīdzinot horizontālo un vertikālo stāvokli var novērot saules enerģijas uztveršanas leņķa ietekmi dažādos gadalaikos, kas saistīts ar saules ceļa izmaiņām gada laikā. Pēc maniem pētījumiem, jūnija –augusta mēnešu periodos saules starojuma intensitātes pazemināšanos var pamatot ar atmosfēras caurspīdīguma samazināšanos.

Lai veiktu saules kolektoros notiekošo procesu teorētiskos pētījumus, tika izstrādāts matemātiskais modelis. Izmantojot matemātiskās modelēšanas metodiku plakanās virsmas kolektoru raksturošanai, tika izveidots matemātiskais modelis jauna tipa plakanās virsmas kolektoram, kur izmantojot divas metāla loksnes, no kurām viena ir plakana, bet otra perforēta, un saliekot tās vienu uz otras, rodas saules kolektora absorberim piemērota konstrukcija, kuras šķērsgriezums attēlots 2.6.attēlā. Pa perforētajiem tilpumiem var cirkulēt siltumnesošais šķidrums. Matemātiski tiek atrasts temperatūras lauks absorberī.



2.6. att. Absorbera plates šķērsgriezums

Šķēluma daļu nosacīti sadalām četrās daļās D_1, D_2, D_3, D_4 .

$$\Theta(\xi, \eta) = \begin{cases} \Theta_1(\xi, \eta), & \text{kur } (\xi, \eta) \in D_1 \begin{cases} 0 \leq \xi \leq \xi_1; \\ 0 \leq \eta \leq 2\eta_0; \end{cases} \\ \Theta_2(\xi, \eta), & \text{kur } (\xi, \eta) \in D_2 \begin{cases} \xi_1 \leq \xi \leq \xi_2; \\ 0 \leq \eta \leq \eta_2; \end{cases} \\ \Theta_3(\xi, \eta), & \text{kur } (\xi, \eta) \in D_3 \begin{cases} \xi_2 \leq \xi \leq 1; \\ 0 \leq \eta \leq \eta_0; \end{cases} \\ \Theta_4(\xi, \eta), & \text{kur } (\xi, \eta) \in D_4 \begin{cases} \xi_2 \leq \xi \leq 1; \\ \eta_1 \leq \eta \leq \eta_2. \end{cases} \end{cases} \quad (2.2.)$$

Izmantojot robežnosacījumus, iegūst bezdimensionālu temperatūras lauku apgabalā D_1 :

$$\Theta_1(\xi, \eta) = \frac{Q}{4\eta_0} (\xi^2 - \eta^2) + F, \quad (2.3)$$

kur

$$F = 1 + Q \cdot \eta_0, \quad (2.4)$$

Lai atrisinātu temperatūras lauku Θ_2 izmanto matemātiskās fizikas metodes. Ar Furjē mainīgo atdalīšanas metodi iegūst temperatūras lauku D_2 apgabalā:

$$\begin{aligned} \Theta_2(\xi, \eta) = & \frac{1}{2} (a_{2,0} + a_{2,1}\xi) + \sum_{k=1}^{\infty} (a_{2,k} \operatorname{ch} \lambda_{2,k} \xi + b_{2,k} \operatorname{sh} \lambda_{2,k} \xi) \cdot \cos \lambda_{2,k} \eta \\ & + \frac{2 \cdot Q}{\xi_2 - \xi_1} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - (-1)^k}{\mu_{2,k}^2} \cdot \frac{\operatorname{ch} \mu_{2,k} \eta}{\operatorname{sh} \mu_{2,k} \eta_2} \cdot \cos \mu_{2,k} (\xi - \xi_2), \end{aligned} \quad (2.5.)$$

kur īpašvērtības izsakās ar formulām:

$$\lambda_{2,k} = \frac{k \cdot \pi}{\eta_2}, \quad \mu_{2,k} = \frac{k \cdot \pi}{\xi_2 - \xi_1}, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.6.)$$

Līdzīgi kā D_2 apgabalā, temperatūras lauku atrod arī D_3 un D_4 apgabalos. Tādējādi apgabalā D_3 temperatūras lauks ir:

$$\Theta_3(\xi, \eta) = \frac{a_{3,0}}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_{3,k} \operatorname{ch} \lambda_{3,k} (\xi - 1) \cdot \cos \lambda_{3,k} \eta + \sum_{k=1}^{\infty} c_{3,k} \operatorname{ch} \mu_{3,k} \eta \cdot \cos \mu_{3,k} (\xi - 1), \quad (2.7)$$

ar īpašvērtībām:

$$\lambda_{3,k} = \frac{k \cdot \pi}{\eta_0}; \quad \mu_{3,k} = \frac{k \cdot \pi}{1 - \xi_2}; \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.8)$$

