

Atbalsta Zemkopības ministrija un Lauku atbalsta dienests

Projekts Nr.18-00-A01612-000023 Eiropas Lauksaimniecības fonda lauku attīstībai Latvijas Lauku attīstības programmas 2014.-2020.gadam pasākuma „Sadarbība” 16.1.apakšpasākuma “Atbalsts Eiropas Inovāciju partnerības lauksaimniecības ražīgumam un ilgtspējai lauksaimniecības ražīguma un ilgtspējas darba grupu projekta īstenošanai”



EFEKTĪVU SILTUMA IEGUVES UN APGĀDES RISINĀJUMU IZPĒTE SEGTAJĀS PLATĪBĀS

Projekta atskaite

SATURS

Informācijas sagatavotājs _____	3
Projekta mērķis _____	5
1. nodaļa. Segto platību apsildes sistēmu tehnoloģiskā procesa un parametru analīze _____	6
2. nodaļa. Segtās platības siltumenerģijas apgādes tehnoloģijas izstrāde _____	11
3. nodaļa. Temperatūras un citu parametru mērījumu sistēmas izstrādes metodika _____	25
4. nodaļa. Prasības temperatūras un citu parametru mērījumu sistēmai _____	34
6. nodaļa. Tehnoloģisko procesu risinājumu izstrāde _____	46
7. nodaļa. Eksperimentālo siltumnīcu izstrāde _____	53
7.4. nodaļa. Tehnoloģijas izstrāde segto platību siltumenerģijas nodrošināšanai _____	63
7.6. nodaļa. Biomasas žāvēšanas iekārtu konstrukcijas izstrāde _____	73
7.7. nodaļa. Temperatūras un citu parametru mērījumu sistēmas izstrāde _____	77
7.8. nodaļa. Saules radiācijas un enerģijas izmantošanas iespēju aprēķini _____	79
8. nodaļa. Izstrādāto un ieviesto tehnoloģisko risinājumu eksperimentālā pārbaude _____	94
9. nodaļa. Eksperimentālā pārbaude un datu apstrāde SIA Rītausma _____	106
10. nodaļa. Eksperimentālā pārbaude, datu apstrāde un analīze z.s. Skudriņas _____	117
11. nodaļa. Priekšlikumi izstrāde agrārās politikas veidotājiem saistībā ar atjaunojamo energoresursu izmantošanu. _____	124
12. nodaļa. Projekta informācijas un publicitātes pasākumi _____	127
Secinājumi par projekta sasniegtiem rezultātiem un priekšlikumi _____	129

INFORMĀCIJAS SAGATAVOTĀJS

Vadošais partneris

Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Ulbrokas zinātnes centrs (LBTU UZC)

Projekta zinātniskais vadītājs:

Vadošais pētnieks, Dr.sc.ing. Ādolfs Ruciņš

Tālrunis: +371 67910879;

E-pasts: adolfs.rucins@lbtu.lv

Adrese: Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001



Sadarbības partneri un to kontaktinformācija

1. Latvijas Universitāte, Ķīmiskās fizikas institūts (LU),

Kontaktpersona: Dr.sc.ing. Agris Auce

Tālrunis: +371 29242066

E-pasts: a@aa.lv

Adrese: Raiņa Bulvāris 19, Rīga, LV-1586

2. Latvijas Lauku konsultāciju un izglītības centrs SIA (LLKC),

Kontaktpersona: Māris Narvils

Tālrunis: +371 29609943

E-pasts: maris.narvils@llkc.lv

Adrese: Rīgas ielā 34, Ozolnieki, Ozolnieku pagasts, Ozolnieku novads, LV-3018

3. Progresīvo tehnoloģiju institūts, biedrība (PTI)

Pārstāvis: Ivars Auce

Tālrunis: +371 26601758

E-pasts: i@aa.lv

Adrese: Mirdzas Ķempes iela 11 -55, Rīga, LV-101

4. Rītausma, SIA

Kontaktpersona: Mareks Drozdovs

Tālrunis: +371 20248411

E-pasts: mareks.drozдовs@ritauma.lv

Adrese: "Saules", Salas pagasts, Salas novads, LV-5230

5. Baltic Open Solution Center, SIA (BOSC)

Kontaktpersona: Kaspars Kalbergs

Tālrunis: +371 67240042

E-pasts: bosc@bosc.lv

Adrese: Ainažu iela 13, Saulkrasti, LV-2160

6. A.Pundura Konsultāciju Centrs, SIA (APKC)

Kontaktpersona: Aivars Pundurs

Tālrunis: +371 29423252

E-pasts: aivars.pundurs@apkc.lv

Adrese: Lielpriedes iela 12-1, Babīte, Babītes nov., LV-2107

7. Infopols.lv, SIA

Kontaktpersona: Normunds Reips

Tālrunis: +371 29101321

E-pasts: normunds.reips@gmail.com

Adrese: Elvīras 10-25, Rīga, LV-1083

8. Zemnieku Saeima, NVO

Kontaktpersona: Zanda Melnalksne

Tālrunis: +371 29484101

E-pasts: zanda@zemniekusaeima.lv

Adrese: Republikas laukums 2, Rīga, LV-1010

9. Zemnieku saimniecība "Skudriņas",

Kontaktpersona: Elmārs Hlomovs

Tālrunis: +371 25920090

E-pasts: elmars.hlomovs.2020@gmail.com

Adrese: "Skudriņas", Skudriņas, Alsungas nov., LV-3306



Projekta īstenošanas periods

2019. gada 01. marts – 2023. gada 30. jūnijs

Kopējās projekta izmaksas

Kopējās projekta izmaksas ir EUR 485 408

Projekta pamatjēdziens

Izstrādāt Latvijas klimatiskiem apstākļiem piemērotu energoefektīvu tehnoloģiju, siltuma enerģijas ražošanai segto platību apsildīšanai (gaisa termoregulācijai), siltuma enerģijas akumulēšanas un pārpalikušās siltuma enerģijas izmantošanai primārās lauksaimniecības un meža produkcijas pārstrādei – žāvēšanai.

PROJEKTA MĒRĶIS

Segtās platības siltumenerģijas apgādes tehnoloģijas izstrāde

- Energoefektīvu tehnoloģiju ar integrētu siltuma sūkni (gaiss–ūdens) un saules enerģijas kolektoriem un saules paneļiem izstrāde
- Saules enerģijas kolektoru konstrukciju izpēte silta gaisa un silta ūdens ieguvei un izmantošanai segto platību gaisa termoregulācijai; (LU)
- Tehnoloģijas funkcionālās shēmas ar integrētu siltuma sūkni (gaiss–ūdens), saules enerģijas kolektoru un siltuma akumulatoru (siltummaini) izstrāde; (LBTU)
- Tehnoloģijas izstrāde segto platību siltumenerģijas nodrošināšanai; (PTI)
- Biomasas žāvēšanas iekārtu konstrukcijas izstrāde; (APKC)
- Modularitātes sistēmas pētījumi, solārās elektrības un siltuma apgādes sistēmu konstrukciju izveide; (PTI)
- Temperatūras un citu parametru mērījumu sistēmas izstrāde; (BOSC)
- Saules radiācijas un enerģijas izmantošanas iespēju aprēķini; (Infopols.lv)
- Siltuma akumulācijas sistēmas izveide; (LBTU).

Eksperimentālie pētījumi

- Veikt pētījumus, iegūto rezultātu analīzi un izstrādāto kolektoru ar integrētu siltuma sūkni (gaiss–ūdens) darba parametru salīdzināšanu ar jau esošo konstrukciju rādītājiem;
- Veikt siltuma enerģijas akumulācijas un elektroenerģijas ražošanas iespēju pētījumus, kuru rezultātus pārbaudīt ar praktisku pielietojumu segto platību periodiskai gaisa termoregulācijai.

Eksperimentālā izstrādne

- Veikt pētījumu rezultātā izstrādāto tehnoloģiju demonstratora maketa eksperimentālo izstrādi un ilgtermiņa testēšanu reālās segtās siltumnīcu platībās.

Publicitātes pasākumi

- Semināru un lauku dienu rīkošana mērķauditorijai.

Priekšlikumu izstrāde

- Priekšlikumi izstrāde agrārās politikas veidotājiem saistībā ar atjaunojamo energoresursu izmantošanu.

Secinājumi

- Secinājumi par projektā sasniegtiem rezultātiem.

1. NODAĻA. SEGTO PLATĪBU APSILDES SISTĒMU TEHNOĻISKĀ PROCESA UN PARAMETRU ANALĪZE

Informāciju sagatavoja: Latvijas Universitāte, Ķīmiskās fizikas institūts

1.1. Siltumenerģijas avotu raksturojums

Siltumsūknis gaiss–ūdens (GŪSS)

Lietderības koeficients ir atkarīgs no temperatūru starpības (starpība starp āra gaisu un sildāmā ūdens temperatūru). Jo lielāka temperatūru starpība, jo mazāks ir lietderības koeficients.

Siltumsūkņa darbība ģenerētā nav atkarīga no laika apstākļiem. Lietderības koeficients ir zemāks pie stipri zemām āra gaisa temperatūrām. Tas nozīmē, ka siltumsūknis ir pēc būtības centrālais un galvenais siltuma avots, kurš nodrošina apsildes nepārtrauktību – gan naktī, gan laikā, kad nav pieejama saule. Tā, kā siltumsūknis ir visdārgākais no siltuma avotiem attiecībā uz saražotā siltuma vienības cenu, jo siltuma sūknis patērē tīkla elektroenerģiju, tad siltuma sūknis ir jāizmanto pēc iespējas mazāk. Siltuma sūknis ir vienīgais apsildes elements, kas var ražot arī aukstumu, kas var būt noderīgs biomasas žāvēšanā, sausinot gaisu pirms tā sildīšanas. Siltumsūknis ir salīdzinoši kompakts un neizsedz sauli.

Saules kolektori (SK)

Saules kolektori ir visekonomiskākais siltuma avots. Tie siltumā pārvērš vislielāko daļu no uz tiem krītošās saules enerģijas. Tā, kā saules kolektori ir pildīti ar ūdeni vai citu šķidrumu, tad tie ir salīdzinoši smagi un to montāža ir salīdzinoši sarežģīta un dārga. Saulainā laikā Saules kolektori var nodrošināt lielu jaudu, bet bieži šī jauda tiek radīta laikā, kad tā nav īpaši vajadzīga siltumnīcas apsildei. Saules kolektoru radīto siltumu ir dārgi un neekonomiski pārvadīt lielākos attālumos.

Saules kolektoru īpašības ir jāsālāgo ar iespējām tās uzstādīt uz siltumnīcas tipa konstrukcijas: SIA Rītausma siltumnīcas stiklu izmēri ir 165x0,985 cm un 30 grādu leņķis. Siltumnīcas celtspēja ir 40 kg/m² (sniega slodze).

Saules kolektoru raksturojošo parametru priekšizpēte

Nepieciešamie parametri: Siltuma jauda (kW).

Vajadzīgā kopīgā siltuma jauda ir precizējama tehnoloģiskā procesa risinājumu izstrādes gaitā, lai optimizētu izmaksu un siltuma nodrošinājuma ziemas periodā attiecību. Tai skaitā ņemot vērā kolektora reālo jaudu dažādos apgaismojuma apstākļos un to salīdzinot ar siltumnīcai nepieciešamo siltuma daudzumu un siltuma akumulatora kapacitāti.

Atkarībā no kolektora moduļa (vienības) jaudas, kolektora uzstādīšanas vietas un virziena uz siltumnīcas jumta ir precizējama viena kolektora moduļa sagaidāmā jauda. Tehnoloģiskā procesa risinājumu izstrādes gaitā tika precizēts orientējošais nepieciešamo kolektoru skaits.

Iepirkumā specificējamā informācija:

- Kāda ir siltuma jauda dažādos apstākļos: saulains laiks vasarā, saulains laiks ziemā, mākoņains laiks, ziemā, mākoņains laiks vasarā/pavasārī;
- Kāds ir kolektoru viena bloka izmērs (nxm cm), m², masa uz 1m² (tad, kad ir pilns ar darba šķidrumu);
- Stiprināšanas veids;
- Kāds ir kolektora viena bloka svars (uzstādīts pilns ar darba šķidrumu);
- Kolektora tipi: (piemēram “plakanais selektīvais ar vienu stiklu” (selective with one glass) vai vakuuma caurules);
- Kolektora pašapsilde ziemā (iespēja nodrošināt, lai uz tā neuzkrājas sniegs);
- Cenas un siltuma jauda attiecība;
- Kolektora apkopes instrukcija (cik bieži jātīra, kā laika gaitā samazinās to efektivitāte (netīrumi uz virsmas un tml.);
- Kāds ir darba šķidrums un darba šķidruma temperatūru diapazons;
- Kāda ir aizsardzība pret pārkaršanu un sasalšanu;
- Kādi papildus materiāli ietilpst pārdošanas cenā;
- Cik maksā montāžas materiāli?;
- Cik maksā pati montāža (ja piegādātājs to veic).

Galvenie saules kolektora iepirkuma nosacījumi:

- Lai kolektors nav jātīra no sniega;
- Jauda attiecībā pret cenu;
- Montāžas un apkopes izdevumi;
- Fiziskā izturība pret mehāniskiem bojājumiem;
- Kolektora komplektācija;
- Kolektora aizsardzība pret pārkaršanu un pret sasalšanu;
- Izmēru, svara un stiprinājumu atbilstība siltumnīcas konstrukciju jumta parametriem;
- Nodrošinātais pakalpojuma kopums kolektora piegādē;
- Kolektoram nepieciešamais papildus aprīkojums, kas neietilpst paša kolektora cenā.

Saules paneļi (PV)

Salīdzinoši dārgas (pārdošanas cenas ģenerējošai vienībai pret saražoto jaudu), ar Saules paneļiem nav ekonomiski izdevīgi nodrošināt visu siltumnīcas apsildi.

Saražotā elektrība ir viegli transportējama uz patēriņa vietu, montāžas izdevumi ir salīdzinoši nelieli. Elektrību ir salīdzinoši lēti un vienkāršāk pārvadīt lielākā attālumā nekā Saules kolektoru sildošo šķidrumu. Saules paneļi ir vieglākas nekā Saules kolektori un tāpēc tās vairāk piemērotas novietošanai uz ne visai izturīgām siltumnīcu tipa jumta konstrukcijām.

Saules paneļu izmantošanu dažādu mehānismu darbināšanā sadārdzina tas, ka lielai daļai iekārtu ir vajadzīgs pārveidotājs, kas pārveido Saules paneļu radīto līdzstrāvu uz 220V vai 380V maiņstrāvu. Saules paneļus var ekonomiski izmantot vai nu to spriegumam speciāli paredzētām ierīcēm vai arī sildīšanai ar sildelementu, kurš ir salāgots ar Saules paneļu spriegumu un iekšējo pretestību.

Lai ar Saules paneļiem darbināmām ierīcēm nodrošinātu to nepārtrauktu darbību ir vai nu vajadzīga elektrības uzkrāšanas sistēma (dziļās uzlādes akumulatori ar kontrolieri) vai arī jāparedz alternatīva barošana no ārējā 220V vai 380V tīkla.

1.2. Sistēmas elementu integrācija

Galvenie parametri gaiss–ūdens siltumsūkņim, kas svarīgi projekta īstenošanas gaitā. Vajadzība pēc atsevišķiem parametriem ir precizējama Tehnoloģiskā procesa risinājumu izstrādē. Maksimālā siltā ūdens temperatūra: vismaz 60–65°C.

Izskatīt iespēju vai ekonomiski pamatota ir vajadzība pēc augstākas siltā ūdens temperatūras, kuru var nodrošināt ar divpakāpju siltumsūkni. Šāda vajadzība ir precizējama Tehnoloģiskā procesa risinājumu izstrādē.

- Siltuma jauda 10–14 kW, var izskatīt iespēju vajadzīgo jaudu nodrošināt ar vienu vai diviem siltumsūkņiem;
- Lietderības koeficienti, to atkarība ko temperatūras un vajadzīgās siltuma jaudas, COP (efektivitātes koeficientu pie 7°C), izejas T, kW;
- Vai var strādāt dzesēšanas režīmā, minimālā ūdens temperatūra dzesēšanas režīmā (orientējoši varētu būt 6–12°C ūdens min T);
- Iespēja automātiskai savienojamība ar Saules kolektoru;
- Iespēja automātiskai savienojamība ar siltuma akumulatoru;
- Uzstādīšanas veids: āra modulis, ar pret apledošanas funkciju, vajadzīgs lai ir automātiskā atsaldēšana;
- Aizsardzība pret sasalšanu, ja tāda nepieciešama tehnoloģiskajā shēmā;
- Darba šķidrums. Ieteicamāk būtu bez glikola strādāt;
- Tips, jauda izmēri svars, apkope (kāda apkope vajadzīga), tās izmaksas;
- Kopīgā komplektācija.

1.3. Siltumsūkņa gaiss–ūdens integrācija kopīgajā sistēmā

Gaiss–ūdens siltumsūkņim ir vairākas konfigurācijas un parametru iespējas. Vienpakāpes siltumsūkņis ar vienu sildīšanas/dzesēšanas ciklu un vienu darba vielu var sasniegt maksimālo temperatūru sildāmajam ūdenim 60–65°C, kamēr divpakāpju siltumsūkņis var sasniegt austāku temperatūru – līdz 80°C un vairāk. Divpakāpju siltumsūkņi tomēr ir ievērojami dārgāki un izvērtējot

cenās un ieguvumu attiecību, jāsecina, pētījumā lietderīgāk ir izmantot vienpakāpes siltumsūkni, jo paaugstinātās temperatūras ieguvumi būtu jūtami tikai vienā paredzētās izmantošanas daļā – biomasas žāvēšanā, bet arī tur šī temperatūru starpība nav būtiska.

Ļoti svarīga daļa sistēmas efektīvā integrācijā ir Saules kolektora un siltumsūkņa integrācija. Ir iespējams izveidot un tirgū ir pieejama tāda gaiss – ūdens siltumsūkņa konfigurācija, kurā saules kolektoru piegādātais uzsildītais ūdens plūst caur siltumsūkņa siltuma apmaiņas kontūru un siltumsūknis strādā tikai uzsildot ūdeni tajos gadījumos, kad Saules kolektors nav ūdeni uzsildījis līdz vajadzīgajai temperatūrai. Lai nodrošinātu labāku sistēmas darbību Saules kolektoru maksimālajai jaudai būtu jābūt ievērojami lielākai nekā Siltumnīcas maksimālais siltuma pieprasījums, kas vērojams ziemas perioda aukstākajā laikā – februārī, martā. Savukārt siltumsūkņa jaudai ir jāatbilst Siltumnīcas sistēmas vajadzīgajai maksimālajai jaudai.

1.4. Saules kolektora integrācija kopīgajā sistēmā

Tā kā Saules kolektors un siltumnīca lielu daļu laika strādā pretējos ciklos – Siltumnīcas jaudas pieprasījums ir vislielākais tad, kad Saules kolektoru jauda ir vismazākā un Saules kolektoru jauda savukārt ir vislielākā, tad, kad Siltumnīcas siltuma pieprasījums ir vismazākais – Saulainā laikā, tad sistēmas ekonomiskākai darbībai ir vēlams siltumapgādes sistēmā iekļaut siltuma akumulatoru. Siltuma akumulatora kapacitātes ir iespējamās dažādas – no tā lai nodrošinātu siltuma apgādi stundas vai dažu stundu diapazonā un tā optimizētu saules kolektora un siltumsūkņa kopīgo darbību, ļaujot siltumsūknis strādāt ar mazāku pārtraukumu un ieslēgšanās/izslēgšanās reižu skaitu, līdz pat tādām akumulatora izmēriem, kas nodrošina iespēju ar akumulēt siltumu visam nakts sildīšanas laikam. Tāda akumulatora izveidošana, kurš varētu īsās ziemas dienas laikā nodrošināt sildīšanai nepieciešamo siltuma daudzumu visam diennakts garumam ir ekonomiski neizdevīga, jo tas prasītu palielinātas Saules kolektoru jaudas un arī sadārdzinātu sistēmas izmaksas.

Saules kolektora darbību raksturo siltuma jaudas pārpalikums saulainā laikā, kad Siltumnīcai nepieciešamās siltuma jaudas ir mazākas. Tāpēc sistēmas efektīvākai darbībai Saules kolektors ir integrējams kopā ar biomasas žāvēšanas sistēmu, kur tiek novadīts siltums laikā, kad Saules kolektoram ir siltuma enerģijas pārpalikums ko nespēj patērēt pieprasījums no Siltumnīcas un ūdens sildīšanas. Biomasas žāvēšanai nav bīstami apsildes pārtraukumi, tāpēc tā spēj darboties arī periodiskā apsildes režīmā.

Sezonālās siltumnīcas siltuma pieprasījuma svārstības un jāsālīdzina ar diennakts cikla siltuma pieprasījuma svārstībām un ar siltuma pieprasījuma svārstībām atkarībā no laika apstākļiem – saules tiešās radiācijas daudzuma. Mākoņainā periodā Siltuma kolektoru radītais siltuma daudzums ir ievērojami mazāks nekā tiešos Saules staros, savukārt pie vienādas āra gaisa temperatūras siltumnīcas siltuma pieprasījums mākoņainā laikā ir ievērojami lielāks. Tas rada četru veidu siltuma pārpalikumu vai deficītu Saules kolektoru sistēmā:

- īslaicīgais siltuma ģenerējošās jaudas iztrūkums, vai ģenerējošās jaudas pārpalikums kas saistīti ar īslaicīgu mākoņu daudzumu;
- diennakts cikls, kur dienā ir jaudas pārpalikums, bet naktī jaudas deficīts;
- ilglaicīgas laika apstākļu noteiktas jaudas un pieprasījuma izmaiņas – ar laika mērogu vairāku dienu garumā;
- sezonālais cikls, kur vasarā ir siltuma enerģijas pārpalikums.

Īslaicīgā mākoņu un Saules mainīguma radītās jaudas svārstības var izlīdzināt ar piemērotas ietilpības siltuma akumulatoru, savukārt diennakts jaudas izmaiņas attiecībā pret pieprasījumu nav iespējams pilnībā kompensēt ar siltuma akumulatoru. Ilgāka laika mēroga vairāk nekā vienas dienas, pieprasījuma/ražošanas jaudu nesakritību ar parasto siltuma akumulatoru palīdzību nav ekonomiski iespējams risināt.

1.5. Biomasas žāvēšanas integrācija kopīgajā sistēmā

Biomasas žāvēšanas integrēšana siltuma–aukstuma sistēmā ļauj ekonomiski izmantot Saules kolektoru ražotā siltuma pārpalikumu. Lai to efektīvi izdarītu sistēmai ir jābūt automātiskās regulēšanas iekārtām, kas salīdzinoši īsā laika mērogā var novadīt siltuma pārpalikumu vispirms uz siltuma akumulatoru un pēc tā piepildīšanas uz biomasas žāvēšanas sistēmu. Vasaras periodā, kad ir prognozēti zināms, ka būs ievērojams jaudas pārpalikums Siltumnīcas sildīšanas sistēmā ir

iespējamās ilglaicīgākas konfigurācijas izmaiņas, lai efektīvāk varētu izmantot pieejamo siltuma jaudu, bet vajadzībā pēc šādām iespējamām konfigurācijas izmaiņām ir jāsalāgo ar papildus izmaksām un tehnisko slogu, ko rada šādas sistēmas izveidošana un uzturēšana.

Integrējot Saules kolektorus un biomasas žāvēšanu kopīgā sistēmā ir jāapsver iespēja integrāciju veikt tā, lai varētu uz biomasas žāvēšanas iekārtu novadīt pēc iespējas siltāku ūdeni – līdz pat 100°C, tādējādi palielinot biomasas žāvēšanas efektivitāti.

Zināmu pastāvīgās jaudas pieprasījumu rada vajadzība sildīt artēzisko ūdeni. Artēziskā ūdens sildīšanas radītais pieprasījums ir ar diennakts cikla svārstībām, bet pieprasījuma svārstības atbilst ražošanas jaudas svārstībām – ūdens ir vajadzīgs dienas laikā: no plkst. 6.00 līdz 21.00. Tas nepilnīgi atbilst Saules kolektoru darbības laikam, bet ar atbilstošas jaudas siltuma akumulatoru šo neatbilstību lielāko tiesu ir iespējams izlīdzināt. Tomēr mākoņainā laika esamība nosaka to, ka arī šeit ir vēlama integrācija ar kādu citu siltuma piegādes avotu.

1.6. Saules paneļu (PV) integrācija kopīgajā sistēmā

Saules paneļu radītās jaudas attiecība pret siltumnīcas siltuma pieprasījumu laika sadalījumā ir līdzīga kā Saules kolektoriem. Lielākā daļa elektriskās enerģijas tiek saražota laikā, kad pieprasījums pēc tās apsildes sistēmās ir vismazākais.

Lai darbinātu parastās (220/380V) tīkla ierīces no saules paneļiem ir vajadzīga sprieguma pārveidošanas sistēma un strāvas padeves regulēšanas sistēma, kuras ir visai dārgas.

Tā kā jaudas lielākā daļa tiek radīta laikā, kad pieprasījums pēc siltuma ir vismazākais, tad siltumsūkņa darbināšana ar saules paneļiem ir atzīstama par ekonomiski neefektīvu risinājumu apstākļos, kad nav ekonomiski pamatotas un izdevīgas iespējas uzkrāt lielus siltuma daudzumus siltuma akumulatoros.

Saules paneļu elektrisko enerģiju apsildes siltumā var pārveidot ar ūdens sildelementu palīdzību, kur tiešā veidā bez papildus izmaksām var izmantot saules paneļu radīto līdzstrāvu. Šādā veidā izmantojot Saules paneļu radīto enerģiju to ir iespējams uzkrāt tajā pašā siltuma uzkrāšanas sistēmā, kur Saules kolektoru siltumu. Tāpat šādā veidā Saules paneļi var integrēt kopīgajā siltuma apgādes sistēmā kopā ar Saules kolektoriem un Siltuma sūkni.

Saules paneļu radīto līdzstrāvu var izmantot lai darbinātu dažādas nelielas ierīces – kā sūkņus, ventilatorus un tamlīdzīgi. Lai nodrošinātu ierīču nepārtrauktu darbību tām nepieciešams elektrības uzglabāšanas un padeves regulēšanas sistēma – akumulatori. Ar saules paneļiem savietojamie akumulatori, tā saucamie dziļās izlādes/uzlādes akumulatori ir visai dārgi salīdzinājumā pret uzkrāto jaudu. Ekonomisku apsvērumu dēļ elektrības izmantošana ir jāveic kādā no diviem veidiem: ar tīkla elektropieslēgumu kopā ar transformatoru, kas pārvērs tīkla 220/380 V elektrību ierīcēm atbilstošā līdzstrāvā, vai arī izmantojot elektroenerģiju tādu ierīču darbināšanā, kuras nepieciešamas tikai laikā, kad ir pieejama Saules enerģija un siltuma akumulatorā uzkrātā enerģija. Izvēloties risinājumu, kur ar Saules paneļiem tiek darbinātas ierīces, kas nepieciešamas tikai laikā kad ir pieejama Saules enerģija var iegūt ekonomiska rakstura priekšrocības, jo tad var izvairīties no pastāvīgā strāvas pieslēguma veidošanas. Piemērotākie kandidāti šādām ierīcēm ir cirkulācijas nodrošināšana Saules kolektoru sistēmā, gaisa plūsmas un sildīšanas cirkulācijas nodrošināšana biomasas žāvēšanas sistēmā. Optimālais risinājums ir atkarīgs no elektrības akumulatoru un to regulējošo sistēmu cenas un jaudas. Principā šādā veidā iespējams izveidot no pastāvīgā elektrības tīkla neatkarīgu biomasas žāvēšanas sistēmu.

1.8. Izstrādājamās apsildes sistēmas elementu integrācija un parametri

Apsildes sistēma satur trīs siltumu ģenerējošās ierīces:

- Gaiss – ūdens siltumsūknis; (GÜSS)
- Saules kolektori; (SK)
- PV paneļi; (SP)

Kā rezerves siltuma avoti var tikt izmantoti:

- Esošā centrālapkures sistēma;
- Elektriskā sildīšana;

Savukārt siltuma patērētāji:

- Siltumnīca;
- Laistāmais artēziskais ūdens (tā sildīšana);
- Biomasas žāvēšana.

Katram no siltuma avotiem ir savas priekšrocības un raksturlielumi, kas optimāli jāizmanto veidojot kopīgo sistēmu. Tāpat katram no siltuma patērētājiem ir savi raksturlielumi un savas vajadzības, kas ietekmē optimālo kopīgās sistēmas integrāciju un atsevišķos sistēmas parametrus.

Siltuma patērētāju raksturojums.

Siltumnīcas patēriņa režīms:

- Maksimālā eksperimentālajai siltumnīcai nepieciešamā siltuma jauda ir 10 kW;
- Lielākā siltuma jauda ir nepieciešama ziemā, naktī vai aukstās mākoņainās ziemas dienās;
- Dažādos mēnešos ir jāuztur dažāda temperatūra (mazāka ziemas sākumā, lielāka sākoties veģetācijas periodam);
- Dienā ir lielāka temperatūra, naktī par dažiem grādiem zemāka.

Artēziskā ūdens sildīšana:

Nepieciešamais ūdens daudzums laistīšanai: 300 litri/diennakts; platība 50m²; 157 augi. apmēram 30% no ūdens atgriežas atpakaļ un to recirkulē vēlreiz. Laistīšanai ūdens patēriņš 2.68 litri/h/augam – laista no 6.00 līdz 21.00; uz 50 m² ir 157 augi, nepieciešama ūdens temperatūra 18°C, enerģijas patēriņš, lai uzsildītu – 345 litri/h=0.1 litri/sek. = 100g*10*4.2=4.2 kW. Lielākais siltuma patēriņš ir vasarā, siltā laikā un dienā.

1.9. Biomasas žāvēšana:

- Siltuma patēriņš ir atkarīgs no žāvēšanas kameras lieluma;
- Diennakts režīmam nav īpašas nozīmes priekš paša žāvēšanas procesa;
- Var būt noderīga arī dzesēšanas funkcija, lai žāvētu gaisu (aizvāktu no gaisa mitrumu ar kondensēšanās metodi);
- Vēlama aktīva gaisa cirkulācija;
- Žāvēšana var notikt ar pārtraukumiem, nav nepieciešams nepārtraukts žāvēšanas režīms, pārtraukumu pieļaujamais ilgums atkarīgs no žāvējamo produktu veida;
- Vēlamā žāvēšanas temperatūra ir atkarīga no žāvējamā materiāla;
- Neliela temperatūra: 50–60°C ja jā saglabā bioloģiski aktīvās vielas;
- Jo lielāka jo labāka temperatūra (līdz 100°C vai augstāk) koksnes un citas enerģijas tipa biomasas žāvēšanai, arī 60°C ir pieņemami koksnes žāvēšanai.

Kokskaidu žāvēšanā skaidu sasniedzamais mitruma līmenis pakaišu skaidām no 10 – 18 %. Kurināmā izgatavošanai izmantojamām skaidām sasniedzamais mitruma līmenis ir apmēram 12–15%, var būt arī nedaudz augstāks. Atkarībā no patērētāju prasībām un pieprasījuma skaidām var būt arī pieļaujams augstāks mitruma līmenis – līdz 25%.

Secinājumi par nodaļu

- Tehnoloģiskā procesa risinājumu izstrādē ir aprēķināmas konkrētas katrai no sistēmām nepieciešamās jaudas, lai optimizētu Saules enerģijas izmantošanu apsildes sistēmā salīdzinot ar iekārtu cenām.
- Siltumsūkņa izvērē priekšroka dodama risinājumam, kurā ir ražotāja piedāvāta iespēja to integrēt ar Saules kolektoru.
- Saules paneļu izmantošanai Tehnoloģiskā procesa risinājumu izstrādes laikā ir jāprecizē to vajadzīgais slēgums, lai nodrošinātu ūdens sildīšanu ar sildelementiem. Tāpat jāprecizē iespējamās ierīces, kuras varētu būt darbināmas līdzstrāves režīmā un tam atbilstošie elektrības akumulatori un regulējošās ierīces.
- Tehnoloģiskā procesa risinājumu izstrādes gaitā ir jāpieņem lēmumi par siltumsūkņa dzesēšanas jaudas izmantošanas lietderību biomasas žāvēšanā un par biomasas žāvēšanas sistēmas pieslēguma veidu kopīgajai apsildes sistēmai, izvērtējot iespēju nodrošināt augstāku temperatūru biomasas žāvēšanas cilpā.

2. NODAĻA. SEGTĀS PLATĪBAS SILTUMENERĢIJAS APGĀDES TEHNOLOĢIJAS IZSTRĀDE

Informāciju sagatavoja: Latvijas Universitāte, Ķīmiskās Fizikas Institūts

2.1. Saules enerģijas kolektoru konstrukciju izpēte

Tika izstrādāts Latvijas meteoroloģiskiem apstākļiem piemērotas silta gaisa un silta ūdens ieguvei un izmantošanai segto platību gaisa termoregulācijai saules enerģijas kolektoru konstrukciju parametru apraksts, definētas prasības un veikta tehniski ekonomiskā analīze.

Veikta siltuma sūkņa kombinācijā ar saules kolektoru saražotās siltuma enerģijas uzkrāšanas (akumulācijas) iespēju analīze, kuru rezultātus pārbaudīs ar praktisku pielietojumu segto platību periodiskai apsildei. Noskaidrota siltuma sūkņa kombinācijā ar saules paneli un to hibrīdu pielietošanas iespējas un izmantošanas lietderību elektriskās strāvas, silta gaisa un ūdens ražošanai.

2.2. Definētas kultūrauga audzēšanas prasībām atbilstošos režīmus

Ūdens temperatūra, kas tiek padota uz pilināšanas sistēmu, tiek nodrošināta $+18 - +20^{\circ}\text{C}$ robežās. Šāds ūdens temperatūras režīms ir nepieciešams, lai nodrošinātu optimālu augu barības elementu uzņemšanu no sistēmā padotā barības šķīduma, lai neradītu aukstuma augiem stresu.

Minimāli pieļaujamā gaisa temperatūra ir $+16^{\circ}\text{C}$, tā kā vasaras sezonā ir gadījumi, kad platībā gaisa temperatūra var pacelties pat līdz $+25^{\circ}\text{C}$, laistīšana ar aukstāku ūdeni, augiem var radīt ievērojamu stresu.

Laistīšanas režīmu veido, tā ka augiem galvenā ūdens uzņemšana notiek saules gaismā, tas ir diennakts gaišajā laikā. Laistīšana tiek uzsākta laikā no 1.5–2 h pēc saullēkta un pabeigta 1.5–2 h pirms saules rieta. Laistīšanas režīms ik pa laikam tiek koriģēts mainoties dienas garumam, kad saule lec un kad riet. Pilināšanas intervāli svārstās atkarībā no konkrētās dienas laika apstākļiem. Visīsākais pilināšanas intervāls ir karstajās dienās, kad pilināšana notiek ik pēc 20 minūtēm. Standarta intervāls ir 30 minūtes, bet dienās, kad laiks ir apmācies un vēss starp pilināšanas reizēm intervāls pagarinās līdz stundai. Tas nozīmē, ka pilināšanas režīmi tiek pielāgoti un koriģēti, atbilstoši laika apstākļiem. Saulainās dienās viena auga saņemtā ūdens deva, viena pilināšanas reizē svārstās no 85–90 ml saulainā dienā, līdz 70–75 ml apmākušā dienā.

2.3. Tehnoloģiskā procesa analīze

Nodaļā analizētas elektroenerģijas ražošanas un uzkrāšanas ierīču izmantošanas iespējas kopīgajā tehnoloģiskajā shēmā.

2.4. Tehnoloģiskā procesa izstrāde un parametru apraksts

Tika identificētas nepieciešamās un potenciālās sastāvdaļas saules panelu sistēmas izveidei:

- Saules panelu paneli;
- Sildelementi ūdens sildīšanai – PV elektrības tiešai izmantošanai bez invertoriem un citām palīgierīcēm;
- Dziļās uzlādes akumulatori (deep charge vai deep cycle) elektrības uzglabāšanai
- Līdzstrāvas dzinēji/motori – tiešai savienošanai ar PV un ar elektrības uzkrāšanas ierīcēm (akumulatoriem);
- Gaisa sildelementi;

Analizējot izmaksu parametrus un tehnoloģiskā procesa vajadzības ir konstatēts, ka piemērotākais risinājums ir ūdens sildīšana izmantojot vienu un to pašu sildelementu, kas izmantojams par AC 380 vai 220 V spriegumam un PV elektrībai, pieņemot, ka saules paneli tiek konfigurētas tādā veidā, lai dotu optimālu atdevi tieši šādiem sildelementiem.

Tika analizētas nepieciešamās sildītāju jaudas un iekšējās pretestības, lai noskaidrotu optimālo sildītāja jaudu un panelu skaitu.

Aptaujājot PV panelu piegādātājus, konstatēts, ka parasti netiek sniegta informācija par PV iekšējo pretestību. Jāņem arī vērā tas, ka iekšējā pretestībā nav konstants lielums, bet gan atkarīga no temperatūras un apgaismojuma intensitātes (strāvas blīvuma).

Aprēķinos ir pieņemts, ka ārējai pretestībai ir jābūt pēc iespējas vienādai ar iekšējo pretestību, lai sasniegtu maksimālo saules panelu jaudu.

Salīdzinot PV paneļos dotos tipveida raksturlielumus vaļējā slēguma spriegumu ar maksimālās jauda spriegumu PV vienībai (no specifikācijām) ar vienkāršotiem aprēķiniem iegūstams, ka PV elementa iekšējā pretestība ir apmēram 0.93 omi. Izmantojot šos izejas datus iegūstam rezultātus, ka pie 2.0 kW 220 V sildelementa mēs vislielāko lietderīgo jaudu no 1 PV iegūstam virknē saslēdzot 6 PV elementus un tad acīmredzot ieslēdzas PV elementa maksimālās strāvas ierobežotājs. Tā ir iespējams iegūt no 6 PV elementiem 1.5 kW uz 220V 2.0 kW sildelementu. Lielāku jaudu varam iegūt piemēram ņemot 4 kW 220V sildelementu un saslēdzot nedaudz sarežģītāku slēgumu: virkne no 6 PV paneļiem, kur katrs elements ir divi paralēli paneļi vai divas paralēli slēgtas virknes, katra no 6 PV paneļiem, kas kopā attiecīgi dotu apmēram 3kW maksimālo siltuma jaudu.

2.5. Dziļās uzlādes akumulatoru pielietošanas iespēju un pieejamības analīze

Dziļās uzlādes akumulatori raksturo spēja daudzkārtēji vienmērīgi izlādēties izmantojot lielāko daļu kapacitātes, pretstatā, piemēram, auto akumulatoriem, kas domāti īslaicīgām augsta sprieguma izlādēm. Tradicionāli izmantoti svina-skābes akumulatori. Mūsdienās pieejami arī litija jonu akumulatori, kas uzskatāmi par dziļās uzlādes paneļiem, taču to ietilpība parasti ir neliela, un tie izmantoti galvenokārt nelielās elektroniskās ierīcēs (telefoni un tml.). Eksistē arī lielas ietilpības litija jonu akumulatori, taču to cenas ap divām reizēm pārsniedz svina-skābes akumulatoru cenas. Litija jonu akumulatoru galvenās priekšrocības – izmērs (enerģijas blīvums) un uzlādes ātrums projekta ietvaros nav būtiskas.

Izpētot svina-skābes akumulatoru piedāvājumu noskaidrots, 12V akumulatori pie līdzīgas kWh ietilpības aptuveni 3–4x lētāki, nekā 36V akumulatori, kā arī plašāk pieejami un izmantoti. 12V akumulatoru cena ap 170 EUR par 1.5kWh, 36V akumulatoriem – ap 500 EUR.

Atkarībā no pielietojuma veida uzkrātajai enerģijai, var būt nepieciešams invertors un uzlādes kontrolieris. Invertora cenas pie jaudas virs 1kW pārsniedz 500 EUR, pie lielākām jaudām sasniedzot vairākus tūkstošus.

Secinājums:

1. Uzglabāšanas kapacitāte pret izmaksām ir nepietiekoša, lai projekta ietvaros realizētu elektroenerģijas uzglabāšanas sistēmu, tādēļ saražotā līdzstrāva izmantojama tūlītēji sildītājos.
2. Iespējams tehnoloģiskā procesa risinājumu izstrādes gaitā veicama analīze, lai izvērtētu iespēju ar saules elektroenerģiju darbināt arī līdzstrāvas motorus sūkņu sistēmā un citur.

2.6. Tehnoloģiskā procesa struktūra

Tehnoloģiskais process sastāv no vairākām daļām: Siltumnīcas izvēlētās kultūras audzēšanas tehnoloģiskais process (temperatūras un citas prasības, vēlamā temperatūra visa gada garumā, pieļaujamās robežas, parametri). Siltumapgādes tehnoloģiskais process (50m²).

- Laistīšana, laistāmā ūdens sildīšana, siltuma uzkrāšana laistāmajam ūdenim;
- Apsilde ar centrālapkuri;
- Āra temperatūra, saules radiācijas dati;
- Dzesēšana (līdz šim kā notiek siltumnīcā);
- Siltumsūknis dzesēšanas režīmā;
- Gaiss-ūdens siltumsūknis;
- Saules kolektors;
- PV paneļi;
- Īslaicīgā siltuma uzkrāšana (akumulācijas tvertne);
- Elektriķa uzkrāšana (dziļās uzlādes akumulatori).
- **Saules enerģijas elementu integrācija**
- Integrācija ar esošo centrālapkuri;
- Integrācija laistāmā ūdens sildīšanai;
- Saules kolektora integrācija ar gaiss-ūdens siltumsūkni;

PV integrācija apsildē

- Tiešā sildīšana – DC uz sildelementu. Savietojamība ar 220 vai 380 AC;
- Siltumsūkņa darbināšana, salīdzinoši lielas izmaksas līdzstrāvas/mainstrāvas (DC/AC) konvertēšanai;

DC motoru un ierīču darbināšana; ārpus tīkla sistēmā “off-grid” apsildes sistēma, kas gan nav iespējama kopā ar siltumsūkni, jo tas patērē daudz elektrības naktī, kad ir aukstāks;

- Apsildes un laistāmā ūdens apsildes integrācija;

Siltumapgādes un siltuma uzkrāšanas tehnoloģiskais process (siltuma akumulācijas siltumnīca).

Biomases žāvēšana (divi žāvēšanas režīmi – sildot gaisu un dzesējot/sildot – lai aizvāktu kondensātu un žāvētu ar sausu gaisu).

2.7. Mēraparātu un mērījumu sistēma

Ko mērīt (kādas parametrs – $T^{\circ}\text{C}$, mitrumu, elektrību un citus parametrs);

- Kur mērīt;
- Prasības mērījumu sistēmai;
- Datus uzkrāšana, apjoms un tml.

2.1.tabula

Tipveida parametri saules panelim (PV elementam)

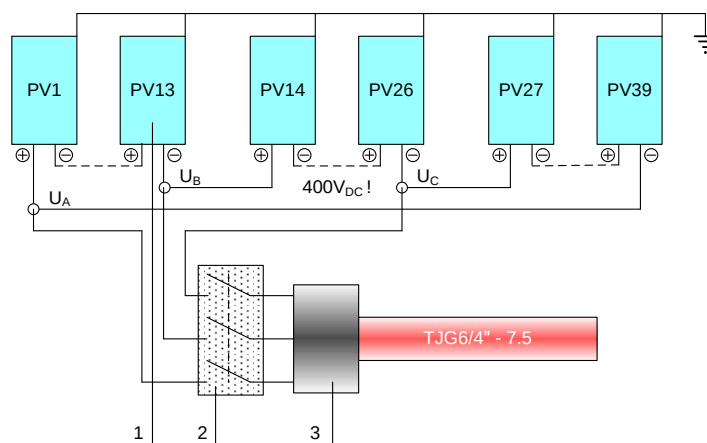
Apraksts	Parametri
Šūnu izmērs	156x156 mm (diagonāle: 200 mm)
Šūnu skaits	6x10
Virsmas stikls	no 3.2 mm rūdīts triecienizturīgs stikls
Masa	līdz 21 kg
Izmēri (LxWxH)	1640x992x42mm
J-box	Plastikāts, IP65, ventilējams
Vada garums	0.8–1.0 m
Vada šķērsriezuma laukums	4 mm ²
Diožu skaits	3
Savienotājs	MC4 vai līdzīgs
Rāmis	Anodēts Al rāmis
Tehniskie dati	
Efektivitāte	no 17.8 %
Maksimālā jauda (PMPP)	250.1 – 255.0 Wp
Spriegums (VMPP)	no 30.9 V
Strāva (IMPP)	no 8.06 A
Valējas ķēdes spriegums	no 38.4 V
Slēgtas ķēdes strāva (ISC)	8.6 A
Jaudas nobīde	0+3 %
STC efektivitāte	virs 15.35 %
NOCT	48.3°C
Darba apstākļi	
Maksimālais sistēmas spriegums	DC 1000V (TUV)
Darba temperatūra	–40°C / +85°C
Maksimālā strāva	15 A
Maksimālā vēja/sniega slodze	2400 Pa / 5400 Pa
IP aizsardzības līmenis	65
Drošības klase	II
Temperatūras koeficienti	
Sprieguma temp. koeficients (β) %/K	–0,37
Strāvas temp. koeficients (α) %/K	+0,06
Jaudas temp. koeficients (δ) %/K	–0,47

Komponentes:

1 – saules enerģijas kolektors (Vitosol 200 SD); 2 – vārsti; 3 – solārais divikons; 4 – sasildītā siltuma nesēja termometrs; 5 – aukstā siltuma nesēja termometrs; 6 – siltuma nesēja cirkulācijas sūknis; 7 – vienvirziena vārsts ar siltuma nesēja plūsmas intensitātes indikatoru; 8 – kolektora temperatūras sensors; 9 – gaisa vārsts; 10 – drošības vārsts; 11 – manometrs; 12 – izplēšanās kompensācijas trauks; 13 – pārplūdes trauks; 14 – siltā ūdens tvertne–akumulators (boilers); 15 – pirmais siltuma apmaiņtājs; 16 – temperatūras reģistratora termometrs; 17 – programmējamā saules kolektora darbības vadības ierīce; 18 – temperatūras reģistrators; 19 – siltuma nesēja iepildīšanas vārstu bloks; 20 – tvertnes–akumulatora (boilera) ūdens temperatūras sensors; 21 – otrais siltuma apmaiņtājs; 22 – siltā (karstā) ūdens sadales vads; 23 – vārsts; 24 – siltā–aukstā ūdens sajaukšanas vārsts; 25 – saules panelis, 250Wp; 26 – automātiskais slēdzis; 27 – vārsts; 28 – vienvirziena vārsts; 29 – strāvas ievada kabelis; 30 – elektriskais ūdens sildītājs TJG6/4" – 7.5 kW; 31 – manometrs; 32 – aukstā ūdens izplēšanās kompensācijas trauks; 33 – siltumnesēja cirkulācijas sūknis; 34 – siltuma sūknis; 35 – siltumnīcas apkures (elements) radiators; 36 – siltuma apmaiņtājs; 37 – siltuma sūkņa kondensators; 38 – kondensatora siltuma apmaiņtājs; 39 – kompresors; 40 – saspiesta tvaika izplūdes vārsts; 41 – tvaika iesūkšanas vārsts; 42 – kompresijas vārsts; 43 – iztvaicētāja siltuma apmaiņtājs; 44 – iztvaicētājs; 45 – siltumnīca; 46 – ventilators; 47 – augsnes apsildes elements; 48 – ūdens tvertne; 49 – gaisa vads; 50 – laistīšanas ūdens savācējs.

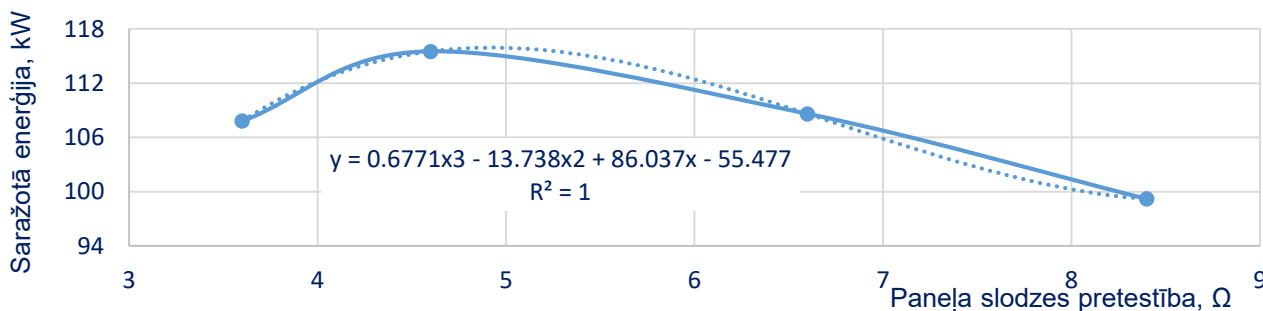
2.9. Elektriskais ūdens sildītājs ar saules PV paneļiem

Veikto aprēķinu rezultātā, secināts, ka uzstādītā ūdens sildītāja (att.2.2) optimālā jauda ir 9.75kW; spriegums $V_{mpp} = 402V$ ($13 \times 30.9V$). 1 – saules paneļi, piemēram, Solet P6.60–WF–250, kuru būtiskākie parametri doti 2.1.tabulā; 2 – automātiskais slēdzis, 3*16A; 3 – elektriskais ūdens sildītājs TJG6/4" – 7.5 kW.



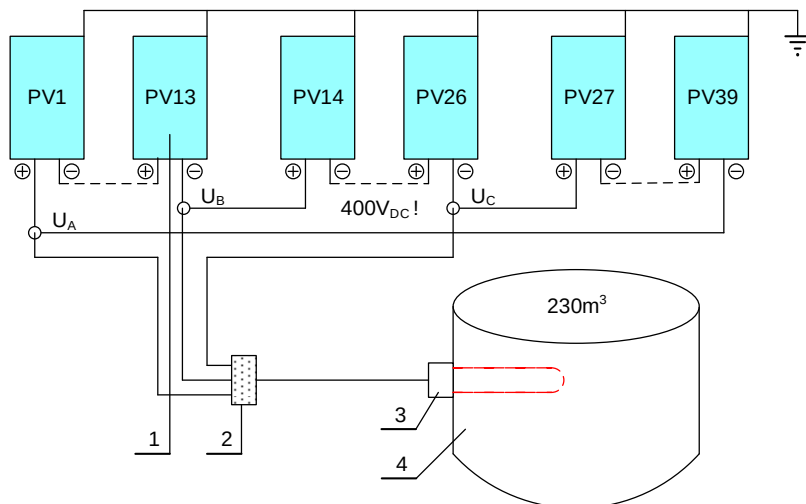
Att. 2.2. Ūdens sildītāja ar saules paneļiem elektriskā shēma

Gada laikā paneļa saražotās enerģijas daudzums atkarīgs no slodzes pretestības vērtības (att. 2.3), tādēļ noskaidrojam: Elektriskā ūdens sildītāja TJG6/4" vienas fāzes pretestību $R_s = 3 \cdot U^2 / P = 3 \cdot 160000 / 7500 = 64 \Omega$.



Att. 2.3. Paneļa Solet P6.60–WF–250 saražotās enerģijas daudzuma atkarība no slodzes pretestības vērtības

Slodzes pretestība vienam panelim, $R_{si} = 64 / 13 = 4.9 \Omega$, kas tuva vērtībai grafikā (Att. 2.3), ar kuru panelis saražojis lielāko enerģijas daudzumu 115.5 kWh.



Att. 2.4. Ūdens sildītāja ar saules paneļiem un ūdens tvertni–akumulatoru pieslēguma shēma

LBTU UZC iepriekš ir veikta priekšizpēte saules paneļu saražotās enerģijas daudzuma mērījumi eksperimentālajā poligonā, viens saules panelis ($R_{st}=4.6\Omega$) saražoja 97.79kWh, tas ir, apmēram 1kWh elektriskās enerģijas dienā. Lielākais saražotās enerģijas daudzums 1.7 kWh dienā, mazākais – 0.26 Wh.

Tātad, darbojoties ar lielāko jaudu, piemēram, 39 saules paneļi saražos 66.3kWh un, neņemot vērā siltuma zudumus, 23m³ ūdens dienā sasils par:

$$\Delta T = \frac{Q}{mC_p} = \frac{66.3}{23 \cdot 1} = 2.88^\circ \text{C} \quad (1)$$

2.2.tabula.

Saules paneļa P6.60–WF–250 parametri

Nr.	Parametrs	Apzīmējums	Vērtība
1	Jauda	$P_{\max}$	255 Wp
2	Spriegums maksimālās jaudas punktā	V_{mpp}	30.9 V
3	Tukšgaitas spriegums	V_{oc}	38.4 V
4	Strāva maksimālās jaudas punktā	I_{mpp}	8.06 A
5	Īsslēguma strāva	I_{sc}	8.6 A
6	Jaudas termiskais koeficients	%/K _o	(– 0.47)
7	Izmēri	mm	1640*992*45
8	Masa	kg	22
9	Enerģijas pārveidošanas koeficients	%	15
10	Stiprinājuma vietas četrstūris	mm	1090*952
11	Montāžas skrūvju izmērs	Ø	M8

2.3. tabula.

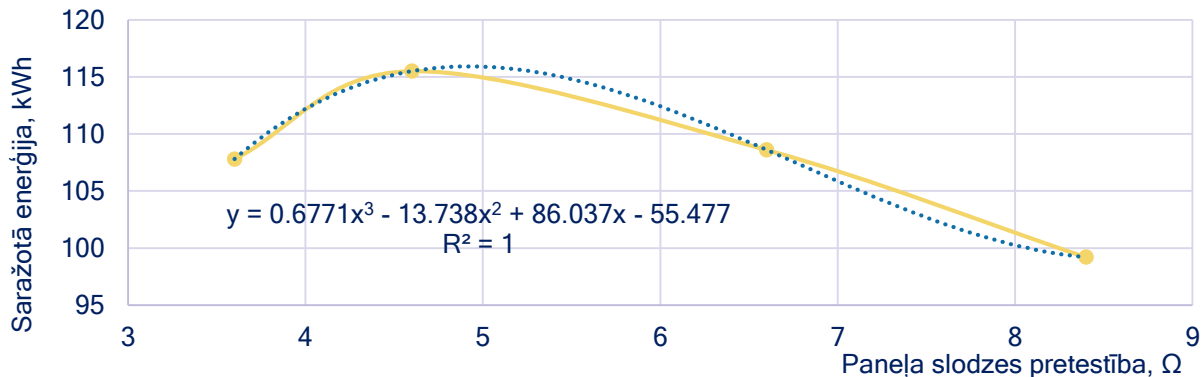
Elektriskā ūdens sildītāja TJG6/4" – 7.5 kW parametri

Nr.	Parametrs	Apzīmējums	Vērtība
1	Jauda	P_{nom}	7.5kW
2	Slēguma shēma	3/N/PE~; Δ	400 V
3	Automātiskais slēdzis	3f	16A
4	Ūdens temperatūras regulējums	T_u	0...74°C
5	Sildelementa garums	L_1	685mm
6	Sildelementa garums	L	575mm
7	Sildītāja masa	kg	2.3
8	Aizsardzības pakāpe	–	IP42

Gada laikā paneļa saražotās enerģijas daudzums atkarīga no slodzes pretestības vērtības (att. 2.5.), tādēļ noskaidrojam elektriskā ūdens sildītāja TJG6/4" vienas fāzes pretestību R_s .

$$R_s = \frac{3 U^2}{P} = \frac{3 \cdot 160000}{7500} = 64 \Omega$$

Slodzes pretestība vienam panelim, $R_{si} = 64/13 = 4.9 \Omega$, kas tuva vērtībai grafikā (att. 2.5.), ar kuru panelis saražojis lielāko enerģijas daudzumu 115.5 kWh.

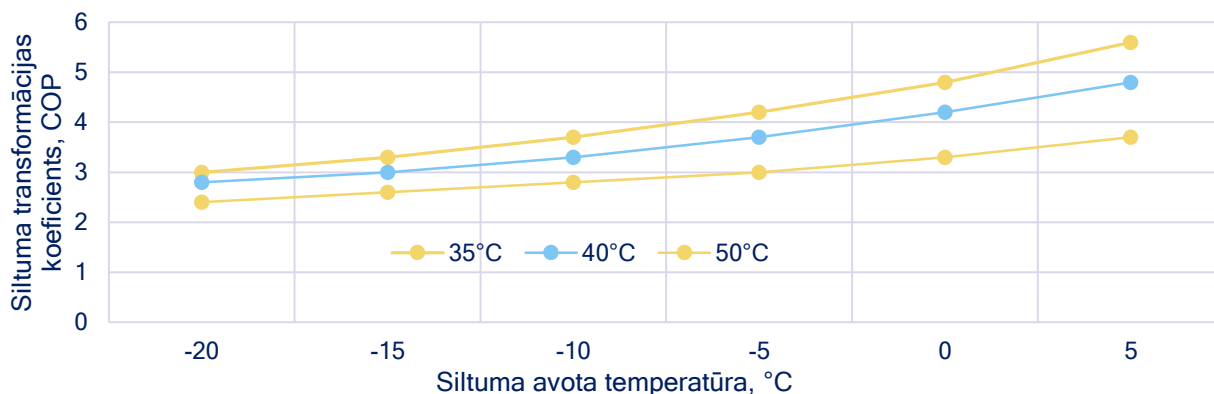


Att. 2.5. Paneļa Solet P6.60–WF–250 195 dienās saražotās enerģijas daudzuma atkarība no slodzes pretestības vērtības

2.10. Āra gaisa siltuma sūkņu pielietošana segto platību apsildei un tehnoloģiskā siltā ūdens iegūšanai

Informāciju sagatavoja: Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Ulbrokas zinātnes centrs

Darbinot siltuma sūkni, apkārtējās vides (zemes, ūdens, gaisa) siltumu, kas ir ar zemu potenciālu (siltuma avota temperatūru T_a), pārveido siltumā ar augstāku potenciālu (patēriņam nepieciešamo temperatūru T_p).



Att. 2.6. Āra gaisa siltuma sūkņu siltuma transformācijas koeficienta COP izmaiņas tendences atkarībā no siltuma avota temperatūras T_a un patēriņam nepieciešamās temperatūras: līdz $T_p=35^\circ\text{C}$ vai līdz $T_p=50^\circ\text{C}$ (pēc dažu ražotāju uzdotiem vidējiem rādītājiem; no literatūras).

Analizējot pielietošanai iespējamās siltuma sūkņu tipus, izvēle pārsvarā ir par labu zemes vai ūdens siltuma sūkņiem. Mazāka interese ir par āra gaisa siltuma sūkņiem, jo tie dod vismazāko siltuma nodrošinājumu tad, kad vajadzība pēc siltuma ir vislielākā. To nosaka siltuma sūkņu darbības fizikālā būtība, tas ir, patēriņa temperatūras T_p attiecība pret siltuma avota un patēriņa temperatūru starpību ($T_p - T_a$). Jo lielāka ir abu temperatūru starpība un augstāka ir patēriņam nepieciešamā temperatūra, jo zemāka ir siltuma sūkņa darbības efektivitāte, tas ir, siltuma transformācijas koeficients, ko saīsināti apzīmē ar simbolu COP. Pašreiz ar siltuma sūkni sasniedzamās siltuma transformācijas koeficienta vērtības ir augstākais līdz 5. COP izmaiņas tendences atkarībā no siltuma avota, tas ir, apkārtējās vides temperatūras svārstībām un divām izvēlētām patēriņam nepieciešamām maksimālām temperatūrām grafiskā veidā parādīta piemērā attēlā 2.6.

Izvērtējot iespējas pielietot siltuma sūkņus karsta ūdens ieguvei augu laistīšanai, par piemērotākiem uzskatāmi tieši āra gaisa siltuma sūkņi sekojošu galveno apsvērumu dēļ: silta laika periodā, tas ir, pie āra temperatūras virs $5 - 10^{\circ}\text{C}$ āra gaisa siltuma sūkņi darbojas ar pietiekami augstu siltuma transformācijas koeficientu. Tas ir, siltuma sūkņa darbināšanai patērējot vienu elektroenerģijas daudzuma vienību, iegūstam 3 līdz 5 atbilstošas siltuma enerģijas daudzuma vienības. Lietojot siltuma sūkni, praktiski sasniegto efektivitāti aprēķina pēc kādā laika periodā izlietotā transformētā siltuma enerģijas daudzuma attiecības pret siltuma sūkņa darbināšanai patērētās elektroenerģijas daudzumu.

$$k = \frac{Q}{P} \quad (2)$$

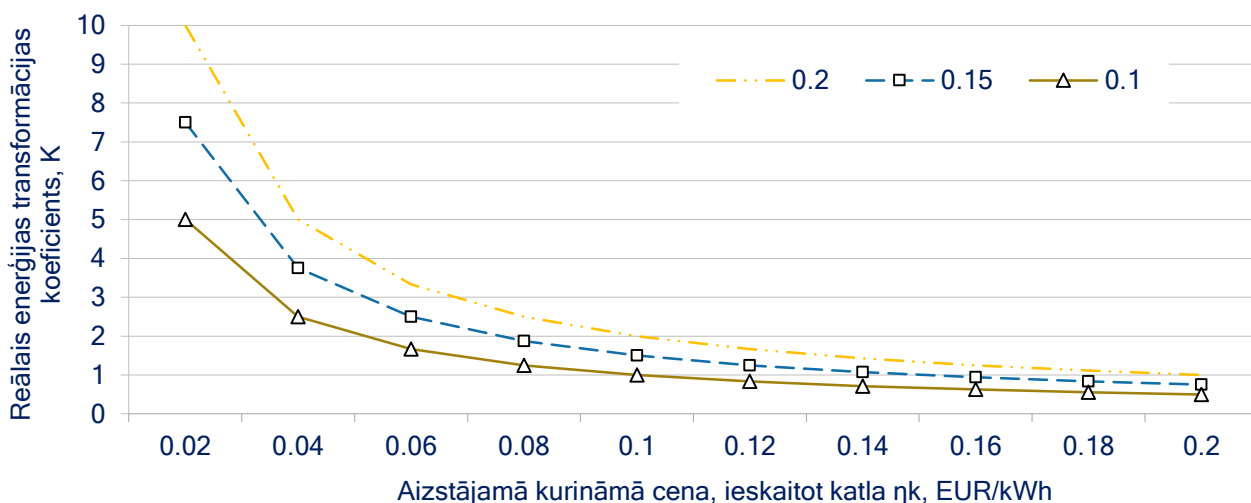
kur Q – transformētā siltuma enerģija, kWh;

P – patērētā elektroenerģija, kWh.

2.11. Kurināmā un elektroenerģijas cenas

Lai noteiktu, pie kāda enerģijas pārveides koeficienta ir iespējama siltuma sūkņa pielietošanas ekonomiskā lietderība, aizstājot apkuri ar attiecīgo kurināmo, izmantojami 2.7.att. parādītās līknes. Tās parāda, pie kāda enerģijas pārveides koeficienta var sākt prognozēt ekonomisko lietderību, ar siltuma sūkni aizstājot apkuri pie kurināmā cenas, ierēķinot arī apkures katla lietderības koeficientu.

Tā, piemēram, ja sadedzinot koka skaidu granulas vienas kWh iegūtās siltuma enerģijas izmaksa ir EUR 0.04, tad pie elektroenerģijas tarifa 0.1 EUR/kWh, izvēloties siltuma sūkni, tā COP jābūt virs 2.5 un, jo tas būs augstāks, jo lielāks būs ekonomiskais efekts. Pie siltuma sūkņa pielietošanas izvēles pamatojuma ievērtējami arī daudzi citi faktori, piemēram, kaitīgo izmešu samazinājums, ugunsdrošības faktors un citi.



Att. 2.7. Siltuma sūkņa siltuma transformācijas koeficients, pie kāda sākas izmaksu ekonomija atbilstoši aizstājamā kurināmā cenai pie elektroenerģijas tarifa EUR·kWh⁻¹ 0.1, 0.15 un 0.2.

Siltuma sūkņa nosacītu ieviešanas atmaksāšanās laiku pēc aizstātā kurināmā izmaksu ekonomijas aprēķina pēc sakarības

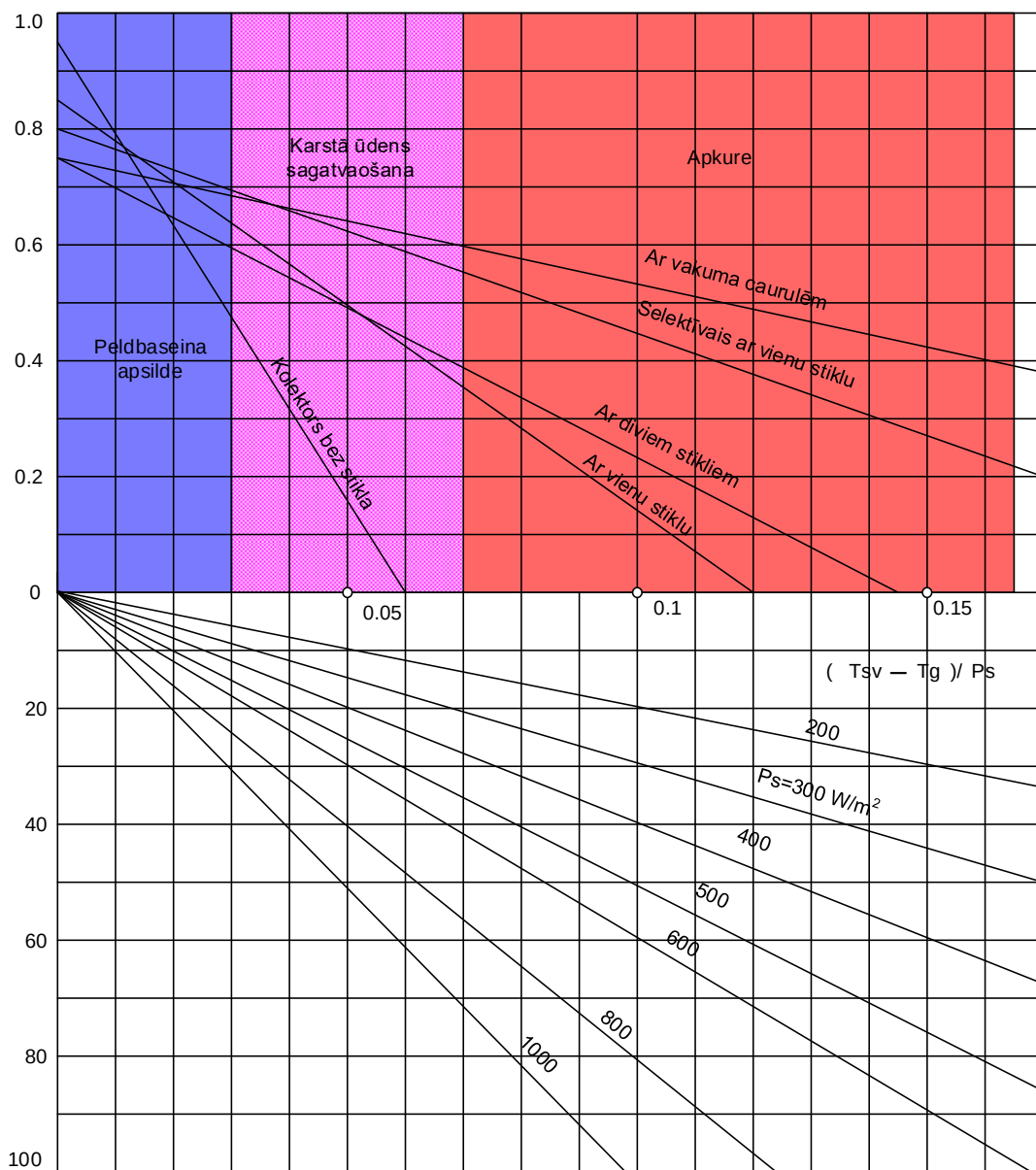
$$P = \frac{C}{E_g \left(\frac{c_k}{\eta_k} - \frac{c_e}{K} \right) + I} \quad (3)$$

kur C – iekārtas izmaksas, EUR;

E_g – siltuma izlietojums gadā, kWh;

I – siltuma sūkņa uzturēšanas gada izmaksas, EUR.

Lietderības
koeficients



$T_{sv} - T_g$

T_{sv} – kolektora absorbētāja virsmas temperatūra, °C;

T_g – apkārtējā gaisa temperatūra, °C;

P_s – saules starojuma jauda, W/m^2

Vakuuma

Selektīvais

$20/1000 = 0.02 = 71\%$

$20/1000 = 73\%$

$40/1000 = 0.04 = 66\%$

$40/1000 = 66\%$

$80/1000 = 0.08 = 58\%$

$80/1000 = 51\%$

$100/1000 = 0.1 = 53\%$

$100/1000 = 44\%$

Att. 2.8. Saules kolektoru lietderības koeficienti

2.12. Saules paneļu (PV) elementu slēgumu aprēķins

2.4.tabula

Sildītāja pretestības un jaudas aprēķins (220V)

P, kW	U, V/AC	R (U^2/P), Ω	I (P/U), A
1	220	48.40	4.55
2	220	24.20	9.09
3	220	16.13	13.64
4	220	12.10	18.18
5	220	9.68	22.73
6	220	8.07	27.27

Pretestības aprēķins ķēdei: sildelements + PV

$$R = R_{PV1} + R_{PV2} + \dots + R_{PVN} + R_S \quad (3)$$

Kopīgās jaudas aprēķins:

$$U = N \cdot U_{PV} \quad (4)$$

$$P = \frac{U^2}{(R_{PV1} + R_{PV2} + \dots + R_{PVN} + R_S)} \quad (5)$$

$$P = \frac{N^2 U_{PV}^2}{(R_{PV1} + R_{PV2} + \dots + R_{PVN} + R_S)} \quad (6)$$

Kopīgā strāvas aprēķins:

$$I = \frac{NU_{PV}}{(R_S + NR_{PV})} \quad (7)$$

Jauda uz sildelementu aprēķins:

$$P_S = IR_S \quad (8)$$

$$P_S = \frac{R_S N^2 U_{PV}^2}{(R_S + NR_{PV})^2}$$

Spriegums uz slodzes pretestību aprēķins:

$$U_S = IR_S \quad (9)$$

$$U_S = \frac{R_S NU_{PV}}{(R_S + NR_{PV})} \quad (10)$$

- kur N paneļu skaits virknē;
 R_S slodzes pretestība;
 R_{PV} PV paneļa iekšējā pretestība, pieņemot, ka tā ir konstanta;
 U_{PV} PV spriegums, pieņemot, ka tas ir konstants, maks. jaudai atbilstošs, pēc PV specifikācijas;
 I strāvas stiprums ķēdē;
 I_{max} maksimālās jaudas strāva;
 P kopīgā jauda, kas izdalās sistēmā (PV+sildelements);
 P_S jauda, kas izdalās uz sildelementa – lietderīgā jauda;
 U_S spriegums uz slodzes pretestību;
 U_{pv0} vaļējas ķēdes spriegums;
 P_{pv} jauda, kas izdalās PV elementā;
 U_{pvieks} sprieguma kritums uz PV elementu.
 Iekšējās PV pretestības aprēķins:

$$R_{Smax} = \frac{U_{PV}}{I_{pmax}} \quad (11)$$

$$U_{pvieks} = I_{pmax} R_{PV} \quad (12)$$

$$U_{pvieks} = U_{pv0} - U_{PV} \quad (13)$$

$$R_{PV} = \frac{U_{PV}}{I_{pmax}} \quad (14)$$

$I_{max} = 8.06$; $U_{PV} = 30.9$; $U_{pvieks} = 7.5V$; $U_{pv0} = 38.4V$; $R_{PV} = 0.93052$; $R_{Smax} = 3.83375$ (ārējā pretestība pie kuras ir maksimālā jauda)

2.5.tabula

Pieņemot, ka $R_{pv}=4.3 \Omega$; $U_{pv}=30.9V$; $U_{pv0}=38.4V$

N.p.k	R_{pv}	U_{pv}	R_s	P_{s220}, kW	P_s	P_s/N	U_s, V	I, A	P_{pv}, W
1	4.3	30.9	24.2	2	28.45	28.45	26.24	1.08	4.66
2	4.3	30.9	24.2	2	85.91	42.96	45.60	1.88	8.10
3	4.3	30.9	24.2	2	151.09	50.36	60.47	2.50	10.74
4	4.3	30.9	24.2	2	215.70	53.93	72.25	2.99	12.84
5	4.3	30.9	24.2	2	276.59	55.32	81.81	3.38	14.54
6	4.3	30.9	24.2	2	332.73	55.46	89.73	3.71	15.94
7	4.3	30.9	24.2	2	384.00	54.86	96.40	3.98	17.13
8	4.3	30.9	24.2	2	430.64	53.83	102.09	4.22	18.14
9	4.3	30.9	24.2	2	473.06	52.56	107.00	4.42	19.01
10	4.3	30.9	24.2	2	511.67	51.17	111.28	4.60	19.77

2.6.tabula

Pieņemot, ka $R_{pv}=0.93 \Omega$; $U_{pv}=38.4 V$

N.p.k	R_{pv}	U_{pv}	R_s	P_{s220}, kW	P_s	P_s/N	U_s, V	I, A	P_{pv}, W
1	0.93	38.4	12.1	2	105.09	105.09	35.66	2.95	2.74
2	0.93	38.4	12.1	2	366.22	183.11	66.57	5.50	5.12
3	0.93	38.4	12.1	2	724.27	241.42	93.61	7.74	7.20
4	0.93	38.4	12.1	2	1140.66	285.16	117.48	9.71	9.03
5	0.93	38.4	12.1	2	1589.86	317.97	138.70	11.46	10.66
6	0.93	38.4	12.1	2	2054.88	342.48	157.68	13.03	12.12
7	0.93	38.4	12.1	2	2524.36	360.62	174.77	14.44	13.43
8	0.93	38.4	12.1	2	2990.74	373.84	190.23	15.72	14.62
9	0.93	38.4	12.1	2	3449.03	383.23	204.29	16.88	15.70
10	0.93	38.4	12.1	2	3896.01	389.60	217.12	17.94	16.69
11	0.93	38.4	12.1	2	4329.68	393.61	228.89	18.92	17.59
12	0.93	38.4	12.1	2	4748.88	395.74	239.71	19.81	18.42
13	0.93	38.4	12.1	2	5153.03	396.39	249.70	20.64	19.19
14	0.93	38.4	12.1	2	5541.98	395.86	258.96	21.40	19.90
15	0.93	38.4	12.1	2	5915.82	394.39	267.55	22.11	20.56
16	0.93	38.4	12.1	2	6274.86	392.18	275.55	22.77	21.18
17	0.93	38.4	12.1	2	6619.51	389.38	283.01	23.39	21.75
18	0.93	38.4	12.1	2	6950.28	386.13	290.00	23.97	22.29
19	0.93	38.4	12.1	2	7267.71	382.51	296.55	24.51	22.79
20	0.93	38.4	12.1	2	7572.36	378.62	302.70	25.02	23.27

 I_{max} pie $R_{pv}=0.2 oms$ (0.484628); I_{max} pie $R_{pv}=1oms$ (8.376506)

2.7.tabula

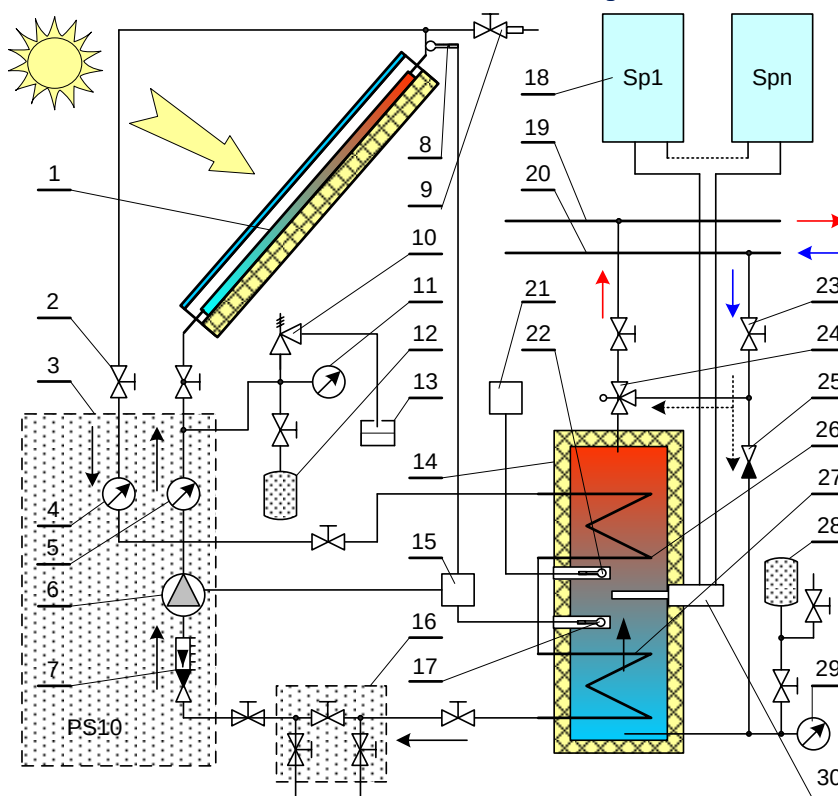
Pieņemot, ka $R_{pv}=0.93 \Omega$; $U_{pv}=38.4 V$

N	R_{pv}	U_{pv}	R_s	P_{s220}, kW	P_s	P_s/N	U_s, V	I, A	P_{pv}, W
1	0.93	38.4	24.2	4	56.51	56.51	36.98	1.53	1.42
2	0.93	38.4	24.2	4	210.18	105.09	71.32	2.95	2.74
3	0.93	38.4	24.2	4	440.87	146.96	103.29	4.27	3.97
4	0.93	38.4	24.2	4	732.43	183.11	133.13	5.50	5.12
5	0.93	38.4	24.2	4	1071.83	214.37	161.05	6.66	6.19
6	0.93	38.4	24.2	4	1448.54	241.42	187.23	7.74	7.20
7	0.93	38.4	24.2	4	1854.02	264.86	211.82	8.75	8.14
8	0.93	38.4	24.2	4	2281.31	285.16	234.96	9.71	9.03

N	R_{pv}	U_{pv}	R_s	P_{s220}, kW	P_s	P_s/N	U_s, V	I, A	P_{pv}, W
9	0.93	38.4	24.2	4	2724.75	302.75	256.79	10.61	9.87
10	0.93	38.4	24.2	4	3179.72	317.97	277.40	11.46	10.66
11	0.93	38.4	24.2	4	3642.41	331.13	296.89	12.27	11.41
12	0.93	38.4	24.2	4	4109.75	342.48	315.37	13.03	12.12
13	0.93	38.4	24.2	4	4579.21	352.25	332.89	13.76	12.79
14	0.93	38.4	24.2	4	5048.72	360.62	349.54	14.44	13.43
15	0.93	38.4	24.2	4	5516.60	367.77	365.38	15.10	14.04
16	0.93	38.4	24.2	4	5981.48	373.84	380.46	15.72	14.62
17	0.93	38.4	24.2	4	6442.26	378.96	394.85	16.32	15.17
18	0.93	38.4	24.2	4	6898.06	383.23	408.57	16.88	15.70
19	0.93	38.4	24.2	4	7348.17	386.75	421.69	17.43	16.21
20	0.93	38.4	24.2	4	7792.02	389.60	434.24	17.94	16.69

2.13. Kompleksā ūdens sildīšanas izstrāde eksperimentālajā segtajā platībā

Kompleksās ūdens sildīšanas iekārtas funkcionālā shēma parādīta att.2.8.