Apgabalā D_4 temperatūras lauks ir sekojošs:

$$\begin{aligned} \Theta_4(\xi, \eta) = & \frac{a_{4,0}}{2} - Q \cdot \eta + \sum_{k=1}^{\infty} a_{4,k} \operatorname{ch} \lambda_{4,k} (\xi - 1) \cdot \cos \lambda_{4,k} (\eta - \eta_2) + \\ & + \sum_{k=1}^{\infty} b_{4,k} \operatorname{ch} \mu_{4,k} (\eta - \eta_2) \cdot \cos \mu_{4,k} (\xi - 1), \end{aligned} \quad (2.9)$$

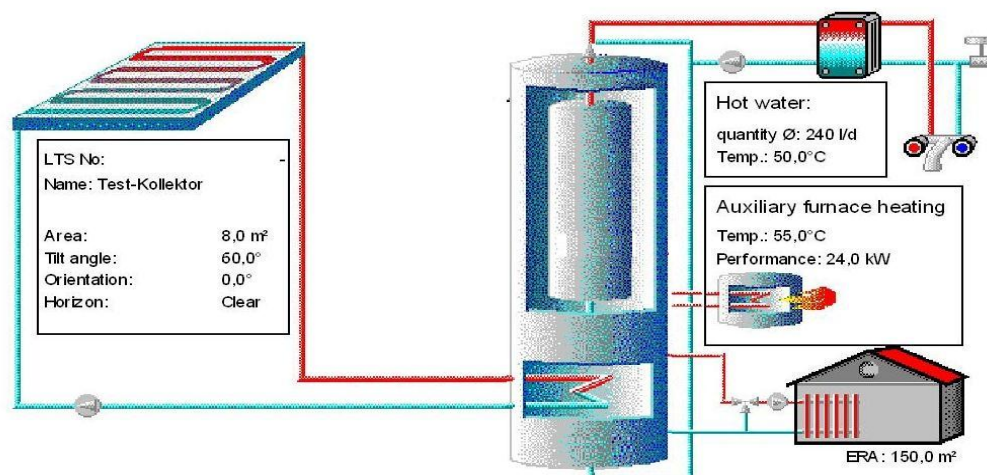
ar īpašvērtībām:

$$\lambda_{4,k} = \frac{k \cdot \pi}{\eta_2 - \eta_1}; \quad \mu_{4,k} = \mu_{3,k} = \frac{k \cdot \pi}{1 - \xi_2}; \quad k=1,2,3,\dots \quad (2.10)$$

Izmantojot siltuma plūsmu vienādību un temperatūru vienādību uz apgabalu D_1 un D_2 kopīgās robežas $\xi = \xi_1$, iegūst vienādojumus nezināmo koeficientu aprēķināšanai. Tika izvestas izteiksmes, kur katra izteiksme satur kolektora absorbera parametrus un mainot šos parametrus, var iegūt optimālāko kolektora darbību. Atrodot temperatūras lauka gradientu, var noteikt temperatūras izplatīšanās raksturu. Rezultātā iegūts temperatūras lauks katrā apgabalā atsevišķi. Siltuma vadīšanas procesu raksturojošais matemātiskais modelis atrisina problēmas, kas rodas veicot pētījumus reālos apstākļos. Galvenokārt, tās ir lielās izmaksas, kuras veido: iegādājamie saules kolektori, aprīkojums un mērierīces, platība, kas atbilst kolektoru izvietojanas prasībām, ieguldāmais darbs un laiks. Izmantojot teorētiskos aprēķinus iespējams raksturot notiekošas procesus saules kolektoros, kas veicina saules kolektoru uzbūves pilnveidošanu.

3. SIMULĀCIJAS MODEĻU PIELIETOJUMS KS EFEKTIVITĀTES PAAUGSTINĀŠANAI

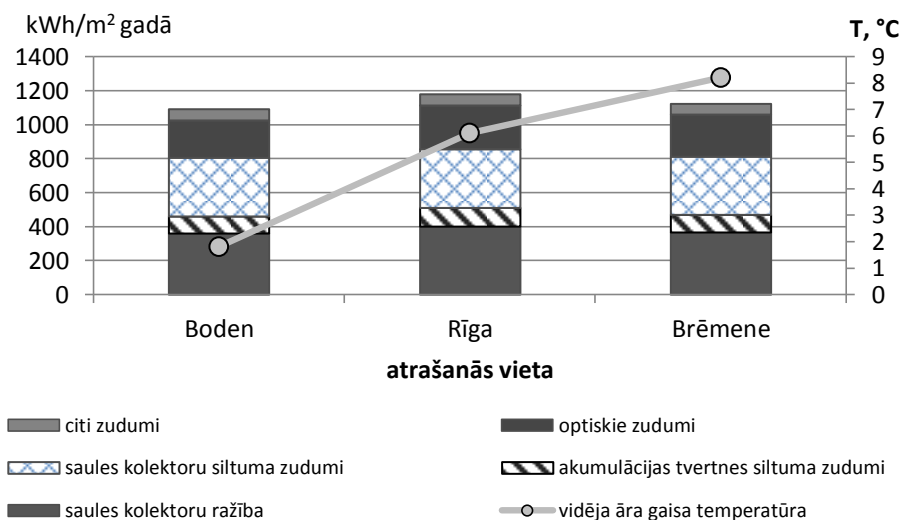
Izmantojot matemātiskās modelēšanas programmu, tika veikta KS variantu simulācijas. Darba ietvaros programma tika adaptēta ar Latvijas klimatiskajiem apstākļiem, izmantojot pētījumos iegūtos, agrīgētos datus par saules starojumu (globālo, izkliedēto), vēja stiprumu un virzienu, āra gaisa temperatūru, gaisa dzidrumu un citiem datiem, kas ietekmē kombinētās sistēmas darbību. Ņemot vērā ne tikai klimata ietekmi uz saules kolektoru sistēmas efektivitāti un siltuma patēriņu apkurei un karstajam ūdenim, bet arī siltuma zudumus visā sistēmā. Veicot kombinēto sistēmu simulāciju ar PolySun, tika aprēķināti vairāki varianti, noteikts, ka vidēji SK sistēmas saražotais siltums sedz 12,4% no apkures sistēmai nepieciešamā patēriņa un 40% no karstā ūdens patēriņa gada griezumā. Dati var atšķirties reālos apstākļos, jo patērētājiem ir individuāla pieeja siltuma patēriņam un komforta līmenim, taču tas sniedz priekšstatu par sistēmas lietderību.



3.1. att. Kombinētās sistēmas aprēķina principiālā shēma

Kopsummā kombinētajās sistēmās saules kolektori dod 18% enerģijas ietaupījumu gada enerģijas patēriņā.

Darbā tika aprēķināti ar simulācijas modeli siltuma zudumi kombinētajām sistēmām, kas atrodas atšķirīgās klimatiskajās zonās, tas ļauj raksturot klimata ietekmi uz siltuma patēriņu un SK saražotā siltuma daudzumu kombinētajās sistēmās.



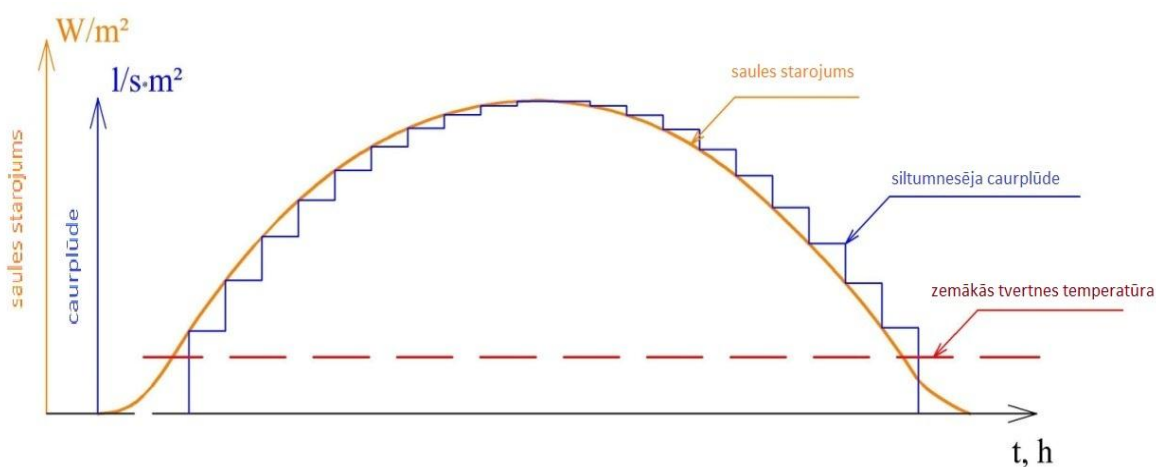
3.2. att. Siltuma zudumi KS atkarībā no lokācijas reģiona

Veicot simulācijas tika izskaitļots, ka siltuma zudumi ir vismazākie, kad optimālais tvertnes tilpums uz 1 kvadrātmētru saules kolektoru ir 0,1 kubikmetrs. Saules kolektoru produktivitāte ir ievērojami mazāka pie attiecības, kas mazāka par $0.1\text{m}^3/\text{m}^2$. Siltuma zudumi akumulācijas tvertnē pieaug straujāk, nekā saules kolektoru siltumenerģijas ražošanas pieaugums pie attiecības virs $0.1\text{m}^3/\text{m}^2$. Analizējot KS siltuma apmaiņas veidus akumulācijas tvertnē no saules kolektoriem, visefektīvāk notiek gadījumā, kad kombinētā sistēma ir ar nelielu ūdens tvertni, kas ievietota akumulācijas tvertnē, tas saistīts ar siltumapmaiņas virsmas laukuma lielumu. Šāda sistēmā tiek izmantota dabīgā noslāņošanās, kas samazina siltuma zudumus un patērētās enerģijas daudzumu, padarot to maksimāli optimālu. Siltuma pārnese veids spēj ietekmēt siltuma zudumus vismaz par 4%.