Att.2.8. Kompleksās ūdens sildīšanas iekārtas funkcionālā shēma

Kompleksās ūdens sildīšanas iekārta sastāv no: 1 – saules enerģijas kolektors (Vitosol 200 SD); 2 – vārsti; 3 – solārais divikons; 4 – sasildītā siltuma nesēja termometrs; 5 – aukstā siltuma nesēja termometrs; 6 – siltuma nesēja cirkulācijas sūkņi; 7 – vienvirziena vārsts ar siltuma nesēja plūsmas intensitātes indikatoru; 8 – kolektora temperatūras sensors; 9 – gaisa vārsts; 10 – drošības vārsts; 11 – manometrs; 12 – izplēšanās kompensācijas trauks; 13 – pārplūdes trauks; 14 – siltā ūdens tvertne–akumulators (boilers); 15 – programmējamā saules kolektora darbības vadības ierīce; 16 – siltuma nesēja iepildīšanas vārstu bloks; 17 – tvertnes–akumulatora (boilera) ūdens temperatūras sensors; 18 – saules (PV) paneļi; 19 – siltā ūdens sadales vads; 20 – aukstā ūdens pievads; 21 – siltā ūdens temperatūras reģistrators; 22 – siltā ūdens temperatūras reģistrators sensors; 23 – vārsti; 24 – siltā–aukstā ūdens sajaukšanas vārsts; 25 – vienvirziena vārsts; 26 – pirmais siltuma apmaiņtājs; 27 – otrais siltuma apmaiņtājs; 28 – izplēšanās kompensācijas trauks; 29 – manometrs; 30 – elektriskais ūdens sildītājs.

2.14. PV izmantošana siltuma ieguvei

PV izmantošana siltuma ieguvei, tiem tieši pieslēdzot aktīvo pretestību, piemēram, gaisa sildīšanas kaloriferi, vai elektrisko ūdens sildītāju.

2.8.tabula

Ar nemainīgu aktīvo (omisko) pretestību slogots saules panelis

Saules panelis (U30.9V;I8.06A)				Elektriskais sildītājs, 230V		
Rsl _{U/1.1000} = 3.83Ω				1kW; 53 Ω	2kW; 26 Ω	4kW; 13 Ω
Rsl _{U/1.800} = 4.5Ω						
Paneļu virkne	Spriegums U, V	Jauda, kW	Spriegums U ² , V	Jauda, kW	Jauda, kW	Jauda, kW
1	31	0.25	961	0.018	0.037	0.074
2	62	0.5	3844	0.068	0.148	0.295
3	93	0.75	8649	0.163	0.333	0.665(4.33)
4	124	1.0	15376	0.29	0.591	1.183(3.25)
5	155	1.25	24025	0.452	0.93	1.848
6	186	1.5	34596	0.653	1.33(4.33)	
7	217	1.75	47089	0.888(7.5)	1.811(3.7)	
8	248	2.0	61504	1.16	2.36	
9	279	2.25	77841	1.468		
10	310	2.5	96100	1.81		
11	341	2.75	116281	2.19		
12	372	3.0	138384	2.61		

Ir noskaidrots slodzes pretestības lielums, ar kuru panelis gada laikā saražotu lielāko elektriskās enerģijas daudzumu.

Saules paneļu ražotspējas ietekmē daudzi faktori, no kuriem, skatot kopumā, svarīgākie ir saules starojuma jauda, ko saņem paneļa darba virsma un šūnas, paneļa foto-elektriskā elementa temperatūra.

Būtībā šos parametrus nosaka apkārtējie apstākļi un mums atliek vien tai pielaiķoties, izvietojot saules paneļus vietās, kur saules gaismas vairāk, un labāki paneļu dzesēšanas apstākļi.

Svarīga loma šeit ir arī pareizai saules paneļu novietošanas stāvokļa izvēlei to montāžas laikā.

Tas ir, paneļi jānovieto vietā, kur tos intensīvāk apskalo vēja (gaisa) plūsma, orientējot dienvidu virzienā zem leņķa pret horizontu, kas paredzētajā laika posmā, piemēram, sezonā nodrošina lielāku saražotās elektroenerģijas daudzumu.

Parasti patērētāju pieslēgšanai pie saules paneļiem pielieto papildus ierīces, kas var būt samērā sarežģītas un dārgas, piemēram, solārie invertori, elektroenerģijas akumulatori, akumulatoru uzlādes-izlādes kontrolieri un citas.

Ar nemainīgu aktīvo (omisko) pretestību slogotam saules panelim eksperimentāli noteikta pretestības skaitliskā vērtība, pie kuras, Latvijas apstākļos, sezonas laikā panelis saražo lielāko elektriskās enerģijas daudzumu.

Saules paneļi (PV), saules kolektori (SK), energoefektīvi siltumsūkņi, alternatīvi siltumnīcas siltumizolācijas materiāli, siltumenerģijas uzglabāšana izmantojot siltuma enerģijas akumulācijas tvertnes un siltumnīcā (zemē) izveidotu akumulācijas slāni, var nodrošināt siltumnīcas apsildīšanu dažādos meteoroloģiskajos apstākļos.

Saules enerģijas un siltumsūkņu sistēmas var būt rentablas siltumnīcu nodrošināšanā ar apsildi un dzesēšanu.

Saules paneļi (PV), saules kolektori (SK), hibrīda PV/SK sistēmas, fāzu maiņu materiāli (FMM), zemē (siltumnīcā) izveidotais akumulācijas slānis uzkrātā siltuma uzglabāšanai var tikt pielietoti, siltumnīcas apsildes izmaksu samazināšanai Latvijas klimatiskajiem apstākļiem.

Secinājumi:

1. Skaidras dienas laikā ar 3.5 Ω slogots saules panelis, kad saules starojuma jauda 962 W/m², gaisa temperatūra 17.5°C, ražoja jaudu 244 W un dienā saražo 1.51 kWh elektroenerģijas, bet ar 4.5 Ω slogotais, attiecīgi 225 W un 1.57 kWh.

2. Aprēķinātie enerģijas pārnese koeficienti ar 4.5 Ω slogotam saules panelim bija 14.22%, bet ar 3.5 Ω slogotam – 13.16%. Pēc tehniskiem datiem Solet P6.60–WF–250 panelim ir 15.35%.
3. Sezonas laikā, 2019. gadā no 1. februāra līdz 31. oktobrim, četri saules paneļi, kuri attiecīgi slogoti ar 3.5; 4.5; 6.5 un 8.4 Ω , kopā saražoja 788.66 kWh elektroenerģijas. Slogojot visus paneļus ar 4.5 Ω slodzi, tie varētu saražot $212.41 \cdot 4 = 850$ kWh.
4. Vairāk enerģijas saražojis ar 4.5 Ω slogotais saules panelis – 212.41 kWh, attiecīgi 3.5 Ω slogotais – 197.51 kWh, bet vismazāk ar 8.4 Ω slogotais panelis – 180.35 kWh.
5. Sadalot ar dažādu slodzi (3,5; 4,5; 6,5 un 8,4 Ω) slogotu saules paneļu sezonas laikā saražotās elektroenerģijas daudzuma datu masīvu intervālos pa 0.2 kWh un apstrādājot to ar statistiskās frekvences metodi noskaidrots, ka:
6. Pieļaujot 2.1% saražotās enerģijas zudumus, Latvijas apstākļos pieļaujamā saules paneļa Solet P6.60–WF–250 slodzes pretestība var būt no 4 līdz 5.5 Ω .
7. Pielietojot praksē paneļus, tieši slogotus ar aktīvo (omisko) pretestību, piemēram, ar sērijā ražotiem elektriskiem ūdens sildītājiem, tad trim virknē saslēgtiem (93V) saules paneļiem jāpielieto 4 kW, bet sešiem virknē (186 V) slēgtiem – 2 kW jaudīgs elektriskais ūdens sildītājs. Kā trūkums šeit ir neizmantota uzstādītā jauda.

Izmantotā literatūra

1. Pelece, A. Rucins, S. Ivanovs. Long-term measurements of energy production of solar photovoltaic panels // 20th International scientific conference "Engineering for rural development": proceedings, Jelgava, Latvia, May 26 – 28, 2021 [elektroniskais resurss] / Latvia University of Life Sciences and Technologies. Faculty of Engineering. Jelgava, 2021. Vol. 20, 1704.–1709.lpp.
2. Ilze Pelece, Henriks Putans, Imants Ziemelis, Liene Kancevica, Semjons Ivanovs. Evaluation of energy obtained from solar panel loaded directly and with microinverter / 19th International scientific conference "Engineering for rural development": proceedings, Jelgava, Latvia, May 20 – 22, 2020 [elektroniskais resurss] / Latvia University of Life Sciences and Technologies. Faculty of Engineering. Jelgava, 2020. Vol. 19, 1047.–1052.lpp., ISSN 1691–5976.
3. H.Putāns, V.Zagorska, I.Ziemelis, L.Kanceviča, Ž.Jesko. Mobilā meteoroloģisko datu reģistrēšanas ierīce. Latvijas patents LV 14312 B. Publicēts: Patenti un preču zīmes. Latvijas Republikas Patentu valdes oficiālais vēstnesis. 4/2011., 491. lpp.
4. Z. Salameh, Renewable Energy System Design, Elsevier Academic Press, 1st edition, 2014.
5. Luqu and S. Hegedus, "Handbook of Photovoltaic Science and Engineerin," in Sussex PO __ _SQ, pp. 296–297, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, UK, 2003.
6. G. M. Masters, Electric Renewable and Efficient Power System, JohnWiley & Sons, 1st edition, 2004.
7. B. Singh, C. P. Swamy, and B. Singh, "Analysis and development of a low-cost permanent magnet brushless DC motor drive for PV-array fed water pumping system," *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 51, no. 1, pp. 55–67, 1998.
8. V. S. Gonal and G. S. Sheshadri, "Solar energy optimization using MPPT controller by maximum conductance method," in *Proceedings of the _th IEEE Power India International Conference (PIICON)*, IEEE, India, 2016.
9. Ilze Pelece, Imants Ziemelis, Henriks Putans, Andrejs Snegovs Improvement of efficiency of pv panels for water heating by changing heater resistance. Latvia University of Life Sciences and Technologies, Latvia Engineering for Rural Development, Jelgava, 22.–24.05.2019. 1430lpp.publ. 2019. gadā, Nr.223; 545 un 546
10. <https://www.ss.lv/msg/lv/production-work/production-work-orders/production/solar-power-stations/bpcjhe.html>. Retrieved Januar10, 2019.
11. http://www.pveducation.org/pvcdrom/modules/nominal-operating-cell-temperature#footnote2_e8wwi7n. Retrieved Januar 10, 2019.

3. NODAĻA. TEMPERATŪRAS UN CITU PARAMETRU MĒRĪJUMU SISTĒMAS IZSTRĀDES METODIKA

Informāciju sagatavoja: Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Ulbrokas zinātnes centrs sadarbībā ar LLKC

3.1. Saules enerģijas un siltumsūkņu tehnoloģiju izpēte

Projekta ietvaros tika veikti pētījumi vairākos virzienos:

- 1) kā izmantojot dažādus apsildes režīmus un metodes atšķiras temperatūru sadalījuma dinamika segtajās platībās;
- 2) apzinātas dažādām kultūraugu šķirnēm visoptimālāko temperatūru sadalījuma un dinamikas prasības segtajās platībās;
- 3) pārpalikušās siltuma enerģijas akumulēšanas un izmantošanas iespējas segtajās platībās;
- 4) apzinātas pārpalikušās enerģijas izmantošanas iespējas primārās lauksaimniecības produkcijas pārstrādei kaltējot.

Tika pētīti saules enerģijas un siltumsūkņu apvienoto tehnoloģiju, izveidota izpētes eksperimentālā izstrāde, jo šādas sistēmas lietderīgai darbībai nepieciešamā siltumnesēja izejas temperatūra ir diapazonā 50–60°C, kas ļauj iekārtu darbināt vienpakāpes kompresijas ciklā, un atdzesēt siltumnesēju dzesēšanas kontūrā 8–20°C.

Siltumsūkņa iekārtas jaudai ir jābūt aptuveni 60% no uzstādītās saules enerģijas sistēmas jaudas. Līdz ar to var secināt, ka veiktie pētījumi par siltumsūkņa (gaiss–ūdens) kombinācijā ar saules kolektoru saražotās siltuma enerģijas uzkrāšanu (akumulāciju) veicinās segto platību periodisku gaisa termoregulāciju un siltumsūkņa kombinācijā ar saules panelu un to hibrīdu praktiskās pielietojšanas iespēju izmantošana elektriskās strāvas, silta gaisa un ūdens ražošanai veicinās bioloģiskas izcelsmes kaltētas meža un lauksaimniecības produkcijas ieguvu.

Eksperimentālās izstrādes pētījumā siltumsūkņu un citu alternatīvu siltuma avotu efektivitāte siltumapgādes jomā tika uzlabota, izmantojot kultūraugu temperatūras režīmu toleranci, jeb spēju nelielos laika periodos augt arī zemākās temperatūrās par optimālo.

Tā kā ir paredzētas temperatūras režīma novirzes no tradicionāli apsildāmo segto platību audzēšanas tehnoloģijas, tiek prognozētas arī kultūraugu augšanas izmaiņas (veģetācijas perioda pagarināšanās, ražas gatavošanās novirzes u.c.).

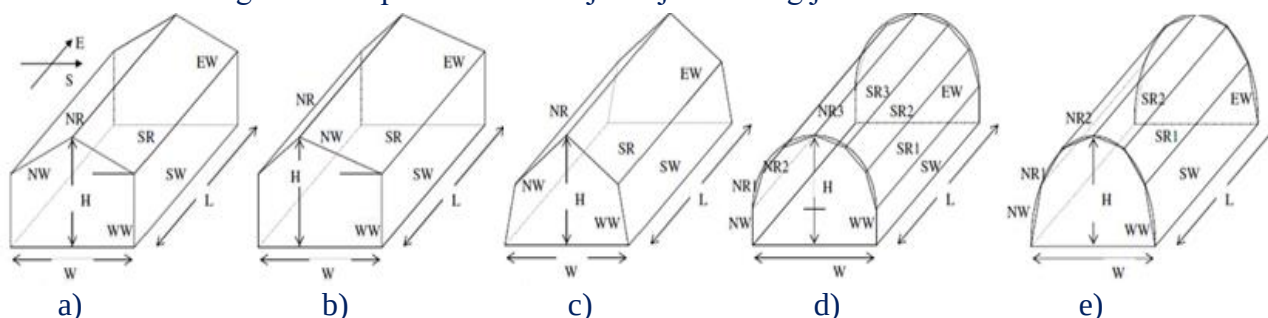
Lai noteiktu, cik būtiski šīs temperatūras režīma izmaiņas ietekmē kultūraugu veģetāciju un ražas veidošanās procesu, nepieciešama kultūraugu augšanas novērošana un uzskaitē. Lai veiktu nepieciešamo kultūraugu augšanas novērošanu un uzskaiti, tiek izstrādāta temperatūras un citu parametru mērījumu sistēmas metodika, veikta sistēmas komplektēšana, uzstādīšana un konfigurēšana.

3.2. Siltumnīcas kultūraugu augšanas apstākļu ietekmējošie faktori – literatūras apskats

Siltumnīcu energoefektīvas konstrukcijas

Lai samazinātu apkures izmaksas, siltumnīcām ir jābūt energoefektīvām un jānodrošina iespēja izmantot atjaunojamos resursus, piemēram, saules enerģiju, biomasu un ģeotermālo siltumu.

Ir veikti pētījumi, lai samazinātu siltumnīcu apkures izmaksas; atkarībā no siltumnīcu atrašanās vietas var piemērot vairākas stratēģijas, piemēram, energoefektīvu konstrukciju projektēšanu, energoefektīva seguma izmantošanu, uzlabotas apkures un ventilācijas sistēmas, iekštelpu mikroklimata energoefektīvu pārvaldību un atjaunojamo enerģijas avotu izmantošanu.



3.1. att. Siltumnīcu atrašanās vieta un konstrukcijas a) vienāda laiduma; b) nevienāda laiduma; c) vīnogu siltumnīca; d) arkveida; e) pusloka “Quonset” veida

Šo metožu un konstruktīvo risinājumu (3.1. att.) būtība galvenokārt ir palielināt siltumnīcas saules siltuma ieguvu un samazināt siltumnīcu siltuma zudumus. Tomēr ir ļoti svarīgi, lai pastāvētu kompromisi starp augu agronomiskajām vajadzībām un dažādu enerģijas taupīšanas metožu enerģijas taupīšanas potenciālu.

Pamatojoties uz teorētisko analīzi par saules starojuma pieejamību un apkures pieprasījumu ziemeļu reģionu siltumnīcās, var izdarīt šādus secinājumus:

- Nevienāda laiduma divslīpju jumta siltumnīca saņem vislielāko saules starojumu, taču arī siltuma zudumi ir lielāki lielās ārējās virsmas laukuma dēļ, tādējādi siltuma zudumi uz seguma laukuma vienību pārsniedz saules siltuma pieaugumu.
- Ir konstatēts, ka divslīpju jumtu siltumnīcas, tostarp ar vienādu laidumu un nevienādu laidumu, ir energoefektīvākas par arkveida siltumnīcām un «Quonset» tipa pusloka formas siltumnīcām.
- Siltumnīcām ziemeļu reģionos jābūt orientētām austrumu–rietumu virzienā, kā arī garuma un platuma attiecībai jābūt lielākai par vienu, lai samazinātu apkures vajadzības.
- Jumta leņķis var būt no 25 līdz 30°.
- Lai samazinātu apkures vajadzības, viena laiduma siltumnīcās laiduma platumam ir jābūt pēc iespējas plašākam, nesamazinot gaismas caurlaidību.
- Laiduma platuma ietekme uz divlaidumu siltumnīcu apkures vajadzībām ir neliela.

Temperatūra

Temperatūra ir svarīgs vides faktors, kas ietekmē siltumnīcu kultūraugu augšanu. Kultūraugu augšanā ir trīs svarīgi temperatūras aspekti: minimālā temperatūra, optimālā temperatūra un maksimālā temperatūra. Izmantojot minimālo temperatūru, kultūraugus varētu iedalīt dažādās temperatūras reakcijas kategorijās: augi, kas izturīgi pret aukstumu, augi ar mērenu temperatūras jutību un aukstuma jutīgi augi.

Kultūraugi visos augšanas posmos vienādi nereaģē uz temperatūru. Piemēram, optimālā temperatūra veģetatīvajai augšanai var būt nepiemērota ziedu attīstībai. Ņemot vērā pietiekamu mitrumu un gaisa kustību, vairums kultūru parasti aug labāk, ja dienas temperatūra ir siltāka nekā nakts. Nakts temperatūra, kas ir pārāk silta vai pārāk auksta, kultūraugiem biežāk nodara daudz lielāku kaitējumu nekā dienas temperatūra.

Faktiskā auga temperatūra ietekmē to, cik lēni vai ātri attīstās augs. Temperatūra ir svarīgs līdzeklis, lai modificētu un regulētu kultūraugu augšanas laiku, mainot temperatūru dienā (DT) un naktī (NT) vai kontrolējot vidējo dienas temperatūru (VDT).

Optimālā temperatūra siltumnīcu kultūraugiem

Katrai kultūrai ir īpaša temperatūra, kurā tai vislabāk norit augšana un attīstība. Katrai kultūrai ir trīs optimālās temperatūras.

1. Minimālā temperatūra ir zemākā temperatūra, kurā var notikt kultūraugu augšana;
2. Optimālā temperatūra ir temperatūra, kad augu augšana ir vislielākā;
3. maksimālā temperatūra ir augstākā temperatūra, pie kuras notiek augu augšana.

Minimālā temperatūra

Minimālā temperatūra ir katrai augam raksturīga temperatūra, pie kuras augs pārstāj augt. Minimālā temperatūra (MT) var atšķirties starp sugām un šķirnēm, literatūras avotos norādīts, ka tā ir aptuveni -1°C līdz 12°C.

Optimāla temperatūra

Siltumnīcā audzētiem kultūraugiem vispiemērotākā ir optimālā temperatūra. Optimālā temperatūra (OT) ir temperatūra, kurā augu attīstība notiek visstraujāk un tā svārstās ap +21°C aukstā klimata kultūraugiem, bet siltā klimata kultūraugiem līdz +32°C. Aukstā klimata augiem ir arī zemāka optimālā temperatūra nekā siltā klimata augiem. Tādēļ tiem ir tendence izjust karstuma stresa simptomus zemākā temperatūrā.

Maksimālā temperatūra

Pie maksimālās temperatūras (MT) kultūraugiem var rasties stress, ja dienas temperatūra un nakts temperatūras vai abas ir augstākas par konkrētai kultūrai raksturīgo temperatūru. Maksimālā temperatūra var arī samazināt augu fotosintēzi.

Aukstuma toleranti, aukstuma izturīgi un aukstuma jūtīgi augi

Siltumnīcās audzētos kultūraugus var iedalīt trīs pamatkategorijās:

- 1) kultūraugiem, kas ir izturīgi pret aukstumu, kuriem optimālā temperatūra ir +14°C vai zemāka, un parasti tie jāaudzē vidējā dienas temperatūrā (VDT) +16°C līdz +18°C;
- 2) kultūraugi ar auksti mērenu temperatūru, kuru optimālā temperatūra ir no +14°C līdz +17°C, parasti tie jāaudzē VDT no +18°C līdz +21°C;
- 3) aukstumu jutīgi kultūraugi, kuru augšanas optimālā temperatūra ir +18°C vai augstāka, parasti tos, jāaudzē VDT no +21°C līdz +24°C.

Aukstuma toleranti, aukstuma izturīgi, aukstuma jūtīgi augi

Aukstumizturīgi augi ir tās kultūras, kuru attīstību mazāk ietekmē iestatītās temperatūras pazemināšanās. Šo kultūru kvalitāte parasti ir daudz augstāka, ja tos audzē pie vēsākas gaisa temperatūras +18°C, it īpaši, ja dienas gaismas integrālis (DGI) ir zems (<10 mol M – 2 D – 1). Kaut arī aukstumizturīgo kultūru optimālā temperatūra ir zemāka par +14°C, audzētāji uzskata, ka tie var ietaupīt enerģiju, iegūstot kvalitatīvu ražu termiņā, ja tos audzē temperatūrā no +16°C līdz +18°C.

Temperatūras prasības kultūraugu augšanas posmiem

Aplūkojot siltumnīcas temperatūras pārvaldības ieviešanu, ir svarīgi ņemt vērā temperatūras ietekmi uz augu augšanu un attīstību dažādos augšanas periodos – sēklu dīgspēju, veģetatīvo, reprodutīvo un nogatavošanās fāzi. Augu sugas optimālā temperatūra mainās, augam augot no stāda līdz nobriedušam augam. Parasti sēklu dīgšana un agrīna stādu augšana notiek visstraujāk augstākā temperatūrā. Augstāku gaisa temperatūru parasti izmanto jaunākiem augiem. Kaut arī augstāka gaisa temperatūra izraisa paaugstinātu fotosintēzes un elpošanas ātrumu, tā veicina fotosintēzi un neto augšanu jaunākiem augiem, jo salīdzinājumā ar vecākiem augiem ir mazāk cilmes un sakņu audu.

Temperatūras ietekme uz augu kvalitāti

Zemākas gaisa temperatūras parasti rada augstākas kvalitātes augus (īpaši sala izturīgi kultūraugi), taču to nogatavošanās prasa ilgāku laiku, un enerģijas patēriņš vienai kultūrai var būt lielāks. Tā kā augstākā temperatūrā audzētie kultūraugi attīstās ātrāk, tāpēc tiem ir īsāks ražas laiks un apkurei nepieciešams mazāk enerģijas, taču augu kvalitāte bieži nav tik augsta. Piemēram, stādiem, kas audzēti zemākā gaisa temperatūrā, bieži ir biezāki stublāji, tie labāk iesakņojas un ir lielāka sazaršanās.

Augu temperatūra

Augu audzēšanas laikā ir svarīgi ņemt vērā faktisko augu temperatūru, nevis tikai gaisa temperatūru. Dienas laikā gaisa temperatūra, īsviļņu starojums un transpirācija visvairāk ietekmē augu temperatūru. Siltums var pārvietoties no gaisa uz augu vai otrādi, izmantojot procesu, ko sauc par konvekciju. Īsviļņu starojums, kad auga lapas nepakļaujas fotosintēzei, tiek, vai nu atstarots, vai arī tiek pārraidīts caur lapu, un tas var paaugstināt augu temperatūru. Palielinoties saules starojumam, augu temperatūra paaugstinās, ja lapas nevar izkliedēt siltumu caur transpirāciju vai konvekciju. Augu temperatūra var paaugstināties arī virs gaisa temperatūras, ja gaisma tiek piegādāta no augstas intensitātes apgaismojuma, piemēram, nātrija vai halogēna lampām.

Dienas un nakts temperatūras diferenciālis (DIF), lai kontrolētu augu augšanu

DIF ietekmē augu augstumu, lapu orientāciju, dzinumu orientāciju, hlorofila saturu, sānu sazaršanos un kātiņu un ziedu kātiņu garumu. Augu reakcija uz dienas un nakts temperatūras attiecībām ir atšķirīga atkarībā no sugas un šķirnes. Šīs attiecības starp dienas un nakts temperatūru var izteikt kā dienas un nakts temperatūras starpību, saīsināti DIF.

DIF ietekme uz augu augstumu

DIF principu var izmantot siltumnīcā, lai kontrolētu augu augstumu un samazinātu vajadzību pēc ķīmiskiem augšanas regulatoriem. Augu augstumu var samazināt, samazinot dienas temperatūru vai paaugstinot nakts temperatūru, vai abus, panākot tuvu nullei vai negatīvu DIF. Un otrādi, lai palielinātu augu augstumu, palielinātu dienas temperatūru vai samazinātu nakts temperatūru, vai abus, panākot tuvu nullei vai pozitīvu DIF.

Negatīvas DIF blakusparādības

DIF lietošanā ir dažas negatīva blakusparādības. Tie ietver samazinātu lapu platību, lapu orientācijas maiņu (augiem, kas pakļauti pozitīvam DIF, parasti ir vertikālā lapu augšana, savukārt augiem, kas pakļauti negatīvam DIF, parasti ir horizontāla lapu augšana), lapu kropļošanu uz leju, dzinumumu orientāciju, samazinātu hlorofila saturu, lapu barības vielu sastāvu, lapu sānu sazarojumu.

DIF piemērošanas ierobežojumi

Primārais ierobežojums, kad augstuma kontrolei izmanto DIF tuvu nullei vai negatīvu, ir klimatiskie apstākļi siltumnīcas vidē vasaras mēnešos. Karstajā laikā ir ļoti grūti vai pat neiespējami uzturēt siltumnīcas temperatūru dienas laikā pietiekami vēsu, lai DIF noturētu tuvu nullei vai negatīvu. Piemēram, ja DT ir $+33^{\circ}\text{C}$, NT jābūt vismaz tai pašai temperatūrai, lai sasniegtu augstuma kontroli (šajā gadījumā 0 DIF). Šāda nakts temperatūra būtu pārāk augsta un varētu nopietni kaitēt augiem. Parasti jāizvairās no nakts temperatūras, kas pārsniedz $+24^{\circ}\text{C}$, jo tas nelabvēlīgi var ietekmēt daudzus kultūraugus. Piemēram, daži augi vispār neziedēs, vai arī augi var būt panīkuši.

DIF datorvadība

DIF vadību var pārvaldīt, izmantojot termostatus un manuālos iestatījumus, taču procesu var būt grūti kontrolēt, ja tiek pārvaldītas vairākas kultūraugu zonas, kurām vajadzīgas atšķirīgas DIF vērtības. Saskaņā ar šo scenāriju labākais risinājums ir paļauties uz siltumnīcas datoru programmatūru, kas ietver DIF kontroli, kas var aprēķināt vidējo dienas temperatūru, kas nepieciešama, lai kontrolētu augu brieduma datumu.

Temperatūras kritums (TK)

Alternatīvs veids, kā manipulēt ar temperatūru, lai kontrolētu augu “izstiepšanos”, ir temperatūras pazemināšana agrā rītā, ko sauc par temperatūras kritumu jeb TK. Temperatūras kritums ir prakse pazemināt temperatūru, parasti par $2,8^{\circ}\text{C}$ līdz $8,3^{\circ}\text{C}$ pirms saullēkta divu līdz trīs stundu laikā. Izplūdes ventilatori jāaktivizē tā, lai siltumnīcas gaisa temperatūra tiktu pietiekami pazemināta pēc saullēkta. Parasti, jo lielāks temperatūras kritums, jo spēcīgāka tā ietekme uz augu augstumu. Lai iegūtu labākos un konsekvētākos rezultātus, temperatūras kritums jāpanāk, pirms augi uztver dienas sākumu (gaismu).

Siltumnīcas kultūru vidējā dienas temperatūra

Vidējā dienas temperatūra (VDT) ir svarīgs jēdziens siltumnīcas temperatūras pārvaldībā. Norādot gaisa temperatūru, parasti iestata gan dienas temperatūru (DT), gan nakts temperatūru (NT). Kā norāda nosaukums, DT ir tad, kad ir gaisma, un NT ir tumsas laikā. Kaut arī abas temperatūras ietekmē augšanu un attīstību, primārais faktors, kas kontrolē augšanas ātrumu vai ātrumu, ir vidējā dienas temperatūra (VDT). VDT ir matemātiskā vidējā gaisa temperatūra 24 stundu periodā. Augi integrē DT un NT 24 stundu laikā, un šī integrētā vidējā temperatūra spēcīgi ietekmē augšanu un attīstību.

Apgaismojuma kvalitāte un intensitāte

Apgaismojuma kvalitāte un intensitāte ir viens no svarīgākajiem kultūraugu ražu ietekmējošiem faktoriem. Gaisma ne tikai ietekmē fotosintēzes intensitāti un produktivitāti, bet arī apgaismojuma spektrālais sastāvs var izmainīt auga bioķīmisko procesu norisi. Nepietiekama apgaismojuma intensitāte, neatbilstošas gaismas spektrālais sastāvs un/vai fotoperiods limitē tomātu augšanu, attīstību un ražas formēšanos. Dažāda garuma gaismas viļņi atšķirīgi ietekmē augu augšanu un attīstību. Līdzšinējos izmēģinājumos noskaidrots, ka tomātu augšana uzlabojas, pievienojot 380

nm viļņu gaismas avotus, turpretim oranža (622 nm), dzeltena (595 nm) un zaļa (520 nm) gaisma nav piemērota šo augu augšanai. Dažādi gaismas avoti atstāj atšķirīgu ietekmi uz augu augšanu, attīstību, ražas formēšanos un kvalitāti.

Piemēram, vislielākā transpirācijas intensitāte ir tomātu lapām, kas augušas LED lampas apgaismojumā. Būtiska atšķirība konstatēta starp apgaismojuma veidiem, bet starp šķirnēm nav nozīmīgu atšķirību. Viszemākā augu ūdens aiztures spēja novērota augiem, kas auguši IND lampas apgaismojumā, bet vismazākā – nātrija lampas apgaismojumā. Būtiskas atšķirības konstatētas gan starp apgaismojuma veidiem, gan starp šķirnēm. F_v/F_m un F_v/F_0 vērtības uzrāda, ka vispiemērotākie apstākļi auga fotosistēmu efektīvai darbībai ir zem LED un indukcijas lampas apgaismojuma, taču būtiska ir šķirnes un apgaismojuma veida mijiedarbība. Piemēram, auga vitalitātes rādītāji atspoguļo faktu, ka vislabāk tomātu šķirne 'Bolzano' F_1 jūtas zem LED lampas apgaismojuma, bet šķirne 'Encore' F_1 – zem indukcijas lampas apgaismojuma. Šķirnei 'Diamantino' F_1 visnepiemēroākais ir HPSL lampas papildapgaismojums.

3.3. Siltumnīcas temperatūras un citu parametru mērījumu sistēma – literatūras analīze

Siltumnīcas ir slēgta vide, kuras apstākļi ir optimizēti augu augšanai. Optimālai vadībai nepieciešama informācija gan no iekšējām, gan no ārpusēm. Parasti siltumnīcā mēra oglekļa dioksīda (CO_2) koncentrāciju, relatīvo gaisa mitrumu, saules starojumu un temperatūru. Šie faktori tieši ietekmē augu augšanu siltumnīcā.

Sensori ir siltumnīcas uzraudzības sistēmu galvenās sastāvdaļas. Katrs sensors nepārtraukti mēra noteiktus parametrus, piemēram, temperatūru, relatīvo gaisa mitrumu, gaismas intensitāti, pH, oglekļa dioksīda koncentrāciju. Sensors ir sistēmā ievietota ierīce, kas rada elektrisku signālu, kas tieši saistīts ar izmēramo parametru.

Kopumā ir divu veidu sensori: nepārtraukti un diskrēti.

- Nepārtraukti sensori rada nepārtrauktu elektrisko signālu, piemēram, spriegumu, strāvu, vadītspēju, kapacitāti vai jebkuru citu izmēramu elektrisko īpašību. Nepārtraukti sensori tiek izmantoti, ja nepietiek tikai ar sensora ieslēgšanas/izslēgšanas stāvokļa apzināšanu.
- Diskrētie sensori ir slēdži (mehāniski vai elektroniski), kas norāda, vai pastāv ieslēgšanas vai izslēgšanas apstākļi. Diskrēti sensori ir noderīgi, lai norādītu sliekšņus, piemēram, tādu ierīču kā vārsti atvēršanu un aizvēršanu, trauksmes utt. Tos var arī izmantot, lai noteiktu, vai ir sasniegts nepieciešamā stāvokļa mainīgo sliekšnis. Daži diskrētu sensoru piemēri ir pludiņa slēdzis, lai noteiktu, vai līmenis tvertnē ir zemāks par minimālo vēlamo līmeni, vai komutācijas tensiometrs, lai noteiktu, vai augsnes mitrums pārsniedz vēlamu sliekšni.

Uzraudzības sistēma caur vadiem vai iebūvētiem raidītājiem savieno sensorus ar pamatierīci. Parasti uzraudzības un kontroles iekārtu uzstādīšana ir laikietilpīga un dārga, bet rada ļoti uzticamu sistēmu. Ja siltumnīcā sensoru instalācijas uzstādīšana ir sarežģīta vai dārga, pastāv iespēja izvēlēties sistēmu, kas optimālai saziņai ar ierīci izmanto bezvadu sensorus ar iebūvētiem radio raidītājiem. Dažas uzraudzības sistēmas var pielāgot vadu un bezvadu sensoru kombinācijai. Tās var arī izmantot, lai noteiktu, vai ir sasniegts svarīga stāvokļa mainīgo sliekšnis.

3.4. Siltumnīcas temperatūras un citu parametru mērījumu sistēmas izveidei pielietojamie sensori – literatūras apskats

Temperatūras sensori

Lielākā priekšrocība, izmantojot siltumnīcas kultūraugu audzēšanai, ir spēja nodrošināt vēlamu temperatūru augu augšanai un attīstībai. Gaisa temperatūras mērīšana un kontrole ir izplatīta daudzās siltumnīcās, jo tā visvairāk ietekmē augu temperatūru. Turklāt, izmērot augu temperatūru, ir iespējams noteikt, vai augi ir siltāki vai vēsāki par gaisa temperatūru.

Gaisa temperatūra

Temperatūras termostati / sensori parasti tiek izvietoti speciālās kārbās, kas ir novietotas tuvāk uzraugāmiem augiem. Tieša saules gaismas iedarbība uz termostatu/temperatūras sensoru, uzrādīs paaugstinātu temperatūru. Iekārta izmanto ventilatoru, lai ievilkto gaisu, nodrošinot faktisko apkārtējās temperatūras rādījumu, nevis izstarojošo temperatūru. Izmantojot aspirēto ierīci, temperatūras diapazons var būt tikai 2 vai 3 grādi plus vai mīnus vēlamais iestatījums, salīdzinot ar ierīci, kas nav aspirēta ar diapazonu 4 vai 5 grādi.

Substrāta temperatūra

Sakņu zonas temperatūra arī ir svarīgs faktors augu veselības pārvaldībā. Pāru sensorus parasti izmanto, lai savienotu ar datu reģistrētājiem vai datu reģistrētājiem ar iekšējiem sensoriem. Turpmākais pāris sastāv no diviem dažādu metālu vadiem, kas savīti un salodēti kopā.

Augu temperatūra

Augu temperatūras uzraudzību var izmantot, lai panāktu labāku vides kontroli augšanai un efektīvāku slimību pārvaldību. Augu temperatūra kontrolē augu attīstības ātrumu. Piemēram, augu audu temperatūra ietekmē lapu atlocīšanas ātrumu, ziedu pumpuru attīstību un stublāja pagarināšanos.

Mitruma sensori

Ir trīs izplatīti mitruma sensoru veidi: kapacitīvais, pretestības un mitrais/sausais termometrs. Gan kapacitīvie, gan rezistīvie cietvielu sensori ir diezgan izplatīti siltumnīcās, jo tie nodrošina pieņemamu precizitāti mitruma diapazonā, to uzturēšana parasti aprobežojas ar tīrīšanu vienu vai divas reizes gadā.

Gaismas sensori

Siltumnīcām ir nepieciešams optimāls apgaismojums, lai maksimāli palielinātu augu augšanu un produktivitāti, vienlaikus samazinot enerģijas patēriņu. Gaismas mērījumi palīdz optimizēt augšanu, un tos var izmantot, lai automatizētu papildu apgaismojuma līmeni siltumnīcās un virzītu gaismu novietojumu augšanas telpās. Ir divi izplatīti augiem raksturīgi gaismas mērīšanas veidi: (1) globālais starojums, ko bieži dēvē par enerģijas vienību, un (2) fotosintētiski aktīvais starojums (FAS).

Pirometri

Globālais starojums ir visizplatītākais gaismas mērījums siltumnīcas kontrolei, jo tas mēra visu enerģijas ražojošās gaismas spektru. To mēra ar pirometru un parasti izsaka vatos vienībās uz kvadrātmetru. Kopējā mērvienība ir vati uz kvadrātmetru sekundē (W/m^2).

FAR sensori

FAR vai kvantu sensori mēra fotosintētiski aktīvo radiāciju (FAR) 400 līdz 700 nm viļņu joslā. Mērvienība ir mikromoli uz kvadrātmetru sekundē ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ vai $\text{mmol} / \text{m}^2 / \text{dienā}$). Tos galvenokārt izmanto ar dārzkopības saistītos pētījumos, lai izmērītu FAR augu nojumēs, siltumnīcās, augšanas un dīgšanas kamerās, kā arī laboratorijās un gaismas pētījumos. Komerciālajās siltumnīcās tos var izmantot, lai salīdzinātu FAR vērtības dažādos segto platību punktos un zem ekrāniem, kā arī pārbaudītu FAR vienveidību un intensitāti, izvietojot jaunas apgaismojuma sistēmas.

Oglekļa dioksīda sensori

Oglekļa dioksīda (CO_2) koncentrācijas mērījumus bieži ignorē, neskatoties uz to, ka oglekļa dioksīds ir kritisks faktors augu fotosintēzē. Aukstā ziemas rītā, kad siltumnīcas ventilācijas atveres ir cieši noslēgtas, var veidoties vide ar ļoti zemu oglekļa dioksīda koncentrāciju siltumnīcā esošo augu fotosintēzes dēļ. Tāpēc augu audzēšanai vienmēr ir svarīgi spēt uzraudzīt oglekļa dioksīdu. Visbiežāk izmantotais oglekļa dioksīda sensors ir infrasarkano gāzu analizators (IRGA).

Apūdeņošanas plānošana ar substrāta sensoriem

Ir vairākas augsnes mitruma noteikšanas tehnoloģijas, kas var dot labumu siltumnīcas augu ražošanai, ieskaitot tensiometrus, elektriskās pretestības blokus un dielektriskos sensorus. Sensorus izmanto, lai noteiktu vai nu ūdens pieejamību (augšes ūdens spriegumu), vai faktisko ūdens saturu substrātā.

Pamatnes ūdens sensori

Pamatnes ūdens saturu var izteikt ar ūdens enerģētisko stāvokli substrātā (ūdens vai matricas potenciāls) vai kā ūdens daudzumu substrātā (visbiežāk izteiktu pēc tilpuma principa). Abām metodēm ir priekšrocības un trūkumi. Pamatnes ūdens (vai matriciskā) potenciāla noteikšana norāda, cik viegli substrāta ūdens ir pieejams augiem, bet nesniedz informāciju par to, cik daudz ūdens ir vai ir pieejams.

Tensiometri

Tensiometrs ir paredzēts dārzeņu un citu kultūru augsnes mitruma līmeņa uzraudzībai, tie mēra augsnes mitruma negatīvo spiedienu. Spiediens ir spēks, kas jāpieliek augu saknēm, lai uzsūktu ūdeni no augsnes porām. Lielas poras aiztur ūdeni ar mazāku spēku nekā mazas poras. Tā kā augi uzņem mitrumu no augsnes, vispirms ūdeni uzņem no lielākajām porām. Tā kā augsne izzūst, saknēm

jāpieliek lielāks spēks, lai ūdeni izsūktu no mazākām porām. Tādējādi augstas spiediena vērtības nozīmē, ka augsne kļūst sausa.

Tensiometri ir vienkārši instrumenti, kas sastāv no plastmasas caurules, porainas keramikas trauka vienā galā un vakuuma mērītāja otrā. Caurule ir piepildīta ar ūdeni, lai no tās izslēgtu gaisu, un tensiometru ievieto augsnē. Pamatnei izžūstot, no tensiometra caur keramiku ūdens tiek ievilkts augsnē, caurulē izveidojot vakuumu, ko mēra ar manometru. Jo sausāka pamatne, jo lielāks vilkšanas spēks un vakuums. Kad notiek apūdeņošana, vakuums mēģenē no substrāta ievilk ūdeni atpakaļ caurulē, kas samazina vakuumu. Augsnes “vilkšanas” spēks uz ūdeni ir matricas potenciāls.

Elektriskās pretestības bloks

Elektriskās pretestības blokus sauc arī par ģipša bloku sensoriem, kas ir vienkārši ģipša spraudnis vai bloks, kurā ievietoti divi elektrodi. Elektriskā pretestība starp diviem elektrodiem ir augsnes matriciskā potenciāla funkcija. Darbības princips ir tāds, ka ar elektrodiem iestrādāta poraina bloka pretestība ir proporcionāla tā ūdens saturam. Tādējādi, jo slapjāks bloks, jo mazāka pretestība, ko mēra diviem ievietotiem elektrodiem.

Dielektriskie sensori

Dielektriskie sensori mēra augsnes dielektrisko konstanti, svarīgu elektrisko īpašību, kas ir ļoti atkarīga no pamatnes mitruma satura. Pamatnes dielektrisko konstanti var uzskatīt par pamatnes spēju pārvadīt elektrību, un tā palielinās, palielinoties pamatnes ūdens saturam. Viena no šāda veida sensoru priekšrocībām ir gandrīz tūlītējas nolasīšanas iespēja. Audzētāji var ātri pārbaudīt sakņu zonas mitruma saturu, negaidot, kā tas notiek tensiometros. Vēl viena šāda veida sensoru priekšrocība ir to vienkārša uzturēšana; apkope ir nepieciešama pavisam nedaudz vai arī vispār nav nepieciešama.

Vēja ātruma un virziena sensori

Daudziem vides temperatūras kontroles datoriem ir “negaisa pārsprieguma” aizsardzības funkcija, kas ir atkarīga no laika apstākļu stacijas. Kad vēja ātrums pārsniedz iepriekš iestatīto sliekšni, kores atveres tiek aizvērtas, lai stiprs vējš tās nesabojātu. Visizplatītākā vēja ātruma mērīšanas metode ir ar kausa anemometriem. Vējš izraisa ventilatora spārnu pagriešanos ap vertikālu asi, mērot griešanās skaitu noteiktā laika intervālā, lai noteiktu vēja ātrumu.

Nokrišņu sensori

Tie ir sensori, kas uzstādīti uz āra meteostacijām, lai izmērītu nokrišņus. Vienkārši lietus “režģi” norāda vai nu uz nokrišņu esamību vai neesamību, bet nevis uz daudzumu. Šos vienkāršos sensorus parasti izmanto, lai lietus laikā aizvērtu vai ierobežotu jumta ventilācijas atveres vai ievelkamus jumtus. Tie ir vispiemērotākie sensori šim nolūkam, jo tie ļauj ātri reaģēt. Apsildāmie lietus režģi ļauj uztvert sniegu un atšķirt rasu no lietus.

Siltumnīcas vides kontroles sistēmas

Siltumnīcas vide ir precīzi jākontrolē, lai radītu optimālus apstākļus augkopībai. Papildus mitruma un temperatūras kontrolei, vides kontroles sistēmas var pārvaldīt ēnu sistēmas un papildu apgaismojumu, kontrolēt oglekļa dioksīda koncentrāciju, apūdeņošanas vārstu darbības grafiku un secību, kā arī kontrolēt laistīšanas ūdens pH, EC un temperatūru un citus parametrus.

Būtībā ir pieejami četri vides kontroles sistēmu veidi:

- termostati un taimeri;
- analogie “soļa” kontrolieri;
- datoru zonas kontrolieri;
- integrētās datoru vadības ierīces.

Termostati un taimeri

Termostati un taimeri ir vienkāršas un samērā lētas ierīces, kas nodrošina ierobežotu kontroli. Termostati ļauj manuāli pielāgot ieslēgšanas / izslēgšanas iestatījumus. Taimeri tiek izmantoti kā ieslēgšanas / izslēgšanas slēdži. Tipiskai siltumnīcas zonai var būt nepieciešami trīs vai vairāk individuālie termostati, lai kontrolētu sildīšanas un dzesēšanas funkcijas, kā arī taimeri apūdeņošanas

un apgaismojuma kontrolei. Bieži vien ir nepieciešami papildu releji, lai savienotu ventilatorus un žalūzijas, kā arī citas ierīces, kurām jāsadarbojas.

Analogie “soļa” kontrolieri

Nosaukuma “soļa” kontrolieris cēlies no spējas pastiprināt vadību vairākos posmos. “Soļa” kontrolieri izmanto kā integrētu shēmu, lai uzraudzītu vides datus siltumnīcā un radītu izejas signālus, kas aktivizē aprīkojumu, pamatojoties uz iekšēji ieprogrammētu instrukciju kopu. Mikroprocesors ir vienkārša ierīce, kas ir uzticama, precīza un labi darbojas siltumnīcas vidē. Soļu kontrolieri var uztvert signālus no diviem vai vairākiem citiem sensoriem (piemēram, temperatūra, relatīvais mitrums, gaisma). Piemēram, ja temperatūra turpina paaugstināties, ieslēdzas daži izplūdes ventilatori un, ja temperatūra turpina pieaugt, ieslēdzas pārējie ventilatori vai ieslēdzas dzesēšanas sistēma.

Datoru zonas kontrolieri

Datoru zonu kontrolieri sniedz datorizācijas priekšrocības “Soļa” kontroliera koncepcijai, nodrošinot lielāku vadības elastību un programmējamību, kā arī spēju nodrošināt labāku precizitāti un labāku aprīkojuma koordināciju. Šīs ierīces var izmantot kā vienkāršus, ierobežotus datorus. Mikroprocesoriem parasti ir tastatūra un LCD displejs. Attiecībā uz izejas savienojumu skaitu (dažreiz vairāk nekā 20) ir lētāk izmantot mikroprocesorus nekā vairāku pakāpju kontrolleri.

Integrēta datoru vadība (IDV)

Integrētās datorvadības (IDV) apvieno vairāku pakāpju vai datoru zonas kontrolieru un dažādu citu individuālu vadības ierīču, piemēram, taimeru, iespējas vienā, integrētā datorsistēmā. Integrētās datorvadības var nodrošināt praktiski visu siltumnīcas vides funkciju koordinētu kontroli. Var kontrolēt ne tikai temperatūru, ventilāciju un mitrumu, bet arī daudzus citus faktorus, piemēram, augšnes temperatūras izmaiņas, mēslošanas līdzekļu izmantošanu apūdeņošanas sistēmā, dienasgaismas apgaismojumu, gaismas intensitātes regulēšanu ar mehāniski darbināmiem termopārklājiem vai aizkariem), miglas vai miglas sistēmas darbību un oglekļa dioksīda bagātināšanu – to visu var mainīt dažādos dienas un nakts laikos.

Siltumnīcas bezvadu sensoru tīkls

Pašreiz ir novērojama tendence siltumnīcām strauji attīstīties un paplašināties. Siltumnīcas vides apstākļi tieši ietekmē kultūraugu augšanu. Tāpēc šāda veida noslēgtas vides uzraudzība un kontrole reālā laikā ir svarīga. Vides automatiskās vadības tehnoloģija ir efektīvs līdzeklis siltumnīcas vides kontroles tehnoloģijas uzlabošanai. Bezvadu sensoru tīkls (BST) var būt noderīga automatizācijas sistēmas arhitektūras sastāvdaļa mūsdienu siltumnīcās. BST ir mazu sensoru ierīču vai mezglu grupa, kas uztver datus noteiktā vietā. Pēc tam šie mezgli sūta neapstrādātus datus tīkla stacijai, kas savukārt pārsūta datus uz centrālo datoru, kas veic analīzi un izveido nepieciešamās informācijas atskaiti. Šī sistēma ļauj attiecīgajam personālam ērti pārraudzīt dažādus reāllaika datus, izmantojot tīkla uzraudzības platformu. Bezvadu sakarus var izmantot, lai savāktu tādus mērījumus kā temperatūra, gaismas līmenis, oglekļa dioksīda koncentrācija un mitrums. Salīdzinot ar kompleksajām sistēmām, BST uzstādīšana ir ātra, lēta un vienkārša. Turklāt, kad ir nepieciešams, var viegli pārvietot mērīšanas punktus, vienkārši pārvietojot sensora mezglus no vienas vietas uz otru, esošās koordinācijas ierīces sakaru diapazonā. Piemēram, ja siltumnīcas flora ir augsta un blīva, mazos un vieglos mezglus var pat piekarināt augu lapās. Šo BST atšķirīga priekšrocība ir tā, ka tie abi ir mērogojami (tas ir, mezglus un sensorus var viegli pievienot tīklam), un mezgli ir arī konfigurējami. Tas nozīmē, ka siltumnīcas darbību var sākt ar nelielu BST sistēmu un vajadzības gadījumā pakāpeniski strādāt līdz lielākām sistēmām. Nelielu BST (minimāli divus vai trīs mezglus ar optimālā staciju) var izvietot un izmantot monitoringam, līdz lietotājs sasniedz izpratnes un komforta līmeni.

Optimālā stacija

Optimālā stacija ir tīkla koordinators, kas pārvalda atsevišķu mezglu darbības, periodiski pieprasot datus. Papildus datu apkopošanai un analīzei optimālā stacija darbojas kā saite uz internetu (parasti lokālo tīklu), nodrošinot operatoriem attālu piekļuvi BST datiem.

Sensori

Sensors var tikt definēti kā jebkurš instruments, kas mēra noteikta veida fizikālās vai ķīmiskās īpašības un pārveido šo mērījumu signālā, ko var nolasīt atbildīgā persona vai automatizēta datu vākšanas sistēma. Visām siltumnīcu kontroles sistēmām ir nepieciešama informācija par mainīgajiem, kas nosaka siltumnīcas vidi un sensori sniedz šo informāciju. Tradicionāli audzētāji darbojas kā sistēmas integrētais “sensors”, reāllaikā pārbaudot siltumnīcas apstākļus, kuri saistīti ar augu augšanu un attīstību. Ir pieejami daudzi sarežģīti elektroniski sensori siltumnīcas apstākļu uzraudzībai un ievades datu nodrošināšanai, lai automātiski pieņemtu arvien precīzākus un efektīvākus kontroles lēmumus. Bezvadu sensoru tīkls (BST) parasti sastāv no bezvadu sakaru bloka, mikroprocesora, datu ieguves ierīces, atmiņas ierīces un sensoriem.

Lietotāja interfeiss

Lietotāja saskarsme neapšaubāmi ir vissvarīgākā šīs sistēmas sastāvdaļa, jo tā ļauj kultūraugu audzētājiem izmantot datus un gūt no šīs sistēmas maksimālu labumu. Lietotāja saskarsme galvenokārt ietver reāllaika datu parādīšanu, statistisko datu analīzi, reālā laika brīdināšanas sistēmu, vēsturisko datu vaicājumu un citas funkcijas.

Datu reģistrēšana

Datu vēsture veidošana ir nepieciešama, izvērtējot siltumnīcas vides apstākļus, modeļus un tendences. Jāņem vērā, ka siltumnīcas vides parametru manuāla uzraudzība un reģistrēšana prasa ievērojamu personāla laiku. Nepieciešams izveidot tādas uzraudzības sistēmas, kas maksimāli automātiski saglabā informāciju, reģistrējot tūkstošiem datu punktu, datumu un laiku.

Izmantotā literatūra

1. Ted Goldammer. Greenhouse Management, A Guide to Operations and Technology, Publisher: Apex Publishers, Publication Date: April 2019, 406 p. ISBN (13): 978-0-9675212-4-4
2. A J Both, L Benjamin, J Franklin, G Holroyd, L D Incoll, M G Lefsrud, G Pitkin. Guidelines for measuring and reporting environmental parameters for experiments in greenhouses. Both et al. Plant Methods (2015) 11:43 DOI 10.1186/s13007-015-0083-5. pp. 2–18. Karlsson, Meriam. 2014. Controlling the Greenhouse Environment. University of Alaska, University of Alaska Fairbanks Cooperative Extension Service: Fairbanks, Alaska. Publication HGA-00336.
3. Smart Greenhouse Climate & Control Systems, <https://www.postscapes.com/greenhouse-climate-and-control-systems/>
4. Things to Consider When Choosing Greenhouse Sensors. <https://blog.sensaphone.com/choosing-greenhouse-sensors>
5. Our Greenhouse Automation Systems, <https://www.climatecontrol.com/>
6. New Greenhouse Sensors Open Up New Monitoring Possibilities. <https://blog.sensaphone.com/new-greenhouse-sensors-open-up-new-monitoring-possibilities>
7. Bartok, J.W. 2000. Greenhouses for Homeowners and Gardeners. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (NRAES): Ithaca, New York. Publication 137.
8. Olle M., Virsile A. (2013). The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. Agricultural and Food Science, Vol. 22(2), p. 223–234.
9. Buschermohle, Michael J. and George F. Grandle. 2014. Controlling the Environment in Greenhouses Used for Tomato Production. The University of Tennessee, Agricultural Extension Service: Knoxville, Tennessee. Publication W017.
10. Daiga Sergejeva, Ance Simtniece, Reinis Reinsons, Niks Badaukis, Edijs Kalniņš, Lāsma Lapiņa, Ina Alsiņa, Laila Dubova. Apgaismojuma ietekme uz siltumnīcā audzētu tomātu fizioloģiskajiem parametriem. Zinātniski praktiskā konference “Līdzsvarota lauksaimniecība”, 21.01.2019., LBTU, Jelgava, Latvija. 103–109 lpp.
11. Māris Narvils. Saules siltumu akumulējošas siltumnīcas, žurnāls Dārzs un Drava, Nr. 5/6, maijs/jūnijs, 2017.
12. V.P. Sethi. On the selection of shape and orientation of a greenhouse: Thermal modeling and experimental validation. Solar Energy, Volume 83, Issue 1, 2009, Pages 21–38, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.05.018>

4. NODAĻA. PRASĪBAS TEMPERATŪRAS UN CITU PARAMETRU MĒRĪJUMU SISTĒMAI

Informāciju sagatavoja: Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Ulbrokas zinātnes centrs sadarbībā ar LLKC

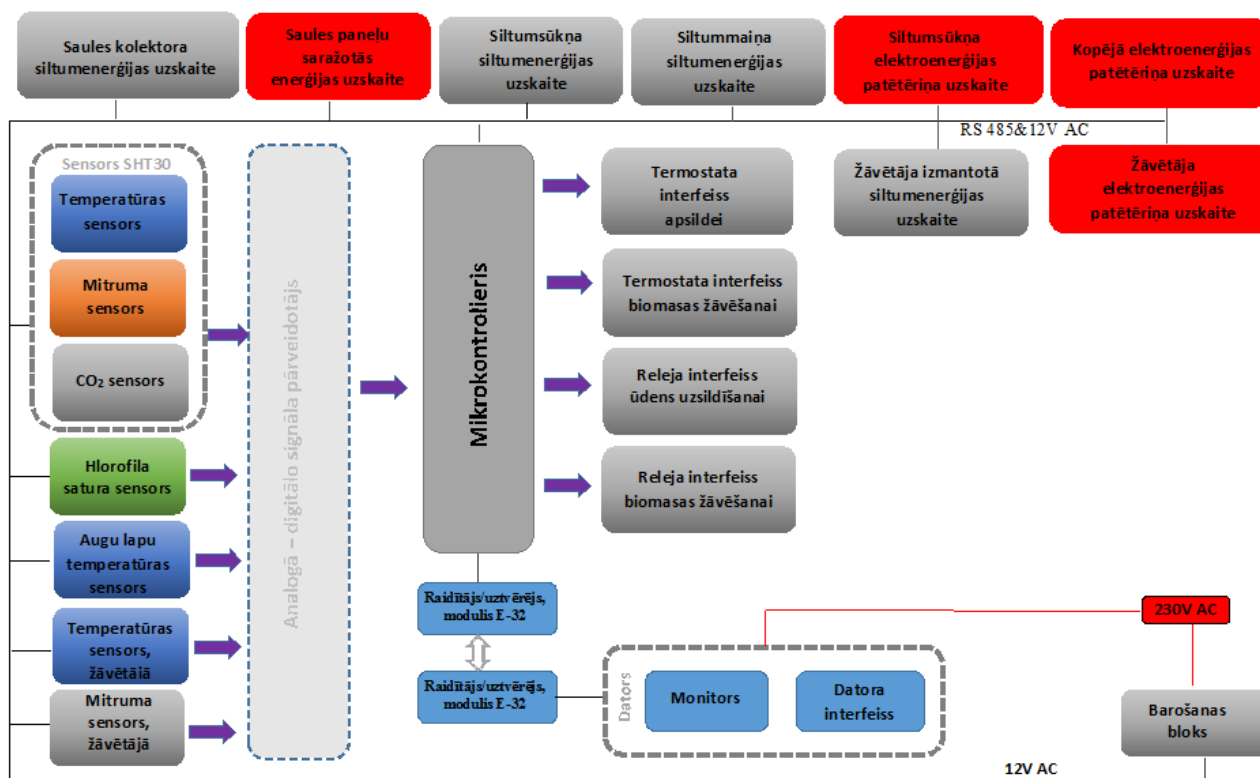
4.1. Prasības projekta realizējamās eksperimentālās siltumnīcas (50kvm) temperatūras un citu parametru mērījumu sistēmai SIA “Rītausma”

Eksperimentālās siltumnīcas nepieciešamo eksperimentālo datu reģistrēšanai, režīmu uzraudzībai un kontrolei izveidota temperatūras un citu parametru mērījumu sistēma sekojošu parametru mērīšanai: eksperimentālās siltumnīcas un ārpus siltumnīcas esošās telpas temperatūras, mitruma, oglekļa dioksīda koncentrācijas, eksperimentālās siltumnīcas un ārpus tās audzēto augu lapu hlorofila saturu, augu lapu temperatūras, biomasas žāvēšanas kameras temperatūras un mitruma, saražotās un patērētās siltumenerģijas un elektroenerģijas uzskaitēi, kā arī nodrošināt nepieciešamo tehnoloģisko procesu automātisku darbību.

Temperatūru, mitrumu, oglekļa dioksīda koncentrāciju, augu lapu temperatūru, augu lapu hlorofila saturu, biomasas žāvēšanas kameras temperatūru un mitrumu uztver attiecīgie sensori, bet saražotās un patērētās siltumenerģijas, elektroenerģijas uzskaiti nodrošina mērīšanas/uzskaites sensori.

4.2. Elektronisko komponentu shēmas, sensoru un datu uztveršanas sistēmas izstrāde

Elektronisku komponentu slēgums parādīts blokshēmā (4.1.att.).



4.1.att. Sensoru un datu uztveršanas sistēmas blokshēma eksperimentālajā siltumnīcā (50kvm) SIA “Rītausma”

Eksperimentālās siltumnīcas temperatūras un citu parametru mērījumu sistēma sastāv no: temperatūras, mitruma, oglekļa dioksīda koncentrācijas ārpus eksperimentālās siltumnīcas, temperatūras, mitruma, oglekļa dioksīda koncentrācijas eksperimentālajā siltumnīcā, ārpus eksperimentālās siltumnīcas audzēto augu lapu hlorofila saturu, eksperimentālajā siltumnīcā audzēto augu lapu hlorofila saturu, augu lapu temperatūras, biomasas žāvēšanas kameras temperatūras un mitruma, kā arī saules kolektora saražotās siltumenerģijas, saules paneļu saražotās elektroenerģijas, siltumsūkņa saražotās siltumenerģijas, siltummaiņa izejošās siltumenerģijas, siltumsūkņa patērētās elektroenerģijas, biomasas žāvētāja saņemtās siltumenerģijas, biomasas žāvētāja darbināšanai patērētās elektroenerģijas un kopējā patērētās elektroenerģijas mērīšanas/uzskaites sensoriem.

Ja nepieciešams, tad signāls tiks konvertēts no analogā uz digitālo ar ADC (Analog to Digital Converter) pārveidotāju.

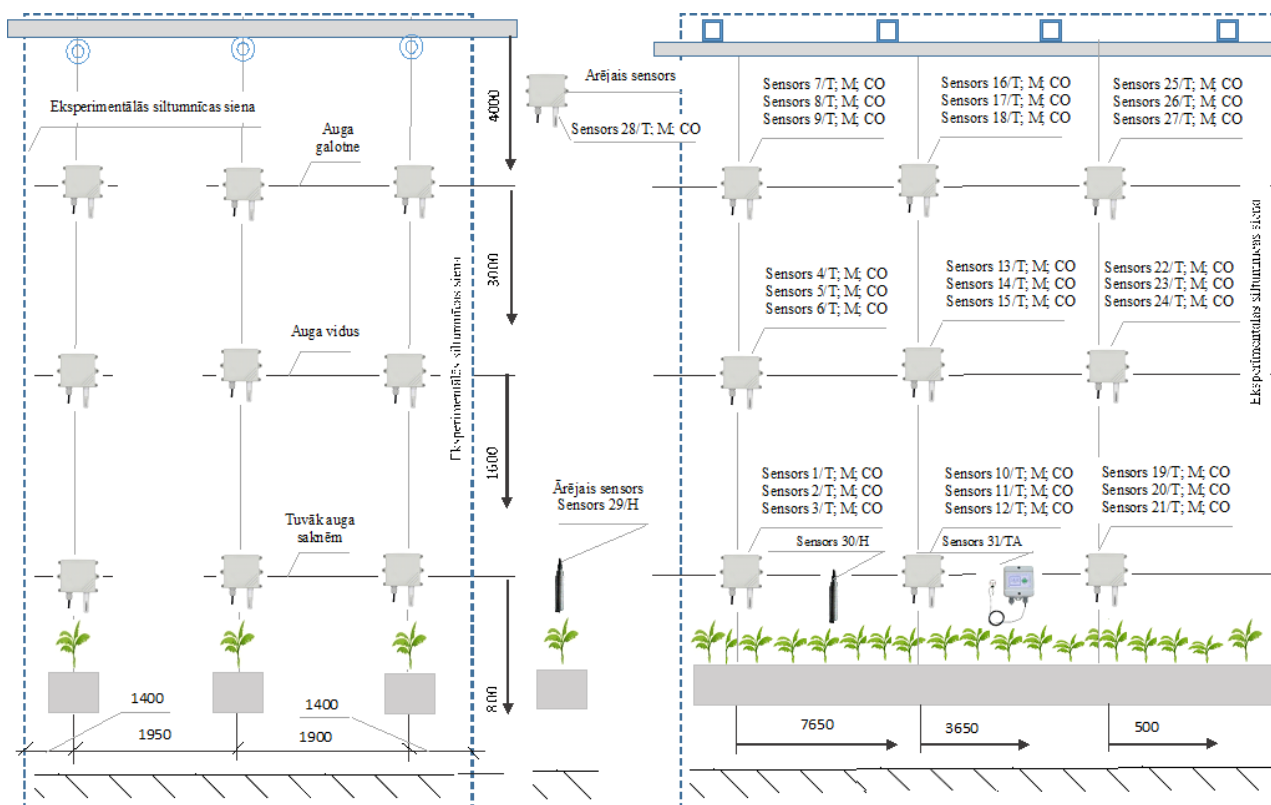
Mikrokontrolieris kontrolēs un nodrošinās šai eksperimentālai siltumnīcai nepieciešamo parametru uzturēšanu noteiktajos režīmos, izmantojot releja vai termostata interfeisu. Šos relejus savienos ar darbināšanai nepieciešamām ierīcēm (sildītāju, siltumsūkni, cirkulācijas sūkni u.c.). Iegūtos aktuālos eksperimentālos datus (parametrus) mikrokontrolieris caur seriālo portu parāda monitorā (LCD) tabulu un grafiku veidā.

Kontrolieris izvēlētajos laika intervālos (piemēram, 60 sekundēs) savāc informāciju no visām pieslēgtajām sensoru sistēmām, veidojot datu tabulas, kuras reizi stundā (vai pēc izvēles kādā citā laika intervālā, vai arī reālā laika režīmā) pārraida uz datoru 200–300 m attālumā, kurā ir instalēta datu glabāšanas un attēlošanas programma, piemēram, slidošs 6–8 stundu grafiks visiem sensoru rādījumiem siltumnīcā, mērīšanas/uzskaites datus parāda grafikos visu uzskaitīto sensoru apstrādāto datu līknes.

4.3. Eksperimentālās siltumnīcas temperatūras un citu parametru mērījumu sistēmas, režīmu uzraudzības un kontroles apraksts

Siltumnīcas temperatūras un citu parametru mērījumu sistēma (4.2.att.) sastāv no šādiem blokiem:

1. Sensori, mērīšanas/uzskaites sensori: Eksperimentālās siltumnīcas temperatūras, mitruma, oglekļa dioksīda koncentrācijas (27 gab.) ārpus eksperimentālās siltumnīcas temperatūras, mitruma, oglekļa dioksīda koncentrācijas (1 gab.), eksperimentālajā siltumnīcā audzēto augu lapu hlorofila satura (1gab.), ārpus eksperimentālās siltumnīcas audzēto augu lapu hlorofila satura (1gab.), augu lapu temperatūras (1 gab.), saules kolektora saražotās siltumenerģijas (1gab.), saules paneļu saražotās elektroenerģijas (1gab.), siltumsūkņa saražotās siltumenerģijas (1gab.), siltummaiņa izejošās siltumenerģijas (1gab.), siltumsūkņa patērētās elektroenerģijas (1gab.), biomasas žāvētāja saņemtās siltumenerģijas (1gab.), biomasas žāvētāja darbināšanai patērētās elektroenerģijas (1gab.) un kopējā patērētās elektroenerģijas (1gab.).



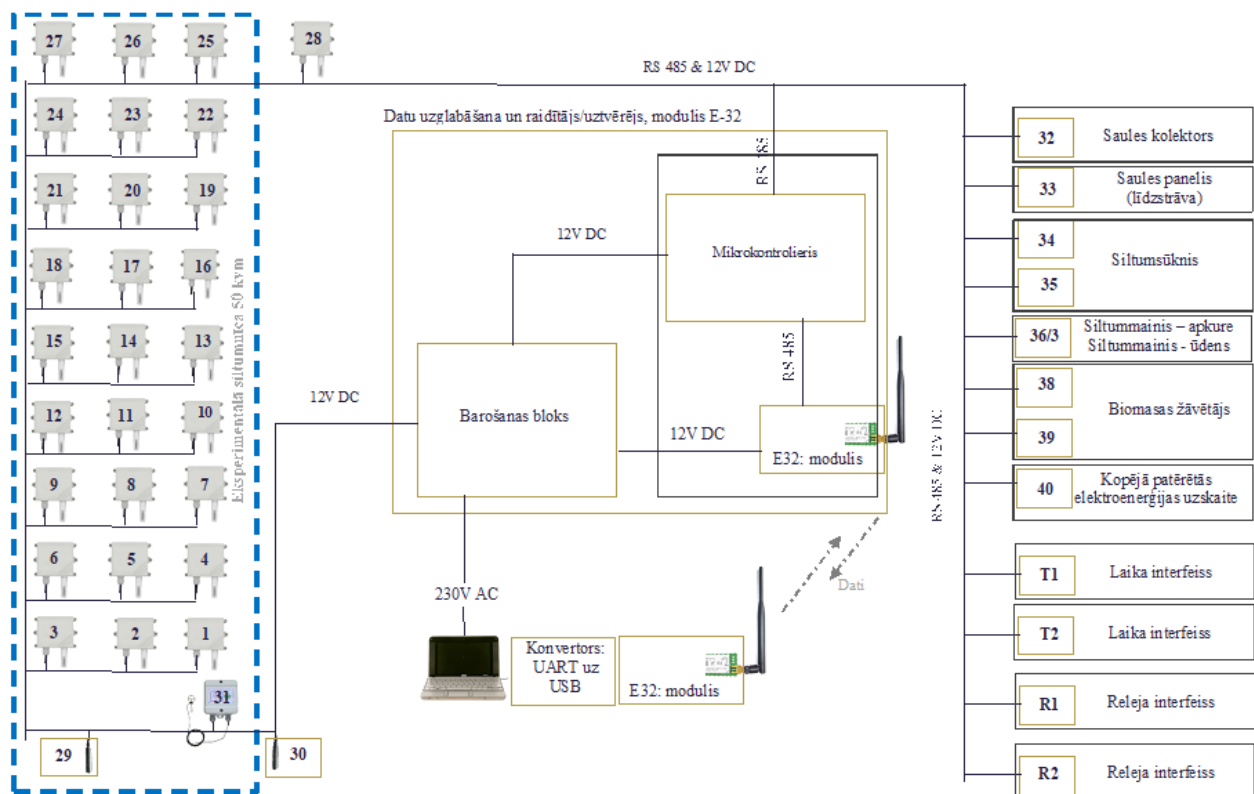
4.2.att. Sensoru izvietojuma shēma eksperimentālajā siltumnīcā (50kvm) SIA "Rītausma"

4. Mikrokontroliera pamatfunkcijas ir:

4.1. ADC digitālās ieejas nolasīšana, kas iegūta no eksperimentālās siltumnīcas temperatūras, mitruma, oglekļa dioksīda koncentrācijas, ārpus eksperimentālās siltumnīcas temperatūras,

mitruma, oglekļa dioksīda koncentrācijas, eksperimentālajā siltumnīcā audzēto augu lapu hlorofila satura, ārpus eksperimentālās siltumnīcas audzēto augu lapu hlorofila satura un augu lapu temperatūru sensoriem, kā arī saules kolektora saražotās siltumenerģijas, saules paneļu saražotās elektroenerģijas, siltumsūkņa saražotās siltumenerģijas, siltummaiņa izejošās siltumenerģijas, siltumsūkņa patērētās elektroenerģijas, biomasas žāvētāja saņemtā siltumenerģijas, biomasas žāvētāja darbināšanai patērētās elektroenerģijas un kopējās patērētās elektroenerģijas mērīšanas/uzskaites sensoriem.

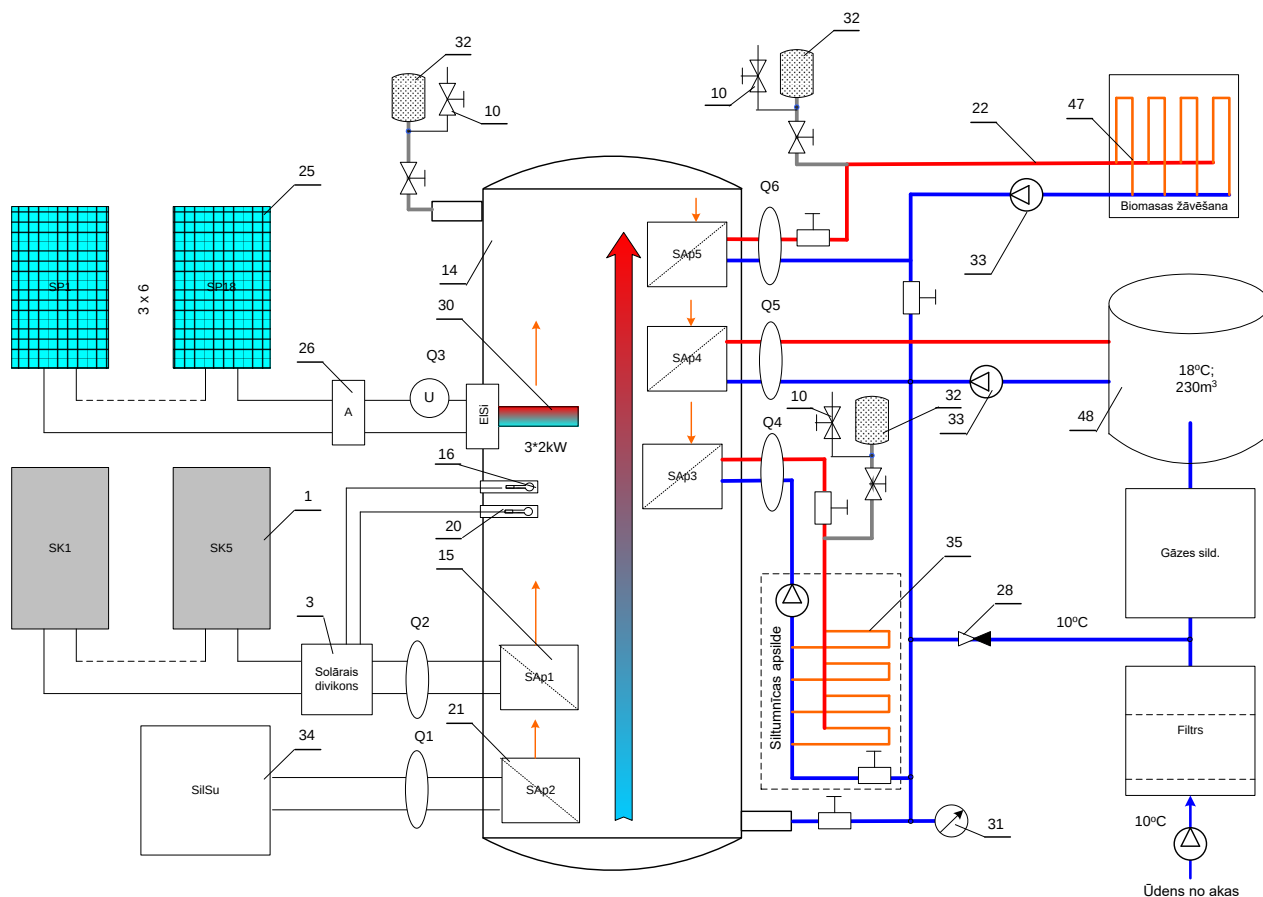
- 4.2. Nosūtot šos datus uz LCD, lai persona, kas uzrauga šo procesu, varētu nolasīt eksperimentālās siltumnīcas temperatūru, mitrumu, oglekļa dioksīda koncentrāciju, ārpus eksperimentālās siltumnīcas temperatūru, mitrumu, oglekļa dioksīda koncentrāciju, eksperimentālajā siltumnīcā audzēto augu lapu hlorofila satura, ārpus eksperimentālās siltumnīcas audzēto augu lapu hlorofila satura un augu lapu temperatūru, kā arī saules kolektora saražotās siltumenerģijas, saules paneļu saražotās elektroenerģijas, siltumsūkņa saražotās siltumenerģijas, siltummaiņa izejošās siltumenerģijas, siltumsūkņa patērētās elektroenerģijas, biomasas žāvētāja saņemtā siltumenerģijas, biomasas žāvētāja darbināšanai patērētās elektroenerģijas un kopējā patērētās elektroenerģijas mērīšanas/uzskaites vērtības.



4.3. att. Temperatūras un citu parametru mērījumu sistēmas, kontroles un vadības sistēmas elektronisko komponentu savienojumu shēma eksperimentālajā siltumnīcā SIA “Rītausma”

- 4.3. Tādu parametru, kā eksperimentālās siltumnīcas temperatūras, apsildes režīmu, releju automātiska ieslēgšana / izslēgšana un kontrolēšana;
- 4.4. Eksperimentālās siltumnīcas temperatūras, mitruma, oglekļa dioksīda koncentrācijas, ārpus eksperimentālās siltumnīcas temperatūras, mitruma, oglekļa dioksīda koncentrācijas, eksperimentālajā siltumnīcā audzēto augu lapu hlorofila satura, ārpus eksperimentālās siltumnīcas audzēto augu lapu hlorofila satura un augu lapu temperatūras, kā arī saules kolektora saražotās siltumenerģijas, saules paneļu saražotās elektroenerģijas, siltumsūkņa saražotās siltumenerģijas, siltummaiņa izejošās siltumenerģijas, siltumsūkņa patērētās elektroenerģijas, biomasas žāvētāja saņemtā siltumenerģijas, biomasas žāvētāja darbināšanai patērētās elektroenerģijas un kopējās patērētās elektroenerģijas mērīšanas/uzskaites vērtību nosūtīšana uz datoru, izmantojot seriālo portu.

5. Releja interfeiss, plānots izmantot vismaz četrus relejus. Pirmais tiks ieslēgts/atslēgts, kad eksperimentālās siltumnīcas temperatūra pārsniegs vēlamu (iestatīto) vērtību, pārējo slēgumu izveido pēc atsevišķas shēmas.
6. Datu pārsūtīšanai starp mikrokontrolieri un datoru izmantots izmanto raidītāja–uztvērēja moduli E–32, lai dati par eksperimentālās siltumnīcas temperatūru, mitrumu, oglekļa dioksīda koncentrāciju, ārpus eksperimentālās siltumnīcas temperatūru, mitrumu, oglekļa dioksīda koncentrāciju, eksperimentālajā siltumnīcā audzēto augu lapu hlorofila saturu, ārpus eksperimentālās siltumnīcas audzēto augu lapu hlorofila saturu un augu lapu temperatūru, biomasa žāvēšanas kameras temperatūru un mitrumu, saražotās un patērētās siltumenerģijas un elektroenerģijas uzskaiti tiktu nosūtītas uz datoru, automātiski, vai arī, kad tiek dota attiecīga komanda.



4.4. att. Eksperimentālās siltumnīcas siltuma apgādes funkcionālās shēma SIA “Rītausma”

Siltumnīcas siltuma apgādes principiālās un funkcionālās shēmu (4.4. att.) specifikācija:

- 1 – saules enerģijas kolektors; 2 – vārsts; 3 – solārais divikons; 4 – sasildītā siltuma nesēja termometrs; 5 – aukstā siltuma nesēja termometrs; 6 – siltuma nesēja cirkulācijas sūknis; 7 – vienvirziena vārsts ar siltuma nesēja plūsmas intensitātes indikatoru; 8 – kolektora temperatūras sensors; 9 – gaisa vārsts; 10 – drošības vārsts; 11 – manometrs; 12 – izplešanās kompensācijas trauks; 13 – pārplūdes trauks; 14 – siltā ūdens tvertne–akumulators (boilers); 15 – siltuma apmainītājs; 16 – temperatūras reģistratora termometrs; 17 – programmējamā saules kolektora darbības vadības ierīce; 18 – temperatūras reģistrators; 19 – siltuma nesēja iepildīšanas vārstu bloks; 20 – tvertnes–akumulatora (boilera) ūdens temperatūras sensors; 21 – siltuma apmainītājs; 22 – siltā (karstā) ūdens sadales vads; 23 – vārsts; 24 – siltā–aukstā ūdens sajaukšanas vārsts; 25 – saules panelis, 250Wp; 26 – automātiskais slēdzis; 27 – vārsts; 28 – vienvirziena vārsts; 29 – strāvas ievada kabelis; 30 – elektriskais ūdens sildītājs; 31 – manometrs; 32 – aukstā ūdens izplešanās kompensācijas trauks; 33 – siltumnesēja cirkulācijas sūknis; 34 – siltuma sūknis; 35 – siltumnīcas apkures (elements) radiators; 36 – siltuma apmainītājs; 37 – siltuma sūkņa kondensators; 38 – kondensatora siltuma apmainītājs; 39 – kompresors; 40 – saspiesta tvaika izplūdes vārsts; 41 – tvaika iesūkšanas vārsts; 42 –

kompresijas vārsts; 43 – iztvaicētāja siltuma apmainītājs; 44 – iztvaicētājs; 48 – ūdens tvertne; 50 – laistīšanas ūdens savācējs.

4.4. Eksperimentālās siltumnīcas savākto datu pārraides kanāla ierīkošana, datu apstrāde, attēlošana un saglabāšana

Eksperimentālās siltumnīcas SIA “Rītausma” temperatūras un citu parametru mērījumu sistēma sastāv no šādiem komponentiem (kā parādīts 4.3. att.):

1. eksperimentālās siltumnīcas temperatūras sensori, Nr.1/1 – 1/27 (27 gab.);
2. eksperimentālās siltumnīcas mitruma sensori, Nr.2/1 – 2/27 (27 gab.);
3. oglekļa dioksīda koncentrācijas sensori, Nr.2/1 – 2/28 (27 gab.);
4. ārpus eksperimentālās siltumnīcas temperatūras sensors Nr.1/28 (1 gab.);
5. ārpus eksperimentālās siltumnīcas mitruma sensors Nr.2/28 (1 gab.);
6. oglekļa dioksīda koncentrācijas sensors Nr.3/28 (1 gab.);
7. eksperimentālajā siltumnīcā audzēto augu lapu hlorofila satura sensors Nr.29 (1gab.);
8. ārpus eksperimentālās siltumnīcas audzēto augu lapu hlorofila satura sensors Nr.30 (1gab.);
9. augu lapu temperatūras sensors Nr.31 (1 gab.);
10. saules kolektora saražotās siltumenerģijas sensors Nr.32 (1gab.); (4.4.att. Q2)
11. saules paneļu saražotās elektroenerģijas sensors Nr.33 (1gab.); (4.4.att. Q3)
12. siltumsūkņa saražotās siltumenerģijas sensors Nr.34 (1gab.); (4.4.att. Q1)
13. siltumsūkņa patērētās elektroenerģijas sensors Nr.35 (1gab.); (elektroinstalācijas shēma)
14. siltummaiņa izejošās apkures siltumenerģijas sensors Nr.36 (1gab.); (4.4.att. Q4)
15. siltummaiņa izejošās ūdens siltumenerģijas sensors Nr.37 (1gab.); (4.4.att. Q4)
16. biomasas žāvētāja saņemtās siltumenerģijas sensors Nr.38 (1gab.); (4.4.att. Q6)
17. biomasas žāvētāja darbināšanai patērētās elektroenerģijas sensors Nr.39 (1gab.);
18. kopējās patērētās elektroenerģijas sensors Nr.40 (1gab.); (elektroinstalācijas shēma)
19. sensori Nr.1/1 – 1/27 (27 gab.) izvietoti eksperimentālajā siltumnīcā, bet sensori Nr. Nr.1/29; 2/29; 3/29 ārpusē pie eksperimentālās siltumnīcas sienas;
20. sensori Nr.32 – 40 izvietoti uz tehnoloģiskajām iekārtām to atrašanās vietās;
21. datu glabāšanas un pārraides modulis, kurā ietilpst mikrokontrolle ar atmiņu, barošanas avots un datu pārraides – uztveršanas modulis E–32 ar antenu;
22. laika un termostata interfeisi izvietoti uz konkrētiem mezgliem atbilstoši iekārtu un mezglu montāžās shēmām.
23. dators ar pievienotu USB pārveidotāju un E–32 raidītāja–uztvērēja moduli ar antenu.

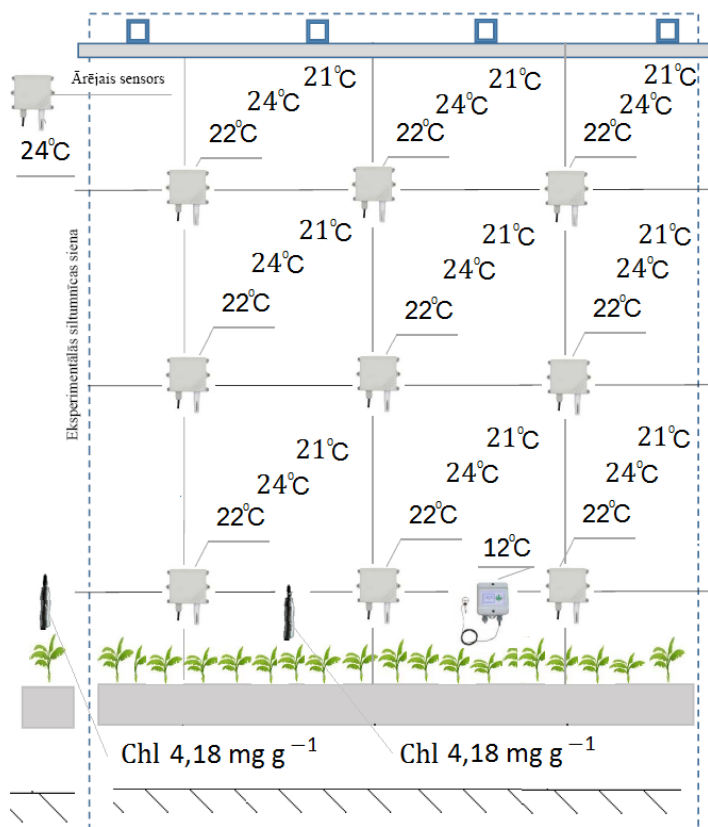
Mikrokontrolle un pievienotie sensori sazinās, izmantojot RS485 sakaru kanālu ar MODBUS RTU datu apmaiņas protokolu. Kontrolle pieprasa (ik pēc 60s, vai pēc cita definēta laika) un saņem informāciju no visiem pievienotajiem sensoriem un to saglabā atmiņā. Raidītāja–uztvērēja moduli E–32 izmanto datu pārsūtīšanai starp kontrolleri un datoru. E–32 sērijas modulis ir UART bezvadu modulis, kuru pamatā ir SEMTECH SX1276 / SX1278 RF mikroshēma, datu apmaiņai pielietojot LoRa pārraides tehnoloģiju.

Laikā, kad dators ir ieslēgts, mikrokontrolera apkopotie dati tiek pārsūtīti uz datoru. Datu apmaiņa tiek pieprasīta ik pēc 60 sekundēm, vai pēc cita definēta laika. Dators satur servera, lietotāja un sistēmas administratora programmas. Servera programma izveido savienojumu ar datu savākšanas sistēmām un darbojas datu bāzē (balstoties uz Interbase programmatūru). Servera programma parāda arī visas sistēmas aktuālo stāvokli.

Lietotāja programma darbojas ar datu bāzi un ļauj redzēt izvēlēto sensoru mērījumu izmaiņas reālā laika režīmā vai noteiktā laika intervālā, gan tabulas, gan diagrammas attēlojumā. Lietotāja programma dod iespēju izvēlēties konkrētā parametra (mitrums, temperatūra, CO₂ koncentrācija, augu lapu hlorofila saturs, augu lapu temperatūra) mērījumu attēlojumu dažādos eksperimentālās siltumnīcas līmeņos izvēlētajā laika periodā (reālā laikā vai arī iepriekšējos (vēsturiskos) datus izvēlētajā laika intervālā), ar iespēju noglabāt datus pārsūtīt uz Excel.

Datorā aplūkojamo (4.5. att.) sensoru (mitrums, temperatūra vai CO₂ un citu parametru) izvēles logs, mērījumu attēlojuma reālā laikā logs (4.5. att. pa kreisi), mērījumu grafiskā attēlojuma logi.

Sistēmas administratora programma arī darbojas ar datu bāzi un ļauj redzēt visus notikumus, kas fiksēti datu bāzē (izvēlētajā formā, pielietojot datu filtrāciju: laika intervāls, notikumu tips u.t.t.).



Rādījumi izvēlētajā laika intervālā:

Temperatūra T°C (vid.) -

Mitrums (vid.), % RH -

Oglekļa dioksīda koncentrācija (vid.) ppm, -

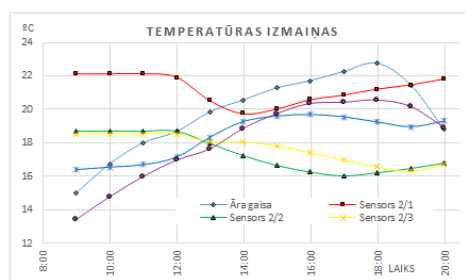
Temperatūra ārējā T°C (vid.) -

Mitrums ārējais (vid.), % RH -

Oglekļa dioksīda koncentrācija ārējā (vid.) -

Augu lapu hlorofila saturs, mg g⁻¹

Grafiskā veidā



4.5. att. Datorā aplūkojamie temperatūras un citu parametru mērījumu sistēmas dati

(Attēlā uzrādītām mērījumu vērtībām ir tikai informatīvs raksturs)

4.5. Sensoru sistēmas kalibrēšana, testēšana

Pirms sensoru sistēmas uzstādīšanas eksperimentālajā siltumnīcā (50kvm) SIA "Rītausma", tiek veikta sensoru sistēmas kalibrēšana, testēšana apkārtējā vidē. Pēc šo darbu veikšanas tiek izveidota sistēma siltumnīcas temperatūras un citu parametru mērījumu režīmu reģistrēšanai, uzraudzībai un kontrolei, kura sastāv no komponentēm, kuras eksperimentālajā siltumnīcā, un tās ārpusē tiek izvietotas atbilstoši shēmā (4.2. att.) norādītajās vietās un attālumos. Pirms komponentu uzstādīšanas tiek veikta to kalibrēšana un testēšana apkārtējā vidē.

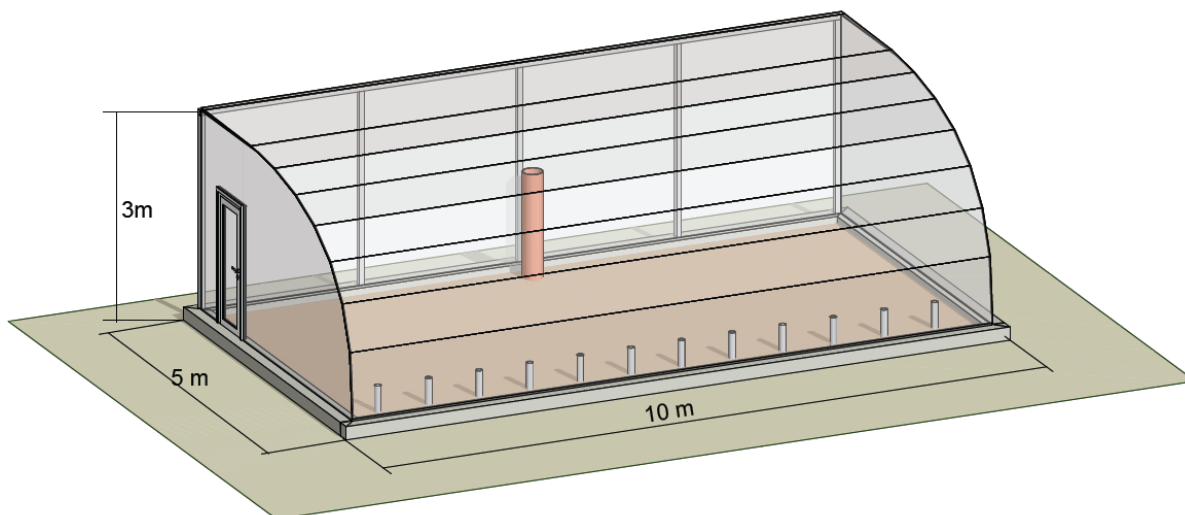
Eksperimentu laikā ar stacionāri uzstādītiem sensoriem mēra šādus parametrus:

1. eksperimentālās siltumnīcas iekšējo temperatūru, sensori Nr.1/1 – 1/27;
2. eksperimentālās siltumnīcas iekšējo mitrumu, sensori Nr.2/1 – 2/27
3. siltumnīcas iekšējo oglekļa dioksīda koncentrāciju, sensori Nr.2/1 – 2/28;
4. ārpus eksperimentālās siltumnīcas temperatūru, sensors Nr.1/28;
5. ārpus eksperimentālās siltumnīcas mitrumu, sensors Nr.2/28;
6. ārpus eksperimentālās siltumnīcas oglekļa dioksīda koncentrāciju, sensors Nr.3/28;
7. eksperimentālajā siltumnīcā audzēto augu lapu hlorofila saturu, sensors Nr.29;
8. ārpus eksperimentālās siltumnīcas audzēto augu lapu hlorofila saturu, sensors Nr.30;
9. eksperimentālajā siltumnīcā audzēto augu lapu temperatūru, sensors Nr.31;
10. un ar skaitītājiem mēra šādus parametrus:
11. saules kolektora saražoto siltumenerģiju, sensors Nr.32 (4.4.att. Q2);
12. saules paneļu saražoto elektroenerģiju, sensors Nr.33 (4.4.att. Q3);
13. siltumsūkņa saražoto siltumenerģiju, sensors Nr.34 (4.4.att. Q1);
14. siltumsūkņa patērēto elektroenerģiju, sensors Nr.35 (elektroinstalācijas shēma);
15. apkurei patērēto siltumenerģiju, sensors Nr.36 (4.4.att. Q4);
16. laistīšanas ūdens uzsildīšanai patērēto siltumenerģiju, sensors Nr.37 (4.4.att. Q5);
17. biomasas žāvēšanai patērēto siltumenerģiju, sensors Nr.38 (4.4.att. Q6);
18. biomasas žāvēšanai patērēto elektroenerģiju, sensors Nr.39;
19. kopējo patērēto elektroenerģiju, sensors Nr.40 (elektroinstalācijas shēma).

4.6. Prasības temperatūras un citu parametru mērījumu sistēmas komponentu izvietojumam pasīvās saules enerģijas akumulācijas eksperimentālajā siltumnīcā (50kvm) ZS Skudriņas

Informāciju sagatavoja: Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Ulbrokas zinātnes centrs sadarbībā ar LLKC

Tika noskaidrots, cik lielu saules enerģijas daudzumu ir iespējams akumulēt Latvijas klimatiskajos apstākļos eksperimentālās siltumnīcas (50kvm) (att. 4.6.) izveidotajā siltumenerģijas akumulācijas slānī. Tas ir nepieciešams, lai pagarinātu veģetācijas periodu siltumnīcā audzējamiem augiem, neizmantojot fosilos enerģijas resursus, kas veicina SEG emisiju.



4.6.att. Pasīvās saules enerģijas akumulācijas eksperimentālās siltumnīcas (50kvm) skīču projekts zs “Skudriņas”

Lai novērtētu pasīvās saules enerģijas akumulācijas iespējas mazas platības siltumnīcā, ir nepieciešams noteikt sekojošus izmēramus parametrus.

Gaisa temperatūra °C

Sensors Nr.1 T°C (T₁)

Sensors caur vadības bloku (mikrokontrolieri) un termoreleju saslēgts kopā ar ventilatoru, ieslēdz to gaisa temperatūrai sasniedzot +30°C, un atslēdz to nokrītot temperatūrai zem +30°C.

Lai nodrošinātu siltuma enerģijas uzkrāšanu ir nepieciešams saules sakarsēts gaiss, tādēļ to ņem siltumnīcā 0,5 m attālumā no jumta kores, kur tiek izvietota 300 mm caurule siltumnīcas siltā gaisa iesūkšanai un novadīšanai uz akumulācijas slāni caur 1 metra dziļumā esošajā akumulācijas slānī 12 gab. novietotām caurulēm.

Sensors Nr.2 T°C (T₂)

Divi sensori izvietoti akumulācijas slānī 1,1 metra dziļumā starp akumulācijas caurulēm. Izvietošanas vietu izrēķina pēc nosacījuma, lai būtu vienāds attālums starp abiem sensoriem un abiem sensoriem vienāds attālums līdz siltumnīcas abām sānu malām (zem zemes).

Sensors Nr.3 T°C (T₃)

Divi sensori izvietoti 0,25 m dziļumā (augu sakņu augšanas zonā). Izvietošanas vieta precīzi virs abiem sensoriem T₂, kuri ir ievietoti 1,20m metra dziļumā.

Sensors Nr.4 T°C (T₄)

Divi sensori, kurus izvieto divu akumulācijas cauruļu izejas galos, kas iznāk virs augsnes 0,2m, tie paredzēti atdzesēta/siltā gaisa novadīšanai siltumnīcā. Sensorus izvieto tajās vietās, kas ir tuvākās tiem sensoriem T₂, kas ir izvietoti akumulācijas slānī starp akumulācijas caurulēm, skatoties siltumnīcas šķērsvirzienā.

Sensors Nr.5 T°C (T₅)

Deviņi sensori, tos proporcionāli izvieto trīs līmeņos (4.9.att. h1, h2, h3) un trīs plaknēs. Precīzu izvietošanu precīzē shēmā vai pēc siltumnīcas karkasa konstrukcijas izveides.

Gaisa temperatūra tiek fiksēta ar intervālu 10 min./24h.

Sensors Nr.6 T°C (T₅)

Lai salīdzinātu āra gaisa un siltumnīcas iekšējo temperatūru, mitrumu un CO₂, blakus siltumnīcai uzstāda āra sensoru, kuri aizsargāti no tieša saules starojuma.

Gaisa plūsmas mērītājs (m³/h)

Darbojas paralēli ventilatora darbībai.

Nepieciešams sensors, kas fiksē, cik daudz uzsildītā gaisa tiek iesūkts akumulācijas sistēmā. Siltais gaiss kalpo kā siltuma nesējs siltumnīcas akumulācijas slāņa (1.2 m) uzsildīšanai.

Laika relejs

Pieslēdz pie ventilatora, kas ieslēdzas laika sprīžos, kad ir iespējama saules siltuma akumulācija. Laika nogrieznis stundas, vai, ja nepieciešams, pārregulē uz minūtēm. Nepieciešams, lai fiksētu akumulācijas iekārtas darbības ilgumu 24 stundu laika nogrieznī. Tā tiek noteikts, cik katrā no mēnešiem veidojas piemēroti apstākļi saules siltuma akumulācijai.

Uzkrātā enerģija

Vēl ir nepieciešams noteikt akumulēto saules enerģiju kW/m³ uz akumulācijas slāņa m³.

Gaisa mitrums RH, %

Siltumnīcā gaiss vienmēr satur zināmu daudzumu ūdens tvaiku. No tā izriet, ka pie lielākas gaisa temperatūras ir lielāks mitruma saturs siltajā gaisā. Šajos apstākļos veidojas rasas punkts jeb temperatūra, kurā gaisa mitrums sāk kondensēties, veidojot rasu.

Siltumnīcās gaisa mitrums naktī parasti ir augsts, jo logi un durvis ir ciet, bet augi turpina elpot un iztvaikot ūdeni. Visvairāk tas notiek vakarā un nakts sākumā, kamēr gaiss un augi vēl ir silti. Īsi pirms saullēkta gaisa temperatūra gan ārā, gan neapkurināmā siltumnīcā ir viszemākā, tāpēc arī augi ir auksti. Lai kontrolētu gaisa mitrumu, nepieciešams uzstādīt siltumnīcā mitruma sensorus.

Sensors Nr.1 M, RH, % (M₁)

Sensora (M₁) pieslēguma vieta ir tā pati, kas sensoram (T1). Sensors (T1) ieslēdz ventilatoru gaisa temperatūrai sasniedzot +30°C, un atslēdzot to nokrītot temperatūrai zem +30°C, bet sensors (M1) fiksē mitrumu gaisa plūsmā un reģistrē to.

Sensors Nr.4 RH, % (M₄)

Nepieciešami divi, tos izvieto divu akumulācijas izejas cauruļu galos, kas iznāk virs augsnes, kopā ar sensoru (T4). Izvieto tuvāk tiem sensoriem, kas izvietoti akumulācijas slānī starp akumulācijas caurulēm, skatoties siltumnīcas šķērsvirzienā.

Sensors Nr.5 RH, % (M₅)

Nepieciešami deviņi, tos proporcionāli izvieto trīs līmeņos un divās plaknēs. Precīzu izvietojumu precizē shēmā vai pēc siltumnīcas karkasa konstrukcijas izveides.

Gaisa relatīvo mitrumu fiksē reizi stundā.

4.7. Elektroniskās shēmas sensoru sistēmai un datu uztveršanas sistēmai izstrāde

Blokshēma parādīta attēlā 4.10. Kontroliera izvēlētais laiks datu reģistrēšanai intervālos (piemēram, 60 sekundes) savāc informāciju no visām pieslēgtajām sensoru sistēmām, veidojot datu tabulas, kuras reizi stundā (vai pēc izvēles kāda cita laika, vai arī reālā laika režīmā) pārraida uz datoru līdz 300 m attālumā. Datorā paredzama datu noglabāšanas un attēlošanas programma, piemēram, slidošs 6–8 stundu grafiks visiem T, M un CO₂ sensoru rādījumiem siltumnīcā, akumulācijas slānī, atsevišķi apkārtējā gaisā, grafikos būs redzamas visu uzskaitīto sensoru datu līknes.

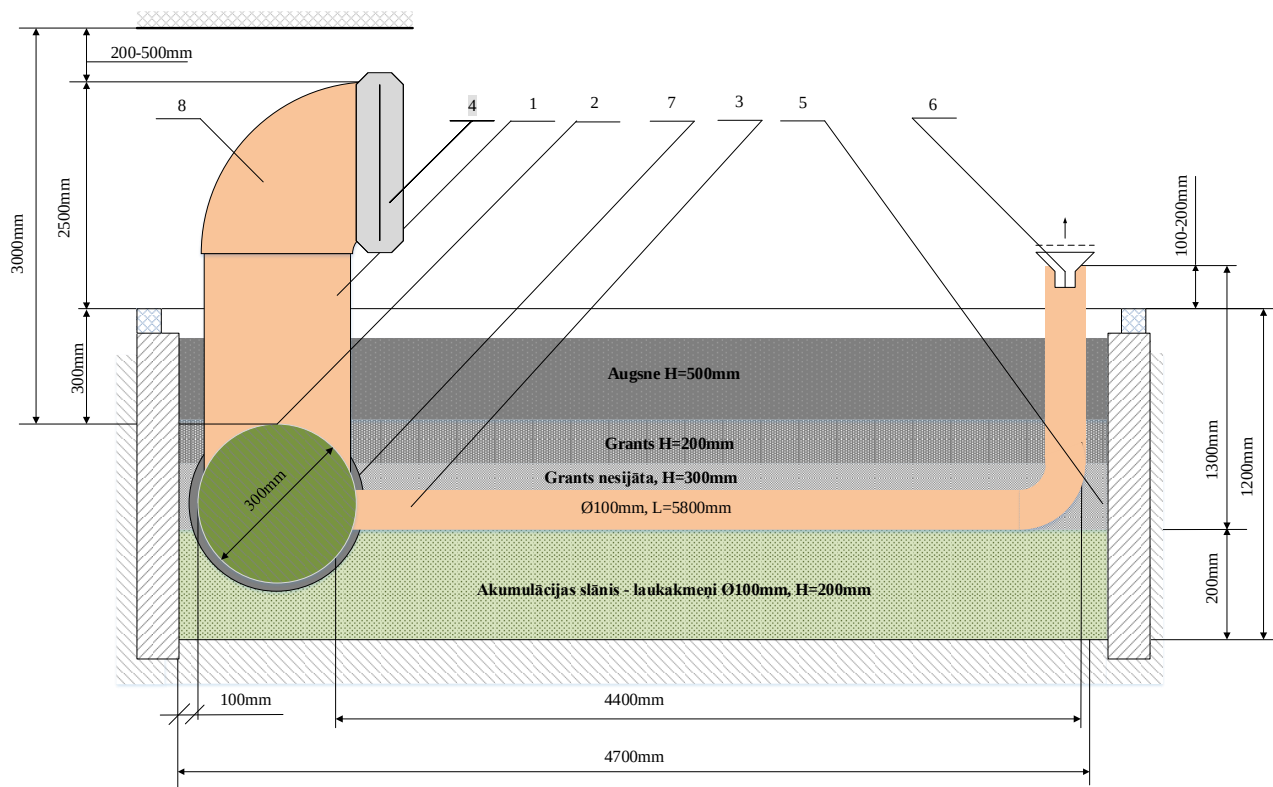
4.8. Projekta realizējamās zs “Skudriņas” eksperimentālās siltumnīcas (50kvm) temperatūras un citu parametru mērījumu sistēmas apraksts

Iegūtos aktuālos datus (parametrus) mikrokontrolieris caur seriālo portu parāda monitorā (LCD) tabulu un grafiku veidā.

Temperatūru, mitrumu, oglekļa dioksīda koncentrāciju uztver attiecīgie sensori, bet saražotās un patērētās siltumenerģijas, elektroenerģijas uzskaiti nodrošina mērīšanas sensori.

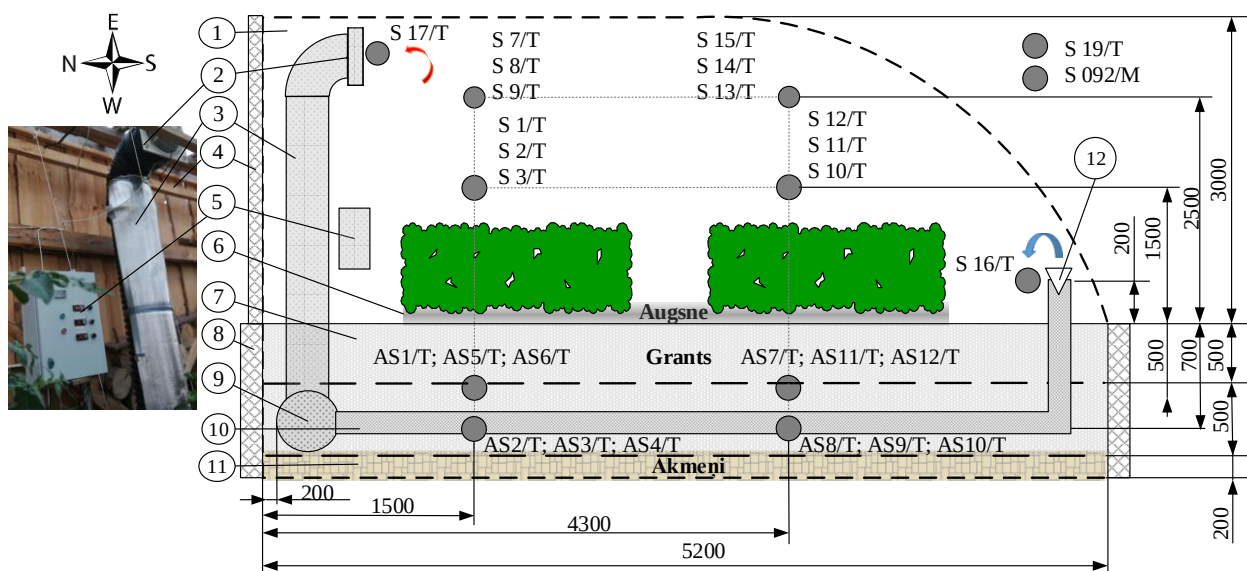
Mikrokontrolieris kontrolē, nodrošina šos siltumnīcas nepieciešamo parametru uzturēšanu noteiktajos režīmos, izmantojot releja vai termostata interfeisu.

Šos relejus savienos ar darbināšanai nepieciešamām ierīcēm (ventilatoru), kā arī pievieno pārējām nepieciešamajām ierīcēm.



4.7.att. Pasīvās saules enerģijas akumulācijas siltumnīcas (50kvh) izbūves skice zs “Skudriņas”

4.9. Saules enerģijas akumulācijas siltumnīcas (50kvh) temperatūras un citu parametru mērījumu sistēmas apraksts



4.8.att. Sensoru un komponentu izvietojuma shēma eksperimentālajā siltumnīcā (50kvh) zs “Skudriņas”

Sensoru specifikācija

Siltumnīcā izvietotie sensori (4.8.att.): Sensors S 01/T; M; Sensors S 02/T; M; Sensors S 03/T; M; Sensors S 04/T; M; Sensors S 05/T; M; Sensors S 06/T; M; Sensors S 07/T; M; Sensors S 08/T; M; Sensors S 09/T; M; Sensors S 10/T; M; Sensors S 11/T; M; Sensors S 12/T; M

Akumulācijas caurulēs (izplūdes) izvietotie sensori: Sensors S 13/T; M; M Sensors S 14/T; M; M Sensors S 15/T; M; M Sensors S 16/T; M

Ieplūdes caurule: Sensors S 17/T; M; M Sensors V 18/

Āra sensors: Sensors S 19/T; M

Akumulācijas slānī izvietotie sensori:

Virš akumulācijas caurulēm Sensors AS 01/T; M Sensors AS 02/T; M Sensors AS 03/T; M Sensors AS 04/T; M Sensors AS 05/T; M Sensors AS 06/T; M

Starp akumulācijas caurulēm Sensors AS 07/T; M Sensors AS 08/T; M Sensors AS 09/T; M Sensors AS 010/T; M Sensors AS 011/T; M Sensors AS 012/T.

Akumulācijas slāņa raksturojums

No grants veidotā (4.8.att.) siltuma akumulācijas slāņa (7) biezums 800 mm, zem tā 200 mm biezs akmeņu slānis kondensācijas mitruma novadīšanai no perforētajām siltuma apmaiņas caurulēm. Grants raksturojums: blīvums, 800 kg m^{-3} , energoietilpība 0.84 kJ kg K un siltuma vadītspēja 0.23 W m K [1]. Pa perimetru siltumnīcai izveidots 50 mm biezs pamatu polipropilēna plātņu siltinājums (8), siltumnīcas segums 6mm polikarbonāta loksne, ar slīpumu pret dienvidu pusi. Ievietošanai akumulācijas slānī izvēlētas 100 mm diametra siltumapmaiņas PVC gofrētas perforētas caurules (10) ar attālumu starp caurulēm 800 mm (4.9.att.), aptuveni šādu cauruļu diametru un attālumu iegūstam, izmantojot [2] pētījumā dotos cauruļu izvēles un izvietojuma kritērijus. Kopējais siltumapmaiņas cauruļu skaits 12, tās novietotas uz 200 mm bieza akmeņu krāvuma, atrodas 1000 mm dziļumā, kas atbilst citu autoru [3, 4] ieteiktajam. Siltumapmaiņas cauruļu (4.9.att.) viens gals 90° leņķī izvadīts 200 mm virs akumulācijas slāņa, otrs pievienots 300 mm diametra sadalītājscaurulei (9), kuras centrā pievienota 300 mm vertikāla ieplūdes caurule (3) ar pievienotu ventilatoru (2). Ventilatora jauda 40 W, plūsmas ātrums 4 m s^{-1} , ražīgums $800 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, tas nodrošina seškārtīgu gaisa apmaiņu stundā. Ventilatora darbību regulē vadības bloks (5), izejošo gaisa plūsmu no akumulācijas slāņa iestata ar deflektoriem (12), kuri uzmontēti uz siltumapmaiņas cauruļu (10) izejām. Siltumnīca paredzēta tomātu audzēšanai.

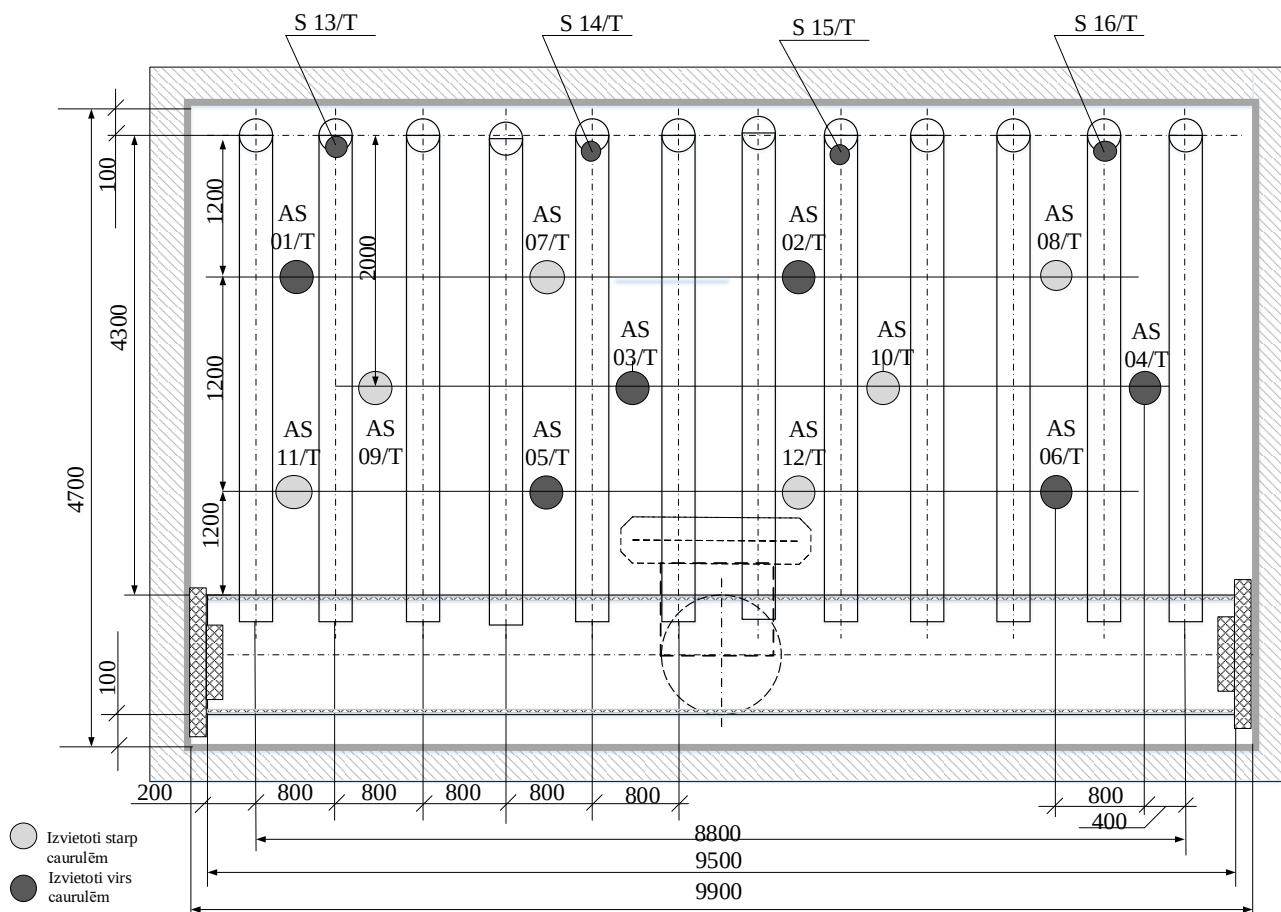
Režīmu uzraudzība un kontrole

Režīmu uzraudzībai un kontrolei, kā arī siltumenerģijas akumulācijas efektivitātes novērtēšanai izveidota temperatūras un mitruma mērījumu datu reģistrēšanas un uzglabāšanas (PostgreSQL) sistēma [5]. Mērījumu sistēmā (4.8. att.) ietilpst 17 siltumnīcā uzstādīti temperatūras sensori (S1/T – S17/T) un divi sensori āra gaisa temperatūras un mitruma noteikšanai (S19/T un S092/T), kā arī 12 gab. akumulācijas slānī (4.9. att.) 500 mm un 700 mm līmenī uzstādīti temperatūras sensori (AS01/T – AS12/T). Pētījuma sensori tika izstrādāti, lai samazinātu termisko inerci, skaidri pakļaujot mikroshēmas gaisa plūsmai un samazinot savienoto masu. [6]

Siltumnīcas temperatūras un citu parametru mērījumu, režīmu uzraudzības un kontroles sistēma sastāv no šādiem blokiem:

1. Sensori: temperatūras, mitruma, oglekļa dioksīda koncentrāciju, gaisa plūsmas apjoma un saules starojuma enerģijas uztveršanai tiks izmantoti temperatūras, mitruma, gaisa plūsmas, oglekļa dioksīda koncentrāciju un saules starojuma enerģijas mērīšanas sensori.
4. Mikrokontroliera pamatfunkcijas ir:
 - 4.1. ADC digitālās ieejas nolasīšana, kas iegūta no visiem uzstādītajiem sensoriem.
 - 4.2. Veikt temperatūras un mitruma kontroli, automātisku releju ieslēgšanu / izslēgšanu;
5. Relejs: plānots izmantot četrus relejus. Pirmais tiks ieslēgts (ventilators), kad temperatūra pārsniegs $+30^\circ\text{C}$ vērtību. Otrais relejs tiks ieslēgts, kad mitrums pārsniegs vēlamo vērtību. (piemēram, ja vēlamā temperatūras vērtība ir $+30^\circ\text{C}$ un mitrumam tā ir 50%, tad 1. relejs tiks ieslēgts, kad temperatūra sasniegta $+30^\circ\text{C}$, un otrais relejs tiks ieslēgts, ja mitrums ir 51% vai augstāks)
7. Datora saikne. Saiknei ar datoru var izmantot RS485 un moduli E32, lai visus iegūtos datus automātiski nosūtītu uz datoru, vai arī, kad tiks dota attiecīga komanda, lai personai, kas uzrauga šo procesu, varētu nolasīt mērījumu vērtības.

Eksperimentālās siltumnīcas SIA “Skudriņas” temperatūras un citu parametru mērījumu savākto datu pārraides kanāla ierīkošana, apstrāde, attēlošana un saglabāšana.



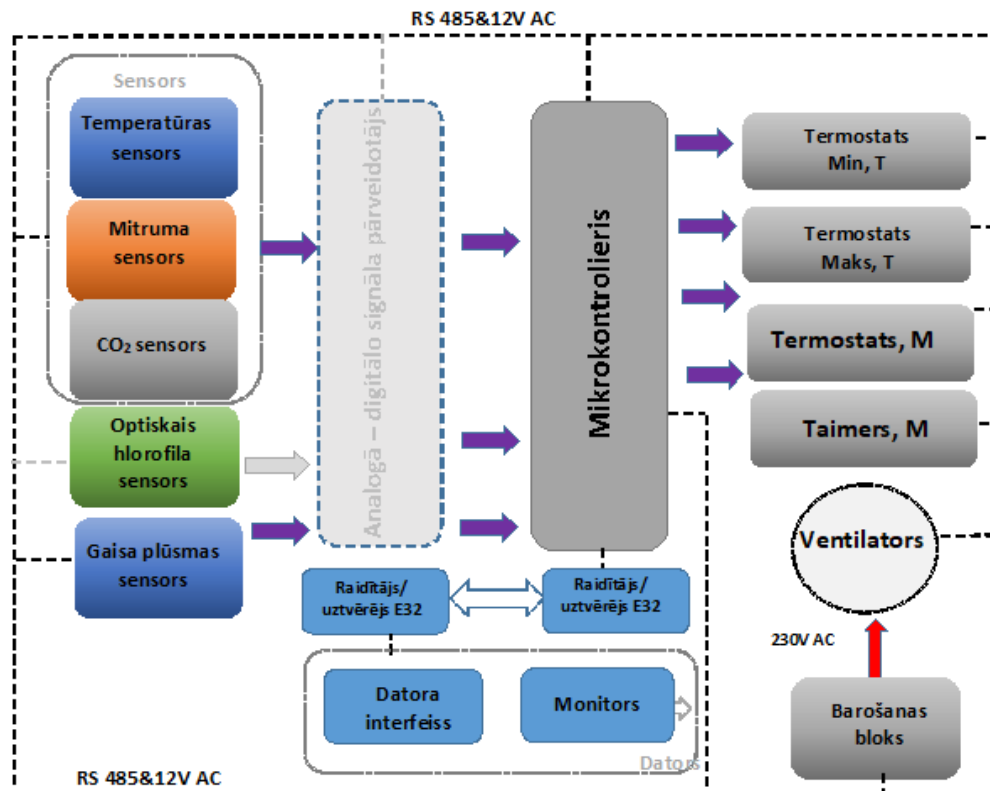
4.9. att. Temperatūras un citu parametru mērījumu sistēmas savienojumu shēma eksperimentālajā siltumnīcā zs “Skudriņas”

Siltumnīcas temperatūras un citu parametru mērījumu, režīmu uzraudzības un kontroles sistēma sastāv no šādiem komponentiem (skatīt 4.9 att.):

1. eksperimentālās siltumnīcas temperatūru sensori, Nr.1/1 – 1/18 (18 gab.);
2. eksperimentālās siltumnīcas mitrumu sensori, Nr.2/1 – 2/18 (18 gab.);
3. oglekļa dioksīda koncentrāciju sensori, Nr.3/1 – 3/18 (18 gab.);
4. ārpus eksperimentālās siltumnīcas temperatūras sensors, Nr.21T (1 gab.);
5. ārpus eksperimentālās siltumnīcas mitruma sensors, Nr.20M (1 gab.);
6. ārpus eksperimentālās siltumnīcas oglekļa dioksīda koncentrācijas sensors Nr.19M (1 gab.);
7. eksperimentālās siltumnīcas akumulācijas slāņa temperatūru sensori, Nr.24/T– 31/T (8 gab.);
8. saules radiācijas mērīšanas sensors Nr.32S (1gab.) ārpus eksperimentālās siltumnīcas;
9. akumulācijas slānī ieplūstošā gaisa temperatūras sensors, Nr.22T (1 gab.);
10. akumulācijas slānī ieplūstošā gaisa mitruma sensors, Nr.23M (1 gab.);
11. akumulācijas slānī ieplūstošā gaisa plūsmas mērīšanas sensors, Nr.34V (1 gab.);
12. no akumulācijas slāņa izplūstošā gaisa temperatūras sensors, Nr.32T (2 gab.);
13. no akumulācijas slāņa izplūstošā gaisa mitruma sensors, Nr.33M (2 gab.);
14. sensori Nr.1/1 – 1/18 (18 gab.) izvietoti eksperimentālajā siltumnīcā, bet sensori Nr. Nr. 19; 20; 21; 34 ārpusē pie eksperimentālās siltumnīcas sienas;
15. sensori Nr.22 – 23 izvietoti uz tehnoloģiskajām iekārtām to atrašanās vietās.
16. datu glabāšanas un pārraides modulis, kurā ietilpst mikrokontroleris ar atmiņu, barošanas avots un datu pārraides – uztveršanas modulis E–32 ar antenu;
17. laika un termostata interfeisi izvietoti uz konkrētiem mezgliem atbilstoši iekārtu un mezglu montāžās shēmām.
18. dators ar pievienotu USB pārveidotāju un E–32 raidītāja–uztvērēja moduli ar antenu.

Mikrokontrolieris un pievienotie sensori sazinās, izmantojot RS485 sakaru kanālu ar MODBUS RTU datu apmaiņas protokolu. Kontrolieris pieprasa (ik pēc 60s, vai pēc cita definēta laika) un saņem informāciju no visiem pievienotajiem sensoriem un to saglabā atmiņā.

Raidītāja–uztvērēja moduli E–32 izmanto datu pārsūtīšanai starp kontrolleri un datoru. E–32 sērijas moduļi ir UART bezvadu moduļi, kuru pamatā ir SEMTECH SX1276 / SX1278 RF mikroshēma, datu apmaiņai pielietojot LoRa pārraides tehnoloģiju.



4.10. att. Sensoru un datu uztveršanas sistēmas blokhēma zs “Skudriņas”

Kad dators ir ieslēgts, mikrokontroliera apkopotie dati tiek pārsūtīti uz datoru. Datu apmaiņa tiek pieprasīta ik pēc 60 sekundēm, vai pēc cita definēta laika.

Dators satur servera, lietotāja un sistēmas administratora programmas. Servera programma izveido savienojumu ar datu savākšanas sistēmām un darbojas datu bāzē (balstoties uz Interbase programmatūru). Servera programma parāda arī visas sistēmas aktuālo stāvokli.

Literatūras avoti

1. M. Savytskyi, V. Danishevskyy, M. Bordun. Accumulation of solar energy to heat greenhouses. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 985, 15th International Scientific and Technical Conference "Problems of the railway transport mechanics" (PRTM 2020) 27–29 May 2020, Dnipro, Ukraine DOI 10.1088/1757–899X/985/1/012013
2. Osama Asa'd. Investigation of the energetic performance of an attached solar greenhouse through monitoring and simulation. December 2019, Energy for Sustainable Development 53(5):15–29 DOI:10.1016/j.esd.2019.09.001
3. L. Gourdo, H. Fatnassi, R. Tiskatine et.al. Solar energy storing rock–bed to heat an agricultural greenhouse. Energy 169 (2019) 206e212. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.036>
4. John W. Bartok, Jr. Geothermal Heat for Greenhouses. *Agricultural Engineer Natural Resources Mgt. & Engr. Dept. University of Connecticut, Storrs CT* 2008. <https://ag.umass.edu/greenhouse-floriculture/fact-sheets/geothermal-heat-for-greenhouses>
5. Auce A., Ivanovs S., Jermuss A., Grinbergs U., Rucins A. Study of the distribution of air temperature in a greenhouse heated by air to air heat pump. “Environment. Technology. Resources”. Proceedings of the 13 th International Scientific and Practical Conference. Rezekne, Latvia, vol. 1, 2021, pp. 17 – 22.
6. A. Auce, A. Rucins, A. Jermuss, I. A. Horns, U. Grinbergs. Use of heating pump to reduce carbon footprint of greenhouse heating. 21st International scientific conference "Engineering for rural development": proceedings, Jelgava, Latvia, May 25–27, 2022. Latvia University of Life Sciences and Technologies. Faculty of Engineering Jelgava, 2022. Vol.21, 307.–312.lpp. DOI: 10.22616/ERDev.2022.21.TF096

6. NODAĻA. TEHNOLOĢISKO PROCESU RISINĀJUMU IZSTRĀDE

Informāciju sagatavoja: Latvijas Universitāte, Ķīmiskās fizikas institūts

6.1. Siltuma – aukstuma apgādes efektīvākā tehnoloģiskā procesa risinājumi segtajām platībām un gatavās produkcijas pārstrādei

Izstrādāts principiālais siltuma – aukstuma apgādes efektīvākā tehnoloģiskā procesa risinājumus segtajām platībām un gatavās produkcijas pārstrādei. Izstrādātais process paredz tiešu ūdens sildīšanu ar PV paneļu (saules paneļu) iegūto strāvu, tiešu ūdens sildīšanu ar saules kolektoru iegūto siltumu un šo sildīšanas elementu integrēšanu ar gaiss–ūdens tipa siltumsūkni, kura darba regulēšana notiek atkarībā no nepieciešamības pēc siltuma, laikā kad Saules enerģijas ir nepietiekami daudz. Sistēmu integrēšana ir izplānota ar siltuma akumulatora palīdzību, kurš tiek regulēts no gaiss–ūdens siltumsūkņa sistēmas. Saulainas dienas laikā iegūto siltuma pārpalikumu ir paredzēts novirzīt artēziskā laistīšanas ūdens apsildīšanai. Vasaras posmā tehnoloģiskais process paredz pārpalikuma siltumu novirzīt papildus arī biomasas žāvēšanas sistēmai. Turpinās darbs pie biomasas žāvēšanas sistēmas piemērotākā risinājuma izstrādes, lai to varētu integrēt ar pārējo eksperimentālo sistēmu.

Veikti dažādu darba vielu un siltuma akumulatoru pētījumi. Pētījumu rezultātā ir secināts, ka ekonomiski piemērotākie siltumnīcas vajadzībām ir ūdens akumulatori, kas ir viegli mērogojami un piemēroti siltuma uzrāšana augsnē un iežos (Latvijas gadījumā augsnē vai zemaugsnes materiālā). Ir vērtētas arī iespējas eksperimentāli izmantot arī citus enerģijas uzkrāšanas veidus, bet gala secinājums par šo iespēju potenciālo izmantošanu vēl nav pieņemts.

6.2. Darba vielu un piemērotāko siltuma akumulatora veidu pētījumi

Veikti darba vielu un piemērotāko siltuma akumulatora analīze. Definēti galvenie siltuma akumulācijas veidi:

- Ūdens vai cita materiāla sildīšana.
- Ūdens ir viens no lētākajiem un pazīstamākajiem siltuma uzglabāšanas veidiem, turklāt ir neierobežoti mērogojams. Lielu temperatūru gadījumā iespējams uzglabāt tvaiku augstā spiedienā.
- Iespējams sildīt arī citus materiālus – betonu, keramiku, šķidrus sāļus, galvenokārt nitrātu, maisījumus – līdz augstām temperatūrām (virs 500°C), kas dod augstāku enerģijas blīvumu.
- Ūdens siltuma akumulācijas tvertnes izmaksas ir apmēram 1000eur/t ietilpības. Ūdens siltuma ietilpība ir 4.2 kJ/kgK
- Zemes sildīšana vai cita materiāla sildīšana
- Izmantojot gaisa plūsmu caur zemē ierīkotām caurulēm iespējams panākt gan ierīkošanā, gan ekspluatācijā lētu siltuma akumulāciju iežos zem ēkas. Metodes trūkums ir samērā lieli siltuma zudumi. Siltuma enerģijas uzkrāšanas materiāli ir salīdzinoši dārgi pret uzkrāto siltuma daudzumu.
- Keramikas bumbiņas – cena ap 500 EUR/t, siltumietilpība – 0.7 kJ/kg, keramikas bloki ar caurumiem (honeycomb) – cena ap 1500 EUR/t, siltumietilpība ap 1kJ/kg
- Fāzu pārejas materiāli.

Siltuma enerģijas uzglabāšanā galvenokārt tiek izmantoti dažādi parafīni. Izvēloties specifisku maisījumu, iespējams panākt, ka fāzu maiņa notiek izvēlētajā temperatūrā, tādējādi nodrošinot stabilu, konstantu temperatūras režīmu gan sildīšanā, gan dzesēšanā. Materiālu trūkums ir relatīvi zema siltumvadītspēja un augsta cena.

PCM parafīns cena ir ap 1000 EUR/t, ja pērk 1 tonnu, ap 100 EUR/t, ja pērk 100 tonnas, kušanas siltums 150 kJ/kg, siltumietilpība 3.2 kJ/(kg*K).

Pie fāzu pārejas materiāliem tiek pieskaitīti arī sāļi hidratī, kur siltums tiek uzglabāts un atbrīvots endotermiskās un eksotermiskās reakcijās, veidojot kristālus no sāļi šķīduma. Metodei raksturīga augstāka siltumvadītspēja, taču materiāli ir korozīvi, tādēļ sarežģīti ekspluatācijā. Metode piemērota arī ilgstošai enerģijas uzglabāšanai, jo sausā stāvoklī istabas temperatūrā sāļi uzglabājami bez enerģijas zudumiem vairākus mēnešus vai pat gadus, kā arī ir transportējami.

Kalcija hlorīds CaCl_2 varētu būt izplatītākais no sāļiem, šķiet viens no tiem, kas nekorodē metālus, bet neesmu drošs, cena 100–200 EUR/t, heksahidrāts – kušanas siltums 170 kJ/kg.

Elektrības akumulatori

Elektrības akumulatori ir ar ļoti augstu enerģijas blīvumu, taču ar ilgstošu atkārtotu lietošanu degradējas. Galvenie veidi ir litija un svina-skābes akumulatori. Litija akumulatori ir ar ievērojami lielāku enerģijas blīvumu un mazākiem zudumiem, taču daudz dārgāki.

Elektrības akumulatori ir ievērojami dārgāki nekā siltuma akumulatori. Litija akumulatori 12V 200ah (8620 kJ) 400 EUR. Svina skābes akumulatori 12V 200ah (8620 kJ) 170 EUR.

Secinājums: praktiskajā izpētē būs redzams, kādus lietošanas parametrus izdodas sasniegt ar daļēji pasīvo siltuma uzkrāšanu augsnē.

Eksperimentālajai sistēmai integrācijai ar siltumsūkni un saules kolektoriem piemērotākā būtu ūdens izmantošana siltuma uzkrāšanai. Saules paneļiem (PV) var izskatīt uzkrāšanas papildināšanu ar elektrības akumulatoriem atsevišķu tehnoloģisko vajadzību nodrošināšanai.

Iespējams, ka izdevīgākais risinājums liela apjoma siltuma uzkrāšanai varētu būt PCM parafīns ar atbilstoši piemērlētu kušanas temperatūru. Tomēr mazā siltumvadītspēja un īpašās vajadzības sistēmas izveidošanā padara to mazāk piemērotu sistēmai, kura ir jāintegrē ar jau esošu uz ūdens bāzes veidotu apsildes sistēmu. Potenciāli interesanta sistēma tālākiem pētījumiem citos projektos varētu būt no plāniem blokiem sastāvoša PCM parafīnu daļēji pasīvā akumulācijas sistēma, kura uzkrāj dienas pārpaliekošo siltumu, lai to atdotu naktī. Ņemot vērā augu atšķirīgās prasības pēc temperatūras naktī un dienā, tad šādai sistēmai varētu būt vajadzīga aktīvā temperatūras uzturēšanas sistēma ar temperatūras kontrolieri un ventilatoru.

6.3 Biomasas žāvēšanas iekārtas tehnisko parametru izstrāde

Informāciju sagatavoja: Latvijas Universitāte, Ķīmiskās Fizikas Institūts

Veikta biomasas žāvēšanas iekārtas tehnisko parametru izstrāde dažādu tipu 10 kW biomasas žāvēšanas iekārtai. Veikta žāvējamā materiāla izvēle biomasas žāvēšanas modeļu sistēmai. Kā darba materiāls ir izvēlētas koka skaidas un citi mazu daļiņu izmēra biomasas veidi. Veikts analītiskais darbs lai noteiktu piemērotāko siltuma avotu biomasas žāvētājam un piemērotāko iekārtas tipu. Iespējamie biomasas žāvētāju veidi: Biomasas tips: sīki sasmalcināta biomasā (skaidas).

Biomasas žāvētāja principiālā uzbūve: tiek padota silta gaisa plūsma, kas tiek ievadīta vai nu skaidu transporta sistēmā (tādā skaidru transporta sistēmā, kas tiek darbināta ar gaisu un ventilatoriem), tādā gadījumā siltais gaiss pazemina mitrumu un žāvē skaidas to transporta procesa laikā. Vai arī siltais gaiss tiek novirzīts uz biomasas krātuvi, kur tas plūst cauri stacionāri izvietotai biomasai.

- 1. veids: siltuma avots – saules kolektori. Siltā gaisa darba temperatūra līdz 100°C, darba temperatūra mainīga atkarībā no saules gaismas intensitātes. Tiek žāvēts gaiss ko padod transporta sistēmai. Nepārtraukta procesa īstenošanai šādam žāvētājam būtu jāstrādā kopā ar kādu pastāvīgi uzturamu siltuma avotu – kā krāsnī vai elektrisko sildītāju vai gaiss-gaiss siltumsūkni. Sistēmu var papildināt darbinot siltā gaisa padevi ar ventilatoriem, kurus darbina PV paneļu strāva tiešā veidā bez konvertoriem.
- Sistēmas darbības nepārtrauktību var uzlabot ar siltuma akumulatoru.
- 2. veids: siltuma avots – gaiss-ūdens siltumsūknis. Siltā gaisa temperatūra 60°C, iespējams, bet ievērojami dārgāk līdz 80°C. Tiek žāvēts gaiss ko padod transporta sistēmai vai citai žāvēšanas sistēmai.
- 3. veids: siltais gaiss tiek padots stacionāri novietotai biomasai. Šādam risinājumam ir nepieciešama salīdzinoši liela biomasas krātuve.
- 4. veids: siltais gaiss tiek padots biomasai, kura ir kustībā (ar skrūvi vai ventilatoru vai kā citādi) un biomasā tiek pārvietota no mitrās novietnes uz sauso. Šāda veida priekšrocība ir iespēja izmantot siltumu bez noteiktiem laika ierobežojumiem, jo siltums var tikt izmantots tad, kad tas ir pieejams.

Paneļu nepieciešamie parametri:

- Paneļu tips: plakanie/plākšņu saules kolektori;
- Izmērs: 2000x1000 mm +/- 200mm (jānoskaidro – jāsaskaņo ar siltumnīcas iespējām. Eksistē arī kolektori 4.5x1.5m, nosakot izmēru, mēs izslēdzam šādu varbūtību, lai arī praktiski tas varētu būt, ka der);

- Masa: līdz 30kg/m^2 (darba režīmā, ar šķidrumu);
- Virsmas materiāls: Rūdīts skrāpējumu un triecienizturīgs solārais stikls;
- Sniega slodzes izturība: vismaz 5000Pa ;
- Vēja slodzes izturība: vismaz 2000Pa ;
- Darba temperatūras diapazons: -30°C līdz 85°C ;
- Citas prasības: selektīvais absorbētāja pārklājums;
- Kolektoriem nepieciešama aizsardzība pret pārkaršanu un pret sasalšanu;
- Cenu piedāvājumam pievienot arī atbilstoša izmēra izplešanās trauku un vismaz 800l karstā ūdens tvertni, kā arī cirkulācijas sūkni ar kontrolieri;
- Nomas periods: 18 mēneši;
- Norādīt iespējamo piegādes laiku; vēlams ne ilgāks kā 1 mēnesis;
- Papildus izvēles kritēriji;
- Pie līdzīgiem piedāvājumiem priekšroka tiks dota risinājumam ar lielāko absorbējošā laukuma un cenas attiecību, kā arī risinājumiem ar augstāku efektivitātes rādītāju.

6.4. Siltumapgādes tehnoloģiskā procesa risinājumi segtajām platībām un gatavās produkcijas pārstrādei

Informāciju sagatavoja: Latvijas Universitāte, Ķīmiskās Fizikas Institūts

6.4.1. Principiālais siltuma – aukstuma apgādes efektīvākā tehnoloģiskā procesa risinājuma izstrāde

Tika izstrādāts principiālais siltuma – aukstuma apgādes efektīvākā tehnoloģiskā procesa risinājumus segtajām platībām un gatavās produkcijas pārstrādei. Izstrādātais process paredz tiešu ūdens sildīšanu ar PV panelu (saules panelu) iegūto strāvu, tiešu ūdens sildīšanu ar saules kolektoru iegūto siltumu un šo sildīšanas elementu integrēšanu ar gaiss–ūdens tipa siltumsūkni, kura darba regulēšana notiek atkarībā no nepieciešamības pēc siltuma, laikā kad Saules enerģijas ir nepietiekami daudz. Sistēmu integrēšana ir izplānota ar siltuma akumulatora palīdzību, kurš tiek regulēts no gaiss–ūdens siltumsūkņa sistēmas. Saulainas dienas laikā iegūto siltuma pārpalikumu ir paredzēts novirzīt artēziskā (laistīšanas) ūdens apsildīšanai. Vasaras posmā tehnoloģiskais process paredz pārpalikuma siltumu novirzīt papildus arī biomasas žāvēšanas sistēmai.

6.4.2. Aukstuma apgādes efektīvākā tehnoloģiskā procesa risinājumi segtajām platībām un gatavās produkcijas pārstrādei

Aukstuma apgāde ir saistīta ar siltuma sūkņa darbību un aukstuma patērētājiem.

Galvenie aukstuma patērētāji ir divi: Siltumnīcas karstā laikā, kurās veidojas siltuma pārpalikums un biomasas žāvēšana.

Izvērtējot iespējas izmantot gaiss–ūdens tipa siltumsūkni, lai saņemtu no siltumnīcām pārpalikuma siltumu un dzesētu siltumnīcas karstā saulainā laikā, ir jāsecina, ka šis process ar pieejamiem gaiss–ūdens siltumsūkņa tipiem šobrīd nav īstenojams projekta budžeta ietvaros. Tam ir sekojoši iemesli: siltumnīcu dzesēšana ar aukstu ūdeni nav praktiska un racionāli īstenojama, jo esošās caurules atrodas relatīvi zemu virs zemes un ir piemērotas sildīšanai, un dzesēšanas vajadzībām būtu jāizbūvē jauna sistēma, kas ir dārgi un ekonomiski neefektīvi. Kā arī uz caurulēm veidotos kondensāts, kurš būtu, kaut kur jānovada tā vēl, vairāk sarežģījot, un sadārdzinot sistēma. Savukārt ja dzesēšanu īstenotu ar gaisu, tad ar šobrīd pieejamām gaiss–ūdens siltumsūkņu sistēmām nav iespējams uzturēt precīzu un regulējamu aukstā gaisa plūsmu, ja iekārta strādā, sildot ūdeni un dzesējot gaisu.

Biomasas žāvēšanai aukstums ir nepieciešams mitruma aizvadīšanai no žāvējamā gaisa. Aukstuma apgādes tehnoloģija ir saistīta ar izvēlētajiem biomasas žāvēšanas risinājumiem. Biomasas žāvēšanas risinājumi nav vēl galam izstrādāti, bet primāri aukstuma piegāde notiek gaiss–ūdens siltumsūkņim strādājot dzesēšanas režīmā, un, izvēloties biomasas žāvētajam, piemērotu gaisa žāvēšanas mezgla konfigurāciju un kondensāta novadīšanu.

6.5. Darba vielu un piemērotāko siltuma akumulatora veidu pētījumi

Ir veikti dažādu darba vielu un siltuma akumulatoru pētījumi. Pētījumu rezultātā ir secināts, ka ekonomiski piemērotākie siltumnīcas vajadzībām ir ūdens akumulatori, kas ir viegli mērogojami un

siltuma uzkrāšana augsnē un iežos (Latvijas gadījumā augsnē vai zemaugsnes materiālā). Ir vērtētas arī iespējas, eksperimentāli izmantot arī citus enerģijas uzkrāšanas veidus, bet gala lēmums par šo iespēju potenciālo izmantošanu vēl nav pieņemts.

Darba vielu un piemērotāko siltuma akumulatoru pētījumi.

Ir paveikti darba vielu un piemērotāko siltuma akumulatoru pētījumi.

Galvenie siltuma akumulācijas veidi, darba vielas

Ūdens vai cita materiāla sildīšana

Ūdens ir viens no lētākajiem un pazīstamākajiem siltuma uzglabāšanas veidiem, turklāt ir neierobežoti mērogojams. Lielu temperatūru gadījumā iespējams uzglabāt tvaiku augstā spiedienā.

Iespējams sildīt arī citus materiālus – betonu, keramiku, šķidrās sāls, galvenokārt nitrātu, maisījumus – līdz augstām temperatūrām (virs 500°C), kas dod augstāku enerģijas blīvumu.

Ūdens siltuma akumulācijas tvertnes izmaksas ir apmēram 1000eur/t ietilpības. Ūdens siltuma ietilpība ir 4.2 kJ/kgK

6.5.1. Zemes sildīšana vai cita materiāla sildīšana

Izmantojot gaisa plūsmu, caur zemē ierīkotām caurulēm, ir iespējams panākt gan ierīkošanā, gan ekspluatācijā lētu siltuma akumulāciju iežos zem ēkas. Metodes trūkums ir samērā lieli siltuma zudumi. Siltuma enerģijas uzkrāšanas materiāli ir salīdzinoši dārgi pret uzkrāto siltuma daudzumu.

- Keramikas bumbiņas – cena ap 500 EUR/t;
- siltumietilpība – 0.7 kJ/kg;
- keramikas bloki ar caurumiem (*honeycomb*) – cena ap 1500 EUR/k;
- siltumietilpība ap 1kJ/kg.

6.5.2. Fāzu pārejas materiāli

Siltuma enerģijas uzglabāšanā galvenokārt tiek izmantoti dažādi parafīni. Izvēloties specifisku maisījumu, iespējams panākt, ka fāzu maiņa notiek izvēlētajā temperatūrā, tādējādi nodrošinot stabilu, konstantu temperatūras režīmu gan sildīšanā, gan dzesēšanā. Materiālu trūkums ir relatīvi zema siltumvadīšanas spēja un augsta cena.

6.5.3. Elektrības akumulatori

Elektrības akumulatori ir ar ļoti augstu enerģijas blīvumu, taču ar ilgstošu atkārtotu lietošanu degradējas. Galvenie veidi ir litija un svina-skābes akumulatori. Litija akumulatori ir ar ievērojami lielāku enerģijas blīvumu un mazākiem zudumiem, taču daudz dārgāki.

Elektrības akumulatori ir ievērojami dārgāki nekā siltuma akumulatori.

- Litija akumulatori, 12V 200ah (8620 kJ) 400 EUR;
- Svina skābes akumulatori, 12V 200ah (8620 kJ) 170 EUR.

6.5.4. Enerģijas uzkrāšanas un atdošanas process

Eksperimentālajai sistēmai integrācijai ar siltumsūkni un saules kolektoriem piemērotākā būtu ūdens izmantošana siltuma uzkrāšanai. Saules paneļiem (PV) var izskatīt uzkrāšanas papildināšanu ar elektrības akumulatoriem atsevišķu tehnoloģisko vajadzību nodrošināšanai.

Iespējams, ka izdevīgākais risinājums liela apjoma siltuma uzkrāšanai varētu būt PCM parafīns ar atbilstoši piemērotu kušanas temperatūru. Tomēr mazā siltumvadīšanas spēja un īpašās vajadzības sistēmas izveidošanā padara to mazāk piemērotu sistēmai, kura ir jāintegrē ar jau esošu uz ūdens bāzes veidotu apsildes sistēmu. Potenciāli interesanta sistēma tālākiem pētījumiem citos projektos varētu būt no plāniem blokiem sastāvošu PCM parafīnu daļēji pasīvā akumulācijas sistēma, kura uzkrāj dienas pārpaliekošo siltumu, lai to atdotu naktī. Ņemot vērā augu atšķirīgās prasības pēc temperatūras naktī un dienā, tad šādai sistēmai varētu būt vajadzīga aktīvā temperatūras uzturēšanas sistēma ar temperatūras kontrolieri un ventilatoru, kas to sarežģītu un sadārdzinātu.

Savukārt uzkrājot siltumu augsnē (vai speciāli tam piemērotā materiālā – piemēram, granti vai akmeņos) svarīgu lomu spēlē ne tikai specifiskā siltumietilpība, bet arī siltuma vadīšanas koeficienti un iespējamie siltuma zudumi siltumam izejot ārpus uzkrāšanas sistēmas robežām. Te nav publiski pieejamu Latvijas augsnēm un apstākļiem atbilstošu datu, tāpēc plānotajā pētījumā ir jāizveido temperatūras lauka 3D mērījumu sistēma, lai varētu šos parametrus noskaidrot eksperimentālā pētījumu ceļā. Tad arī varēs pēc eksperimentāliem datiem vērtēt izvēlēto darba vielu datus.

Siltuma akumulatoriem integrētā siltumnīcas, ūdens sildīšanas un biomasas žāvēšanas vidē ir jānodrošina vairāk atšķirīgi temperatūras režīmi, un, savā starpā integrēti, jāsavieno dažādi siltuma ražošanas režīmi no dažādām ierīcēm un siltuma patēriņa režīmi dažādiem patērētājiem.

Pētījuma rezultātā par piemērotāko risinājumu, kas vienīgais šī pētījumam ir pieņemams izmaksu un sarežģītības ziņā ir atzīta sistēma, kura sastāv no vairākiem ar ūdeni kā darba vielu pildītiem siltuma akumulatoriem.

Lielāka tilpuma siltuma akumulators ir lietojams, lai nodrošinātu eksperimentālo siltumnīcu ar siltumu naktī no primārā siltuma avota Saules Kolektori un Saules PV paneļi. Siltuma akumulatora tilpums plānotajai eksperimentālajai siltumnīcai ir 1000 – 2000 litru robežās, kas nodrošina siltuma uzkrāšanu mērena aukstuma naktīm. Visa saražotā siltuma uzkrāšana nav nepieciešama, jo saulainās dienās saražoto siltuma pārpalikumu var novadīt laistāmā ūdens sildīšanai. Piemērotākā akumulatora tilpuma izvēli būs nosaka konkrētā iepirkuma priekšizpētē, salīdzinot cenas, izmērus un piegādes un transporta iespējas dažāda tilpuma siltuma akumulatoriem.

Lielākā tilpuma siltuma akumulators paredzēts darba temperatūrai no 100°C maksimālajā uzkrāšanas režīmā līdz 45 – 60°C režīmā, kad beidzās uzkrātais Saules siltums, un jāsāk izmantot gaisu– ūdens siltumsūkni.

Siltuma patērētājs biomasas žāvēšana ir ar atšķirīgām temperatūras prasībām, salīdzinot ar citiem patērētājiem. Šeit var būt vajadzīgas gan augstas temperatūras ātrai žāvēšanai (līdz 100C un vairāk) gan arī zemas temperatūras lēnai un saudzīgai žāvēšanai, kurai jā saglabā produktā tā uzturvērtība. Savukārt biomasas žāvēšana nav jūtīga pret žāvēšanas pārtraukumiem un siltuma akumulatoram ir pietiekami ar nelielāku tilpumu.

Siltuma patērētājam laistāmais ūdens ir nepieciešams siltums dienas laikā, un ir pietiekami ar zemu siltuma nesēja temperatūru un to var sildīt ar daudz zemāku temperatūru nekā citus siltuma patērētājus, tāpēc ir nepieciešams trešais salīdzinoši neliela apjoma siltuma akumulators, kurš darbojas zemas temperatūras režīmā.

No iepriekš minētā var secināt, ka:

1. Eksperimentālās SIA Rītausma siltumnīcas un biomasas integrētajai siltumapgādei ir nepieciešami 3 dažāda izmēra ūdens siltuma akumulatori, kuri katrs potenciāli paredzēti savam, atšķirīgam temperatūras režīmam un darbības laikam.
2. Praktiskajā izpētē tiks noskaidrots, kādus lietošanas parametrus izdodas sasniegt ar daļēji pasīvo siltuma uzkrāšanu augsnē, tam nepieciešami 3D temperatūras lauka dinamikas pētījumi.

6.6. Siltuma akumulatoru lielumu izvēles pamatojums

Maksimālais eksperimentālās siltumnīcas enerģijas patēriņš ir 10 kW, maksimālais patēriņš ir ziemā, kad ārā ir lieli mīnusi un nav saules.

Lielāko daļu laika siltumnīcas patēriņš ir apmēram 5kW vai mazāk. (pavasaris, rudens, siltākas ziemas dienas).

Siltuma akumulatoram ir šādas galvenās funkcijas:

- 1) Centrālais siltuma uzkrāšanas punkts, no kura pēc tam siltums tiek sadalīts tālāk lietotājiem pēc vajadzīgā grafika un temperatūras;
- 2) Nodrošināt Saules siltuma akumulāciju, lai to tālāk lietotu naktī un tādejādi pēc iespējas mazāk izmantotu siltumsūkni (jo siltumsūknis tērē elektrību un naudu)
- 3) Papildus siltuma akumulators var tikt sildīts ar siltumsūkni, lai:
 - a. būtu vienmērīgāks siltumsūkņa darbības režīms (retākas ieslēgšanās/izslēgšanās);
 - b. siltākā laikā (dienā) uzsildītu akumulatoru un ņemtu no tā aukstākā laikā naktī, bet tas maz iespējams ar mūsu siltumsūkni, jo tā maks temperatūra ir apmēram 65°C, bet apkures T (turpgaitas ūdens) apmēram 50 –60°C (atkarībā no āra gaisa T).

Lai pildītu funkciju, akumulatoram nr. 2 jānodrošina nakts patēriņš no enerģijas, ko dod Saule pa dienu. Aukstā ziemā tas tāpat praktiski nebūs iespējams (īsas dienas, maz Saules, jau tāpat liels enerģijas patēriņš). Siltuma akumulatoram nakts patēriņš jānodrošina maza patēriņa laikā – apmēram 5kW vai mazāk.

Veiktie aprēķini rāda, ka siltuma akumulators ar tilpumu 1000 litri spēj nodrošināt 9 stundu ilgu apsildi, pie patēriņa 5kW (uzkrātā ūdens T sākumā 90°C, turpgaitas ūdens T 60°C)

6.7. Ģenerētā siltuma uzņemšana

Nav vajadzības uzkrāt visu dienas laikā ģenerēto siltumu. Aukstā laikā siltuma ģenerācija ir salīdzinoši neliela, bet patēriņš liels, tātad nebūs daudz ko uzkrāt. Savukārt siltā laikā mēs esam pieņēmuši lēmumu, ka siltums tiks padots laistāmā ūdens apsildei, tātad nebūs vajadzības siltumu uzkrāt lielā apjomā, jo viss siltums var tikt iztērēts aukstā ūdens sildīšanai.

6.8. Siltuma akumulatora izvēle

Siltuma akumulators ar tilpumu 1000 litri nodrošina visas pamata vajadzības plānotajā siltuma apgādes shēmā. LU iegādāsies 2 siltuma akumulatorus: mazo 500 litri vienkāršas konstrukcijas – iespējamam lietojumam autonomam biomasas žāvēšanas lokam. 1000 litri – ar sarežģītāku kontūru un ar Teni – siltumnīcas apsildei. Vajadzības gadījumā abus siltuma akumulatorus var savietot virknē tā palielinot kopīgo siltumietilpību.

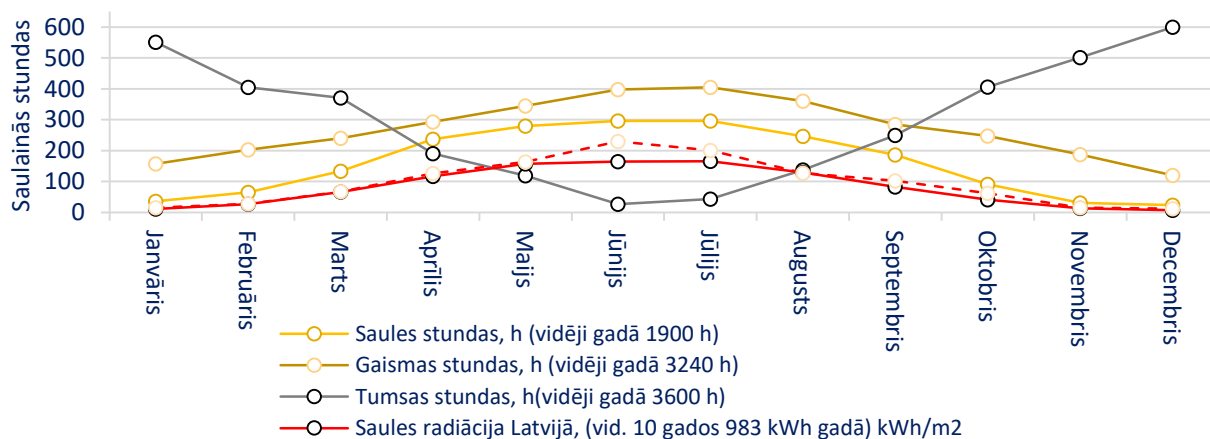
6.9. Saules enerģijas un siltuma akumulācijas izmantošanas iespēju analīze

Informāciju sagatavoja: Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Ulbrokas zinātnes centrs

6.9.1. Teorētiski aprēķinātā saražotās un patērētās enerģijas apjomi

Lai noskaidrotu saules enerģijas un siltuma akumulācijas izmantošanas iespējas eksperimentālās siltumnīcas tika teorētiski aprēķinātā saražotās un patērētās enerģijas apjomi.

Sadārdzinoties konvencionālajiem energoresursiem, saules enerģija varētu būt laba alternatīva. Latvijā saules enerģiju visvairāk iespējams izmantot no aprīļa pēdējās dekādes līdz septembra pirmajai dekādei, kad starojuma intensitāte sasniedz 120 kWh/m². Latvijā vislielākā saules intensitāte ir Kurzemes piekrastē, Rīgas jūras līča piekrastes un Zemgales daļā.



6.9.1. att. Saules intensitāte

6.9.2 Nepieciešamā enerģijas apjoma teorētiskais aprēķins

Pēc siltumnīcas temperatūras un citu parametru mērījumiem tika veikts eksperimentālās siltumnīcas apkurei un laistāmā ūdens sagatavošanai nepieciešamās enerģijas apjoma aprēķins.

$$Q_s = A \times U \times \Delta T \times t_{\text{apk.}} / 10^6 \quad (1)$$

$T_{\text{ES}} = 20$

Q_s – siltuma zudumi (MWh);

A – siltumnīcas ārējo sienu laukums, m²; $A = 180 \times 120$;

U – siltuma caurlaidības koeficients, W/m²; $KU = 0.95$;

ΔT – temperatūras starpība starp iekštelpu temperatūru un āra gaisa temperatūru, °C;

$t_{\text{apk.}}$ – apkures perioda ilgums, h;

Laistāmais ūdens: Q (kJ) = 14665.