Izmantojot matemātisko modelēšanu tika noteikta sakarība starp siltuma zudumiem un siltuma vadītspējas koeficienta vērtībām āra un iekštelpu cauruļvadiem. Tika veikts dažādu veidu siltumizolācijas un ekspluatācijas izmaksu aprēķins laika periodā. Rezultātā noteikts, ka 60mm akmens vates izolācijas veidam ir vismazākās enerģijas izmaksas 20 gadu periodā, kas ir tuvu izolācijas ekspluatācijas termiņam. Šāda veida izolācija āra un iekštelpu vara caurulēm ar 18 mm diametru ir ar lielāko rentabilitāti.

4. AUTOMĀTISKĀS VADĪBAS ANALĪZE

Darbā tika veikti pētījumi par dažādu automātiskās vadības veidu ietekmi uz kombinēto sistēmu efektivitāti. FEI saules pētīšanas poligonā veicot virkni eksperimentu, tika izvērtēti saules kolektoru automātikas darbība vadoties pēc dažādiem parametriem: pēc laika, pēc temperatūras starpības saules kolektoros, pēc siltumnesēja plūsmas ātruma un saules starojuma intensitātes, dots vadības raksturojums un trūkumi. Tā kā saules kolektoru sistēmu darbība ir tieši pakļauta ārējiem klimatiskajiem apstākļiem, kas ir laikā mainīgs lielums, tad ir svarīgi maksimāli efektīvi regulēt sistēmas darbību. Noteikta efektīvākā automātiskās vadības kārtība, kas vadās pēc vairāku parametru kopas, kur sūkņa darbību regulē vadoties pēc saules starojuma intensitātes, akumulācijas tvertnes apakšējās temperatūras un āra gaisa temperatūras.



4.1.att. Caurplūde atkarībā no saules starojuma intensitātes

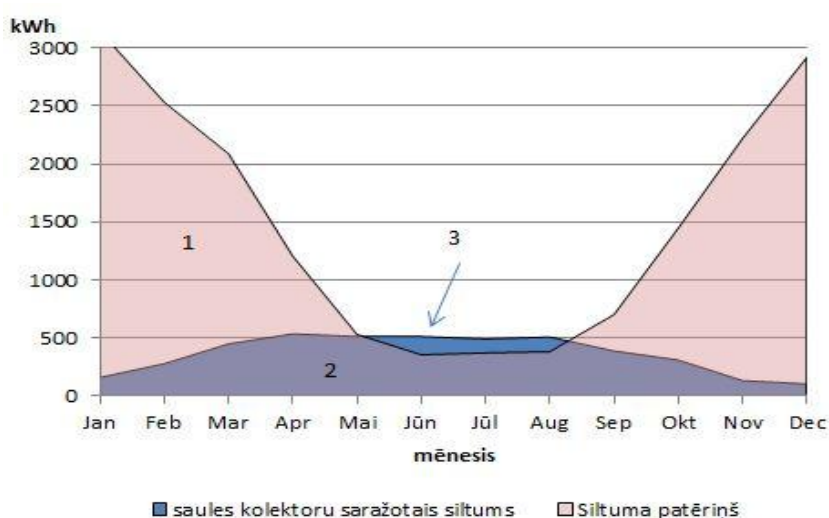
Vadībā pēc starojuma intensitātes caurplūde atkarīga no globālā saules starojuma I , saules kolektora lietderības koeficienta η_{sk} , siltuma zudumiem saules kolektoros un cauruļvados, izsaka sekojoša izteiksme:

$$V = \frac{I \cdot \eta_{sk} - Q_{zud.sk} - Q_c}{c \cdot \Delta t}, \quad (4.1.)$$

Veicot aprēķinus var izvairīties no automātiskās vadības trūkumiem, kas saistīti ar papildus zudumiem testēšanas režīmā. Eksperimentāli dati rāda, kā kopējais saules siltuma sistēmas ražīgums palielinās līdz pat 7% saulainajā dienā, salīdzinot ar vadību pēc temperatūras starpības.

5. KOMBINĒTO SISTĒMU EFEKTIVITĀTES NOVĒRTĒJUMS

Lai veiktu kombinētās sistēmas efektivitātes novērtējumu, darbā tika izmantota sistēmas efektivitātes novērtējuma metode. Šī metode ļauj salīdzināt ļoti atšķirīgas sistēmas, kuras satur dažādus raksturlielumus, kā, piemēram, atšķirīgas lokācijas vietas, saules kolektoru laukumus un tik svarīgas sistēmas atšķirības, kā siltuma patēriņa veidi –telpu apkure vai karstā ūdens apgāde, vai to kombinācija. Lai apvienotu iepriekš noskaidrotos kombinētās sistēmas parametrus un veikto sistēmas optimizāciju, izveidots modelēšanas programmā vairāku variantu kopums, kur simulēti trīs teorētiskas sistēmas, kur I variants saturēja parterus, kurus var raksturot kā ekonomiskus, II variants – darba gaitā noteiktos optimālos parametrus, III variants parametri bija maksimālā komforta nodrošināšanai.