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad Q \text{ (kW)} = 4.07 \quad (2)$$

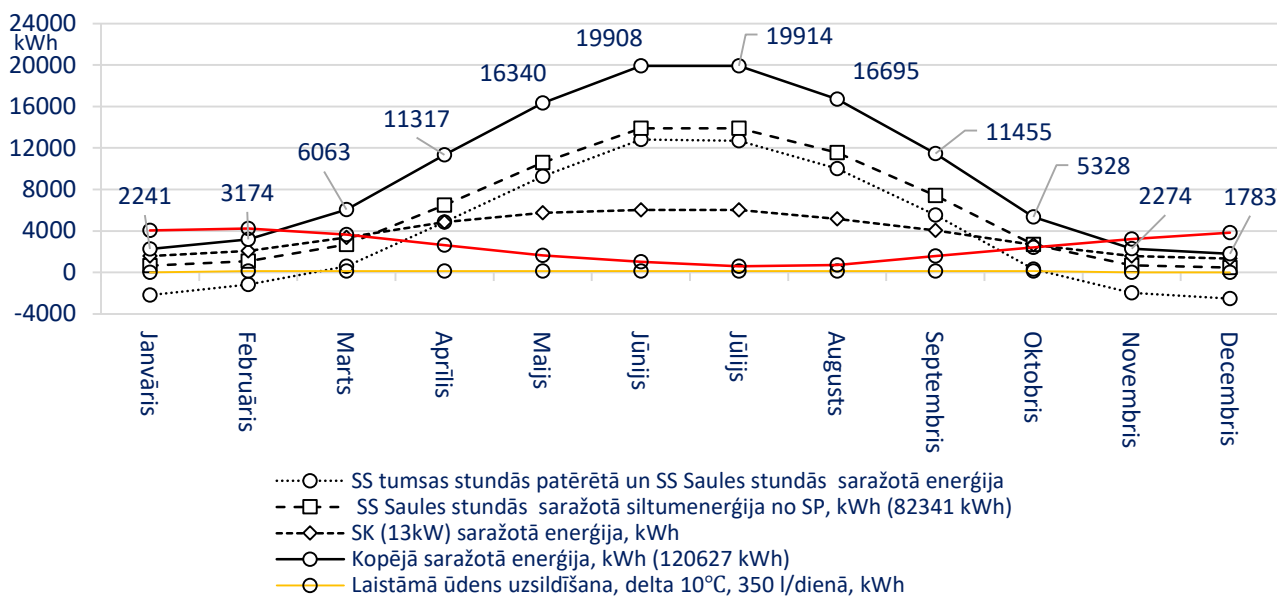
m – masa kilogramos (ūdens 1 litrs $\approx$ 1 kg);

c – siltumietilpība Wh/kg·K (ūdenim $c \approx 1,16$ Wh/kgK);

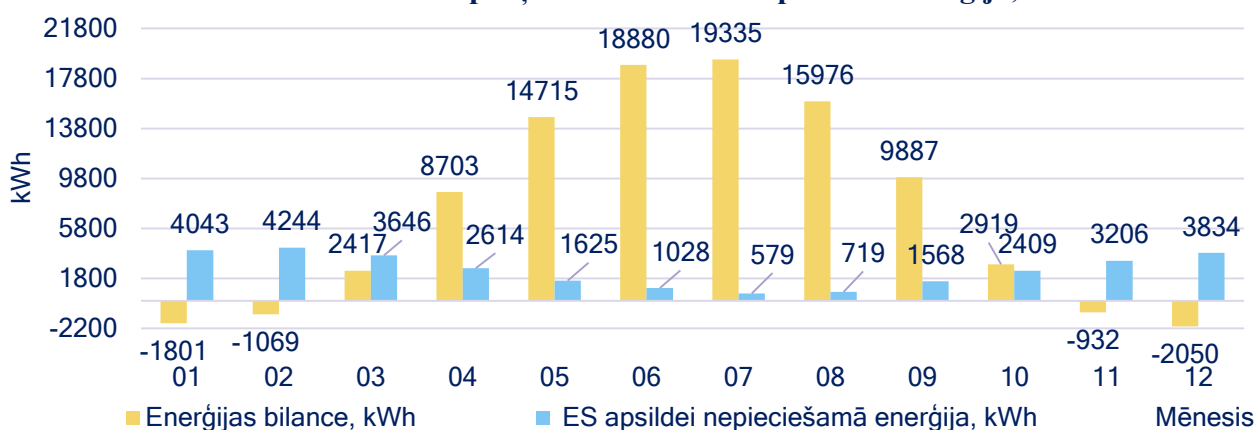
ΔT – temperatūras starpība starp aukstu un karstu ūdeni (K);

Laistāmā ūdens $T = 20$, litri dienā: 350.

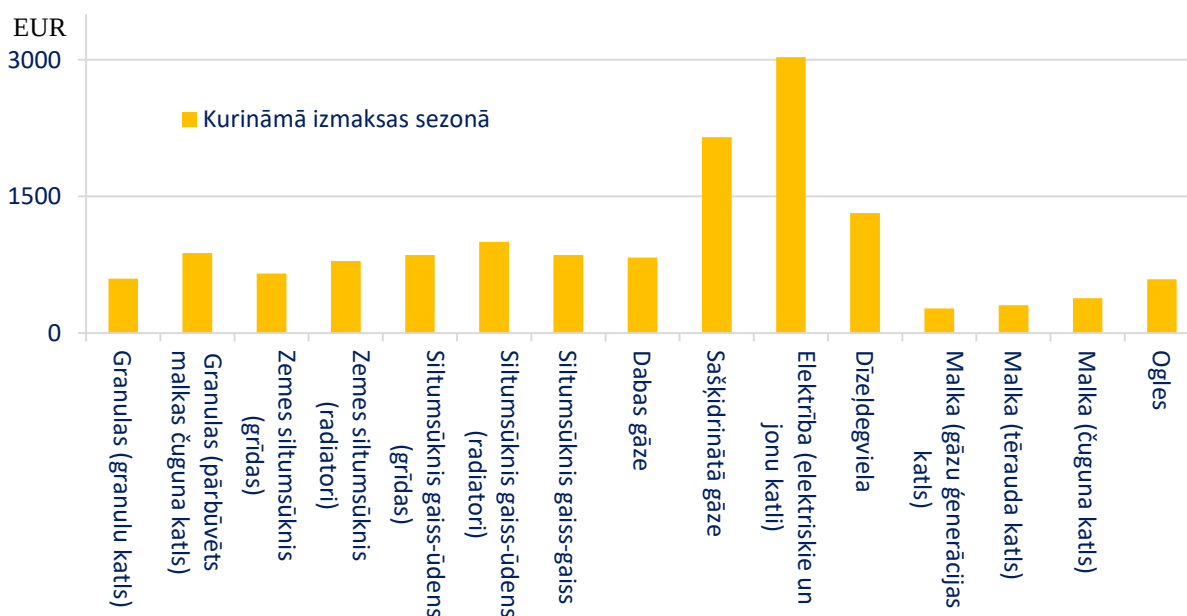
Teorētiski aprēķinātā saražotās un patērētās enerģijas apjomi parādīti grafikā (6.9.2. att.).



6.9.2. att. Teorētiski aprēķinātā saražotā un patērētā enerģija, kWh



6.9.3. att. Enerģijas balance, kWh



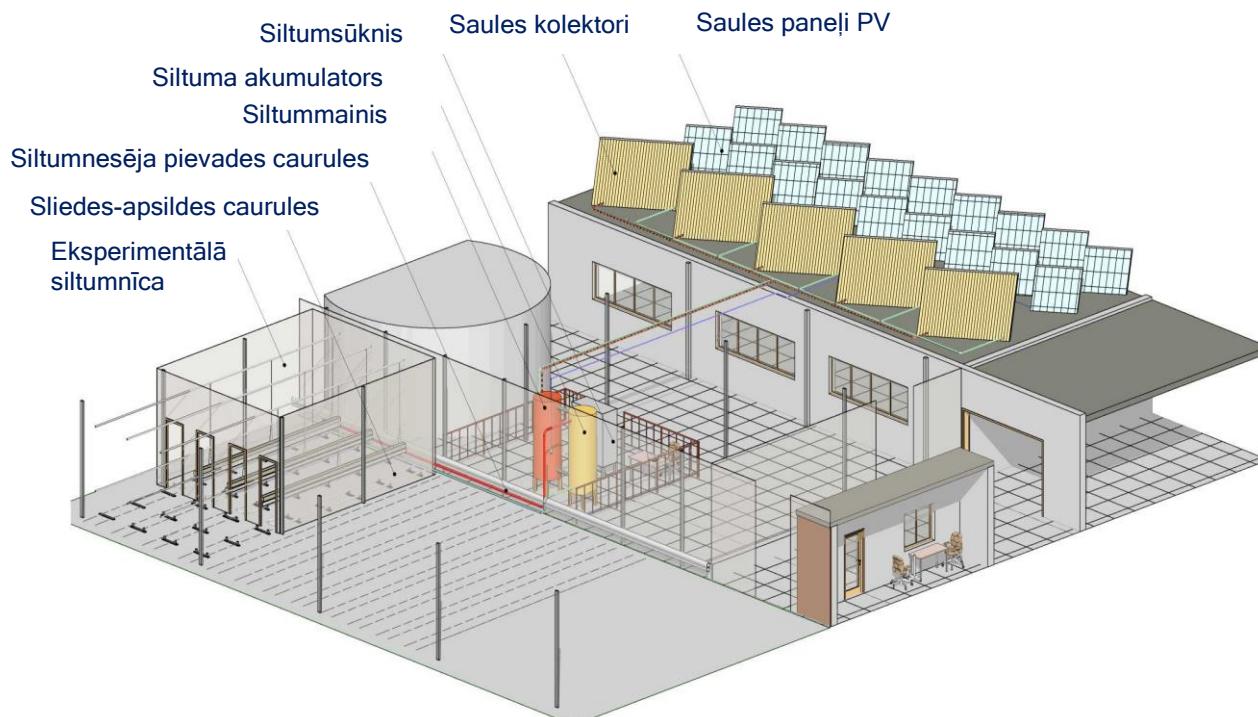
6.9.4. att. Eksperimentālās siltumnīcas (ES) apsildes salīdzinošās izmaksas pa kurināmā veidiem

7. NODAĻA. EKSPERIMENTĀLO SILTUMŅĪCU IZSTRĀDE

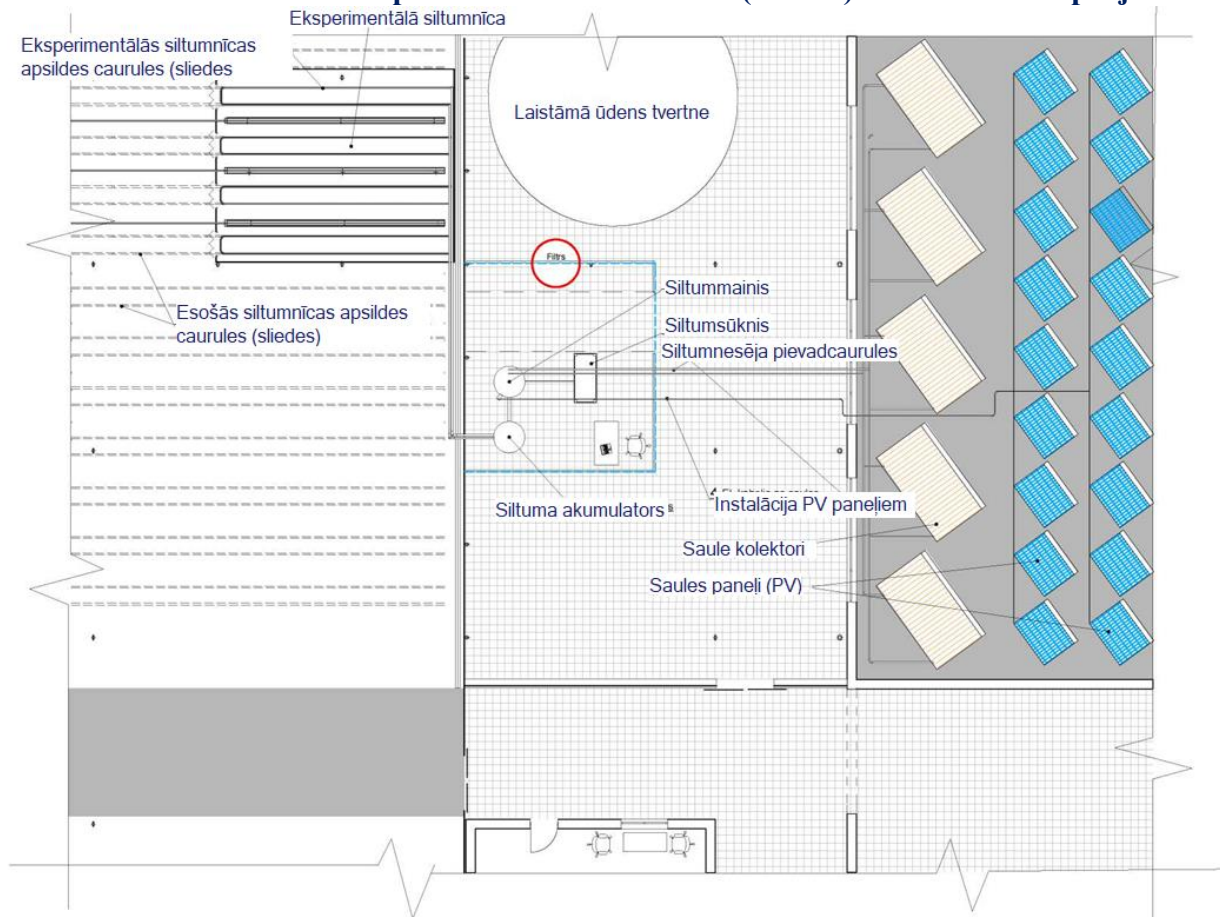
Informāciju sagatavoja: Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Ulbrokas zinātnes centrs

7.1. Eksperimentālās siltumņīcas izveides projekts SIA Rītausma

Tika veikti SIA Rītausma eksperimentālās siltumņīcas (50kvm) vietas uzmērījumi, noteikts elektroiekārtu izvietojums un veikta skīču projekta izstrāde.

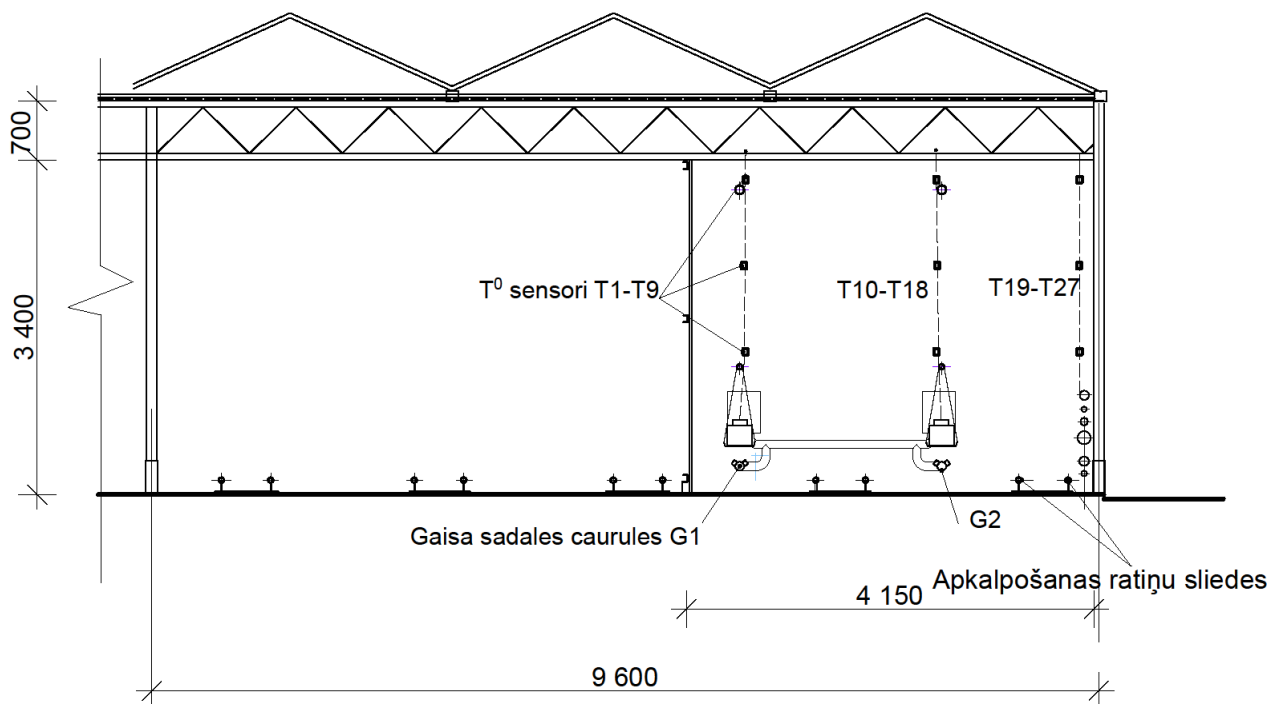


7.1. att. SIA Rītausma eksperimentālās siltumņīcas (50kvm) izstrādes skīču projekts



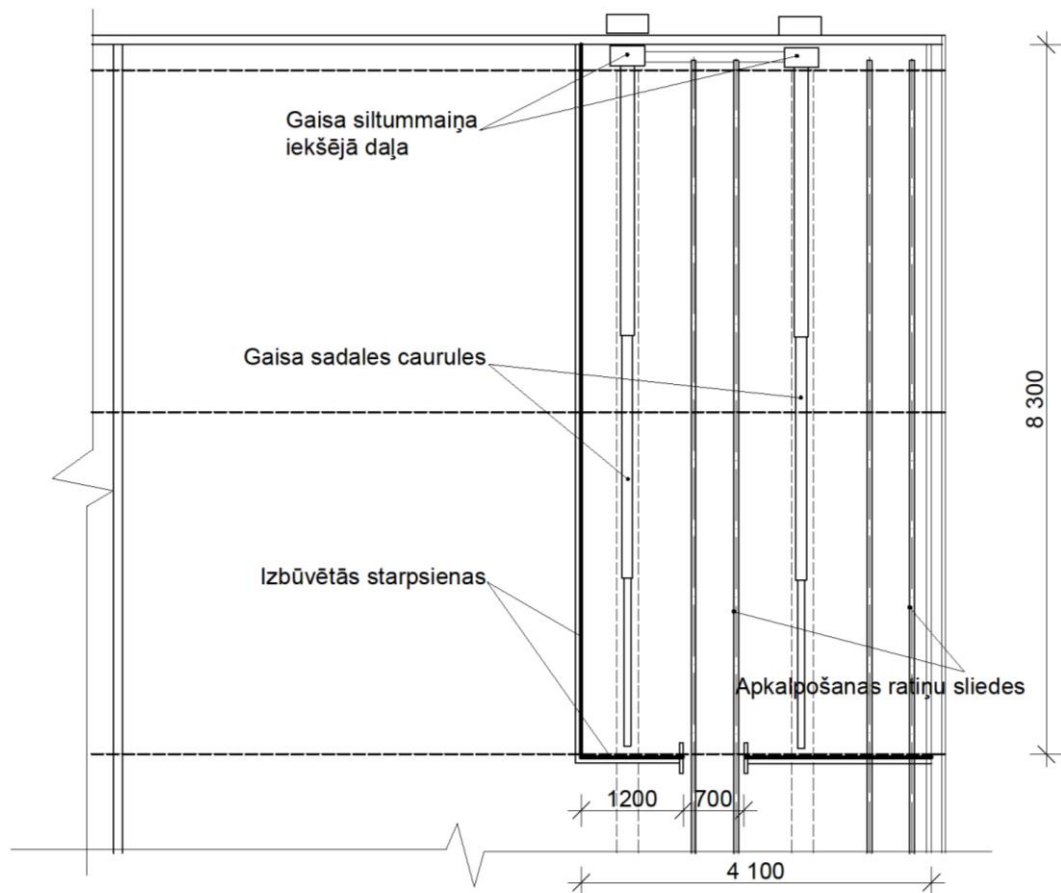
7.2. att. Tehnoloģiskā procesa risinājumu izstrādes skīču projekts, tehnoloģisko iekārtu izvietojums.

Tehnoloģiskā procesa risinājumu izstrādes skiču projekta (7.1.att.) parādīts optimālais tehnoloģisko iekārtu biomasas žāvēšanas iekārtas, saules kolektoru, saules paneļu (PV un siltumsūkņa (gaiss-ūdens) izvietojums.

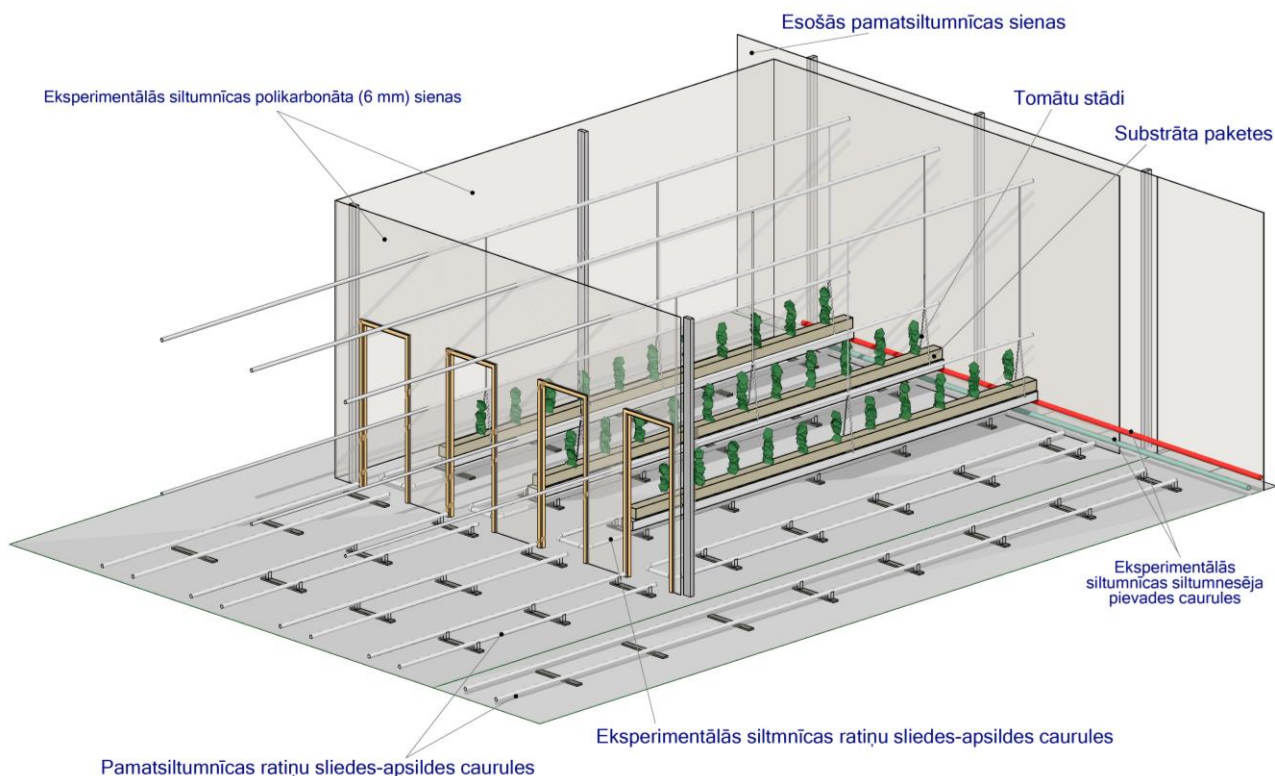


7.3. att. Eksperimentālās siltumnīcas (50kvm) temperatūras un mitruma mērījumu sistēmas izvietojuma projekts, SIA Rītausma

Tehnoloģiskā procesa risinājumu izstrādes skiču projekts SIA Rītausma (7.1.att.) parādīts



7.4. att. Eksperimentālās siltumnīcas (50kvm) gaisa apmaiņas aprīkojuma izvietojuma shēma



7.5. att. Eksperimentālā siltumnīca skiču projekts izstrādes, 50kvm



7.6. att. Eksperimentālā siltumnīcas izbūves projekts, 50kvm

Eksperimentālā siltumnīcas izbūve *SIA Rītausma*

Informāciju sagatavoja: *SIA Rītausma*

Atbilstoši izstrādātam tehnoloģiskā procesa risinājumu skiču projektam, tika veikta eksperimentālā siltumnīca 50kvm izbūve. Eksperimentālā siltumnīca tika ierīkota pamatsiltumnīcā. Tika izveidota atsevišķa siltumtrase un noizolēta kopējā siltumtrase. Sienu izveidei tika izmantots 6 mm polikarbonāts.



7.7. att. Eksperimentālā siltumnīca 50kvm izbūve

Siltummezgla un siltumtrases izbūve

Lai siltummezgla saražoto siltumu nogādātu līdz eksperimentālajai siltumnīcai, tika izveidota un noizolēta papildus siltumtrase. Siltumenerģijas piegādes nodrošināšanai un plūsmas temperatūras regulēšanai tika izveidots atsevišķs siltummezgls, kurā tika uzstādīts siltumskaitītājs.



7.8. att. Eksperimentālā siltumnīcas siltummezgla un siltumtrases izbūve

Saules kolektoru un saules paneļu (PV) uzstādīšana

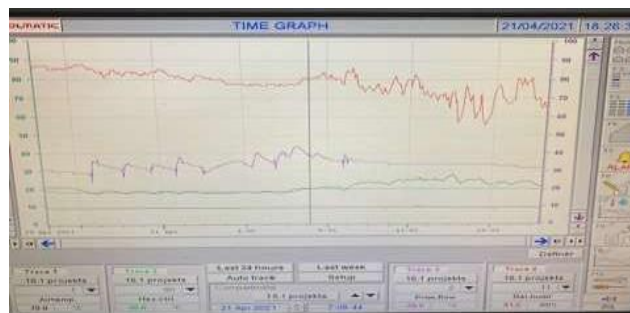
Saules kolektori un saules paneļi tika uzstādīti uz esošā noliktavas jumta. Paneļu uzstādīšanai tika izgatavoti statīvi un piestiprināti paneļi 40°leņķī. Gan saules kolektori, gan saules paneļi tika pavērsti pret dienvidiem.



7.9. att. Saules kolektoru un saules paneļu (PV) montāža un uzstādīšana

Sekošana klimata apstākļiem eksperimentālajā siltumnīcā

Lai nodrošinātu pareizo siltumnesēja plūsmu un temperatūru eksperimentālajā siltumnīcā, siltummezgla tika uzstādīts trīs gaitas vārsts ar datorizētu vadību. Programmā tiek uzstādīta vajadzīgā temperatūra siltumnīcā un minimālā un maksimālā plūsmas temperatūra. Padeves caurulē ir temperatūras devējs, kurš kontrolē plūsmas temperatūru un attiecīgi apstākļiem palielina vai samazina temperatūru.



7.10. att. Siltumapgādes datorizēta vadība un procesa uzraudzība

Siltummezgla darbības princips

Siltumsūkņi ražo siltumu naktī un dienas laikā, ja nepietiek ar saules enerģiju. Saulainā laikā siltums tiek ražots ar saules kolektoriem kuru kopējā jauda ir 16 KW. Elektroenerģija no saules paneļiem tiek izmantota siltummezgla elektroiekārtu darbināšanai. Neizlietotā elektroenerģija tiek uzkrāta akumulatorā un lietota vakarā vai naktī. Siltums pamatā tiek izlietots siltumnīcas apkurei, bet saulainajā laikā tiek sildīts laistīšanas ūdens.

Kā papildus iekārta tika uzstādīts skapis biomasas žāvēšanai, lai nezaudētu neizlietoto siltumu īpaši saulainā laikā. Pilnvērtīgi biomasas žāvēšana netika izmēģināta, jo ilgstoši nevarēja nodrošināt pastāvīgu temperatūru. Principā viss siltums tika patērēts siltumnīcas apkurei un laistīšanas ūdens sildīšanai.

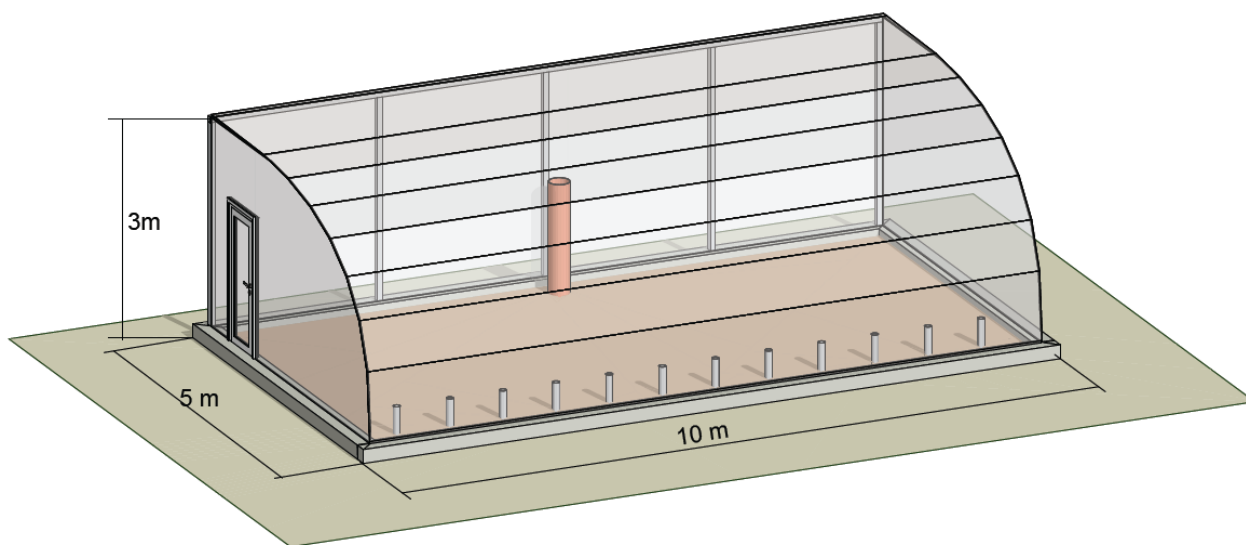
7.2. Eksperimentālā siltumnīcas izbūve zemnieku saimniecībā Skudriņās

Informāciju sagatavoja: Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Ulbrokas zinātnes centrs sadarbībā ar projekta partneriem LLKC un ZS Skudriņas

7.2.1. Pētījuma bāzes sagatavošanas darbi

Sadarbībā ar projekta partneriem LLKC un LBTU veikta prasību izstrāde sensoru izvietojumam pasīvās saules enerģijas akumulācijas siltumnīcā (50kvm) ZS Skudriņās.

7.2.2. Pasīvās saules enerģijas akumulācijas siltumnīcas (50kvm) ZS Skudriņas skiču projekts



7.2.3. att. Siltumnīcas skiču projekts 50kvm.

7.2.3. Veikti būvbedres rakšanas darbi akumulācijas slāņa izveidei.



7.2.2. att. Sagatavošanas darbi akumulācijas slāņa izveidei (uz 28.02.2020)



7.2.3. att. Siltumnīcas akumulācijas 300 mm gofrēto cauruļu montāža



7.2.4. att. Siltumnīcas akumulācijas 100 mm gofrēto cauruļu montāža



7.2.5. att. Siltumnīcas akumulācijas 100 mm gofrēto cauruļu izvietojums



7.2.6. att. Siltumnīcas grants akumulācijas slāņa izveide



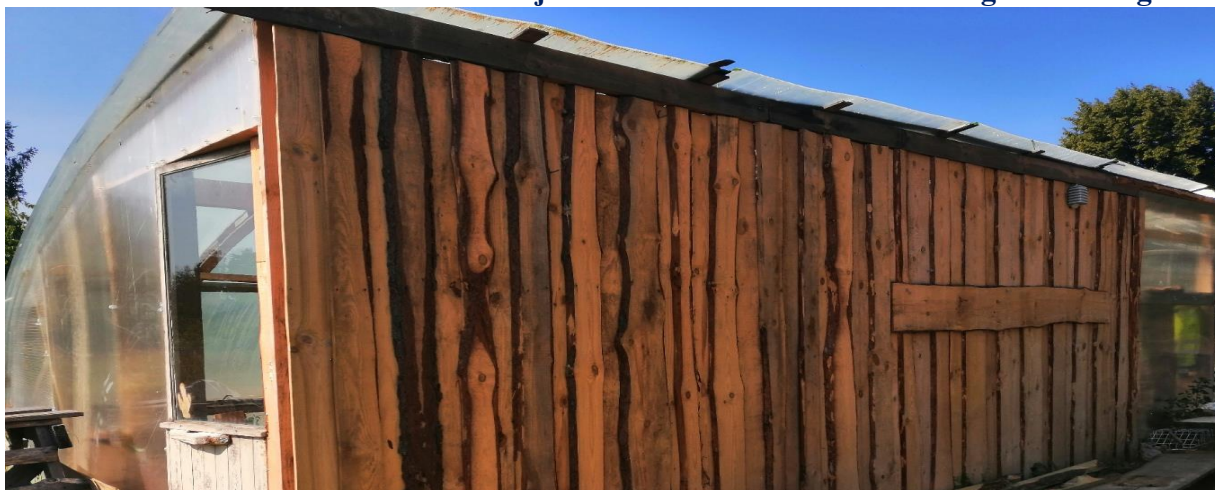
7.2.7. att. Siltumnīcas karkasa montāža



7.2.8. att. Siltumnīcas pārklājuma 6mm polikarbonāta montāža



7.2.9. att. Siltumnīcas konstruktīvā risinājuma slodzes izturības monitorings 2022/23. g. ziemā



7.2.10. att. Eksperimentālās siltumnīcas ziemeļu puses sienas siltinājums



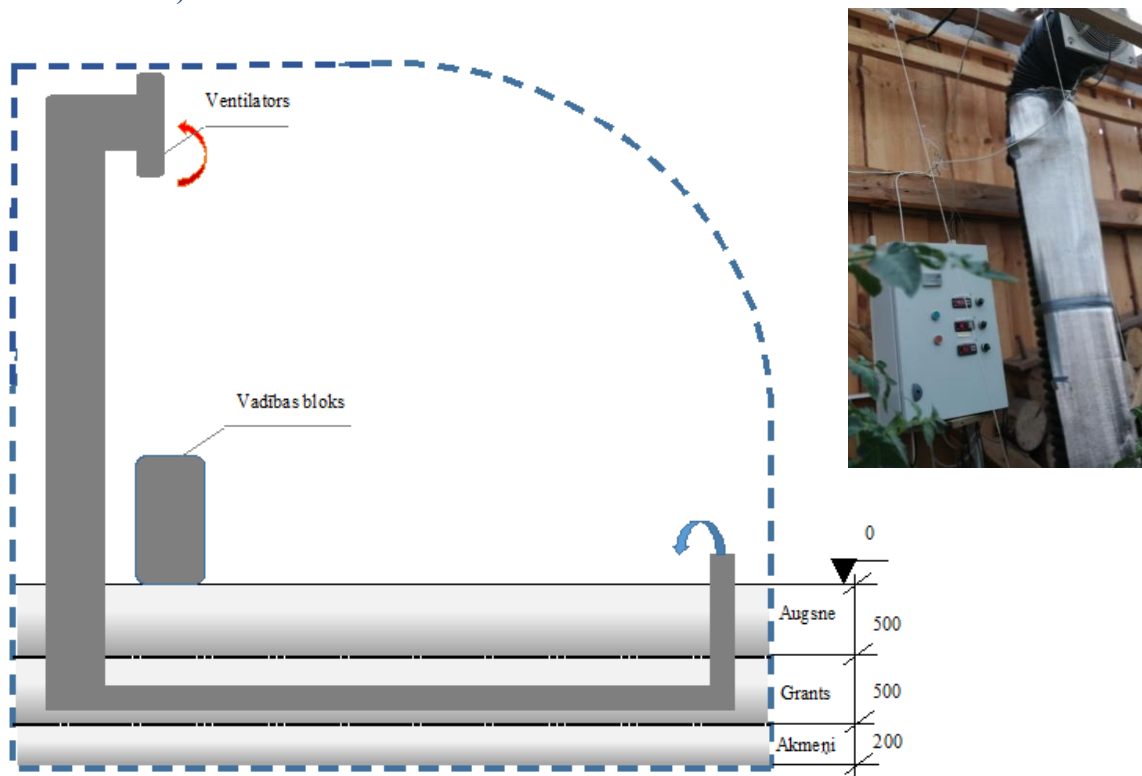
7.2.11. att. Tomātu audzēšana eksperimentālajā siltumnīcā 2022. gada sezona

7.3. Eksperimentālās siltumnīcas termoklimata vadības sistēmas

Informāciju sagatavoja: Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Ulbrokas zinātnes centrs

Projekta ietvaros izveidotais siltumnīcas siltuma akumulācijas akumulators pēc darbības principa līdzinās zeme/gaiss siltummainim, kas pēc nepieciešamības nodrošina, izmantojot uzkrāto siltumenerģiju akumulācijas slānī, siltumnīcas apsildi vai arī tās dzesēšanu.

Lai nodrošinātu kultūraugu audzēšanai atbilstošus temperatūras režīmus, tika izstrādāta un integrēta kopējā siltuma akumulācijas sistēmā, automatizēta siltumnīcas ventilācijas (apsildes/dzesēšanas) sistēma.



7.3.1.att. Automatizēta siltumnīcas ventilācijas (apsildes/dzesēšanas) sistēma eksperimentālajā siltumnīcā (50kvm) zs “Skudriņas”

7.3.1. Automatizēta siltumnīcas ventilācijas termostatu iestatīšana

Ventilatoru darbina automatizētā siltumnīcas ventilācijas (apsildes/dzesēšanas) sistēmā uzstādīti divi termoregulatori. Ventilators ir ieslēgts vai izslēgts, kad siltumnīca kļūst pārāk auksta (zem 12°C) vai pārāk silta (virs 25°C). Precīzāk, ir iestatīta minimāli pieļaujamā $12-7^{\circ}\text{C}$ iestatītā temperatūra, kad siltumnīcai ir nepieciešama apsilde. Tā kā šis termostats ieslēdz sistēmu, lai nodrošinātu apsildi, tas ir definēts kā "*siltumnīcas apsildes termostats*". Otrs termostats ieslēdz to pašu ventilatoru, kad siltumnīca kļūst pārāk karsta, tas ir definēts kā "*siltumnīcas dzesēšanas termostats*", kurš tiek iestatīts siltumnīcas temperatūrai sākot ar 25°C , un ieslēgs ventilatoru, kad siltumnīcai būs nepieciešama dzesēšana (un atkal izslēgsies, kad siltumnīca atgriezīsies vēsākā temperatūrā – sākot ar 12°C).

Ja siltumnīcā ir piemērota kultūraugu audzēšanai atbilstošs temperatūras režīms $12-25^{\circ}\text{C}$, tad ventilators nedarbojas. Tas novērš nevajadzīgu enerģijas patēriņu, ja siltumnīcai nav nepieciešama apsilde vai dzesēšana.

Automatizētās siltumnīcas ventilācijas (apsildes/dzesēšanas) vadības sistēmā ir iestrādāts trešais termostats, kuram ir ieprogrammēts temperatūras režīms $8-12^{\circ}\text{C}$ un tas paredzēts elektriskā sildītāja darbināšanai kā papildus siltuma avots, tajā gadījumā, ja akumulācijas slānī nav pietiekošā daudzumā uzkrāts siltums.

Būtiski ir ventilatora vadības sistēmas bloka programmēšanā ievērot tomātu audzēšanas pamatprasības. Pēc tomātu dēstu iestādīšanas siltumnīcā, to audzēšanai nodrošina $10-12^{\circ}\text{C}$ temperatūru. Pēc 45–50 dienu audzēšanas tiem izveidojās 6–7 lapas, taču vēl nav attīstījušies ziedpumpuri. 10–14 dienas pirms ziedu izveidošanās nevajadzētu pārsniegt $16-17^{\circ}\text{C}$, bet ziedēšanas

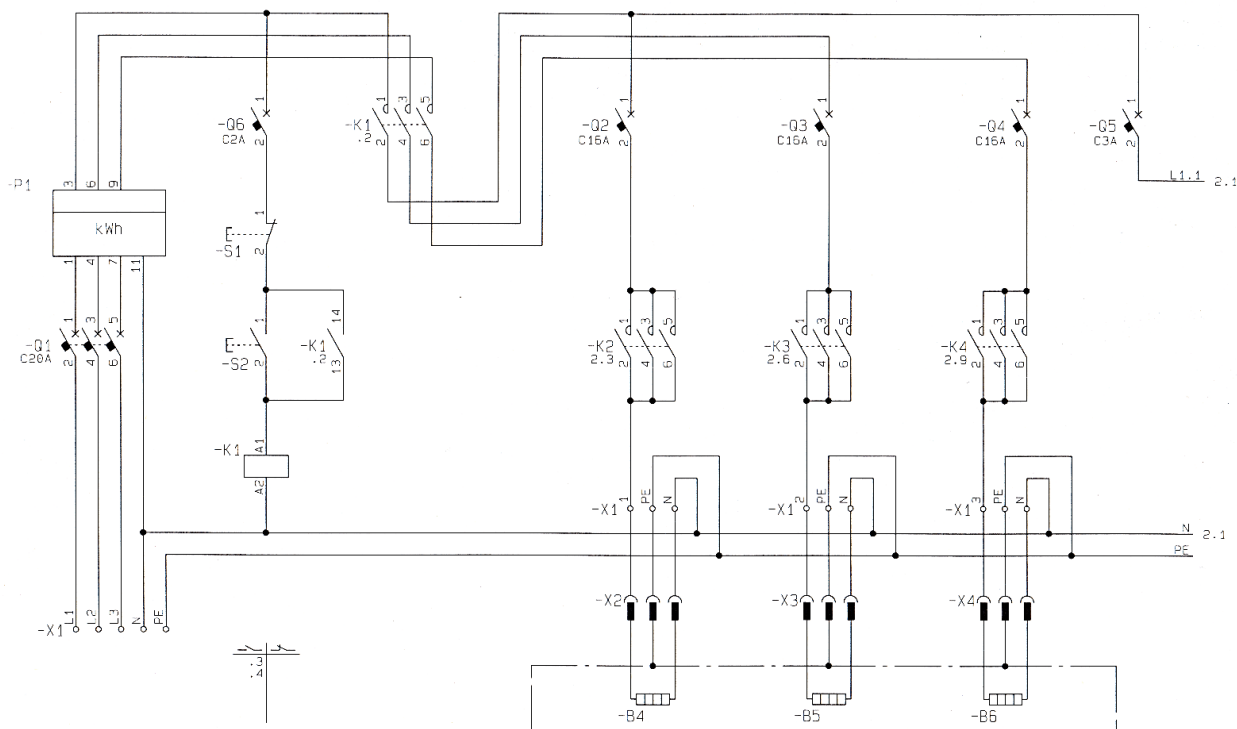
laikā tai jābūt $17 - 18^{\circ}\text{C}$. Kad pirmajā ķekarā augļi ir aizmetušies un sāk jau nobriest, temperatūra pakāpeniski jāpaaugstina. Optimālā temperatūra tomātu augu augšanai ir $20 - 25^{\circ}\text{C}$ dienā un $12 - 15^{\circ}\text{C}$ naktī. Mēnešos, kad ir intensīvs apgaismojums, temperatūrai ir jābūt augstākai: dienā saulainā laikā $22 - 25^{\circ}\text{C}$, apmākušās dienās – ap $18 - 20^{\circ}\text{C}$, naktīs $15 - 17^{\circ}\text{C}$. Pārsniegt 26°C robežu pat gaišā, saulainā laikā nav vēlams. Temperatūrā virs 30°C tomāti vairs neapziedas, bet virs 35°C – iet bojā ziedi un pamazām arī viss augs.

7.3.2. Automatizēta siltumnīcas ventilācijas (apsildes/dzesēšanas) sistēma

LBTU projekta ietvaros izstrādāja automatizētās siltumnīcas ventilācijas (apsildes/dzesēšanas) sistēmas vadības bloks. Vadības bloks tika uzstādīts eksperimentālajā siltumnīcā (50kvm) zs “Skudriņas”.



7.3.2.att. Automatizētas siltumnīcas ventilācijas (apsildes/dzesēšanas) sistēmas vadības bloks, eksperimentālajā siltumnīcā (50kvm) zs “Skudriņas”



7.3.3.att. Automatizēta siltumnīcas ventilācijas (apsildes/dzesēšanas) sistēma vadības bloka elektromontāžas shēma, eksperimentālajā siltumnīcā (50kvm) zs “Skudriņas”

7.3.3. Temperatūras režīmu diferenciālā elektroniskā vadība

Automatizētās siltumnīcas ventilācijas (apsildes/dzesēšanas) vadības sistēmā ir iestrādāti trīs K31D modeļa termostati. Tie ir digitāli temperatūras regulatori ar vienas cilpas mikroprocesoru, ar ieslēgšanas/izslēgšanas vadību, neitrālo zonu ieslēgts/izslēgts, vienas vai divkāršas darbības PID (tiešo un apgriezto), kas aprīkots ar 2 PTC, NTC vai Pt1000 temperatūras ievades zondēm, kuru

izmantojot ir iespējams iegūt diferenciālo temperatūras kontroli. Tāpēc to var izmantot lietojumprogrammās, kurās nepieciešama temperatūras starpības kontrole starp 2 dažādām vidēm, piemēram, šķidruma dzesētājiem, dabiskām gaisa kondicionēšanas sistēmām, izmantojot gaisa recirkulāciju, apkurei ar saules paneļiem vai daudzos citos lietojumos, kur ir divi temperatūras rādījumi.

Kontrolieris arī ir aprīkots ar ātro un svārstīgo automātisko regulēšanu, pašregulēšanu un izplūdušo pārtīšanas vadību PID regulēšanai. Instruments piedāvā iespēju ar divām programmējamām digitālajām ieejām un RS485 seriālo sakaru portu, izmantojot MODBUS–RTU sakaru protokolu.



7.3.4.att. Automatizēta siltumnīcas ventilācijas (apsildes/dzesēšanas) sistēmas vadības bloka elektroniskais temperatūras vadītājs K31D ar diferenciālās vadības režīmu eksperimentālajā siltumnīcā (50 m²) zs “Skudriņas”

7.3.4. Ventilatora izvēles pamatojums

Siltuma enerģijas uzkrāšanai akumulācijas slānī ir nepieciešams siltumnīcā saules sakarsēto gaisu transportēt (novadīt) pa caurulēm uz izveidoto akumulācijas slāni. Šim nolūkam paredzēts uzstādīt ventilatoru uz Ø300 mm gaisa iesūkšanas caurules.

Lai notiktu siltumenerģijas akumulācija ir nepieciešams nodrošināt gaisa apmaiņu siltumnīcā 5–6 reizes stundā. Ņemot vērā, ka siltumnīcas tilpums ir 125 m³, ir nepieciešams ventilators ar darba ražīgumu ap 800 m³ h⁻¹.



7.3.5.att. HXM tipa aksiālās plūsmas ventilators

Tika izvēlēts HXM tipa aksiālās plūsmas ventilators, to var uzstādīt jebkurā pozīcijā, un izmantot gaisa ventilācijai ar zemu piesārņojuma līmeni. Piemērots darbam vidē ar paaugstinātu mitrumu.

7.3.1. tabula

HXM tipa aksiālās plūsmas ventilatora tehniskie dati

Modelis	Rotora ātrums	Jauda	Strāva	Gaisa daudzums	Skaņas līmenis	Darba T _{min/maks.}	Masa
	rpm	W	A	m ³ h ⁻¹	dB (A)	°C	Kg
HXM-300	1360	41	0,5	1180	48	-15+40	3,2

Ventilatora motors: vienfāzes ātruma regulējams motors 230V–50/60Hz, kas aprīkots ar termisko aizsardzību, IP44, B klases izolāciju, elastīgu kabeli (garums: 50 cm) savienojumam ar elektrības padevi un lodīšu gultņiem, kas paredzēti ilglaicīgai darbināšanai. Motors aizsargāts pret koroziju ar epoksīda–poliestera laku.

7.4. NODAĻA. TEHNOĻĪJAS IZSTRĀDE SEGTO PLATĪBU SILTUMENERĢIJAS NODROŠINĀŠANAI

Informāciju sagatavoja: Latvijas Universitāte, Ķīmiskās fizikas institūts sadarbībā ar biedrību Progresīvo tehnoloģiju institūts (PTI)

Tehnoloģijas mērķis: Nodrošināt segto platību siltumapgādi ar ievērojami samazinātu CO₂ izmešu daudzumu salīdzinot ar gāzes apkuri un nodrošināt ekonomiskas priekšrocības salīdzinot ar gāzes un citiem apsildes veidiem.

Enerģijas tirgus un pieejamās tehnoloģijas

Enerģijas tirgus

Enerģijas tirgus 2021-22 gada laikā Latvijā un Eiropā ir piedzīvojis dramatiskas izmaiņas, kas ir būtiski izmainījušas gan enerģijas cenas, gan attiecības starp dažādiem enerģijas nesēju veidiem un enerģijas veidiem. Krievijas invāzija Ukrainā un tam sekojošās Krievijas gāzes piegādes problēmas ir padarījušas dabas gāzi ļoti dārgu – gāzes biržas cena ir augusi 1400% apmērā divu gadu laikā. Līdzīgs ir bijis elektrības biržas cenu pieaugums. Sekojot šiem cenu pieaugumiem ir mainījies (palielinājies) pieprasījums pēc biomasas (koksnes) un ir vairākkārtīgi pieaugusi arī enerģijas koksnes cena.

Elektrības tirgū atsevišķos brīžos atomenerģijas un atjaunojamā enerģijas piedāvājums nodrošina vai pat pārsniedz pieprasījumu un elektroenerģija ir ļoti lēta – mazāk kā 10-20 EUR/MWh. Savukārt ir laika periodi, kad vēja un Saules enerģija ir nepietiekama un biržas cenu nosaka ar gāzi termoelektrostacijās ģenerētā elektrības cena. Tas nozīmē ļoti lielas cenu nestabilitātes un svārstības. Diennakts un nedēļas laikā cenas var atšķirties desmitiem reizi. Pieaugot Saules un vēja enerģijas īpatsvaram šī nestabilitāte arvien palielināsies.

Pieejamās siltuma ražošanas tehnoloģijas un enerģijas avoti ar ūdeni apsildāmai siltumnīcai:

Biomassas sadedzināšanas boileri vai koģenerācijas iekārtas

Iekārtas prasa salīdzinoši lielus kapitālieguldījumus un apkalpošanu. Atkarībā no biomasas un no elektrības tirgus cenas tām var būt izdevīgi vai neizdevīgi strādāt koģenerācijas režīmā. Atkarībā no elektrības tirgus cenas un laika apstākļiem tiešā apsilde ar elektrību no tīkla vai tīkla elektrība izmantošana ar siltumsūkni var būt izdevīgāka nekā biomasas sadedzināšana.

Gāzes boileri vai koģenerācijas iekārtas

Atkarībā gāzes un no elektrības tirgus cenas un laika apstākļiem tām var būt izdevīgi vai neizdevīgi strādāt koģenerācijas režīmā. Atkarībā no elektrības tirgus cenas tiešā apsilde ar elektrību no tīkla vai tīkla elektrība izmantošana ar siltumsūkni var būt izdevīgāka nekā gāzes apkure.

Saules kolektori, siltumnesēja šķidrums sildīšanai

Dod vislielāko tiešo siltuma daudzumu no vienas uzstādītās laukuma vienības. Salīdzinoši dārgākas uzstādīšanas izmaksas un apkope. Apgrūtināta enerģijas pārvadīšana lielākos attālumos. Ražo maz enerģijas tad, kad tā visvairāk vajadzīga – ziemā un naktī.

Saules baterijas (PV)

Salīdzinoši mazākas uzstādīšanas izmaksas uz vienu laukuma vienību, mazāka apkope. Ērtāka iespēja pārvadīt enerģiju lielākos attālumos. Iegūto enerģiju var izmantot citur pārpalikuma brīžos. Elektrības pārveidošana uz maiņstrāvu prasa papildus ieguldījumus. Ražo maz enerģijas tad, kad tā visvairāk vajadzīga – ziemā un naktī.

Elektrība no tīkla

Šobrīd (2022 gada otrā puse) ļoti augstas cenas, 400-500 EUR/MWh. Sagaidāms, ka cenas ievērojami samazināsies, bet klūs ļoti svārstīgas.

Tiešā ūdens sildīšana ar elektrību

Prasa mazus kapitālieguldījumus. Barošanai no tīkla prasa lielas jaudas pieslēgumus. Var nodrošināt enerģijas uzkrāšanu ļoti zemu elektrības cenu periodos.

Gaiss-Ūdens siltumsūkņi

Salīdzinoši zemi kapitālieguldījumi. Lietderības koeficients kļūst zems pie negatīvām temperatūrām. Neefektīvs enerģijas uzkrāšanai – salīdzinoši zemas izejošā ūdens temperatūras. Salīdzinoši lieli kapitālieguldījumi. Neefektīvs enerģijas uzkrāšanai – salīdzinoši zemas izejošā ūdens temperatūras.

Siltumnīcu apsildes prasības

Apsildes periods nav strikti definēts – sezonas ilgums var svārstīties atkarībā no situācijas dārzu tirgū un apkures izmaksām. Nepārtrauktība – nav pieļaujami pat īslaicīgi apsildes pārtraukumi. Vasarā siltums augu apsildei vajadzīgs ļoti maz. Siltums var būt vajadzīgs laistāmā ūdens apsildei.

Elektrības tirgus integrēšana ar siltumnīcu apsildi

Sagaidāms, ka būs periodi ar ļoti lētu elektrību, kad tā būs lētāka par visiem citiem enerģijas veidiem izņemot Saules enerģiju un sagaidāms, ka būs periodi ar ļoti dārgu elektrību, kad tā būs ekonomiski neizdevīga izmantošanai apsildei gan tieša veidā gan pat ar siltumsūkni. Ekonomiski efektīvam apsildes risinājumam jāparedz apsildes iespēja laikā, kad nav pietiekami daudz Saules enerģijas un elektrība ir ļoti dārga.

Šī integrācija var notikt divos veidos:

- 1) noslēdzot tādu ilgtermiņa līgumu ar kādu elektrības piegādātāju, ka elektrības izmantošana par fiksētu cenu lai ar siltumsūkni sildītu segtās platības ir izdevīga visu laiku, vai arī
- 2) paredzēt alternatīvu siltuma apgādes variantu – ar gāzi vai biomasu laikā kad elektrības izmantošana ir ekonomiski neizdevīga. Konvertējot esošu siltumnīcu uz zemu CO₂ izmešu siltumnīcu tā tad būtu atstājama iepriekšējā apkurs sistēma.

Siltuma patēriņš uz 1 m² segtās platības

Paredzamais siltuma patēriņš ir atkarīgs no paredzētās veģetācijas sezonas garuma, ja paredzēta apsilde ziemas periodā: decembris- februāris, tad paredzamā maksimālā jauda ir vajadzīga lielāka, lai nosegtu maksimāli iespējamās zemākās temperatūra šajā laikā. 2.2 MW/ha – jaunās projektētās siltumnīcās, kam jānodrošina apkure arī ziemā, tas ir 0.22 kW/m².

Laistāmā ūdens apsildei, ja tiek izmantots artēziskais ūdens – tomātiem, kas tiek audzēti SIA Rītausma tas ir 2.68 ltr/stundā/augam, kas jāuzsilda līdz 18°C, tas ir apmēram 0.08 kW/m² vasarā dienas laikā. Tātad laistāmā ūdens apsildei vajadzīgā enerģija ir relatīvi nozīmīga sastāvdaļa kopīgajā enerģijas bilancē.

Siltuma patēriņa noseģšanas iespējas un vajadzīgās jaudas

Siltumsūkņi

Kompleksā apkures sistēmā siltums tiek patērēts laikā, kad to pietiekamā daudzumā nespēj piegādāt bezmaksas un bez izmešu siltuma avoti – Saules enerģija. Ziemas periodā var būt situācijas, kur Saules enerģija praktiski netiek saņemta (aukstas nakts un dienas ar maz Saules), tāpēc maksimālās jaudas aprēķinos ar Saules enerģiju nevar rēķināties.

Gaiss/ūdens Siltumsūkņa lietderības koeficients krītas samazinoties ārējās vides no kurš tiek ņemts siltums temperatūrai. Apmēram pie -1°C līdz -10°C intervālā Siltumsūkņi kļūst ekonomiski neizdevīgi salīdzinot ar gāzes vai biomasas apkuri. Precīzās temperatūras ir atkarīgas no elektrības cenām un gāzes un biomasas cenām.

Tāpēc kombinētā apkures režīmā, kur tiek izmantota arī apkure ar kurināmā sadedzināšanu maksimālā siltumsūkņa jauda var tikt plānota apmēram 50% no maksimāli iespējamā patēriņa, paredzot, ka lielāka patēriņa gadījumā apkure tiek veikta ar tradicionāliem boileriem. Tas ļauj samazināt kapitālieguldījumus siltumsūkņu iegādei un uzstādīšanai.

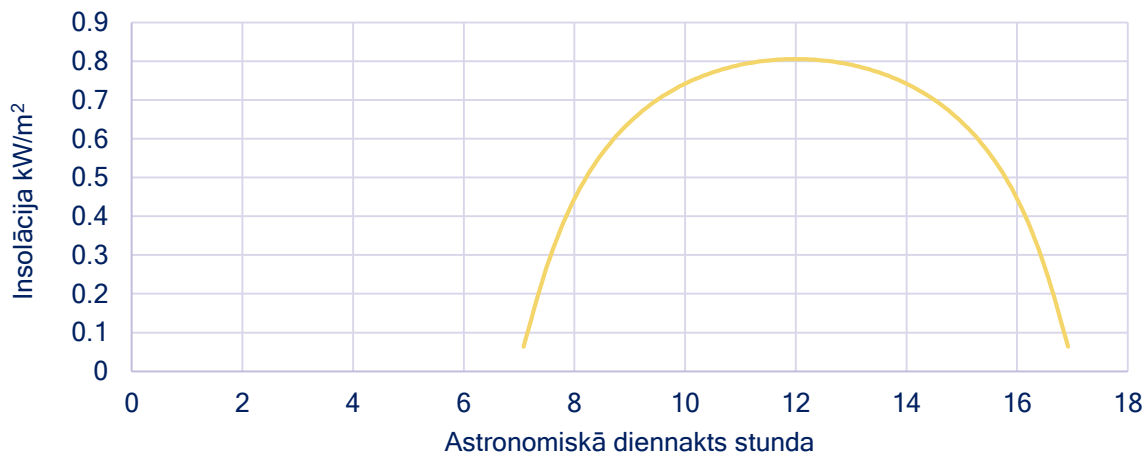
Ja tiek izmantots zemes/ūdens vai ūdens/ūdens siltumsūkņi tad lietderības koeficienta kritums ir mazāks un saistīts ar apkurei izmantojamā ūdens temperatūras palielināšanos aukstumā.

Tātad ieteicamā siltumsūkņa siltuma jauda ir 0.1 līdz 0.2 kW/m² atkarībā no pārējiem apsildes veidiem.

Saules kolektori

Saules kolektori nodrošina siltumu un tā uzkrāšanas iespējas, jo spēj uzsildīt ūdeni līdz 100C. Saules kolektoru faktiskā jauda ir atkarīga no Saules kolektoru novietojuma (leņķa pret Sauli) un to var maksimizēt izvēlētam gadalaikam un izvēlētai diennakts daļai.

Vajadzīgo Saules kolektoru jaudu var aprēķināt ņemot vērā siltuma akumulācijas iespējas, jo izmantojot Saules Kolektorus siltums būtu jāakumulē vismaz vienas $\frac{3}{4}$ diennakts vajadzībām.



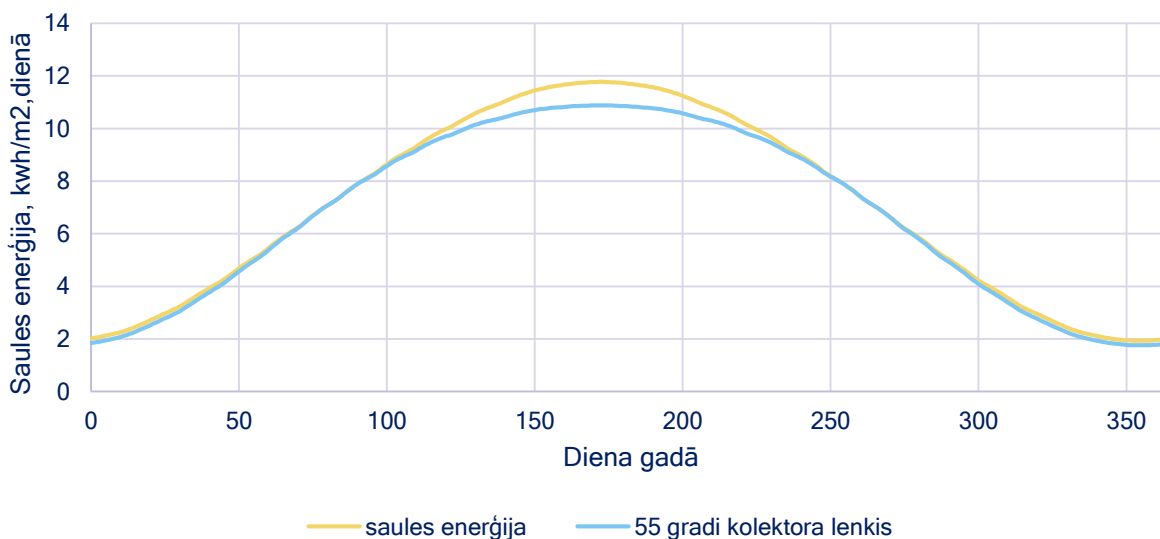
7.4.1. att. Saules radiācija 1. martā, 55° platuma grāds

Kopīgais siltumnīcas diennakts siltuma patēriņš laikā, kad Saules gaisma sāk būt pieejama praktiski nozīmīgā daudzumā ir novērtējams kā apmēram 0.1 kW/m^2 , bet nakts laikā īslaicīgi tas var arī sasniegt 0.15 kW/m^2 . Lai uzkrātu vajadzīgo siltuma daudzumu diennakts ciklam ir jāuzkrāj apmēram 1.5 kWh/m^2 .

Konkrētai siltumnīcai optimālais Saules kolektoru daudzums ir atkarīgs Saules intensitātes statistikas datiem par pavasara un rudens mēnešiem – martu, septembri un oktobri.

Ideālā gadījumā Saules kolektora savāktā enerģija varētu būt ap 80% no kopējās Saules radiācijas enerģijas, kas to apspīd. Praktiski dažādi faktori un enerģijas zudumi šo samazina, tāpēc aprēķiniem var pieņemt 70%.

Tā kā lielākā vajadzība pēc apsildes ir agros pavasara un vēlos rudens mēnešos, tad Saules kolektoram piemērotāks uzstādīšanas leņķis ir apmēram 55 grādi, pret horizontu, kas optimizē iegūto siltuma daudzumu šajā laikā, bet samazina to vasarā salīdzinot ar 45% leņķi.



7.4.2. uztvertā Saules enerģija 56° platuma grādā pa dienām

Lai nodrošinātu (1. marts) visu Siltumnīcas apsildei nepieciešamo maksimālo jaudu, kas nelabvēlīgos apstākļos varētu būt 1.5 kWh uz 1 m^2 apsildāmās plātības, tad vajadzīgi 0.2 m^2 Saules

kolektoru uz 1 m² siltumnīcas lai nodrošinātu siltumu cauru diennakti maksimāli vēsā Saulainā laikā, pieņemot, ka diena ir saulaina.

Praktiski uzstādāmo Saules kolektoru daudzumu var izvēlēties pēc Saules vidējās intensitātes mērījumiem siltumnīcas vietā un izvēloties kādu daudzumu no apkures kopīgās siltuma bilances vidēji nodrošināt ar Saules kolektoriem marta un septembra mēnešos, vai arī ņemot vērā plānoto apsildes sezonas ilgumu.

Saules baterijas (PV)

Saules baterijas tiešai ūdens sildīšanai

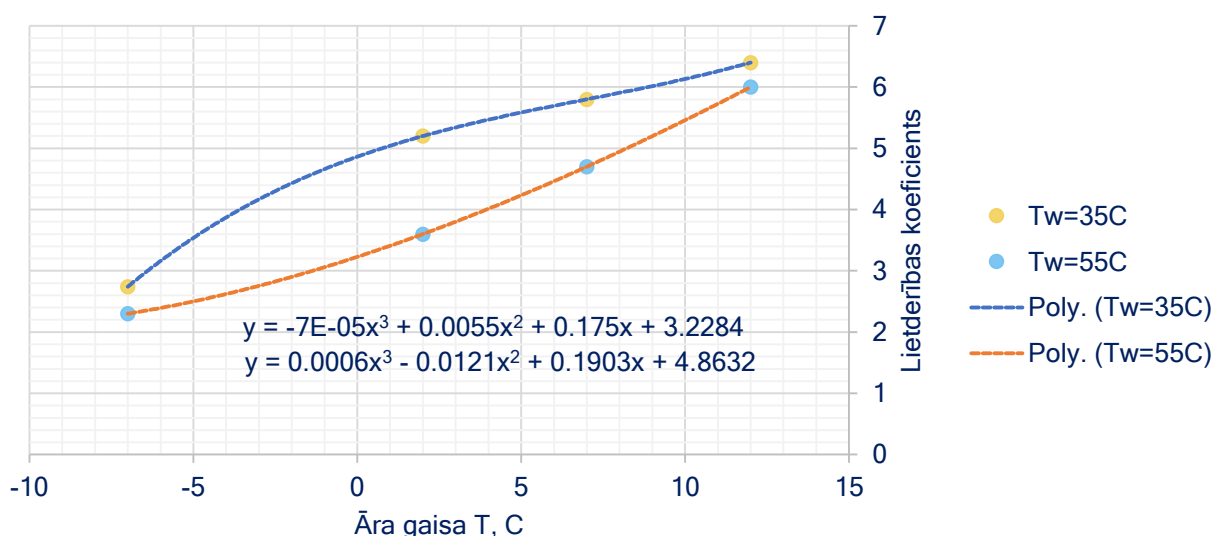
Saules bateriju (PV) saražoto elektrību var izmantot lai tiešā veidā sildītu ūdeni. Mūsdienā Saules bateriju lietderības koeficients ir aptuveni 20% un tas laika gaitā samazinās ar relatīvo ātrumu 1% gadā (1% no 20%), kas nozīmē lietderības koeficienta samazinājumu absolūtos skaitļos par apmēram 0,2% gadā. Tiešā apsildē 1m² Saules kolektora aizvietošanai ir vajadzīgi apmēram 2-3 m² Saules bateriju.

Izvēle starp Saules baterijām un Saules kolektoriem ir izdarāma atkarībā no enerģijas pārvades attāluma (elektroenerģiju ir ievērojami vieglāk pārvadīt lielākos attālos) un no uzstādāmo vienību cenas un uzstādīšanas vietām. Sagaidāms, ka Saules bateriju cena laika gaitā samazināsies, bet Saules kolektoriem nē.

Izmantojot Saules baterijas tiešai ūdens sildīšanai ir iespējams uzkrāt vairāk enerģijas ūdens enerģijas akumulatoros, jo iespējama lielāka temperatūra – līdz 100°C ūdens gadījumā.

Saules baterijas maiņstrāvas ražošanai un Siltumsūkņa darbināšanai.

Ja Saules baterijas izmanto maiņstrāvas ražošanai un siltumsūkņa darbināšanai, tad apsildei iegūstamā siltuma daudzums no viena Saules bateriju m² ir atkarīgs no apkārtējā gaisa temperatūras. Relatīvi siltā laikā siltumsūkņa lietderības koeficients var sasniegt 3 un pat 4, tas nozīmē, ka kopīgā iegūtā siltuma daudzuma ziņā Saules baterijas kopā ar siltumsūkni iegūst no viena kvadrātmetra vairāk siltuma nekā Saules kolektori. Aukstā laikā šī proporcija savukārt ir par labu Saules kolektoriem.



7.4.3. Gaiss - ūdens siltumsūkņa lietderības koeficients

Rūpnieciski ražota tipiska 10 kW Gaiss – ūdens siltumsūkņa lietderības koeficients pie divām dažādām siltā ūdens temperatūrām. Ražotāja dati doti pie 4 standarta temperatūrām – 7°C, 2°C, 7°C, 12°C.

Uzstādot Saules Baterijas (PV), tādā konfigurācijā, ka tiek ražota maiņstrāva, ir lielāka rīcības brīvība izvēloties uzstādāmo Saules bateriju daudzumu. Priekšrocība šajā gadījumā ir tāda, ka gadījumos, kad Saules bateriju saražotā elektrība nav vajadzīga apsildes ierīču darbināšanai, saražoto elektroenerģiju ir iespējams izmantot citām saimnieciskās darbības vajadzībām. Atkarībā no regulatorās vides un valdības noteikumiem attiecībā uz elektroenerģijas tirdzniecību, pāri palikušo elektroenerģiju varbūt nākotnē būs iespējams pārdot vai arī “aizdot” tīklam vai kādam elektroenerģijas tirgotājam.

Tādejādi uzstādāmo Saules bateriju apjoms var arī nebūt ierobežots tikai ar aprēķiniem par ekonomisko vai CO₂ emisiju optimizēšanu tieši siltumnīcas darbībā. Eksperimentālajā siltumnīcā tika uzstādītas Saules baterijas ar nominālo maksimālo jaudu 8,6 kW.

Enerģijas akumulēšana

Izmantojot siltumapgādē Saules enerģiju un elektroenerģiju no tīkla svarīga ir enerģijas uzkrāšana – akumulēšana, lai nodrošinātu apsildi laikā kad nav pieejama Saules enerģija un elektrība ir dārga.

Enerģijas akumulēšanas veidi

Elektrības akumulatori – baterijas.

Elektrības akumulatori pagaidām ir salīdzinoši dārgi, bet sagaidāms, ka to cenas samazināsies. Ieteicamā elektrības akumulatoru ietilpība ir 50-70% no dienas sagaidāmā PV ražīguma, lai pēc iespējas nodrošinātu pilnu diennakts apsildi ar Saules baterijām (PV). Elektrības akumulatori var tikt izmantoti arī aktīvā elektrības patēriņa menedžmenta veidā uzkrājot elektrību lēto cenu periodā un atdodot dārgo cenu periodā. Tam gan ir vajadzīgas īpašas elektrības kontroles iekārtas.

Karstā ūdens akumulatori

Karstā ūdens akumulatori ļauj uzkrāt enerģiju no Saules kolektoriem un Saules baterijām (PV) strādājot tiešā ūdens sildīšanas režīmā. Karstā ūdens akumulatori jau tagad tiek izmantoti Siltumnīcas darbībā, tāpēc tiem pat varbūt nav nepieciešami jauni ieguldījumi. Ieteicamais karstā ūdens akumulatoru ietilpības apjoms ir vienas nakts apsildes apjomā aukstā pavasara naktī vai 80% no sagaidāmās Saules Kolektoru jaudas pavasarī. Karstā ūdens akumulatori nav piemēroti enerģijas uzkrāšanai no siltumsūkņa, jo ievērojami samazina siltumsūkņa lietderība koeficientu.

Fāzu pārejas materiālu akumulatori

Fāzu pārejas materiālu akumulatori ļauj uzkrāt siltuma enerģiju to glabājot tādā temperatūrā kādā tas ir izdevīgi siltumsūkņa darbībai. Cenas un tehnoloģiskās sarežģītības dēļ tie šobrīd nav piemēroti praktiskai izmantošanai siltumnīcās.

7.5. nodaļa. Modularitātes sistēmas pētījumi, solārās elektrības un siltuma apgādes sistēmu konstrukciju izveide

Informāciju sagatavoja: Latvijas Universitāte, Ķīmiskās fizikas institūts sadarbībā ar biedrību Progresīvo tehnoloģiju institūts (PTI)

Biedrība Progresīvo tehnoloģiju institūts projekta „Efektīvu siltuma ieguves un apgādes risinājumu izpēte segtajās platībās” īstenošanas gaitā piedalījās un veica tehnoloģiskā procesa pētījumos un risinājumu izstrādē veica modularitātes pētījumus, veica Saules bateriju un siltumapgādes sistēmas konstrukciju izveidi, veica Saules elektroenerģijas sistēmai un enerģijas uzkrāšanai vajadzīgos iepirkumus un kopā ar partneriem organizēja šo sistēmu uzstādīšanu. Piedalījās pētījumos, rezultātu iegūšanā un apstrādē.

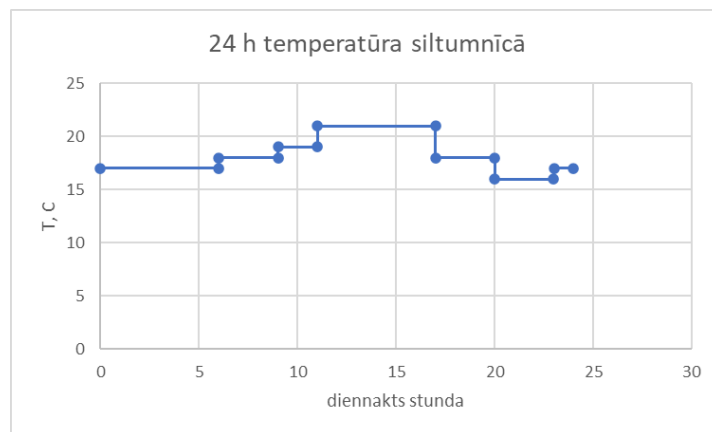
Tehnoloģijas izstrāde segto platību siltumenerģijas nodrošināšanai, modularitātes sistēmas pētījumi, solārās elektrības un siltuma apgādes sistēmu konstrukciju izveide.

Siltumnīcu apkures izaicinājums

- Pāreja no dabas gāzes apkures uz mazu emisiju apsildi;
- Pēc iespējas izmantot esošo infrastruktūru;
- Pēc iespējas mazi un ātri izdarāmi ieguldījumi;
- Vēlamas ekonomiskas priekšrocības pret gāzes apkuri.

Siltumnīcas apsildes enerģijas patēriņš

- Kultūra un temperatūras prasības;
- Siltumnīcas darba cikls;
- Sezonas sākums;
- Sezonas beigas;
- Ziemas sezonas temperatūra;
- Prasības Temperatūras precizitātei;
- Apkārtējā vide un ģeogrāfiskais novietojums.



7.5.1. att. Temperatūras režīms tomātiem

Klimatneitrāla siltumnīcas apsilde

- Neizmanto fosilo kurināmo;
- Biomasa kā kurināmais;
- Dabas piesārņojums;
- Oglekļa nanodaļiņas un iespējamās veselības problēmas;
- Konkurence ar citiem biomasas izmantošanas veidiem;
- Solārā enerģija.

Siltumapgādes problēmas Saules enerģijai

- Dienas cikls – saule/mākoņi;
- Diennakts cikls;
- Aukstie bezsaules periodi – līdz 7 vai 10 dienām;
- Ziemas – vasaras cikls;
- Sezonas beigas/sākums;
- Dunkelflaute ziemā – ne Saules, ne vēja.

Saules enerģijas uzkrāšana

- Jānodrošina diennakts cikls;
- Jānodrošina ilgstoši vēsi bezsaules periodi;
- Jānodrošina sezonas sākums un beigas.

Saules enerģijas uzkrāšanas pētījumu secinājumi

Izmantojot tikai Saules enerģiju tiešā veidā nav ekonomiski iespējams nodrošināt siltumnīcu apsildi šādiem apstākļiem:

- Ilgstošu vēsu periodu apsildi industriālā ražošanas režīmā;
- Sezonas sākumu un sezonas beigas ievērojot industriālās ražošanas prasības – precīzus temperatūru režīmus;
- Ir vajadzīgs papildus siltuma avots – Siltumsūknis;
- Siltumsūknis var izmantot uzkrāto Saules elektroenerģiju un atjaunojamo elektroenerģiju no tīkla.

Enerģijas uzkrāšana gaiss-ūdens siltumsūknim

- Elektrības cenām ir 24 stundu un 7 dienu cikli;
- Dienas laikā pīķa cenas var būt 2-10 reizes augstākas par nakts cenām;
- Gaiss-ūdens siltumsūknim ir ievērojami zemāks COP pie augstākām sildāmā ūdens temperatūrām;
- Sildāmā ūdens temperatūra atkarīga no ārtelpu temperatūras un Saules radiācijas;
- Lielāko sezonas daļu apkures turpgaitas ūdens temperatūra ir zem 45-50°C;
- Siltuma akumulatoriem lai uzkrātu enerģiju ir jābūt ievērojamam ΔT .

Secinājums:

Gaiss-ūdens siltumsūkņi nav piemēroti siltuma akumulācijas sistēmām, neskaitot fāzu pārejas siltumnesējus, bet tie savukārt ir dārgi un tehnoloģija nav pagaidām pietiekami attīstīta.

Enerģijas uzglabāšanas prasības – uzglabājamie enerģijas daudzumi

- Dienas laika temperatūras svārstību kompensēšanai vajadzīgās enerģijas glabāšana;
- 24 stundu cikls;
- Līdz 0.2-0.3 kWh/m² elektrībai;
- Līdz 1kWh/m² siltumenerģijas uzglabāšanai;
- Ilgāki auksti un mākoņaini periodi;
- Līdz desmit dienām;
- Līdz 10-15 kWh/m² siltumenerģijas vai 3-5 kWh elektrības;
- Pie šī brīža enerģijas uzglabāšanas cenām nav ekonomiski pamatojami;
- Sezonas sākums un beigas.

Tehnoloģijas siltumnīcas apsildei, lai samazinātu CO2 izmešu daudzumu

- Siltumsūkņi;
- Saules enerģija;
- Biomasa;
- Enerģijas akumulācija.

Siltumapgādes sistēma Saules enerģijai siltumapgādes un uzkrāšanas moduļi

Dienas cikls – saule/mākoņi:

- Elektrības baterija vai siltuma akumulators uz ūdens bāzes
- Esošās infrastruktūras ūdens siltuma akumulators

Diennakts cikls

- Elektrības baterija vai siltuma akumulators uz ūdens bāzes
- Esošās infrastruktūras ūdens siltuma akumulators

Aukstie bezsaules periodi – līdz 7 vai 10 dienām

- Atkarībā no esošās siltuma uzkrāšanas infrastruktūras un enerģijas patēriņa 3-7 dienas

Ziemas – vasaras cikls

- Vēsajam ziemas servisa ciklam (kad jānodrošina sistēmas neizsalšana un minimālā temperatūra), enerģiju iespējams uzkrāt zemes slānī

Sezonas beigas/sākums

- Esošās un ekonomiski pieņemamā veidā uzstādāmās enerģijas uzkrāšanas sistēmas nevar nodrošināt vairāk par 3-5 dienām
- Dunkelflaute ziemā – nav Saules, nav vēja

Siltuma avoti un to stabilitāte

Tiešie Saules stari (klasiskais variants)

Saules kolektors

- Papildina tiešos Saules starus, dod siltumu tad, kad tas vismazāk vajadzīgs

Saules baterijas (PV) – tiešā apsilde, tiešā ūdens sildīšana

- Mazāki kapitālieguldījumi
- Var uzkrāt siltumu siltuma akumulatorā – sildot tiešā veidā ūdeni AC (ar invertoru) vai DC režīmā
- Papildina tiešos Saules starus, dod siltumu tad, kad tas vismazāk vajadzīgs
- Enerģija (elektrība) vieglāk transportējama

Saules baterijas (PV) – invertors

- Var mijiedarboties ar elektrības tīklu

Siltumsūkņis Gaiss-Ūdens

- Nevar uzkrāt siltumu (var, bet ar fāzu maiņas materiāliem, kas ir dārgi)
- Var darboties kopā ar Saules baterijām PV
- Kritas lietderības koeficients pie zemām āra gaisa T. (zem -7°C)

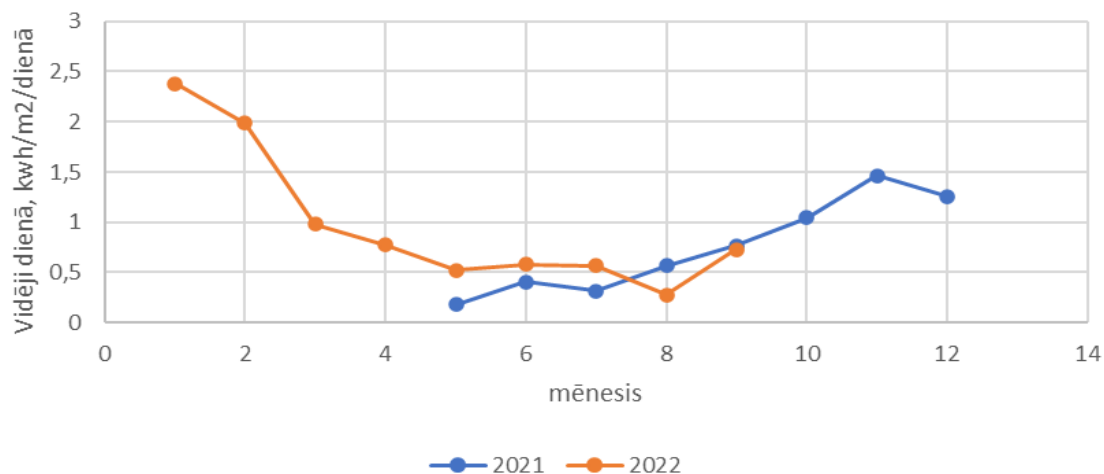
Siltumsūkņis zeme-ūdens vai ūdens-ūdens

Tehnoloģija ar kombinētiem siltuma avotiem

- Saules kolektori – 0.3 kW/m^2 siltumnīcas platība
- Saules baterijas – 0.15 kW/m^2 siltumnīcas platība
- Gaiss-ūdens siltumsūkņi – 0.2 kW/m^2 siltumnīcas platība
- Invertors un siltumsūkņa elektroapgāde no Saules baterijām
- Siltuma akumulators kopā ar Saules kolektoriem
- Elektrības akumulators kopā ar Saules baterijām (un tīklu)

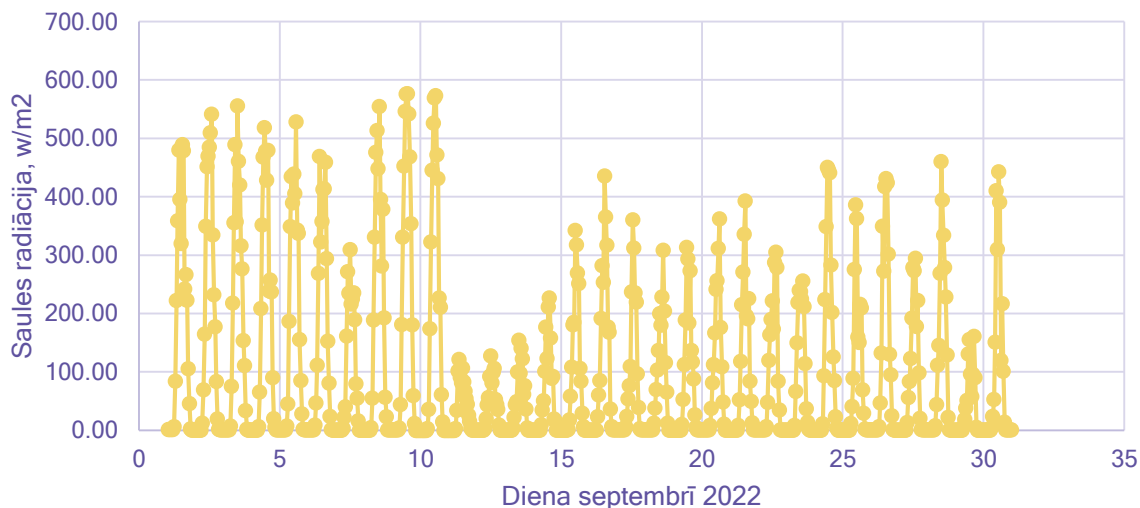
Siltumsūkņa Enerģijas patēriņš

- Maijs-Augusts $0.3\text{--}0.5 \text{ kWh/m}^2/\text{dienā}$;
- Aprīlis, Septembris $0.7\text{--}0.8 \text{ kWh/m}^2/\text{dienā}$;
- Marts, Oktobris $1\text{--}1.2 \text{ kWh/m}^2/\text{dienā}$.