5.1. att. Kombinētās sistēmas efektivitātes novērtējums

Veikti pētījumi un analizēti procesi, rezultāta novērtējums parādīja katras sistēmas priekšrocības un ekspluatācijas riskus.

$$\eta = \frac{(\sum_{i=1}^{12} Q_{ap} + \sum_{i=1}^{12} Q_{ku} + Q_{cirk})}{(Q_{sk} + \sum_{i=1}^{12} Q_{ak})} \quad (5.1)$$

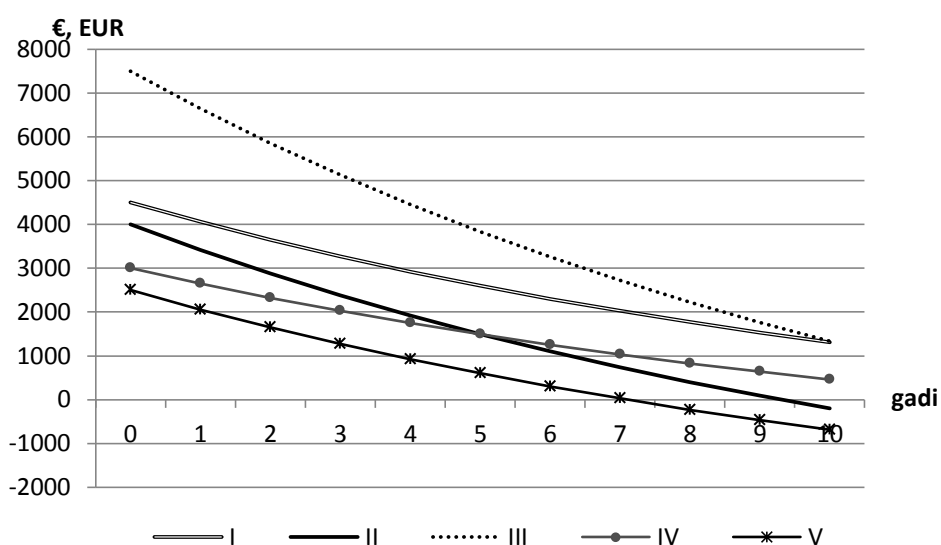
Procentuālais saules kolektoru devums kombinētās sistēmas enegobilancē ir saules kolektora saražotā siltuma daudzums attiecībā pret enerģijas pieprasījumu. Paredzamā sistēmu gada saules frakcija I variantā ir 14.3 %, par II sistēmas tā ir 21.7 %, savukārt, III variantā pateicoties lielajam saules kolektoru laukumam sasniedz 25.5 %, taču kā parādīja KS novērtējums, III variantā pastāv

pārkaršanas risks. Tas apliecina to, ka darbā izmantotā metodika analizē KS no vairākiem aspektiem, līdz ar to, maksimāli precīzi sniedz KS efektivitātes novērtējumu.

Lai noteiktu papildus siltuma avota ietekmi uz kombinētās sistēmas efektivitāti, metodikai tika izvēlēts iepriekš noteiktais optimālais sistēmas variants Nr. II, kā arī tā iespējamās modifikācijas:

- 1) Kombinētā sistēma ar gāzes katlu (pieņemts lietderības koeficients 90%),
- 2) Kombinētā sistēma ar granulu katlu (pieņemts lietderības koeficients 80%),
- 3) Kombinētā sistēma ar zemes siltumsūkni (pieņemts transformācijas koeficients 4,0),
- 4) Sistēma tikai ar gāzes katlu (pieņemts lietderības koeficients 90%),
- 5) Sistēma tikai ar granulu katlu (pieņemts lietderības koeficients 80%).

Veiktā finansiālās rentabilitātes aprēķina rezultāti attēloti grafikā.



5.2.att. finansiālais izvērtējums dažādām sistēmām

I- kombinētā sistēma ar dabasgāzes katlu, II – kombinētā sistēma ar granulu katlu, III – kombinētā sistēma ar siltumsūkni, IV –sistēma ar dabasgāzes katlu, V - sistēma ar granulu katlu.

Analizējot grafiku, secināts, ka no visām apskatītajām sistēmām par efektīvāko tiek uzskatīta kombinētā sistēma ar granulu katlu. Līknes straujais kritums parāda, cik ātri sistēma sevi atmaksā, neskatoties uz lieliem kapitālieguldījumiem, un sāk pelnīt, salīdzinot ar pārējām sistēmām. Jāatzīmē, ka līkne, kas raksturo sistēmu ar granulu katlu, parāda visīsāko atmaksāšanās periodu, taču tas liecina tikai par to, ka sistēmai ir zemākās izmaksas nekā pārējām sistēmām.