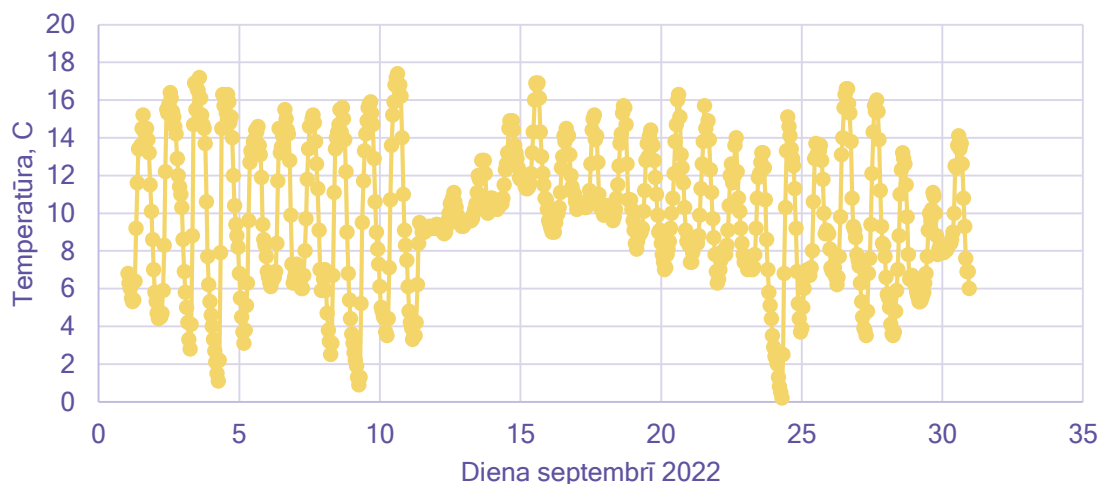
7.5.2. att. Siltumsūkņu vidējais patēriņš dienā

Piezīme pie attēla 7.5.3.: 2021 gadā Saules baterijas (PV) tika izmantotas, lai tieši sildītu ūdeni, tādēļ tajā laikā ir mazāks enerģijas patēriņš siltumsūkņim



7.5.3. att. Saules radiācija (septembris, 2022)

Attēlā 7.5.3. redzamas Saules radiācijas svārstības septembrī, kas ir būtiskākais mēnesis apsildes nodrošināšanai izmantojot solāro enerģiju.



7.5.4. att. Āra gaisa temperatūra (septembris, 2022)

Attēlā 7.5.4. redzamas āra gaisa temperatūras svārstības septembrī, kas ir būtiskākais mēnesis apsildes nodrošināšanai izmantojot solāro enerģiju. Laikā, kad ir solārās enerģijas pārpalikums – apsilde ir vajadzīga diennakts cikla ietvaros. Laikā kad ir relatīvi augsta vidējā temperatūra, it īpaši naktī, Saules enerģijas balanss ir apmēram neitrāls (ap nulli), laikā, kad ir samazināta Saules radiācija un vienlaicīgi arī ir vērojama zema temperatūra – strauji veidojas Saules enerģijas deficīts, kas pārsniedz uzkrāšanas iespējas.

Enerģijas uzkrāšanas vajadzības

Diennakts cikls

- 0.2-0.3 kWh/m² elektroenerģija vai 1 kWh/m² siltums;
- Aukstajiem periodiem 7-10 dienas;
- 3-10 kWh/m² siltuma enerģija;
- Sezonas tālākai pagarināšanai.

Nav ekonomiski pamatotu enerģijas uzkrāšanas veidu šādam uzkrāšanas apjomam. Uzkrātais zemes siltums var paildzināt veģetāciju, bet bez optimālām temperatūrām siltumnīcas iekšienē.

Optimālā tehnoloģija – modulārais risinājums

Modulis - Gaiss-ūdens siltumsūknis

- Jo zemāka apkures ūdens temperatūra, un augstāka āra gaisa T, jo izdevīgāks;
- Izdevīgs lētos elektrības periodos;
- Iespējams modulārs risinājums ar paralēliem sūkņiem;
- Nevar uzkrāt siltuma enerģiju (nav ekonomiski pamatoti).

Modulis - Saules baterijas (PV) ar invertoru

- Mijiedarbība ar tīklu (atkarīga no normatīvā regulējuma);
- Enerģija siltumsūknim;
- Tiešā ūdens sildīšana (var uzkrāt siltumu);
- Iespējams pakāpeniski pievienot jaunus moduļus.

Modulis - Elektrības akumulators 0.2-0.4 kWh/m²

- Nodrošina enerģiju siltumsūknim;
- Pagaidām dārgi;
- Atkarībā no cenas iespējams pievienot jaunus moduļus;

Modulis - Saules kolektors;

- Lielāks lietderības koeficients tiešā sildīšanā nekā PV;

- Var uzkrāt enerģiju siltā ūdens akumulatoros.

Modulis - Siltuma akumulators 1-2 kWh/m²

- Parasti esošās infrastruktūras sastāvdaļa.

PV un Saules kolektoru moduļi

- Saules kolektora lietderība vērtējama pēc esošās siltuma akumulatoru sistēmas. Esošā centrālā apkures siltumnīca parasti ir ar siltuma akumulatoru un tad Saules kolektoriem nav vajadzīgi papildus ieguldījumi siltuma akumulatoros;
- Saules Baterijām (PV) savukārt svarīga ir iespēja nodot elektrību tīklā, kas atkarīga no nākotnes likumiem un tīkla nosacījumiem;
- Domājams, ka vajadzība pēc enerģijas akumulatora nākotnē var palielināties, palielinoties cenu svārstībām elektrības tirgū;

Secinājumi par Saules paneļu (PV) izmantošanu segto platību apsildē

- Saules paneļu (PV) izmantošanas iespējas un lietderīgumu nosaka pārējie apkures sistēmas elementi;
- Saules paneļus (PV) var izmantot ūdens siltuma akumulatora sildīšanā sasniedzot jebkuru uzdoto temperatūru;
- Saules paneļus (PV) pielietojot kopā ar siltumsūkni ir nepieciešams akumulators Saules enerģijas uzkrāšanai;
- Instalējamo Saules paneļu (PV) jauda ir atkarīga no pārējām elektrības patēriņa saimniecībā un no iespējām nodot saražoto elektrību tīklā.

7.6. NODAĻA. BIOMASAS ŽĀVĒŠANAS IEKĀRTU KONSTRUKCIJAS IZSTRĀDE

Informāciju sagatavoja: Latvijas Universitāte, Ķīmiskās fizikas institūts sadarbībā ar APKC

SIA "A. Pundura Konsultāciju Centrs" projekta „Efektīvu siltuma ieguves un apgādes risinājumu izpēte segtajās platībās” īstenošanas gaitā piedalījās un veica tehnoloģiskā procesa pētījumus un risinājumu izstrādē, definēja parametrus iepērkamām iekārtām un veica iepirkumus Saules kolektoru, Saules bateriju (PV) un Siltumsūkņa nomai kā arī veica un koordinēja šo iekārtu uzstādīšana darbus un veica pētījumus ar biomasas žāvēšanas iespējām ar pāri paliekošo Saules siltumu.

Biomasas žāvēšanas iekārtu konstrukcijas izstrāde, biomasas žāvēšanas energoapgādes nepārtrauktības analīze un tehniski ekonomiskais novērtējums.

Klimatneitralitāte

- ES kurss uz klimatneitralitāti 2050. gadā;
- Lauksaimniecībā;
- Izmešu samazināšana;
- Biomasa enerģētikā.

Biomasas žāvēšana

- Pārtikas produkti – žāvēti;
- Biomasa lopkopībai – pakaiši;
- Biomasa enerģētikai.

Pārtikas žāvēšana

- Saudzīgs temperatūras režīms;
- Vitamīnu un citu bioloģiski vērtīgo vielu saglabāšana;
- Zemā T – līdz 50°C;
- Vidējā T – līdz 60°C;
- Ātrā žāvēšana – virs 60°C.

Prasības nepārtrauktībai

- Nav vēlamas ilgas pauzes;
- Atkārtotamība produkta standartizācijai;
- Atkārtotams standartizēts žāvēšanas režīms.

Pakaišu žāvēšana

- Vēlamais mitrums – (10-18) % - atkarīgs no pielietojuma;
- Koksnes daļiņu izmērs atkarīgs no pielietojuma;
- Nav T ierobežojuma – var žāvēt augstās temperatūrās;
- Praktiski temperatūru ierobežo koksnes ķīmiskās pārvērtības un krāsas maiņa augstās temperatūrās.

Biomasa enerģētikai

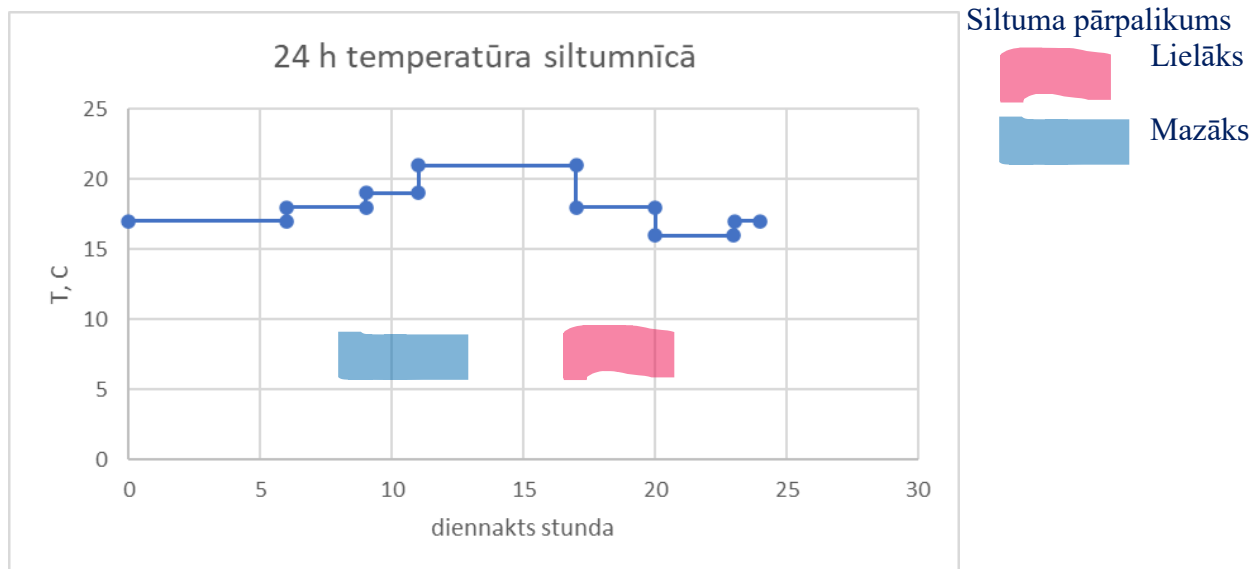
- Skaidas – izejviela gala produktam;
- Mitruma % - atkarīgs no pielietojuma 7-15%;
- Granulas;
- Briketes;
- Šķelda;
- Ilgāks žūšanas laiks nekā skaidām;
- Nav kritiski svarīgs sasniedzamais mitrums procents;
- Žāvēšanas procesa pārtraukumi nav kritiski produkta kvalitātei.

Siltumnīcas apsildes enerģijas bilance

- Siltuma pārpalikumu var izmantot biomasas žāvēšanai;
- Pašas siltumnīcas siltuma pārpalikums;

- Grūti izmantojams, šajā pētījumā tā izmantošana netika pētīta;
- Apkures sistēmas siltuma pārpalikums;
- Diennakts cikls;
- Apkures Sezonas sākums – vairāk Saules iespējami garāki pārpalikuma periodi;
- Apkures Sezonas beigas – mazāk Saules ilgtermiņa pārpalikumi grūti prognozējami;
- Vasaras sezona – regulārs pārpalikums, var būt pārtraukumi;
- Ietekmējošais faktors – siltumnīcā audzētā kultūra un temperatūras prasības.

Temperatūras režīms tomātiem un ietekme uz siltuma pārpalikumu



7.6.1. att. **Diennakts siltumnīcas iekšējās temperatūras cikls un ar to saistītais enerģijas iespējamais pārpalikums solārā apsildē**

Klimatneitrālas siltumnīcas apsildes siltuma enerģijas avoti

Saules kolektori

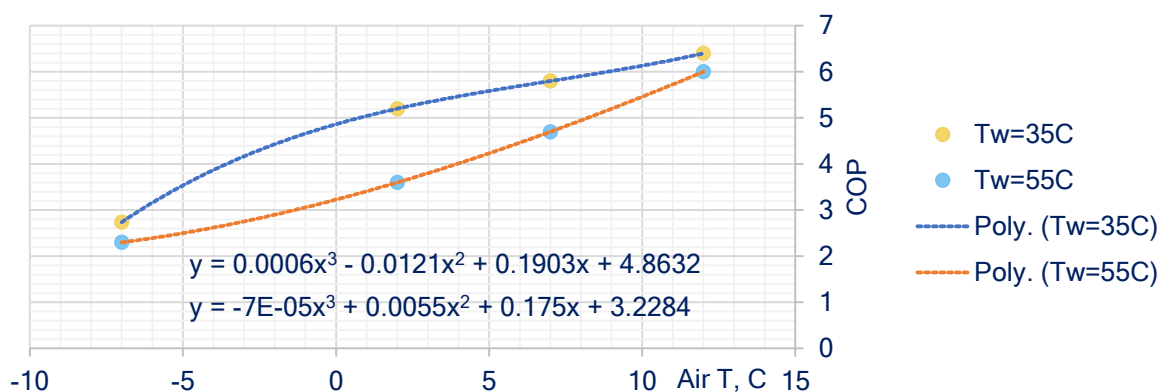
- Ūdens T līdz 100°C (vai pat nedaudz vairāk);
- Lielāks lietderības koeficients nekā Saules Baterijām (PV);
- Iespējams uzkrāt enerģiju siltuma akumulatoros;
- Siltuma akumulatoru ietilpība atkarīga no vajadzīgās apsildes ūdens temperatūras.

Saules baterijas – PV

- Zemāks lietderības koeficients nekā Saules kolektoriem;
- Iespējams panākt augstāku apsildes temperatūru;
- Iespējams uzkrāt enerģiju siltuma akumulatoros uz ūdens bāzes;
- Iespējams uzkrāt enerģiju elektrības akumulatoros (kas gan pagaidām ir dārgi).

Siltumsūkņi (gaiss – ūdens tips, tika izmantots pētījumā)

- Ierobežota temperatūra (līdz $60-65^{\circ}\text{C}$);
- Paaugstinoties temperatūrai strauji pazeminās lietderības koeficients;
- Vispār eksistē siltumsūkņi industriālā siltuma iegūšanai līdz 150°C , tie šajā pētījumā netika apskatīti;
- Biomasa kā siltuma avots (netika izmatota pētījumā).

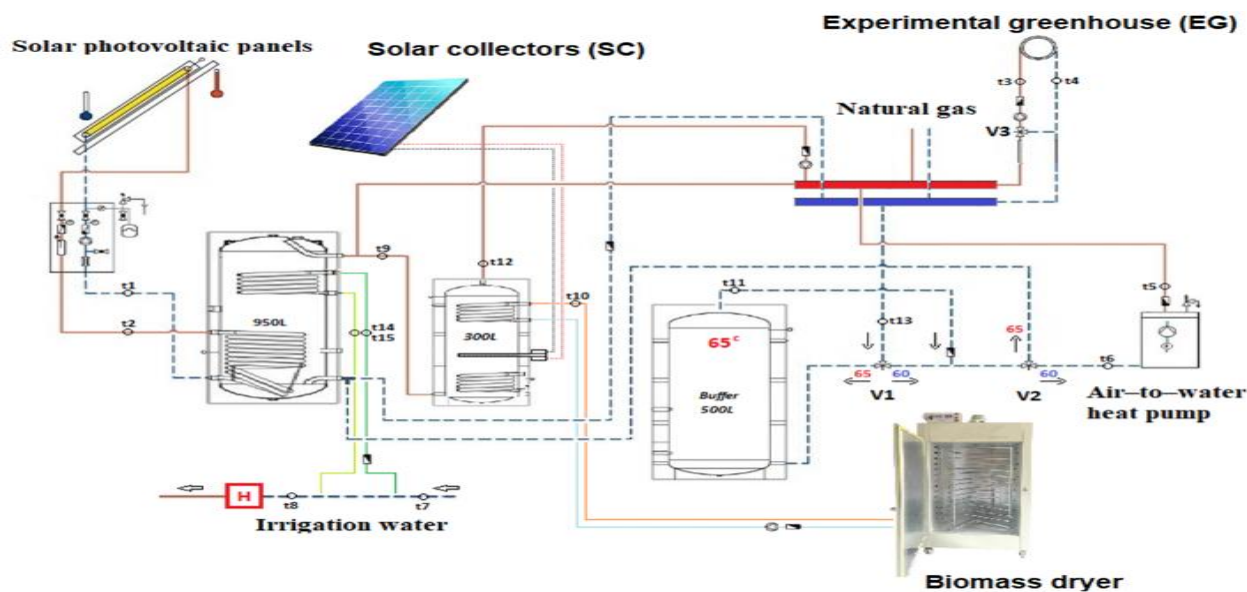


7.6.2. att. Siltumsūkņa lietderības koeficients, aprēķināts no tehniskajiem datiem. Hitachi 10 kW heat power Outdoor unit: RAS-4WHVNPE, Indoor unit RWH-4.0VNFE

Karstāka žāvēšana ir neekonomiskāka ar siltumsūkni

Biomases žāvētāja parametri

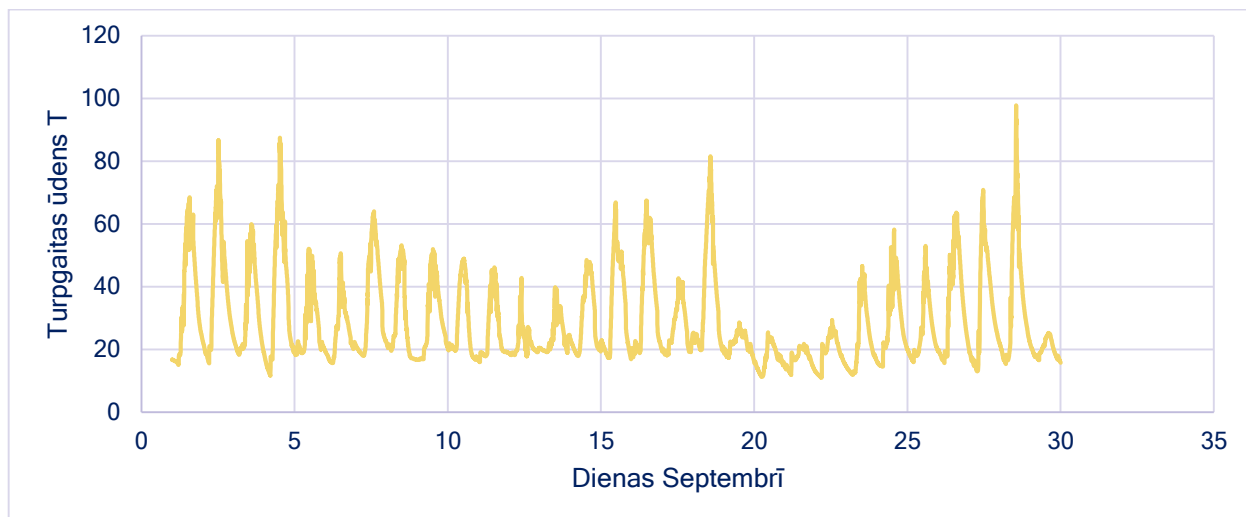
- Analizējot visus faktoros tika izvēlēta šāda konfigurācija;
- Siltuma nesējs: ūdens;
- Apsildes veids: tiešā apsilde ar siltuma nesēja caurplūdi, dabiskā konvekcija ar piespiedu ventilēšanu;
- Primārā žāvējamā biomasa: skaidas vai šķelda;
- Pārtikas produktu žāvēšana ir iespējama, bet siltumapgādes stabilitātes dēļ tā tiek uzskatīta par sekundāru.



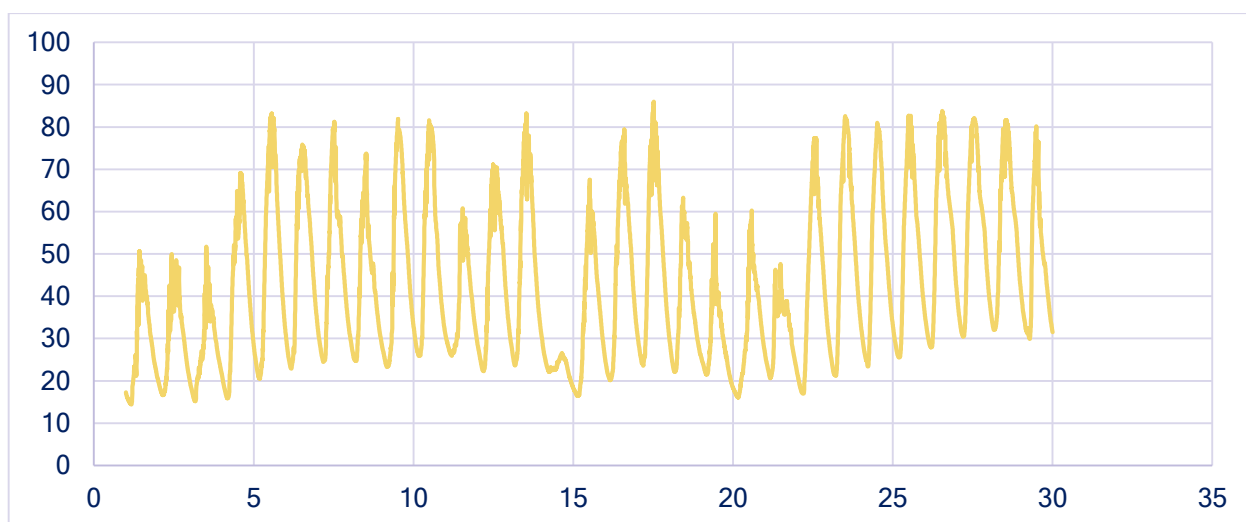
7.6.3. att. Biomases žāvētāja pieslēguma pie Saules bateriju tiešā pieslēguma (DC) boilerā shēma

Biomases žāvētāja pieslēgums

- Nodrošināt augstas temperatūras iespēju;
- Pieslēgums pie Saules kolektora siltuma akumulatora;
- Pieslēgums pie Saules bateriju (PV) tiešā pieslēguma boilerā.



7.6.4. att. **Biomases žāvēšanai pieejamā ūdens temperatūra sezonas beigās pieejamās temperatūras (Septembris), Saules kolektora izejas T**



7.6.5. att. **Biomases žāvēšanai pieejamā ūdens temperatūra vasarā (Jūnijs), Saules kolektora izejas T**

Biomases žāvētāja bloks

- Abi augstas T siltuma akumulatori, kas var tikt izmantoti Biomases žāvētāja apsildei;
- Saules bateriju (PV) ar DC sildītais boileris (mazais 300 ltr);
- Saules kolektoru sildītais siltuma akumulators (lielais 960 ltr).

Secinājumi

- Biomases žāvēšanai nav iespējams nodrošināt žāvēšanas nepārtrauktību izmantojot tikai Saules enerģiju paralēli ar siltumnīcu apsildi;
- Ekonomiski pamatota ir tādas biomasas žāvēšana, kuras žāvēšanas process var tikt pārtraukts uz nenoteiktu laiku līdz atkal atjaunojas enerģijas padeve. Primāri tā ir skaida, šķelda un citi enerģijas biomasas veidi;
- Biomases žāvēšanas nepārtrauktības nodrošināšanai ir vajadzīgs siltumsūknis, kas tiek barots no tīkla. Pavasara/vasaras/rudens periodā siltumsūknim ir rezerves jaudas, lai nodrošinātu arī biomasas žāvēšanu;
- Enerģijas biomasas žāvēšana prasa augstāku temperatūru nekā siltuma padeve uz siltumnīcu, tāpēc veidojas nesaderība ar prasībām siltumsūknim;
- Pārtikas tipa biomasas žāvēšanai ir iespējamās (un bieži arī vēlamās) zemākas temperatūras, kas ir vairāk saderīgas ar tādu siltumsūkni, kas var tikt izmantots siltumnīcas apsildei.

7.7. NODAĻA. TEMPERATŪRAS UN CITU PARAMETRU MĒRĪJUMU SISTĒMAS IZSTRĀDE

Informāciju sagatavoja: SIA "Baltic Open Solution Center"

Tehnoloģija segto platību siltumenerģijas problēmu pētījumu nodrošināšanai.

Tehnoloģijas mērķis: Nodrošināt segto platību siltumapgādes pētījumus ar siltumu vektoru pētījumu mērījumu sistēmu.

Pieejamās tehnoloģijas.

Pasaulē eksistē ievērojams skaits dažādu temperatūras mērījumu sensoru sistēmu. Visu apzināto sistēmu parametri neatbilst zinātnisko pētījumu vajadzībām. To galvenie trūkumi ir tas, ka tās ir paredzētas neliela skaita punktu temperatūru mērīšanai. Pieaugot to skaitam, summāro izmaksu cena pieaug ģeometriski. Tāpat zinātniskiem pētījumiem ir nepieņemami apstākļi, ka visu apzināto sistēmu mērījumu dati un nereti pašas sistēmas ir atkarīgas no konkrētā sistēmas ražotāja. To mērījumi tiek uzkrāti ražotāja mākonserveros. Tur uzkrātie dati tiek uzglabāti stingri ierobežotu laiku un ierobežotā apmērā. Datu uzglabāšanas ierobežojumus var mainīt par tiem maksājot atsevišķu maksu, kas zinātnisko mērījumu prasībām atbilstošos apmēros padara mērījumus neiespējamus dēļ ierobežotiem budžeta līdzekļiem.

Lai veiktu zinātniekiem pētījumiem nozīmīgus mērījumus sistēmai jānodrošina šādas prasības:

- Iespēja neierobežoti palielināt mērījumu punktu skaitu (saskaņā ar pētījumu gaitu);
- Sistēmai jāspēj veikt mērījumus un nosūtīt to datus uz serveriem ik pēc pietiekami īsiem (salīdzinoši ar siltuma izplatības procesu ātrumu augsnē vai gaisā) intervāliem;
- Sistēmai jābūt robustai, šādai sistēmai jābūt inertei pret gan lauka, gan segtajās platībās esošiem vides apstākļu izaicinājumiem;
- Sistēmai, kur tas ir iespējams, jānodrošina funkcionalitāte izmantojot enerģiju pieejamu vidē (*Energy Harvesting*), konkrēti saules enerģiju;
- Datu uzkrāšanai jābūt pašu pētījumu veicēju kontrolētai, tā kapacitātei jābūt palielināmai neierobežoti.

Veiktie pētījumi un izstrāde

Projekta ietvaros tika veikta pieejamo mērījumu datu ieguves tehnoloģiju izpēte un izvēle sistēmas izstrādei, kas nodrošinātu zinātniskiem pētījumiem nepieciešamās prasības.

- Tika radīta augsnē ierokamu temperatūras sensoru izstrāde, kas nodrošinātu mērījumus vairāku sezonu garumā (ilgstoši);
- Tika veikta mērījumu mezglcentra izstrāde, kas ietver uz ARM tipa mikroprocesoru balstītu mikro skaitļošanas sistēmu ar reālā laika operētājsistēmu un datu pārraides apakšsistēmu, kas nodrošina datu nosūtīšanu uz nepieciešamajiem serveriem izmantojot GPRS pakešdatu pārraidi publisko mobilo sakaru operatoru tīklos;
- Kā barošanas avots tika izveidota Saules enerģijas uzkrājoša apakšsistēma, ar iespēju vajadzības gadījumā to barot no standarta 220 maiņstrāvas tīkla;
- Uz iepriekšējās pieredzes pamata veikta datu uzglabāšanas sistēmas izveide un pilnveidošana.

Projektā veicamie darbi – izpēte un izstrāde - tika plānoti saskaņā ar Projekta pieteikumā iesniegto laika grafiku. Diemžēl pētījumu un izstrādes process salīdzinot ar plānoto tika dinamiski mainīts, jo:

- 2021. gads bija COVID pandēmijas gads ar neplānotām izejvielu un materiālu cenām un to pieejamību;
- 2021. gads kā COVID pandēmijas gads bija ar neprognozējamu darbaspēka pieejamību un kā rezultāts – apgrūtināti plānojamiem darbu veikšanas termiņiem;
- 2022. gadā energoņesēju un citu materiālu un izejvielu cenas ietekmēja krievijas uzsāktais karš Ukrainā, kas savukārt piespieda pilnībā izmainīt datu uzkrāšanas serveru koncepciju, tos pārplānojot darbībai ar iespējami mazāku enerģijas patēriņu un ar to saistītajām infrastruktūras izmaksām.

Attēlā 7.7.1. att. parādīts datu atlasē piemērs izvēlētajā laika posmā ar z.s. Skudriņās izvietotās mērījumu sistēmas iesūtītajiem datiem.

Select Observation to change

EXPORT ADD OBSERVATION +

FILTER

Observation time

Date: From date

Time: From date

Date: To date

Time: To date

Search Reset

Registration time(UTC)

Date: 2023-05-01

Time: 00:00:00

Date: 2023-05-30

Time: 12:00:00

Search Reset

By Node

All

NODE	SENSOR	VALUE	OBSERVATION TIME	REGISTRATION TIME(UTC)
866425039194388	340350002	18.375	May 30, 2023, 1:45 p.m.	May 30, 2023, 11:45 a.m.
866425039194388	340350000	-896.062	May 30, 2023, 1:45 p.m.	May 30, 2023, 11:45 a.m.
866425039312964	360200000 (Spriegums (Voltage))	4248.0	May 30, 2023, 1:40 p.m.	May 30, 2023, 11:40 a.m.
866425039312964	340340092 (Siltuma nesēja T)	46.9	May 30, 2023, 1:40 p.m.	May 30, 2023, 11:40 a.m.
866425039312964	410130092 (Air_humidity)	20.6	May 30, 2023, 1:40 p.m.	May 30, 2023, 11:40 a.m.
866425039312964	340350018 (Air_Temperature)	25.375	May 30, 2023, 1:40 p.m.	May 30, 2023, 11:40 a.m.
866425039312964	340350017	47.875	May 30, 2023, 1:40 p.m.	May 30, 2023, 11:40 a.m.
866425039312964	340350016	46.125	May 30, 2023, 1:40 p.m.	May 30, 2023, 11:40 a.m.
866425039161502	360200000	3980.0	May 30, 2023, 1:40 p.m.	May 30, 2023, 11:40 a.m.
866425039161502	340350004 (Air_Temperature)	23.125	May 30, 2023, 1:40 p.m.	May 30, 2023, 11:40 a.m.
866425039161502	340350003	21.6875	May 30, 2023, 1:40 p.m.	May 30, 2023, 11:40 a.m.
866425039161502	340350002	22.5	May 30, 2023, 1:40 p.m.	May 30, 2023, 11:40 a.m.
866425039161502	340350001	20.625	May 30, 2023, 1:40 p.m.	May 30, 2023, 11:40 a.m.
866425039312964	340350015	45.6875	May 30, 2023, 1:40 p.m.	May 30, 2023, 11:40 a.m.

7.7.1. att. Eksperimentālās siltumnīcas izvietotās mērījumu sistēmas reģistrēto datu atlasē piemērs (z.s. Skudriņās)

Attēlā 7.7.1. att. dati atspoguļoti izmantojot vienkāršotu grafisko interfeisu. Ņemot vērā datu ievērojamo apjomu, to pilnam eksportam statistiskai analīzei izmantojams SQL datubāzes tiešs pieslēgums. Datu apjoms nosaka, ka to pilnvērtīgai analīzei jāizmanto speciāli analīzes rīki, kas būtiski pārsniedz tradicionālā Excel iespējas.

Secinājumi

- Kopumā, projekta ietvaros izstrādātā pētījumu datu ieguves tehnoloģija parādīja savu dzīvotspēju.
- Dažkārt problēmas gan SIA Rītausmas, gan Z/S Skudriņas problēmas radīja segtajās platībās realizēto audzēšanas tehnoloģisko procesu īpatnības.
- Iespējamo risinājumu izstrāde mērījumu tehnoloģijas pilnveidošanai ir iespējamo nākamo projektu priekšmets.

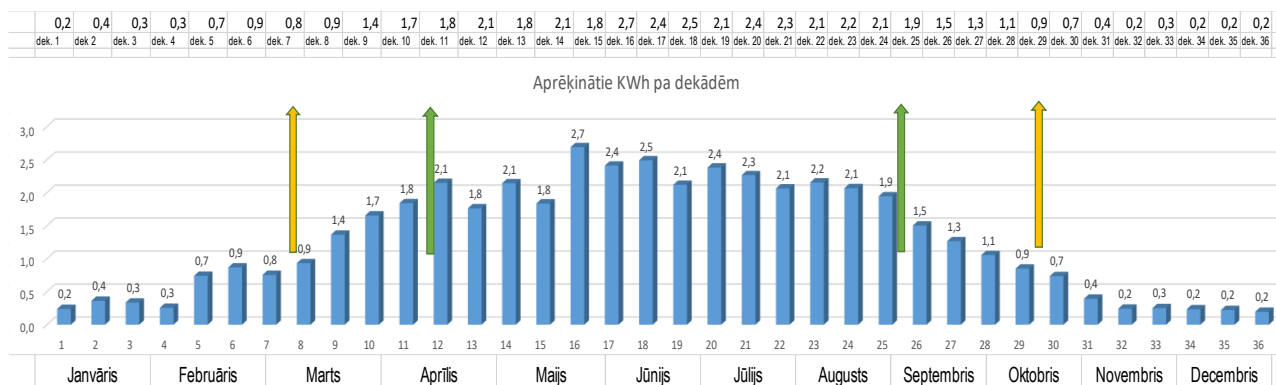
7.8. NODAĻA. SAULES RADIĀCIJAS UN ENERĢIJAS IZMANTOŠANAS IESPĒJU APRĒĶINI

Informāciju sagatavoja: (Infopols.lv)

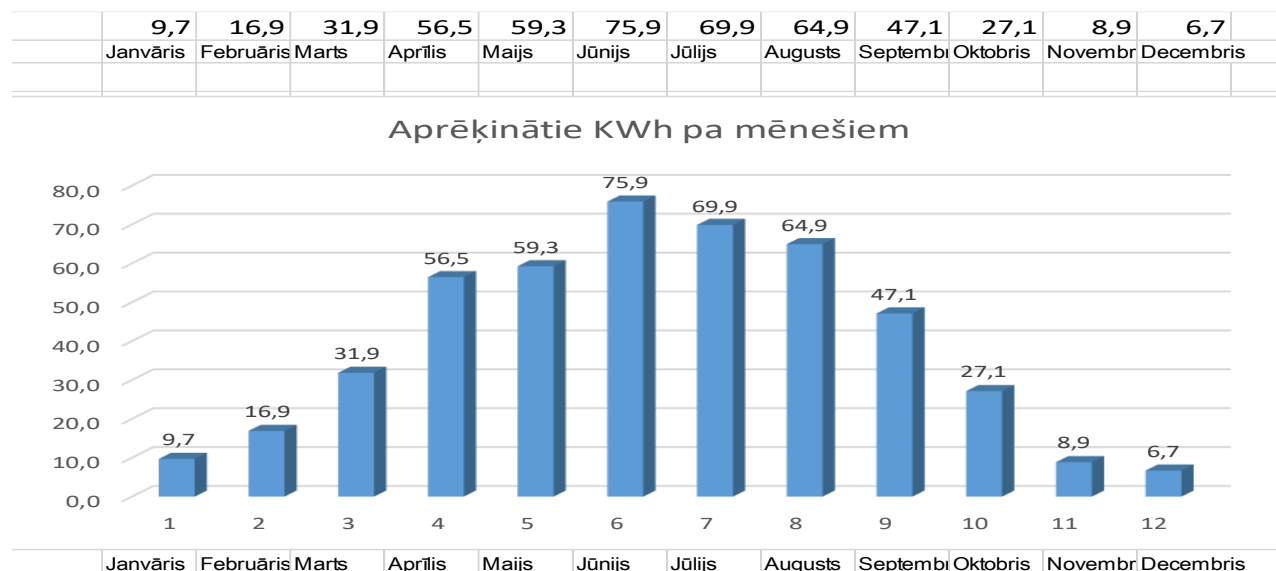
Saules radiācijas intensitātes aprēķini un izvērtējums Latvijas apstākļos

Iegūstamās elektroenerģijas analīze un prognoze, pamatojoties uz saules intensitātes mērījumiem 2019. gada laikā.

1. Apkopots Rītausma SIA iegūto datu masīvs (temperatūra, saules radiācija un vēja stiprums) pa stundām, dienām un mēnešiem.
- 1.1. Veikta datu normalizācija – t.i. izstrādāta metodika un veikts aprēķins, lai ekstrapolētu datu iztrūkumu, kurš radās mērierīču atteikuma dēļ.
- 1.2. Aprēķināts teorētiski iegūstamās elektroenerģijas daudzums pa mēnešiem no 1 m² saules elementa.
- 1.3. Aprēķinātas teorētiski iegūstamās elektroenerģijas min un max vērtības, robežas pa mēnešiem.
- 1.4. Izveidots rīks, ar kuru salīdzināt teorētiski iegūstamās un praktiski iegūtās elektroenerģijas daudzumu pa stundām, dienām, mēnešiem, kā arī salīdzināt 2 dažādu laika nogriežņu (dienas, mēneša) atšķirības.

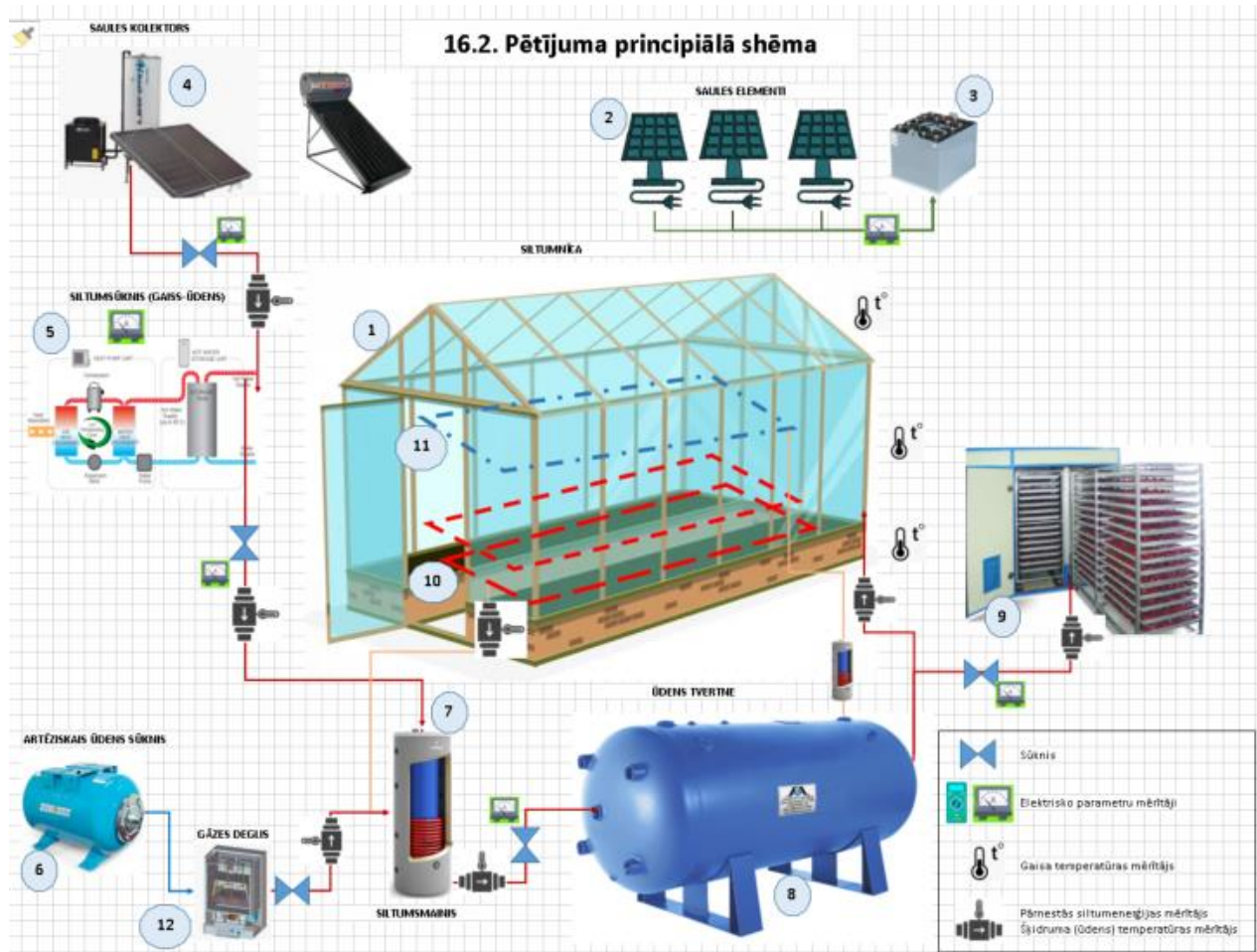


7.8.1. att. Aprēķinātie iegūstamie KWh/diennaktī pa dekadēm no saules elementu 1 m²



7.8.2. att. Aprēķinātie iegūstamie KWh/diennaktī pa mēnešiem no saules elementu 1 m²

Tehnoloģiskā procesa principiālās metodikas apraksts.



7.8.3. att. Tehnoloģiskā procesa principiālā

1. Pēc identificētajiem mērāmiem parametriem un to mērīšanas vietām:

1.1.1. Temperatūras:

- āra gaisa temperatūra
- gaisa temperatūra siltumnīcā 3 līmeņos (augsnē, veģetācijas zonā un 20 cm no siltumnīcas jumta)
- Temperatūra žāvēšanas blokā (9)
- ūdens temperatūra tvertnē / turpgaitas temperatūra(8)
- ūdens atgaitas temperatūra

1.1.2. Saules elementu saražotās elektroenerģijas (w)

1.1.3. Saules starojuma intensitātes (klx)

1.1.4. Elektroenerģijas patēriņa (w, A)

- Sūkņos kopā, izņemot artēziskā ūdens sūkni.
- Atsevišķi sūkņos pēc saules kolektora, siltumsūkņī (gaiss-ūdens) un pirms žāvēšanas kameras

1.1.5. Saražojamā siltuma daudzuma (J)

- Saules kolektora (4) saražotais siltuma daudzums
- Siltumsūkņa (5) saražotais siltuma daudzums
- Siltummaiņa (7) saražotais siltuma daudzums

2. Tika aprakstīta pētījuma metodika.

2.1 Respektīvi, enerģiju ražo (iegūst) no:

- saules paneļiem, tajos esošā ūdens uzsildīšanas un saules radiācijas ietekmē (siltumenerģiju);
- saules elementiem fotosintēzes rezultātā (elektroenerģiju);
- siltumsūkņa darbības (siltumenerģiju).

- Saražoto enerģiju paredzēts izmantot:
- Siltumsūkņa un saules paneļu saražoto siltumenerģiju – laistīšanai paredzētā aukstā ūdens rezervuārā atrodošā ūdens temperatūras paaugstināšanai un žāvēšanas kameras temperatūras režīma nodrošināšanai ;
- Saules elementu saražoto elektroenerģiju – siltumsūkņa darbības, ūdens cirkulācijas sūkņu un mērinstrumentu darbības nodrošināšanai.

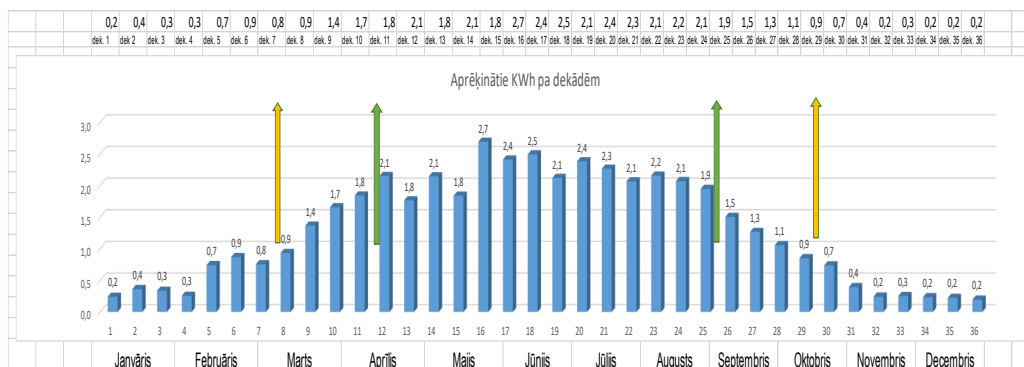
2.2 Iekārtas darbība un modelēšana paredz noskaidrot, cik lielā mērā iespējams:

- ar pasīvajiem / nulles CO₂ risinājumiem Latvijas apstākļos pagarināt veģetācijas sezonu
- ar paredzēto saules elementu skaitu nodrošināt elektroenerģiju patērējošo iekārtu darbību un/vai – cik m² saules elementu nepieciešams, lai nodrošinātu 50 m² lielas siltumnīcas apsildi
- kādu daļu no ikdienā nepieciešamajiem 300 l laistāmā ūdens uzsildīšanu ir iespējams nodrošināt ar projektā paredzētās jaudas siltumsūkņiem un saules paneļiem un/vai - kādas jaudas saules paneļu + siltumsūkņu nepieciešams, lai nodrošinātu 50 m² lielas siltumnīcas apsildi un /vai kādas jaudas attiecības siltumsūknis / saules panelis ir visekonomiskāk un pamatotāk izvēlēties
- ar optimāliem konstruktīvajiem risinājumiem palielināt enerģijas pārvades koeficienta vērtību, respektīvi – samazināt pārvades procesā radušos zudumus.

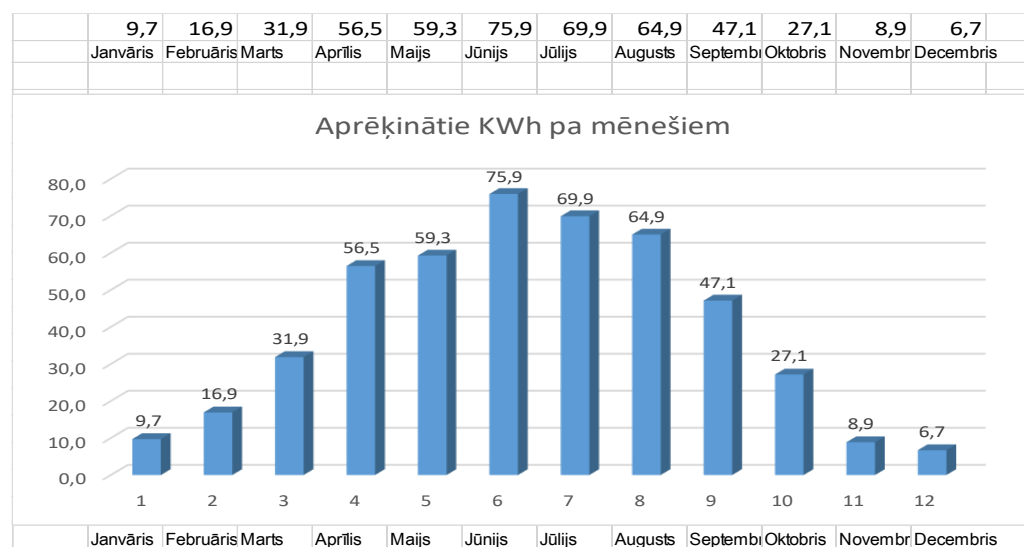
Tehnoloģiskā procesa risinājumu izstrāde

- Saules radiācijas intensitātes aprēķini un izvērtējums Latvijas apstākļos.
- Pētīt un izstrādāt piemērotākās siltumsūkņu (gaiss-ūdens) un siltuma apgādes sistēmas konstrukcijas, nodrošinot energoefektivitātes mērījumus un aprēķinus;

Saules radiācijas intensitātes aprēķini un izvērtējums Latvijas apstākļos - iegūstamās elektroenerģijas analīze un prognoze, pamatojoties uz saules intensitātes mērījumiem 2019. gada laikā.



7.8.4. att. Aprēķinātie iegūstamie KWh/diennaktī pa dekādēm no saules elementu 1 m²



7.8.5. att. Aprēķinātie iegūstamie KWh/diennaktī pa dekādēm no saules elementu 1 m²

Tehnoloģiskā procesa principiālās metodikas apraksts.

Ņemot vērā SIA Rītausma plānotās kopīgo siltumnīcu rekonstrukcijas, tika izstrādāta optimālākā elementu izvietojuma praktiskā shēma (7.8.3. att.).

Pārskata perioda aktivitātes:

Tehnoloģiskā procesa risinājumu izstrāde:

- Saules radiācijas intensitātes aprēķini un izvērtējums Latvijas apstākļos.
- Pētīt un izstrādāt piemērotākās siltumsūkņu (gaiss-ūdens) un siltuma apgādes sistēmas konstrukcijas, nodrošinot energoefektivitātes mērījumus un aprēķinus;

Saules radiācijas intensitātes aprēķini un izvērtējums Latvijas apstākļos

Iegūstamās elektroenerģijas analīze un prognoze, pamatojoties uz saules intensitātes mērījumiem 2019. gada laikā.

- Apkopots un datu analīzes rīkā ievietots Rītausma SIA iegūto datu masīvs 4. posmā (temperatūra, saules radiācija un vēja stiprums) pa dienām un mēnešiem;
- Izmantojot iepriekš izstrādāto metodiku veikta datu normalizācija – t.i. veikts aprēķins, lai ekstrapolētu datu iztrūkumu, kurš radās mērierīču atteikuma dēļ;
- Aprēķināts teorētiski iegūstamās elektroenerģijas daudzums pa mēnešiem no 1 m² saules elementa;
- Aprēķinātas teorētiski iegūstamās elektroenerģijas min un max vērtības, robežas pa mēnešiem;
- Grafiski attēlotas līknes, saules radiācijas un temperatūras ekstrēmās novirzes;

Siltuma apgādes sistēmas piemērotākās konstrukcijas (siltumsūknis gaiss-ūdens) izstrāde, nodrošinot energoefektivitātes mērījumus un aprēķinus.

- Izveidota Siltuma apgādes sistēma (skat. 7.8.6. att.)
- Apzinātas dažādas mērījumu metodes, iekārtas un to piegādātāji.
- Lai veiktu korektus aprēķinus, nepieciešams izmērīt no siltumsūkņa iegūto siltuma daudzumu, mērot siltumnesēja plūsmas ātrumu un temperatūru izmaiņu turp un atpakaļgaitas cauruļvados.
- Iegūtos datus devējs noraida uz datu uztveršanas iekārtu, kura, izmantojot piemērotu algoritmu, pārvērš to tālāk apstrādājamā skaitļu masīvā.

Nosacījumi

Lai kvalitatīvi izmērītu, vai paredzētā konstrukcija ir ekonomiski pamatota, ir jāmēra:

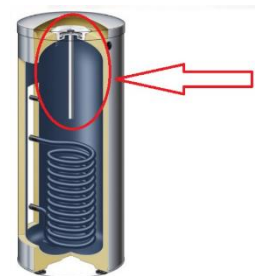
- siltuma daudzums, ko ģenerē siltumsūknis: jāmēra no tā izejošā un tajā ieejošā siltumnesēja temperatūra un siltuma nesēja plūsma;
- siltuma daudzums, ko ģenerē saules kolektori: jāmēra no tā izejošā un tajā ieejošā siltumnesēja temperatūra un siltuma nesēja plūsma);
- siltuma daudzums, ko ģenerē saules paneli: jāmēra gan to radītā elektroenerģija, gan saražotais siltuma daudzums.

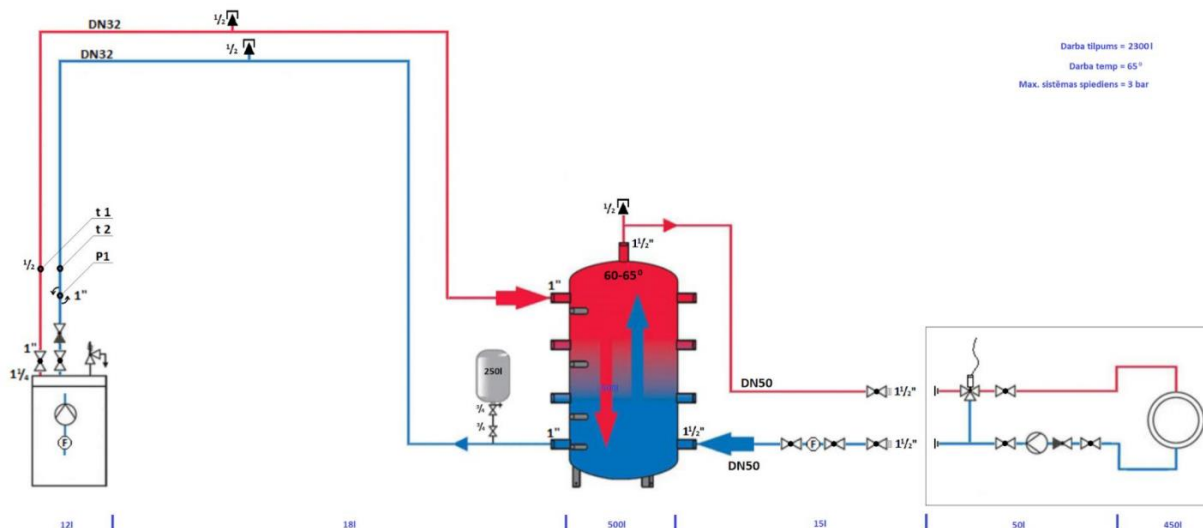
Pirmie divi augstākminētie siltuma ražotāji savu siltumu nodod vienā maģistrālajā vadā, kura sākumā un beigās arī būtu jāmēra siltuma daudzums. Maģistrālā vada garums ir 40 m un zudumi tur noteikti ir vērā ņemami. Sevišķi tāpēc, ka mūsu uzdevums ir ne tikai mērīt konkrēto konstrukciju, bet arī prognozēt, ka pie citiem siltumtīklu garumiem būs labāks vai sliktāks ekonomiskais rezultāts.

Saules paneli tiks slēgti slēgumā 3x220v, lai iegūtu 380v un tālāk pa tiešo pieslēgti ūdens sildītāja sildelementam (anods), kurš atradīsies vienā no divām papildus akumulācijas tvertnēm.

Shēmas (7.8.6. att.) labajā pusē aiz siltummaiņa, kurš nodod siltumu laistīšanas ūdens cīlpā, pēc iespējas tuvāk siltummainim jāatrodas siltuma skaitītājam, lai varētu izmērīt siltummaiņa efektivitātes koeficientu dažādos darba režīmos.

Kā darbosies skaitītāji un pārslēgšanas programmas loģika siltumnīcas pusē, vēl nepieciešams izdiskutēt, lai nodefinētu tieši kādos gadījumos plūsmas sadales slēdzim būs jāpārslēdz siltuma padeve no laistāmā ūdens sildīšanu uz citiem siltuma patērētājiem, piemēram uz tomātu žāvētāju.





7.8.6. att. Siltuma apgādes sistēmas montāžas shēma

Paskaidrojumi:

1. Siltumsūknis
2. Turpgaitas siltuma plūsma
3. Atpakaļgaitas siltuma plūsma
4. Savienojums ar filtru
5. Izplešanās tilpne
6. Temperatūras un plūsmas skaitītāji
7. Siltummainis ar pievadiem
8. Siltuma patērētājs



7.8.7. att. Siltuma apgādes sistēma

Skaitītāju darbības princips

Industriālie skaitītāji

Ierīces, kuras izmanto siltumenerģijas komercuzskaitēi, kā arī karstā ūdens un paredzētas uzstādīšanai rūpniecības uzņēmumos vai daudzdzīvokļu dzīvojamās mājās, dēvē par rūpniecības skaitītājiem. Moderni rūpniecības skaitītāji apkopo datus par patērēto siltumenerģiju un izmantojot kādu no protokoliem, noraida uz tos uz datu apkopošanas un analīzes vietni.

Industriālās nozīmes siltuma skaitītāju īpatnība – palielināts diametrs (25-300 mm). Siltumnesēja mērījumus ar rūpnieciskajām ierīcēm veic 0,6 - 2,5 m³/h diapazonā.

Industriālā siltuma skaitītāja siltuma daudzuma skaitītājam nepieciešams mērīt ar augstu precizitāti siltumnesēja plūsmu Industriālā siltuma skaitītāja siltuma daudzuma skaitītājam nepieciešams mērīt ar augstu precizitāti siltumnesēja plūsmu, turpgaitas un atpakaļgaitas un izvades temperatūras starpību, darba spiedienu. Konkrētajā pētnieciskajā projektā ir paredzama ģenerētā siltuma daudzuma samērā plaša amplitūda no ļoti neliela aukstās naktīs līdz ievērojami lielākam karstās un saulainās dienās. Tāpēc skaitītājos mērījumu diapazonam jābūt pietiekami plašam, vai aprēķinātam uz vairākām robežām.

Siltuma skaitītāja darbības princips ir balstīts uz siltuma daudzuma aprēķinu, izmantojot datus, kas iegūti no plūsmas sensora un diviem temperatūras sensoriem. Tiek mērīts ūdens daudzums, kas ieplūst apkures sistēmā un ūdens temperatūra, apkures sistēmas turp- un atpakaļgaitā.

Siltuma daudzumu definē kā dzesēšanas šķidruma plūsmas ātrumu caur apkures sistēmu un temperatūras starpību pie ieejas un izejas no tā.

$$Q = G \cdot (t_1 - t_2) \cdot c \cdot m, \text{ Gcal / h} \quad (1)$$

kur G - dzesēšanas šķidruma masas plūsmas ātrums, t / h;
 t_1 un t_2 ir dzesēšanas šķidruma temperatūras pie sistēmas ieejas un izejas, attiecīgi, °C;
 c – siltumnesēja siltumietilpības koeficients;
 m – siltumnesēja masa.

Plūsmas dati no plūsmas sensora tiek pārsūtīti raidītājam, temperatūras dati tiek pārsūtīti no diviem temperatūras sensoriem, viens no tiem ir uzstādīts apkures sistēmas turpgaitas caurulē, bet otra – atpakaļgaitas caurulē.

Pamatojoties uz iegūtajiem datiem, siltuma skaitītāja kalkulators nosaka patērēto siltuma daudzumu un ieraksta šos datus arhīvā. Dati par patērēto siltumenerģiju tiek parādīti ekrānā, vai arī tos var noņemt, izmantojot standarta optisko interfeisu.

Siltuma skaitītāja precizitāte

Datu kļūda, patērētā siltuma aprēķinā, ir atkarīga no plūsmas mērītāja, temperatūras devēju un datora, kas apstrādā iegūtās vērtības, kļūdas. Dažādām uzskaites vajadzībām, aprēķinot siltuma daudzumu izmanto skaitītājus ar pieļaujamo kļūda no +/- 6 līdz +/- 10%.

Faktiskā kļūda var būt lielāka par bāzi, ņemot vērā detaļu elementu tehniskās īpašības. Ierīces kļūda palielinās, ja:

- Temperatūras starpība starp sistēmas ieplūdi un izeju ir mazāka par 3 ° C.
- Dzesēšanas šķidruma plūsma zem minimālās plūsmas, kas norādīta ierīces tehniskajos parametros.

Instalācija tika veikta, pārkāpjot ražotāja prasības (dažāda diametra caurules turp un atpakaļgaitā, montāža pirms vai pēc krasa caurules liekuma, neprecīza rotora montāža pret vertikāli). Magnētiskajos skaitītājos – magnētiskā lauka novirzes, lai arī vairums moderni siltuma skaitītāji tiek ekranēti no magnētiskajiem laukiem.

Patērētā siltuma aprēķina metodika

Lielākā daļa siltuma skaitītāju tiek ražoti pēc Eiropā pieprasītiem standartiem, tāpēc aprēķinot patērēto siltumu, tie izmanto vienību, kas ieviesta starptautiskajā SI sistēmā - Gigadžauli (Gj) vai Latvijā biežāk pielietoto - kilovatstunda (kWh).

Datu nolasīšana

Siltuma skaitītāji ir komplektēti ar devēju rādījumu noraidīšanai, uztvērēju un arhīva datu saglabāšanas vietni. Datu raidītājs ir iekļauts lielākajā daļā Eiropas izgatavoto instrumentu pamata konfigurācijā, un tas ir paredzēts, lai ņemtu rādījumus un izvadītu tos uz datoru. Parasti sensoru izmanto, lai iegūtu un drukātu paplašinātus datus par siltuma skaitītāja darbību.

Datu pārraidē tiek izmantoti GSM vai WI-FI moduļi, retāk tiek izmantots USB risinājums datu uzkrāšanai tieši pie skaitītāja, taču tas tad prasa regulāru manuālu datu pārņemšanu uz apstrādes platformu.

Datu nolasīšanas kļūda

Lielākā daļa siltuma skaitītāji ir aprīkoti ar kļūdu pašpārbaudes sistēmu. Kalkulators pārbauda pievienotos sensorus iepriekš noteiktā frekvencē, un, ja tie ir bojāti, tas reģistrē kļūdu, parāda programmā kļūdas kodu un ieraksta informāciju arhīvā. Protams, pirms uzstādīšanas komercskaitītājus verificē akreditētās laboratorijās.

Zemāk ir minētas dažas biežāk izplatītās siltuma skaitītāja kļūdas:

- Temperatūras sensora bojājums
- Plūsmas sensora bojājums
- Nepareiza temperatūras sensoru uzstādīšana
- Nepareiza plūsmas sensora uzstādīšana
- Gaisa klātbūtne plūsmas daļā
- Zema akumulatora uzlāde
- Pozitīva temperatūras starpība bez plūsmas ilgāk par 1 stundu.

Datu arhivēšana

Siltumenerģijas skaitītāji arhīvā uzskaita datus par uzkrātajām siltumenerģijas vērtībām, darba apjomu un laiku ar kļūdu konkrētajā atskaites periodā - minūtē, stundas cetursnī, stundā, diennaktī, mēnesī. Industriālo iekārtu datu arhīvi atļauj uzkrāt datus par 5 un vairāk gadiem.

Siltuma skaitītāju veidi

Saskaņā ar darbības principu siltuma mērīšanas ierīces var klasificēt šādos veidos:

Elektromagnētiskie siltuma skaitītāji. Tie ir balstīti uz elektriskās strāvas ierosmes parādību šķidrumā magnētiskā lauka ietekmē. Izmantojot elektromagnētisko indukciju, iespējams saistīt siltumnesēja vidējo statistisko ātrumu un līdz ar to šķidruma tilpuma caurplūdumu ar lauka intensitāti tajā un potenciāla starpību, kas rodas uz elektrodu ar pretējo lādiņu. Tā kā siltuma daudzuma noteikšana šeit ir atkarīga no ļoti mazu diapazonu strāvas mērījumiem, elektromagnētiskie skaitītāji prasa īpašus ekspluatācijas apstākļus un augstas kvalitātes uzstādīšanu. Kļūdas iespējamība ievērojami palielinās, dēļ sliktiem stieples savienojumiem un dzelzs savienojumu un citu piemaisījumu klātbūtnei ūdenī. Tomēr šādu ierīču metroloģiskā pārbaude parasti liecina par labu rezultātu.

Mehāniskie siltuma skaitītāji. Tajos dzesēšanas šķidruma plūsmas kustība tiek pārveidota ierīces mērelementa rotācijas kustībā, tādējādi nosakot siltumenerģijas daudzumu. Šādi modeļi sastāv no mehāniskiem vai rotējošiem vertikālajiem ūdens skaitītājiem un siltuma kalkulatoru. Tās atšķiras par demokrātisku cenu, bet, lai palielinātu to kalpošanas laiku, jāuzstāda arī speciāli filtri. Turklāt nav ieteicams izmantot mehāniskos siltuma skaitītājus sistēmās, kurās dzesēšanas šķidrums ir ūdens ar paaugstinātu cietību. Filtros un citās ierīces daļās uzkrājas rūsas vai sīkas daļiņas, taču šādi plūsmas mērītāji ir saistīti ar iespējamu diezgan ievērojamu ūdens spiediena samazināšanos salīdzinājumā ar citiem siltuma skaitītājiem, kā arī papildus regulāru filtru maiņu.

Ultraskaņas siltuma skaitītāji. Tie nosaka siltuma patēriņu, mainot laika intervālu, no kura ultraskaņa pārvietojas no šī signāla avota uz tā uztvērēju. Šis parametrs ir atkarīgs no šķidruma plūsmas ātruma apkures sistēmā. Instalējot šādu mērīšanas ierīci, ultraskaņas signāla uztvērējs un emitētājs ir piestiprināti pie caurules, kas atrodas pretī otrai. Emitētājs izstaro signālu, kas iziet cauri ūdens stacijai un sasniedz saņēmēju. Laiks, kādā tas notiek, ir tieši saistīts ar plūsmas ātrumu caurulē, tādēļ tās vērtība ir precīzi noteikta plūsmas ātruma. Ultraskaņas siltuma skaitītāji parāda labu rezultātu tikai tad, ja tīrs ūdens plūst caur caurulēm kurās nav nekādu rūsas piemaisījumu. Ja tomēr šķidrums, kas satur dažādus piemaisījumus, tiek izmantots kā siltumnesēja šķidrums, un tā patēriņš nav stabils, šādu ierīču rādījumi nevar tikt tiek uzskatīti par precīziem. To cena parasti ir augstāka nekā citiem modeļiem.

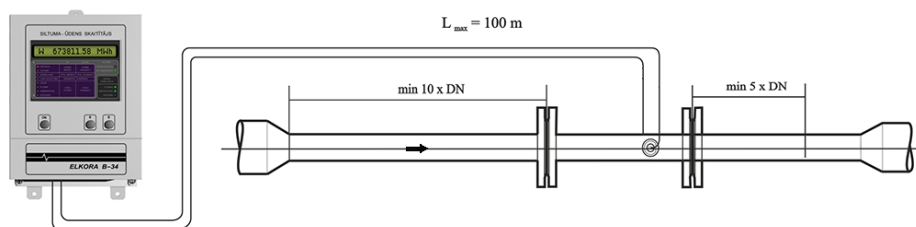
Virpuļu siltuma skaitītāji darbojas uz fizikālās parādības - virpuļu veidošanās aiz šķēršļa plūsmas ceļā - pamata. Šāds mērītājs sastāv no pastāvīgā magnēta ārpus caurules, trijstūra prizmas, kura vertikāli iestiprināta caurulē, un mērīšanas elektroda, kas atrodas cauruļvadā, taču nedaudz tālāk siltumnesēja plūsmas virzienā. Šķidruma plūsma ap prizmu noved pie pulsējošām plūsmas spiediena izmaiņām, kas ļauj noteikt šķidruma tilpumu, kas plūst cauri sistēmas caurulēm. Virpuļu veidošanās ir tieši proporcionāla plūsmas ātrumam cauruļvada iekšpusē. Vortex siltuma skaitītājiem ir virkne priekšrocību. Tos gan ietekmē krasas izmaiņas siltumnesēja šķidruma ātrumā un liela izmēra svešķermeņi, taču praktiski neietekmē kaļķu nogulsnes uz cauruļu virsmas vai augsta dzelzs koncentrācija ūdenī. Mērījumu kvalitāti neietekmē arī tas, vai vakuuma siltuma skaitītājs ir uzstādīts sistēmas horizontālā vai vertikālā posmā.

Tieši šī veida siltuma skaitītāji tiek atzīti par piemērotākajiem esošā zinātniskā projekta vajadzībām, tāpēc zemāk apraksts vienam no Latvijā izplatītākajiem modeļiem ELKORA.

Piemērotākā skaitīja modeļa apraksts

ELKORA virpuļu skaitītāji ļauj uzkrāt atmiņā sekojošas tekošo un integrālo parametru vērtības:

- stundu un diennakšu vidējās vērtības (arhīvs 768 stundas un 64 diennaktis);
- diennakšu un mēnešu summārās vērtības (arhīvs 64 diennaktis un 32 mēneši);
- diennakšu un mēnešu skaitītāja dīkstāves laiks (arhīvs 64 diennaktis un 32 mēneši).



7.8.8. att. Virpuļu ultraskaņas siltuma-ūdens skaitītājs ELKORA B-34

Universāls un daudzfunkcionāls mēraparāts ir paredzēts siltuma jaudas un siltuma enerģijas mērīšanai, kā arī ūdens plūsmas un tilpuma mērīšanai siltumapgādes un ūdensapgādes sistēmās.

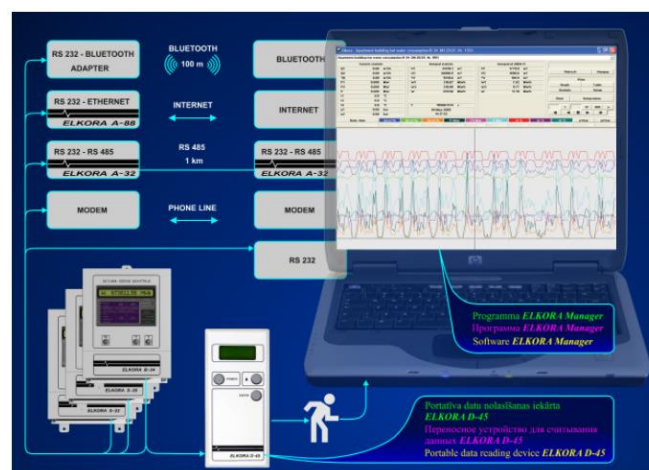
Īpašības un priekšrocības

- Plašs plūsmu mērīšanas diapazons.
- Nav kustīgu daļu, kas nodrošina ilgu darbības mūžu.
- Nemainīga mērījumu relatīvā kļūda visā diapazonā.
- Mēraparāts sastāv no 2 neatkarīgiem siltuma skaitītājiem.
- Pie viena elektroniskā bloka var pieslēgt līdz 4 plūsmas devējiem, 4 spiediena devējiem un līdz 5 temperatūras devējiem.
- Trīs gadu garantija ar pēcgarantijas apkalpošanu.

Tehniskie parametri

- Siltuma skaitītājs atbilst EN 1434 2.precizitātes klasei.
- Ūdens skaitītājs atbilst OIML R 49 1.precizitātes klasei.
- Plūsmu mērīšanas diapazons ir norādīts tabulā.
- Temperatūras mērīšanas diapazons 0°C - 150°C.
- Barošana: 100V - 240V, 50Hz - 60Hz.
- Izejas signāli: 4 strāvas, frekvenču un impulsu, interfeiss RS 232, interfeiss Centronics.
- Savienojums: vītņu DN 20 - DN 40, atloku DN 50 - DN 100.

Momentāno un arhīva datu pārraides iespējas uz datora



7.8.9. att. Momentāno un arhīva datu pārraides iespējas uz datora

Uzstādīšana un pieslēgšana

Plūsmas devēja telpiskais izvietojums var būt patvaļīgs - gan horizontāls, gan vertikāls.

- Plūsmas virziens
- Korelācijas ultraskaņas plūsmas devējs
- Virpuļu ultraskaņas plūsmas devējs
- Virpuļu tvaika plūsmas devējs
- Pretestības termometrs
- Spiediena devējs
- Trīsdzīslu ekranētais kabelis LiY-CY 3 x 0.34 vai analogs kabelis
- Koaksiālais radiofrekvences kabelis RG-59 vai analogs kabelis

Noslēguma informācija

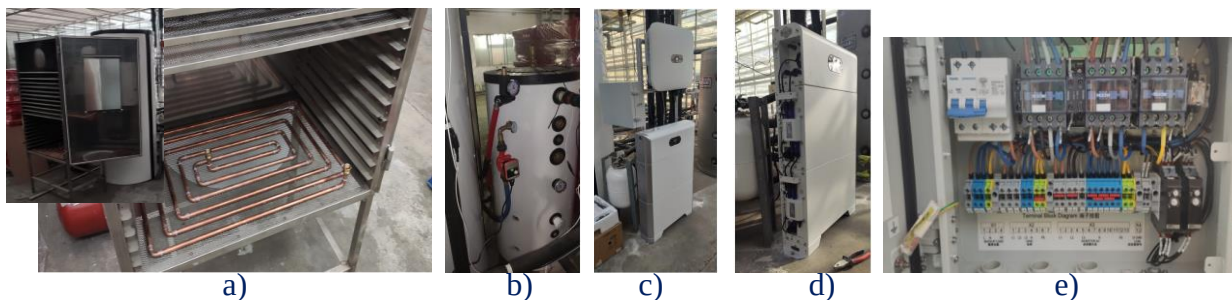
Latvijas tirgū pieejams ļoti plašs spektrs siltuma skaitītāju, gan kā atsevišķi iegādājami moduļi, līdz pilnam komplektam, ieskaitot montāžu, datu noraides un uzglabāšanas pakalpojumus.

Konkrētā risinājuma izvēle notiks pēc precīzu aprēķinu veikšanas – prognozējamās siltuma plūsmas, cauruļu diametra visos siltumapgādes posmos, temperatūras robežu, u.c. pielietojamo tehnisko risinājumu apstiprināšanas un, protams, attiecīgās cenu aptaujas veikšanas.