Ja aplūkot kombinēto sistēmu ar granulu katlu un sistēmu tikai ar granulu katlu ilgākā periodā, piemēram, 15-20 gadu periodā, kas ir sistēmu ekspluatācijas laiks, tad kombinētā sistēmas līkne krustotu sistēmas ar granulu katlu, kas liecina, ka kombinētā sistēma ar granulu katlu un saules kolektoriem ir rentablāka. Kombinēto sistēmu ar siltumsūkni raksturojošā līknes kritums,

neskatoties uz īpaši augstajām sākotnējām izmaksās, atspoguļo šīs sistēmas efektivitāti. Apskatot to ilgākā periodā, ir skaidrs, ka tās efektivitāte ir augstāka nekā sistēmām ar dabasgāzi, taču jāpiemin, ka siltumsūkņa efektivitāti ietekmē daudzi faktori, to skaitā elektrības cena.

Rezultātā secināts, ka kombinēto sistēmu optimizācija paaugstina sistēmu efektivitāti un šādā veidā, tās kļūst rentablākas nekā vienkāršas apkures sistēmas bez saules kolektoriem.

Enerģijas iegūšana un pārveidošana vienmēr ietver sevī vidi ietekmējošos faktoros. Tāpēc liela nozīme ir kombinētās sistēmas labai draudzīgās enerģijas iegūšanas veids. Viens no parametriem, ko lieto tehnoloģiju ietekmi uz vidi izvērtēšanai ir CO₂ samazinājums, kas raksturo izvērtētās iekārtas CO₂ samazinājuma potenciālu, ņemot vērā aizstātās enerģijas CO₂ emisiju faktoru. Tā kā saules enerģija nerada CO₂ piesārņojumu, bet kombinētās sistēmas papildus siltuma avots enerģijas pārveides procesā izmanto degšanu, kas sevī ietver CO₂ izdalīšanos, tad samazinājums rodas papildus siltuma avota saražotā siltuma aizstāšanā ar saules kolektoru saražoto enerģiju. Tātad saules kolektoru kombinētās sistēmas spēj efektīvi samazināt CO₂ izmešus, nesamazinot patērētāja ērtības. Tādā veidā uzlabojot ne tikai gaisa kvalitāti, bet arī veicinot ES direktīvu izpildi.

SECINĀJUMI

1. Darbā izstrādātā metodika KS enerģijas patēriņa minimizācijai, balstoties uz klimatoloģijas datu padziļinātu izpēti un analīzi – saules starojuma, āra gaisa parametru atkārtošanās biežumu un enerģijas patēriņu dažādās KS iekārtās. Pēc izstrādātās metodikas salīdzināti enerģijas patēriņi dažādām KS darbības shēmām. Izstrādātā metodika balstās uz adaptētiem aprēķinu modeļiem modificētiem ar agrīgētiem klimatiskajiem datiem un citiem papildus indikatoriem.
2. Klimatisko datu padziļināta izpēte un analīze tika veikta darbojoties FEI Saules enerģijas pētīšanas poligonā, radot jaunu bāzi AER izmantošanas tehnoloģiju un to optimālo parametru izvēlei ieskaitot to kombinācijas ar fosilā kurināmā enerģijas avotiem.
3. Apkopojot vairāku gadu klimatiskos datus, tika noskaidrots, ka starojuma intensitātes novirze dažādos gados krītot uz 60° novietotu plakni, var sasniegt 37 %. Starpība starp summāro starojuma daudzumu dažādos gados var sasniegt 7%. Darbā veiktajos aprēķinos, tas tika ņemts vērā. Tika noteikts, ka atmosfēras caurspīdīgums Rīgā ir 0.77 ± 0.05 starojuma vienības, kā arī ne tikai mākoņainība, bet arī atmosfēras dzidrums ietekmē izkliedētā starojuma intensitāti, kas savukārt, ietekmē saules kolektoru efektivitāti, tas rada vidi jaunu pētījumu veikšanai.
4. Izpētīta kombinētās sistēmas funkcionēšanas kārtība un identificēti faktori, kuri ietekmē energoekonomisko rādītāju pārmaiņas. Optimizējot KS Latvijas apstākļiem, tās efektivitāte paaugstinās virs 44%, kas ir augsts rādītājs šādu sistēmu ekspluatācijai ziemeļu reģions. Mērījumu rezultātā noteiktas vakuuma cauruļu saules kolektoru principiālās uzbūves priekšrocības Latvijas

apstākļos, sasniedzot 10 % saražotā siltuma pārsvaru pār plakanās virsmas kolektoriem. Saules kolektoru novietojuma optimālais leņķis pret horizontu var atšķirties atkarībā no siltuma pieprasījuma īpatnībām, tomēr KS, kas paredzētas izmantošanai visu cauru gadu, optimālais leņķis ir tuvu 60° attiecībā pret horizontu.