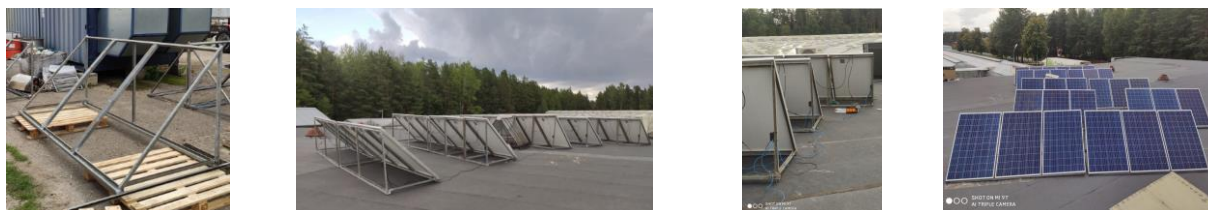
Pārskata perioda aktivitātes:

1. Izstrādāt piemērotākās siltumsūkņu (gaiss-ūdens) un siltuma apgādes sistēmas konstrukcijas, nodrošinot energoefektivitātes mērījumus un aprēķinus;
2. Solārās enerģijas ieguves ierīču konstruēšana un uzstādīšana;
3. Laistāmā ūdens sildīšanas sistēmas uzstādīšana;
4. Mērījumu sistēmas uzstādīšana;
5. Siltumsūkņu un modulāro elementu uzstādīšana;
6. Enerģijas uzkrāšanas sistēmu uzstādīšana;
7. Biomasas žāvēšanas iekārtu konstruēšana un uzstādīšana;
8. Datu ieguve un analīze, rezultātu ieguve un analīze;
9. Sistēmas elementu konfigurēšana;
10. Tehniski ekonomiskie novērtējumi;

Žāvētavas izveidošana un montāža



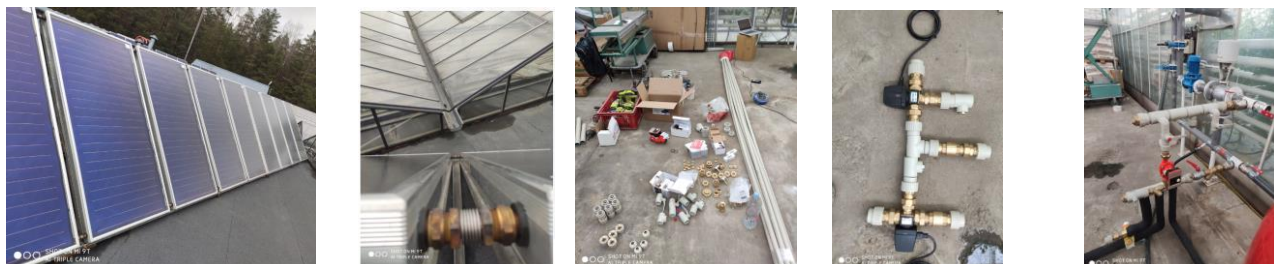
7.8.10. att. Žāvētava a) žāvēšanas spirāle, b) akumulācijas tvertne, c) invertors, d) terminālbloks, e) terminālbloks, skats no iekšienes



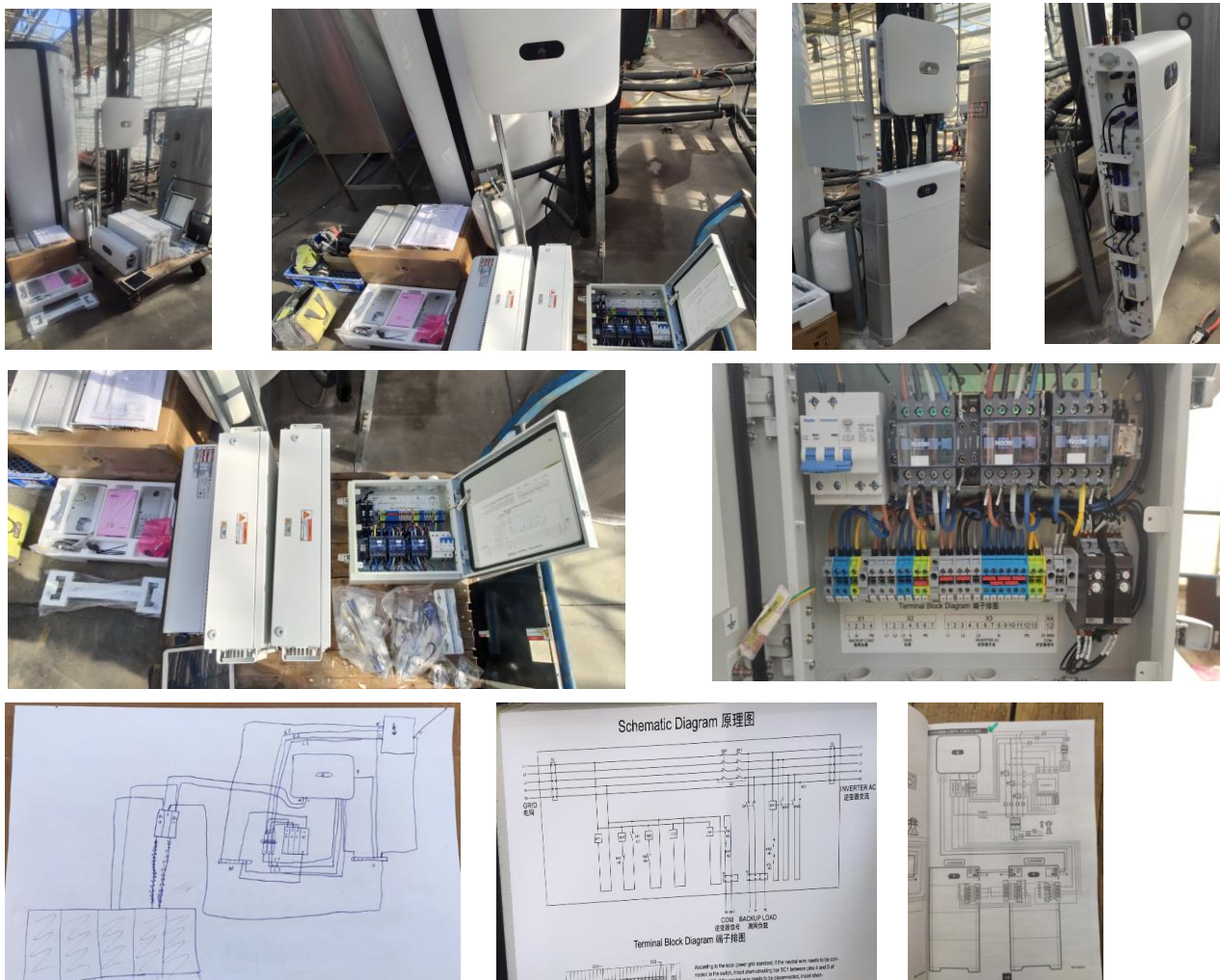
7.8.11. att. Saules elementu montāža uz siltumnīcas jumta



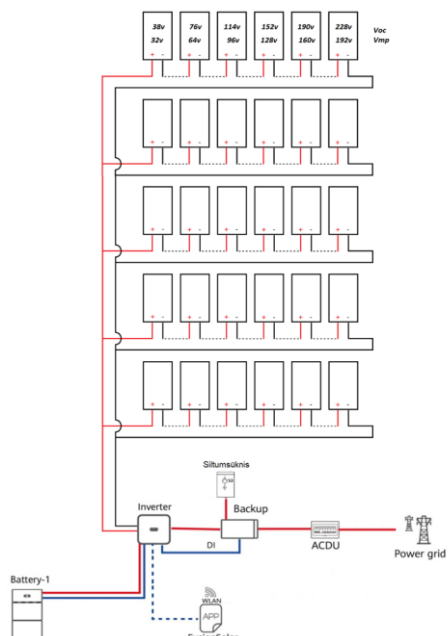
7.8.12. att. Akumulācijas tvertņu pirmā loka (500 litru Tvertne + siltumsūkņis) montāža



7.8.13. att. Saules kolektoru montāža un pieslēgšana SE apgādes sistēmai



7.8.14. att. Solārās sistēmas Saules bateriju (PV) slēgums



7.8.15. att. Solārās sistēmas strāvas elementu (bateriju) montāža.

Slēguma sastāvdaļas:

- 31 PV elements, katrs 175 w max jauda, Invertors;

Patērētāji:

- Prioritārais patērētājs – Gaiss-Ūdens siltumsūknis (GŪSS)
- Pāri palikušās enerģijas no PV baterijām patērētājs – Boileris

Slēgumam jānodrošina šāda funkcionalitāte:

- GŪSS jābūt nodrošinātam ar elektrību vienmēr. Kamēr ir pietiekami enerģija no Saules baterijām, tikmēr ar Saules baterijām, ja nav pietiekami enerģijas no Saules baterijām, tad no tīkla. Ja no PV paliek pāri enerģija, tad tā tiek novadīta uz boileri. (sildelementu). Boileri no tīkla nedrīkst barot.
- Tīklam enerģija atdota netiek. Tad, kad shēmā būs ieslēgti akumulatori, tad prioritāšu secība ir šāda: Vispirms – GŪSS, otrā vietā akumulatori, kad uzlādēti akumulatori – tad enerģija tiek novadīta uz boileri.
- Tīklam enerģija atdota netiek.

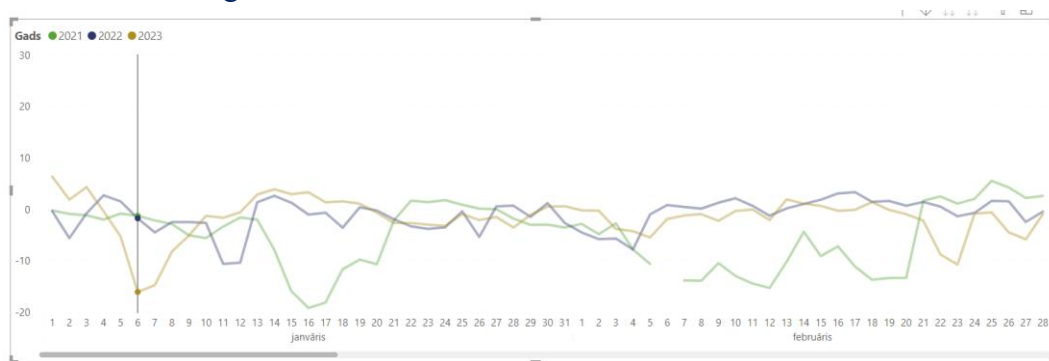
Klimatiskie apstākļi, to novirzes

Vidējās mēneša temperatūras Rītausmas siltumnīcas mērījumos 2021. – 2023. gados atšķirās tikai neliels – ne vairāk kā 3 grādu robežās, kamēr būtiski atšķirās min un max temperatūras.

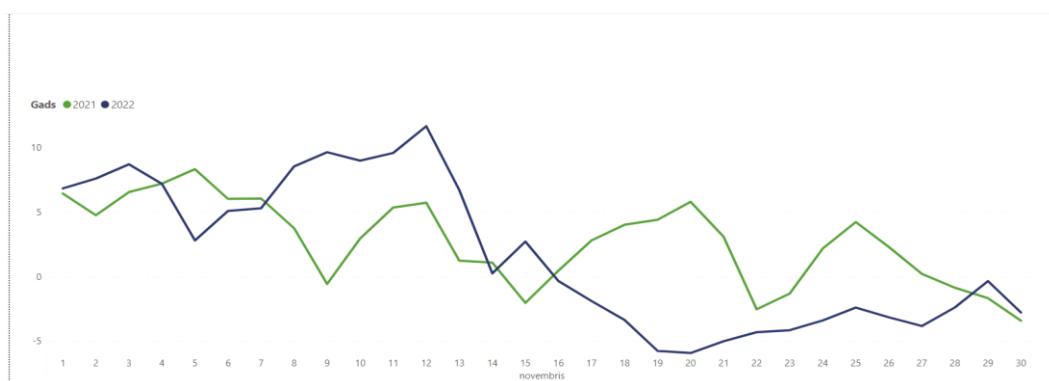
Tā janvārī - februārī 2023. gadā minimālā temperatūra bija -16,06 C, kamēr 2021. gadā - 19,17 C, bet 2022. gadā – 10,59 C.

Gads	janvāris	februāris	marts	aprīlis	maijs	jūnijs	jūlijs	augusts	septembris	oktobris	novembris	decembris
2021	-4,18	-6,28	1,03	5,68	10,81	19,15	21,35	15,83	10,58	7,48	2,74	-5,14
2022	-1,83	-0,24	0,74	5,14	10,91	17,33	17,45	19,79	9,48	8,39	1,74	-4,12
2023	-1,40	-1,90	1,38	8,05	11,68	12,90						

Tikmēr 2021. gadā laika posmā janvāris – februāris 15 dienas diennakts vidējā temperatūra bija zem – 10 C, kamēr 2022. gadā – tikai 2 dienas.



Arī novembrī ir redzama būtiska atšķirība starp 2021. un 2022. gada āra gaisa temperatūrām, it sevišķi no 16. – 28. novembrim.



Temperatūras novirzes demisezonas mēnešos darbojas ar divkārtu negatīvu efektu, jo a) siltumsūkņim ir jāsaražo būtiski vairāk siltumenerģijas dēļ lielākas temperatūras starpības; b) saules kolektori ražo mazāk siltuma dēļ zemākas āra gaisa temperatūras.

Iegūtās enerģijas pārskats no Siltumsūkņa darbības

Lai arī sākotnējā darba uzdevumā nebija paredzēts veikt ekonomiskos aprēķinus, jo katrā individuālā gadījumā konstrukcijas uzbūvei nepieciešamie materiāli, siltuma novadīšanas attālums

un siltuma izlietojums var būt kardināli atšķirīgs, taču sakarā ar negaidītajiem elektroenerģijas cenu lēcieniem sapratām, ka arī šī šķautne varētu būt interesanta pētījumu tēma.

Gads	EE Siltumsūkņi kopā, kWh	Siltumenerģija, sūkņi, kWh	Gaisa_t meteo	Gaisa t pamatsiltumnicā	COP	EE izmaksas	Elektroenerģijas cena biržā	EE izmaksas (ja sildītu ar elektrību)	EE ietaupījums, EUR
2021	7 825,54	1,00	6,69	14,52	0,00		281,96		
2022	20 309,45	34 072,00	9,90	11,85	1,68	2 143,66	227,05	3 545,01	1 401,35
2023	8 577,80	12 122,00	4,27	3,29	1,41	618,94	107,31	862,18	243,24
Total	36 712,79	46 195,00	7,59	11,49	1,26	2 762,60	284,66	4 407,19	1 644,59

Kā redzams no zemāk esošās tabulas, tad 2022. gada oktobrī un novembrī ietaupījums, sildot ar siltumsūkni pret patēriņu, sildot ar elektroenerģiju no tīkla, sastādīja 582 un 578 EUR.

Taču, elektroenerģijas biržas cenai atgriežoties normālajās robežās, ietaupījums no Siltumsūkņa darbības ir nebūtisks.

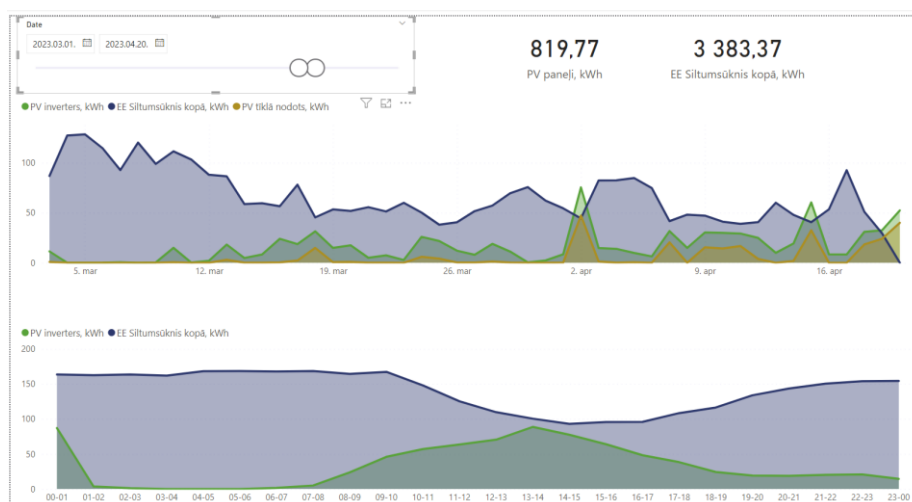
Gads	EE Siltumsūkņi kopā, kWh	Siltumenerģija, sūkņi, kWh	Gaisa_t meteo	Gaisa t pamatsiltumnicā	COP	EE izmaksas	Elektroenerģijas cena biržā	EE izmaksas (ja sildītu ar elektrību)	EE ietaupījums, EUR
2022	20 309,45	34 072,00	9,90	11,85	1,68	2 143,66	227,05	3 545,01	1 401,35
septembris	823,43	1 184,00	9,48	13,59	1,44	237,32	351,12	433,66	196,34
oktobris	2 926,41	6 037,00	8,39	11,09	2,06	554,17	189,85	1 136,33	582,16
novembris	3 453,18	6 200,00	1,74	5,16	1,80	757,84	227,58	1 336,18	578,34
decembris	2 490,23	2 873,00	-4,12	0,36	1,15	594,34	264,26	638,85	44,51
2023	8 577,80	12 122,00	4,27	3,29	1,41	618,94	107,31	862,18	243,24
janvāris	2 774,46	4 178,00	-1,40	0,28	1,51	278,55	99,65	417,76	139,22
februāris	2 419,96	3 045,00	-1,90	5,87	1,26	268,68	113,78	341,49	72,81
marts	2 329,11	3 288,00	1,38	4,21	1,41	71,71	116,55	102,93	31,22

Saules elementu saražotā elektroenerģija

Kā redzams zemāk grafikā, tad demisezonā tikai pašās saulainākajās dienās vidus stundās ar esošo (30 gab.) saules paneļu skaitu ir iespējams nodrošināt Siltumsūkņa darbībai nepieciešamo elektroenerģiju. Ar mūsu rīcībā esošajiem datiem iespējams secināt, ka būtu nepieciešams vismaz 3-4 reizes lielāks saules paneļu skaits, lai lielāko daļu Siltumsūkņa elektroenerģijas varētu saražot ar šo resursu. Vēl jāņem vērā tāds aspekts kā saules paneļu orientācijas virziens un novietojuma leņķis pret horizontu.

Ja ar orientāciju uz dienvidiem ir viennozīmīgi, tad ar leņķi pret horizontu ne. Parasti novietojuma leņķi aprēķina atkarībā no platuma grādiem, kur atrodas objekts. Latvijas gadījumā tas ir 45 grādi. Taču – tā kā mūsu gadījumā darba uzdevums bija paildzināt veģetācijas periodu, tad leņķis būtu jāsamazina, jo pavasara un rudens mēnešos saule horizontā atrodas zemāk, nekā vasaras mēnešos.

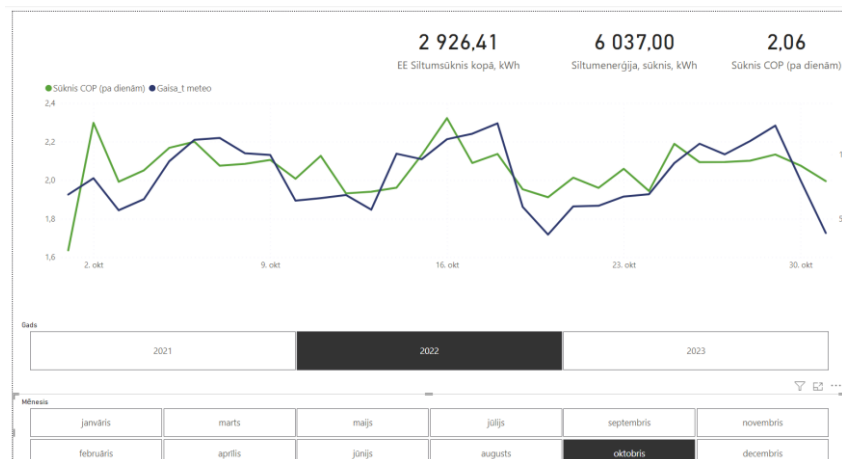
Protams, ir risinājumi, ar kuru palīdzību saules paneļi seko saules ceļam debesīs, taču - šie elektromotori arī patērē elektroenerģiju un ekonomiskais efekts ir atkarīgs no daudziem parametriem (konstrukcijas forma, svārs, uzstādīšanas vieta u.t.t.). Kā alternatīva varētu būt izskatāma 2 pozīciju konstrukcija, kurā manuāli (mehāniski) iestāda vasaras un demisezonas pozīciju – leņķi pret horizontu.



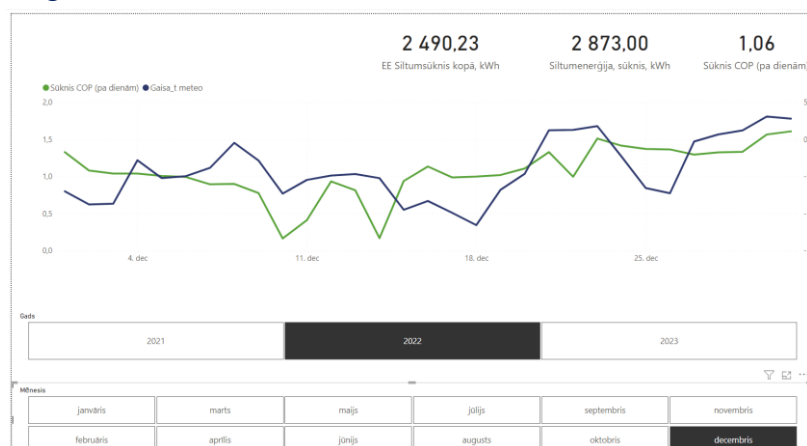
Secinājumi

Uzsākot projektu daudzi parametri tika izvēlēti pēc teorētiskajiem, citu pētījumos iegūtajiem datiem. Kā izrādījās šī pētījuma noslēgumā, ar esošajām zināšanām ir iespējams izvēlēties optimālākus parametrus un iegūt lielāku efektu. Taču ģenerāli – secinājums ir, ka vismaz vienu mēnesi pavasarī un vienu – rudenī ir iespējams iegūt, izmantojot kombinēto siltumnīcas u.c. apsildes metodi, kā arī kā blakus secinājums – ir iespējams rudenī paildzināt veģetācijas periodu vēl par vismaz 20 dienā, ja tiek audzētas citas, aukstumizturīgākas kultūras.

Siltumsūkņa COP (galvenais efektivitātes rādītājs) demisezonas mēnešos svārstās no rādītāja 2,06 2022. gada oktobrī



līdz 1,06 2022. gada decembrī



un 2023. gada aprīlī sasniedzot 1,50.



Visu saistīto datu kopskatu attēlo slaidis zemāk:



Jebkurus datus iespējams analizēt arī sīkāk, pa nedēļām, dienām, daļu datu arī pa stundām un minūtēm, izmantojot Datu monitorēšanas rīku, lejuplādējot POWER BI datu vizualizācijas programmu.

Eksperimentālie pētījumi

8. NODAĻA. IZSTRĀDĀTO UN IEVIESTO TEHNOĻIŠKO RISINĀJUMU EKSPERIMENTĀLĀ PĀRBAUDE

Informāciju sagatavoja: Latvijas Universitāte, Ķīmiskās fizikas institūts

Tika veikta izstrādāto un ieviesto risinājumu eksperimentālā pārbaude, eksperimentālo uzdevumu plānošana, sagatavošana un eksperimentu gaitas uzraudzība.

Tika veikta tehniski ekonomisko datu analīze siltumsūkņim un Saules enerģijas sistēmām, kā arī uzstādīto temperatūras mērījumu sistēmas eksperimentālā pārbaude, analizēti temperatūras mērījumu dati.

Siltumnīcu apsildes sistēma

Izstrādāta un eksperimentāli pārbaudīta siltumnīcu apsildes sistēma, kura būtiski samazina CO₂ izmešus un ir ekonomiski izdevīga darbībā.

Matemātiskā modelēšana

Aprēķinu veikšana par gaiss–ūdens siltumsūkni (GŪSS) šādiem reālas siltumnīcas datiem:

- Gāzes apkure;
- Temperatūras režīms.

Apkures sistēmas parametri (lai novērtētu iespēju izmantot esošo struktūru)

Iegūtie rezultāti:

- GŪSS ekonomisko rādītāju aprēķins, salīdzinot ar dabasgāzes apkuri;
- GŪSS ietekme uz CO₂ emisijām.
- Eksploatācijas izmaksu salīdzinājums:
- Elektriā GŪSS;
- Dabasgāze;
- apkures izmaksas izmantojot gaiss–ūdens siltumsūkni vai dabasgāzi.

Laika periods – 2021. gada otrā pusē tika izmantoti dati no esošas siltumnīcas ražotnes SIA Rītausma:

- Kultūraugi: Tomātu ražošana;
- Tika izmantotas reālās cenas;
- Nordpool day ahead – elektrībai;
- Gāzes cenas SIA Rītausma;
- Tika izmantoti reālie temperatūras dati, kas mērīti SIA Rītausma ražotnē;
- Āra T;
- Apsildes ūdens T;
- Saules radiācijas dati šajā modeļa aprēķinā netika izmantoti.

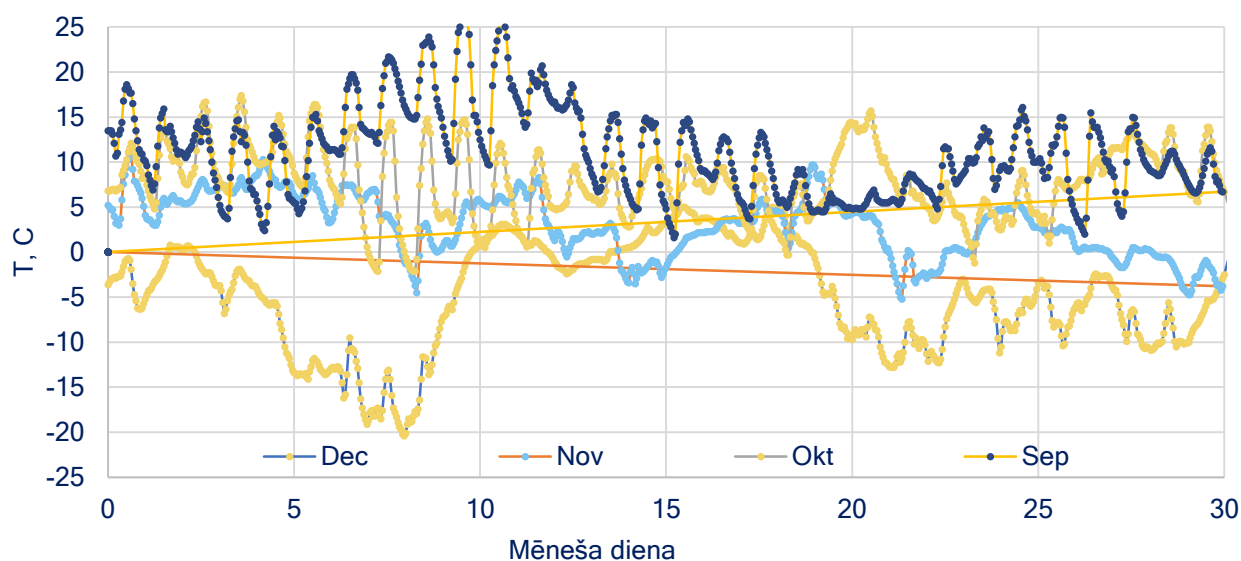
Eksperimentālā siltumnīca un siltuma mezgls



8.1. att. Eksperimentālā siltumnīca un siltuma mezgls



8.2. att. Siltumsūknis 10 kW, SIA Rītausma

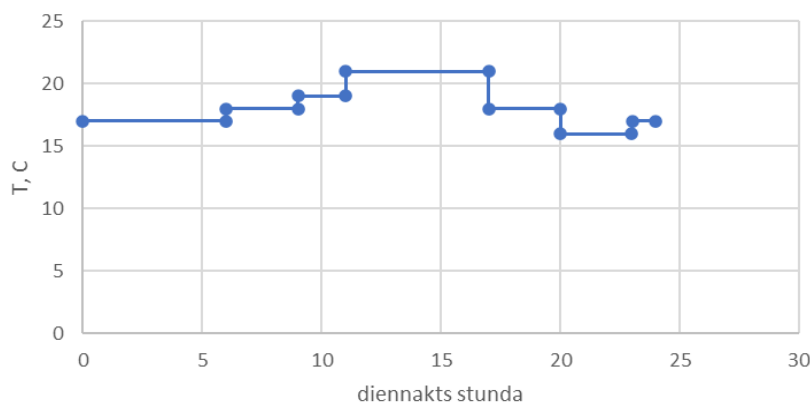


8.3. att. Āra gaisa temperatūra no septembra līdz decembrim – 2021 – SIA Rītausma

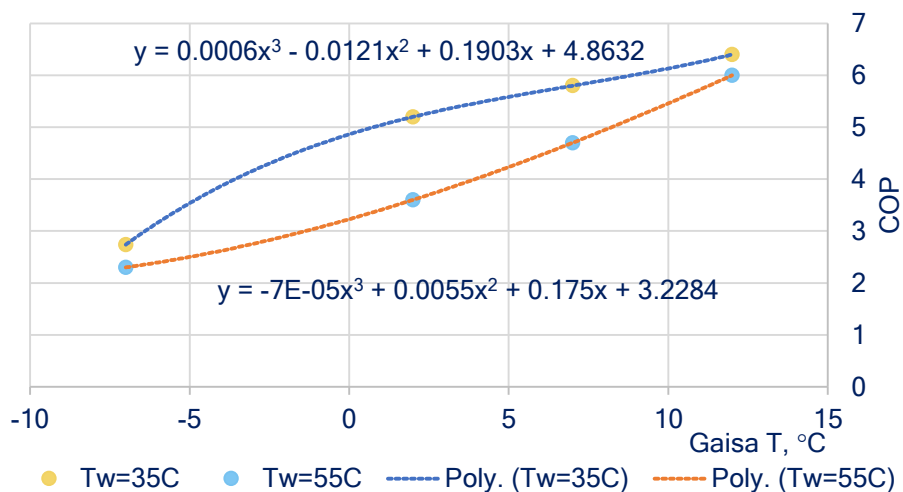
Apkures cikls:

- Saules radiācija samazina apkures nepieciešamību dienas laikā, kad elektrības cena ir augsta;
- Āra un iekšas temperatūru starpība un COP;
- Āra T: Siltumsūkņa COP dienas laikā ir augstāks nekā nakts laikā, jo dienas laikā ir augstāka āra T;
- Iekšas T: COP naktī lielāks, jo nakts temperatūra par 4–5 grādi zemāka nekā dienas temperatūra;
- Pirmā tuvinājumā šie efekti viens otru līdzsvaro;
- vakara siltuma patēriņš ir mazāks, jo temperatūra ir jāsamazina, un no rīta siltuma patēriņš ir lielāks, jo temperatūra jāpaaugstina: piemēram 06–09 18°, 09–11 19°, 11–17 21°, 17–20 18°, 20–23 16°, 23–06 17°.

24 h temperatūra siltumnīcā



8.4. att. Temperatūra režīms

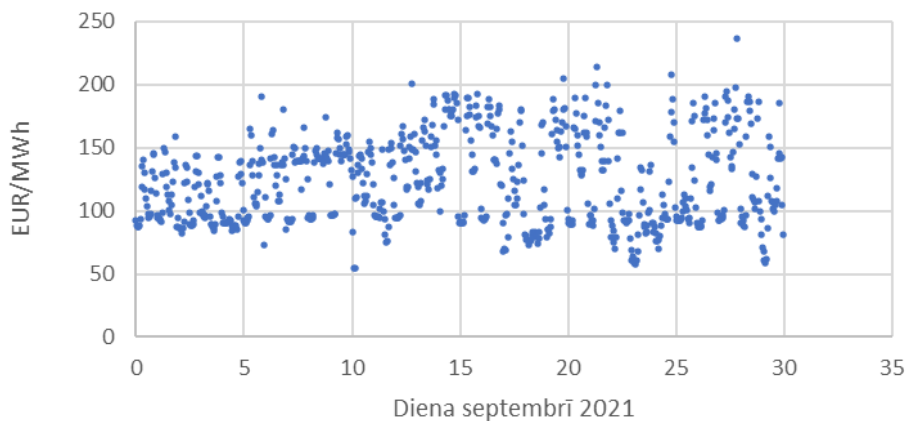


8.5. att. Izmantotā siltumsūkņa COP, ražotāja dati

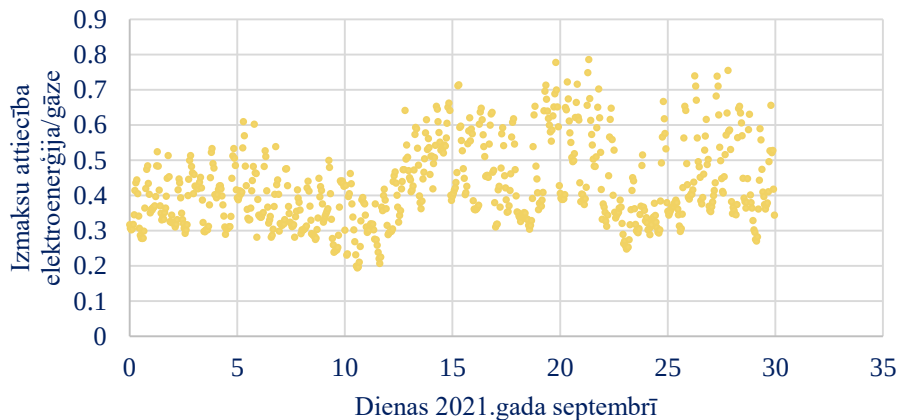
Siltumsūkņa darbībai tika izmantoti siltumsūkņa ražotāja sniegtie tehniskie parametri. Ražotāja COP ir dots pie 4 dažādām āra temperatūrām: $-7, 2, 7, 12^{\circ}\text{C}$ un pie 2 dažādām apkures ūdens temperatūrām: 35°C un 55°C . GŪSS COP dažādām āra T tika aprēķināts, interpolējot ar trešās pakāpes polinomu deklarēto COP. Apkures ūdens T atbilstošais COP tika pielāgots, izmantojot lineāro regresiju starp 35 un 55°C

Dabagāzes un elektrības cenas

Dabagāze – tiek izmantotas reālās gāzes cenas SIA Rītausma ražotnē. Gāzes katla ražotāja deklarētais COP ir 0.94. Elektrība – diena uz priekšu Nordpool elektrības cena un dažādi obligātie maksājumi, kas jāmaksā patērētājiem Latvijā – sadales izmaksas un elektroenerģijas nodokļi, kas paredzēti tā dēvēto “atjaunojamo” elektroenerģijas ražotāju subsidēšanai.



8.6. att. Nordpool Day elektrības cena, septembris 2021



8.7. att. Elektrības izmaksas dalītas ar gāzes izmaksām, septembris 2021

CO₂ emisiju aprēķins

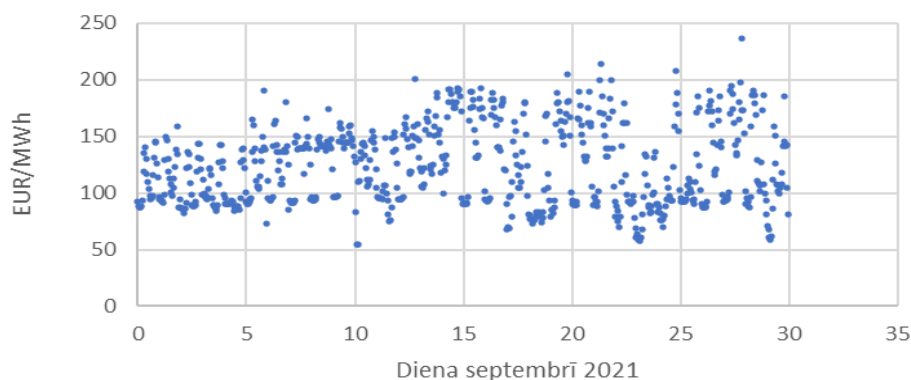
Ir labi zināmas ar dabasgāzi saistītās CO₂ emisijas. Ar elektroenerģiju saistītās CO₂ emisijas var atšķirties atkarībā no elektroenerģijas ražošanas veida. Objekta operatoram, piemēram, var būt tiešs līgums ar kodolspēkstacijā ražotās elektroenerģijas bez CO₂ emisijas ražotāju. Vai arī objektam var būt līgums ar ogļu termoelektrostaciju

Latvijā elektroenerģiju galvenokārt ražo vai nu ar hidroenerģiju, vai ar dabasgāzi un bieži vien koģenerācijas režīmā.

Šajā pētījumā ir pieņemts, ka 50% elektroenerģijas tiek saražoti bez CO₂ emisijām un 50% ar dabasgāzi.

Latvijā apkures sezonā dabasgāze tiek izmantota elektroenerģijas ražošanā koģenerācijas režīmā, tāpēc CO₂ emisija jāsadala starp centralizēto siltumu un elektroenerģijas ražošanu. Varētu droši pieņemt, ka 1 kWh elektroenerģijas ģenerē tikpat daudz CO₂ kā 1 kWh dabasgāzes radītā siltuma.

Elektrības cenās tiek izmantots 24 stundu cikls un 7 dienu cikls. Maksimālās cenas dienas laikā var būt 2–5 reizes augstākas nekā zemās cenas nakts laikā.



8.8. att. Elektroenerģijas cenas Norpool Day, septembris 2021

Enerģijas uzkrāšana GŪSS

Elektrības cenās tiek izmantots 24 stundu cikls un 7 dienu cikls. Maksimālās cenas dienas laikā var būt 2–10 reizes augstākas nekā zemās cenas nakts laikā. GŪSS ir ievērojami zemāks COP pie augstāka apkures ūdens T . Ūdens sildīšanas T ir atkarīga no āra T . Sezonas lielāko daļu apkures ūdens T ir zem 45–50°C

Litija jonu akumulatora vidējās izmaksas ir aptuveni 140 USD/kWh. Siltuma akumulatora darbības temperatūrai T jābūt diapazonā no 50–60°C.

8.1. tabula

Fāzu maiņas materiāli

Materiāls	$T_{\min}, ^\circ\text{C}$	$T_{\max}, ^\circ\text{C}$	kJ/kg	kWh/kg	eur/kWh	1 m ² /kWh/d	kg	EUR
ūdens 55–100	55	100.0	189	0.053	38.095	0.38	7.3	0.02
Paraffin 25–Carbons		49.4	238	0.066	30.252	0.38	5.8	11.68
Paraffin 26–Carbons		56.3	256	0.071	28.125	0.38	5.4	10.82
Paraffin 27–Carbons		58.8	236	0.066	30.508	0.38	5.8	11.7
Paraffin 28–Carbons		61.6	253	0.070	28.458	0.38	5.5	11.0

8.2. tabula

Enerģija ko nepieciešams uzglābāt uz 1 m² siltumnīcas

Patērētā enerģija uz 1 m ²	Dabasgāze, m ³	kWh
Septembris 2021	0.122	1.289
Enerģija ko nepieciešams uzglābāt uz 1 m ²	kWh	
30% no patērētās enerģijas	0.3867446	
Elektroenerģija, uzkrātās enerģijas ražošanai,	kWh	
COP=3	0.128914867	

Saskaņā ar aprēķinos izmantotajiem pieņēmumiem un ar vidējo AWHP COP 5.8, AWHP izmantošana siltumnīcu apkurei 2021. gada septembrī var sniegt :

- 5-kārtīgu CO₂ emisiju samazinājumu;
- 2-kārtīgu degvielas/elektrības izmaksu samazinājumu.

SIA Rītausma ražošanas sezonas beigas tika noteiktas 2021. gada 18. oktobrī. Sagaidāms, ka GŪSS sniegums būs labāks pavasarī, kad elektroenerģijas nepieciešamība ir vairāk koncentrēta nakts laikā ar zemām cenām. Pie temperatūras zem -7°C GŪSS sāk kļūt dārgāks nekā gāzes apkure. Precīza T, kad tas notiek, ir atkarīga no elektrības cenām. Vislabākie ekonomiskie rādītāji ir hibrīdsistēmai ar GŪSS augstām temperatūrām un apkures katlu, ko izmanto zemā āra gaisa temperatūrā.

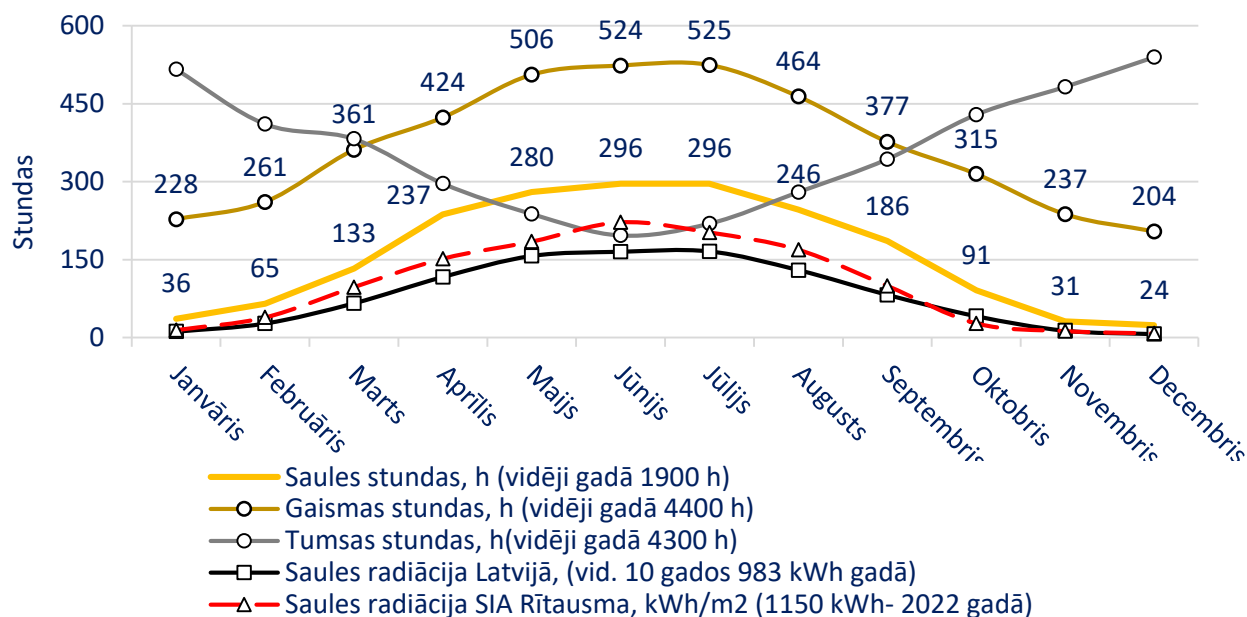
8.1. Demonstratora maketa eksperimentālā izstrāde

Informāciju sagatavoja: Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Ulbrokas zinātnes centrs

Veikta tehnoloģijas demonstratora maketa eksperimentālā izstrāde un tā testēšana eksperimentālajā siltumnīcā. Demonstratora makets sastāv no siltuma akumulatora, kuru apsilda izmantojot trīs dažādus siltuma avotus – gaiss-ūdens siltumsūkni, kurš ir primārais siltuma nodrošinātājs naktī un laikā, kad nav pietiekami daudz saules gaismas, saules kolektorus, kas nodrošina siltuma padevi siltuma akumulatoram laikā, kad ir pietiekama saules intensitāte, saules paneļus, kuri nodrošina tiešā režīmā bez pārveidošanas uz maiņstrāvu boileru sildīšanu. Izstrādāta konfigurācija saules paneļu saslēgšanai un uzstādīšanai. Izstrādāts dienas laikā pāri paliekošā siltuma izmantošanas veids to novirzot laistāmā artēziskā ūdens sildīšanai. Veikta sistēmas integrācijas un nepieciešamo vadības un kontroles elementu izstrādes.

Demonstratora maketa eksperimentālā pārbaude

SIA Rītausma demonstratora maketa eksperimentālās pārbaudes gaitā tika mērīti saules radiācijas ilgums un intensitāte, lai izpētītu sakarības starp gadalaikiem, klimatiskiem apstākļiem un ģeogrāfiskās atrašanās vietas. Gada globālais starojums uz horizontālas virsmas saulainajos reģionos var sasniegt 2200 kWh/m². Latvijā saules starojumam ir samērā zema intensitāte – kopējā saules enerģija ir 1109 kWh/m² gadā. Savukārt, Salas pagasta meteorologi par pēdējiem 10 gadiem parāda, ka vidējā saules starojuma intensitāte ir 983 kWh, bet SIA Rītausma meteorostacija 2022. gadā reģistrējusi 1150 kWh saules starojuma intensitāti.

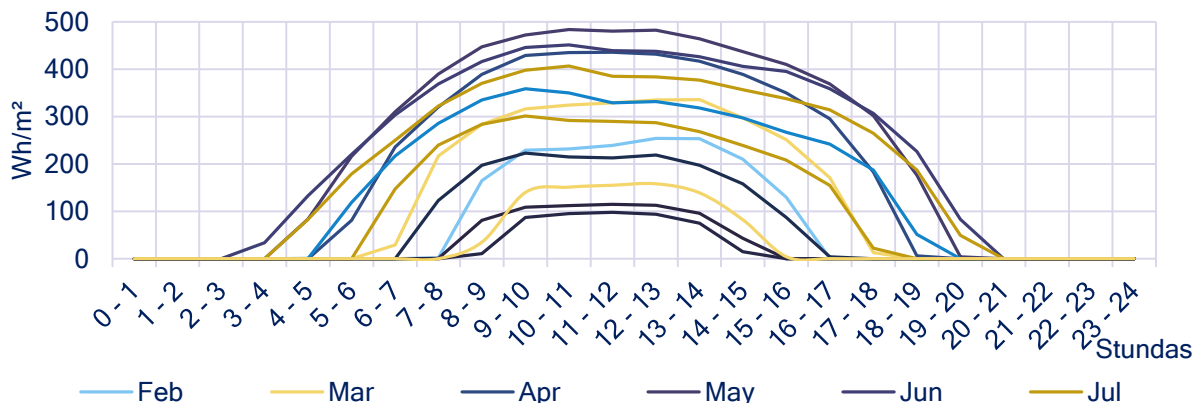


8.1.1. att. Saules intensitāte Latvijā un SIA Rītausma vidēji gadā

Salīdzinot Latvijā reģistrētos ilggadīgos vidējos saules starojuma intensitātes datus (8.1.2.1. att.) ar SIA Rītausma aktuālajiem – 2022. g., redzams, ka ziemas mēnešos, no novembra līdz februāra vidum tie ir identiski ilggadīgajiem datiem. Sākot no februāra otras puses, līdz pat oktobra pirmās

dekādes beigām aktuālie saules radiācijas rādītāji ir labāki nekā, pēc ilggadīgajiem datiem, maksimumu sasniedzot tieši jūnijā, kopējā atšķirība sasniedz 167 kWh. SIA Rītausma 2022. gada saules starojumam intensitātes salīdzinājumā ar ilggadīgajiem datiem ir bijusi 17% augstāka.

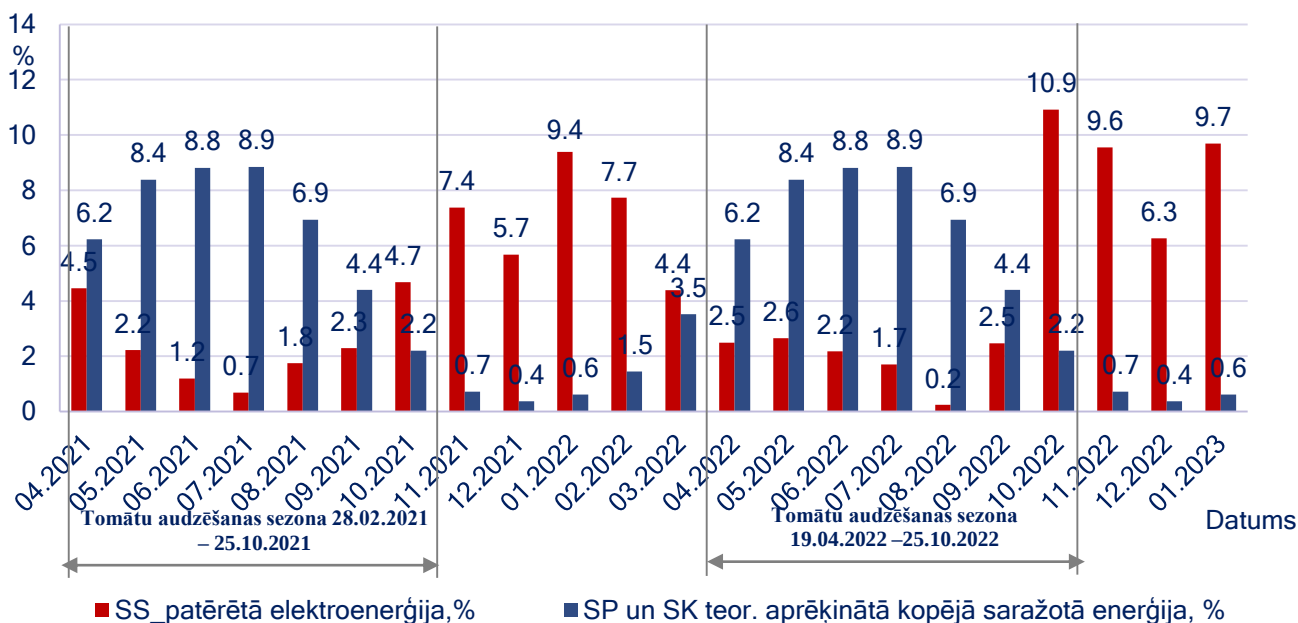
Saules spīdēšanas tiešā veidā ir saistīts ar augu fotosintēzi, jo saule spīd vairāk stundu, jo vairāk labvēlīgi ietekmē tomātu augšanu.



8.1.2. att. Saules intensitāte SIA Rītausma vidēji gadā pa stundām

Saules intensitāte, (att. 8.1.2.2.) skatoties mēnešu griezumā, veidojas atšķirīga. Palielinoties saules spīdēšanas ilgumam, vajadzētu būt tā, ka zeme saņem lielāku enerģiju Wh m^2 , bet aina ir savādāka, jo pēc grafika redzam, ka veidojas atšķirīgas līknes. Saulaino dienu skaits veidojas atšķirīgs. Viszemākā enerģijas uzkrāšanas ir decembrī, kad to ir iespējams uzkrāt tikai no 8.00–16.00, maksimumā nepārsniedzot 100 Wh m^2 . Tiem seko novembris un janvāris. Februāris jau ir pielīdzināms oktobrim rudenī. Tas nozīmē, ka enerģijas uzkrāšanai vai izmantošanai daudz labāki apstākļi veidojas gada sākumā, strauji pieaugot saules intensitātei, bet visnelabvēlīgākie tie ir tieši rudenī, kad ir ļoti daudz apmākušos un lietainu dienu. Optimāli mēneši saules enerģijas izmantošanai ir tieši jūnijs, maijs un aprīlis, kas ir gada saulainākie mēneši. Maijā laikā posmā no 11.00 – 13.00 saules intensitāte sasniedz vismaz 484 – 482 Wh m^2 , savukārt jūnijā tikai 451– 438 Wh m^2 .

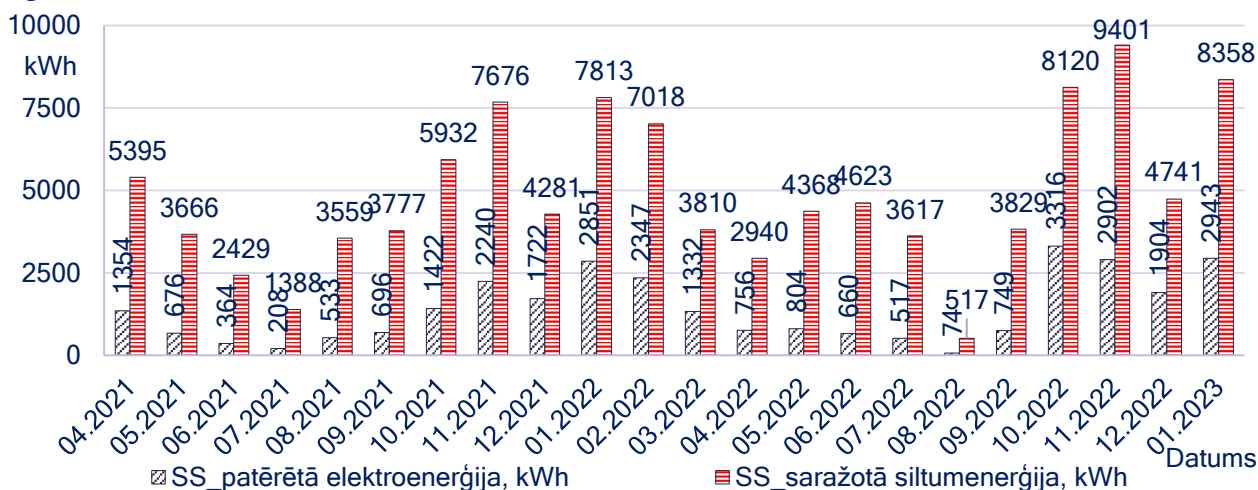
Kopējā saražotā solārā enerģija 2021. un 2022. g. sezonā ir praktiski identiska pa mēnešiem, bet patēriņš starp gadiem atšķiras (att. 8.1.3.). 2021. g. aprīlī 4.5 % pret 2.5 % 2022. g. maijā, jūnijā, jūlijā atšķirības procenta robežās. Būtiskas atšķirības ir oktobrī, kad tika patērēts vairāk, pret potenciāli saražoto 4.7 % patērēts 2021. g. un 10.9 % 2022. g. oktobris bija vēss un apmācies.



8.1.3. att. Saražotās solārās enerģijas un eksperimentālās siltumnīcas patērētās enerģijas sadalījums vidēji pa mēnešiem, teorētiskie aprēķini

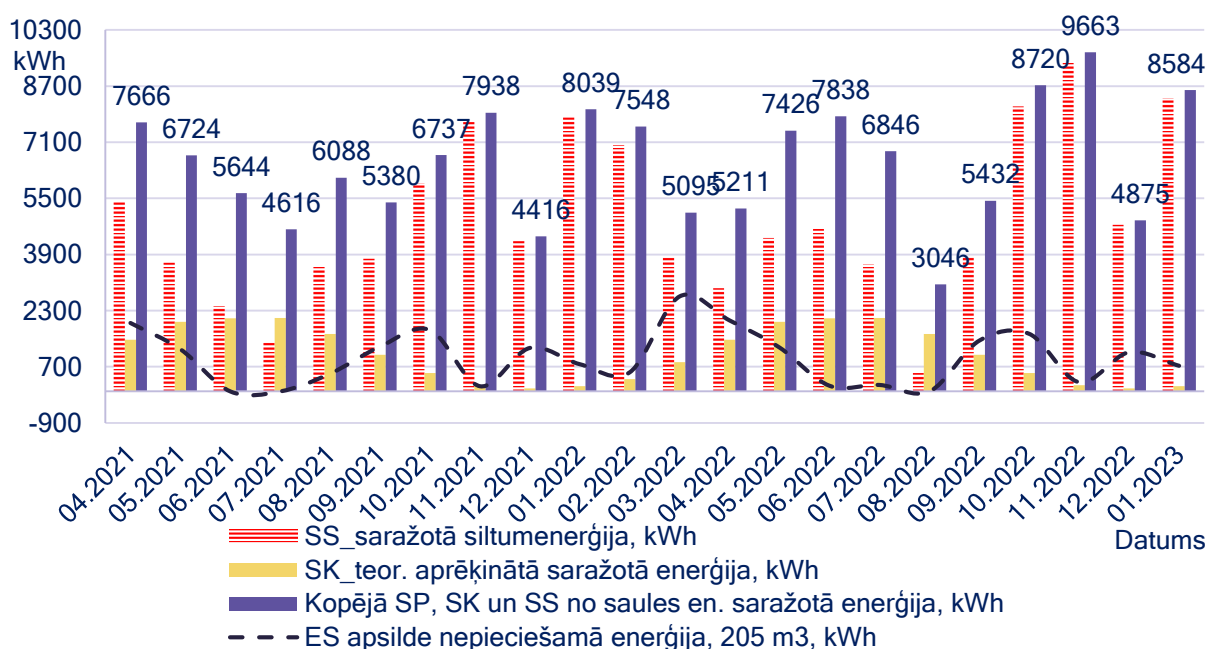
Patērētās elektroenerģijas apjoms svārstās atbilstoši klimatiskajiem nosacījumiem (att.8.1.4.), samazinoties vasaras mēnešos un pieaugot rudenī un ziemā, tikai 2022. g. maijā patēriņš ir bijis 804 kWh pret 756 kWh, aprīlī. Zemākais patēriņš 2021. g. bijis jūlijā, bet 2022. – augustā.

Būtiskas atšķirības ir saražotajā siltumenerģijā, kur kopumā 2022. g. 8 mēnešos ir saražots lielāks siltumenerģijas apjoms, nekā 2021. g. 4 mēnešos, tas ir bijis nebūtiski lielāks nekā 2021. g. Līdzīgi kā ar elektroenerģiju, siltums vismazāk saražots 2021. g. jūlijā 1388 kWh, pret 2022. g. augustu, kad tika saražots 517 kWh.



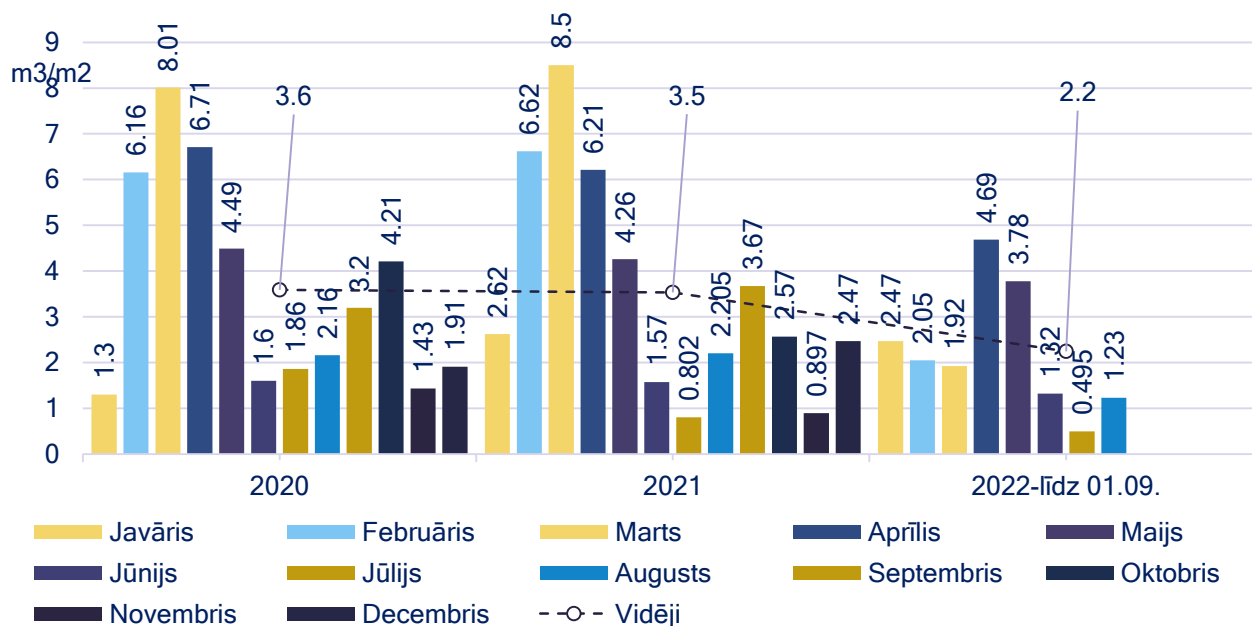
8.1.4. att. SS saražotā enerģijas un ES patērētā enerģijas teorētiskie aprēķini, kWh 04.2021 – 01.2023., SIA Rītausma dati

ES apsildei izmantotās enerģijas grafiks (att. 8.1.4.) atbilst meteoroloģisko apstākļu izmaiņām. Situācija ar SS un kopējo saražoto enerģiju ir ļoti atšķirīga starp 2021. – 2022. g. sezonu. 2021. g. no aprīļa līdz jūnijam samazinās saražotās siltumenerģijas apjoms no SS sistēmām, veidojot būtisku starpību ar kopējo iegūto, kas arī sarūk līdzīgi. SS ražotais siltuma daudzums atkal pieaug augustā, septembrī nebūtiski. Laika posmā no septembra līdz novembrim lielākā daļa siltumenerģijas tiek saražota tieši no SS sistēmām. Decembrī situācija līdzīga abos gados, tikai tiek būtiski mazāk saražots, 4416 kWh 2021. g. pret 4875 kWh 2022. g. Abos gados lielāko daļu SS sistēmas saražo janvārī un februārī. Martā un aprīlī 2022. g. SS saražotā siltumenerģija ir līdzīga kā 2021. g., bet būtiski mazāka ir kopējā saražotā enerģija. Toties laika posmā no maija līdz jūlijam 2022. g. kopējā saražotā siltumenerģija ir lielāka nekā 2021. g.. Nākamajos divos mēnešos kopējais saražotās enerģijas daudzums atkal izmainās par labu 2022. gadam, kad starpība turpina pieaugt arī oktobra un novembra mēnešos.



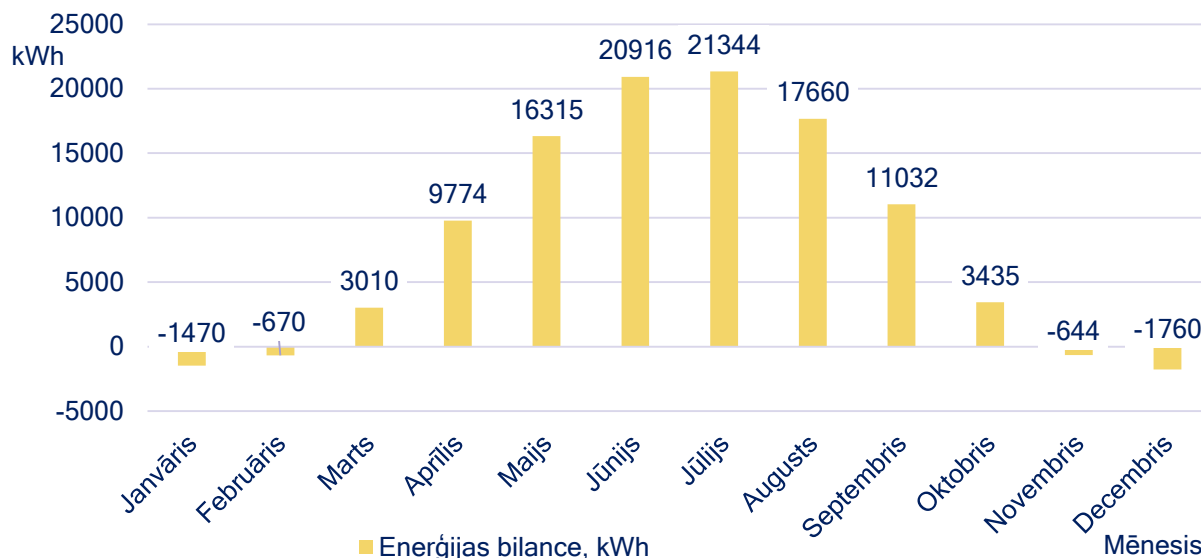
8.1.5. att. SP un SK kopējā, SS saražotā enerģija un ES patērētā enerģija, 12.04.2021 – 01.2023, teorētiskie aprēķini.

Vismazākais gāzes patēriņš ir bijis 2020. g. janvārī – $1,3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (att. 8.1.6.), bet nākamajos mēnešos nebūtiski atšķirīgs. Tendence saglabājas martā, bet jau 2022. g. ir 4 reizes mazāks patēriņš, tikai $1,92 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Aprīlī gāzes patēriņš sarūk, 2020. g. un 2021. g. starpība atkal nebūtiska, bet 2022. g. patēriņš krītas līdz $4,69 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Tendence saglabājas maijā, jūnijā jau patēriņš ir līdzīgs visos trijos gados. Jūlijā patēriņš krīt ar katru gadu, līdz 2022. g. jūlijā nokrīt līdz sezonas zemākajam $0,495 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Augustā patēriņš praktiski līdzīgs 2020. un 2021. g., bet zemāks tieši 2022. g. – $1,23 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Septembrī jau patēriņš nedaudz lielāks, tendence saglabājas arī oktobrī un novembrī, bet starpība sarūk. Noslēgumā decembris jau ir aukstāks 2021. g. un tādēļ arī ir lielāks gāzes patēriņš.

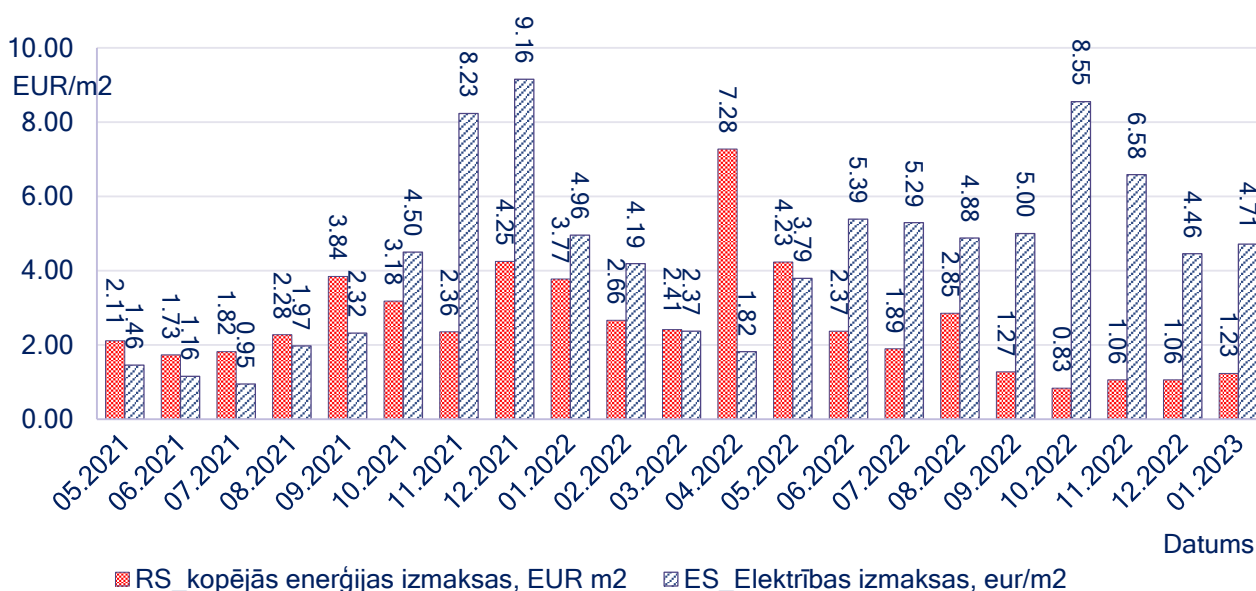


8.1.6. att. Gāzes patēriņš un cena pamatsiltumnīcā, EUR/m², SIA Rītausma dati

Skatoties no enerģijas bilances (att. 8.1.7.) un ekonomiskā aspekta (att. 8.1.8.), redzams, ka RS siltumnīcas kopējās enerģijas izmaksas ir lielākas tieši 2021. g. siltajā periodā no maija līdz septembrim, turpinājumā, sākot no oktobra lielākas kļūst ES elektroenerģijas izmaksas, jo samazinās saules radiācija. Oktobrī starpība vēl ir neliela, būtiskākā tā ir novembrī un decembrī, kur no grafikiem (att. 8.1.7.; att. 8.1.8.) redzams, ka no saules iegūtā enerģija bija vismazākā. Jau 2022. g. starpība uz pavasari sarūk, līdz martā jau praktiski izlīdzinās. No kopējās tendences izkrīt aprīlis, kad RS izmaksas ir būtiski augstākas par ES elektroenerģijas izmaksām. No maija līdz 2022. g. sezonas beigām ES saražotā elektroenerģija ir būtiski lielāka par RS kopējās enerģijas izmaksām.

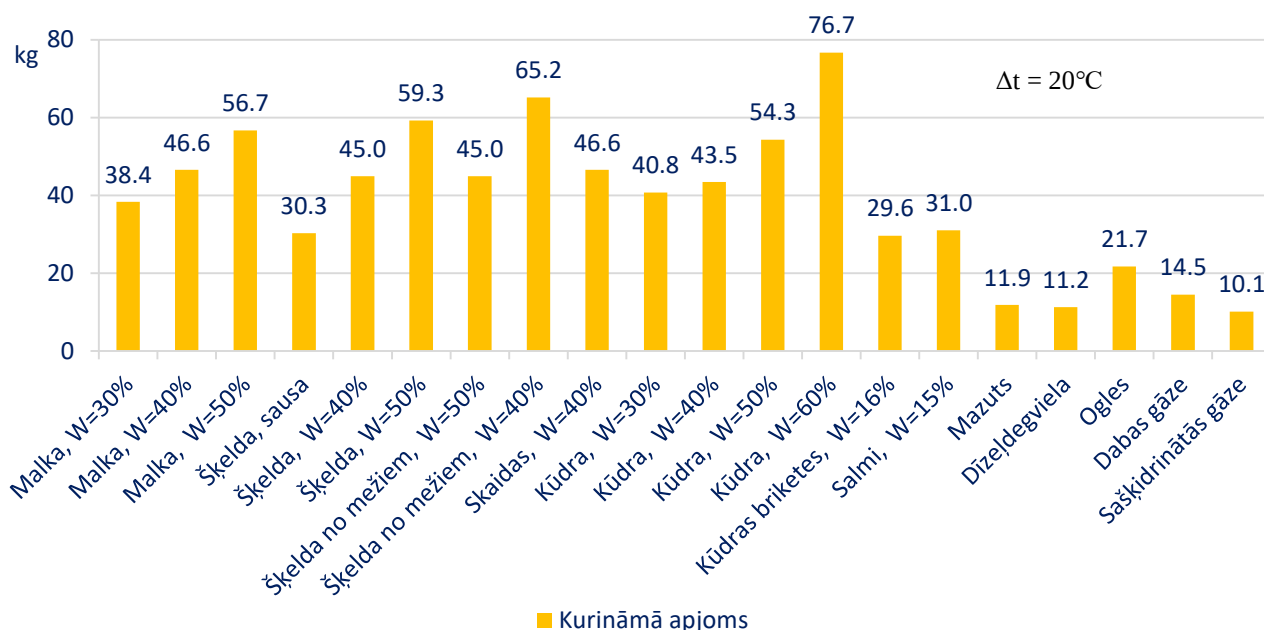


8.1.7. att. Energijas balance ES teorētiski aprēķinātā, kWh, (nepieciešamā–kopējā saražotā)



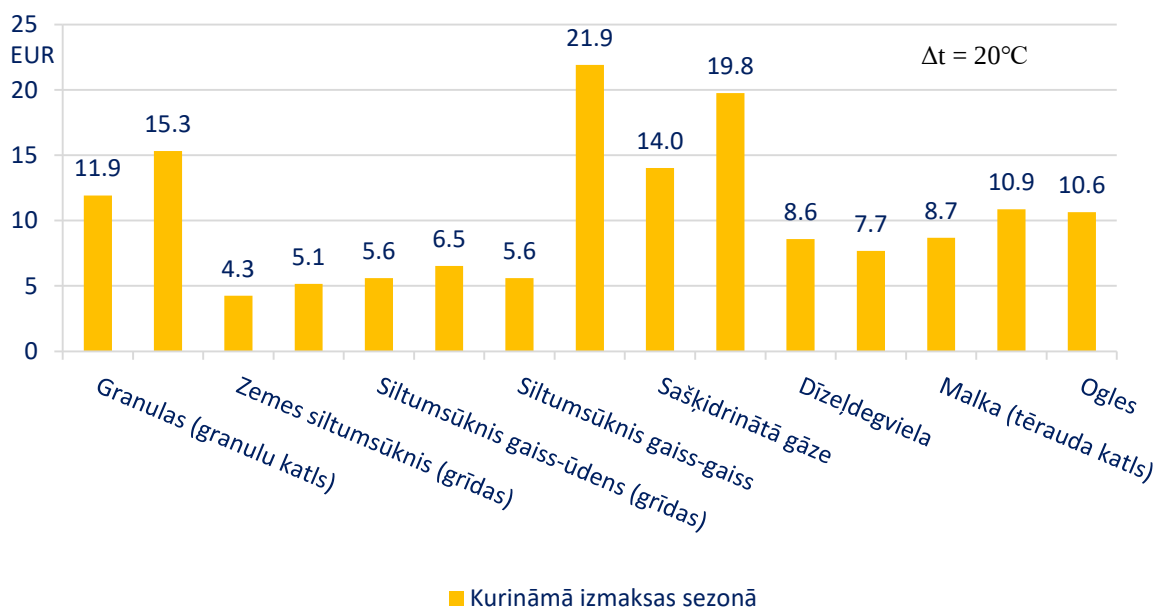
8.1.8. att. Energijas izmaksu teorētiskie aprēķini par periodu 04.2021 – 12.2022.

Vērā ņemams ir ES apsildei nepieciešamais kurināmā daudzums uz 1 m³ gaisa, (att. 8.1.9.) pārrēķinot uz dažādiem kurināmā veidiem, kā malkai, tā šķeldai būtiska nozīme ir mitrumam – W, kas būtiski ietekmē to siltumspēju. Interesanti, ka pie vienāda mitruma W 30 % ir nepieciešams praktiski vienāds malkas vai kūdras daudzums Kūdras briķetes un salmi ir nepieciešami praktiski vienādā daudzumā attiecīgi 29.6 kg. un 31.0 kg. Fosilajiem resursiem vislabākos rezultātus uzrāda sašķidrinātā gāze, tikai 10.1 kg.



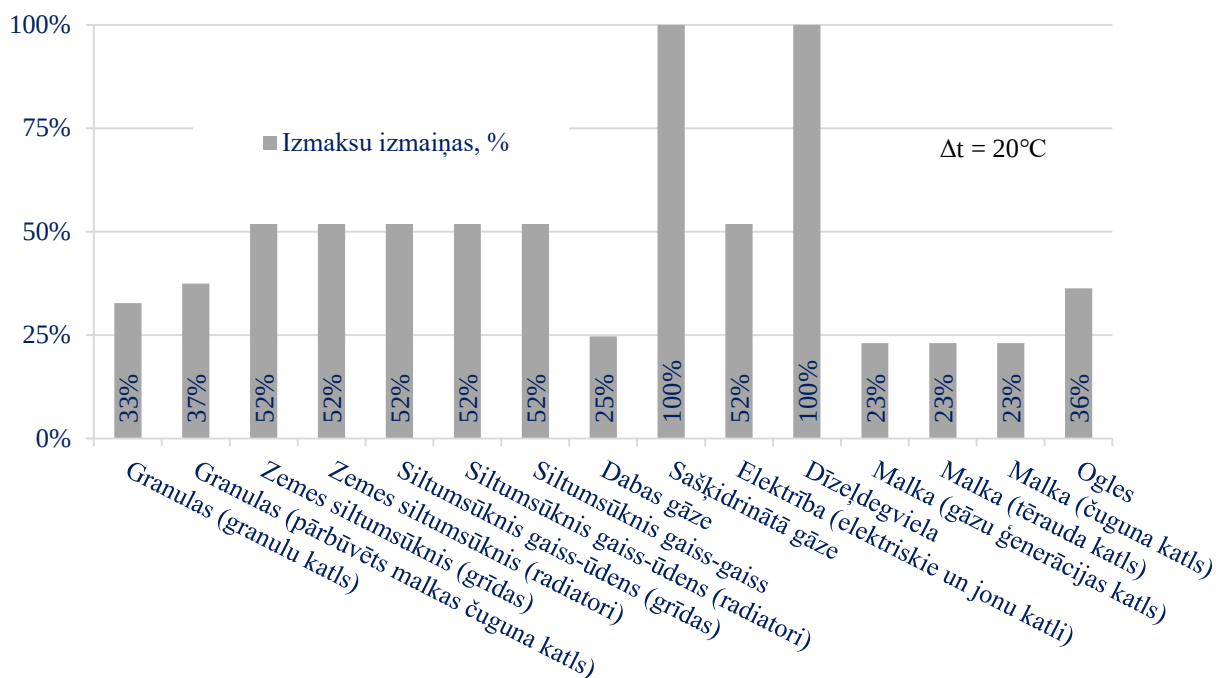
8.1.9. att. Eksperimentālās siltumnīcas 1 m³ gaisa uzsildīšanai nepieciešamie salīdzinošie kurināmā apjomi gadā pa kurināmā veidiem, teorētiskie aprēķini

Mainoties projekta laikā dažādu kurināmā veidu cenām, mainās arī to potenciālās izmaksas, hipotētiski pielietojot kā apkures veidu. Viszemākās izmaksas, nedaudz zem 5 eiro ir zemes siltumsūkņim (zem grīdas), (att. 8.1.10.) ļoti tuvu tam ir visi pārējie siltumsūkņu veidi. Ļoti līdzīgas izmaksas ir malkas katliem un dīzeļdegvielai – robežās 7–8 eiro. Visdārgākais veids – virs 20 eiro ir dabasgāze. Interesanti, ka granulu cenas dēļ to katla izmaksas sastāda vismaz 12 eiro 1 m³ gaisa apsildei sezonā.



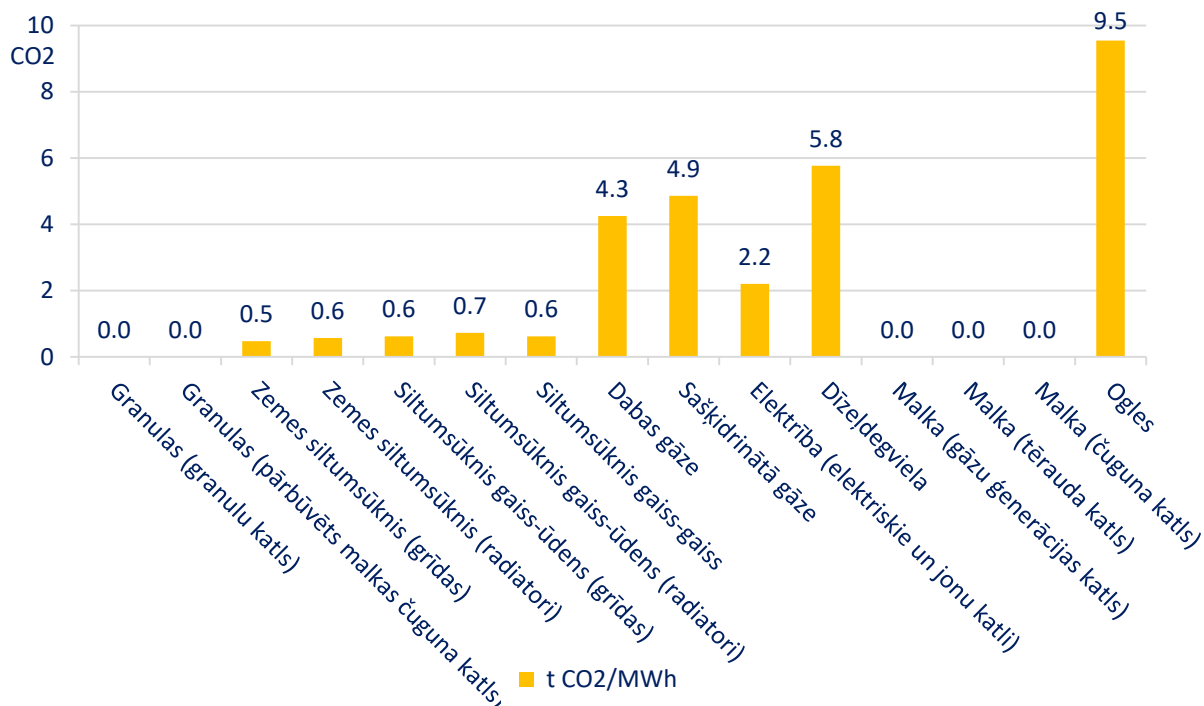
8.1.10. att. Eksperimentālās siltumnīcas 1 m³ gaisa uzsildīšanai salīdzinošās izmaksas sezonā pa kurināmā veidiem, teorētiskie aprēķini

Izmaksu pieaugums 2022. g., salīdzinot dažādus energoresursu veidus, ir bijis ļoti straujš (att.8.1.11.). Līdz 25 %, ir sadārdzinājušies malka un dabasgāze, granulas par 33 – 37 %. Visi apkures veidi, kuros izmanto elektroenerģiju sadārdzinājušies par 52 %, taču sadārdzinājums par 100 % ir sašķidrinātai gāzei un dīzeļdegvielai.



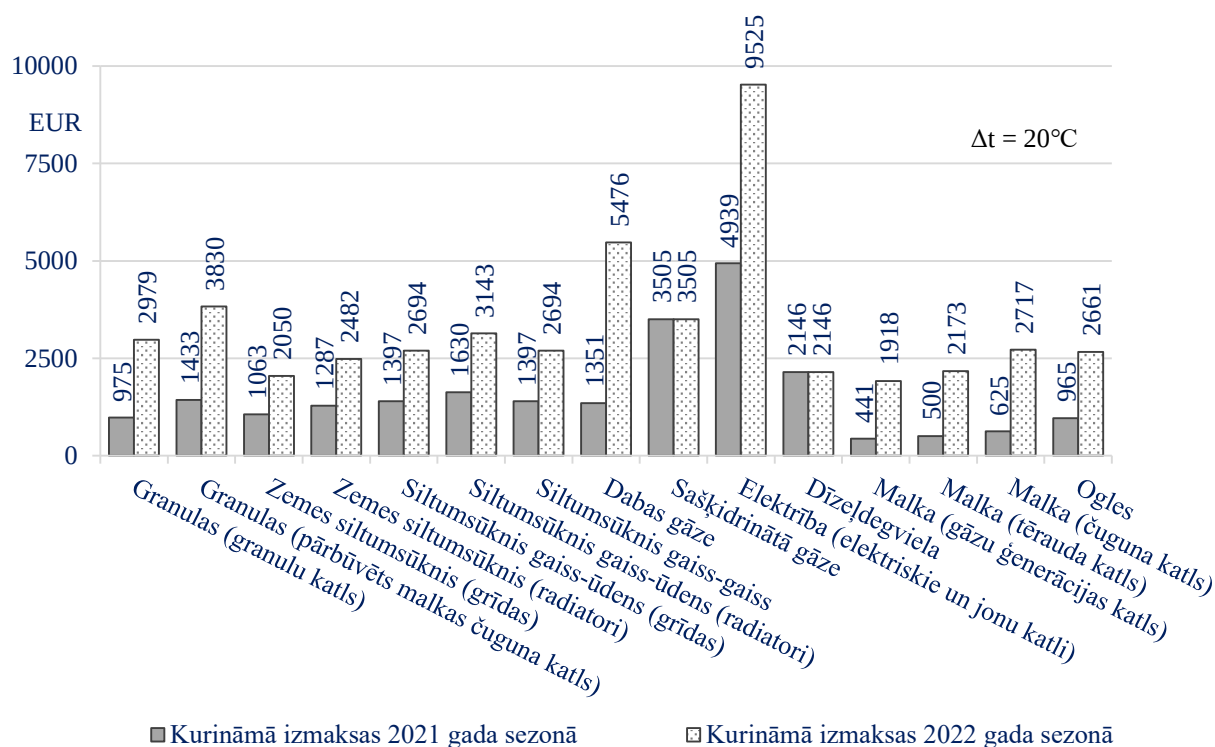
8.1.11. att. Energoresursu cenu izmaiņas eksperimentālās siltumnīcas 50 m² apsildei 2022. gada sezonā salīdzinoši ar 2021. gada sezonu pa apkures veidiem, teorētiskie aprēķini

Emisijas CO₂ pa kurināmā veidiem parādītas (att. 8.1.12.). Vismazākās tās ir granulām un visiem siltumsūkņu veidiem – zem 1 t CO₂/MWh, bet vislielākās ir oglēm – vairāk nekā 9 t CO₂/MWh. Malkai un granulām netiek aprēķinātas piesaistītās CO₂ emisijas.



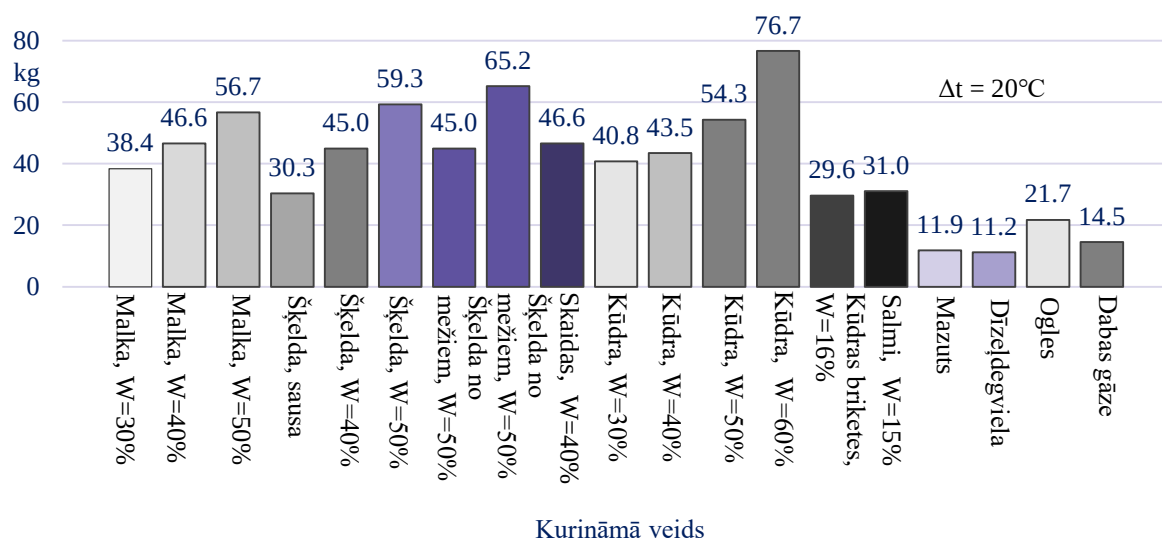
8.1.12. att. Eksperimentālās siltumnīcas 50m² apsildei piesaistītās CO₂ emisijas gadā salīdzinoši pa kurināmā veidiem, teorētiskie aprēķini

Kurināmā izmaksas 2022. g. salīdzinājumā ar 2021. g. ir pieaugušas visiem iespējamā kurināmā izmantošanas veidiem, izņemot divus siltumenerģijas iegūšanas resursus – dīzeļdegvielu un sašķidrīnāto gāzi (att. 8.1.13.). Vismazākais izmaksu pieaugums ir visa veida siltumsūkņiem un elektrībai – vidēji 1.9 reizes, oglēm 2,7 reizes, granulām 2.7 – 3 reizes. Par 405 %, izmaksu pieaugums ir dabasgāzei, bet pieauguma rekords par 430 % pieder malkai.



8.1.13. att. Eksperimentālās siltumnīcas 50 m² apsildes salīdzinošās izmaksas pa apkures veidiem, teorētiskie aprēķini

Nepieciešamie kurināmā apjomi 1 m³ gaisa apsildei parādīti 8.1.14. att. Mazākais vajadzīgais ir dīzeldegvielas apjoms – 11.2 kg, līdzīgs ir mazuta apjoms – 11.9 kg, mazliet vairāk ir nepieciešama dabasgāze – 14.5 kg, ogles – 21.7 kg. Kūdras briķetes, šķelda un salmi vajadzīgi 29.6 – 31 kg, malka un beramā kūdra – 38.4 un 40.8 kg. Visvairāk vajadzīga kūdra ar 60% mitrumu – 76.7 kg.



8.1.14. att. Siltumnīcas 1 m³ gaisa apsildei nepieciešamais kurināmā apjoms gadā, teorētiskie aprēķini

Secinājumi:

1. Kopējais saules paneļu, saules kolektoru un siltumsūkņa saražotais enerģijas daudzums sezonas laikā aptuveni 2,5 reizes pārsniedza patēriņu eksperimentālajā siltumnīcā. Enerģijas pārpalikums izmantots laistīšanas ūdens sildīšanai ražošanas siltumnīcā.
2. Ražošanas siltumnīcu apkures veida izvēlei enerģijas avotu sadārdzinājuma apstākļos izmantojama attēlos 8.1.9. – 8.1.14. un paskaidrojošā tekstā dotā informācija.

9. NODAĻA. EKSPERIMENTĀLĀ PĀRBAUDE UN DATU APSTRĀDE SIA RĪTAUSMA

Informāciju sagatavoja: LBTU UZC sadarbībā ar projekta partneriem LLKC un SIA Rītausma

Eksperimentālie pētījumi norisinājās divos posmos. Pirmajā posmā tomātu audzēšanas sezona SIA Rītausma sākās 28.02.2021 un turpinājās līdz 25.10.2021. Otrajā posmā no 19.04.2022. līdz 01.01.2022. Abām siltumnīcām tika definētas kultūraugu audzēšanas pamatprasības.

9.1. Eksperimentālie pētījumi SIA Rītausma, 2021. gadā

9.2. Definētās kultūraugu audzēšanas pamatprasības

Temperatūras svārstības diennakts laikā

Neliela starpība starp dienas un nakts gaisa temperatūru veicina ģeneratīvo augšanu (tomātu augšana). Diennakts temperatūru starpībai pieaugot, augšana pāriet veģetatīvajā (aug lapas un stublājs). Lielas temperatūras svārstības izraisa augļu plaisāšanu un ziedu nobiršanu.

Ilgstošas gaisa temperatūras izraisa augšanas apstāšanos, augi kļūst zilgani, apstājas fosfora uzņemšana, vēlāk lapas dzeltē un augi iet bojā.

Par $+15^{\circ}\text{C}$ zemāka un par $+30^{\circ}\text{C}$ augstāka gaisa temperatūra būtiski negatīvi ietekmē ziedu apputeksnēšanās procesu, tiek kavēta augļu aizmetņu un augļu attīstība.

Gaisa temperatūras ziedēšanas un augļu nobriešanas laikā

Tomātu ziedēšanas laikā naktī uztur $+15 - +18^{\circ}\text{C}$, dienā atkarībā no gaismas apstākļiem $+20 - +28^{\circ}\text{C}$ temperatūru. Sākot ar februāra vidus, temperatūra saulainā laikā var svārstīties $+20 - +22^{\circ}\text{C}$ robežās, apmākušās dienās – ap $+18^{\circ}\text{C}$, bet naktīs $+14 - +16^{\circ}\text{C}$. Martā un aprīlī, un turpmākajos mēnešos, pie intensīva apgaismojuma, temperatūrai ir jābūt augstākai: dienā saulainā laikā $+22 - +25^{\circ}\text{C}$, apmākušās dienās – ap $+18 - +20^{\circ}\text{C}$, naktīs $+15 - +17^{\circ}\text{C}$.

Pārsniegt $+26^{\circ}\text{C}$ robežu pat gaišā, saulainā dienā nav vēlams. Temperatūrā virs $+30^{\circ}\text{C}$ tomāti vairs neapputeksnējas, bet virs $+35^{\circ}\text{C}$ – iet bojā ziedi un pamazām arī viss augs.

Optimālās gaisa temperatūras nosacījumi, tomātiem veģetācijas periodā

Gaisa temperatūra pēc izstādīšanas nedrīkst būt zemāka par $+10 - +12^{\circ}\text{C}$. Pēc 6 – 7 lapu izveidošanās, pirms veidojas ziedķekars 10 – 14 dienas temperatūra, nedrīkst pārsniegt $+16 - +17^{\circ}\text{C}$. Ziedēšanas laikā, tai ir jābūt $+17 - +18^{\circ}\text{C}$. Temperatūru sākt pakāpeniski paaugstināt tikai, tad, kad pirmajā ķekarā, jau ir aizmetušies un sāk nobriest tomāti. Optimālā gaisa temperatūra dienā ir $+20 - +25^{\circ}\text{C}$, pie augstākas ogļskābās gāzes koncentrācijas sekmīga asimilācija var notikt arī nedaudz augstākā temperatūrā, bet naktī, tā nedrīkst pazemināties zemāk par $+12 - +15^{\circ}\text{C}$. Augu ziedēšana apstājas zem $+15^{\circ}\text{C}$ un augu augšana, temperatūrai noslīdot zem $+10^{\circ}\text{C}$. Gaisa temperatūra $+35^{\circ}\text{C}$, pieļaujama ne ilgāk kā piecas stundas pēc kārtas.

Gaisa temperatūras ziedēšanas un augļu nobriešanas laikā

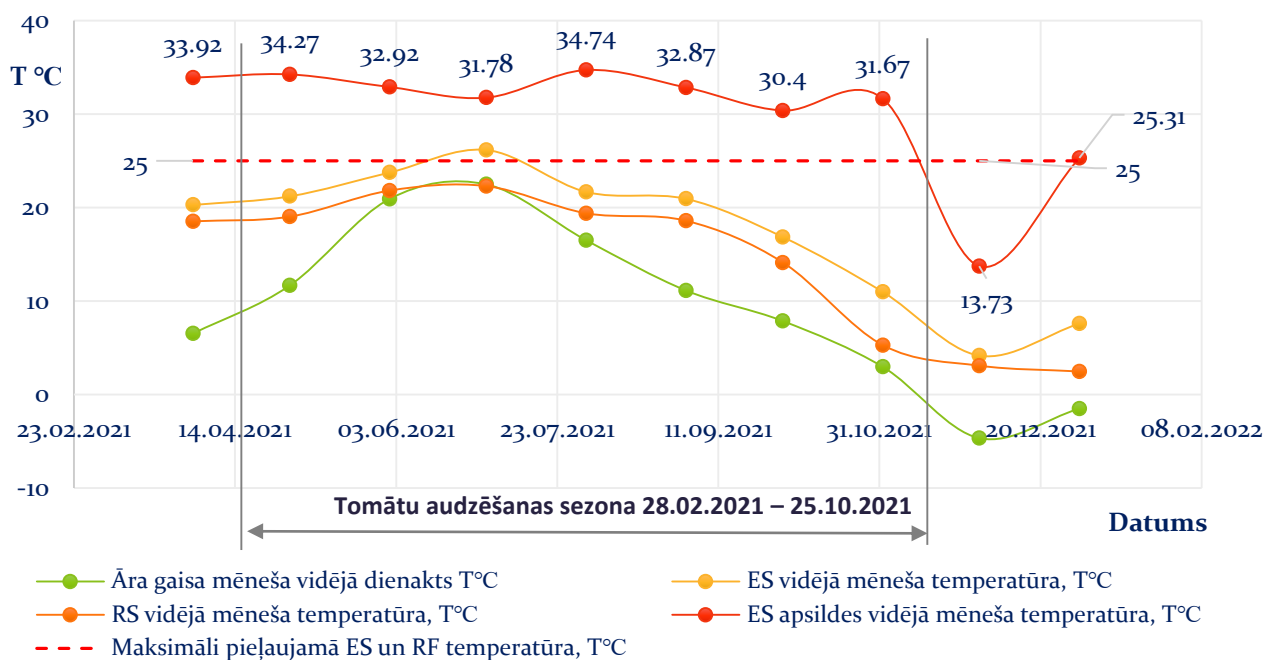
Tomātu ziedēšanas laikā naktī uztur $+15 - +18^{\circ}\text{C}$, dienā atkarībā no gaismas apstākļiem $+20 - +28^{\circ}\text{C}$ temperatūru. Sākot ar februāra vidus, temperatūra saulainā laikā var svārstīties $+20 - +22^{\circ}\text{C}$ robežās, apmākušās dienās – ap $+18^{\circ}\text{C}$, bet naktīs $+14 - +16^{\circ}\text{C}$. Martā un aprīlī, un turpmākajos mēnešos, pie intensīva apgaismojuma, temperatūrai ir jābūt augstākai: dienā saulainā laikā $+22 - +25^{\circ}\text{C}$, apmākušās dienās – ap $+18 - +20^{\circ}\text{C}$, naktīs $+15 - +17^{\circ}\text{C}$. Pārsniegt $+26^{\circ}\text{C}$ robežu pat gaišā, saulainā dienā nav vēlams. Temperatūrā virs $+30^{\circ}\text{C}$ tomāti vairs neapputeksnējas, bet virs $+35^{\circ}\text{C}$ – iet bojā ziedi un pamazām arī viss augs.

Lai samazinātu elpošanas intensitāti un zudumus enerģētiskajos procesos augā, naktīs vēlams pazemināt temperatūru līdz $+12 - +15^{\circ}\text{C}$. Dienā mainoties apgaismojumam, mainās asimilācijas intensitāte. Mākoņainā laikā asimilācija augos noris mazāk intensīvi, nekā saulainā laikā, tāpēc arī mākoņainā laikā temperatūra pēc iespējas jāpazemina līdz $+15 - +17^{\circ}\text{C}$.

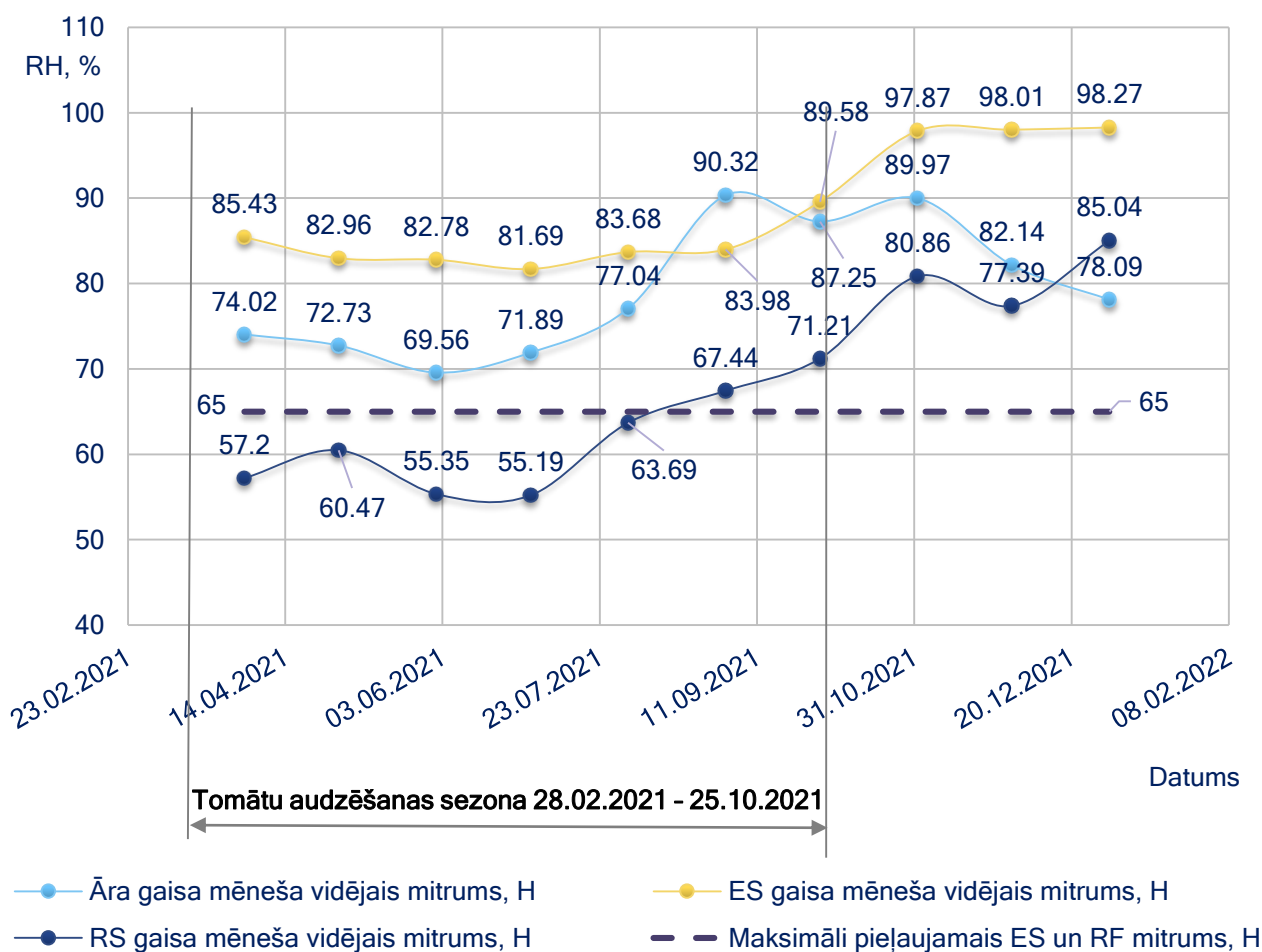
Atbilstoši LBTU izstrādātajai metodikai (sk. 3. nodaļu) definētas audzēšanas pamatprasības.

9.3. Eksperimentālā pārbaudes rezultāti

Eksperimentālā pārbaudē tika izmantoti SIA Rītausma rīcībā esošie temperatūras, mitruma, oglekļa dioksīda koncentrācijas (netika uzstādīts) un saules starojuma enerģijas mērīšanas sensori: eksperimentālajā siltumnīcā, references siltumnīcā un āra gaisa temperatūras T_1 , T_2 , M_1 , $T_{\text{āra}}$ siltumnesēja temperatūra T_{SN} , mitruma M_1 , M_2 , $M_{\text{āra}}$, oglekļa dioksīda koncentrācijas (nav uzstādīts), saules starojuma intensitātes S_{int} , sensori.



9.1 att. Āra gaisa, eksperimentālās siltumnīcas (ES), references siltumnīcas (RF) un no siltumsūkņa (SS) izejošā mēneša vidējā diennakts T°C



9.2. att. Āra gaisa, ES un RF mēneša vidējais diennakts gaisa mitrums

Temperatūras novirze no normas bija fiksēta divos periodos 20.06.2021 – 24.06.2021. un 15.07.2021 – 16.07.2021, kad attiecīgi āra gaisa temperatūra bija +30°C un +36°C.

Šajos periodos eksperimentālajā siltumnīcā, tika sasniegta augiem kritiskā temperatūra $+32^{\circ}\text{C}$, savukārt mitruma koncentrācija būtiski nepārsniedza pieļaujamo 80% robežu.

Ilgstošais paaugstināts gaisa mitrums virs 92% atstāja nelabvēlīgu ietekmi uz turpmāko augu attīstību, ne tikai uz transpirāciju, bet uz pārējām lapu funkcijām: fotosintēzi un elpošanu.

Gaisa mitrumam, samazinoties zem optimālā (70%) (60 – 44%) atvārsnītes veras ciet, lai saglabātu to ūdens daudzumu, kas augā jau ir, pārtraucot ūdens piegādi no auga saknēm uz lapām, mitrumam paliekot sakņu zonā. Tas ietekmēja augu attīstību.

Karstuma periodos, pat ar vēdināšanu, gaisa mitrums, kritiski samazinājās, ietekmējot negatīvi apputeksnēšanās procesu.

Siltumsūkņa darbības īpatnību dēļ, līdz pat augustam, vajadzīgajos brīžos, notika nepietiekama siltumnīcas piesildīšana, kas radīja lielāku tomātu veģetatīvo augšanu, tā samazinot tomātu ražu.

9.4. Augu monitorings eksperimentālajā siltumnīcā

SIA “Rītausma” segtajās platībās ierīkotajā 50 m^2 platībā eksperimentālajā siltumnīcā divas sezonas garajā aprītē tika audzēti tomāti.

Augu skaits uz 1 m^2 eksperimentālajā siltumnīcā bija 1.08, bet ražojošajā siltumnīcā bija 1.25. Eksperimentālajā siltumnīcā kopējais augu skaits bija 54, galvu skaits 108, bet pamatsiltumnīcā augu skaits 33405, galvu skaits 66810.

Ražas sākums 2022. gada audzēšanas sezonā atšķīrās no 2021. gada. Eksperimentālajā siltumnīcā ražu sāka lasīt 2022. gada 16. jūnijā, turpretī lielajā siltumnīcā raža sākās jau 10. jūnijā. To varētu skaidrot ar atšķirīgiem abu siltumnīcu mikroklimatiskajiem apstākļiem.

Kopējais ražas daudzums uz 1 m^2 eksperimentālajā siltumnīcā bija 18.59 kg, savukārt pamatsiltumnīcā bija 32.14 kg.

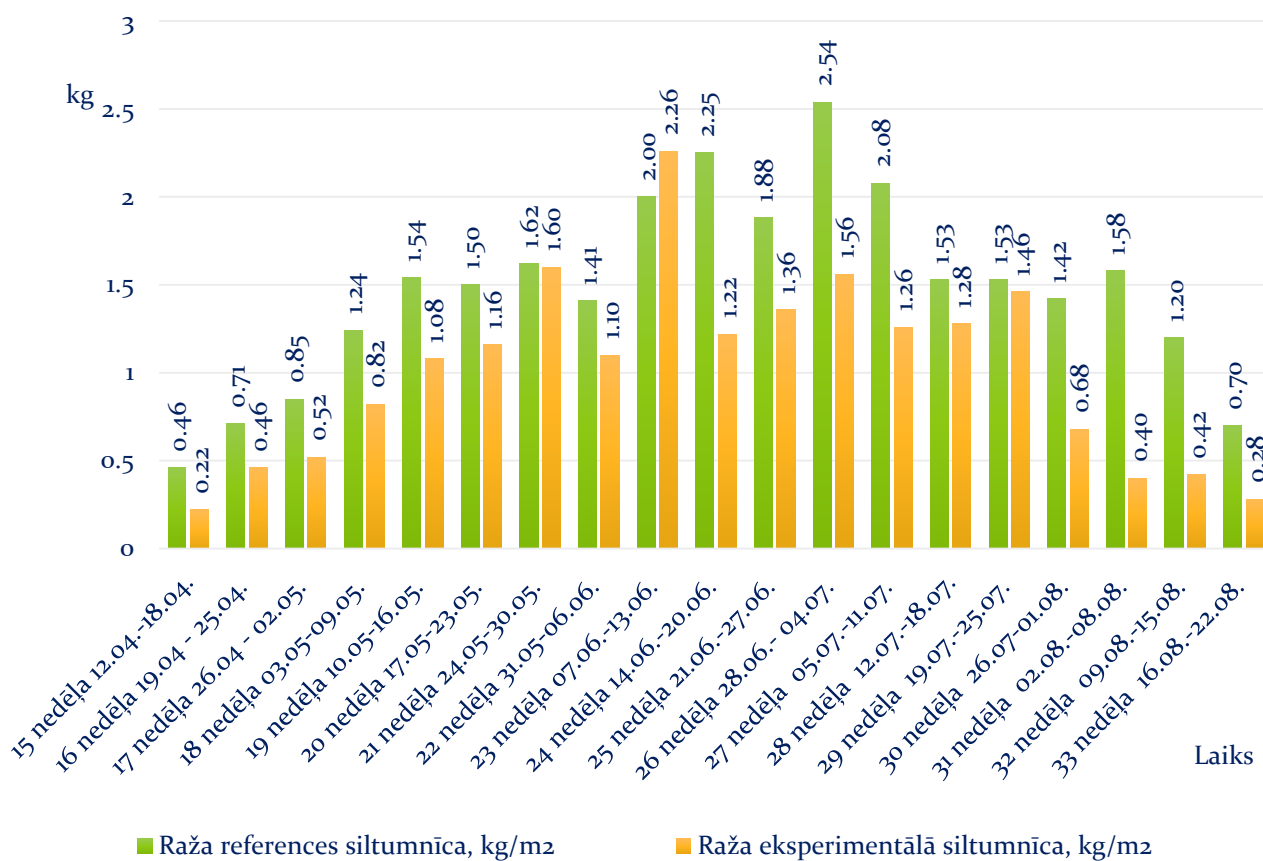


9.3. att. Tomātu augi eksperimentālajā siltumnīcā

9.5. Tomātu augu augšanas novērošana un uzskaite

Tomātu dēsti gan eksperimentālajā, gan references siltumnīcās tika iestādīti 28.02.2021., bet pēdējā raža novākta 25.10.2021. Audzētajiem tomātu augiem tika veikta augu augšanas novērošana un uzskaite SIA Rītausma, kura ietver sekojošo:

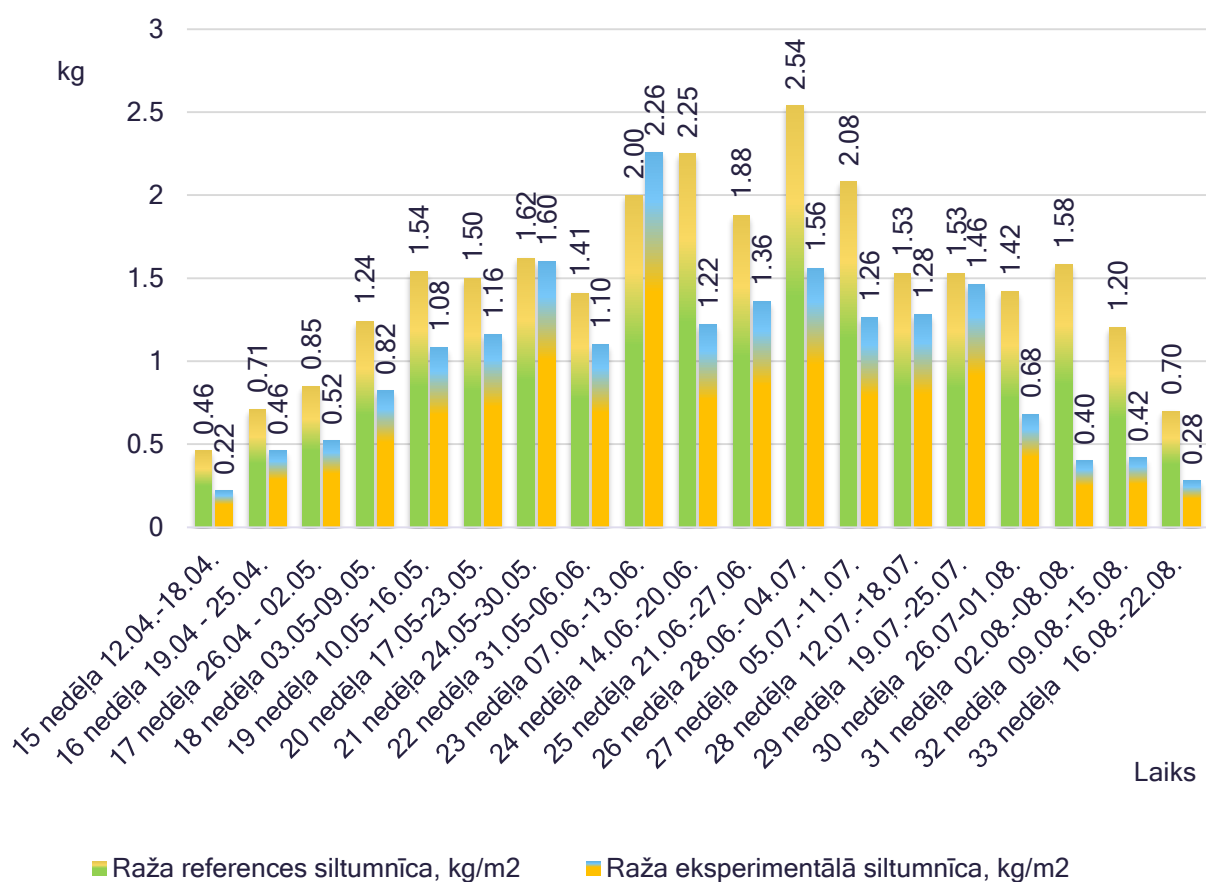
- Augšanas novērojumi: augu garuma izmaiņu novērojumus, kas ietver galotnes augstuma atzīmi uz auklas, kuru izmanto tomātu pietīšanai, posmā no iepriekšējās nedēļas atzīmes līdz aktuālai atzīmei. Pie iepriekšējās nedēļas atzīmes mēra lapas garumu un stiebra diametru;
- Ražas struktūras uzskaite: uzskaita produktīvos augļus (ogas) katrā attīstītajā ķekarā;
- Slimību pazīmju novērojumus: tiek fiksētas augu inficēšanās un/vai bojāejas brīdi;
- Vizuāla augu novērtēšana: tiek fiksētas iespējamās fizioloģiska rakstura vai barības vielu trūkuma pazīmes;
- Uzskaites biežums: novērojumi tiek veikti vienu reizi nedēļā vienlaicīgi testa un references siltumnīcā;
- Atkārtojumu skaits: vieniem un tiem pašiem pieciem randomizētiem izvēlētiem augiem;
- Tiek veikts novērojumu rezultātu apkopojums.



■ Raža references siltumnīca, kg/m²

■ Raža eksperimentālā siltumnīca, kg/m²

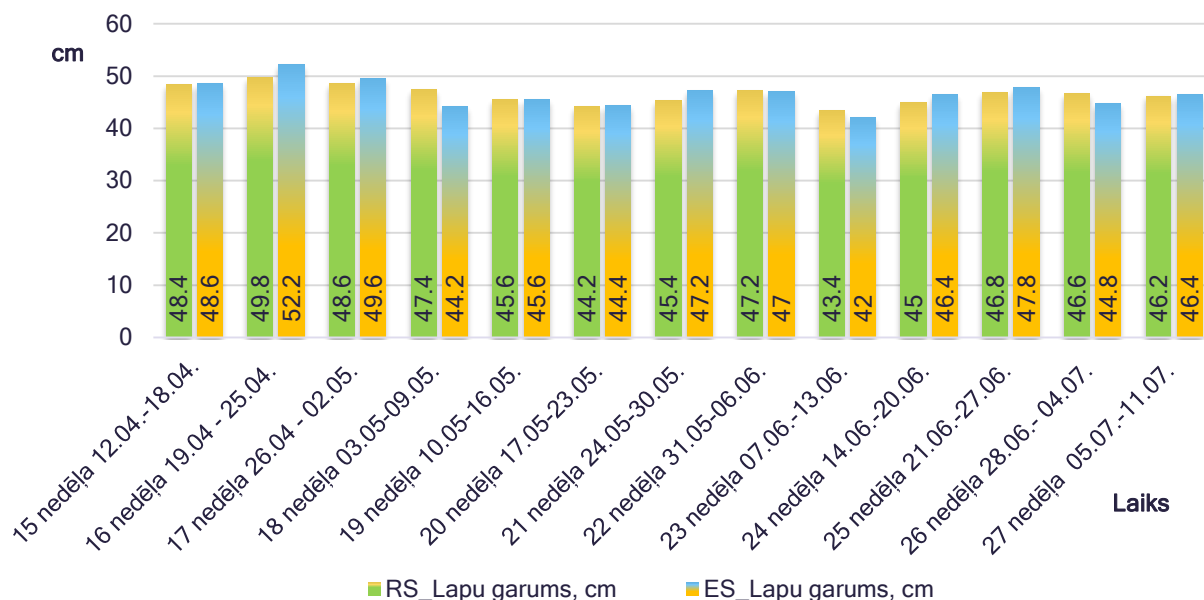
9.4. att. Augu veģetācijas diagnostika – tomātu ražas dinamika, 2021



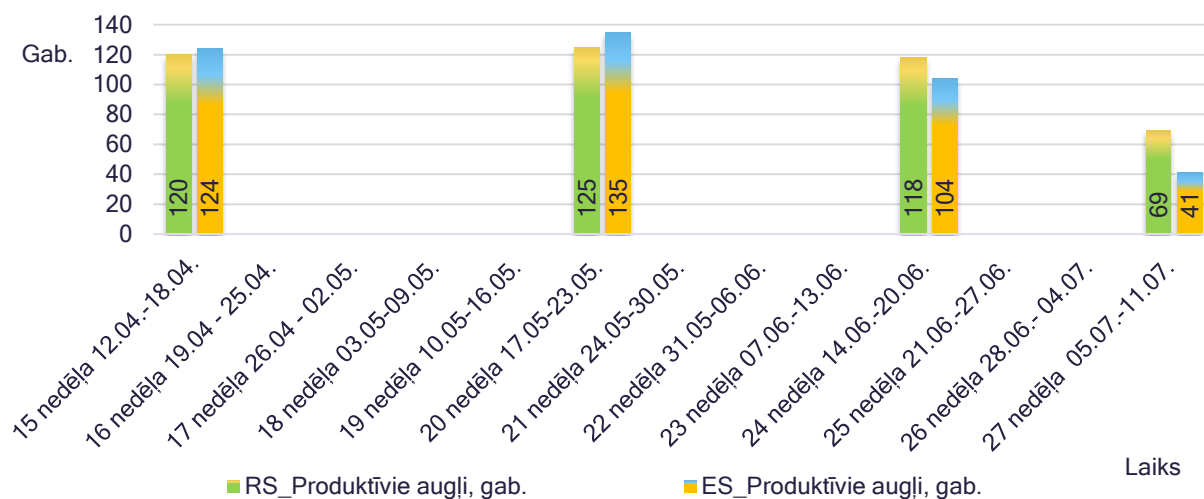
■ Raža references siltumnīca, kg/m²

■ Raža eksperimentālā siltumnīca, kg/m²

9.5. att. Augu veģetācijas diagnostika – tomātu ražas dinamika, 2021



9.6. att. Augu veģetācijas diagnostika – lapu garums, 2021



9.7. att. Produktīvie augļi, 2021

2021. gada sezonas iegūto datu analīze

- Ilgstošais paaugstināts gaisa mitrums virs 92% atstāja nelabvēlīgu ietekmi uz turpmāko augu attīstību, ne tikai uz transpirāciju bet uz pārējām lapu funkcijām: fotosintēzi un elpošanu.
- Gaisa mitrumam, samazinoties zem optimālā (70%) (60 – 44%) atvārsnītes veras ciet, lai saglabātu to ūdens daudzumu, kas augā jau ir, pārtraucot ūdens piegādi no auga saknēm uz lapām, mitrumam paliekot sakņu zonā. Tas ietekmēja augu attīstību.
- Karstuma periodos, pat ar vēdināšanu, gaisa mitrums, kritiski samazinājās, ietekmējot negatīvi apputeksnēšanās procesu.
- Siltumsūkņa darbības īpatnību dēļ, līdz pat augustam, vajadzīgajos brīžos, notika nepietiekama siltumnīcas piesildīšanu, kas radīja lielāku tomātu veģetatīvo augšanu, tā samazinot tomātu ražu.
- Abās siltumnīcās bija gan kaitēkļu bojājumi – lapu alotājmušas, gan slimības – miltrasa un puve. Daļa auga eksperimentālajā siltumnīcā cieta vairāk no kaitīgo organismu iedarbības, tādējādi atstāja redzamus ražas samazinājumus, salīdzinot ar ražu pamatsiltumnīcā.

Citu valstu pētnieku pētījumu rezultāti liecina, ka enerģijas taupīšanu līdz pat 70% apmērā var panākt modernizējot arī esošās (parastās) siltumnīcas.

Kultūraugu audzēšanai siltumnīcas izmanto, lai sasniegtu labāku kvalitāti un pasargātu tos no dabiskās vides ietekmes, piemēram, krasām temperatūras izmaiņām, vēja vai lietūs, kā arī veiktu kultūraugu pēcsezonas audzēšanu.

Siltumnīcās var iegūt lielāku produkcijas ražu, salīdzinot ar audzēšanu laukā.

Siltumnīcās ražotai produkcijai ir lielāks nepieciešamās enerģijas un ūdens patēriņš.

Enerģijas izmaksas siltumnīcās ir ievērojami lielākas nekā dārzkopības nozarē. Pēc darba izmaksām enerģijas izmaksas parasti ir lielākās pieskaitāmās izmaksas siltumnīcu kultūraugu ražošanā.

9.6. Eksperimentālā pārbaude un datu apstrāde SIA Rītausma, 2022.gadā

Informāciju sagatavoja: Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Ulbrokas zinātnes centrs sadarbībā ar LLKC

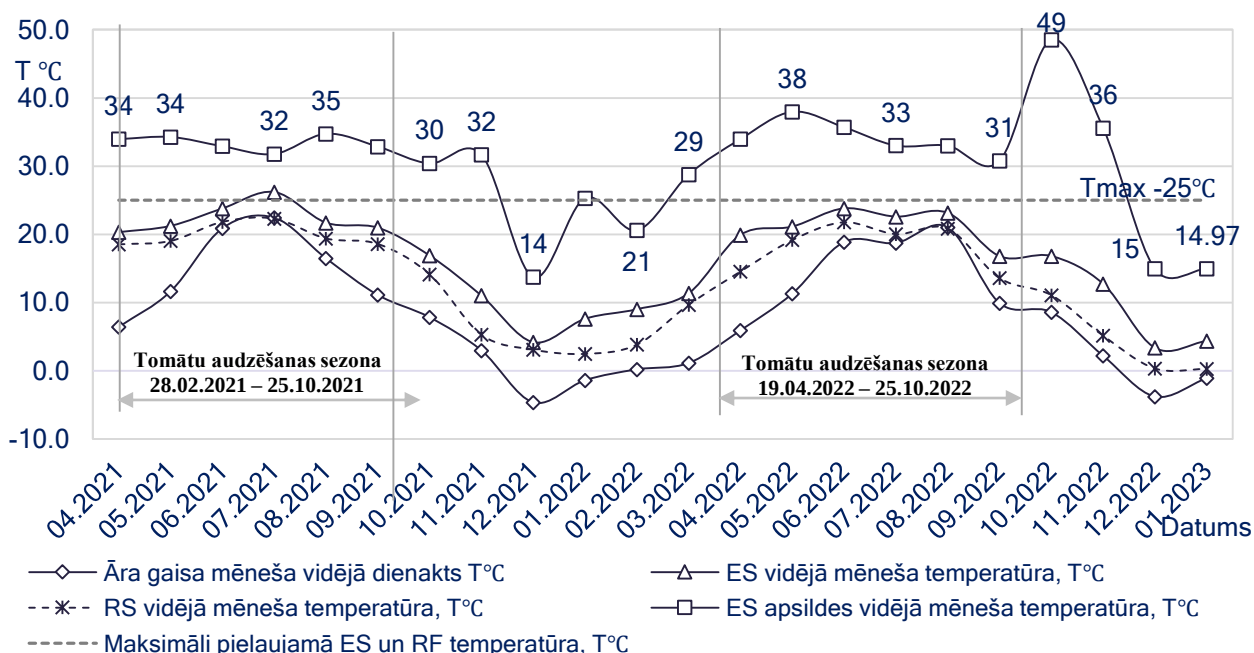
2022. gada sezonā tika turpināti eksperimentālās pārbaudes darbi. LBTU sadarbībā ar partneriem LLKC un SIA Rītausma veica eksperimentālās siltumnīcas SIA Rītausma gaisa temperatūras un mitruma datu analīzi un secinājumu izdarīšanu.

Tomātu audzēšanas sezona 2022. g. iesākās par 50 dienām vēlāk nekā 2021. g. Salīdzinot temperatūru secinām, ka 2021. g. straujāk kļuva siltāks aprīlī nekā 2022. g., bet āra gaisa temperatūras kāpums bija lēnāks, jūnijā tikai pietuvojoties 18,6°C atzīmei, bet 2021. g. sasniedzot jau 22°C atzīmi.

Eksperimentālā siltumnīcā SIA Rītausma 19.04.2022. tika iestādīti tomātu dēsti un uzsāktā monitoringa otrā daļa (audzēšanas sezona). Salīdzinot ar 2021. gada tomātu audzēšanas sezonu, tā tika uzsākta apmēram mēnesi vēlāk. Tas bija saistīts ar augstajām kurināmā (gāzes) izmaksām. No grafika redzams, ka 2022. gada sezonā eksperimentālā siltumnīcas apsilde un laistāmā ūdens sagatavošana tiek nodrošināta izmantojot solāro enerģiju.

Gaisa temperatūra 2021. g. sezonā no jūnija līdz augustam bija virs 20°C, bet 2022. g. tikai augusta mēnesī tā pacēlās virs 20°C. Eksperimentālajā siltumnīcā (ES) visu sezonu abos gados gaisa temperatūra bija augstāka nekā references siltumnīcās. Lielākā starpība bija vērojamas jau ārpus tomātu audzēšanas sezonas. ES apsildes temperatūra tomātu audzēšanas 2021. g. sezonā svārstījās 30°C robežās, oktobrī līdz 35°C, bet 2022. g. svārstības bija nedaudz mazākas 34°C – 38°C, 2022. g. ārpus tomātu audzēšanas sezonas sasniedzot pat 49°C.

Kā redzams 9.6.1. attēlā, vidējā gaisa temperatūra eksperimentālajā siltumnīcā ir augstāka nekā references siltumnīcā (RS) visu veģetācijas perioda laiku, lai arī starpība, piemēram aprīlī nav pārāk liela +21,1°C pret +19,2°C, tomēr šī starpība ir stabila visu laiku, lielāko uzrādot 1.jūlijā +20°C RS pret +22,6°C eksperimentālajā siltumnīcā (ES). Tas ir saistīts ar eksperimentālās siltumnīcas ierobežoto platību un mazāku siltuma inerci, ar ko pietiek, lai temperatūra turētos augstāka.

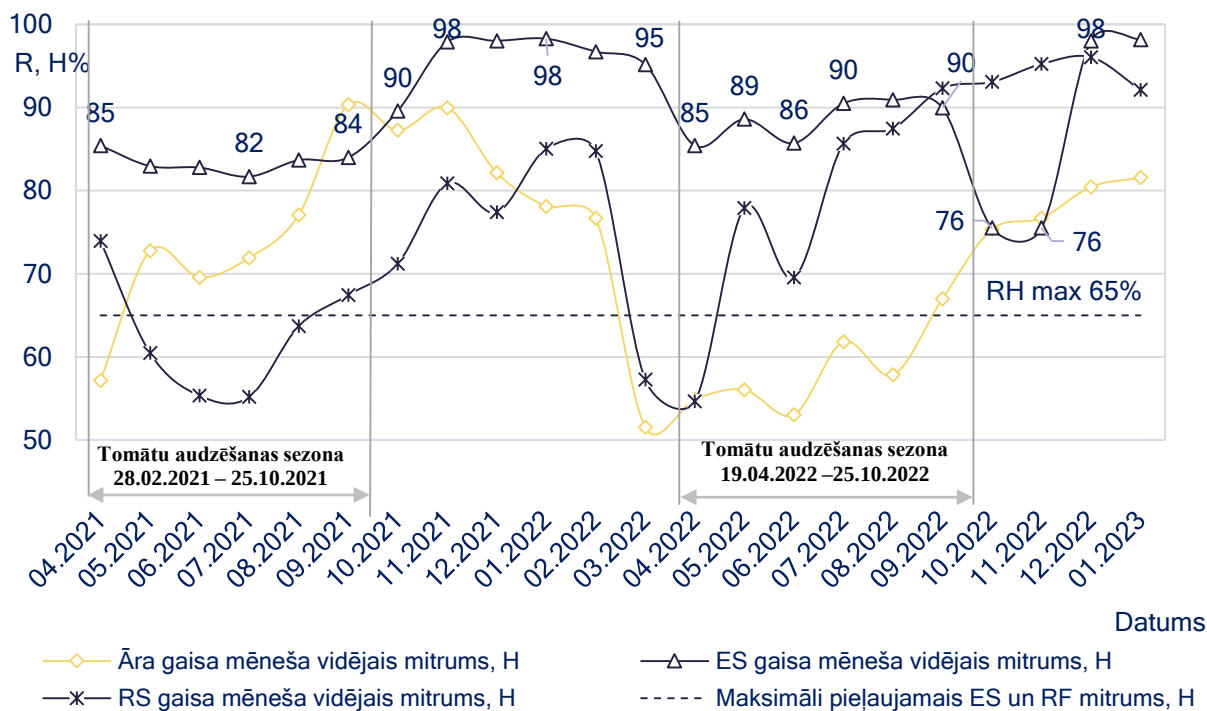


9.6.1. att. Āra gaisa, eksperimentālās siltumnīcas (ES), references siltumnīcas (RF) un no siltumsūkņa (SS) izejošā siltumnesēja mēneša vidējā diennakts T°C

Ja 2021.g. audzēšanas sezonā eksperimentālajā siltumnīcā gaisa temperatūra jūnijā pārsniedza +25°C, tad 2022.g. sezonā līdz augustam tas nenotika. Sliktāka situācija veidojas ar relatīvo gaisa mitrumu. Ja RS tas pieļaujamo robežu 65 % pārsniedz atsevišķos periodos, tad ES tas pastāvīgi ir lielāks par pieļaujamo. Salīdzinot 2021.g. un 2022.g. sezonas, lielākajā daļā 2022.g. mēnešu

relatīvais gaisa mitrums ir lielāks, pārsniedzot, pieļaujamo 80 %, lielāko starpību sasniedzot tieši jūlijā – 8 %. Relatīvajam gaisa mitrumam ES, nav tiešas saistības ar āra gaisu, kas ir redzams grafikā. Ilgstošs augstāks relatīvais gaisa mitrums ir nelabvēlīgs tomātu augšanai. Tas ietekmē tomātu transpirāciju, kā arī fotosintēzi.

Būtiskas ir ārējā mitruma svārstības gan sezonas griezumā, gan pa gadiem (att. 9.6.2.) 2021 g. mitrums paaugstinājās no 57% aprīlī, pirmo maksimumu sasniedzot maijā, tad seko kritums līdz 70% jūnijā, tālāk tikai pieaugot, maksimumu sasniedzot 90% septembrī, nedaudz samazinoties līdz oktobrim.



9.6.2. att. Āra gaisa, ES un RF mēneša vidējais diennakts gaisa mitrums

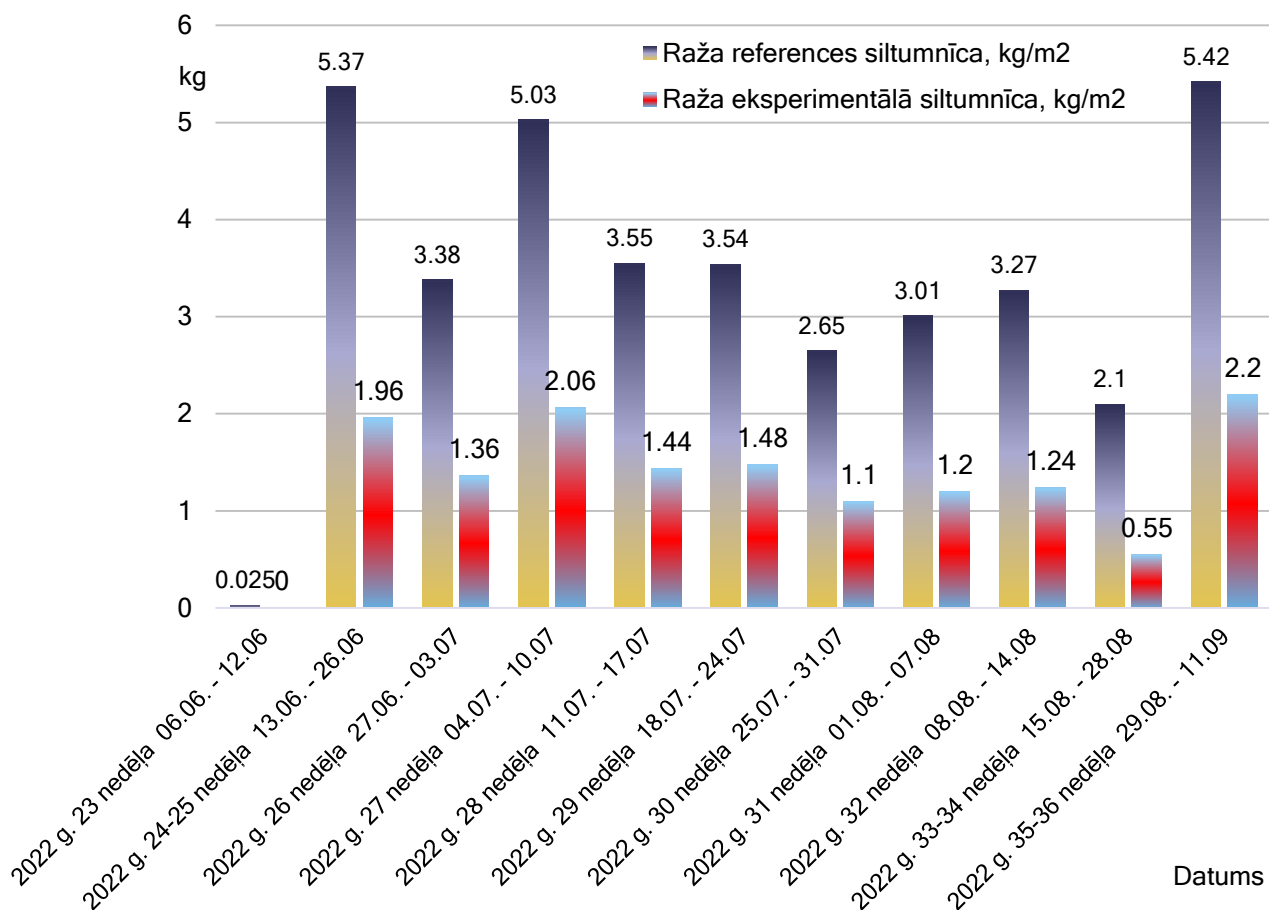
Savukārt 2022. gadā lielāko sezonas daļu mitrums (att. 9.6.2.) ir zem atbilstošajiem 65 %, tikai septembrī, pacēlās virs 65%, maksimumā sasniedzot tikai 75%. Atšķirīgas līknes RS vidējam mēneša mitrumam ir ne tikai katrā sezonā, bet arī vienas sezonas laikā.

2021. g. sezonā tajā gaisa mitrums, pakāpeniski jūlijā samazinājās līdz 55%, tad atkal pakāpeniski paaugstinoties, pretēji 2022. g. sezonas laikā mitrums (att. 9.6.2.) nevis samazinājās, bet pieauga. Pirmo maksimumu sasniedzot maijā 78%, tad ir kritums līdz 70 %, sezonas turpinājumā, tas turpina kāpt līdz 90 % sezonas noslēgumā. ES 2021. g. sezonā gaisa mitrums ir izlīdzināts 82–85 % robežās, visas sezonas garumā, bet 2022. g. sezonā mitrums svārstījās lielākās 85–93% robežās, kas arī pārsniedz tomātiem pieļaujamo gaisa mitrumu. Starp sezonām gaisa mitrums ES siltumnīcā, bija tuvu maksimumam 100%.

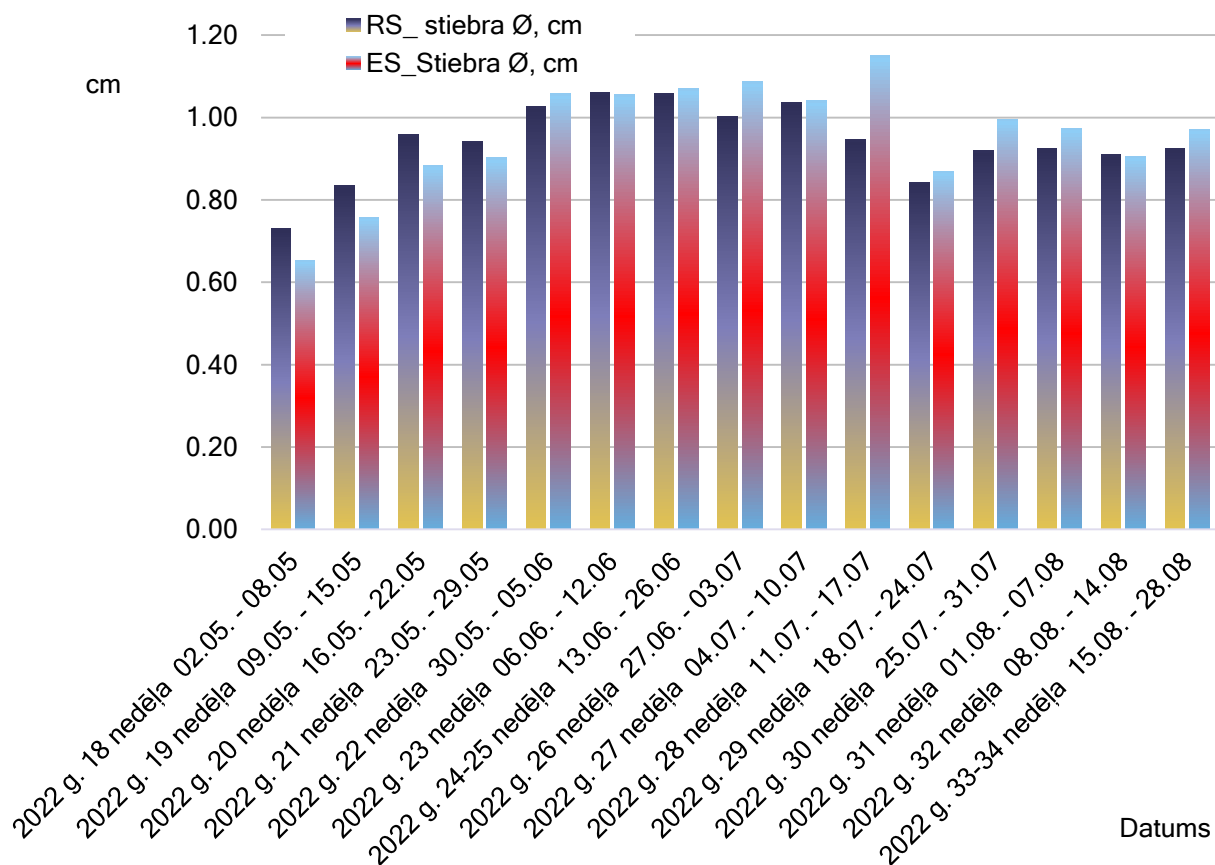
Salīdzinot tomātu ražas (9.6.3. att.), redzams, ka raža pa nedēļām visa audzēšanas perioda laikā būtiski atšķiras starp RS un ES. Lielākās starpības veidojās veģetācijas perioda sākumā 24.,25.nedēļā 3.41 kg mazāk ES nekā RS, un 35.,36. nedēļā 3.22 kg mazāk ES nekā RS. Viens no galvenajiem iemesliem ir paaugstinātais mitrums, kas ir nemainīgi augstāks par īslaicīgi pieļaujamo 80 % robežu. Temperatūras atšķirības nav tik lielas un to ietekme ir pakārtota. Lai izmantotās tehnoloģijas varētu ieviest lielākās platībās, gaisa mitruma pazemināšana ir viens no pamata pasākumiem. Skatoties tomātu augu augšanas dinamiku, mērot stublāja diametru cm (9.6.4. att.), redzams, ka starpība ir minimāla, vai sākot no 22. nedēļas tā ir vai nu līdzvērtīga ES vai lielāka nekā RS. Lielāko starpību sasniedzot 28. nedēļā 0.95 RS pret 1.15 ES. Tas norāda, ka augiem ir dominējusi veģetatīvā augšana, liedzot iegūt lielākas ražas (ģeneratīvā augšana).

Grafiks (9.6.5. att.) par lapu garumu norāda līdzīgu tendenci, lai arī starpība ir nebūtiska, tomēr 9 nedēļās lapu pieaugums ir bijis lielāks tieši ES, bet tikai 4 nedēļās RS, pārējās uzrādot praktiski identiskus rezultātus.

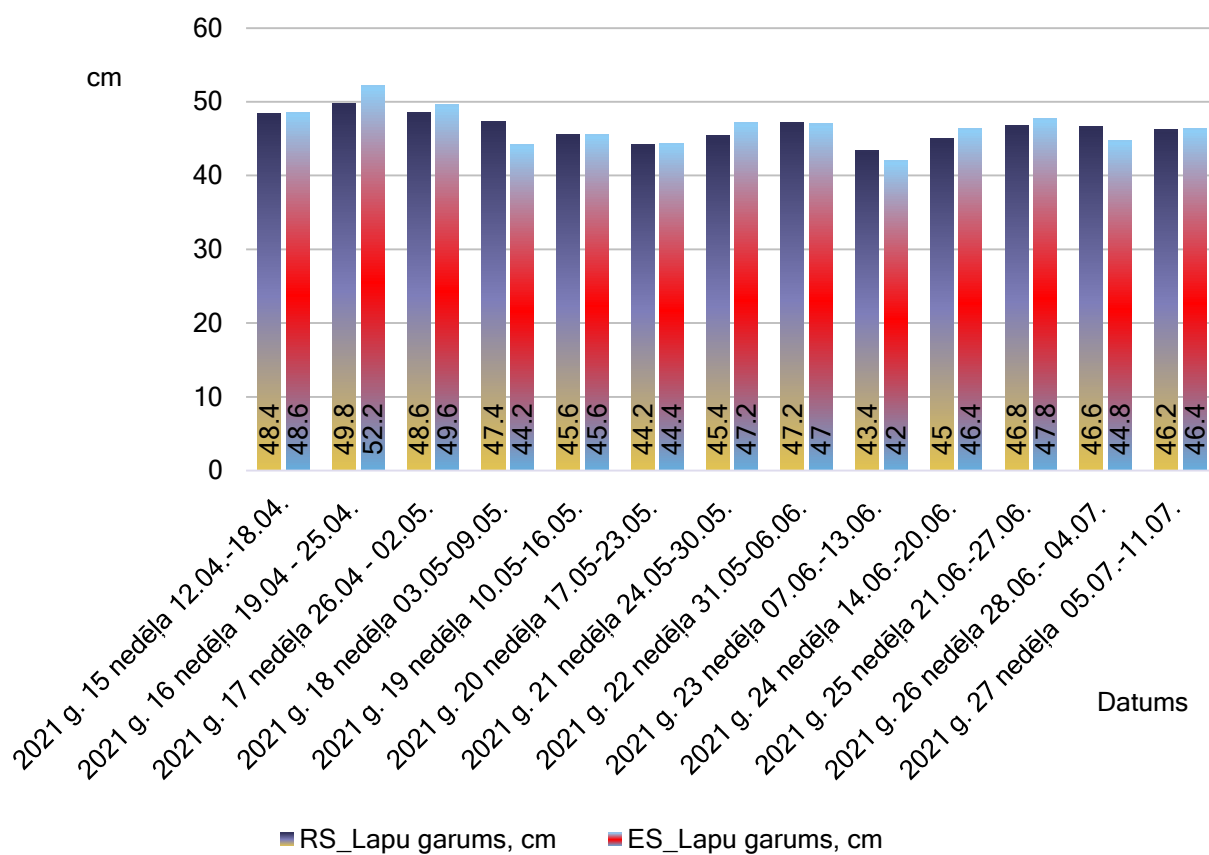
Produktīvo augļu veiktajos mērījumos, (9.6.6 att.) konstatējam ka 18 nedēļā produktīvie augļi ir bijuši būtiski vairāk ES 118 pret 102 RS. Pārējos trijās uzskaitēs starpība ir nebūtiska.



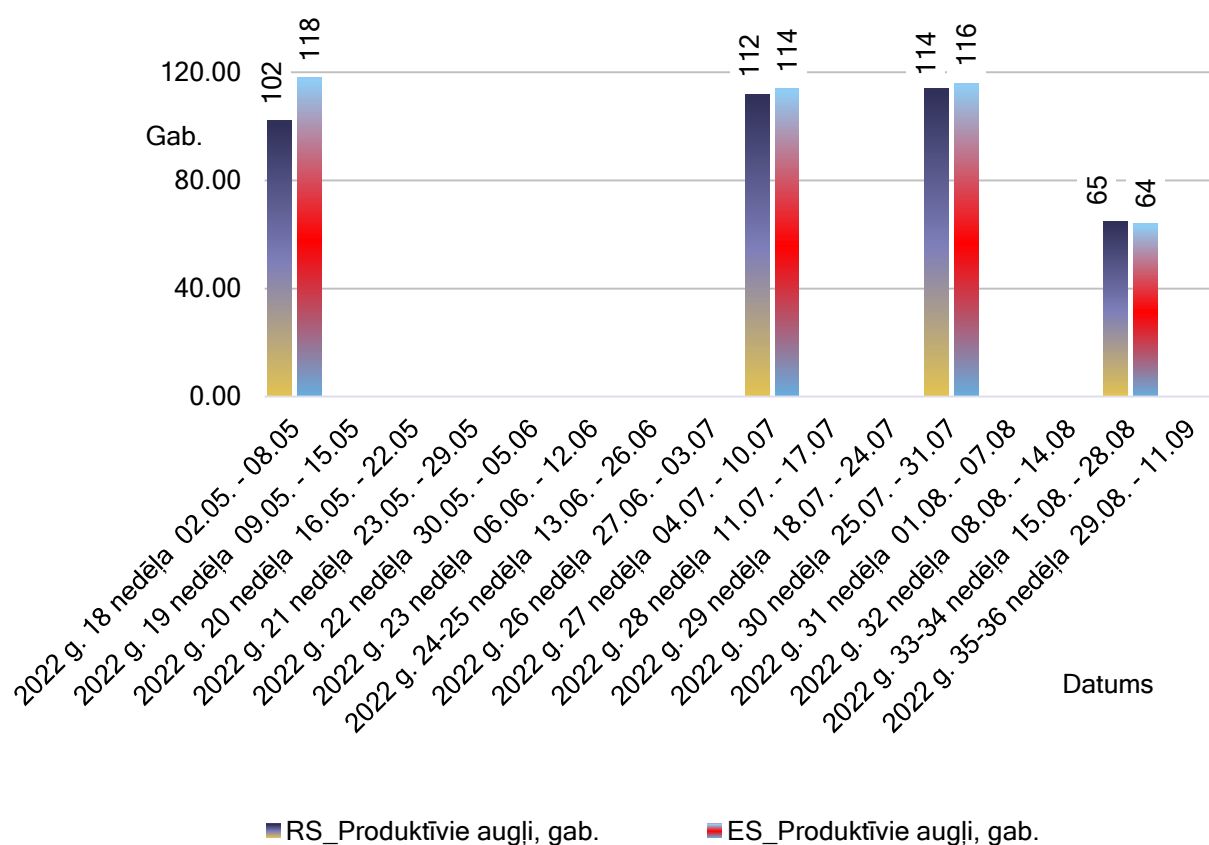
9.6.3. att. Augu veģetācijas diagnostika – tomātu ražas dinamika



9.6.4. att. Augu veģetācijas diagnostika – auga stiebra diametrs



9.6.5. att. Augu veģetācijas diagnostika – lapu garums



9.6.6.att. Augu veģetācijas diagnostika – produktīvie augļi

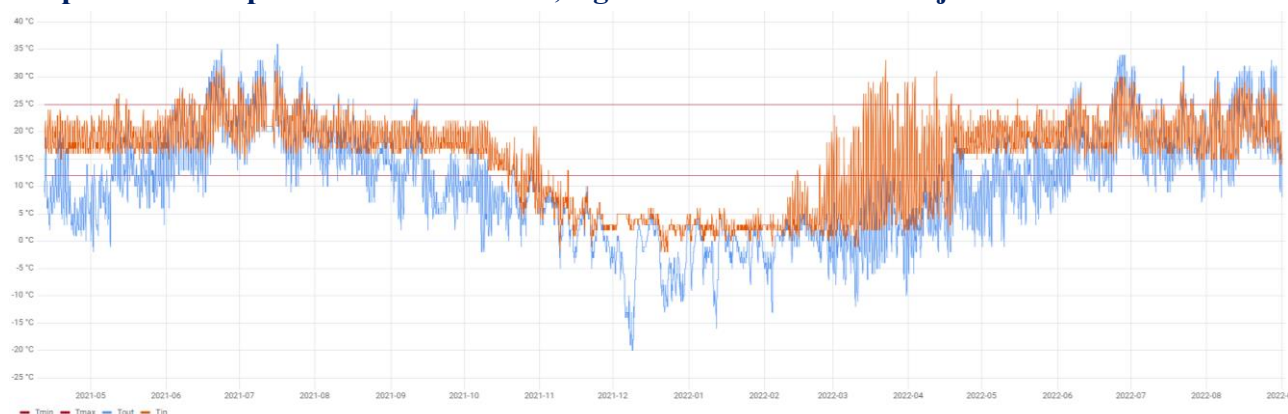
9.7. Datu vizualizācijas un analīzes rīks

Eksperimentālā pārbaudē tika izmantoti (sk. 9.3. nodaļu) SIA Rītausma rīcībā esošie temperatūras, mitruma un saules starojuma enerģijas mērīšanas sensori eksperimentālajā siltumnīcā un references siltumnīcā, kā arī āra gaisa temperatūras T_1 , T_2 , M_1 , $T_{āra}$, siltumnesēja temperatūras T_{SN} , mitruma M_1 , M_2 , $M_{āra}$ un saules starojuma intensitātes S_{int} sensori.

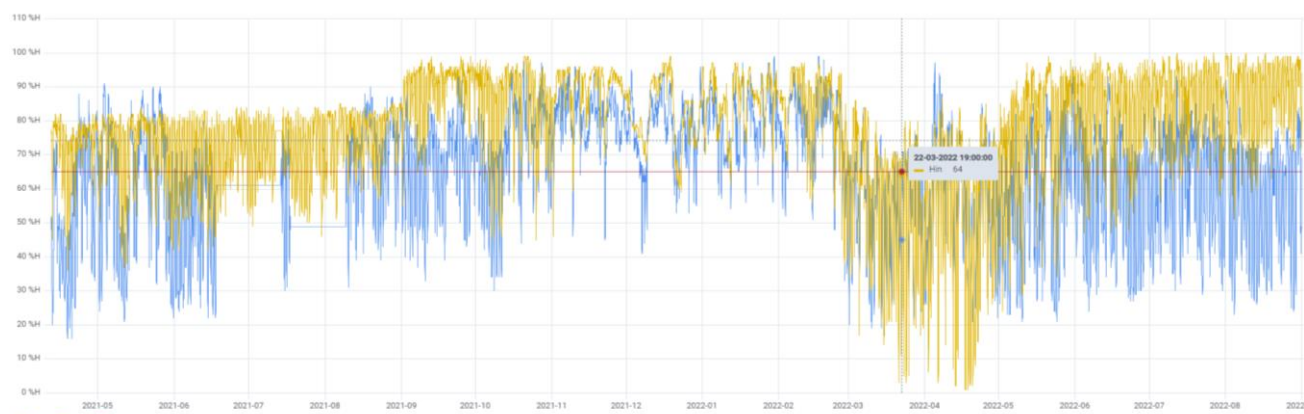
Eksperimentālās un references siltumnīcu temperatūras un citu parametru mērījumu, režīmu uzraudzības un kontroles sistēmas iegūto datu vizualizācijai un analīzei LBTU pielāgoja atvērtā koda vizualizācijas un analīzes programmatūru *Grafana*. Ar programmatūras rīku informācija tika vizualizēta, analizēti iegūtie dati un saņemti brīdinājumi par notikumu atkāpēm. Attēlos 9.7.1.–9.7.6. parādīts programmatūras rīks, kurš veica (01.09.2021–31.08.2022.) laika sērijas un datu bāzes datu transformēšanu grafikos un datu vizualizācijā.

Atkarībā no iepriekš definētām prasībām izveidotajam informācijas panelim ir vairāki iespējamie pielietojuma varianti, kas aprakstīti 5. un 6.pārskatā.

Eksperimentālās pārbaudes uzraudzība, iegūto rezultātu vizualizācija



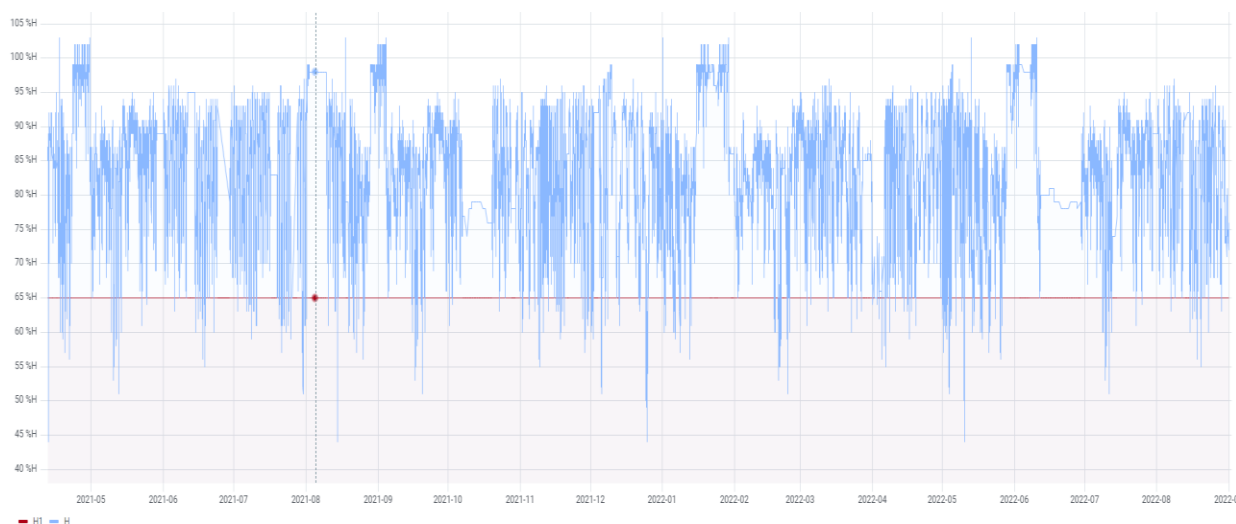
9.7.1. att. Āra gaisa un pamatsiltumnīcas (RS) temperatūra 12.04.2021 – 31.08.2022., Rītausma



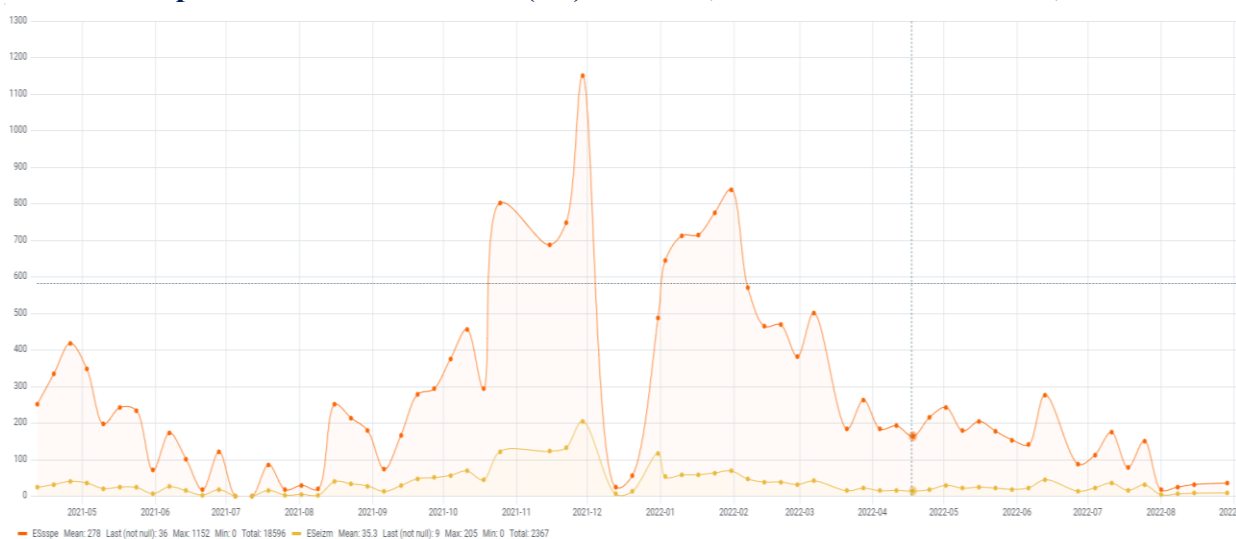
9.7.2. Āra gaisa un pamatsiltumnīcas (RS) mitrums, 12.04.2021 – 31.08.2022., Rītausma



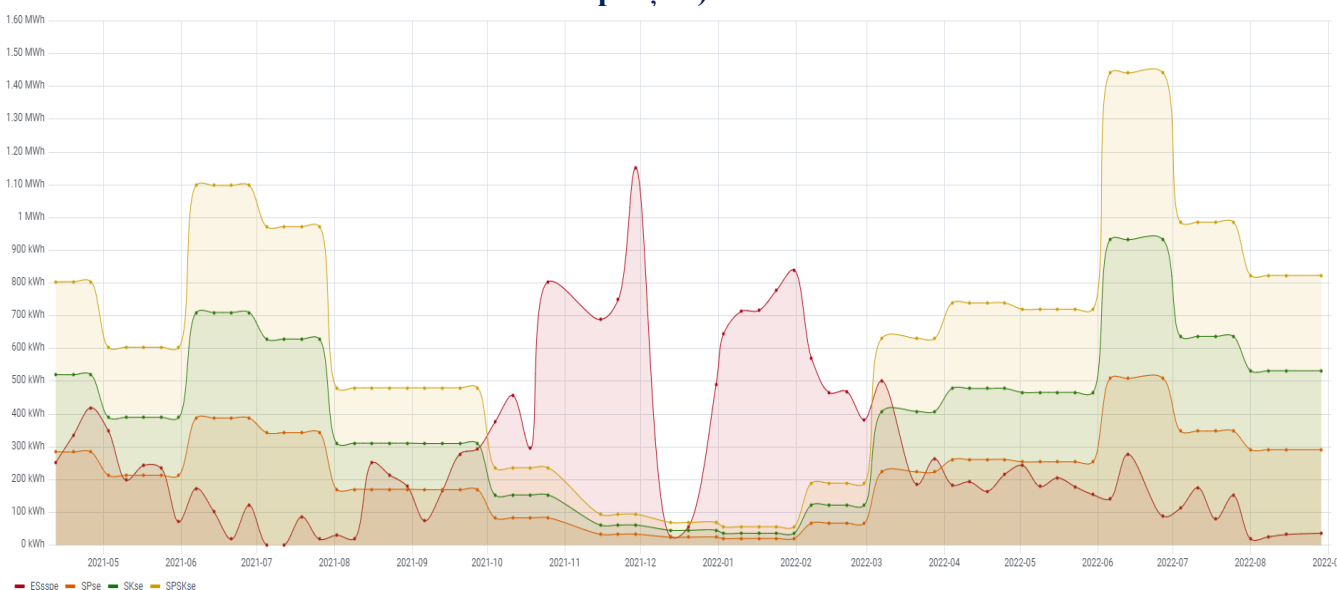
9.7.3. Eksperimentālās siltumnīcas (ES) un no siltumsūkņa izejošā temperatūra, 12.04.2021 – 31.08.2022., Rītausma



9.7.4. Eksperimentālās siltumnīcas (ES) mitrums, 12.04.2021 – 31.08.2022., Rītausma



9.7.5. att. Eksperimentālās siltumnīcas (ES) elektroenerģijas patēriņš (kWh) un izmaksu (EUR/kWh) nedēļas dati, meteorologi Rītausma 12.04.2021 – 31.08.2022., Rītausma (teorētiskie aprēķini)



9.7.6. att. Eksperimentālās siltumnīcas (ES) mēneša Saules paneļu (SPse), Saules kolektoru (SKse), kopējā (SPSKse) saražotā un patērētā (ESspe) enerģija, kWh, meteorologi Rītausma 12.04.2021 – 31.08.2022. (teorētiskie aprēķini)

10. NODAĻA. EKSPERIMENTĀLĀ PĀRBAUDE, DATU APSTRĀDE UN ANALĪZE Z.S. SKUDRIŅAS

Līdzšinējo pētījumu analīze (literatūras analīze)

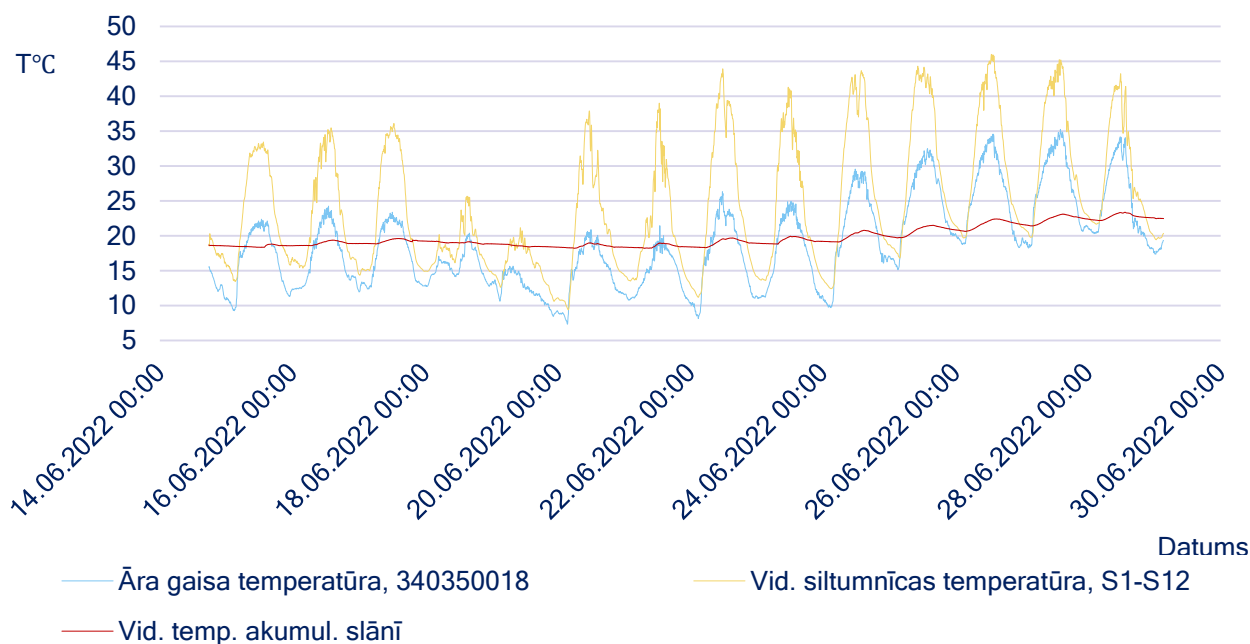
Izdevumi apkurei vai dzesēšanai siltumnīcās ir 30 – 60% no kopējām ražošanas izmaksām [1], līdzīgus datus norāda arī Latvijas lauku konsultāciju un izglītības centrs, tāpēc pētījumi par saules enerģijas izmantošanu optimāla temperatūras režīma nodrošināšanai siltumnīcās ir aktuāli. Pasaulē tiek pētīti dažādi varianti saules enerģijas izmantošanai siltumnīcās, daži pētījumi, izmantojot saules kolektoru un siltumsūkni veikti arī Latvijā [2], taču izstrādātais paņēmieni ir salīdzinoši dārgs un sarežģīts. Līdzšinējo pētījumu analīze parādīja, ka vienkāršs un ekonomisks paņēmieni ir saules siltuma akumulācija zem siltumnīcas izveidotā akumulācijas slānī (*angl.* thermal mass) [3], [4], siltajos periodos saules sasildīto gaisu no siltumnīcas ar ventilatoru ievadot akumulācijas slānī izveidotā cauruļu sistēmā, un uzsildot akumulācijas slāni, bet vēsajos periodos siltumu no akumulācijas slāņa atgūstot, tādējādi izveidojot saules enerģijas akumulācijas sistēmu. Līdzīgas darbības sistēmu aprakstos literatūrā sastopama arī cita terminoloģija: siltumnīcas apkures sistēma, izmantojot siltuma akumulatorus [5], saules apsildes dzesēšanas sistēma (SHCS) [6], aktīvā saules augšnes sildīšanas sistēma [7], siltumenerģijas uzkrāšana (TES) [8]. Vairāki autori [9], [10] norāda arī paņēmiena efektivitāti – atgūstot siltumu vēsajos periodos iespējams temperatūru siltumnīcā paaugstināt par 2 – 5°C. Daži autori [11], [12] norāda arī augu veģetācijas perioda pagarināšanu. Taču vairums pētījumu ir veikti valstīs ar daudz intensīvāku saules radiāciju. Latvijā ir samērā zema saules starojuma intensitāte – vidēji kopējā iegūstamā saules enerģija ir aptuveni 1100 kWh m² gadā, lielākā saules intensitāte ir Kurzemes piekrastē, Rīgas jūras līča piekrastes un Zemgales daļā [13].