5. Optimizējot siltuma pārvades procesu, noteikta akumulācijas tvertnes tilpuma un siltuma pārnese veida ietekme uz siltuma zudumiem sistēmā, kas KS energoefektivitāte var būt no 10-22%. Saules kolektoru produktivitāte KS ir ievērojami mazāka pie akumulācijas tvertnes tilpuma un saules kolektoru attiecības, kas mazāka par $0.1\text{m}^3/\text{m}^2$. Siltuma zudumi akumulācijas tvertnē pieaug straujāk, nekā saules kolektoru saražotās siltumenerģijas pieaugums pie attiecības virs $0.1\text{m}^3/\text{m}^2$.
6. Analītiski atrisināts temperatūras lauks jauna tipa saules kolektora absorberī, izmantojot matemātisko modeli, kura absorbera plāksne sastāv no divām plāksnēm, kur viena ir perforēta ar kvadrātiskiem izcilņiem. Temperatūras lauks rēķināts četros apgabalos izmantojot Laplasa vienādojumu stacionāros apstākļos. Uzrakstīti robežnosacījumi katrā kolektora apgabalā, rezultātā izvestas izteiksmes, kur mainot izteiksmes kolektora absorbera parametrus, var raksturot optimālāko kolektora darbību. Atrodot temperatūras lauka gradientu, var noteikt temperatūras izplatīšanās raksturu, kas atvieglo saules kolektoru analīzi un veicina jauna tipa izstrādi ar minimāliem izdevumiem.
7. Noteikta efektīvākā automātiskās vadības kārtība pēc vairāku parametru kopas, kur ieregulējot saules kolektora vadību pēc saules starojuma intensitātes, akumulācijas tvertnes apakšējās temperatūras un āra gaisa temperatūras, kopējo ražību saulaina dienas laikā var palielināt apmēram par 7%, salīdzinot ar vadību pēc viena konkrēta parametra.
8. Analizējot vairākus Latvijas reģionā pieejamos siltumenerģijas segšanas risinājumus privātmāju sektorā, tika veikts finansiālās rentabilitātes izvērtējums, kas parādīja, ka apkures sistēma, kas veidota pēc izveidotās metodikas uz optimālo parametru bāzes, neskatoties uz to, ka KS kapitālieguldījumi par 37,5% lielāki, tā ir efektīvāka sistēma nekā apkures sistēma tikai ar granulu katlu. Rezultātā noteikts, ka optimizētas KS Latvijas klimatiskajos apstākļos efektīvi darbojas kā siltuma avots privātmāju sektorā un ir CO₂ emisijas samazinošs līdzeklis.

PUBLIKĀCIJAS

1. Shipkovs P., Vanags M., Snegirjovs A., Kashkarova G., Lebedeva K., Migla L. Optimization of Solar Thermal System's Pipelines Insulation // Proc. of Conference "EuroSun 2012". - Rijeka, Croatia, 2012. –No.115 -7 p.
2. Shipkovs P., Kashkarova G., Lebedeva K., Migla L. Possibilities of Solar Energy Use and Experience in Latvia // Proc. of Conference "EuroSun 2012". - Rijeka, Croatia, 2012. – No.140 -6 p.
3. Snegirjovs A.S., Shipkovs P.J., Kashkarova G.P., Migla L.S. Heat loss in Solar Thermal Systems // Proc. of Conference "XIV Minsk International Heat and Mass Transfer Forum". – Minsk, Belarus, 2012. – No.4-53. -10 p.