10.1. Tomātu audzēšanas un siltuma akumulācijas slāņa uzkrātā siltuma monitorings

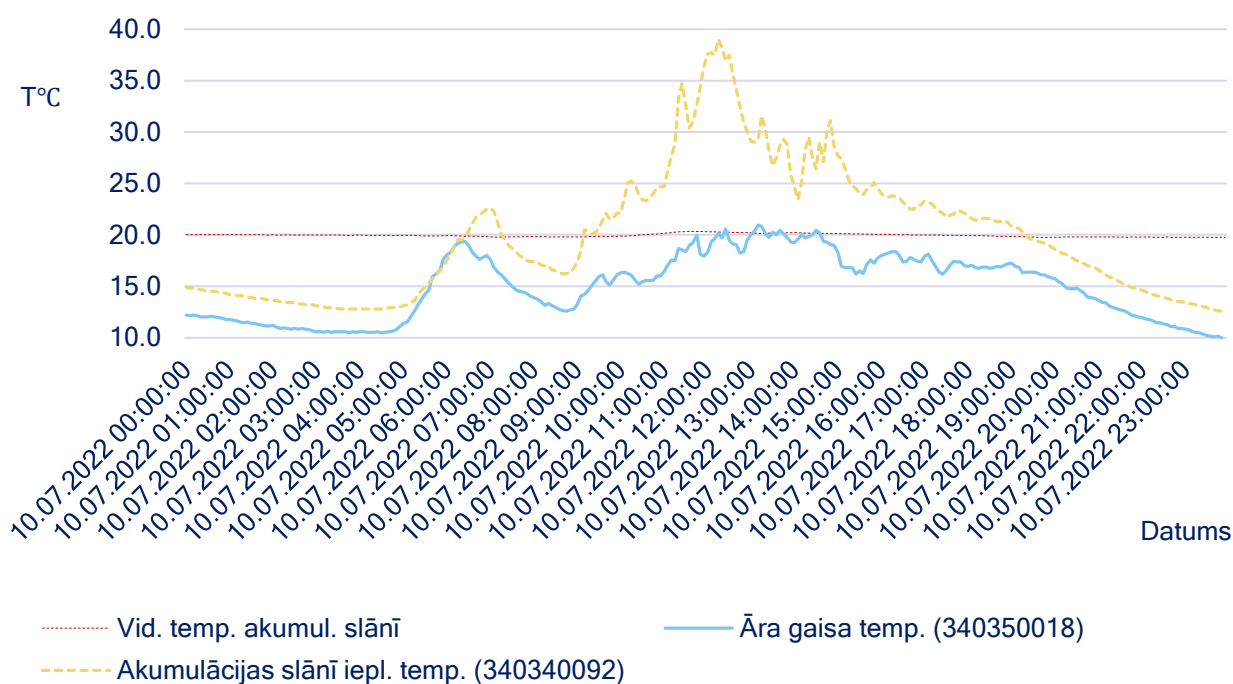
Eksperimentālajā siltumnīcā zs Skudriņas tika pabeigti tehnoloģiskā procesa risinājumu izstrāde un uzsākta tomātu audzēšanas un siltuma akumulācijas slāņa uzkrātā siltuma monitorings.

LBTU sadarbībā ar partneri LLKC veica siltumenerģijas akumulācijas paņēmiena efektivitātes pārbaudi Kuldīgas novada Alsungas pagasta zemnieku saimniecībā “Skudriņas” (57°00'49.1"N 21°34'59.8"E) izveidotajā eksperimentālā siltumnīcas 50 m² platībā ar zem tās izveidotajā akumulācijas slānī, kurā iebūvētas caurules siltā gaisa padevei un uzkrātā siltuma atgūšanai no tā. Siltumenerģijas akumulācijas parametru uzraudzībai, datu reģistrēšanai un uzglabāšanai tika izmantota izveidotā PostgreSQL sistēma. [14].

Analizējot situāciju (10.1. att.) par āra un siltumnīcas iekšējām temperatūrām, varam secināt, ka izņemot pašu jūnija mēneša sākumu un pašas mēneša beigas, gaisa temperatūra atbilda optimālai augu augšanai, bez akumulācijas slāņa temperatūras nodrošinājuma.

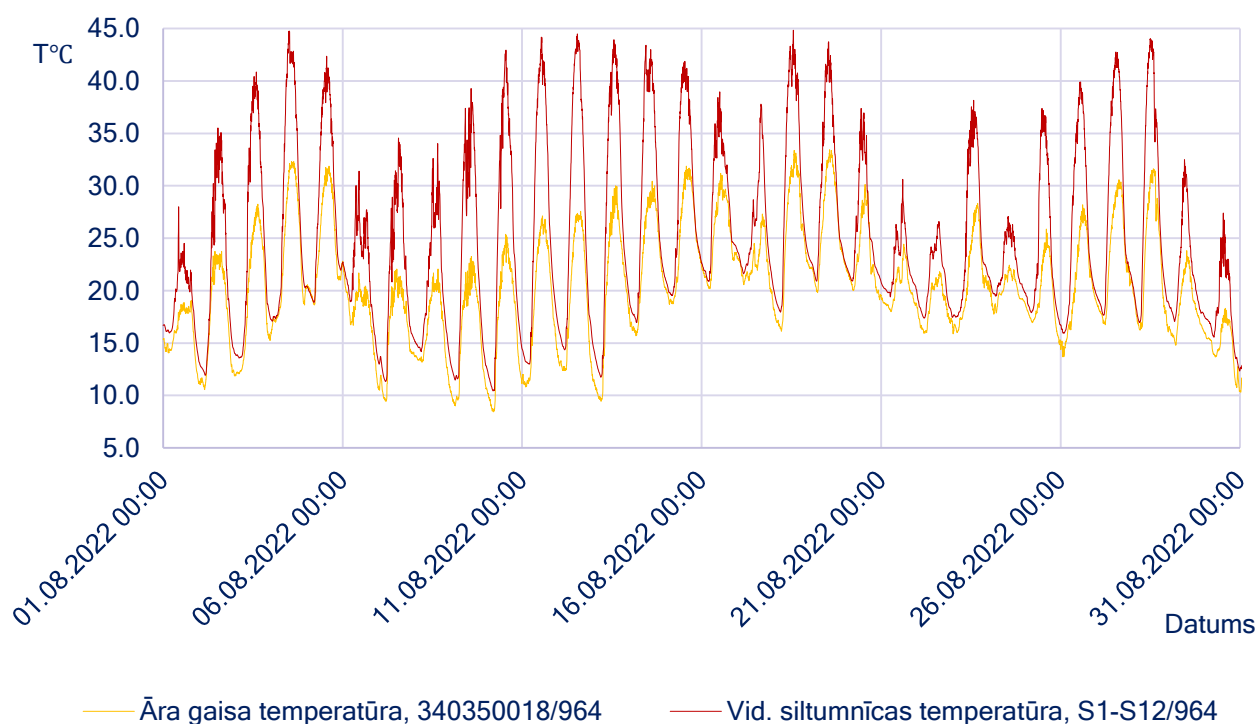


10.1. att. Āra un vidējā iekšējā gaisa temperatūra eksperimentālajā siltumnīcā 06.2022, zs Skudriņas, T°C



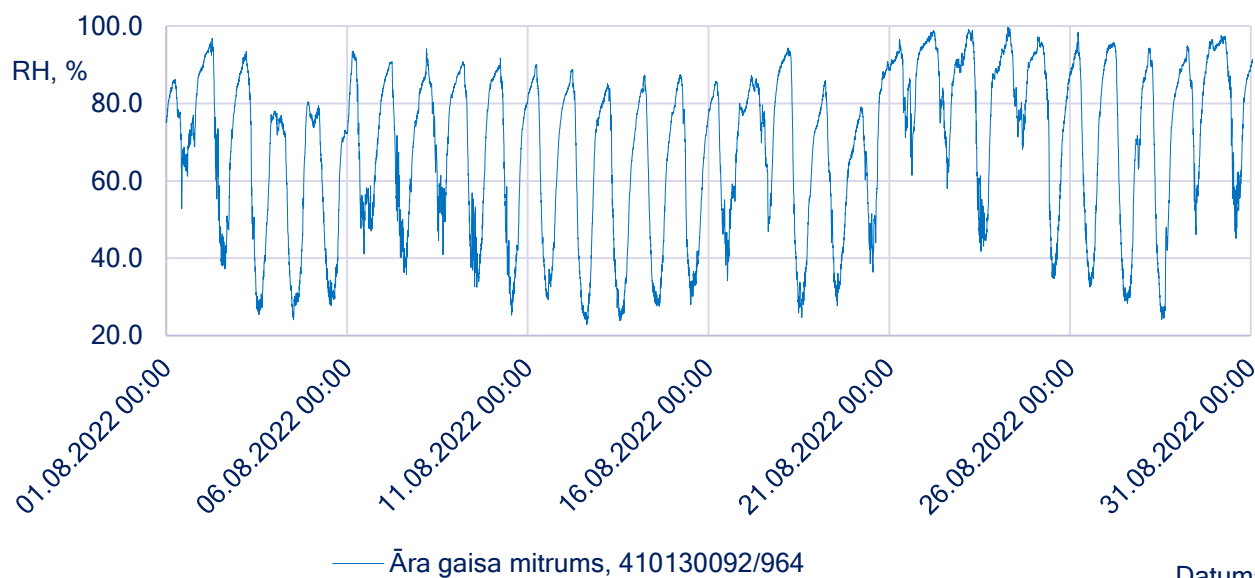
10.1. att. **Temperatūras mērījumi eksperimentālajā siltumnīcā 10.07.2022, zs Skudriņas, T°C**

Diennakts laikā, (10.1. att.), ka tomātiem siltumnīcā, temperatūra nenokrīt zemāk par minimāli pieļaujamiem +13°C. Laika posmā no 10.40 līdz 16.15 gaisa temperatūra pārsniedz augiem pieļaujamo optimālo augšējo robežu +25°C. Pārējā laikā, tiek nodrošināti minimāli nepieciešamie augšanas apstākļi. Akumulācijas slānī, temperatūra diennakts laikā ir praktiski nemainīga, tā nodrošinot optimālu temperatūru, tomātu sakņu zonā. Tas parāda, ka akumulācijas slānim ir liela nozīme tomātu augšanas režīmu stabilizācijā.



10.2. att. **Āra un vidējā iekšējā gaisa temperatūra eksperimentālajā siltumnīcā, 08.2022 zs Skudriņas, T°C**

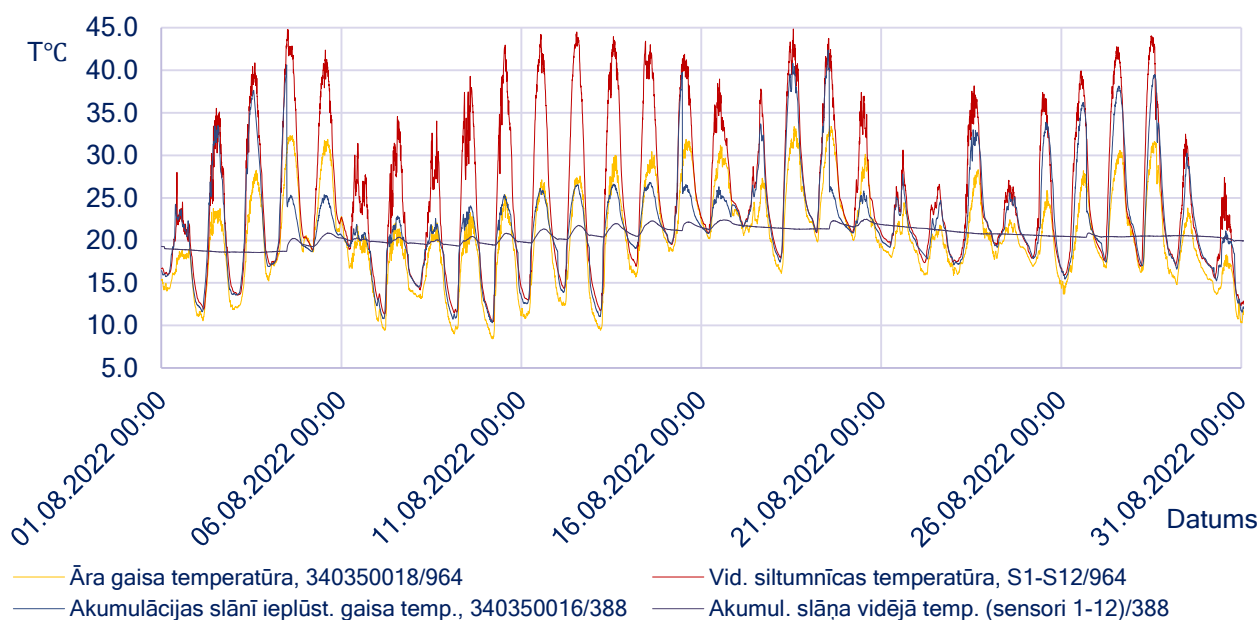
Iekšējā gaisa temperatūra bija tālu pāri optimālajai un bija tikai 2 dienas +27°C robežās, pārējās pārsniedzot kritiskos +30°C. Īpaši kritisks periods augiem bija no 09.08.–21.08. (10.2 att.), kad iekšējā gaisa temperatūra pārsniedza +40°C un vairāk grādus.



10.3. att. Āra gaisa mitrums eksperimentālajā siltumnīcā, 08.2022 zs Skudriņas, RH, %

Pēc grafika (10.3. att.) redzams, ka eksperimentālajā siltumnīcā ir bijis grūti nodrošināt optimālo mitrumu. Rīta, vakara un nakts stundās gaisa mitrums siltumnīcā regulāri pārsniedza optimāli pieļaujamos 80 %, savukārt dienas laikā gaisa mitrums pazeminājās zem 60 %. Tas nozīmē, ka šajos posmos nelabvēlīgi tika ietekmēta tomātu augšana un attīstība. Augstais gaisa mitrums rada riskus slimību attīstībai, savukārt pazeminātais mitrums, rada spēcīgu stresu augiem.

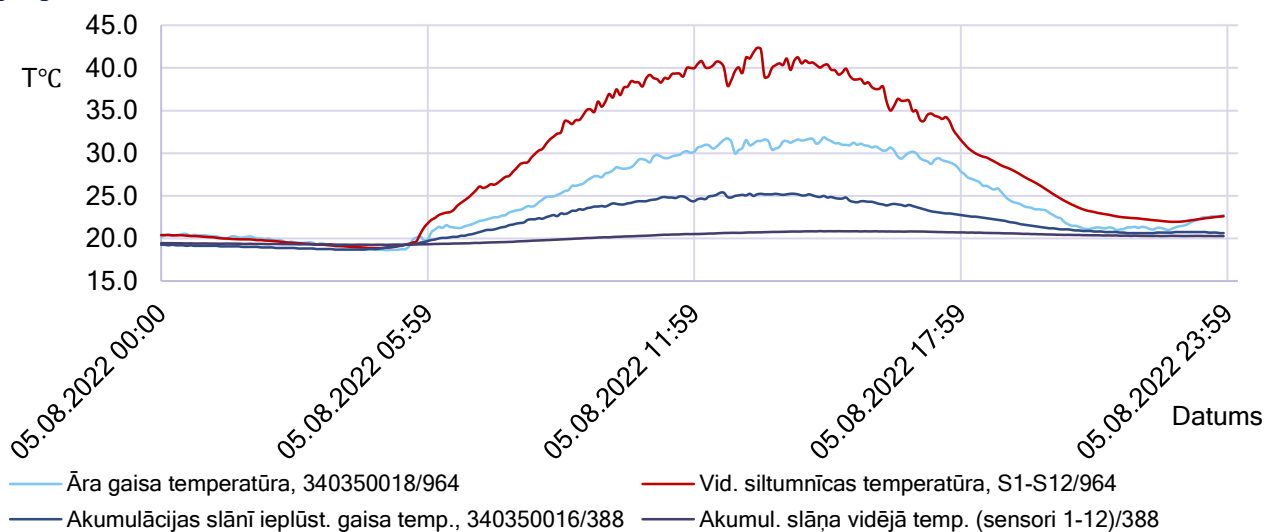
Apstākļos, kad āra apstākļi jau atbilst optimālai augu augšanai, siltumnīcā akumulācijas slānis viens pats nespēj nodrošināt gaisa temperatūras pazemināšanu līdz optimālajai gaisa temperatūrai, nepieciešama paralēli arī vēdināšana. Kas attiecas uz gaisa mitrumu, tad aina bija diametrāli pretēja, augsts gaisa mitrums bija vērojams tieši nakts stundās, kas bija par augstu optimālajai tomātu augšanai, savukārt dienas laikā tas pazeminājās līdz kritiskajiem (10.3. att.) 40% un mazāk.



10.4. att. att. Temperatūra eksperimentālajā siltumnīcā 08.2022 zs Skudriņas, T°C

Kā redzam 10.4. grafiskajā attēlā, neskatoties uz ekstrēmi augstajām gaisa temperatūrām gaisā, akumulācijas slānī temperatūras noturējās +20—+22°C, kas ļoti labvēlīgi ietekmē augu sakņu sistēmu, tikai pirmajā augusta nedēļā tā ir nedaudz zemāka par optimālo. Neskatoties uz ļoti augstajām ieplūstošā gaisa temperatūrām, akumulācijas slānis uzrādīja ļoti pozitīvu ietekmi, stabilizējot slāņa temperatūru, kas parāda labu slāņa potenciālu stabilizēt augšanas parametrus augiem siltumnīcā.

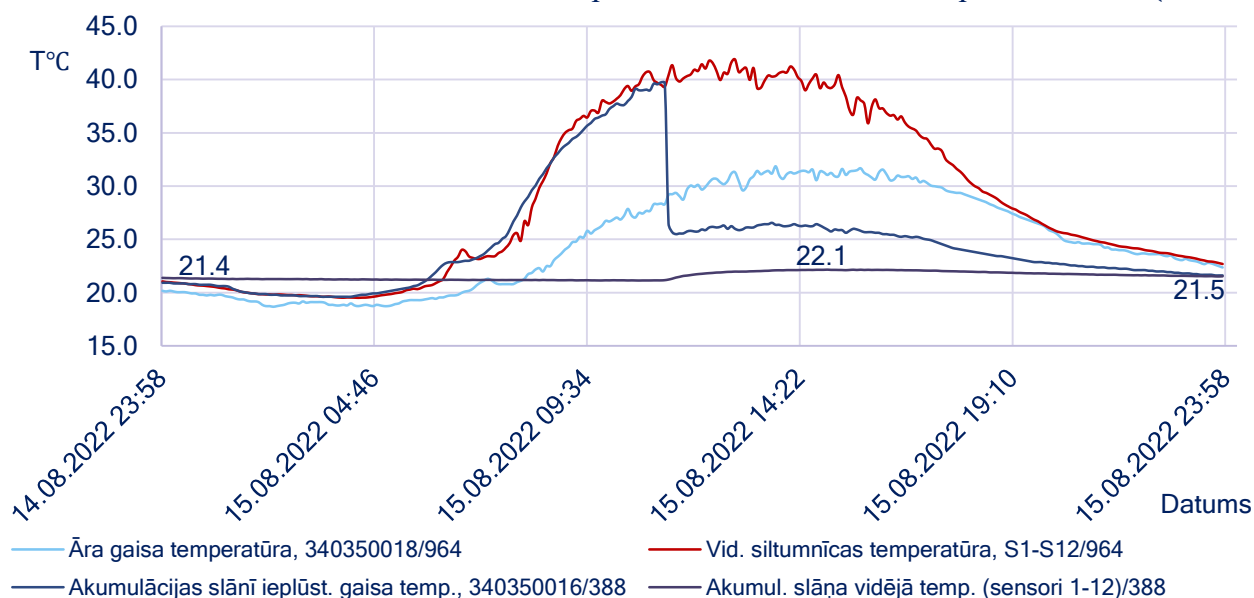
Kas attiecas uz temperatūras režīmiem diennakts griezumā, tad iegūstam sekojošu ainu. Laika posmā no pusnakts līdz 6.00, kā āra, tā siltumnīcas, tā akumulācijas slāņa temperatūras ir ļoti līdzīgas (10.5.att.), atšķirības ir nenoīmīgas. Diennakts laikā akumulācijas slānis temperatūru maina tikai +2–+3°C. robežās. Temperatūras starpības starp āra un iekšējo gaisu vislielākās ir starp 12.00 –16.00 pēcpusdienā.



10.5. att. Temperatūra eksperimentālajā siltumnīcā 05.08.2022 zs Skudriņas, T°C

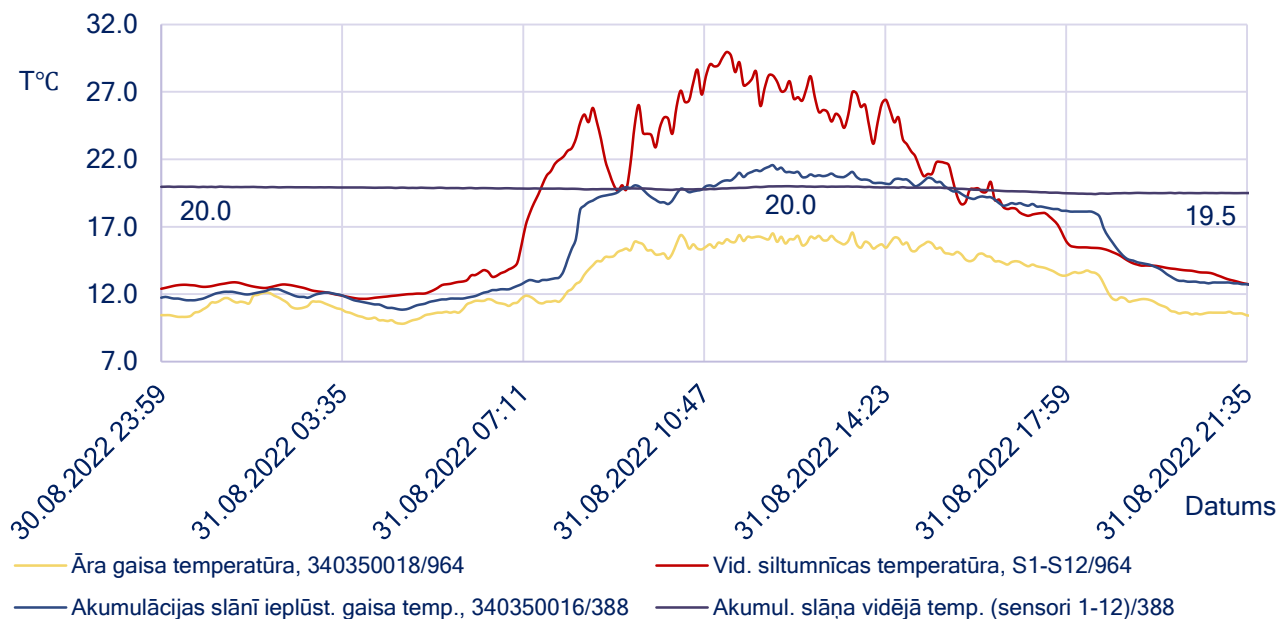
Līdzīgi kā iepriekš, ļoti izlīdzināta ir akumulācijas slāņa temperatūra, pat pēc straujas akumulācijas slānī ieplūstošā gaisa temperatūras paaugstināšanās ap 7.40, kas turpinās, līdz 11.20, sasniedzot īslaicīgi pat +40°C. Āra un siltumnīcas iekšējā gaisa temperatūra veido līdzīgu kāpumu kā 05.08., veidojot līdzīgas temperatūru līknes.

Augu sekmīgai augšanai ir ļoti svarīgi, lai augiem būtu izlīdzināta temperatūra sakņu zonā. Akumulācijas slānis to lieliski nodrošina. Gaisa temperatūras būtiskai ietekmei ir nepieciešama, efektīva siltumnīcas vēdināšana. Interessants ir piemērs ar diennakts datiem par 14.–15.08. (10.6.att.)



10.6. att. Temperatūra eksperimentālajā siltumnīcā 15.08.2022 zs Skudriņas, T°C

Daudz interesantāki procesi norisinās mēneša beigās, kad nakts gaisa temperatūra strauji nokrīt par 8°C mazāka. (10.7.att.) Tāda tā ir laika posmā no pusnakts līdz 7.00 no rīta. Āra gaisa temperatūra pēc tam pakāpeniski pieaug tikai līdz +16°C, pakāpeniski samazinoties līdz +12°C ap 19.00 vakarā. Skaidri parādās siltumnīcas priekšrocības, jo gaisa temperatūra siltumnīcā pieaug virs +20°C no 7.40 līdz 16.35. Akumulācijas slānī ieplūstošais gaiss gan tikai nedaudz pārsniedz +20°C. Izteikti parādās akumulācijas slāņa priekšrocības, kas nodrošina stabilu substrāta temperatūru, kas tik ļoti ir nepieciešama tieši vēsajos pavasara un rudens mēnešos.



10.7. att. att. Temperatūra eksperimentālajā siltumnīcā 31.08.2022 zs Skudriņas, T°C

Grafikā (10.7. att.) redzam, ka neskatoties uz salīdzinoši vēso dienu (31.08.2022.), augstākā temperatūra tikai ap +17°C, siltummasas temperatūra, joprojām mēneša beigās ir stabila un tāda pati kā 50 dienas atpakaļ. Mazajās siltumnīcās, jau parasti augusta beigās, sākas problēmas ar siltuma nodrošinājumu, tad šajā gadījumā tomātu sakņu zonā, joprojām ir stabila temperatūra. Savukārt siltumnīcas gaisa temperatūras līkne, kopē jūlijā nolasītos datus. Zemākā pieļaujamā ap +12°C ir nakts garumā un laika posmā no 22.30 līdz pusnaktij. Augšanas apstākļiem atbilstoša tā ir laikā no 07.30–9.45 un 15.30–22.30. Savukārt par karstu tomātiem ir bijis 10.30–15.30. Joprojām termālā masa, spēlē būtisku lomu, stabilai temperatūrai tomātu sakņu zonā, kas nodrošina normālu sakņu funkcionēšanu.

10.1. Gaisa temperatūru un mitruma monitorings zs Skudriņas eksperimentālajā siltumnīcā

Eksperimentālās pārbaudes laikā tika veikti eksperimentālās siltumnīcas akumulācijas slānī ieplūstošam/no akumulācijas slāņa izplūstošam gaisam temperatūras, mitruma un gaisa plūsmas ātruma mērījumi.

Monitorējot gaisa temperatūru un mitrumu zs Skudriņas eksperimentālajā siltumnīcā, fiksēts, ka akumulācijas slānī ieplūstošā gaisa temperatūra ir 18.7°C, gaisa plūsmas ātrums ir 4.1 ms⁻¹, bet no akumulācijas slāņa izplūstošā gaisa temperatūra ir 17.7°C, kur pie attiecīgās siltumnīcas gaisa temperatūras vidējais $\Delta T^{\circ}\text{C}$ ir 1°C. Savukārt mitrums praktiski ir nemainīgs RH 64% robežās.

10.2. Enerģijas balance

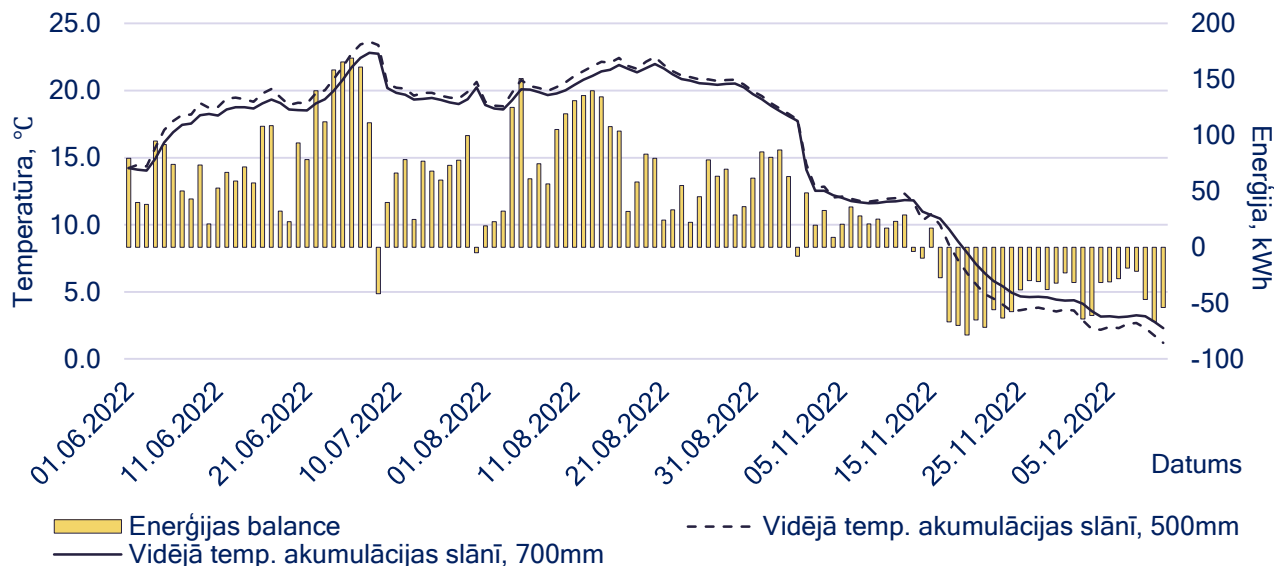
Enerģijas balance ir starpība starp diennakts laikā akumulācijas slānī uzkrāto un patērēto siltuma enerģijas daudzumu. Enerģijas bilanci visam eksperimentu periodam aprēķina, summējot diennaktī uzkrāto vai patērēto siltuma enerģijas daudzumu visā perioda garumā. Diennaktī uzkrātais enerģijas daudzums Q aprēķināms pēc formulas [20]:

$$Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1) / 3600, \text{ kWh}$$

kur: c – akumulācijas slāņa īpatnējā siltumietilpība, J/kg °C ($c = 840$);
 m – akumulācijas slāņa masa, kg ($m = 90\,000$);
 t_2 – temperatūra dienas beigās, °K
 t_1 – temperatūra dienas sākumā, °K

Aprēķinātā siltuma enerģijas balance eksperimentu periodā bija 4697 kWh. Uzkrātās siltuma enerģijas balance parāda šīs tehnoloģijas jēgu – siltumu iespējams uzkrāt akumulācijas slānī pakāpeniskai atgriešanai atpakaļ siltumnīcā rudens vēsajos mēnešos. Ventilatora patērētā elektroenerģija periodā bija 72 kWh.

Redzams, (10.8. att.) ka vasaras mēnešos temperatūra akumulācijas slānī 500 mm dziļumā ir augstāka nekā 700 mm, bet, sākot no septembra, līdz novembra vidum ir praktiski vienāda. Savukārt, sākot no 20. novembra, augšējais akumulācijas slānis atdziest ātrāk nekā dziļākais un beidzas siltumenerģijas uzkrāšana. Taču temperatūra akumulācijas slānī un siltumnīcā ir pozitīva, kas dod labu iespēju tādā siltumnīcā sekmīgi vākt patēriņam dažādas aukstumizturīgās zaļumu kultūras, tādejādi pagarinot siltumnīcas izmantošanas laiku aptuveni par 20 dienām. Veģetācijas perioda pagarināšanas iespējas siltumnīcā ar akumulācijas slāni konstatē arī citi autori [11], [12].



10.8. att. **Temperatūra režīmi un enerģijas balance eksperimentālajā siltumnīcā**

Grafikā (10.8. att.) redzam, ka temperatūras starpības starp siltummasu 500mm un 700 mm dziļumā atšķirās nebūtiski, bet sākot no septembra līdz novembra vidum ir praktiski vienādas.

Siltummasas temperatūras ir ļoti izlīdzinātas praktiski trīs mēnešu garumā, tikai ar septembri tā ir par 3.5°C zemāka nekā saktņējā. Taču joprojām nodrošina normālu 17.0°C temperatūru sakņu zonā. Vēl oktobra mēnesī, tā ir 14.2°C, kas ļauj tomātiem normāli nobriest. Siltummasas slānis saglabā pozitīvu temperatūru līdz pat decembra beigām. No siltum masas izplūstošā temperatūra ir praktiski vienāda jūlija mēnesī, par 1.3°C augstāka augusta mēnesī, visos pārējos tā ir zemāka, sākot no 1.4°C jūlija mēnesī, lielāko starpību 3.9°C sasniedzot septembrī. Līdz ar siltummasas atdzišanu, interesanti, ka sarūk starpība starp siltummasas temperatūru un izplūstošā gaisa temperatūru, kas vismazākā ir decembrī 1.2°C. Vislielāko pozitīvo lomu siltummasa nosaka tieši rudenī, jo sākot no septembra, kad siltumnīcas gaisa temperatūra ir zemāka, kā akumulācijas slānī, šī sakarība paliek spēkā, līdz pat ziemas sākšanās periodam, starpība stabili turas 3–3.5°C, par labu siltummasai.

Savukārt sākot no 20. novembra augšējais 500 mm siltummasas slānis atdziest vairāk nekā dziļākais 700 mm, kas ir loģisks iznākums, vienlaicīgi beidzas siltumenerģijas uzkrāšanās siltummasā, taču siltummasā temperatūra nenoslīd līdz nullei, kas dod labu iespēju, tādā siltumnīcā, sekmīgi vākt patēriņam dažādas aukstumizturīgās zaļumu kultūras. Uzkrātā enerģija kWh, parāda šīs tehnoloģijas jēgu, kad siltumu izdodas uzkrāt siltummasā, pakāpeniskai atgriešanai atpakaļ siltumnīcā rudens vēsajos mēnešos.

Secinājumi

1. Akumulācijas slānī uzkrātā enerģija stabilizē temperatūru augu sakņu zonā, vasaras mēnešos daļēji neitralizējot kraso temperatūras svārstību siltumnīcā negatīvo ietekmi uz tomātu attīstību.
2. Vasaras mēnešos āra gaisa temperatūrai pārsniedzot 25°C, pieļaujamās temperatūras uzturēšanai siltumnīcā nepieciešamas nodrošināt papildu ventilāciju.
3. Akumulācijas slānī uzkrātā enerģija 2022. gada konkrētajos apstākļos ļāva pagarināt veģetācijas periodu rudenī par aptuveni 20 dienām.
4. Eksperimentu periodā 01.06. – 05.12.2022. akumulācijas slānī uzkrātās / patērētās siltuma enerģijas balance bija 4697 kWh, ventilators šajā laikā patērēja 72 kWh elektroenerģijas.

Izmantotā literatūra

1. A. Martzopoulou, D. Vafiadis, V.P. Fragos. Energy gain in passive solar greenhouses due to CO₂ enrichment. *Energies* 2020, 13(5), 1242; <https://doi.org/10.3390/en13051242>
2. A. Auce, A. Rucins, A. Jermuss, I. A. Horns, U. Grinbergs. Use of heating pump to reduce carbon footprint of greenhouse heating. 21st International scientific conference "Engineering for rural development": proceedings, Jelgava, Latvia, May 25–27, 2022. Latvia University of Life Sciences and Technologies. Faculty of Engineering Jelgava, 2022. Vol.21, 307.–312.lpp.
3. V.P. Sethi, S.K. Sharma. Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. *Solar Energy*, Volume 82, Issue 9, September 2008, Pages 832–859.
4. Climate battery an improved greenhouse climate solution. Supervised by Dr. Brian Maicke. ME 449, team 18.
5. M. Savytskyi, V. Danishevskyy, M. Bordun. Accumulation of solar energy to heat greenhouses. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 985, 15th International Scientific and Technical Conference "Problems of the railway transport mechanics" (PRTM 2020) 27–29 May 2020, Dnipro, Ukraine DOI 10.1088/1757-899X/985/1/012013
6. A. Bazgaou et al., An experimental study on the effect of a rock-bed heating system on the microclimate and the crop development under canarian greenhouse, *Materials Today: Proceedings* 24 (2020) 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.10.101>
7. Yu, T.; Wang, D.; Zhao, X.; Liu, J.; Kim, M.K. Experimental and Numerical Study of an Active Solar Heating System with Soil Heat Storage for Greenhouses in Cold Climate Zones. *Buildings* 2022, 12, 405. <https://doi.org/10.3390/buildings12040405>
8. H.Ö.Paksoy, B.Beyhan. Thermal energy storage (TES) systems for greenhouse technology. Book: *Advances in Thermal Energy Storage Systems. Methods and Applications*. Woodhead Publishing Series in Energy, 2015, Pages 533–548.
9. A. Bazgaou et al. Performance assessment of combining rock-bed thermal energy storage and water filled passive solar sleeves for heating Canarian greenhouse. *Solar Energy* 198 (2020) 8–24. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.01.041>
10. B.K Huang, M.N Ozisik, M. Toksoy. Development of greenhouse solar drying for farm crops and processed products [1981]. In *Agris since 2013*, Volume 12, Issue 1 pp. 47–52.
11. Van Ooteghem R.J.C. Optimal control design for a solar greenhouse. Wageningen University, Ph. D. thesis, 2007, pp 5–6. ISBN 90–8504–569–x
12. Morteza Taki, Abbas Rohani, Mostafa Rahmati-Joneidabad. Solar thermal simulation and applications in greenhouse. *Information processing in agriculture* 5 (2018) pp 83–113. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.10.003>
13. Inovatīvas tehnoloģijas siltuma un aukstuma ieguvei un jaunu produktu ražošanai, izmantojot vietējos atjaunojamās energoresursus, Metodiskais materiāls, Rīga, 2015.
14. Auce A., Ivanovs S., Jermuss A., Grinbergs U., Rucins A. Study of the distribution of air temperature in a greenhouse heated by air to air heat pump. "Environment. Technology. Resources". Proceedings of the 13 th International Scientific and Practical Conference. Rezekne, Latvia, vol. 1, 2021, pp. 17 – 22.
15. L. Gourdo, H. Fatnassi, R. Tiskatine et.al. Solar energy storing rock-bed to heat an agricultural greenhouse. *Energy* 169 (2019) 206e212. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.036>
16. Osama Asa'd. Investigation of the energetic performance of an attached solar greenhouse through monitoring and simulation. December 2019, *Energy for Sustainable Development* 53(5):15–29
17. Andrew Collins. How To Build A Solar Greenhouse, Tuesday, 10th May 2011
<https://www.permaculture.co.uk/articles/how-build-solar-greenhouse>
18. John W. Bartok, Jr. Geothermal Heat for Greenhouses. *Agricultural Engineer Natural Resources Mgt. & Engr. Dept. University of Connecticut, Storrs CT* 2008.
<https://ag.umass.edu/greenhouse-floriculture/fact-sheets/geothermal-heat-for-greenhouses>

11. NODAĻA. PRIEKŠLIKUMI IZSTRĀDE AGRĀRĀS POLITIKAS VEIDOTĀJIEM SAISTĪBĀ AR ATJAUNOJAMO ENERGORESURSU IZMANTOŠANU.

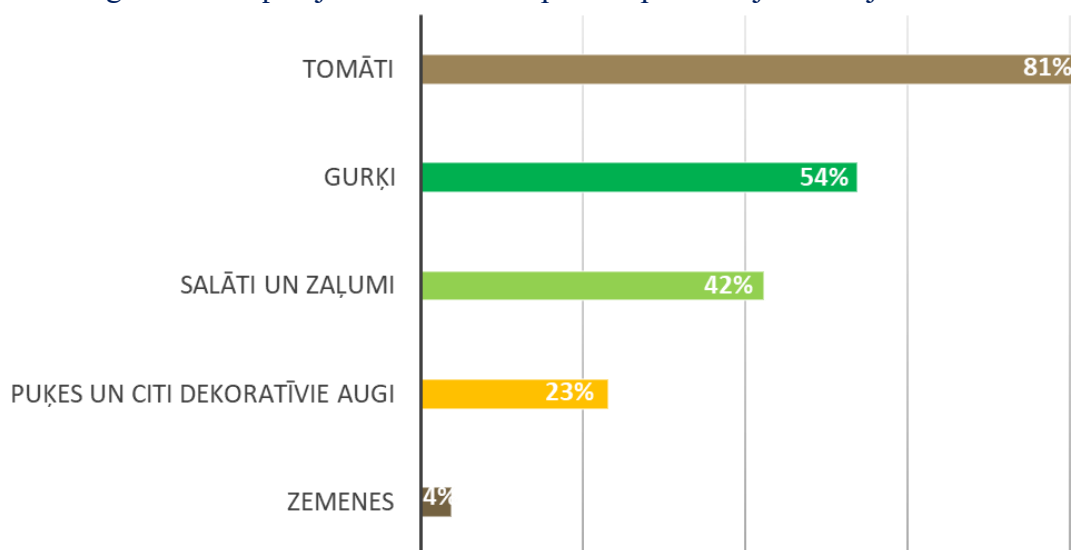
Informāciju sagatavoja: biedrība “Zemnieku saeima”

2022.gadā biedrība “Zemnieku saeima” sadarbībā ar projekta “Efektīvu siltuma ieguves un apgādes risinājumu izpēte segtajās platībās” partneriem veica lauksaimnieku – siltumnīcu operatoru aptauju, kā arī apkopoja informāciju no dažādiem informācijas avotiem, lai izvērtētu atbalsta nepieciešamību un iespējamās izaicinājumus atbalstam energoapgādes risinājumu pilnveidošanai siltumnīcās.

Aptaujas anketa izstrādāta elektroniski aizpildāmā formātā, to sagatavojis Latvijas Lauku konsultāciju un izglītības centrs (turpmāk – LLKC) sadarbībā ar biedrību “Zemnieku saeima” (turpmāk – ZSA). Aptauja izplatīta mērķa grupai, to izsūtot ZSA un LLKC datu bāzēs esošajiem siltumnīcu operatoriem. Papildus tam lūgums anketu izplatīt tālāk saviem biedriem nosūtīts citām lauksaimnieku organizācijām, kā arī informācija par anketu ievietota sociālo tīklu profesionāļu grupās. Rezultātā iegūtas 32 derīgas (korekti aizpildītas) anketas.

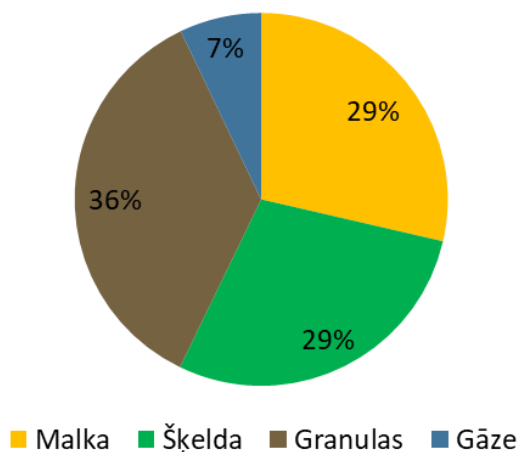
Respondenti pēc siltumnīcu platības (līdz 100 m², līdz 1000 m² vai plašākas) dalāmi aptuveni līdzīgās daļās. Mazliet vairāk nekā trešdaļa respondentu (35%) atzīmējuši, ka viņu siltumnīcu platība ir līdz 100 m² liela, nedaudz mazāk respondentu (31%) saimniecībās ir līdz 1000 m² plašas siltumnīcas, bet vēl 34% norādījuši, ka apsaimnieko plašākas siltumnīcas. Tāpat, anketējot tika apzināts, kāds segums tiek izmantots respondentu siltumnīcām. Vairāk nekā puse aptaujāto (54%) siltumnīcām izmanto polikarbonāta segumu, 31% – plēves segumu, bet stikla segums ir mazāk populārs (15%).

Populārākā ražotā produkcija ir tomāti – tos kā pamata siltumnīcās saražoto produkciju atzīmējuši vairāk nekā 80% aptaujāto. Vēl vairāk nekā puse respondentu norādījuši, ka pamatā siltumnīcās audzē gurķus (54%). Salātus un zaļumus pamatā audzē 42%, bet ziedus un citus dekoratīvos augus – 23% aptaujāto. Zemenes kā pamata produkciju norādījuši vien 3% respondentu.



11.1. att. Respondentu siltumnīcās pamata saražotā produkcija (vairāku atbilžu jautājums, atbilžu summa > 100%)

Viens no aptaujas galvenajiem uzdevumiem bija izprast energoapgādes izaicinājumus, iespējamās uzlabojumus, kā arī nepieciešamo atbalstu uzlabojumu veikšanai siltumnīcās, kuras tiek apsildītas. Tādēļ galvenā jautājumu grupa tika uzdots siltumnīcu operatoriem, kuri tās apkurina. Mazliet vairāk nekā puses respondentu (54%) siltumnīcas ir apkurināmas. Populārākais siltumnīcu apkures veids ir granulas (36%), kam vienlīdz populāri seko šķelda un malka (katrs 29%). Mazāk tiek izmantota gāze (7% respondentu).



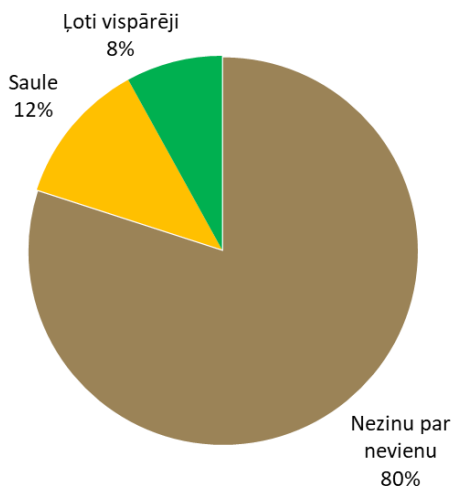
11.2. att. **Apkurināmā veids respondentu apsaimniekotajās siltumnīcās**

Aptaujā noskaidrots, kādas ir ar apkurināmajām siltumnīcām saistītās problēmsituācijas, ko piedzīvojuši lauksaimnieki. Biežāk minētās atbildes:

- apkurināmo siltumnīcu apsaimniekošana ir ļoti darbietilpīga;
- iespējams kurināmā trūkums;
- iegādāts sliktas kvalitātes kurināmais;
- nepietiekama apkures katla jauda;
- nav iespējams nodrošināt augiem nepieciešamos apstākļus;
- neapmierinoša saistošā nozares politika.

Vairāk nekā puse aptaujāto (54%) norādījuši, ka neplāno modernizēt esošās apkurināmās siltumnīcas vai ierīkot apkuri neapkurināmajās siltumnīcās. Tomēr no tiem respondentiem, kas plāno modernizēt siltumnīcas vai ierīkot tajās apkuri, vairāk nekā trešdaļa (38%) norādījuši, ka plāno siltumnīcas apkurināt ar granulām, nedaudz mazāk – 34% – plāno tās apkurināt ar malku. Dabas gāzi plāno izmantot aptuveni piektdaļa respondentu (22%), savukārt rekuperācija ir mazāk populāra – to atzīmējuši tikai 6% aptaujāto. Jāatceras, ka aptauja tika veikta 2022.gada sākumā, kad vēl nebija pilnībā zināma situācija un izaicinājumi, ko radīs Krievijas izraisītais karš Ukrainā. Kā zināms, pēdējā gada laikā ir ļoti saasinājusies situācija ar energoresursu, īpaši dabasgāzes, nodrošinājumu un ekonomiskajiem aspektiem, kas iespējams šodienas situācijā rosinātu respondentus sniegt citas atbildes.

Tā kā projekta ietvaros tiek pētīti arī pasīvie siltuma iegūšanas veidi siltumnīcām, atsevišķa jautājumu grupa tika vērsta uz respondentu zināšanām par minētajiem siltuma avotiem un vēlmi tos ieviest savās saimniecībās. Absolūti lielākajai daļai – 81% respondentu nav zināšanu par pasīviem siltuma iegūšanas veidiem. 12% aptaujāto ir zināšanas par saules enerģijas iegūšanu apkurei, bet 8% aptaujāto ir tikai vispārējas zināšanas par šo tēmu.



11.3. att. **Respondentu atbildes uz jautājumu “Par kādiem pasīviem siltuma ieguves veidiem Jūs zināt?”**

Ja respondentiem būtu pieejams papildu atbalsts siltumnīcām, tas tiktu izmantots šādos veidos:

- siltumnīcas apkures sistēmas automatizācijai/modernizācijai;
- siltumnīcu un to segumu atjaunošanai;
- investīcijas tehnoloģijās, kas palīdzētu samazināt izmaksas;
- saules bateriju uzstādīšanai;
- jaunu, lielāku siltumnīcu ierīkošanai;
- automātiskas laistīšanas un mēslošanas ierīkošanai;
- apsildes ierīkošanai;
- ekonomisku, lielāku siltumnīcu izbūvei.

Balstoties uz aptaujas rezultātiem, izstrādāti arī priekšlikumi, ierosinājumi saistībā ar siltumnīcu attīstību.

Rekomendācijas lauksaimnieku zināšanu un informācijas pieejamības uzlabošanai:

1. Nepieciešams sagatavot informāciju par siltumnīcu tehnoloģijām un risinājumiem lauksaimniekiem viegli uztveramā valodā un veidā, kā arī minēto informāciju izplatīt pa lauksaimniekiem viegli atrodamiem kanāliem.
2. Nodrošināt papildu informāciju par to, kā atgūt enerģiju dažādu mērogu un tehnoloģisko risinājumu siltumnīcās, pēc iespējas efektīvāk izmantojot rekuperācijas sistēmas.
3. Nepieciešams izplatīt plašāku informāciju par mūsdienīgām siltumnīcu laistīšanas, apgaismošanas un ēnošanas iekārtām, kas būtu piemērotas dažāda izmēra siltumnīcām.
4. Nepieciešams veikt papildu pētījumus par efektīvu siltumnīcu izvērtējumu mūsu reģionā, iegūstot informāciju par to, kāda sezona siltumnīcām ir izdevīga atkarībā no audzējamām kultūrām, mēroga un energoapgādes veida.
5. Rekomendāciju grupa par nepieciešamo finanšu atbalstu siltumnīcu operatoriem:
6. Modernizācijas programmā būtiski piešķirt papildu atbalstu siltumnīcu būvniecībai un aprīkošanai ar precīzām, efektīvām, mūsdienīgām tehnoloģijām.
7. Nepieciešams atbalsts apkurināmās siltumnīcās CO₂ novadīšanas iekārtām: no katlu mājas līdz augiem.
8. Nosakot atbalsta likmi vienam kvadrātmetrām investīciju atbalsta piešķiršanai siltumnīcām, elastīgi jāvērtē dažādi siltumnīcu aprīkojuma varianti un jāņem vērā faktiskā situācija, nevis atsevišķi standartizēti projekti.
9. Jāizveido atsevišķa atbalsta aploksne tieši siltumnīcām.
10. Īpaši jāatbalsta papildu finansējuma piešķiršana jaunu modernu un augsti efektīvu ziemas siltumnīcu kompleksu būvniecībai ar augu gaismošanas sistēmām un iespējām izveidot elektroenerģijas/siltumenerģijas ražošanas avotus pašpatēriņam, kas darbotos no atjaunojamiem energoresursiem vai atkritumu reģenerācijas (gazifikācijas) rezultātā iegūtās enerģijas.

12. NODAĻA. PROJEKTA INFORMĀCIJAS UN PUBLICITĀTES PASĀKUMI

Projekta publicitāte

Projekta ietvaros tika rīkoti semināri, lauku dienas mērķauditorijai. Paredzēts, ka projekta noslēguma atskaite tiks publicēta elektroniskā bukleta veidā, kā metodiskais materiāls segto platību apsaimniekotājiem, kā arī izvietota LLKC un sadarbības partneru mājās lapās.

Sadarbības partneris SIA "Latvijas Lauku un Izglītības centrs" ir Latvijas EIP tīkla kontaktpersona, kas nodrošina projekta publicitāti EIP tīklā.

Publikācijas EIP tīklā



1. Efektīvu siltuma ieguves un apgādes risinājumu izpēte segtajās platībās
(Saite: [Informācija par projekta realizāciju 27/06/2019](#))
2. Norisinās efektīvu siltuma ieguves un apgādes risinājumu izpēte segtajās platībās
(Saite: [Informācija par projekta realizāciju 14/05/2020](#))
3. Turpinās efektīvu siltuma ieguves un apgādes risinājumu izpēte segtajās platībās
(Saite: [Informācija par projektu realizāciju 03/11/2021](#))
4. Pētījums: Kā akumulācijas sistēmas segtajās platībās ietekmē augu augšanu
(Saite: [Informācija par projektu realizāciju, seminārs 10/02/2023](#))

Semināri



1. Seminārs "Efektīvu siltuma ieguves un apgādes risinājumu izpēte segtajās platībās"
(Informācija par projektu realizāciju, seminārs 25/02/2020)
2. Seminārs "Efektīvu siltuma ieguves un apgādes risinājumu izpēte segtajās platībās"
(Informācija par projektu realizāciju, seminārs 17/11/2020)
3. Seminārs "Siltumenerģijas ieguve segtajās platībās"
(Informācija par projektu realizāciju, seminārs 28/02/2022)
4. Seminārs "Siltumenerģijas ieguve un izmantošana segtajās platībās"
(Informācija par projektu realizāciju, seminārs 14/03/2023)
5. Seminārs "Siltumenerģijas ieguve un izmantošana segtajās platībās"
(Informācija par projektu realizāciju, seminārs 08/06/2023)
6. Projekta noslēguma seminārs (vebinārs) "Energoeфекtīvas tehnoloģijas ar integrētu siltuma sūkni (gaiss-ūdens), saules kolektoriem un saules paneļiem izstrāde"
7. (Informācija par projektu rezultātiem, seminārs 27/06/2023)

Zinātniskās publikācijas

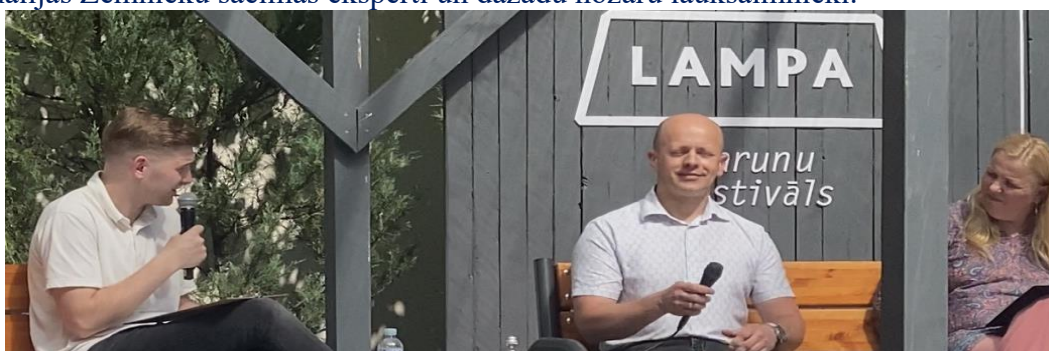
1. Ivars Auce, Agris Auce, Indulis Horns, Aivars Jeremuss, Semjons Ivanovs, Mareks Drozdovs, Ādolfs Ruciņš // **Study of heat pump use in tomato drying process using excess heat from greenhouses** / Latvijas Universitātes 78. starptautiskā konference. Ķīmijas sekcija: tēžu krājums, Rīga, Latvija, 6. marts, 2020 / Latvijas Universitāte. Rīga, 2020. 11.lpp., ISBN 9789934185113.
2. Agris Auce, Semjons Ivanovs, Aivars Jermuss, Ugis Grinbergs, Ādolfs Rucins // **Study of the distribution of air temperature in a greenhouse heated by air to air heat pump** / Vide. Tehnoloģija Resursi : XIII starptautiskās zinātniski praktiskās konferences materiāli, Rēzekne, Latvija, 17.–18.jūnijs, 2021/ Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija. Inženieru fakultāte 1. sēj., 17.–22.lpp.
3. Agris Auce, Ādolfs Rucins, Aivars Jermuss, Indulis Arnis Horns, Ugis Grinbergs. **Use of heating pump to reduce carbon footprint of greenhouse heating**. University of Latvia, Latvia; Latvia University of Life Sciences and Technologies, Latvia; Institute of Mathematics and Computer Science, University of Latvia, Latvia
4. Ādolfs Rucins, Dainis Viesturs, Maris Narvils, Semjons Ivanovs, Agris Auce. **Use of accumulated solar thermal energy in greenhouse for extending vegetation period of crop plants**. Latvia University of Life Sciences and Technologies, Latvia; Latvian Rural Advisory and Training Centre, Latvia; University of Latvia, Latvia.
5. Agris Auce, Indulis Arnis Horns, Semjons Ivanovs, Aivars Jermuss, Ugis Grinbergs, Ādolfs Rucins. **Development of technological process solutions in modular system of solar electricity and heat supply for greenhouses**. University of Latvia, Latvia; Latvia University of Life Sciences and Technologies, Latvia; Institute of Mathematics and Computer Science, University of Latvia, Latvia.
6. A. Auce, A. Rucins, A. Jermuss, I. Auce, I. A. Horns, A. Pundurs, N. Reips. **Solar and heat pump hybrid heated greenhouse in Latvia: energy storage and CO₂ reduction**. Alternative Energy Sources, Materials & Technologies (AESMT'23), Volume XX, (pp. XX – XX) 2023 (Iesniegts publicēšanai 30.05.2023)

Referāti starptautiskās konferencēs

1. 79th International Scientific conference of the University of Latvia – 2021;
2. 8th starptautiskās zinātniski praktiskās konference, Vide. Tehnoloģija Resursi. Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, Latvija – 2021;
3. 80th International Scientific conference of the University of Latvia – 2022;
4. 21th International scientific conference "Engineering for rural development", Latvia University of Life Sciences and Technologies Faculty of Engineering Latvia – 2022;
5. 22th International scientific conference "Engineering for rural development", Latvia University of Life Sciences and Technologies Faculty of Engineering Latvia – 2023;
6. 6th International Scientific Conference "Alternative Energy Sources, Materials and Technologies (AESMT'23)", Sofia, Bulgaria, – 2023;

Zinātniski populārās publikācijas un pasākumi

1. Biedrība "Zemnieku saeima" organizēja semināru/diskusiju sarunu festivāla "Lampa" ietvaros 1.07.2022 Cēsīs: "Futūrisms laukos – videi draudzīgāka pārtikas ražošana!". Sarunu festivālā piedalījās Zemnieku saeimas eksperti un dažādu nozaru lauksaimnieki.



SECINĀJUMI PAR PROJEKTA SASNIEGTIEM REZULTĀTIEM UN PRIEKŠLIKUMI

Projektā plānotais darba apjoms ir izpildīts atbilstoši plānam un pilnā apjomā. Veiktā darba rezultāti ir apkopoti vairākās publikācijās, kuras ir publicētas vai iesniegtas publicēšanai SCOPUS indeksētos izdevumos kā arī prezentētas vairākos semināros un starptautiskās zinātniskās konferencēs.

Saules un gaiss – ūdens siltumsūkņu siltumnīcas apsildes ekonomiskais salīdzinājums ar citiem siltumnīcas apkures veidiem.

Kapitālieguldījumi. No projekta gaitā iegūtiem rezultātiem ir grūti veikt vispārinātus slēdzienus par esošas siltumnīcas pārveidošanas izdevumiem, jo 2021 gads bija COVID pandēmijas gads ar neraksturīgām izejvielu un materiālu cenām, kā arī 2021 gads kā COVID pandēmijas gads bija ar neraksturīgām darbaspēka cenām un darbu veikšanas termiņiem. 2022. gadā energonesēju un citu materiālu un izejvielu cenas ietekmēja Krievijas uzsāktais karš Ukrainā.

Kopumā veiktā analīze rāda, ka nomainīt esošu gāzes apkuri uz Saules un gaiss ūdens siltumsūkņu apkuri, kuru papildina jau esošā gāzes apkure ir viens no ekonomiski izdevīgākajiem CO₂ emisiju samazināšanas veidiem. Pēc cenu stabilizācijas būtu jāvērtē šī CO₂ emisijas samazināšanas veida salīdzinājums ar gāzes boileru nomainīšanu ar biomasas dedzināšanu.

Eksperimentālās siltumnīcas Saules apkures sistēmai nepieciešamie kapitālieguldījumi pamatsistēmu izveidei ir šādi tehniskie parametri:

- Saules kolektori: Instalētā jauda – 15 kW, vidējā siltuma jauda 2.5 kW, lietderīgā jauda ir ievērojami mazāka, to nosaka pieejamais siltuma akumulatoru apjoms kā arī iespēja izmantot pāri paliekošo siltumu biomasas žāvēšanai.
- Siltumsūkņi: instalētā jauda 10kW, lietderīgā jauda 10kW, vidējā reāli lietotā jauda ir atkarīga no Saules enerģijas izmantošanas apjoma. CO₂ samazināšanas pasākumu pirmajā posmā siltumsūkni var vēl neuzstādīt to aizvietojo ar esošo gāzes apkures sistēmu.
- Saules paneļi (PV): instalētā jauda 7.5 kW, elektriskā vidējā jauda 1.2 kW.
- **Orientējošās tirgus cenas Latvijā (2023 gada pirmā puse):**
 - Saules kolektori EUR/instalētais kW: 400 – 500 EUR/kW;
 - Saules baterijas (PV): 800 – 1500 EUR/kW, papildus izdevumi + Invertors (AC/DC pārveidošanas režīmā).
- **Instalēšanas izmaksu faktori:** Saules kolektoriem ir salīdzinoši lielākas uzstādīšanas un pieslēgšanas izmaksas. Izmantotā virsmas platība – Saules kolektori dod ievērojami vairāk enerģijas no vienas laukuma vienības, tāpēc ierobežotas virsmas apstākļos Saules kolektoriem ir priekšrocības.
 - Lietošanas faktori: attālums no uzstādīšanas vietas līdz apsildes kolektoram – te priekšrocības izmaksu ziņā ir Saules baterijām (PV). Apkalpošanas biežums un izmaksas – te arī priekšrocības ir Saules baterijām.
- Prasības siltumnīcu apsildes enerģijas avotiem enerģijas pieprasījuma cikliskums un variācijas laikā:
 - **Dienas cikls** – saule/mākoņi: Siltumapgādes vajadzības un Saules enerģijas sistēmas var nosegt ar siltuma akumulatoru un Saules kolektoru.
 - **Diennakts cikls** – var nosegt ar siltuma akumulatoru un Saules kolektoru, var nosegt ar Saules baterijām (PV) un siltuma akumulatoru, var nosegt ar Saules baterijām (PV) un elektrības akumulatoru un gaiss–ūdens siltumsūkni.
 - **Aukstie bez saules periodi** (7 – 10 dienas) – nevar nosegt ar siltuma akumulatoru un Saules kolektoru, nevar nosegt ar Saules baterijām (PV) un siltuma akumulatoru, nevar nosegt ar Saules baterijām (PV) un elektrības akumulatoru kā vienīgo enerģijas avotu gaiss–ūdens siltumsūkņim. Saules kolektors var dot daļu no vajadzīgās enerģijas iespējams 5 – 10% no nomināli vajadzīgās jaudas, tas pats attiecībā uz Saules baterijām (PV).
 - **Sezonas beigas/sākums** – nevar nosegt ar siltuma akumulatoru un Saules kolektoru, nevar nosegt ar Saules baterijām (PV) un siltuma akumulatoru, nevar nosegt ar Saules baterijām (PV) un elektrības akumulatoru kā vienīgo enerģijas avotu gaiss–ūdens siltumsūkņim, bet Saules kolektors un Saules baterijas (PV) iespējams var dot daļu enerģijas 3 – 10% no nominālās jaudas.

Siltuma avoti un to stabilitāte – tiešie Saules stari (klasiskais variants siltumnīcu pasīvā apsildē)

- **Saules kolektors** saražo siltumu tad, kad tas vismazāk vajadzīgs;
- **Saules baterijas (PV)** – tiešā boilerā apsilde ar līdzstrāvu (DC);
- Mazāki kapitālieguldījumi;
- Var uzkrāt siltumu siltuma akumulatorā;
- Enerģija ērtāk transportējama nekā karstais ūdens.
- **Saules baterijas (PV)** – invertors var mijiedarboties ar elektrības tīklu pašpatēriņam. Ārējais enerģijas tīkls (atkarīgs no normatīvajiem aktiem un likumiem).
- **Siltumsūkņis Gaiss–Ūdens** – nevar uzkrāt siltumu, izņemot gadījumus, kad tiek izmantoti fāzu maiņas materiāli, bet tas prasa lielus kapitālieguldījumus. Var darboties kopā ar Saules baterijām PV izmantojot Saules elektroenerģiju. Samazinās lietderības koeficients pie zemām āra gaisa temperatūrām (zemākas par -7°C).
- **Siltumsūkņis zeme–ūdens vai ūdens–ūdens** – prasa lielus kapitālieguldījumus.

No eksperimentālās siltumnīcas iegūtiem rezultātiem un esošās SIA Rītausma ražošanas siltumnīcas darba cikla ir izstrādās rekomendācijas siltumnīcu apsildes tehnoloģijai ar kombinētiem siltuma avotiem.

- Apsildes sistēmu parametri.
 - **Saules kolektori** – 0.3 kW/m^2 siltumnīcas platība;
 - **Saules baterijas** – 0.15 kW/m^2 siltumnīcas platība;
 - **Gaiss–ūdens siltumsūkņi** – 0.2 kW/m^2 siltumnīcas platība.
 - Nosacījumi apsildes sistēmas elementu parametru noteikšanai.
 - Invertors un siltumsūkņa elektroapgāde tiek nodrošināta no Saules baterijām. Esošā siltuma akumulatora ietilpība un saderība darbam kopā ar Saules kolektoriem, kuru jaudu ieteicams salāgot ar esošā siltuma akumulatora ietilpību, tā lai 3 – 4 dienās varētu piepildīt visu esošo siltuma akumulatoru līdz 100°C , tādējādi nodrošināt vismaz 1 – 2 dienu apsildi ar Saules kolektora saražoto siltumu.
 - Elektrības akumulators kombinācijā ar Saules baterijām un tīklu ir pielietojams atkarībā no akumulatora cenām – jo lielāks jo labāk. Vēlams lai nodrošinātu vismaz 1 saulainas vidusmēra pavasara/vasaras dienas (vidū starp ekvinokciju un vasaras saulstāvjiem, *solstice*).
 - Siltumsūkņi – relatīvi ātri palaižams un apturams, iespējama tā modulāra uzstādīšana pa etapiem ar katru uzstādīto etapu samazinot periodu, kad nepieciešama apkure, kura izmanto dabasgāzes dedzināšanu. Siltumsūkņi var tik nodrošināti ar tiešo Saules elektrību vai uzkrāto Saules elektrību. Pats siltumsūkņi – nevar efektīvi uzkrāt enerģiju, jo tā lietderības koeficients strauji krītas uzsildot ūdeni līdz augstām temperatūrām, kas nepieciešamas apsildes sistēmām. Sagaidāms, ka nākotnē tirgū būs plašāk pieejami siltumsūkņi industriālām siltuma vajadzībām, kas spēs uzsildīt ūdeni līdz vairāk nekā 100°C , un tad būs jāvērtē šādu ierīču izmaksas un lietderības koeficienti.
 - Kopumā rekomendētā tehnoloģija ar kombinētiem siltuma avotiem sastāv no:
 - Saules baterijas – 0.15 kW/m^2 siltumnīcas platība;
 - Gaiss–ūdens siltumsūkņi – 0.2 kW/m^2 siltumnīcas platība;
 - Invertors un siltumsūkņa elektroapgāde no Saules baterijām;
 - Saules kolektori – 0.3 kW/m^2 siltumnīcas platība;
 - Siltuma akumulators kopā ar Saules kolektoriem, kuru jaudu ieteicams salāgot ar esošā siltuma akumulatora ietilpību
 - Elektrības akumulators kopā ar Saules baterijām (un tīklu)
 - Enerģijas uzkrāšanas vajadzības
 - Diennakts cikls $0.2 - 0.3 \text{ kWh/m}^2$ elektroenerģija vai 1 kWh/m^2 siltums, aukstajiem periodiem 7 – 10 dienas $3 - 10 \text{ kWh/m}^2$ siltuma enerģija. Veģetācijas perioda pagarināšanai nav ekonomiski pamatotu enerģijas uzkrāšanas veidu. Uzkrātais zemes siltums var papildzināt veģetāciju, bet bez optimālām temperatūrām.
- Pētījumu gaitā novērtētie optimālās tehnoloģijas parametri un sastāvdaļas:
- Gaiss–ūdens siltumsūkņi;

- Saules baterijas (PV) ar inverteru. Saules baterijām (PV) savukārt svarīga ir iespēja nodot elektrību tīklā, kas atkarīga no nākotnes likumiem un tīkla nosacījumiem. Var apsvērt iespēju tiešai ūdens apsildei ar Saules baterijām (PV);
- Elektrības akumulators 0.2–0.4 kWh/m²;
- Saules kolektors;
- Siltuma akumulators 1–2 kWh/m²;
- Saules kolektora lietderība vērtējama pēc esošās siltuma akumulatoru sistēmas. Esošā centrālā apkures siltumnīca parasti ir ar siltuma akumulatoru un tad Saules kolektoriem nav vajadzīgi papildus ieguldījumi siltuma akumulatoros
- Iespējams, ka vajadzība pēc enerģijas akumulatora nākotnē var palielināties, palielinoties cenu svārstībām elektrības tirgū

Ekonomiskie aspekti

- CO₂ samazināšanas izmaksas
 - Mērķis 2050 gadam 100% klimatneitrāla siltumnīca ar industriālu ciklu;
 - Mērķis tuvākam laikam (līdz 2030 gadam) CO₂ izmešu būtiska samazināšana;
 - Esošas ar gāzi un ūdens centrālā apkuri apsildāmas siltumnīcas konversija;
 - Pēc iespējas mazāki kapitālieguldījumi;
 - Jauna siltumnīca – optimāli salāgot dažādus apsildes veidus.
- Ilgtspēja un darbības izmaksas
 - Gāzes izmaksas (ļoti grūti novērtēt pie pašreizējām dabas gāzes cenām, gāzes pieejamības un mūsu valdības attieksmes pret gāzes terminālu būvniecību)
 - Biomasas izmaksas – grūti prognozēt
 - Elektrības izmaksas – mūsu pētījumu gaitā ir izdarīts secinājums, ka tuvākā laikā gaidāms, ka elektrības cenas stabilizēsies un samazināsies, bet iespējamās neparedzētas svārstības saistībā ar Latvijas valdības iespējamo (un jau 2022. gada laikā demonstrēto) nespēju nodrošināt gāzes rezerves TEC darbībai vai adekvātu valsts starpsavienojumu jaudu pieejamības nepārtrauktību
 - Nākotnes elektrības izmaksas nav skaidras, tas saistīts ar neskaidrību Latvija enerģētikas strukturālās attīstības plānos un publiskā telpā pieejamām ekstravagantām idejām par Latvijas enerģijas patēriņa nodrošināšanu ar Sauli un vēju un vienlaicīgu elektrības pieprasījuma palielināšanos saistībā ekonomijas pāreju uz elektrību kā galveno enerģijas avotu
- CO₂ emisiju aprēķins:
 - Ir labi zināmas ar dabasgāzi saistītās CO₂ emisijas. Ar elektroenerģiju saistītās CO₂ emisijas var atšķirties atkarībā no elektroenerģijas ražošanas veida. Objekta operatoram, piemēram, var būt tiešs līgums ar kodolspēkstacijā ražotās elektroenerģijas bez CO₂ emisijas ražotāju. Vai arī objektam var būt līgums ar ogļu termoelektrostaciju
 - Latvijā elektroenerģiju galvenokārt ražo vai nu ar hidroenerģiju, vai ar dabasgāzi un bieži vien koģenerācijas režīmā.
 - Šajā pētījumā ir pieņemts, ka 50% elektroenerģijas tiek saražoti bez CO₂ emisijām un 50% ar dabasgāzi. Šī proporcija katru gadu palielinās par labu bez CO₂ enerģijai.
 - Eiropas komisijas lēmums (2007. gada 9. novembris), ar ko nosaka ekoloģiskos kritērijus Kopienas ekomarkējuma piešķiršanai elektriskās piedziņas, ar gāzi darbināmiem vai gāzes absorbcijas siltumsūkņiem (izziņots ar dokumenta numuru K(2007) 5492) (Dokuments attiecas uz EEZ) 2007/742/EK. Nosaka, ka elektrībai tiek piemērots koeficients 0.4. Primārās enerģijas patēriņa rādītāju (Primary Energy Ratio – PER) aprēķina šādi: COP × 0,40 (vai COP/2,5) siltumsūkņiem ar elektrisko piedziņu, COP × 0,91 (vai COP/1,1) ar gāzi darbināmiem vai gāzes absorbcijas siltumsūkņiem, kur 0.40 ir patlaban esošā Eiropā vidējā elektroenerģijas ģenerēšanas efektivitāte, ieskaitot zudumus tīklā, un 0.91 ir patlaban esošā Eiropā vidējā gāzes izmantošanas efektivitāte, ieskaitot zudumus sadales tīklos saskaņā ar Eiropas Parlamenta un Padomes 2006. gada 5. aprīļa Direktīvu 2006/32/EK par enerģijas galapatēriņa efektivitāti un energoefektivitātes pakalpojumiem un ar ko atceļ Padomes Direktīvu 93/76/EEK (1).

- Latvijā apkures sezonā dabasgāze tiek izmantota elektroenerģijas ražošanā koģenerācijas režīmā, tāpēc CO₂ emisija jāsadala starp centralizēto siltumu un elektroenerģijas ražošanu. Varētu droši pieņemt, ka 1 kWh elektroenerģijas ģenerē tikpat daudz CO₂ kā 1 kWh dabasgāzes radītā siltuma.
- «jaunā realitātē» pēc 2022 gada domājams, ka bez CO₂ elektrības īpatsvars strauji pieaugs. Piemēram 2023 gada janvāris, februāris Latvijā bija 100% CO₂ brīva elektrība.
- Jaunā ES taksonomija kvalificē kodolenerģiju kā CO₂ brīvu enerģiju un rekomendē to klimata mērķu sasniegšanai.
- Eksperimentālo pētījuma kopsavilkums, zemnieku saimniecība “Skudriņas”
 - Siltumenerģijas patēriņš dārzeņu audzēšanā siltumnīcās, atkarībā no energoresursa veida, var sastādīt līdz 40 – 60% produkcijas izmaksu struktūrā, tāpēc risinājumi tā samazināšanai ir aktuāli.
 - Pētījumi par siltumenerģijas akumulēšanas un audzēšanas perioda pagarināšanas iespējām veikti eksperimentālā polikarbonāta seguma siltumnīcā ar platību 50m² un 1m biezā 50 m³ tilpuma grants slānī ar ievietotām plastmasas caurulēm siltumenerģijas akumulācijai karstajos periodos un tā atgūšanai vēsajos periodos.
 - Gaisa padevi akumulācijas slānī un siltumenerģijas atgūšanu no tā nodrošina ventilators, kuru regulē automatizēts vadības bloks.
 - Sensoru sistēma reģistrē āra gaisa, siltumnīcas un akumulācijas slāņu temperatūru. Eksperimenti siltumnīcā veikti 01.06. – 05.12.2022. g.
 - Perioda sākumā vidējā temperatūra akumulācijas slānī bija 150°C, jūnija vidū tā pieauga līdz 200C, un turpmāk līdz 29.08. svārstījās 20 – 22°C robežās.
 - Neskatoties uz ļoti augstām āra un siltumnīcas gaisa temperatūrām, akumulācijas slānis uzrādīja pozitīvu ietekmi, stabilizējot siltumnīcas un augsnes temperatūru, tādējādi uzlabojot augšanas apstākļus.
 - Diennakts laikā akumulācijas slāņa temperatūra svārstījās par 2–3°C.
 - Pēc 01.09.22. temperatūra akumulācijas slānī pakāpeniski samazinājās, un 14.10.22. sasniedza sākotnējos 15°C.
 - 136 dienu periodā akumulācijas slānī uzkrāts 4175 kWh enerģijas.
 - Turpmāk līdz 13.11.22. temperatūra akumulācijas slānī stabili turējās 12°C robežās, kas ir minimāli pieļaujamā augu augšanai siltumnīcās, pēc tam sekoja straujš kritums un veģetācija beidzās.
 - 2022. meteoroloģiskajos apstākļos akumulācijas slāņa izmantošana ļāva pagarināt veģetācijas periodu siltumnīcā aptuveni par 20 dienām.

Noslēguma secinājumi

Izmantojot pētījumā izstrādāto kombinēto Saules un gaiss–ūdens siltumsūkņu tehnoloģiju var samazināt CO₂ izmaksas

Izstrādātā tehnoloģija ļauj samazināt CO₂ izmešus 8 – 10 reizes salīdzinājumā ar esošo gāzes apkures sistēmu un tās darbības izmaksas pavasara – vasaras–rudens periodā ir mazākas nekā gāzes apkurei un tas ļoti ekonomiski efektīvs CO₂ izmešu samazināšanas veids.

Iespējamās tālākas nākotnes perspektīvas Siltumnīcu apsildei:

- Gāzes izmantošana samazināsies un 2040 – 50 gadā var tikt izbeigta;
- Palielināsies atjaunīgo – vēja un Saules elektrības īpatsvars;
- Būs strauji mainīgas elektrības cenas;
- Reģionā (FIN,PL,EE,SWE) strauji tiek attīstīta atomenerģija;
- Sagaidāma Trešā industriālā revolūcija – pāreja uz elektrību un attiecīgi elektrības pieprasījuma strauja palielināšanās;
- Pamata apsildes enerģijas avots varētu būt elektroenerģija, bet vajadzīga rezerve dārgiem bez elektrības periodiem;
- Biomasas loma Latvijā rūpnieciskās apkures sistēmās tuvākā nākotnē ir neskaidra.