4. Shipkovs P., Kashkarova G., Migla L., Purina I., Lebedeva K. Legislative impact on significance of RES in the RES in the Latvian Energy Market // Journal of Environmental Science and Engineering. - David Publishing Company, 2012. - No.5 - 6 p.
5. Shipkovs P., Snegirjovs A., Migla L. Heat losses influence on solar thermal systems // Proc. of International Conference of Young Scientists on Energy Issues.- Lithuania, Kaunas, 2012. – II-61-II-70 p.
6. Shipkovs P., Kashkarova G., Lebedeva K., Migla L. Development of Biomass Utilization in Latvia// Proc. of International Conference on Renewable Energies and Power Quality 2012. - Spain, Santiago de Compostela, 2012. –No. 629 –5 p.
7. Shipkovs P., Kashkarova G., Lebedeva K., Migla L. Use of Renewable Energy Resources for reduction of environmental pollutions // Proc. of IASTED African Conference “Africa PES 2012”. - Gaborone, Botswana, 2012. -79 – 85 p.
8. Shipkovs P., Vanags M., Snegirjovs A., Migla L. Cost-effective pipelines insulation of solar thermal system // Proc. of World Renewable Energy Forum 2012. - Denver, Colorado, 2012. –5 p.
9. Shipkovs P., Kashkarova G., Lebedeva K., Migla L., Shipkovs J., Pankars M. Advantages and Barriers for the Development of the Use of Renewable Energy Sources in Latvia // Proc. of „ICREPQ’11”. - Las Palmas, Gran Canaria, 2011.- No. 359 - 4 p.
10. Shipkovs P., Kashkarova G., Migla L., Ikaunieks A., Jirgens M. Latvian Experience of Energy supply in the Environment-friendly building in Biosphere Reservation // Proc. of „ICREPQ’11”. - Las Palmas, Gran Canaria, 2011.- No. 360 - 6 p.
11. Shipkovs P., Kashkarova G., Snegirjovs A., Vanags M., Lebedeva K., Shipkovs J., Migla L. Investigation of Solar Collector's in Latvian Conditions // Proc. of „ICREPQ’11”. - Las Palmas, Gran Canaria, 2011.- No. 361 - 4 p.
12. Shipkovs P., Lebedeva K., Kashkarova G., Migla L., Pankars M. Investigation of Solar Collector Systems Use in Latvia // Proc. of World Renewable Energy Congress 2011. - Sweden, Linköping, 2011. – 8 p.
13. Shipkovs P., Pelite U., Kashkarova G., Lebedeva K., Migla L., Shipkovs J. Policy and Strategy Aspects for Renewable Energy Sources Use in Latvia // Proc. of World Renewable Energy Congress 2011. - Sweden, Linköping, 2011. – 9 p.
14. Shipkovs P., Snegirjovs A., Vanags M., Migla L. Determination of Cost-Effective Pipelines Insulation of Solar Thermal System // Proc. of International Conference of Young Scientists on Energy Issues. - Lithuania, Kaunas, 2011. - II-84 -89 p.
15. Shipkovs P., Kashkarova G., Lebedeva K., Vasilevska L., Pankars M., Shipkovs J., Snegirjovs A. Solar Collectors' Operation Methods Effect on System Efficiency //Scientific Journal ISESCO „Science and Technology Vision” -2011. – No. 11 -38 -42 p.
16. Shipkovs P., Snegirjovs A., Vanags M., Lebedeva K., Shipkovs J., Migla L., Pankars M. Comparison of Solar Collectors Operation Methods // Proc. of International Conference of Young Scientists on Energy Issues 2010. - Lithuania, Kaunas, 2010. - II-67-74 p.
17. Pelece I., Vanags M., Migla L. Evaluation of Atmospheric Lucidity and Diffused Radiation // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. - 2010. -No. 6 -40-46 p.
18. Shipkovs P., Migla L. Possibility of Modeling of Solar Collectors Systems in Latvia // Proc. of 10th REHVA World Congress on Sustainable Energy Use in Buildings “CLIMA 2010”.- Turkey, Antalya, 2010. – 8 p.
19. Shipkovs P., Migla L., Lebedeva K., Pankars M., Snegirjovs A. Modeling of Solar Heating Systems in Latvia // Proc. of 10th REHVA World Congress on Sustainable Energy Use in Buildings “CLIMA 2010”.- Turkey, Antalya, 2010. -8 p.
20. Shipkovs P., Kashkarova G., Lebedeva K., Vasilevska L. Energy Saving in Refurbished Buildings in Latvia // Proc. of 10th REHVA World Congress on Sustainable Energy Use in Buildings “CLIMA 2010”. -Turkey, Antalya, 2010. -8 p.
21. Shipkovs P., Kashkarova G., Vanags M., Snegirjovs A., Vasilevska L. Testing Solar Equipment in Latvian Conditions // Proc. of International Conference on Solar Heating, Cooling and Building „EuroSun 2010”. - Austria, Graz, 2010. – 8 p.

22. Shipkovs P., Snegirjovs A., Vanags M., Vasilevska L. Utilization of Solar Combisystems in Latvian Conditions // Proc. of International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings „EuroSun 2010”. - Austria, Graz, 2010. - 8 p.
23. Shipkovs P., Barkans V., Vanags M., Vasilevska L. A Mathematical Model for the Temperature Field of a New Type Solar Collector // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. -2010 – No. 4. -44 -50 p.
24. Shipkovs P., Kashkarova G., Lebedeva K., Vasilevska L., Pankars M., Shipkovs J., Snegirjovs A. Solar Collectors' Operation Methods Effect on System Efficiency // Proceeding of Conference „WREC XI”, 2010. - United Arab Emirates, Abu Dhabi, 2010. - 1721-1726 p.
25. Shipkovs P., Kashkarova G., Lebedeva K., Vanags M., Snegirjovs A., Migla L. Solar Energy Use for Sustainable Development // Proc. of ISES Solar World Congress 2009. - South Africa, Johannesburg, 2009. – 1881 -1888 p.
26. Shipkovs P., Kashkarova G., Lebedeva K., Vanags M., Migla L., Barkans V. The Temperature of the Liquid Flowing in the Solar Collectors Tubes // Proc. of ISES Solar World Congress 2009.- South Africa, Johannesburg, 2009. - 810-815 p.
27. Shipkovs P., Kashkarova G., Lebedeva K., Jirgens M., Migla L. Biomass Residues and Energy Crops Availability and Use // Proc. of International Conference “RIO-9” World Climate & Energy Event Latin America Renewable Energy Fair “LAREF 2009”. - Brasilia, Rio de Janeiro, 2009. – 261 -266 p.

*Publikācijās līdz 2010.gadam autores uzvārds ir Vasiļevska